

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AYDIN İLİ, EFELER İLÇESİ OYAEYMİR MAHALLESİNİN
SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Osman ÖZPINAR

HAZİRAN 2019

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Osman ÖZPINAR Tarafından Hazırlanan**

**AYDIN İLİ, EFELER İLÇESİ OVAEYMİR MAHALLESİNİN
SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

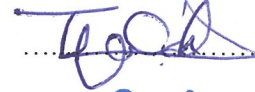


başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/ 05/ 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Tufan ÇAKIR

Üye : Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

Üye : Doç. Dr. Zekai ANGIN


.....

.....

.....

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Aydın ili, Efeler İlçesi, Ovaeymir Mahallesi'ndeki zeminin standart penetrasyon deneyi verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi konusundaki bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak yazılmıştır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, ilgi duyduğum konu üzerine çalışmamı sağlayan, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği konusunda bilgilerini ve tecrübelerini aktararak yardımlarını esirgemeyen Kıymetli Hocam Doç. Dr. S. Banu İKİZLER'e;

Tezimin hazırlanmasında ve tezimin hazırlanması kapsamındaki verilerin derlenmesinde bulunduğu katkıdan dolayı Sayın Jeoloji Mühendisi Namık ERTUĞRUL'a;

Çalışmalarım boyunca yardımlarını ve sabırlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Özge TEZEL ve Arş. Gör. Eda ÖZKUL'a;

Hayatım boyunca bana inanarak ve destekleyerek her daim yanımda olan annem Özgül ÖZPINAR, babam Taner ÖZPINAR ve kardeşim Tuba ÖZPINAR'a;
En içten duygularıyla teşekkür eder, saygılar sunarım.

Osman ÖZPINAR

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Aydın İli, Efeler İlçesi, Ovaeymir Mahallesi'nin Standart Penetrasyon Testi verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. S. Banu İKİZLER'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/06/2019

Osman ÖZPINAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Literatür İncelemesi.....	2
1.4. Deprem	8
1.4.1. Türkiye'nin Depremselliği	10
1.4.2. Depremlerin Yol Açtığı Zemin Problemleri	11
1.5. Zeminlerde Sıvılaşma.....	12
1.5.1. Sıvılaşma Türleri	13
1.5.2. Akma Türü Sıvılaşma.....	13
1.5.2.1. Devirsel Mobilite.....	13
1.5.3. Sıvılaşmanın Neden Olduğu Hasarlar	14
1.5.3.1. Kum Kaynaması	14
1.5.3.2. Akma Göçmesi	15
1.5.3.3. Yanal Yayılma.....	15
1.5.3.4. İstinat Yapısı Yenilmesi	16
1.5.3.5. Taşıma Gücü Kaybı.....	17
1.5.3.6. Gömülü Hafif Yapıların (boru, tank vb.) Yükselmesi	17
1.5.4. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler	18
1.5.4.1. Sıvılaşmaya Etki Eden Zemin Faktörleri	18
1.5.4.1.1. Zemin Tipi.....	18
1.5.4.1.2. Zeminin Rölatif Sıklığı (Dr).....	19
1.5.4.1.3. Tane Boyu Dağılımı	19

1.5.4.1.4.	Drenaj Şartları	20
1.5.4.1.5.	Çevre Basınçları	20
1.5.4.1.6.	Tane Şekli.....	20
1.5.4.1.7.	Çimentolanma	21
1.5.4.1.8.	Sismik Geçmiş.....	21
1.5.4.2.	Sıvılaşmaya Etki Eden Dış Faktörler	21
1.5.4.2.1.	Depremın Büyüklüğü ve Süresi	21
1.5.4.2.2.	Bina Yükleri	21
1.5.5.	Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Laboratuvar ve Arazi Deneyleri	22
1.5.5.1.	Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Laboratuvar Deneyleri	22
1.5.5.2.	Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Arazi Deneyleri	22
1.5.5.2.1.	Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	23
1.5.5.2.1.1.	Standart Penetrasyon Deneyinin Yapılışı.....	23
1.5.5.2.1.2.	Yer Altı Su Seviyesi İçin Düzeltmeler.....	24
1.5.5.2.1.3.	SPT'nin Sonucunu Etkileyen Faktörler ve SPT-Narazi Değerinin Düzeltmesi	25
1.5.5.2.2.	Koni Penetrasyon Deneyi (CPT).....	29
1.5.5.2.3.	Arazi Deneylerinin Avantaj ve Dezavantajları	29
1.5.6.	Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri	30
1.5.6.1.	SPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi	30
1.5.7.	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Sıvılaşma Potansiyeli	31
1.5.7.1.	TBDY'de Sıvılaşma Direncinin Hesaplanması.....	31
1.5.8.	Seed ve Idriss Yöntemi	34
1.5.8.1.	Çevrimsel Kayma Gerilmesinin Hesaplanması.....	34
1.5.8.2.	Çevrimsel Kayma Mukavemetinin Hesaplanması	35
1.5.9.	Iwasaki (1982) Sıvılaşma Potansiyel İndeksi.....	35
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	38
2.1.	İnceleme Alanının Tanıtılması	38
2.1.1.	İnceleme Alanının Coğrafi Konum ve Özellikleri	38
2.1.2.	İnceleme Alanının Jeolojisi.....	39
2.1.3.	İnceleme Alanının Sismolojik Özellikleri.....	40
2.2.	Arazi Çalışmaları.....	43
2.2.1.	Sondaj Kuyusu 1 (SK 1).....	44
2.2.2.	Sondaj Kuyusu 2 (SK 2).....	50
2.2.3.	Sondaj Kuyusu 3 (SK 3).....	56

2.2.4.	Sondaj Kuyusu 4 (SK 4).....	62
2.2.5.	Sondaj Kuyusu 5 (SK 5).....	68
2.2.6.	Sondaj Kuyusu 6 (SK 6).....	74
2.2.7.	Sondaj Kuyusu 7 (SK 7).....	80
2.2.8.	Sondaj Kuyusu 8 (SK 8).....	86
2.2.9.	Sondaj Kuyusu 9 (SK 9).....	92
2.2.10.	Sondaj kuyusu 10 (SK 10)	98
2.2.11.	Sondaj Kuyusu 11 (SK 11).....	104
2.2.12.	Sondaj Kuyusu 12 (SK 12).....	110
2.2.13.	Sondaj Kuyusu 13 (SK 13).....	116
2.2.14.	Sondaj Kuyusu 14 (SK 14).....	122
2.2.15.	Sondaj Kuyusu 15 (SK 15).....	128
2.2.16.	Sondaj Kuyusu 16 (SK 16).....	134
2.2.17.	Sondaj Kuyusu 17 (SK 17).....	140
2.2.18.	Sondaj Kuyusu 18 (SK 18).....	146
2.2.19.	Sondaj Kuyusu 19 (SK 19).....	152
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	166
4.	KAYNAKLAR.....	167
5.	EKLER	172
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

AYDIN İLİ, EFELER İLÇESİ OVAEYMİR MAHALLESİNİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Osman ÖZPINAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. S. Banu İKİZLER
2019, 171 Sayfa, 20 Ek Sayfa

Depremi yarattığı hasarların en önemli nedenlerinden biri olan zeminlerin sıvılaşması, kohezyonsuz ve suya doymun kumlu, siltli zeminlerde sürekli ve geçici yükler altında meydana gelmektedir. Bu çalışma Aydın İli'nde yeni gelişmekte ve yeni imara açılmakta olan bir mahallenin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmesini içermektedir. Aydın İli bulunduğu konum itibarıyla 1. Derece deprem bölgesinde ve kırık fay hatları üzerine kurulmuş bir kent olması sebebiyle olası depremlerden etkileneceği düşünülmektedir. Bu amaçla çalışmada M=6.0, M=6.5, M=7.0, M=7.5 deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir. Sıvılaşma potansiyeli sondaj loglarından elde edilen SPT değerleri kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada 19 sondaj noktası açılmış ve standart penetrasyon deneyleri (SPT) yapılmıştır. Sondaj kuyularından örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınarak ve bu numuneler üzerinde, zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, yapılan deneyler neticesinde sıvılaşma potansiyel analizi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'ne göre yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise LiqIT v.4.7. programında Seed ve Idriss (1981) ve Iwasaki (1981) yöntemlerine göre sıvılaşma potansiyel analizi yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise M=6.0, M=6.5, M=7.0, M=7.5 deprem büyüklüklerinde zeminin 3, 6, 9 ve 12 m derinliği için sıvılaşma potansiyel haritaları ARCGIS programı kullanılarak hazırlanmıştır. Analiz sonuçları bölgedeki yer altı su seviyesi ve kumlu siltli zeminin varlığından dolayı sıvılaşma potansiyelinin artacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, Sıvılaşma potansiyeli, Aydın, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Master Thesis

SUMMARY

EVALUATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL OF THE OVAEYMİR NEIGHBORHOOD OF THE EFELER DISTRICT, AYDIN PROVINCE

Osman ÖZPINAR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Doç. Dr. S. Banu İKİZLER
2019, 171 Pages, 20 Pages Appendix

Liquefaction of soils which is one of the most important reasons of the damages caused by earthquake is occurs under continuous and temporary loads on cohesion-free and water-saturated sandy and silty soils. This study involves the evaluation of the liquefaction potential of a district in Aydın, which has been recently developing and reconstructing. Since Aydın is a city built on the 1st degree earthquake zone and broken fault lines, it is thought to be affected by the impact of earthquakes in the future. For this purpose, the liquefaction potential was determined for the following earthquake magnitudes: $M = 6.0$, $M = 6.5$, $M = 7.0$, $M = 7.5$. Liquefaction potential was investigated using SPT values obtained from drilling logs. In this study, 19 drilling points were created and standard penetration tests (SPT) were performed. Soil samples were collected from the impaired and unimpaired ground, and experiments were carried out on these samples to determine the physical properties of the soil. In the first phase of the study, the liquefaction potential analysis was conducted according to the Building Earthquake Regulation of Turkey (TBDY). In the second phase of the study, the liquefaction potential analysis was examined by using LiqIT v.4.7. program according to the methods called Iwasaki (1981), Seed and Idriss (1981). In the final phase of the study, the liquefaction potential maps for the 3, 6, 9 and 12 m depth of the ground were examined by using ARCGIS program for the following earthquake magnitudes: $M = 6.0$, $M = 6.5$, $M = 7.0$, $M = 7.5$. Analysis results show us that the liquefaction potential will increase due to the presence of groundwater and sandy silty soil in the region.

Key Words: Liquefaction, Liquefaction potential, Aydın, Standard Penetration Test (SPT)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan evlerin afet türlerine göre dağılımı.....	1
Şekil 2. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı.....	9
Şekil 3. Cisim Dalgaları ve Yüzey dalgaları.....	10
Şekil 4. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.....	11
Şekil 5. Sıvılaşmanın fiziksel süreci.....	12
Şekil 6. Yüzeyde kum konileri oluşma biçimi.....	15
Şekil 7. Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma.....	15
Şekil 8. Yanal yayılma oluşma biçimi.....	16
Şekil 9. İstinat yapısı yenilmesi.....	16
Şekil 10. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi.....	17
Şekil 11. Gömülü hafif yapılarda, sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar.....	17
Şekil 12. Zeminlerde sıvılaşabilir granülometri aralığı.....	20
Şekil 13. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) şeması ve SPT kaşığı.....	24
Şekil 14. Aydın ili Ovaeymir Mahallesi ve çevresi.....	38
Şekil 15. Aydın İlinin Genel Jeolojik Haritası.....	39
Şekil 16. Aydın İli ve çevresi fay haritası.....	40
Şekil 17. İnceleme alanı çevresinde 4 ve üzeri şiddette oluşan depremler.....	43
Şekil 18. İnceleme alanının lokasyon ve sondaj noktaları haritası.....	44
Şekil 19. SK 1’in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	47
Şekil 20. SK 1’in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	48
Şekil 21. SK 2’nin LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	53
Şekil 22. SK 2’nin LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	54
Şekil 23. SK 3’ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	59
Şekil 24. SK 3’ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	60
Şekil 25. SK 4’ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	65

Şekil 26. SK 4'ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	66
Şekil 27. SK 5'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları	71
Şekil 28. SK 5'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	72
Şekil 29. SK 6'nın LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları	77
Şekil 30. SK 6'nın LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	78
Şekil 31. SK 7'nin LiqIT programında SPT-N, CSR,CRR ve Güvenlik Katsayıları	83
Şekil 32. SK 7'nin LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	84
Şekil 33. SK 8'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları	89
Şekil 34. SK 8'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	90
Şekil 35. SK 9'un LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	95
Şekil 36. SK 9'un LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	96
Şekil 37. SK 10'un LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	101
Şekil 38. SK 10'un LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	102
Şekil 39. SK 11'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları	107
Şekil 40. SK 11'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	108
Şekil 41. SK 12'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları	113
Şekil 42. SK 12'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	114
Şekil 43. SK 13'ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayılar.....	119
Şekil 44. SK 13'ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	120
Şekil 45. SK 14'ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	125
Şekil 46. SK 14'ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	126
Şekil 47. SK 15'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları	131
Şekil 48. SK 15'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	132
Şekil 49. SK 16'nın LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları ...	137
Şekil 50. SK 16'nın LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	138
Şekil 51. SK 17'nin LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları ...	143
Şekil 52. SK 17'nin LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	144
Şekil 53. SK 18'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları	149
Şekil 54. SK 18'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi	150
Şekil 55. SK 19'un LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları.....	155

Şekil 56. SK 19'un LiqIT programındaki sıvılaşma analizi.....	156
Şekil 57. SPT değerleri için sondaj noktalarından alınan kesitler	158
Şekil 58. Farklı kesitlerden alınan SPT-N değerleri	159
Şekil 59. 6 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli.....	161
Şekil 60. 6.5 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli.....	162
Şekil 61. 7 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli.....	163
Şekil 62. 7.5 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli.....	164
Şekil 63. Iwasaki'ye göre genel sıvılaşma indeksi.....	165

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Rölatif sıklılığa göre zeminlerin sınıflandırılması.....	19
Tablo 2. Tij boyu düzeltme katsayıları	27
Tablo 3. TBDY'ye göre Tijboyu düzeltme katsayıları	27
Tablo 4. TBDY'ye göre numune alma yöntemi katsayısı	27
Tablo 5. Kuyu boyu düzeltme katsayıları	27
Tablo 6. Enerji oranı düzeltmesi	28
Tablo 7. TBDY'ye göre enerji oranı düzeltmesi.....	28
Tablo 8. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan arazi deneylerinin avantaj ve dezavantajları.....	29
Tablo 9. 1900 yılından itibaren 4 ve üzeri Aydın ve çevresi depremler	41
Tablo 10. SK1 Düşey ve Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları.....	45
Tablo 11. TBDY'e göre SK 1'in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	46
Tablo 12. SK 1'in LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	48
Tablo 13. SK 1'in LiqIT programındaki CRR katsayıları	49
Tablo 14. SK 1'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli	49
Tablo 15. SK2 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	50
Tablo 16. TBDY'e göre SK 2'nin sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	52
Tablo 17. SK 2'nin LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	54
Tablo 18. SK 2'nin LiqIT programındaki CRR katsayıları	55
Tablo 19. SK 2'nin Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli	55
Tablo 20. SK3 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	56
Tablo 21. TBDY'e göre SK 3'ün sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	58
Tablo 22. SK 3'ün LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	60
Tablo 23. SK 3'ün LiqIT programındaki CRR katsayıları	61

Tablo 24.	SK 3'ün Iwasaki'ye göre sınıvlaşma potansiyeli	61
Tablo 25.	SK 4 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	62
Tablo 26.	TBDY'e göre SK 4'ün sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu.....	64
Tablo 27.	SK 4'ün LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	66
Tablo 28.	SK 4'ün LiqIT programındaki CRR katsayıları	67
Tablo 29.	SK 4'ün Iwasaki'ye göre sınıvlaşma potansiyeli	67
Tablo 30.	SK 5 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	68
Tablo 31.	TBDY'e göre SK 5'in sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu.....	70
Tablo 32.	SK 5'in LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	72
Tablo 33.	SK 5'in LiqIT programındaki CRR katsayıları	73
Tablo 34.	SK 5'in Iwasaki'ye göre sınıvlaşma potansiyeli	73
Tablo 35.	SK 6 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	74
Tablo 36.	TBDY'e göre SK 6'nın sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu.....	76
Tablo 37.	SK 6'nın LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	78
Tablo 38.	SK 6'nın LiqIT programındaki CRR katsayıları	79
Tablo 39.	SK 6'nın Iwasaki'ye göre sınıvlaşma potansiyeli	79
Tablo 40.	SK 7 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	80
Tablo 41.	TBDY'e göre SK 7'nin sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu.....	82
Tablo 42.	SK 7'nin LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	84
Tablo 43.	SK 7'nin LiqIT programındaki CRR katsayıları	85
Tablo 44.	SK 7'nin Iwasaki'ye göre sınıvlaşma potansiyeli	85
Tablo 45.	SK 8 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	86
Tablo 46.	TBDY'e göre SK 8'in sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu.....	88
Tablo 47.	SK 8'in LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	90
Tablo 48.	SK 8'in LiqIT programındaki CRR katsayıları	91
Tablo 49.	SK 8'in Iwasaki'ye göre sınıvlaşma potansiyeli	91
Tablo 50.	SK 9 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	92

Tablo 51.	TBDY’ e göre SK 9’un sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	94
Tablo 52.	SK 9’un LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	96
Tablo 53.	SK 9’un LiqIT programındaki CRR katsayıları	97
Tablo 54.	SK 9’un Iwasaki’ye göre sıvılaşma potansiyeli	97
Tablo 55.	SK 10 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	98
Tablo 56.	TBDY’ e göre SK 10’nun sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	100
Tablo 57.	SK 10’un LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	102
Tablo 58.	SK 10’un LiqIT programındaki CRR katsayıları	103
Tablo 59.	SK 10’un Iwasaki’ye göre sıvılaşma potansiyeli.....	103
Tablo 60.	SK 11 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	104
Tablo 61.	TBDY’ e göre SK 11’in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	106
Tablo 62.	SK 11’in LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	108
Tablo 63.	SK 11’in LiqIT programındaki CRR katsayıları	109
Tablo 64.	SK 11’in Iwasaki’ye göre sıvılaşma potansiyeli	109
Tablo 65.	SK 12 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	110
Tablo 66.	TBDY’ e göre SK 12’nin sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	112
Tablo 67.	SK 12’in LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	114
Tablo 68.	SK 12’in LiqIT programındaki CRR katsayıları	115
Tablo 69.	SK 12’in Iwasaki’ye göre sıvılaşma potansiyel.....	115
Tablo 70.	SK 13 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	116
Tablo 71.	TBDY’ e göre SK 13’ün sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	118
Tablo 72.	SK 13’ün LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	120
Tablo 73.	SK 13’ün LiqIT programındaki CRR katsayıları	121
Tablo 74.	SK 13’ün Iwasaki’ye göre sıvılaşma potansiyeli.....	121
Tablo 75.	SK 14 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	122
Tablo 76.	TBDY’ e göre SK 14’ün sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	124

Tablo 77.	SK 14'ün LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	126
Tablo 78.	SK 14'ün LiqIT programındaki CRR katsayıları	127
Tablo 79.	SK 14'ün Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli.....	127
Tablo 80.	SK 15 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	128
Tablo 81.	TBDY'e göre SK 15'in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	130
Tablo 82.	SK 15'in LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	132
Tablo 83.	SK 15'in LiqIT programındaki CRR katsayıları	133
Tablo 84.	SK 15'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli	133
Tablo 85.	SK 16 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	134
Tablo 86.	TBDY'e göre SK 16'nın sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	136
Tablo 87.	SK 16'nın LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	138
Tablo 88.	SK 16'nın LiqIT programındaki CRR katsayıları	139
Tablo 89.	SK 16'nın Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli	139
Tablo 90.	SK 17 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	140
Tablo 91.	TBDY'e göre SK 17'nin sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	142
Tablo 92.	SK 17'nin LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	144
Tablo 93.	SK 17'nin LiqIT programındaki CRR katsayıları	145
Tablo 94.	SK 17'nin Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli	145
Tablo 95.	SK 18 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	146
Tablo 96.	TBDY'e göre SK 18'in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	148
Tablo 97.	SK 18'in LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	150
Tablo 98.	SK 18'in LiqIT programındaki CRR katsayıları	151
Tablo 99.	SK 18'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli	151
Tablo 100.	SK 19 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları	152
Tablo 101.	TBDY'e göre SK 19'un sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu.....	154
Tablo 102.	SK 19'un LiqIT programındaki CSR katsayıları.....	156
Tablo 103.	SK 19'un LiqIT programındaki CRR katsayıları	157

Tablo 104. SK 19'un Iwasaki'ye göre sivilaşma potansiyeli..... 157



SEMBOLLER DİZİNİ

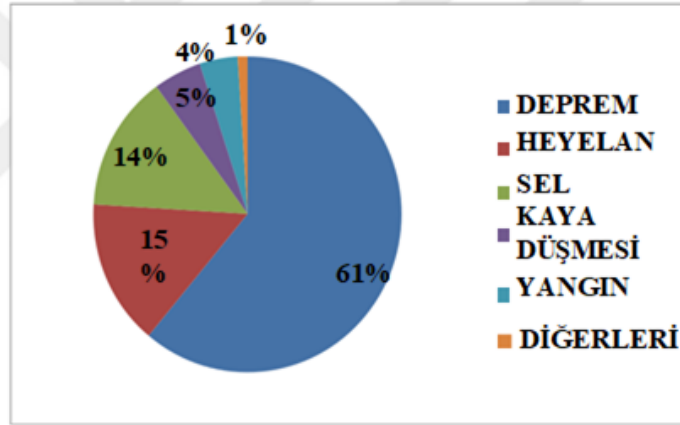
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetmeliği Başkanlığı
ARCGİS	: Geographic Information System
C_B	: Kuyu boyu düzeltme katsayısı
C_E	: Enerji oranı düzeltme katsayısı
CL	: Alüvyon
C_M	: Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı
C_N	: Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı
CPT	: Koni Penetrasyon Deneyi
C_R	: Tij boyu düzeltme katsayısı
CRR	: Çevrimsel kayma mukavemeti
$CRR_{7.5}$: 7.5 deprem magnitudünde çevrimsel kayma mukavemeti
C_S	: Numune alma metodu katsayısı
CSR	: Devirsel gerilme oranı
$CSR_{7.5}$: 7.5 Deprem magnitudüne göre uyarlanmış CSR
CSR*	: Uyarlanmış CSR
CU	: Üniformluk katsayısı
D_r	: Rölatif sıklık
D_{50}	: Zeminin ortalama tane çapı
DGO	: Devirsel gerilme oranı
F	: CRR/CSR oranı
F.S.	: Güvenlik faktörü
IDO	: İnce dane oranı
I_L	: Sıvılaşma potansiyel indeksi
K_σ	: Efektif düşey gerilme faktörü
LL	: Likit limit
MSF	: Deprem magnitudü
M_w	: Tasarım depremi büyüklüğü
$(N_1)_{60}$: Düzeltilmiş SPT-N değeri
$(N_1)_{60f}$: İnce dane oranına göre düzeltilmiş vuruş sayısı

P_a	: Yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmesi
r_d	: İlgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spectral ivme katsayısı
SK	: Sondaj kuyusu
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
T_{ij}	: Numune alıcı
u	: Deprem sırasındaki inceleme noktasındaki su basıncı
VPT	: Konik Vibrasyon Penetrasyon Testi
V_s	: Kayma Dalga Hızı
YASS	: Yeraltı su seviyesi
z	: Derinlik
W_z	: Derinlik ağırlık faktörü
τ_{deprem}	: Zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesi
τ_r	: Sıvılaşma direnci
σ_{v_0}	: Deprem sırasındaki toplam gerilme
σ'_{v_0}	: P_a ile aynı birime sahip düşey efektif gerilme

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanların hayatlarını olumsuz etkileyen, genellikle insanların kontrolü dışında gerçekleşen ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde can ve mal kaybına yol açan doğa olayları doğal afet olarak adlandırılmaktadır. Doğal afetler jeolojik ve meteorolojik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kaynağını doğrudan yer kabuğundan ya da yerin derinliklerinden alan jeolojik doğal afetlerin en sık görüleni depremlerdir. Depremlerin yıkılan evlerin üzerindeki etkisi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Türkiye’de son 70 yıl içerisinde yaşanan doğal afetler sonucunda yıkılan evlerin afet türlerine göre dağılımı (Aksoy, 2011)

Depremin, yapılar üzerinde neden olduğu hasarın, yerel zemin koşulları ile önemli ölçüde etkilendiği artık kaçınılmaz bir gerçektir. Deprem karakteristikleri, ya yerel zemin koşulları ile değişmektedir ya da deprem, yerel zeminlerin özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Suya doymun kumlar, olumsuz yönde en çok etkilenen zemin türüdür. Bu tür zeminler deprem anında sıvılaşarak, dayanımlarını kaybetmekte ve önemli hasarlara yol açmaktadır (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006). Bu nedenle zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin araştırılması ve araştırmalar sonucunda alınması gereken önlemler ortaya çıkarılmıştır. Geoteknik Mühendisliğinde, zeminlerin sıvılaşma durumunun ortaya

çıkmasının nedenleri ve sıvılaşma durumuna etkileyecek konular açıklanmıştır. Bu çalışmada ise sıvılaşmaya etki eden sismik koşullar üzerinde durulacaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kohezyonsuz zeminlerde, deprem kökenli devirsel kayma gerilmelerine maruz kalan hızlı kayma mukavemet kaybının meydana getirdiği deformasyonlar Geoteknik Mühendisliğinde karşılaşılan önemli konulardandır. Geçmiş yıllarda gerçekleşen depremler incelenmiştir. Sıvılaşmanın önemi ise 1992 yılında gerçekleşen Erzincan depreminde gündeme gelmiştir. Ardından 1999 yılında gerçekleşen Adapazarı depreminde ise önemi anlaşılmıştır.

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 1. derece deprem bölgesinde yer alan Aydın ili, sıvılaşma olayının sıklıkla görüldüğü yerlerdendir. Konunun hassasiyetine rağmen, literatürde Aydın ilinde sıvılaşma olayına dair çalışmalara çok fazla rastlanılamamaktadır.

Bu çalışma, Aydın ili şehir merkezinde bulunan Ovaeymir Mahallesinin standart penetrasyon testi verileri kullanarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi amaçlamaktadır. Sıvılaşma analizinin yapılabilmesi için bazı faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu özellikler zeminin mühendislik özellikleri, depremselliği, tektonik özellikleri ve jeoloji bilgileridir. Bu amaçla, incelenen bölgenin SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilere dayanılarak sıvılaşma potansiyeli TBDY'e göre yapılmış olup, hesaplamaların hızlı bir şekilde yapılması için LiqIT programına başvurulmuştur. TBDY'e göre ve program kullanılarak yapılan sıvılaşma analizlerine ait sonuçlar, tablolar halinde oluşturulmuştur. Analizler sonucunda elde edilen veriler ArcGIS programında kullanılarak inceleme alanına ait sıvılaşma potansiyel haritaları oluşturulmuştur.

1.3. Literatür İncelemesi

Zeminlerde sıvılaşma konusundaki ilk çalışmayı "kritik boşluk oranı" yaklaşımı ile Casagrande 1936 yılında yapmış ve "Kritik boşluk oranından daha fazla boşluk oranına sahip kum çökelleri, kesme gerilmelerine maruz kalmaları durumunda, hacimsel daralma gösterir. Drenajsız şartlar altında pozitif boşluk suyu basıncı artacağından, boşluk suyu basıncı değerinin toplam gerilmeye ulaşması durumunda da zemin bir sıvı gibi davranabilir.

Diğer yandan kritik boşluk oranından daha az boşluk oranına sahip kum çökellerinin kesme gerilmelerine maruz kalmaları durumunda hacimsel genişleme göstereceğinden, hacimsel genişleme yapan kum numunesinde de boşluk suyu basıncı azalır, dolayısıyla da efektif gerilme artar ve numune başlangıç konumuna göre daha stabil hale gelir.” tespitini belirtmiştir.

Casagrande, 1938 yılındaki diğer çalışmasında ise, kritik boşluk oranının çevre basıncına bağlı olarak değiştiğini gözlemlemiştir. Çalışmasının sonucunda çevre basıncının artması sonucu kritik boşluk oranının azaldığını tespit etmiştir. Bu durumda suya doymuş kumlar yüksek çevre basınçlarında, düşük çevre basınçlarına göre daha az duyarlı olabilmektedir.

Mogomi ve Kubo (1953) tarafından sıvılaşma terimi ilk defa kohezyonsuz zeminlerde drenajsız dengesiz ve tekrarlı örselenmeden kaynaklanan zemin deformasyonlarını nitelemek üzere kullanılmıştır.

Seed (1966), deprem etkisi altında kumun davranışını açıklayabilmek için kum numuneleri üzerinde deneyler yapmıştır. Ulaştığı sonuçlar sıvılaşma davranışını açıklamak için geliştirilen birçok çalışmaya referans olmuştur. Deprem anında zemini etkileyebilecek gerilme koşullarını dikkate alarak dinamik üç eksenli basınç deneyi yapmıştır. Deneylerde eksenel deviatorik basınç ve çekme uygulayarak modellenmeye çalışmıştır. Bu durum, asal gerilme düzleminde kayma gerilmelerinin olmadığı düz arazi koşullarını temsil etmektedir. Rölatif sıklığın, çevre basıncının, çevrimsel yükleme genliğinin ve çevrim sayısının kumun sıvılaşma direncine olan etkisini araştırmıştır. Deneylerde yük çevrim sayısının arttıkça, deformasyonlarda ani bir artış ve boşluk suyu basınçlarında da uygulanan çevre gerilmesine ulaşabilecek büyüklükte artışlar meydana geldiğini gözlemiş ve kumda başlangıç sıvılaşması olarak adlandırılan olayın meydana geldiği sonucuna varmıştır.

Seed vd. (1971, 1982, 1983, 1985, 1986), sıvılaşma kavramını açıklayarak sıvılaşma analizlerinin yapılmasına yönelik çalışmalar yapmışlardır. Arazi deneyleri ile sıvılaşma potansiyelini değerlendirmişlerdir.

Erken vd. (1985), yaptıkları çalışmada, büyüklüğü 6.8 olan 13 Mart 1992 Erzincan depremi sırasında, Erzincan ovasında yer alan Ekşisu bölgesinde suya doymuş, killi, siltli zemin tabakalarının sıvılaştığını gözlemlemiş, bu bölgedeki zemin koşullarını ve sıvılaşma potansiyelini belirlemek için sıvılaşma alanı ve çevresinde ayrıntılı bir geoteknik araştırma yapmışlardır. İncelenen alanda SPT ve CPT deneyleri yapılmıştır. Ayrıca incelenen alandan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınarak, laboratuvar deneyleriyle zeminin

indeks özellikleri, dinamik yükler altında gerilme şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı davranışları incelenmiştir. Yapılan sondaj ve arazi araştırmaları sonucunda zemin tabakalarının gevşek siltli kum tabakaları ile yumuşak siltli, killi ve organik zeminlerden oluştuğu belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda ise yeterli bir seviyede tekrarlı kayma gerilmelerinin uygulanması durumunda zeminin sıvılaşmasına neden olacak boşluk suyu basınçlarının oluşabileceği gözlenmiştir.

Kramer (1996), suya doygun kohezyonsuz zeminlerin drenajsız koşullarda statik, geçici veya tekrarlı yüklemelerin etkisi altında oluşan birtakım zemin deformasyonlarını ifade etmek için sıvılaşma terimini kullanmıştır.

Ishihara (1996), zeminlerin sıvılaşma potansiyelini belirleyebilmek amacıyla kumlu zeminlerde tekrarlı üç eksenli deneyler yaparak, zeminlere aksenal gerilme uygulandıkça boşluk suyu basıncında artış meydana geldiğini gözlemlemiştir.

Youd vd. (2001), NCEER/NSF toplantıları sonucunda aldıkları kararları yayınlamışlardır. Yayımlanan kararda sıvılaşma potansiyelini incelemek için ilgili çalışmaları detaylı olarak açıklayarak, arazi deneylerine dayalı yöntemler ile yeni önerilen düzeltmeler hakkında bilgi vermişlerdir.

Aksu ve Toz (2002), 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremden sonra, Sapanca Bölgesinde oluşan konumsal değişikliklerin ve Gölcük Bölgesinde çöken binaların, hava fotoğrafları ve Landsat 7 uydu görüntülerinden sıvılaşma oluşan bölgeleri gösteren bir çalışma yapmışlardır.

Seed vd. (2003), sıvılaşma kavramıyla ilgili bilgiler ve hesap yöntemlerindeki gelişmeleri özetlemişlerdir.

Çelik (2003), Denizli ili yerleşim alanları zeminlerini, jeolojik ve geoteknik açıdan incelemiş, bölgede meydana gelebilecek bir depremde zeminlerin sıvılaşma duyarlılığını belirlemiştir.

Erken vd. (2003), yaptıkları çalışmada, Türkiye’de ve dünyada son 10 yıl içerisinde meydana gelen büyük depremlerin yapısal hasar oluşumunun azaltılması yönünde zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışlarının iyi tanımlanmasının gerekliliğini bir kez daha vurgulamıştır. Bu depremler sırasında, düşük plastisiteli siltler ile kumlu zeminler yaygın olarak sıvılaşmış ve killi zeminler taşıma gücü kaybına uğramıştır. Bu nedenle bu çalışma çerçevesinde öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durulmuş ve düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizinin

nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise plastik silt ve killerin dinamik yükler altında yumuşaması sonucu taşıma gücünün nasıl etkilendiği açıklanmıştır.

Çavuş (2004), gevşek kum depozitlerin sıvılaşma potansiyelini bulanık mantık modelleme yöntemi ile birkaç arazi verisine dayanarak tespit etmiştir.

Atak vd. (2005), 1999 Kocaeli depremi öncesine ve sonrasına ait hava fotoğraflarını kullanarak Sapanca Gölü çevresinde, İzmit Körfezi güney kıyılarında ve Sakarya ili şehir merkezinde zemin sıvılaşması ve faylanma nedeni ile meydana gelen konum değişikliklerini tespit etmişlerdir. Ayrıca farklı tarihlerde alınmış hava fotoğrafları kullanılarak yapılan benzer çalışmalarda, İstanbul ili Avcılar ilçesinde ve Denizli ili Babadağ ilçesinde, zeminde meydana gelen yer değiştirmelerin yönleri ve büyüklüklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak da yeterli sayıda noktada ölçüm yapıldığı takdirde hassas sonuçların elde edilebileceği ve fotogrametrik yöntemin, araştırılan bölgenin tümünü temsil eden sağlıklı yaklaşımlar verebileceği görmüşlerdir.

Karanlık (2006), Hatay, Samandağ, Altinköy ve çevresinin zemin sıvılaşma potansiyelini, bölgeye ait Standart Penetrasyon Test (SPT) verilerini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Elde edilen SPT sonuçları, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan yer ivmesi, derinlik-SPT değerleri arasındaki ilişkileri veren abaklar yardımıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca, inceleme alanı zeminlerine ilişkin granülometrik analiz sonuçları daha önce farklı depremler sonucu, farklı bölgelerde sıvılaşan zeminlerdeki bilinen granülometri aralıklarıyla karşılaştırılmıştır. Sıvılaşma potansiyeline ilişkin elde edilen veriler, çalışma alanının önemli oranda sıvılaşma riski taşıdığını göstermiştir.

Şaylan (2006), Erzincan İli ve çevresinin zemin sıvılaşma potansiyelini, bölgeye ait Kayma Dalga Hızı (Vs) verilerini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışmada Erzincan Altınbaşak Köyü, Erzincan Merkez Afet evleri, Erzincan Geçitköy Afet evleri, Erzincan Emniyet Lojmanları Yanı, 4 nolu Gecekondu Önleme Bölgesi, Çukurkuyu Afet evleri bölgelerinin Vs veri haritaları çıkarılmış, tabaka kalınlıkları hesaplanmış, poisson oran haritası çizilmiş ve sıvılaşma potansiyellerinin olup olmadığı saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çalışma yapılan bölgelerde yüksek oranda sıvılaşma riski olduğu belirlenmiştir.

Tonaroğlu (2006), zeminlerde sıvılaşmaya yol açan etkenlere ve mekanizmalara açıklık getirmek amacı ile bir seri sayısal analiz gerçekleştirmiştir. Sayısal analizlerde LASS III bilgisayar yazılımını kullanmış, nümerik modelde zemin davranışını modelleyen malzeme parametrelerinin değerlerini parametrik çalışmalar ile belirledikten sonra,

sıvılaşmayı etkilediği bilinen faktörlerden en önemlilerinin değişken değerleri ile arazi davranış analizlerini gerçekleştirmiştir. Nümerik analizlerde 20 m kalınlığında üniform bir kum tabakasının davranışını, 1999 Kocaeli depremi Arçelik kaydı taban kayasında etkiyen bir yer hareketi olarak incelemiştir.

Yılmaz (2006), değişik gradasyonlu kumların, devirsel üç eksenli deneyden elde edilen sıvılaşma dirençleri ile geleneksel direkt kesme deney bulguları ve hidrolik iletkenlik deney bulgularının ilişkilendirilebilirliğini araştırmıştır. Çalışma için Paşabahçe silis kumunun değişik gradasyonlu ve değişik ince malzeme içerikli numuneleri oluşturulmuştur. Oluşturulan numunelerin devirsel yükler altındaki sıvılaşma direnci devirsel üç eksenli deney düzeneğinde, gerilme kontrollü olarak elde edilmiştir. Devirsel üç eksenli deney numuneleri üzerinden aynı zamanda numunelerin hidrolik iletkenliği de belirlenmiştir. Özdeş numunelerin mukavemet karakteristikleri ise geleneksel direkt kesme deney düzeneğinde, deformasyon kontrollü olarak elde edilmiştir. Numunelerin 10 çevrim sonunda, boşluk basıncı oranının 0,95 değerine ulaşması için gereken devirsel gerilme oranı (DGO) ile gradasyon karakteristikleri, maksimum ve rezidüel içsel sürtünme açıları ve hidrolik iletkenlik arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Şişman (2006), Türkiye’de birinci derecede deprem bölgesinde yer alan Muğla ili, Fethiye ilçesi yerleşim alanında, senaryo bir deprem sonucundaki sıvılaşma potansiyelini araştırmıştır. İnceleme alanında Standart Penetrasyon Testi darbe sayıları ve kayma dalga hızı ölçülerek sıvılaşma analizi yapılmış, sıvılaşma şiddeti indeksine göre sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır.

Taylan vd. (2007), 1999 depremi sonrasında Adapazarı ve çevresindeki birçok yapıda gözlenen ileri derecede oturma, dönme, ötelenme ve göçme gibi yapı hasarlarına örnek teşkil edecek şekilde vaka analizi gerçekleştirmişlerdir. Deprem odak noktasına yaklaşık 35 km mesafedeki Adapazarı’na bağlı Erenler Bölgesi içerisinde ele alınan konut alanındaki mevcut zemin koşullarının deprem yükü altındaki dinamik davranışları incelenmiş, bölgede yapılmış olan arazi deneyleri ve sondajlar kullanılarak yerel zemin koşulları belirlenmiş ve ciddi hasarların kaynağı olduğu bilinen sıvılaşma etkisi analizlerle ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar kendi içlerinde, yapılan çalışmalarla ve deprem sonrası gözlenen gerçek değerlerle karşılaştırılarak bölgedeki zemine ait sıvılaşma potansiyeli ve taşıma gücü problemleri açıklanmıştır.

Toprak ve Jinguuji (2007), yaptıkları çalışmada sıvılaşma tahminlerinde kullanılmak üzere yeni bir arazi testi ve yöntemi üzerinde çalışmıştır. Konik vibrasyon penetrasyon testi

(VPT) olarak isimlendirdikleri bu test esnasında konik VPT aleti arzu edilen derinliklere ittirilmekte ve vibrasyon uygulanmakta, bu esnada da ivme, boşluk suyu basıncı ve zemindeki elektrik özdirenci ölçülmektedir. Aletin geliştirilmesi, kalibrasyonu ve arazide doğrulanma çalışmaları için bu aletin prototip modeli ile Japonya'da laboratuvar deneyleri, gerçek ölçütlerdeki alet ile de Sapanca Gölü, Adapazarı kıyısında, Antalya'da ve İzmit Körfezi civarında Yalova'da arazi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sahasında gerek zemin özelliklerinin tespitinde gerekse VPT deneyleri ile kıyaslamalar amacıyla CPT ve SPT deneyleri de yapılmıştır.

Ulamış (2007), Ankara kenti batısında Ankara ve Ova çayları tarafından depolanan Kuvaterner yaşlı alüvyon, Üst Pliyosen yaşlı gölsel çökeller ve Miyosen yaşlı killerin jeolojik, jeoteknik ve jeofizik özelliklerini inceleyerek, zeminlerin olası depremdeki dinamik tepkilerini araştırmıştır.

Güngör (2007), İzmir-Mavişehir kuzey üst bölgesi için sıvılaşma analizi yapmıştır. SPT, CPT, sismik kırılma, elektrik özdirenç, mikrotremor vasıtasıyla elde edilen ham veriler ve bölgeden alınan örnekler üzerindeki çeşitli laboratuvar deneyleri ışığında geoteknik zemin profilleri oluşturmuş, analizleri bu zemin kesitleri için yapmıştır.

Koç (2007), Gölcük ve çevresinin deprem kaynaklı sıvılaşma potansiyelini değerlendirmiştir. Kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşma potansiyeli analizleri için Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen Standart Sıvılaşma Yöntemi uygulanmıştır. Sıvılaşma analizleri, Standart Sıvılaşma Analiz yöntemini esas alan LiquefyPro (CivilTech 2002) bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri sonuçları ArcGIS ortamına aktarılmış, Gölcük için ArcGIS ortamında sıvılaşma potansiyeli haritası hazırlanmıştır.

Sağlam (2008), Manisa İli Saruhanlı ilçesi için Konik Penetrasyon Testi (CPT) verileri ile sıvılaşma analizi yapılmış, sıvılaşma şiddeti indeksine göre sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmıştır.

Yalçın vd. (2008), Aksaray İli şehir merkezi için Standart Penetrasyon Test (SPT) verilerini kullanarak sıvılaşma analizi yapmış, çalışma alanı için sıvılaşma şiddet haritalarını hazırlamışlardır.

Sen ve Akyol (2010), kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Sıvılaşma analizleri için Koni Penetrasyon Test (CPT) arazi deneyi sonuçlarından yararlanmışlardır.

Orhan ve Ateş (2011), yaptıkları çalışmada Manisa (Saruhanlı) ilçesinde, alüvyal zeminlerin sıvılaşmadan kaynaklanan taşıma gücü kayıplarını belirlemişlerdir. İlçenin

yaklaşık 33 km güneyinde ve 150 km uzunluğundaki “Gediz Grabeni Fay Zonu”nun, bölgeyi etkileyebileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3’nün kırılacağı tahmin edilerek, büyüklüğü 7.1 olan bir depremde, en büyük yatay deprem ivmesinin 0.28g oluşabileceği hesaplanmış, devamında sıvılaşma risk haritası hazırlanmıştır. Risk haritasına göre sıvılaşan lokasyonlardan, numuneler alınmış, laboratuarda arazi şartlarına uygun deney numuneleri hazırlanarak arazide maruz kaldıkları efektif jeolojik yüke eşit oranda konsolide edilmiş ve gerilme kontrollü devirsel yükler sinüzoidal olarak uygulanmıştır. Bu çalışma çerçevesinde öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durulmuş, düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizinin nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Çalışmanın son aşamada ise plastik silt ve killerin dinamik yükler altında yumuşaması sonucu taşıma gücünün nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Tosun vd. (2011), Eskişehir ili şehir merkezi için Standart Penetrasyon Test (SPT) verilerini kullanarak sıvılaşma analizi yapmış, çalışma alanı için sıvılaşma potansiyel haritalarını hazırlamışlardır.

Dixit (2012), Standart Penetrasyon Testine (SPT) dayanan basitleştirilmiş prosedürü kullanarak, Mumbai şehir merkezi için sıvılaşma indekslerini belirlemiş ve sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda inceleme alanı içerisinde birçok yerde sıvılaşma gözlenmiştir.

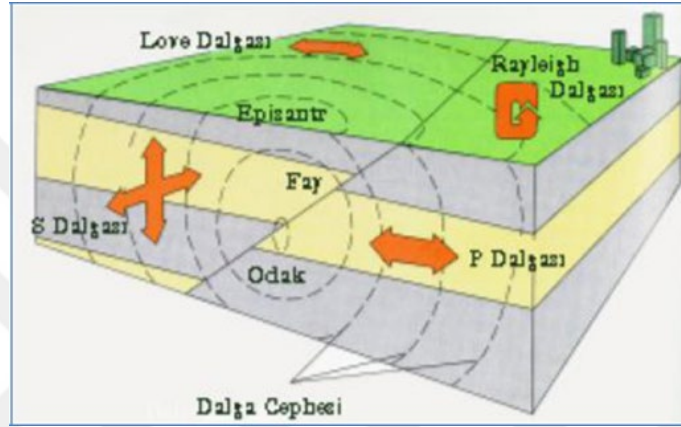
Duman ve İkizler (2014), Duman vd. (2014) ve Duman vd. (2015), Kuzey Anadolu Fay Hattı etki alanında bulunan Erzincan ilinin olası bir depremden etkilenebileceği öngörüsü ile 6.0, 6.5, 7.0 ve 7.5 büyüklüğündeki senaryo depremleri için SPT verilerini esas alan analiz yöntemleri ile MATLAB programlama dilini kullanarak sıvılaşma potansiyeli değerlendirme çalışmaları yapmışlardır. Araştırmacılar sismik hareketlerin sıvılaşmayı önemli ölçüde arttığını göstermiştir.

1.4. Deprem

Yerkabuğu içindeki kırılmalar sebebiyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem denir. Deprem genellikle fay hattı boyunca gerçekleşir. Deprem anında bir enerji boşalımı gerçekleşir. Tektonik gerilmeye maruz kaldığında, fay boyunca kayalar önce bükülür, daha sonra gerilme fay zonundaki sürtünme dayanımını aştığında, kayalar aniden yeni pozisyonlara hareket eder

(Rahn, 2006). Bir kalem iki ucundan tutulup bükülürse ortasından eğilmeye başlar. Yeterli miktarda kuvvet uygulandığında kalem kırılır ve biriken enerji serbest kalır. Yerkabuğu da buna benzer davranış sergiler. Plakalar hareket ettikçe üzerlerine kuvvet birikir. Eğer bu kuvvet yeterince büyükse kabuğu kırılmaya zorlar. Kırılma oluştuğunda biriken gerilmeler enerji olarak açığa çıkar. Bu enerji yerkürede dalgalar halinde yayılmaya başlar. Bu olaya deprem denir (Canbey vd., 2008).

Bir depremi anlayabilmek için bazı parametreleri bilmek gerekir (Şekil 2).



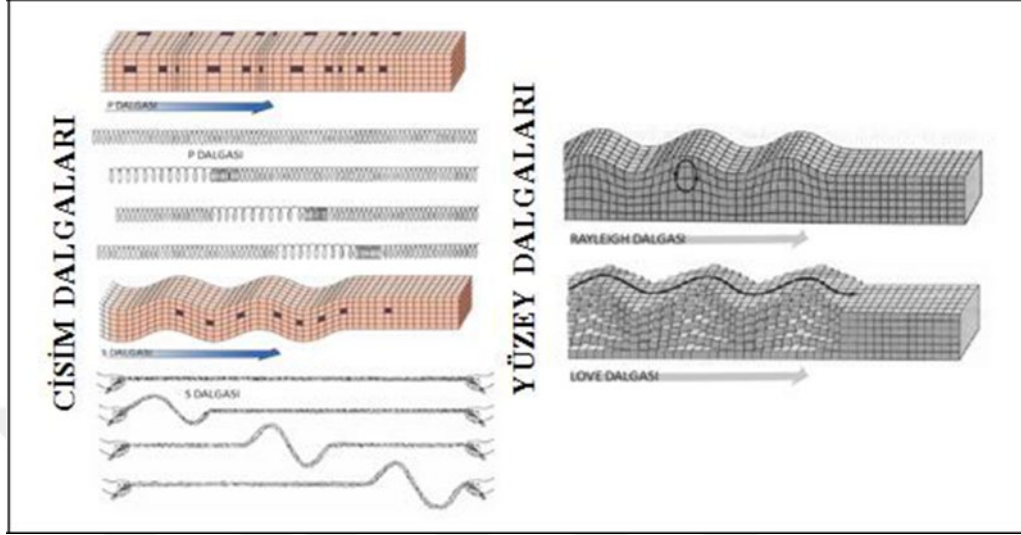
Şekil 2. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı (Onur, 2007)

Deprem olduğunda sismik dalgalar iç merkez (odak, hiposantr) noktasından tüm yönlere yayılır. İç merkez, deprem enerjisinin başladığı bölgedir. Bir depremin dış merkezi (episantr) ise, iç merkez noktasının tam üzerinde yeryüzündeki noktadır.

Enerjini deprem kaynağından yeryüzüne doğru yayıldığı yol, dalga hareketi olarak tanımlanır. Deprem kaynağındaki enerji, dalga hareketi olarak yüzeye ulaşır. Bir dalga bir ortamdan geçen bir çeşit örselenmedir; fakat ortam bir bütün olarak dalga hareketi yönünde ilerlemez. Bir su birikintisine düşen taş tarafından üretilen dalga haizlerine benzerlik gösterir. Taş düştükten sonra suda hareketlenme olur ve düşme noktasından dışa doğru dalga yayılır; su birikintisinin kenarına ulaşır (Yeats vd., 2006).

Deprem meydana geldiğinde oluşan sismik dalgalar, cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere 2 grupta incelenir (Şekil 3). Yerkürenin içinde hareket edebilen cisim dalgaları P dalgası ve S dalgası olmak üzere ikiye ayrılır. P dalgaları içinden geçtikleri ortamın art arda sıkışmasına veya genişlemesine, S dalgaları ise geçtikleri ortamların kayma deformasyonuna uğramalarına sebep olurlar. Yüzey dalgaları, cisim dalgalarının yeryüzü

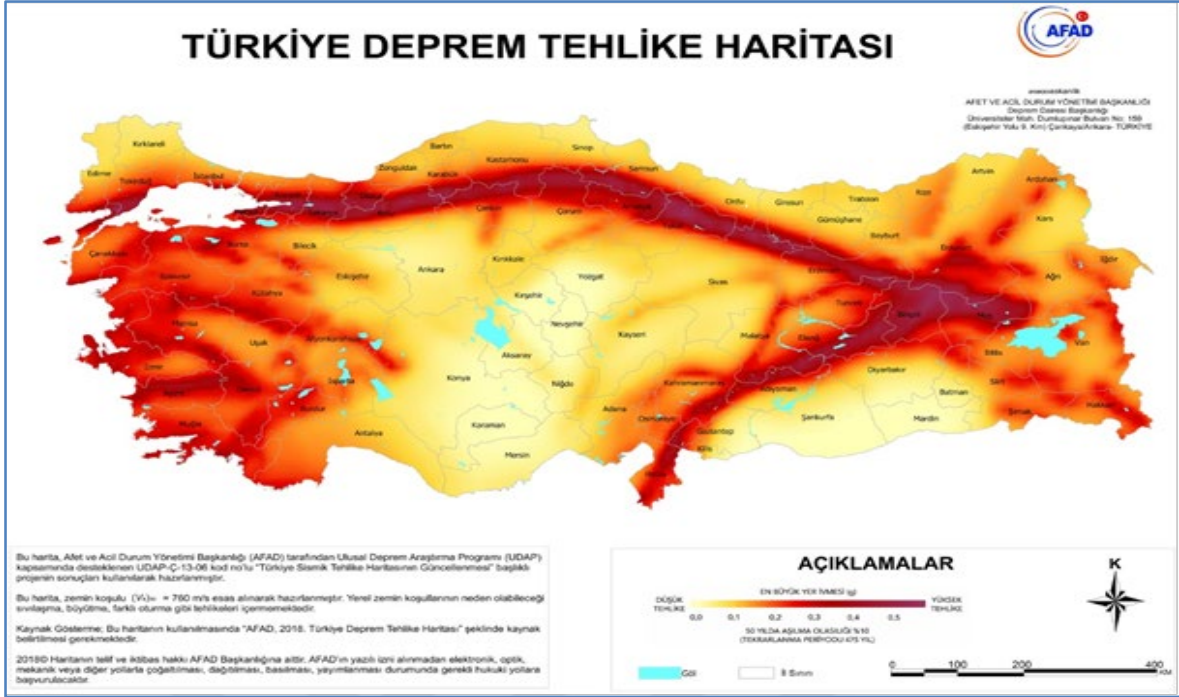
veya yeryüzü tabakalarıyla olan etkileşimlerinden meydana gelirler. Mühendislik açısından en önemli yüzey dalgaları Rayleigh ve Love dalgalarıdır (Canbey vd., 2008).



Şekil 3. Cisim Dalgaları ve Yüzey dalgaları (Kutunis, 2005)

1.4.1. Türkiye'nin Depremselliği

Tektonik açıdan Türkiye, Afrika, Arap, Anadolu ve Avrasya plakalarının üstünde yer alıp, Afrika ve Avrasya levhalarının çarpışmaları sonucu oluşan karmaşık deformasyonların meydana getirdiği yanal ve düşey atımlı fay formasyonlarını içeren Akdeniz Deprem Kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Bu tektonik levha yapılanması çerçevesinde Türkiye'de meydana gelen sismik aktivite üç temel oluşum tarafından kontrol edilir: (1) Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), (2) Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), (3) Batı Anadolu Gerilme Yapısı (Canbey vd., 2008). Türkiye'yi saran deprem kuşakları Türkiye topraklarının büyük bir kısmını tehlike altına almaktadır (Şekil 4). Harita bulunan değerler AFAD deprem yönetmeliği 2018 tarafından hazırlanmıştır. Haritadan da görüldüğü gibi Türkiye'de depremler sıkça meydana gelmektedir. Türkiye'de meydana gelen 1939 Erzincan depremi, 1999 Marmara depremi ve 2011 Van depremi ülkemizde gerçekleşen büyük depremlerdendir.



Şekil 4. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (URL-1)

1.4.2. Depremlerin Yol Açtığı Zemin Problemleri

Deprem etkisi altında oluşan problemler zeminin yeraltı su seviyesi derinliğine, depremin etki ettiği bölgenin herhangi bir su kaynağına yakın olup olmadığına, deprem meydana geldiği yapıların tiplerine ve zeminin cinsine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. URL-1, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx>

Zeminlerin dane oranları depremin etkisi altında kalan bölgelerde farklılık oluşturur. İri daneli zeminler deprem esnasında oluşan titreşimle birlikte yüklerin etkisiyle, daneler kendi arasında sıklaşmaya başlar. Bu da çok fazla ve farklı oturmalar meydana getirir. Depremin etkisi altında daimî yükler boşluklar meydana getirir. Bu boşluklara etkiyecek olan suyun basıncının artmasına neden olur. Buna bağlı olarak zeminin rijitliği ve mukavemeti azalır. Yapıların taşıma güçlerinin kayıplarına ve titreşimden kaynaklı şev kaymalarına neden olabilir.

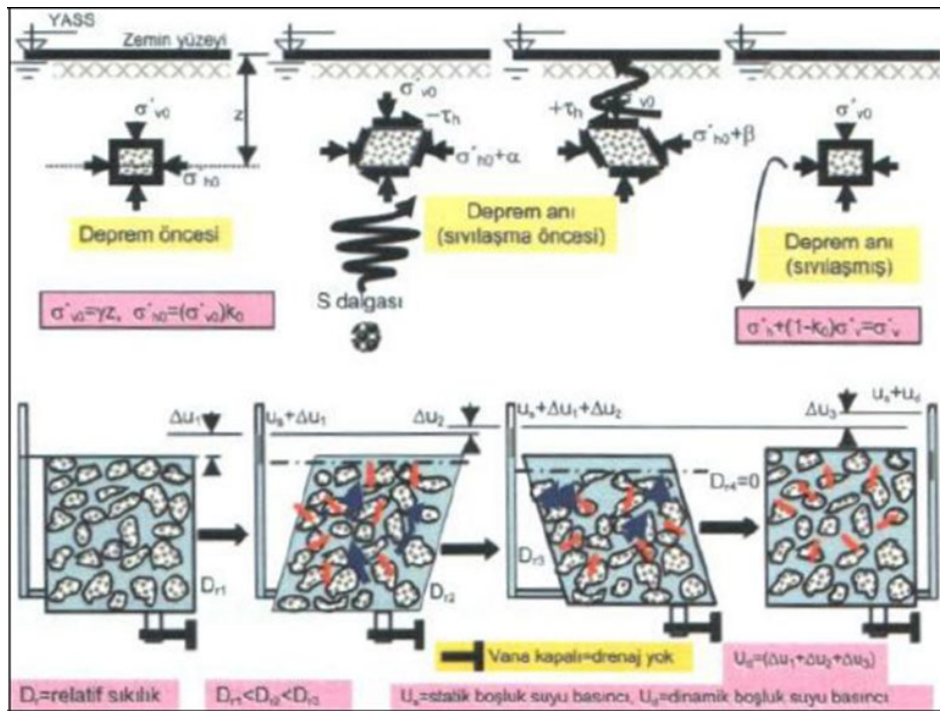
Deprem sırasında yerin altından geçmekte olan sismik dalgalar, gevşek ve ayırık taneli zeminlerin genliklerinin artmasına neden olmaktadır. Deprem esnasında oluşan titreşimler ve dinamik hareketler yumuşak ve kohezyonsuz zeminlerin mukavemetlerini ve dayanımlarını kaybetmesine sebep olur. Zemin tabakasının sert ve dayanıklı hali olan katı

halden sıvı hale geçmesine sebep olabilir. Zeminlerde gerçekleşen bu olaylara sıvılaşma denilmektedir. Zeminlerin sıvılaşması aşağıda maddeler halinde incelenmiştir.

1.5. Zeminlerde Sıvılaşma

Deprem meydana geldikten sonra oluşturduğu hasar ve yıkımların sıvılaşmanın etkisiyle olup olmadığı üzerine tartışmalar olmaktadır. Türkiye’de gerçekleşen (1992 Erzincan, 1999 Adapazarı) depremlerinde zeminin sıvılaşma konusunun önemli olduğu görülmüştür.

Deprem esnasında oluşan kayma dalga yayılımının sebep olduğu, devirsel kayma gerilmeleri geçirgenlikleri düşük gevşek, suya doymuş kohezyonsuz zeminlerin hacminde büzülmeye sebep olur. Bundan dolayı zemin taneleri birbirlerine doğru sıkışır. Taneler arası yük aktarımı gerçekleşir. Yük aktarımı boşluk suyunun artmasına neden olur. Sismik sarsıntı çok hızlı olduğu için, gevşek zeminler drenajsız yüklemeye maruz kalırlar. Boşluk suyu basıncı oluşur. Meydana gelen basınç öyle bir düzeye gelir ve artar ki taneler arası temas(gerilme) kaybolur. Bu taneli zemin katı zemin gibi değil sıvı zemin halini alır. Bunun sonucunda sıvılaşma meydana gelmektedir. (Çavuş, 2004). Şekil 5’te sıvılaşmanın fiziksel süreci anlatılmaktadır.



Şekil 5. Sıvılaşmanın fiziksel süreci (Mollamahmutoglu ve Babuçu, 2006)

Sıvılaşma gevşek suya doymun kohezyonsuz zeminlerde meydana gelir. Sıvılaşmanın çoğunlukla meydana geldiği zeminler aşağıda gibi verilmiştir;

- Suyu doymun siltli kum ve iri kum zeminlerde suyun yapay veya doğal yollarla uzaklaştırılması durumları yetersiz ise,
- Zeminin ortalama tane çapı $D_{50}=0,02$ ile 1,00 mm arasında ve ince malzeme yüzdesi de ($d \leq 0,005$ mm) %10'unu geçmiyor ise,
- Üniformluk katsayısı (CU) < 10 ise,
- Rölatif sıkılık, $D_r < \%75$ ise, zeminin sıvılaşması olasılığı yüksektir. Bu tarz zeminlere sahip bölgelerde deprem parametresi sıvılaşma olayını tetiklemektedir. Başka bir deyişle belli büyüklükteki depremlerde bu zeminler sıvılaşmaya maruz kalır. (Şişman, 2006).

1.5.1. Sıvılaşma Türleri

Yapılarda bulunan hasarlara göre sıvılaşma ikiye ayrılır:

- Akma türü sıvılaşma
- Devirsel hareketlilik (mobilite)

1.5.2. Akma Türü Sıvılaşma

Akma türü sıvılaşma, genellikle suya doymun kıyı bölgelerindeki zeminin statik dengesinin sağlanamamış durumuna denir. Kayma gerilmelerinin, sıvılaşma meydana gelen zeminin dayanımından büyük olduğu durumlarda görülür. Genellikle zeminin yamaç eğimi çöktür ve akma sıvılaşmasının süresi kısadır. Büyük bir zemin kütesinin çok fazla yer değiştirmesiyle meydana gelen bu tür sıvılaşma gerçekleşikten sonra kayma gerilmeleri tarafından devam eder. Daha çok suya doymun zeminlerde gerçekleşmektedir. (Kramer, 1996) (Zemin Sıvılaşması Çalışma Notları, KTÜ 2008)

1.5.2.1. Devirsel Mobilite

Devirsel hareketlilik deprem sonucu yapılarda kalıcı deformasyonlara ve hasarlara yol açan bir çeşit sıvılaşmadır. Devirsel hareketlilik, akma sıvılaşmasının aksine statik kayma

gerilmesinin, sıvılaşmamış zeminin kayma dayanımından küçük olduğu zaman gelişmektedir. Devirsel hareketlilik sonucunda ortaya çıkan deformasyonlar, depremin titreşimi esnasında kademeli olarak devam eder. Akma sıvılaşmasının aksine devirsel hareketlilik ile oluşan deformasyonlara neden olan faktörler, hem devirsel gerilmeler, hem de statik kayma gerilmeleridir (Uyar, 2006). Genellikle eğimi az olan bölgelerde ve düz yüzeylerde zeminin yanal hareketiyle gerçekleşir. Bu tür sıvılaşma hareketinin gerçekleştiği bölgelere yapılan yapılarda önemli ve ciddi hasarlara sebep olabilir. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006) (Duman, 2013).

Devirsel hareketlilik diğer sıvılaşma türünden ayıran özellik düz yüzeyli yerlerde gerçekleşmesidir. Zemindeki yanal yer değiştirmeleri engel olacak yatay yönde kayma gerilmelerinin bulunmaması, zeminde düzensiz hareketleri ortaya çıkarmaktadır. Bunun sonucunda su aşırı miktarda boşlukta basınç oluşturmaktadır. Zemindeki suyun basıncının giderilmesi için su yukarı yönde yani yüzeye doğru hareket etmektedir. Suyun boşluktaki hareketi aynı zamanda zeminin çatlak kısımlarında kumun taşınmasına sebep olabilir. Bu kumun taşınması kumun kaynaması olarak adlandırılmaktadır. Bu durum düşey yönde oturmalar meydana getirecektir.

1.5.3. Sıvılaşmanın Neden Olduğu Hasarlar

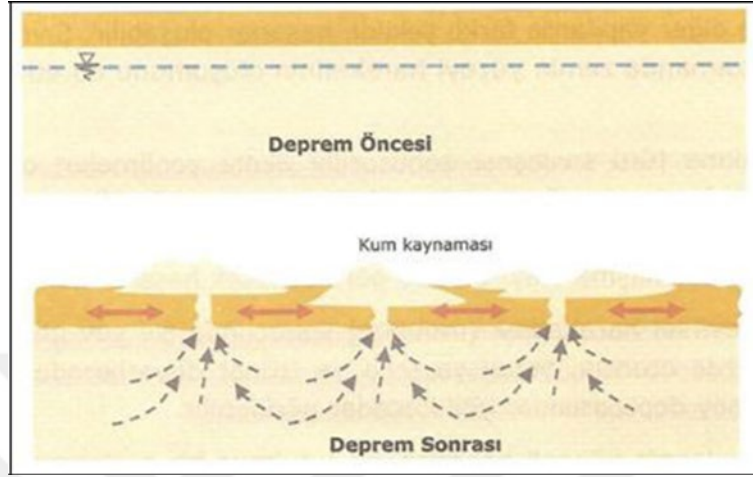
Akma türü ve devirsel hareketlilik sıvılaşmadan dolayı kıyı kesimlerde yapılan binalarda, suya doygun halde bulunan zeminlerin üzerine inşaa edilen köprülerde, yeraltındaki boruların hatlarında yanal ve düşey yönde olan hareketler sonucu hasarlar ve kazalar meydana gelmektedir.

Bina yükleri olarak çok olan yapıların batması veya devrilmesi, az miktarda zemine gömülü yapıların yüzeye çıkması ve istinat duvarlarının yıkılması akma türü sıvılaşmadan kaynaklı hasarlardandır. Devirsel hareketlilik (mobilite) sonucunda ise şev göçmesi, binalarda oturma, yanal yayılma ve düşey deplasmanlar gibi hasarlar görülebilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)(Duman,2013).

1.5.3.1. Kum Kaynaması

Deprem sırasında ve sonrasında zemindeki suyun boşlukta çok fazla basınç oluşturmasından dolayı efektif gerilme azalır. Efektif gerilme değeri sıfır veya negatif

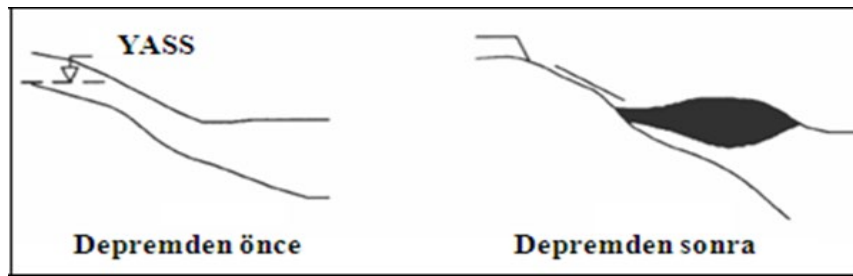
olmaktadır. Boşluktaki su yüzeye doğru hareket ederken zemin tanelerini de yüzeye çıkarır. Eğer yüzeye doğru hareket eden kum tanelerinin enerjileri yeterli seviyede olması halinde kum kaynamaları yüzeyde oluşur (Şekil 6).



Şekil 6. Yüzeyde kum konileri oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

1.5.3.2. Akma Göçmesi

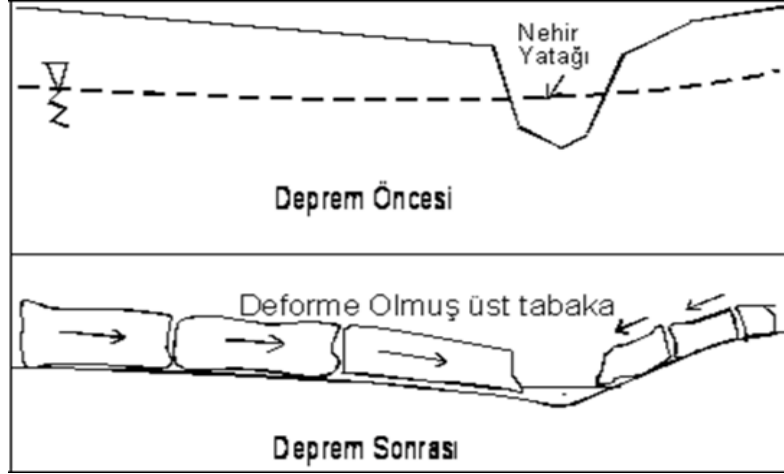
Eğimli arazilerde meydana gelen akma göçmeleri, şevlerin yenilmelerine sebep olmaktadır. Akma göçmeleri aniden ve çabuk olmasından dolayı sıvılaşmadan kaynaklı en hasarlı göçmelerdir. Aşağıdaki şekilde akma türü kayma görülmektedir. (Şekil 7)



Şekil 7. Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma (Uyanık, 2002)

1.5.3.3. Yanal Yayılma

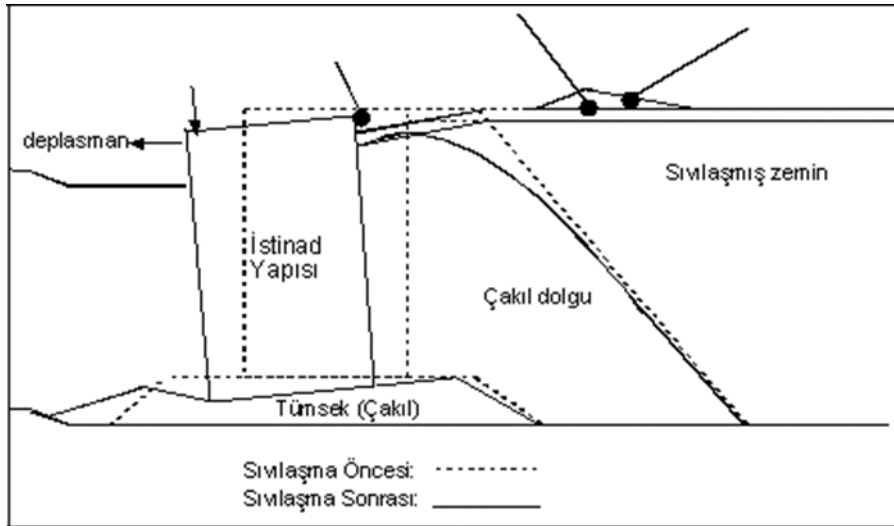
Yanal yayılma eğimin az olduğu yamaçlarda, deniz ve kıyı kesimlerin düz alanlarında gerçekleşir. Sıvılaşan zeminler ya bloklar halinde sürüklenir ya da yanal hareket olarak hareket eder (Şekil 8).



Şekil 8. Yanal yayılma oluşma biçimi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

1.5.3.4. İstinat Yapısı Yenilmesi

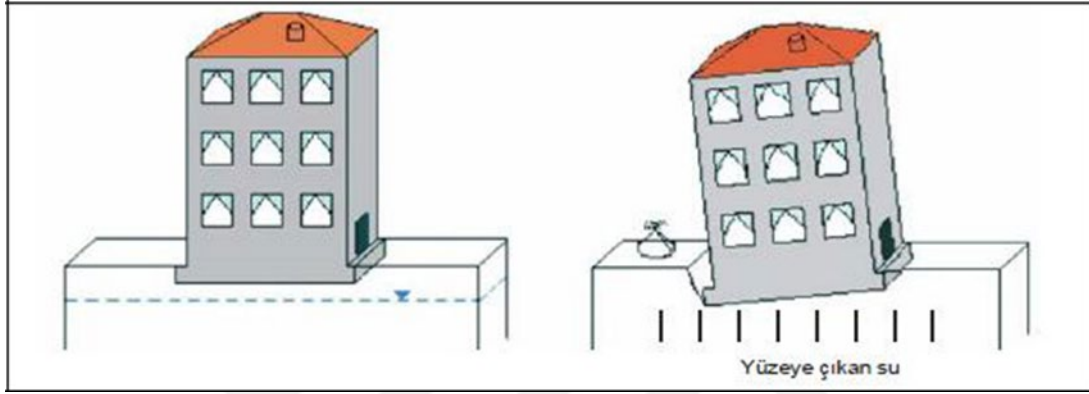
İstinat yapısına gelen desteğin az olmasından veya istinat yapısı arkasındaki sıvılaşmadan kaynaklı yanıl yükler sonucu yenilme gerçekleşir. Buna bağılı olarak yapı düşey ve yatay yer değıştirmeler gösterebilir. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006). Şekil 9’da şematik halde istinat yapısının deplasmanı görülmektedir.



Şekil 9. İstinat yapısı yenilmesi (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)

1.5.3.5. Taşıma Gücü Kaybı

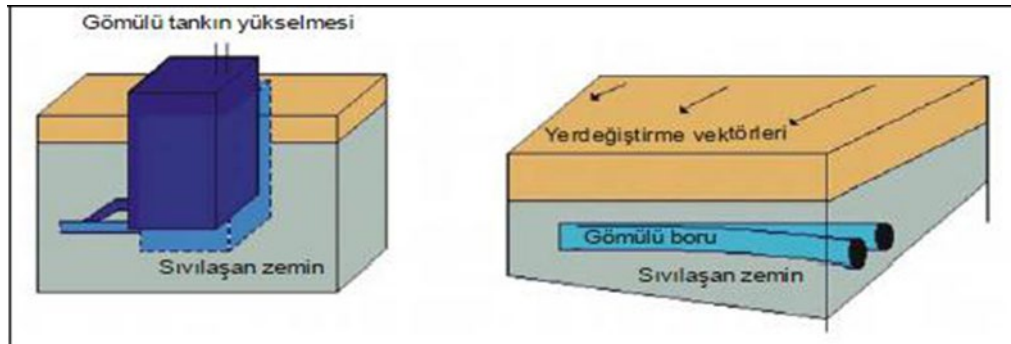
Zeminlerde meydana gelen sıvılaşma sonucunda zeminlerin taşıma gücü kaybı gerçekleşir. Taşıma gücü kaybolan yapılarda devrilme, yana doğru yatma ve zemine batma gibi durumlar görülebilir. (Durmaz,2013) Şekil 10'da zeminin yüzeye çıkan sudan dolayı taşıma gücü azalması sonucu hasar görmüş yapıya örnek verilmiştir.



Şekil 10. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi (Sönmez, 2006)

1.5.3.6. Gömülü Hafif Yapıların (boru, tank vb.) Yükselmesi

Zemine gömülü şekilde olan tanklar, muayene bacaları ve boru hatları gibi yapıların zeminindeki sıvılaşma sebebiyle yapıların yüzeye doğru hareket etmesine neden olur. Zemin içindeki suyun kaldırma kuvvetiyle yapıya verdiği hasar Şekil 11'de görülmektedir (Duman, 2013).



Şekil 11. Gömülü hafif yapılarda, sıvılaşma sonucu gelişen yükselmeye bağlı hasarlar (Sönmez, 2006)

1.5.4. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Sıvılaşmaya sebep olan birçok faktör vardır. Sıvılaşma deneyler ve arazi gözlemlerine dayanılarak belirlenir. Bu faktörler ikiye ayrılır. Zemin faktörleri ve dış faktörler aşağıda incelenmiştir.

1.5.4.1. Sıvılaşmaya Etki Eden Zemin Faktörleri

1.5.4.1.1. Zemin Tipi

Sıvılaşmaya eğilimli zemin türleri kohezyonsuz (plastik olmayan) zeminlerdir. Kohezyonsuz zeminler sıvılaşmaya karşı direnç bakımından en az dirençli zeminlerdir. Buna bağlı olarak plastik olmayan siltli kumlar, temiz kumlar, plastik olmayan siltler ve zaman zaman da çakıllı zeminlerde görülebilmektedir.

Sıvılaşan zeminleri daha detaylı aşağıda açıklanmıştır:

- Kumlu zeminler;

Sıvılaşmanın en çok görüldüğü zeminler temiz kumlardır. Zemindeki kumun yapısı gevşek ise zeminin boşluklarındaki su basınç oluşturacaktır. Bu basınç zamanla artar ve zemin dayanımının azalmasına neden olur. Buna bağlı olarak zeminde deformasyonlar oluşur. Aynı anda silt ve kumun bulunduğu zeminler plastisitesi çok fazla olan zeminlerdir. Plastik olmayan siltler çok kolay sıvılaşabilirler.

- Killi zeminler;

Killi zeminlerde ise plastisite ve likit limit değerleri ele alınır. Bu değerler belli sınıra altında ise sıvılaşmaya meydana gelebilir. Youd ve Gilstrap (1999) tarafından açıklanan kriterlere göre, likit limit değeri 35'den küçük olmalıdır ($LL < 35$).

- Çakıllı zeminler;

Çakıllı zeminler iri taneli zeminler olması sebebiyle gevşek halde nadir bulunur. Çakıllı zeminler geçirimsizlikleri yüksek olduğundan sismik yüklemeler esnasında boşluktaki suyun basıncını çabuk sönmüleyebilir.

1.5.4.1.2. Zeminin Rölatif Sıklığı (D_r)

Herhangi bir zemin tabakasının içinde bulunan zemin danelerinin en sıkı ve en gevşek olduğu durumlara karşılık gelen sıklık derecelerinin karşılaştırılması olarak açıklanır. Kum, çakıl gibi ayrık daneli (kohezyonsuz) zeminlerde, zeminin sıklığını gösteren bir değerdir. Tablo 1’de Seed ve Idriss (1971)’e göre rölatif sıklığın sınıflandırması gösterilmektedir. Bu sınıflandırmaya göre rölatif sıklığın %65’ten büyük olduğu zamanlarda sıvılaşmanın gerçekleşmeyeceği düşünülebilir.

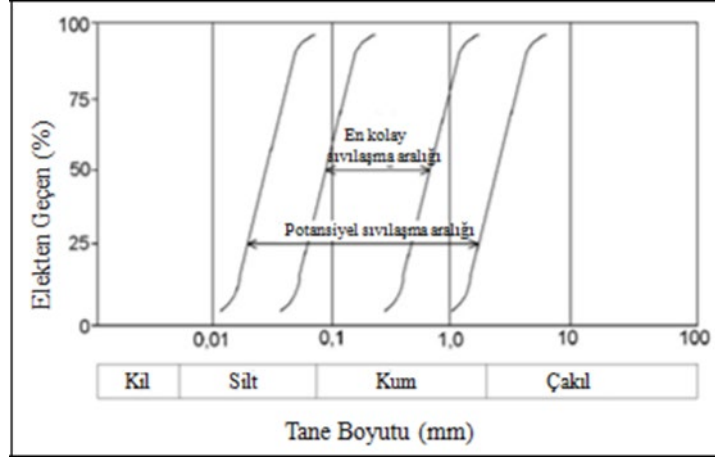
1964 yılında meydana gelen Niigata depreminde sıvılaşma oluşmuştur ve rölatif sıklık %50 kumlu zemindir. Rölatif sıklığı %70 olduğu bölgelerde ise sıvılaşma olmamıştır. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Tablo 1. Rölatif sıklığa göre zeminlerin sınıflandırılması

Rölatif Sıklık (D_r) %	Açıklama
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

1.5.4.1.3. Tane Boyu Dağılımı

İyi derecelenmiş zeminlerin daneleri arasındaki boşluk azdır. Zeminin drenajsız olması durumunda boşluk suyu basıncı azalır. İyi derecelendirilmiş zeminlerde sıvılaşma ihtimali azdır. Üniform derecelenmiş zeminlerde ise daneler arası dizilim karışık ve dengesizdir. Bu tür zeminlerin sıvılaşmaya duyarlılığı iyi derecelendirilmiş zeminlere göre daha fazladır. Şekil 12’de, sıvılaşmaya eğilimli zeminlerin dane boyu açısından alt ve üst sınırlarının dane boyu dağılımı eğrileri gösterilmiştir (Duman, 2013).



Şekil 12. Zeminlerde sıvılaştırılabilir granülometri aralığı (Akkaş, 2006)

1.5.4.1.4. Drenaj Şartları

Suya doygun kohezyonsuz zeminlere etkiyen tekrarlı yükler sonucu zeminde bulunan boşlukların hacminde daralma görülür. Drenajın olmadığı durumlarda zeminin boşluk suyu basıncı artış gösterir. Boşluk suyu basıncı sönmülenebilirse zeminde sıvılaştırma durumu oluşmayabilir.

1.5.4.1.5. Çevre Basınçları

Bir zeminin çevresinin basıncının fazla olması sıvılaştırmaya duyarlılığın az olduğunu gösterir. Arazi çalışmaları sıvılaştırma bölgesinin genellikle 15-20 m'lik derinliğe kadar olduğunu göstermektedir. Bu derinlikten daha fazla derinlikte sıvılaştırma potansiyelinin olmayacağı veya ihtimalinin çok düşük olduğu düşünülmektedir. Fakat sıvılaştırma analizinin hangi derinlikte sonlandırılacağı konusunda mühendislik düşüncesi ve tecrübesi gereklidir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006) (Duman, 2013).

1.5.4.1.6. Tane Şekli

Zeminin sıvılaştırma potansiyelini etkileyen diğer faktör tane şeklidir. Zemindeki taneler ne kadar yuvarlarsa o kadar sıvılaştırmanın meydana gelme ihtimali yüksektir. Köşeli taneli zeminlerde ise sıvılaştırma potansiyeli daha düşüktür.

1.5.4.1.7. Çimentolanma

Çimentolaşma zemindeki tanelerin birbiriyle olan etkileşimi sonucu oluşur. Böyle bir durumda zemin sıkılaştır ve sıvılaşma potansiyeli de azalır.

1.5.4.1.8. Sismik Geçmiş

Araştırmacılar daha önceden sıvılaşmaya maruz kalmış olan zeminlerin herhangi bir yeni sismik hareketler (depremler) ile karşılaştıklarında tekrar sıvılaşma ihtimalinin yüksek olduğunu arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla kanıtlamışlardır.

1.5.4.2. Sıvılaşmaya Etki Eden Dış Faktörler

1.5.4.2.1. Depremin Büyüklüğü ve Süresi

Sıvılaşmaya neden olan en önemli etkenlerden biri depremlerdir. Sıvılaşmaya etki eden faktörler incelenirken depreminde birkaç özelliğine dikkat edilmelidir. Bunlardan biri depremin büyüklüğü diğeri ise depremin süresidir.

Sıvılaşmaya neden olan parametrelerden biri depremin büyüklüğüdür. Depremin büyüklüğü yüksek olması ivmenin de artmasına sebep olur. İvmenin artmasıyla birlikte sıvılaşma da gerçekleşebilir.

Depremin süresinin uzaması zemine gelecek olan yükleri tekrarlı şekilde etkileyecektir. Uygulama süresinin artması da sıvılaşma tehlikesini artıracaktır (Dere, 2009) (Duman, 2013).

1.5.4.2.2. Bina Yükleri

Bir kum veya siltli zemin üzerine yapılacak olan ağır yapılar sıvılaşma direncini azaltır. Örneğin ağır bir yapı radye temel üzerine yapılmış olsun. Radye temel üzerine etkiyecek olan yükler zemine kayma gerilmeleri oluşturur. Bu da zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlı yapar. Bunun nedeni; zeminin hacimsel büzülmesidir (Mollamahmutoglu ve Babuçu, 2006).

1.5.5. Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Laboratuvar ve Arazi Deneyleri

Herhangi bir deprem esnasında suya doygun gevşek zeminlerde sismik hareketlerden dolayı sıvılaşma meydana gelmekte; zemin tabakasının dayanımı azalmaktadır. Buna bağlı olarak zemin üzerine oturtulan yapılarda hasarlar oluşmaktadır. Zemin üzerine oturtulan yapılar ister tek katlı bir yapı olsun isterse ağır yüklü bir yapı temel altındaki zeminin sıvılaşma potansiyeli önceden bilinmesi gerekir. Eğer zemin kıyı bölgesinde veya suya doygun zemin ise yapıların ve zeminin güvenilirliği açısından incelemeler yapılmalıdır. Bölgenin sıvılaşma potansiyelini belirlemek istenirse laboratuvar dinamik deney yöntemleri kullanılmalıdır. Bu deneyler dışında arazi çalışmaları ve arazi deneylerinden yararlanılır (Yatman, 2006),(Duman, 2013).

Laboratuvarda yapılan deneyler deformasyon olarak yüksek deneylerdir. Kayma deformasyonunun yüksek olduğu genliklerde zeminde hacimsel değişimler olabilir. Zemin davranışı efektif gerilme ile belirlendiğinden, yüksek deformasyon seviyelerinde yapılan deneylerde numunenin boşluk suyu drenajı kontrolü ve hacim ve/veya boşluk suyu basıncı değişiminin ölçümü kesinlikle sağlanmalıdır (Akkaş, 2006),(Duman, 2013).

1.5.5.1. Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Laboratuvar Deneyleri

Sıvılaşma potansiyeli belirlemek için kullanılan deneyler, devirsel üç eksenli basınç deneyi ve devirsel basit kesme kutusu deneyidir.

1.5.5.2. Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Arazi Deneyleri

Arazi deneylerinin olumlu yanı zeminin doğal durumda incelemiş olmamızdır. Arazi deneylerindeki incelemelerde derinlik olarak istenilen derinliğe ulaşılabilir. Fakat sismik davranışı göstermek zor olduğundan sıvılaşma potansiyelini ölçmek yapılan deneylerde, sıvılaşmayla ilgili doğrudan bilgilere ulaşılmaz. Sıvılaşma potansiyelini belirleyebilmek için geçmiş yıllarda meydana gelmiş depremler incelenerek bir yorum yapılabilir.

Sıvılaşma analizlerinde çoğunlukla, standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) ve kayma dalga hızı (Vs) deneyi kullanılmaktadır.

Bu tezde yapılan incelemeler ve araştırmalar standart penetrasyon deneyi (SPT) kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem daha ayrıntılı şekilde anlatılacaktır.

1.5.5.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

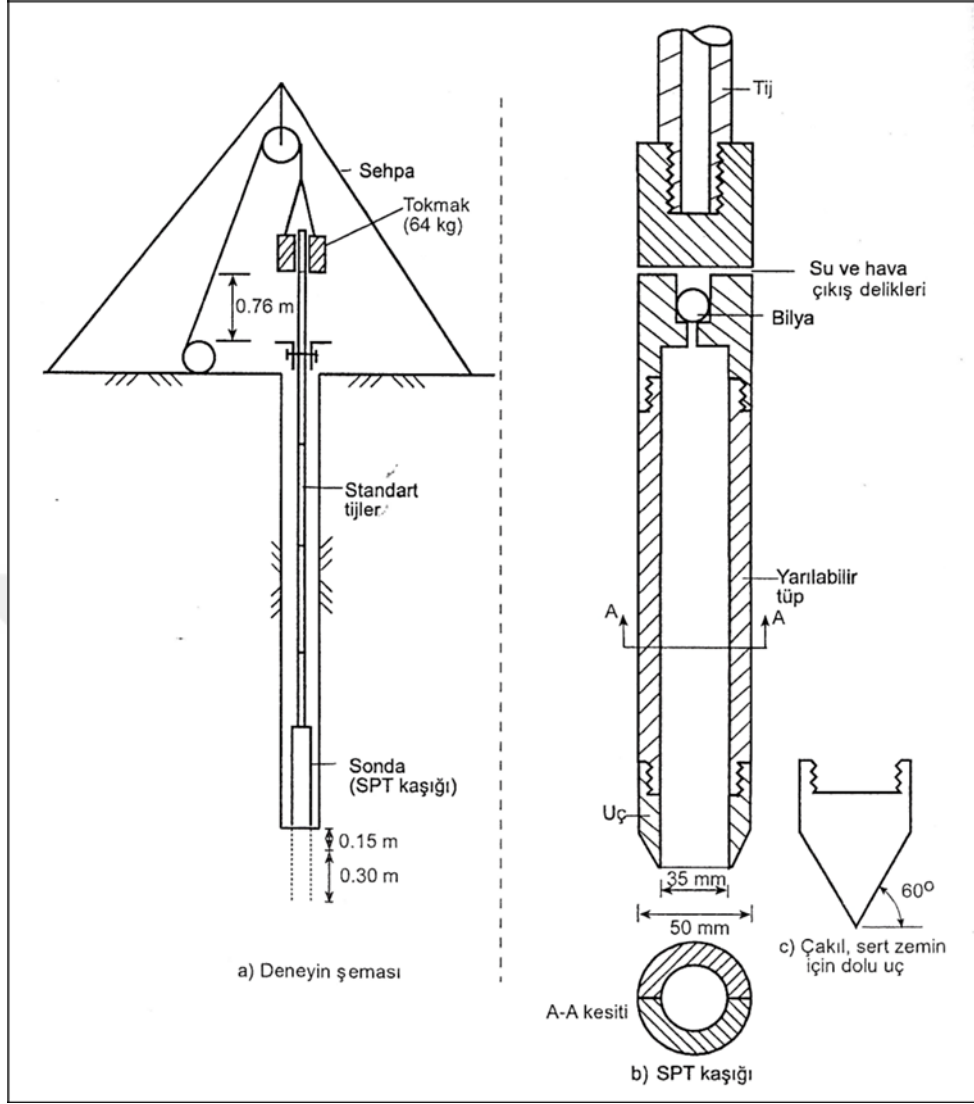
Standart penetrasyon deneyi geoteknik mühendisliği, inşaat mühendisliği gibi birçok dalda kullanılan en eski arazi deneyleridir. Dünya uygulandığı gibi ülkemizde de genellikle kullanılan bir deneydir.

Standart penetrasyon deneyinin diğer deneylere göre üstün tarafları bulunmaktadır.

Örneğin, T_{ij} , numune alıcı, tokmak gibi mekanik donanımlar basittir ve dayanıklıdır. Standart penetrasyon deneyinin, sondaj işlemi esnasında kuyu içine kolayca uygulanabildiğinden maliyet olarak düşüktür. Deneyin avantajlı yanlarından biri de kuyudan numune alınabilmesidir. Standart penetrasyon deneyi (SPT), tüm zeminlerde ve yeraltı su seviyesinin altında da uygulanabilmektedir. (Sivrikaya ve Toğrol, 2009).

1.5.5.2.1.1. Standart Penetrasyon Deneyinin Yapılışı

SPT, standart bir ucun 63,5 kg ağırlıktaki tokmağın 76cm yükseklikten düşürülerek zemine çakılması ile yapılır. (Şekil 13). SPT zeminin neresinde ve hangi derinliğinde yapılacaksa uç oraya kadar çakılacaktır. Toprak üzerindeki kısmı 15 cm aralıklı üç parça şeklinde işaretlenir. Sonrasında tokmak 76 cm yükseklikten boruya düşürülür. Ucun 15 cm ilerlemeyi kaç vuruşta yaptığı not edilir. Yumuşak zeminlerde vuruş sayısı azken sert zeminlerde ise vuruş sayısı fazladır. Standart ucun zemine son 30 cm'lik kısmı toplam darbe sayısı verir. Bu sayı zeminin penetrasyon direnci olarak adlandırılır. Bu deney türü, gevşek kohezyonsuz zeminler yanında sıkı kum sert killerde de uygulanabilmektedir (Sivrikaya ve Toğrol, 2003).



Şekil 13. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) şeması ve SPT kaşığı (Uzuner, 2011)

1.5.5.2.1.2. Yer Altı Su Seviyesi İçin Düzeltmeler

Zemindeki yükün dinamik şekilde uygulanması ve zeminin geçirimsizliğinin düşük olması suya doymuş gevşek çok ince veya siltli kumlarda pozitif boşluk suyu basıncı oluşturur. Bu boşluk suyu basıncı, numune kaşığının penetrasyonuna karşı koyan zeminin kayma dayanımını azaltır. Bu nedenle böyle zeminlerin SPT-N değeri azalır. Suyu doymuş sıkı, çok ince veya siltli kumlarda penetrasyon deneyi, penetrasyon direncini artıran negatif boşluk suyu basınçları meydana getirebilir ve böylece SPT-N değeri artar. Suyu doymuş siltli kumlar veya çok ince kumlarda dinamik boşluk suyu basıncını etkileri için SPT-N değerleri düzeltilmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Terzaghi ve Peck (1967)'ye göre SPT-N düzeltmesi:

- Deney yeraltı suyu seviyesi altında yapılmış ise,
- Deneyin yapıldığı zemin türü ince kum veya siltli kum ise,
- SPT-N >15 darbe/30 cm olması durumunda yapılmalıdır.

$$\text{SPT} - N > 15 \text{ için } N' = \frac{N-15}{2} \quad (1)$$

Burada; N': Yeraltı suyu düzeltmesi yapılmış SPT-N değeridir.

Denklem 1'deki düzeltme yapılmazsa, suya doymuş çok ince kum veya siltli kumun izafi sıklığı, SPT sonuçlarından aşırı yüksek tahmin edilebilir.

1.5.5.2.1.3. SPT'nin Sonucunu Etkileyen Faktörler ve SPT-Narazi Değerinin Düzeltilmesi

SPT sonuçlarını birçok faktör etkilemektedir. Bunun sonucu olarak SPT- Narazi değerleri çok yüksek veya çok aşırı düşük olabilmektedir. SPT- Narazi değerinin doğru şekilde elde edilebilmesi için sondajın metodunun doğru, sondaj deliğinin stabilizasyonu doğru yapılmalıdır. Aynı zamanda deney yapılırken uygulama şekline dikkat edilmeli ve hatalı alet ve ekipman kullanılmamalıdır.

SPT sonuçlarını etkileyen bu faktörler sebebiyle ölçülerek elde edilmiş olan SPT-Narazi değerlerinin düzeltilmesi gerekmektedir. Aşağıda bu ampirik ifadenin nasıl bulunacağı açıklanmıştır.

$$(N_1)_{60} = N C_N C_R C_S C_B C_E \quad (2)$$

Burada,

$(N_1)_{60}$ = Düzeltilmiş SPT-N değerleri

N = Ölçülen SPT darbe sayısı

C_N =Üst tabaka yükü düzeltme sayısı

C_R =Tij boyu düzeltme katsayısı

C_S =Numune alma metodu katsayısı

C_B =Kuyu boyu düzeltme katsayısı

C_E =Enerji oranı düzeltme katsayısıdır.

Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı C_N genellikle Liao ve Whitman (1986) tarafından verilen aşağıda eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.7 \quad (3)$$

Burada,

P_a = Yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmesi

σ'_{vo} = P_a ile aynı birime sahip düşey efektif gerilmedir.

Youd vd. (2001)'e göre C_N değeri 1.7'yi aşmamalıdır. Kayen vd. (1992) ise yine 1.7 değerini aşmamak üzere C_N değeri için aşağıdaki ifadeyi önermişlerdir.

$$C_N = 2.2 / (1.2 + \frac{\sigma'_{vo}}{P_a}) \quad (4)$$

C_N değerini hesaplamak için kullanılan diğer bir yöntemde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından geliştirilen,

$$C_N = \frac{170}{70 + \sigma'_{vo}} \quad (5)$$

eşitliğidir.

C_N değerini belirlemek için yukardaki üç denklem de hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Denklem 4'de Youd vd., (2001) C_N değerinin güvenli sonucu için düşey efektif gerilmenin 200 kPa'ı geçmemesi gerektiğini onaylamışlardır. 200 kPa geçmesi halinde C_N değerinin tam olarak belirlenemeyeceğini vurgulamışlardır. Denklem 5'de ise düşey efektif gerilme 300 kPa'a kadar daha tutarlı, doğru sonuçlar vermektedir. (Mollamahmutoglu ve Babuçcu, 2006).

Youd vd. (2001)'nin C_R (T_{ij} boyu düzeltme katsayısı) için önerdiği katsayılar Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. T_{ij} boyu düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	T_{ij} boyu düzeltme katsayısı C_R
$d < 3$	0.75
$d = 3 - 4$	0.80
$d = 4 -$	0.85
$d = 6 - 10$	0.90
$d = 10 - 30$	1.00

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre ufak da olsa değişiklik göstermektedir. TBDY'ye göre C_R (T_{ij} boyu düzeltme katsayısı) değerleri ise Tablo3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. TBDY'ye göre T_{ij} boyu düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	T_{ij} boyu düzeltme katsayısı 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

Numune alma yöntemi katsayısı (C_S) Tablo 4'te numunenin cinsine göre belirtilmiştir.

Tablo 4. TBDY'ye göre numune alma yöntemi katsayısı

Numunenin cinsi	(C_S)
Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30

Robertson ve Fear (1996) tarafından önerilen kuyu boyu düzeltme katsayısı (C_B) değerleri TBDY'de düzenlenerek Tablo 5'te açıklanmıştır.

Tablo 5. Kuyu boyu düzeltme katsayıları

Kuyu Çapı (mm)	Kuyu boyu düzeltme katsayısı (C_B)
65-115	1.00
150	1.05
200	1.15

Düzeltilmiş SPT-N değerlerini bulmamız için gerekli olan başka bir faktör şahmerdandan zemine iletilen enerji verimi düzeltme katsayısıdır. Kovacs ve Salomone (1982)'a göre enerji ölçümlerinin numuneyi alana aktarılan gerçek enerji miktarını %30-%80, diğer araştırmacılara göre %70-100 arasında değişebileceğini göstermiştir. Diğer birçok ülkede enerji verimi olarak %60 oranı kabul edilmiştir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Enerji oranı düzeltme katsayısı Seed vd. (1985)' e göre Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Enerji oranı düzeltmesi

Ülke	Şahmerdan tipi	Şahmerdan bırakma Yöntemi	Tahmin edilen enerji oranı	% 60 enerji oranına göre düzeltme katsayısı
Japonya	Donut	Serbest düşülü	78	78/60=1.30
	Donut	Özel bırakma yöntemine sahip halat ve makara	67	67/60=1.12
ABD	Güvenlikli	Halat ve makara	60	60/60=1.00
		Halat ve makara	45	45/60=0.75
Arjantin	Donut	Halat ve makara	45	45/60=0.75
Çin	Donut	Serbest düşülü	60	60/60=1.00
	Donut	Halat ve makara	50	50/60=0.83

Türkiye'de son hazırlanan TBDY'ye göre enerji düzeltme katsayısı Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. TBDY'ye göre enerji oranı düzeltmesi

Tokmak tipi	Enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E)
Güvenli tokmak	0.60-1.17
Halkalı tokmak	0.45-1.00
Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

1.5.5.2.2. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)

Koni Penetrasyon Deneyi'nin temel prensibi bir çelik borunun zemine batırılmasıyla elde edilen konik ucun direnci, yanal direnç ve boşluk suyu basıncı ile zemine ait parametrelerin belirtilmesidir. CPT çapı 36mm, uç açısı 60° ve izdüşüm alanı 10 cm² olan konik ucun zemine 20 tona kadar hidrolik bir güçle 2 cm/sn hızla itilmesiyle yapılır. Borunun dış çapı koninin tabanı ile aynı çaptadır. CPT deneyinin yapılması için sondaja gerek yoktur. Deneyde öncelikle boru ve koni itilir daha sonra uç kısmı itilerek penetrasyon için gerekli basınç ve sürtünme direnci ölçülür. Tek bir CPT ile boşluk basıncı, SPT değeri, yeraltı su seviyesi, içsel sürtünme açısı ve zeminin sıklığı belirlenebilmektedir. Konik penetrasyon deneyi, yumuşak silt, kil, kum ve ince çakıl gibi zeminlerde uygulanabilirken; bol, sıkı, köşeli çakıllı ve bloklu zeminlerde uygun değildir. Deney boyunca istenilen derinliğe kadar zeminin özelliklerini çıkarmak mümkün olsa da deneyden numune alınmaması olumsuz özelliğidir. (Kılıç, 2009).

1.5.5.2.3. Arazi Deneylerinin Avantaj ve Dezavantajları

Araziden alınan numuneler sonucunda SPT deneyi çok kullanılmaktadır. Kısmen de CPT deneyleri kullanılmaktadır. SPT, CPT ve V_s deneylerinin avantajları ve dezavantajları Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan arazi deneylerinin avantaj ve dezavantajları (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

Özellik	Deney Tipi		
	SPT	CPT	V _s
Sıvılaşma bölgelerinde veri kayıtları	Zengin	Zengin	Sınırlı
Deneyi etkileyen gerilme-deformasyon davranışının tipi	Kısmi drenajlı büyük deformasyon	Drenajlı, büyük deformasyon	Küçük deformasyon
Kalite kontrolü ve kanıtlanabilirlik	Zayıf iyi arası	Çok iyi	İyi
Zeminlerdeki değişkenliğin izlenebilmesi	Kısa aralıklarla yapılan deneylerde iyi	Çok iyi	Orta
Hangi zemin tipi için önerildiği	Çakılsız zeminler	Çakılsız zeminler	Hepsi
Zemin numunesi alınıyor mu?	Evet	Hayır	Hayır
Deney indeks mi, mühendislik özelliği mi ölçüyor?	İndeks	İndeks	Mühendislik

1.5.6. Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Yöntemleri

Deprem bölgelerindeki zeminlerde gevşek ve kohezyonsuz suya doymun zeminlerde sıvılaşma problemi oluşmaktadır. Geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı sıvılaşma üzerine çalışmış ve sıvılaşma potansiyeli için laboratuvar ve arazi deneylerine dayanarak birçok ampirik ifadeler ve formüller türetmiştir. Laboratuvarda yapılan deneylerde, örselenmemiş numune alma sıkıntısı ve deneylerin uzun zaman alması nedeniyle, sıvılaşma analizlerinde genellikle arazi deneyleri kullanılmaktadır. Sıvılaşma analizlerinde en çok kullanılan deneyler Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)'dir.

Arazi deneyleri verilerine dayanılarak yapılan sıvılaşma analizlerini aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür:

- SPT 'ye göre sıvılaşma analizi
 - Seed ve Idriss (1971)
 - Tokimatsu ve Yoshimi (1983)
 - Iwasaki vd. (1981)
- CPT'ye göre sıvılaşma analizi
 - Seed ve De Alba (1986)
 - Suzuki vd. (1997)
 - Robertson ve Wride (1998)
- V_s (kayma dalga hızı)'ye göre sıvılaşma analizi

1.5.6.1. SPT Verilerine Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin analizinde en çok kullanılan deney Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)'dir. Standart Penetrasyon Deneyi'nin verilerinin kolay elde edilmiş olması, daha önceki depremlerden elde edilmiş verilerden hazırlanmış veri tabanlarının olması ve bu verilerin oluşabilecek yeni depremlerle korelasyonun iyi olması nedeni ile sıvılaşmanın belirlenebilmesinde SPT yaygın kullanılan arazi deneyidir.

Sıvılaşma potansiyeli, SPT verileri kullanılarak TBDY 2018, Seed ve Idriss (1971) ve Iwasaki vd. (1981) olmak üzere 3 ayrı yöntemle belirlenecektir.

1.5.7. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Sıvılaşma Potansiyeli

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ülkemizde giderek gelişen ve karmaşık hale gelen ihtiyaçların karşılanması, deprem mühendisliğinde meydana gelen değişim ve gelişmeler, depreme dayanıklı bina tasarım pratiğine aktarmak amacıyla AFAD tarafından komisyonlarca hazırlanmış bir yönetmeliktir. Bina teknolojisindeki gelişmeler, yüksek binaların deprem yalıtımlı binaların, zayıf zemin şartlarında kompleks binaların hızla artması bu yönetmeliğin oluşmasında etkili olmuştur. Bu yönetmelik kapsamında zeminlerin sıvılaşma potansiyeli ile ilgili de değişimler meydana gelmiştir. (M.N.Aydınoglu, 2018)

İnce dane oranı (IDI) yüzdesine göre düzeltilmiş vuruş sayısı $(N_1)_{60f}$ Denklem 6'daki gibi hesaplanacaktır.

$$(N_1)_{60f} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (6)$$

Burada;

$(N_1)_{60f}$: Düzeltilmiş SPT-N değeri

Burada α ve β katsayıları ince dane oranı yüzdesine göre belirlenmektedir. (Denklem 7, Denklem 8, Denklem 9)

$$\alpha = 0, \beta = 1.0 \text{ (IDI} \leq \%5) \quad (7)$$

$$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{\text{IDI}^2} \right) \right], \beta = 0.99 + \frac{\text{IDI}^{1.5}}{1000} \text{ (%5} < \text{IDI} \leq \%35) \quad (8)$$

$$\alpha = 5.0, \beta = 1.2 \text{ (IDI} \geq \%35) \quad (9)$$

1.5.7.1. TBDY'de Sıvılaşma Direncinin Hesaplanması

Zeminlerin sıvılaşma direncini temsil ettiği düşünülen çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR) arazi deneyleri ile korelasyon yolu ile veya laboratuvar deneyleri ile elde edilebilmektedir. Çevrimsel dayanım oranı aşağıdaki denklemle hesaplanacaktır. CRR moment büyüklüğü 7,5 olan depreme karşı gelen orandır.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34-N_{1.60f}} + \frac{N_{1.60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1.60f}+45]^2} - \frac{1}{200} \quad (10)$$

Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M), tasarım depremi büyüklüğüne (M_W) bağlı olarak Denklem 10'da hesaplanmaktadır.

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_W^{2.56}} \quad (11)$$

Burada;

C_M : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı

M_W : Tasarım depremi büyüklüğüdür.

Sıvılaşma direnci τ_R TBDY'ye göre Denklem 11'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\tau_R = CRR_{M7.5} C_M \sigma'_{v0} \quad (12)$$

Burada;

τ_R : Sıvılaştırma direnci

σ'_{v0} : Efektif gerilmedir.

Sıvılaşma direnci bulmak için efektif gerilme bilinmesi gerekir. Toplam düşey gerilme ve efektif gerilme Denklem 12 ve Denklem 13'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{v0} = \gamma_n \cdot h_1 \quad (13)$$

Burada;

σ_{v0} = Toplam düşey gerilmedir.

$$\sigma'_{v0} = \gamma_n \cdot z_w + (\gamma_d - \gamma_w)(z - z_w) \quad (14)$$

Burada;

γ_n : Zemin birim hacim ağırlığı

γ_d : Suya doymun zemin birim hacim ağırlığı

γ_w : Suyun hacim ağırlığı

z : Zeminin derinliği

z_w : Zeminin su seviyesidir.

Depremde Oluşan Kayma Gerilmesinin Hesaplanması

Zeminde oluşan kayma gerilmesi Denklem 14'e göre hesaplanmaktadır(TBDY 2018).

$$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 \sigma_{v_0} (0.4 S_{DS}) r_d \quad (15)$$

Burada

σ_{v_0} : Toplam düsey gerilme

r_d : İlgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısı

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısıdır.

Gerilme azaltma katsayısı TBDY'de incelen derinliğe göre değişmektedir:

$$\begin{aligned} r_d &= 1.0 - 0.00766z & z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d &= 1.174 - 0.0267z & 9.15 \text{ m} \leq z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0.744 - 0.008z & 23 \text{ m} \leq z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0.50 & z > 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu Denklem 16'da gösterilmektedir.

$$\frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1.10 \quad (16)$$

Denklem 16 koşulu sağlandığında sıvılaşma gerçekleşmez. Bu denklemin sağlanamaması durumunda beklenen tabakaların dayanım ve rijitlik özelliklerinde azalma, olası taşıma gücü kayıpları, duraylılık bozuklukları ile oturma ve yanal yayılma türündeki zemin hareketleri değerlendirilecektir. Belirlenen sıvılaşma sonucunda ise zeminde iyileştirme uygulanacaktır.

1.5.8. Seed ve Idriss Yöntemi

1.5.8.1. Çevrimsel Kayma Gerilmesinin Hesaplanması

Deprem yol açtığı yer hareketinin etkisinin bir çevrimsel kayma gerilmesi oranı (CSR) kullanılarak göz önüne alındığı bu yöntemde (Seed ve Idriss, 1971; Youd vd., 2001) bu değer in sınıvlaşma direncinin tanımlamak için kullanılan çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR) ile karşılaştırılması sonucu sınıvlaşmaya karşı güvenlik sayısı hesaplanmaktadır. Çevrimsel kayma gerilmesi (CSR) Denklem 17'de gibi hesaplanmaktadır.

$$CSR = 0.65 \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \quad (17)$$

Burada;

a_{\max} : Yüzeydeki en büyük yatay ivme

g : Yerçekim ivmesi

Seed (1983) başlangıç kayma gerilmeleri ve yüksek çevre basınçlarının etkisini dikkate almak için CSR oranı üzerinde Denklem 18'deki düzeltmenin yapılmasını önermiştir.

$$(CSR^*)_{\alpha,\sigma} = (CSR^*)_{\alpha=0,\sigma<100\text{kPa}} K_\alpha K_\sigma \quad (18)$$

Burada α , K_α ve K_σ düzeltme faktörleridir.

K_α sıkı zeminlerde 1.0'den büyük, gevşek ve sığ zeminlerde ise 1.0'den küçük alınması önerilmektedir. (Seed ve Harder, 1990). K_σ düzeltme faktörü Denklem 19'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right) \quad (19)$$

Burada;

C_σ : Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı

P_a : 100 kPa'lık referans gerilmesi

Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı Denklem 20'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$C_{\sigma} = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60}}} \quad (20)$$

1.5.8.2. Çevrimsel Kayma Mukavemetinin Hesaplanması

Zeminlerin sıvılaşma direncini belirten çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR) laboratuvar deneyleri ve arazi deneyleriyle korelasyon yoluyla elde edilebilmektedir. Genellikle sıvılaşmanın görülebileceği zeminlerde numunelerin örselenmemiş olabileceği ve bu zeminlerden örneklerin alınmasındaki zorluklardan dolayı arazi deneyleriyle korelasyonun daha sağlıklı sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Bu nedenle arazilerde kullanılan deneyler çoğunlukla Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) olmaktadır. M=7.5 büyüklüğünde bir deprem için sıvılaşma direnci Denklem 21'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1.60f}} + \frac{N_{1.60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1.60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (21)$$

1.5.9. Iwasaki (1982) Sıvılaşma Potansiyel İndeksi

Sıvılaşma tetikleme analizi sonucu elde edilen sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü F_S Denklem 21'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_S = \left(\frac{CRR}{CSR} \right) MSF \quad (22)$$

Burada;

F_S : Sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü

MSF : Deprem büyüklüğü derecelendirme katsayısıdır.

Deprem büyüklüğü derecelendirme katsayısı sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü bulunurken tasarım depreminin farklı olduğu durumlarda Denklem 23'deki hesaplanmaktadır.

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_W^{2.56}} \quad (23)$$

Burada;

M_W : Tasarım deprem büyüklüğüdür.

Sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü (F_S) sadece SPT deneyi yapılan derinlikteki değerleri vermektedir. Zeminin jeolojisi göz önüne alınması durumunda tek bir noktanın net bir bilgi vermesi güvenilirlik açısından şüphe uyandırabilmektedir. Bu güçlüğü giderilmesi açısından Iwasaki tarafından önerilmiş olan yöntem zemin tabakasının etkin analiz derinliği açısından zeminin bütün olarak değerlendirilmesini imkan sağlamıştır. Iwasaki'ye önerilen bu yöntem Denklem 24'de gösterilmektedir.

$$LPI = \int_0^{20\text{ m}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad (24)$$

Burada;

LPI : Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyel indeksi

$F(z)$: Güvenlik katsayısının fonksiyonu olan sıvılaşma şiddeti

$w(z)$: Ağırlıklı (ortalama) fonksiyonu

dz : Derinlik artışı

z : Derinliktir. (0-20 m)

$F(z)$ ve $w(z)$ hesaplanması Denklem 25, Denklem 26, Denklem 27 ve Denklem 28'e göre yapılmaktadır.

$$F_S < 1.0 \text{ için } F(z) = 1 - F_S \quad (25)$$

$$F_S > 1.0 \text{ için } F(z) = 0 \quad (26)$$

$$z < 20 \text{ m için } w(z) = 10 - 0,5z \quad (27)$$

$$z > 20 \text{ m için } w(z) = 0 \quad (28)$$

Burada.

LPI = 0.00 ise sıvılaşma çok düşük

LPI: 0.00 ile 5 arasında ise sıvılaşma olasılığı düşük

LPI : 5 – 10 arasında ise sıvılaşma yüksek

LPI : 15'ten büyük ise sıvılaşma olması çok yüksektir.

LiqIT programında yapılan analizde öncelikle Seed ve Idriss (1971)'e göre çevrimsel kayma gerilmesi ve çevrimsel kayma mukavemeti bulunmuş olup, Iwasaki (1981)'e göre de

sıvılaşma potansiyel indeksi hesaplanmıştır. Sıvılaşma potansiyel indeksine göre etkin zemin tabakasının sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

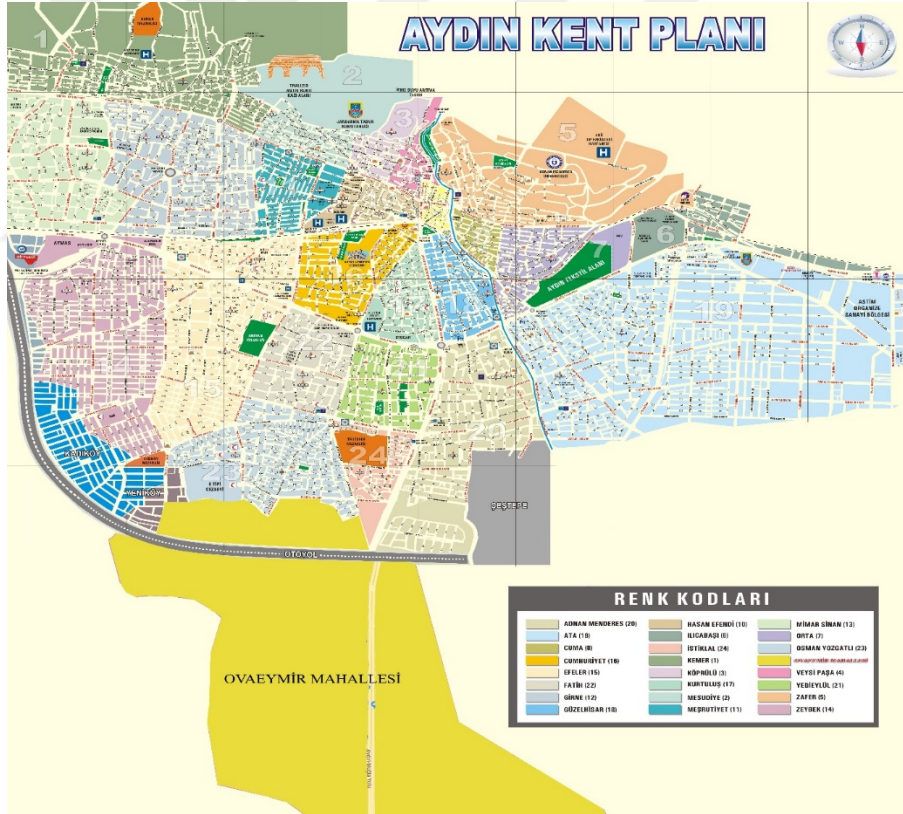


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

2.1.1. İnceleme Alanının Coğrafi Konum ve Özellikleri

İncelemenin yapıldığı alan olan Aydın İli, Efeler İlçesi, Ovaeymir mahallesidir. Ovaeymir Mahallesi doğu-batı doğrultusunda 10 km, güney yönde 10 km genişliğinde uzanan şehir merkezinin içerisinde bulunmaktadır. Şekil 14'te ovaeymir mahallesinin konumu ve çevresi gösterilmektedir. Şehir merkezinin denizden yüksekliği 70 m'dir.



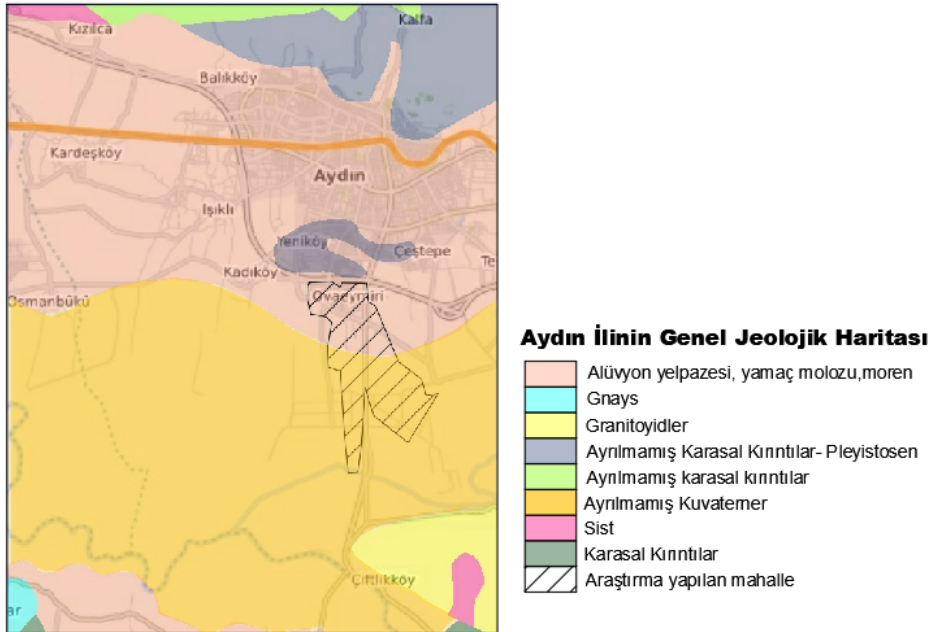
Şekil 14. Aydın ili Ovaeymir Mahallesi ve çevresi

Aydın İli'nde Akdeniz iklimi hüküm sürer. Yazlar kurak ve sıcak, kışlar yağışlı ve ılık geçer. Senelik sıcaklık ortalaması 18 C°'dir. Kuzey rüzgarlarına nedeniyle Akdeniz bölgesine göre daha serindir.

2.1.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanını kapsayan bölgede Paleozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Paleozoyik yaşlı birimler Menderes Masifi'ne ait gnays ve mikaşisler ile temsil edilmektedir. Senozoyik yaşlı birimleri ise Miyosen-Pliyosen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve kıltaşı ardalanmasından oluşan gölssel çökeller, Pliyo-Kuvarterner yaşlı taraça çökelleri ve Kuvarterner yaşlı alüvyal yelpaze çökelleri oluşturmaktadır. Miyosen-Pliyosen yaşlı birim fay denetimli olup, Batı Anadolu'da geniş bir bölgede yüzeylemektedir.

İnceleme alanını kapsayan bölgede Paleozoyik'ten Kuvarterner'e kadar değişik zaman ve ortamlarda oluşmuş jeolojik birimler yer almaktadır. Aydın ve yakın çevresini kapsayan bölgenin stratigrafisi ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Şekil 15'te Aydın İli'nin ve çevresinin jeolojik haritası gösterilmektedir. (Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2011.)

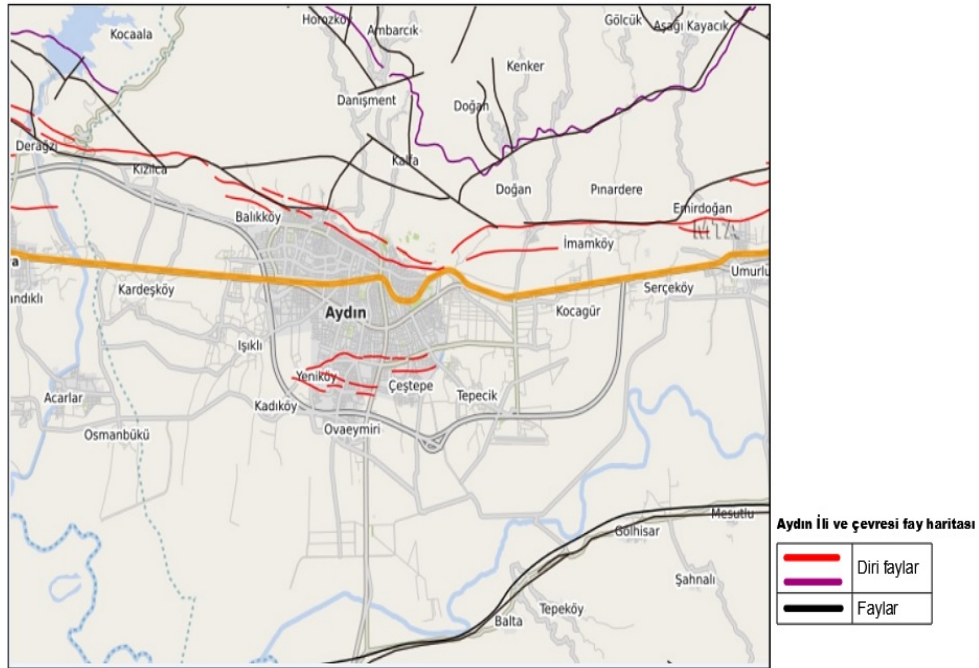


Şekil 15. Aydın İlinin Genel Jeolojik Haritası

2.1.3. İnceleme Alanının Sismolojik Özellikleri

Menderes Masifi'nin temel kayacını oluşturan Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar uzun bir dönem boyunca kıta kalkanı olarak kalmış ve Miyosen dönemine kadar çökelim oluşmamıştır. Orta Miyosen'den sonar tüm Anadolu'da egemen olan genişlemeli Neotektonik rejim, o döneme kadar rijit bir kütleyle dönüşmüş, Menderes Masifi'ni doğu-batı doğrultulu derin hatlar boyunca kırarak Batı Anadolu'nun grabenleri oluşturmuştur.

Masif içerisinde blok tektoniğine koşut olarak graben yönünü denetleyen ve graben uzantısına çapraz büyük düşey faylar da gelişmiştir. İnceleme alanı Büyük Menderes Graben Sisteminde yer almakta olup, parselin etrafında bu sistemin İncirliova Segmentine dahil farklı uzunluklarda kırıklar mevcuttur. Şekil 16'da Aydın İli ve çevresinin fay haritası gösterilmektedir. (Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013)



Şekil 16. Aydın İli ve çevresi fay haritası

Miyosen'den beri devam etmekte olan Neotektonik rejim sonucu oluşan antitetik faylar günümüzde de Ege bölgesindeki sıkışma ve gerilmeler sonucu depremleri oluşturmaktadır. Tablo 9'da 1900 yılından itibaren 4 ve üzerinde Aydın İli ve çevresinde gerçekleşmiş olan depremler gösterilmektedir.

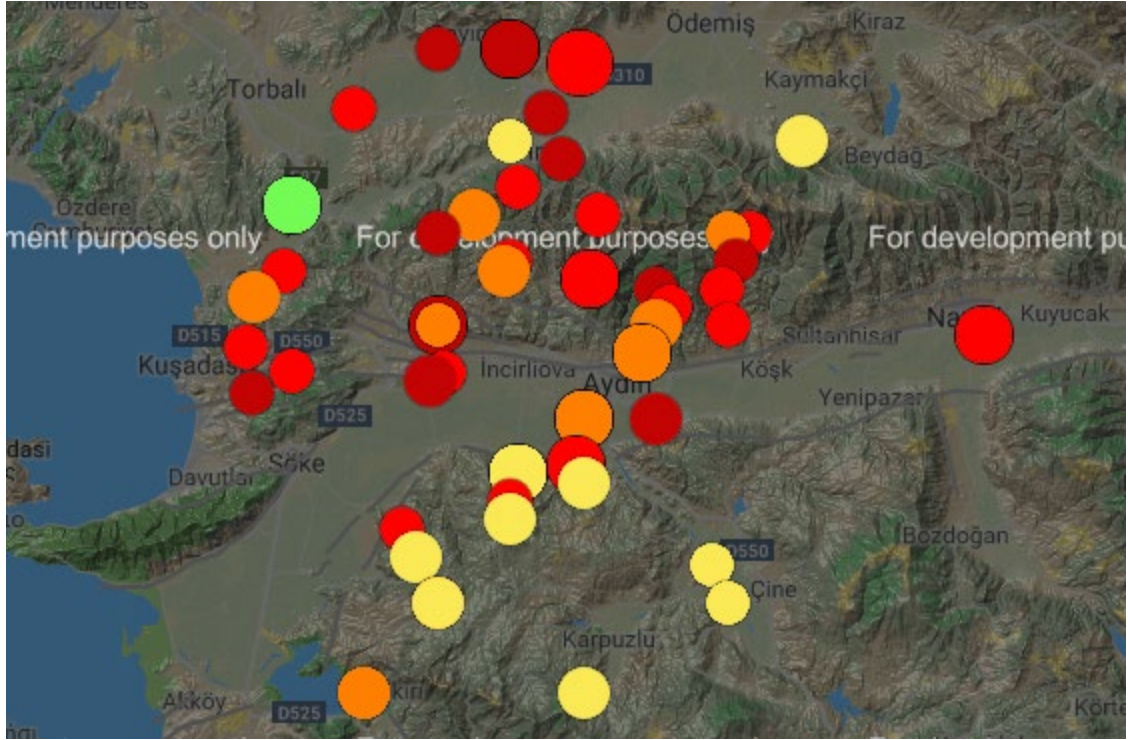
Tablo 9. 1900 yılından itibaren 4 ve üzeri Aydın ve çevresi depremler

NO	OLUŞ TARİHİ	ENLEM	BOYLAM	DERİNLİK (km)	XM	YER
1	2012.02.20	38.1355	27.4850	009.1	4.4	YENICIFTLIK-TIRE
2	2011.02.05	37.8277	27.3445	005.0	4.1	KIRAZLI-KUSADASI
3	2010.12.08	37.8768	27.3368	006.8	4.0	SULTANIYE-SELÇUK
4	2010.11.11	37.9308	27.3488	011.5	4.7	ACARLAR-SELÇUK
5	2009.04.12	37.6407	27.9777	023.9	4.0	YURUKLER-CINE
6	2009.01.08	37.8492	27.6075	007.9	4.2	REISKOY-GERMENCİK
7	2003.08.31	37.6800	27.5500	0010	4.0	BAYIRDAMI-SOKE
8	2000.04.23	38.0800	27.7700	0000	4.1	CAMBAZLI-TIRE
9	1992.05.15	37.7100	27.7000	0010	4.2	BIRCI-KOCARLI
10	1990.12.29	37.9000	28.0000	0010	4.1	ILYASDERE-(AYDIN)
11	1988.10.26	37.9600	27.6900	0019	4.8	MESELI-GERMENCİK
12	1986.06.27	37.8500	27.4000	0007	4.2	GOKCEALAN-SELÇUK
13	1986.06.01	37.9600	27.3900	0010	4.0	SELÇUK
14	1985.11.24	37.6500	27.5700	0023	4.5	GUNEYYAKA-SOKE
15	1983.08.04	37.8400	27.5900	0000	4.7	REISKOY-GERMENCİK
16	1980.12.19	38.0200	27.6500	0015	4.7	BASKOY-TIRE
17	1980.03.03	38.1300	27.7500	0000	4.2	TIRE (IZMIR)
18	1978.04.24	38.0500	27.7100	0010	4.0	CUKURKOY-TIRE
19	1978.02.07	38.0000	27.6000	0000	4.0	HABIBLER-GERMENCİK
20	1977.11.26	37.9400	27.9900	0010	4.3	EGRİKAVAK-(AYDIN)
21	1977.11.23	37.9200	27.9200	0010	4.2	YUKARIKAYACIK-(AYDIN)
22	1977.11.10	37.9400	27.9000	0004	4.0	KARAKOY-(AYDIN)
23	1977.10.28	37.9700	28.0100	0005	4.2	AKCAKOY-KOSK
24	1977.10.28	38.0000	28.0300	0010	4.2	CAYIRKOY-ODEMIS
25	1977.10.27	37.8700	27.8800	0016	5.5	YILMAZKOY-(AYDIN)
26	1977.09.25	38.0200	27.8200	0010	4.3	YAMANDERE-TIRE
27	1977.08.25	37.9700	27.7000	0010	4.1	ISAFAKILAR-INCIRLIOVA

Tablo 9'un devamı

28	1970.10.23	37.6000	28.0000	038.0	4.0	KABATAS-CINE (AYDIN)
29	1969.10.23	38.2000	27.6000	005.0	4.0	FURUNLU-BAYINDIR
30	1969.03.23	37.9000	27.6000	005.0	5.0	DAGKARAAGAC-GERMENCİK
31	1966.05.07	37.7500	27.7900	009.0	5.4	BOYDERE-KOCARLI (AYDIN)
32	1966.05.04	37.8000	27.9000	005.0	4.5	TEPEKOY-(AYDIN)
33	1966.05.04	37.7400	27.7100	037.0	5.2	TASKOY-KOCARLI
34	1965.07.13	37.5000	27.8000	035.0	4.7	ISIKLAR-KARPUZLU
35	1965.04.07	38.1000	27.7000	033.0	4.4	TIRE (IZMIR)
36	1965.03.17	38.1000	28.1000	033.0	4.5	KEMENLER-ODEMIS
37	1960.04.12	37.6900	27.7000	040.0	4.8	CALLI-KOCARLI
38	1960.04.10	37.7300	27.8000	040.0	4.9	BOYDERE-KOCARLI
39	1958.09.04	37.9000	27.6000	020.0	4.3	DAGKARAAGAC-GERMENCİK
40	1953.04.17	37.6000	27.6000	016.0	4.6	CAVDAR-SOKE
41	1952.09.15	37.6000	27.6000	032.0	4.8	CAVDAR-SOKE
42	1941.06.23	37.9500	27.8100	010.0	5.2	KARAGOZLER-INCIRLIOVA
43	1941.01.09	38.0300	27.4000	070.0	5.4	BELEVI-SELÇUK
44	1928.04.13	38.0000	28.0000	015.0	4.4	CAYIRKOY-ODEMIS
45	1928.03.31	38.1800	27.8000	010.0	6.5	DEREBASI-TIRE
46	1927.05.20	37.5000	27.5000	015.0	4.7	KAPIKIRI-MILAS
47	1925.07.29	37.5000	27.5000	015.0	4.7	KAPIKIRI-MILAS
48	1920.09.28	37.8900	28.3500	010.0	5.8	SEVINDIKLI-NAZILLI
49	1908.04.12	38.2000	27.7000	009.0	5.5	YAKACIK-BAYINDIR
50	1908.03.08	37.8000	27.8000	015.0	5.3	KADIKOY-(AYDIN)
51	1901.05.01	37.8000	27.8000	015.0	5.0	KADIKOY-(AYDIN)
52	1901.03.01	38.2000	27.7000	005.0	5.0	YAKACIK-BAYINDIR
53	1901.02.23	37.9000	27.9000	015.0	4.8	KENGER-(AYDIN)

İnceleme alanını merkez kabul edip 50 km yarıçapında bir daire içerisinde 1900 yılından günümüze kadar olan süreçte, şiddeti 4 ve üzerinde 53 adet deprem olmuştur. Gerçekleşen depremlerin konumları Şekil 17’de gösterilmektedir.



Şekil 17. İnceleme alanı çevresinde 4 ve üzeri şiddette oluşan depremler

2.2. Arazi Çalışmaları

Bu tez kapsamında, Aydın ili Ovaeymir Mahallesi çevresi inceleme alanı olarak seçilmiştir. Çalışma yapılan mahalledeki sondaj noktaları Şekil 18’de gösterilmektedir.

Ovaeymir mahallesi üzerinde yapılan 19 farklı noktada sondaj çalışması yapılarak, yeni gelişmekte ve yapılaşma olan bu bölgenin sıvılaşma potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 18. İnceleme alanının lokasyon ve sondaj noktaları haritası

Arazi çalışmalarında inceleme alanında zeminin geoteknik özelliklerini belirlemek için Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Derinlikleri 1.5'ten 20 m'ye kadar değişen 19 adet sondaj yapılmıştır. İncelenen sondaj kuyularının genel özellikleri Ek Şekil 1.'de verilmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında kuyulardaki yer altı su seviyeleri belirlenmiştir. Zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır.

İnceleme alanında yapılan geoteknik sondajlar sonucunda yer altı su seviyesinin 2.5-4 m arası olduğu, bazı yerlerde ise 7 m'ye kadar gözlenmiştir. Zeminlerin ilk 3 -4 m'si gevşek ve yumuşak iken derinlere inildikçe daha sıkı zemine rastlanılmıştır. Ayrıca sondaj çalışmaları yapıldığında SPT- N_{arazi} değerlerinin genellikle 9-20 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sondaj kuyularından elde edilen veriler kullanılarak, TBDY 2018 ve LiqIT programına göre sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

2.2.1. Sondaj Kuyusu 1 (SK 1)

Sondaj kuyusu 1'in sondaj logu Ek Şekil 2'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltilmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane

oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 10’da verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3’ten alınmıştır. Türkiye’de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri’nde teorik enerjinin %45’ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7’den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.’ye (2001) göre C_N değerleri 1,7’den büyük olamayacağından bu değer aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 10. SK1 Düşey ve Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m ³)	σ_{v0} (kN/m ²)	σ'_{v0} (kN/m ²)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	5	5	2,50	18,770	28,155	28,155	1,70	0,75	0,90	0,75	4,303
3,0	7	7	2,50	18,770	56,925	51,925	1,39	0,75	0,90	0,75	4,918
4,5	9	9	2,50	18,770	86,925	66,925	1,22	0,85	0,90	0,75	6,312
6,0	10	10	2,50	18,770	116,925	81,925	1,10	0,95	0,90	0,75	7,085
7,5	19	17	2,50	18,770	146,925	96,925	1,02	0,95	0,90	0,75	11,073
9,0	13	13	2,50	18,770	176,925	111,925	0,95	0,95	0,90	0,75	7,880
10,5	16	16	2,50	18,770	206,925	126,925	0,89	1,00	0,90	0,75	9,287
12,0	10	10	2,50	18,770	236,925	141,925	0,84	1,00	0,90	0,75	5,666
13,5		12	2,50	18,770	266,925	156,925	0,80	1,00	0,90	0,75	6,197
15,0	13	13	2,50	18,770	296,925	171,925	0,76	1,00	0,90	0,75	6,692
16,5		14	2,50	18,770	326,925	186,925	0,73	1,00	0,90	0,75	6,665
18,0	14	14	2,50	18,770	356,925	201,925	0,70	1,00	0,90	0,75	6,650
19,5		15	2,50	18,770	386,925	216,925	0,68	1,00	0,90	0,75	6,874

İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6’da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12’ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15’e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018’e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16’nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 11’de gösterilmiştir.

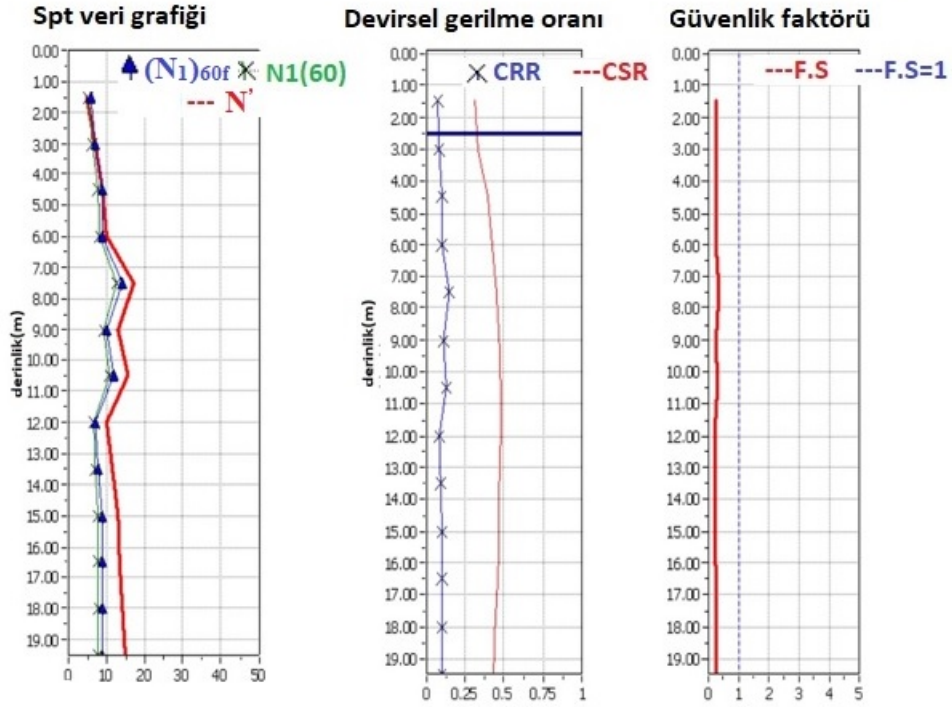
Tablo 11. TBDY'e göre SK 1'in sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu

İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sınıvlaşma Durumu (M=6.0)	Sınıvlaşma Durumu (M=6.5)	Sınıvlaşma Durumu (M=7.0)	Sınıvlaşma Durumu (M=7.5)
8,04	0,307	1,01	4,666	0,070	1,770	1,442	1,193	1,000	3,468	2,826	2,337	1,959	0,989	21,112	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	5,288	0,074	1,770	1,442	1,193	1,000	6,821	5,557	4,597	3,852	0,977	42,189	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	6,700	0,085	1,770	1,442	1,193	1,000	10,097	8,227	6,805	5,703	0,966	63,667	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	7,483	0,092	1,770	1,442	1,193	1,000	13,285	10,823	8,953	7,503	0,954	84,622	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	11,522	0,127	1,770	1,442	1,193	1,000	21,749	17,719	14,657	12,284	0,943	105,056	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	8,288	0,098	1,770	1,442	1,193	1,000	19,481	15,871	13,129	11,003	0,931	124,966	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	9,713	0,111	1,770	1,442	1,193	1,000	24,844	20,241	16,743	14,033	0,894	140,270	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	6,046	0,080	1,770	1,442	1,193	1,000	20,108	16,383	13,552	11,358	0,854	153,409	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	6,583	0,084	1,770	1,442	1,193	1,000	23,416	19,077	15,781	13,226	0,814	164,724	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	7,085	0,088	1,770	1,442	1,193	1,000	26,888	21,906	18,120	15,187	0,774	174,217	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	7,058	0,088	1,770	1,442	1,193	1,000	29,159	23,756	19,651	16,470	0,733	181,888	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	7,043	0,088	1,770	1,442	1,193	1,000	31,455	25,627	21,199	17,767	0,693	187,735	✓	✓	✓	✓
8,04	0,307	1,01	7,270	0,090	1,770	1,442	1,193	1,000	34,504	28,111	23,253	19,488	0,653	191,760	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde birinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Birinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

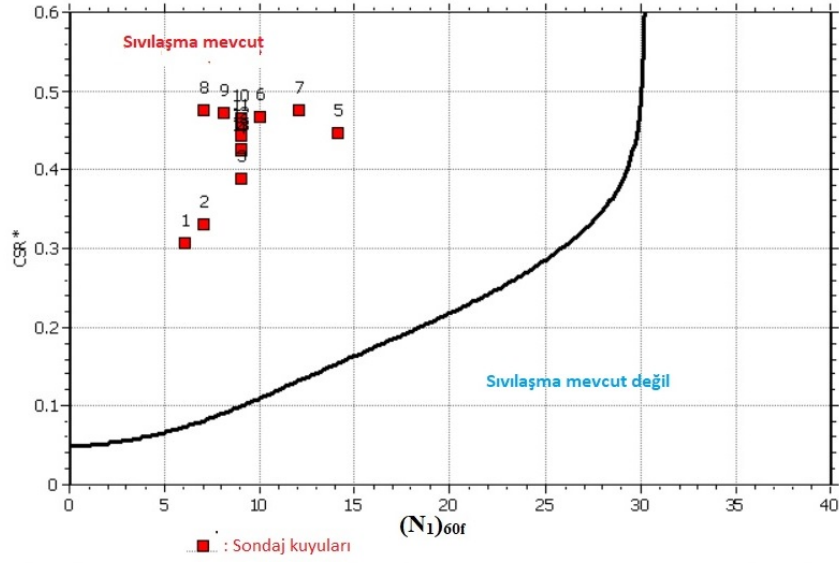
Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	2.50 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	7.50
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.56 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	0.85



Şekil 19. SK 1'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 20. SK 1'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 12. SK 1'in LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	28.16	0.00	28.16	0.99	0.36	1.00	0.36	1.00	0.36
2	3.00	56.31	4.91	51.41	0.98	0.39	1.00	0.39	1.00	0.39
3	4.50	84.47	19.62	64.84	0.97	0.46	1.00	0.46	1.00	0.46
4	6.00	112.62	34.34	78.28	0.95	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50
5	7.50	140.78	49.05	91.72	0.94	0.53	1.00	0.53	1.00	0.53
6	9.00	168.93	63.77	105.17	0.93	0.54	1.00	0.54	0.99	0.55
7	10.50	197.09	78.48	118.61	0.89	0.54	1.00	0.54	0.97	0.56
8	12.00	225.24	93.19	132.04	0.85	0.53	1.00	0.53	0.95	0.56
9	13.50	253.40	107.91	145.49	0.81	0.52	1.00	0.52	0.93	0.56
10	15.00	281.55	122.63	158.93	0.77	0.50	1.00	0.50	0.91	0.55
11	16.50	309.70	137.34	172.37	0.73	0.48	1.00	0.48	0.90	0.54
12	18.00	337.86	152.06	185.81	0.69	0.46	1.00	0.46	0.88	0.52
13	19.50	366.01	166.77	199.25	0.65	0.44	1.00	0.44	0.87	0.50

Burada.

u : Deprem sırasındaki inceleme noktasındaki su basıncı

CSR* : Uyarlanmış CSR'dir.

Tablo 13. SK 1'in LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	5.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	5.10	0.37	6.00	0.07
2	7.00	1.39	0.75	1.00	0.85	1.00	6.22	0.39	7.00	0.08
3	9.00	1.24	0.75	1.00	0.95	1.00	7.96	0.41	9.00	0.10
4	10.00	1.13	0.75	1.00	0.95	1.00	8.05	0.41	9.00	0.10
5	17.00	1.04	0.75	1.00	0.95	1.00	12.65	0.47	14.00	0.15
6	13.00	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	9.51	0.43	10.00	0.11
7	15.50	0.92	0.75	1.00	1.00	1.00	10.67	0.44	12.00	0.13
8	10.00	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	6.53	0.39	7.00	0.08
9	11.50	0.83	0.75	1.00	1.00	1.00	7.15	0.40	8.00	0.09
10	13.00	0.79	0.75	1.00	1.00	1.00	7.73	0.41	9.00	0.10
11	13.50	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	7.71	0.41	9.00	0.10
12	14.00	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	7.70	0.41	9.00	0.10
13	15.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	7.97	0.41	9.00	0.10

DeltaN: İnce gevşek zeminlerin varlığı nedeniyle düzeltilmiş SPT

CRR_{7.5}: Çevrimsel kayma mukavemeti

Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli indeksi Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. SK 1'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.76	9.25	10.57
2	0.76	8.50	9.64
3	0.74	7.75	8.66
4	0.77	7.00	8.05
5	0.66	6.25	6.18
6	0.77	5.50	6.32
7	0.72	4.75	5.16
8	0.83	4.00	4.98
9	0.81	3.25	3.95
10	0.79	2.50	2.95
11	0.78	1.75	2.05
12	0.78	1.00	1.16
13	0.77	0.25	0.29

Tablo 14'e göre genel sıvılaşma potansiyeli indeksi 43,55'tir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 1 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.2. Sondaj Kuyusu 2 (SK 2)

Sondaj kuyusu 2'nin sondaj logu Ek Şekil 3'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 15'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değer aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 15. SK2 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m ³)	σ_{v0} (kN/m ²)	σ'_{v0} (kN/m ²)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	UD	12	2,50	18,710	28,065	28,065	1,70	0,75	0,90	0,75	10,328
3,0	13	13	2,50	18,710	56,775	51,775	1,39	0,75	0,90	0,75	9,146
4,5	10	10	2,50	18,640	86,6	66,6	1,23	0,85	0,90	0,75	7,030
6,0	18	16,5	2,50	18,640	116,6	81,6	1,11	0,95	0,90	0,75	11,713
7,5	16	15,5	2,50	18,640	146,6	96,6	1,02	0,95	0,90	0,75	10,113
9,0	26	20,5	2,50	18,640	176,6	111,6	0,95	0,95	0,90	0,75	12,444
10,5		16	2,50	18,640	206,6	126,6	0,89	1	0,90	0,75	9,599
12,0	12	12	2,50	18,640	236,6	141,6	0,84	1	0,90	0,75	6,807
13,5		16	2,50	18,640	266,6	156,6	0,80	1	0,90	0,75	8,630
15,0	26	20,5	2,50	18,640	296,6	171,6	0,76	1	0,90	0,75	10,563
16,5		18	2,50	18,640	326,6	186,6	0,73	1	0,90	0,75	8,894
18,0	18	16,5	2,50	18,640	356,6	201,6	0,70	1	0,90	0,75	7,844
19,5	21	18	2,50	18,640	386,6	216,6	0,68	1	0,90	0,75	8,256

İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 16'da gösterilmiştir.



Tablo 16. TBDY’ye göre SK 2’nin sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
94	5	1	17,393	0,185	1,770	1,442	1,193	1,000	9,194	7,490	6,196	5,193	0,989	21,117	✓	✓	✓	✓
94	5	1	15,976	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	15,579	12,692	10,499	8,799	0,977	42,223	✓	✓	✓	✓
94	5	1	13,437	0,145	1,770	1,442	1,193	1,000	17,058	13,897	11,496	9,635	0,966	63,646	✓	✓	✓	✓
94	5	1	19,056	0,204	1,770	1,442	1,193	1,000	29,457	23,999	19,852	16,638	0,954	84,676	✓	✓	✓	✓
94	5	1	17,135	0,182	1,770	1,442	1,193	1,000	31,166	25,391	21,004	17,603	0,943	105,182	✓	✓	✓	✓
94	5	1	19,932	0,215	1,770	1,442	1,193	1,000	42,381	34,528	28,562	23,937	0,931	125,164	✓	✓	✓	✓
94	5	1	16,518	0,176	1,770	1,442	1,193	1,000	39,366	32,072	26,530	22,235	0,894	140,530	✓	✓	✓	✓
94	5	1	13,168	0,142	1,770	1,442	1,193	1,000	35,624	29,023	24,008	20,121	0,854	153,723	✓	✓	✓	✓
94	5	1	15,356	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	45,359	36,955	30,569	25,619	0,814	165,088	✓	✓	✓	✓
94	5	1	17,676	0,188	1,770	1,442	1,193	1,000	57,160	46,569	38,522	32,285	0,774	174,623	✓	✓	✓	✓
94	5	1	15,673	0,167	1,770	1,442	1,193	1,000	55,117	44,905	37,145	31,131	0,733	182,330	✓	✓	✓	✓
94	5	1	14,413	0,154	1,770	1,442	1,193	1,000	55,023	44,829	37,082	31,078	0,693	188,207	✓	✓	✓	✓
94	5	1	14,907	0,159	1,770	1,442	1,193	1,000	60,999	49,697	41,109	34,453	0,653	192,255	✓	✓	✓	✓

T BDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde ikinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. İkinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

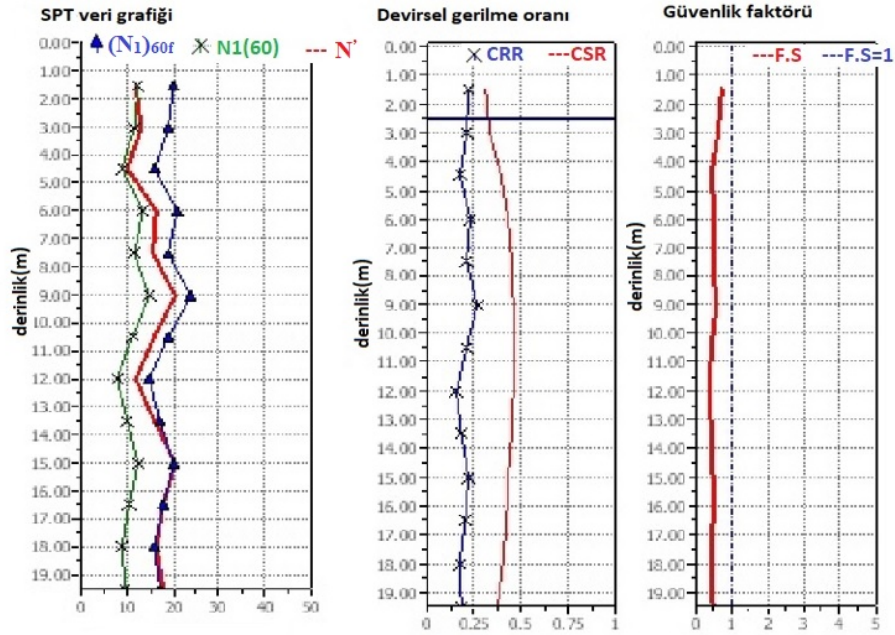
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title: SK2 SIVILAŞMA POTANSİYELİ

Project subtitle :

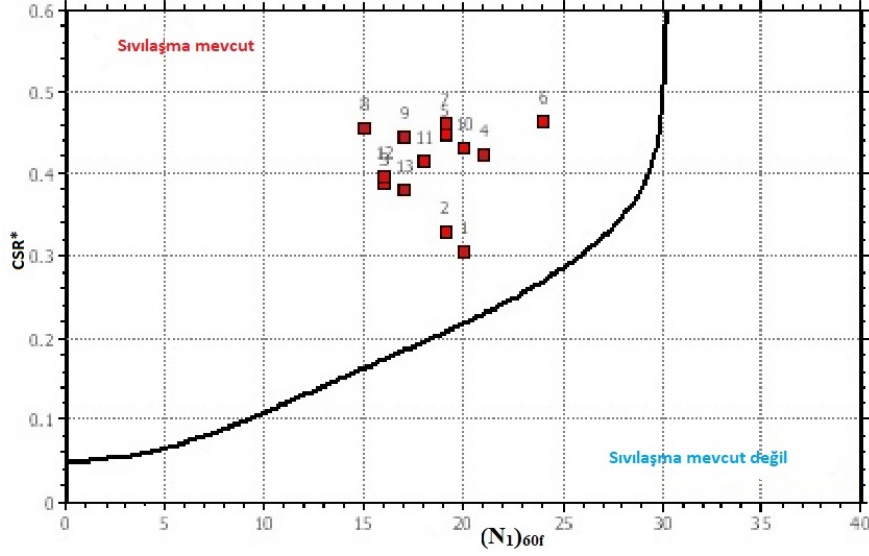
Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	2.50 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	7.50
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.56 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	0.85



Şekil 21. SK 2'nin LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 22. SK 2'nin LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 17. SK 2'nin LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	28.07	0.00	28.07	0.99	0.36	1.00	0.36	1.00	0.36
2	3.00	56.13	4.91	51.23	0.98	0.39	1.00	0.39	1.00	0.39
3	4.50	84.19	19.62	64.58	0.97	0.46	1.00	0.46	1.00	0.46
4	6.00	112.26	34.34	77.92	0.95	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50
5	7.50	140.32	49.05	91.28	0.94	0.53	1.00	0.53	1.00	0.53
6	9.00	168.28	63.77	104.52	0.93	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
7	10.50	196.25	78.48	117.77	0.89	0.54	1.00	0.54	0.99	0.55
8	12.00	224.21	93.19	131.01	0.85	0.53	1.00	0.53	0.99	0.54
9	13.50	252.16	107.91	144.25	0.81	0.52	1.00	0.52	0.99	0.52
10	15.00	280.13	122.63	157.50	0.77	0.50	1.00	0.50	0.99	0.51
11	16.50	308.08	137.34	170.75	0.73	0.48	1.00	0.48	0.99	0.49
12	18.00	336.05	152.06	183.99	0.69	0.46	1.00	0.46	0.99	0.47
13	19.50	364.00	166.77	197.24	0.65	0.44	1.00	0.44	0.98	0.45

Tablo 17'de görüldüğü gibi LiqIT programı tarafından CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 18 'de ($CRR_{7.5}$) değerleri gösterilmiştir.

Tablo 18. SK 2'nin LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	12.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	12.24	7.45	20.00	0.22
2	13.00	1.40	0.75	1.00	0.85	1.00	11.58	7.32	19.00	0.21
3	10.00	1.24	0.75	1.00	0.95	1.00	8.87	6.77	16.00	0.17
4	16.50	1.13	0.75	1.00	0.95	1.00	13.32	7.66	21.00	0.23
5	15.50	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	11.56	7.31	19.00	0.21
6	20.50	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	15.04	8.01	24.00	0.27
7	16.00	0.92	0.75	1.00	1.00	1.00	11.06	7.21	19.00	0.21
8	12.00	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	7.86	6.57	15.00	0.16
9	16.00	0.83	0.75	1.00	1.00	1.00	9.99	7.00	17.00	0.18
10	20.50	0.80	0.75	1.00	1.00	1.00	12.25	7.45	20.00	0.22
11	18.00	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	10.33	7.07	18.00	0.20
12	16.50	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	9.12	6.82	16.00	0.17
13	18.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	9.61	6.92	17.00	0.18

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 19'da belirlenmiştir.

Tablo 19. SK 2'nin Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.29	9.25	4.00
2	0.38	8.50	4.81
3	0.55	7.75	6.43
4	0.46	7.00	4.84
5	0.54	6.25	5.06
6	0.42	5.50	3.47
7	0.55	4.75	3.95
8	0.64	4.00	3.85
9	0.58	3.25	2.85
10	0.50	2.50	1.86
11	0.53	1.75	1.39
12	0.56	1.00	0.84
13	0.51	0.25	0.19

Tablo 19'a göre genel sıvılaşma potansiyeli indeksi 43,55'tir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 2 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.3. Sondaj Kuyusu 3 (SK 3)

Sondaj kuyusu 3'ün sondaj logu Ek Şekil 4'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 20'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değer aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 20. SK3 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	4	4	3,00	18,340	27,510	27,510	1,70	0,75	0,90	0,75	3,443
3,0		8	3,00	18,340	55,020	55,020	1,35	0,75	0,90	0,75	5,460
4,5	12	12	3,00	18,340	85,020	70,020	1,20	0,85	0,90	0,75	8,228
6,0	12	12	3,00	18,340	115,020	85,020	1,08	0,95	0,90	0,75	8,345
7,5	6	6	3,00	18,340	145,020	100,020	1,00	0,95	0,90	0,75	3,847
9,0	14	14	3,00	18,340	175,020	115,020	0,93	0,95	0,90	0,75	8,371
10,5	21	18	3,00	18,340	205,020	130,020	0,88	1	0,90	0,75	10,655
12,0	25	20	3,00	18,340	235,020	145,020	0,83	1	0,90	0,75	11,210
13,5		19,5	3,00	18,340	265,020	160,020	0,79	1	0,90	0,75	10,405
15,0	23	19	3,00	18,340	295,020	175,020	0,76	1	0,90	0,75	9,694
16,5		20	3,00	18,340	325,020	190,020	0,73	1	0,90	0,75	9,793
18,0		21	3,00	18,340	355,020	205,020	0,70	1	0,90	0,75	9,900
19,5		22	3,00	18,340	385,020	220,020	0,67	1	0,90	0,75	10,011

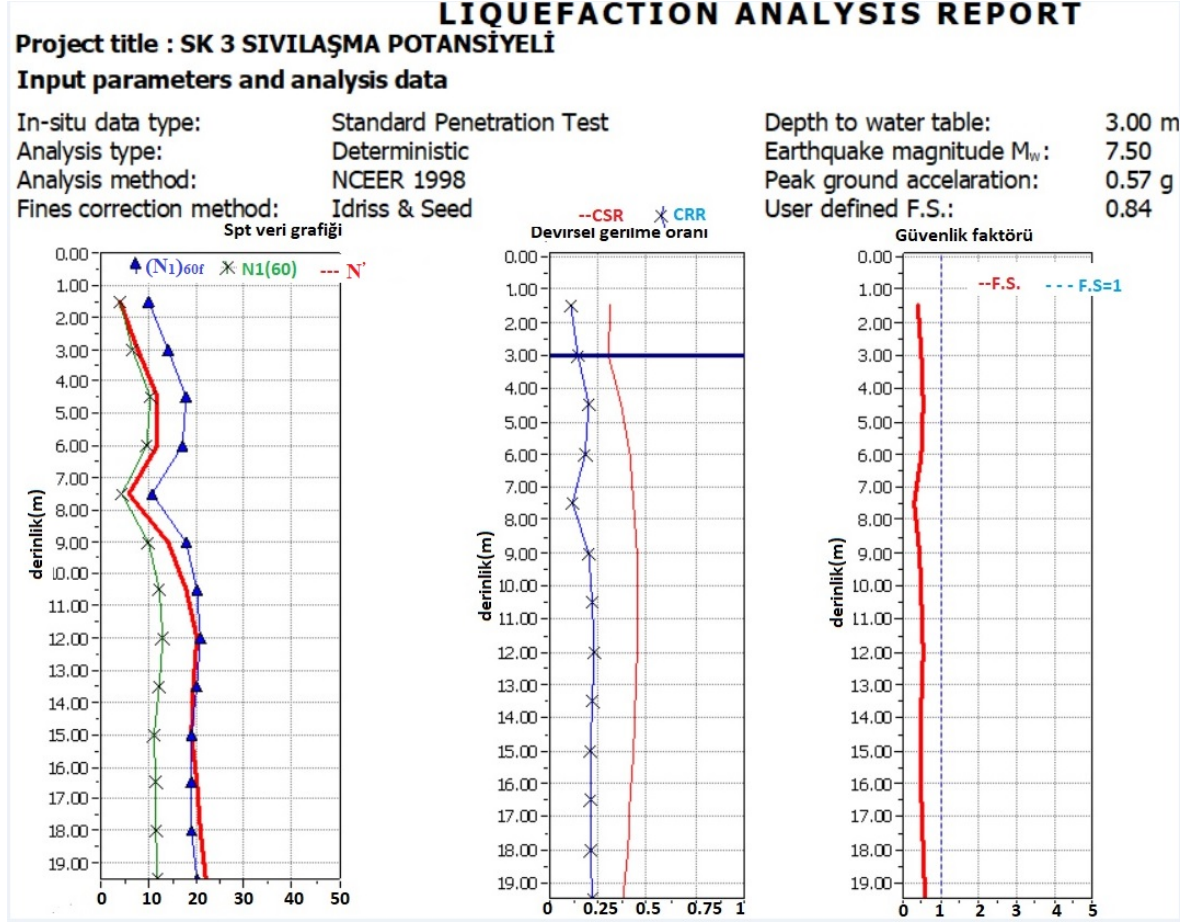
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 21'de gösterilmiştir.



Tablo 21. TBDY’e göre SK 3’ün sınılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınılaşma durumu

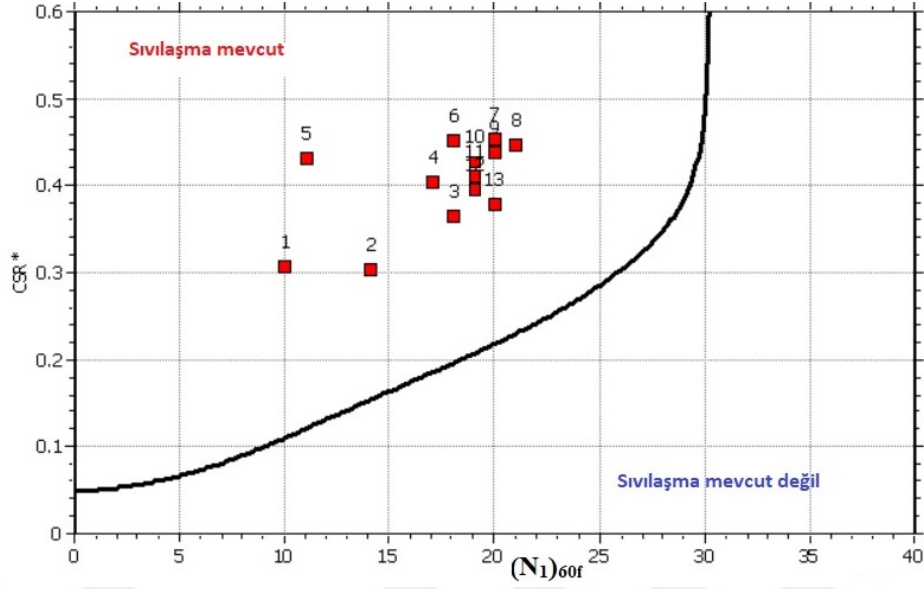
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sınılaşma Durumu (M=6.0)	Sınılaşma Durumu (M=6.5)	Sınılaşma Durumu (M=7.0)	Sınılaşma Durumu (M=7.5)
40,8	5	1,2	9,131	0,106	1,770	1,442	1,193	1,000	5,138	4,186	3,463	2,902	0,989	20,770	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	11,552	0,127	1,770	1,442	1,193	1,000	12,372	10,080	8,338	6,988	0,977	41,057	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	14,874	0,159	1,770	1,442	1,193	1,000	19,678	16,032	13,262	11,114	0,966	62,699	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	15,015	0,160	1,770	1,442	1,193	1,000	24,106	19,640	16,246	13,616	0,954	83,814	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	9,617	0,110	1,770	1,442	1,193	1,000	19,429	15,829	13,094	10,974	0,943	104,404	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	15,045	0,161	1,770	1,442	1,193	1,000	32,674	26,621	22,020	18,455	0,931	124,468	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	17,787	0,189	1,770	1,442	1,193	1,000	43,592	35,515	29,378	24,622	0,894	139,931	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	18,452	0,197	1,770	1,442	1,193	1,000	50,550	41,184	34,067	28,552	0,854	153,218	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	17,486	0,186	1,770	1,442	1,193	1,000	52,710	42,944	35,523	29,772	0,814	164,670	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	16,633	0,177	1,770	1,442	1,193	1,000	54,799	44,646	36,930	30,951	0,774	174,286	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	16,752	0,178	1,770	1,442	1,193	1,000	59,921	48,819	40,383	33,845	0,733	182,067	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	16,880	0,180	1,770	1,442	1,193	1,000	65,146	53,076	43,904	36,796	0,693	188,013	✓	✓	✓	✓
40,8	5	1,2	17,014	0,181	1,770	1,442	1,193	1,000	70,473	57,416	47,494	39,805	0,653	192,123	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde üçüncü kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Üçüncü sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 23. SK 3'ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 24. SK 3'ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 22. SK 3'ün LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR*
1	1.50	27.51	0.00	27.51	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	55.02	0.00	55.02	0.98	0.36	1.00	0.36	1.00	0.36
3	4.50	82.53	14.71	67.81	0.97	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
4	6.00	110.04	29.43	80.61	0.95	0.48	1.00	0.48	1.00	0.48
5	7.50	137.55	44.15	93.41	0.94	0.51	1.00	0.51	1.00	0.51
6	9.00	165.06	58.86	106.20	0.93	0.54	1.00	0.54	1.00	0.54
7	10.50	192.57	73.58	119.00	0.89	0.54	1.00	0.54	0.99	0.54
8	12.00	220.08	88.29	131.79	0.85	0.53	1.00	0.53	0.99	0.53
9	13.50	247.59	103.00	144.59	0.81	0.52	1.00	0.52	0.99	0.52
10	15.00	275.10	117.72	157.38	0.77	0.50	1.00	0.50	0.99	0.51
11	16.50	302.61	132.44	170.18	0.73	0.48	1.00	0.48	0.99	0.49
12	18.00	330.12	147.15	182.97	0.69	0.46	1.00	0.46	0.98	0.47
13	19.50	357.63	161.87	195.76	0.65	0.44	1.00	0.44	0.98	0.45

Tablo 22'de görüldüğü üzere CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7,5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 23'de belirlenen değerler gösterilmiştir.

Tablo 23. SK 3'ün LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	4.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	4.08	5.82	10.00	0.11
2	8.00	1.35	0.75	1.00	0.85	1.00	6.88	6.38	14.00	0.15
3	12.00	1.21	0.75	1.00	0.95	1.00	10.38	7.08	18.00	0.20
4	12.00	1.11	0.75	1.00	0.95	1.00	9.52	6.90	17.00	0.18
5	6.00	1.03	0.75	1.00	0.95	1.00	4.42	5.88	11.00	0.12
6	14.00	0.97	0.75	1.00	1.00	1.00	10.19	7.04	18.00	0.20
7	18.00	0.92	0.75	1.00	1.00	1.00	12.38	7.48	20.00	0.22
8	20.00	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	13.07	7.61	21.00	0.23
9	19.50	0.83	0.75	1.00	1.00	1.00	12.16	7.43	20.00	0.22
10	19.00	0.80	0.75	1.00	1.00	1.00	11.36	7.27	19.00	0.21
11	20.00	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	11.50	7.30	19.00	0.21
12	21.00	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	11.64	7.33	19.00	0.21
13	22.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	11.79	7.36	20.00	0.22

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sınıflama metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sınıflama potansiyel indeksi Tablo 24'de belirlenmiştir.

Tablo 24. SK 3'ün Iwasaki'ye göre sınıflama potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sınıflama Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.64	9.25	8.93
2	0.50	8.50	6.35
3	0.47	7.75	5.41
4	0.54	7.00	5.72
5	0.72	6.25	6.77
6	0.57	5.50	4.68
7	0.52	4.75	3.70
8	0.49	4.00	2.93
9	0.50	3.25	2.46
10	0.52	2.50	1.94
11	0.50	1.75	1.31
12	0.48	1.00	0.72
13	0.42	0.25	0.16

Tablo 24'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi I_L 51,07 'tir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 3 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.4. Sondaj Kuyusu 4 (SK 4)

Sondaj kuyusu 4'ün sondaj logu Ek Şekil 5'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 25'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneylemleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 25. SK 4 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	6	6	2,00	18,580	27,870	27,870	1,70	0,75	0,90	0,75	5,164
3,0	UD	10	2,00	18,580	57,160	47,160	1,46	0,75	0,90	0,75	7,372
4,5	14	14	2,00	18,580	87,160	62,160	1,27	0,85	0,90	0,75	10,188
6,0	19	17	2,00	18,580	117,160	77,160	1,14	0,95	0,90	0,75	12,410
7,5	15	15	2,00	18,580	147,160	92,160	1,04	0,95	0,90	0,75	10,020
9,0		16	2,00	18,580	177,160	107,160	0,97	0,95	0,90	0,75	9,911
10,5	19	17	2,00	18,580	207,160	122,160	0,90	1	0,90	0,75	10,382
12,0	15	15	2,00	18,580	237,160	137,160	0,85	1	0,90	0,75	8,645
13,5		17	2,00	18,580	267,160	152,160	0,81	1	0,90	0,75	9,303
15,0	21	18	2,00	18,580	297,160	167,160	0,77	1	0,90	0,75	9,397
16,5		19	2,00	18,580	327,160	182,160	0,74	1	0,90	0,75	9,502
18,0		20	2,00	18,580	357,160	197,160	0,71	1	0,90	0,75	9,614
19,5		21	2,00	18,580	387,160	212,160	0,69	1	0,90	0,75	9,732

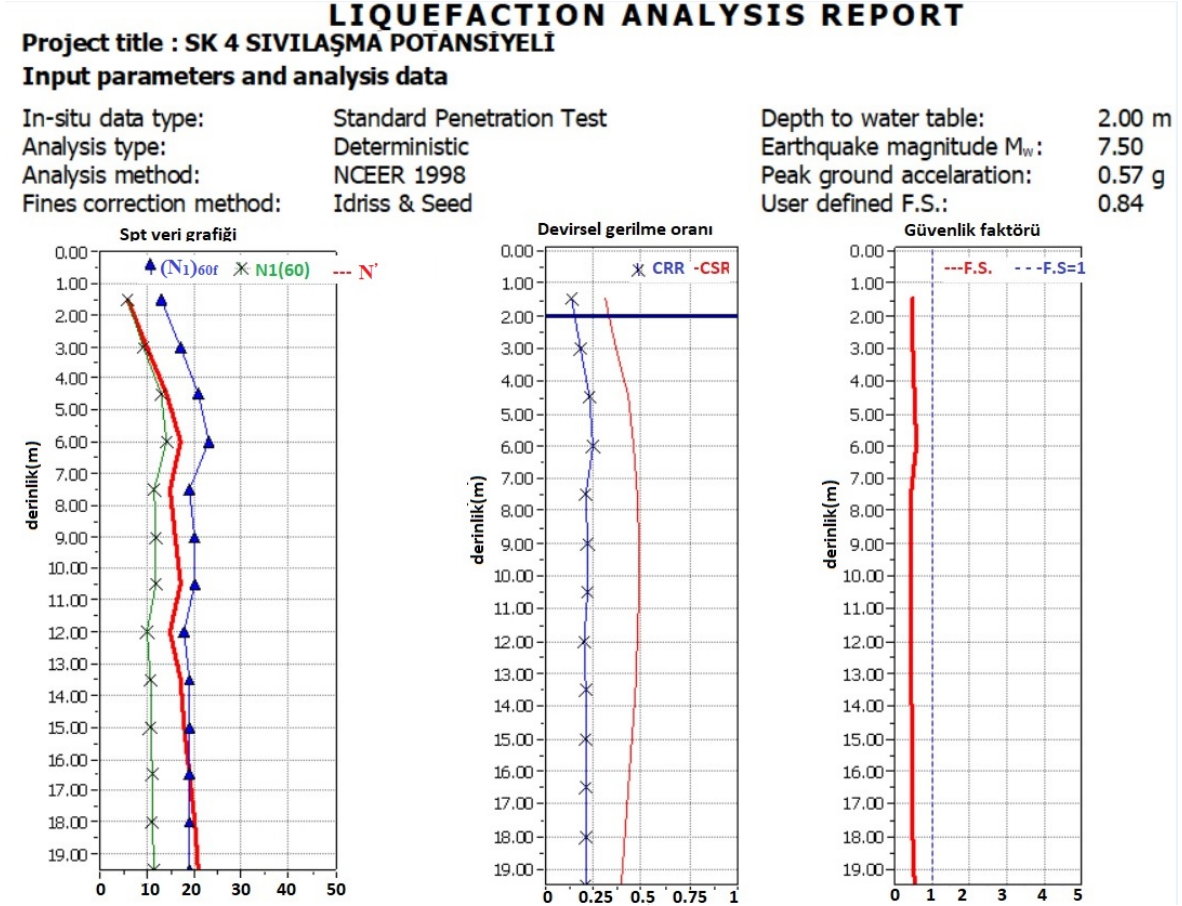
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 26'da gösterilmiştir.



Tablo 26. TBDY’e göre SK 4’ün sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

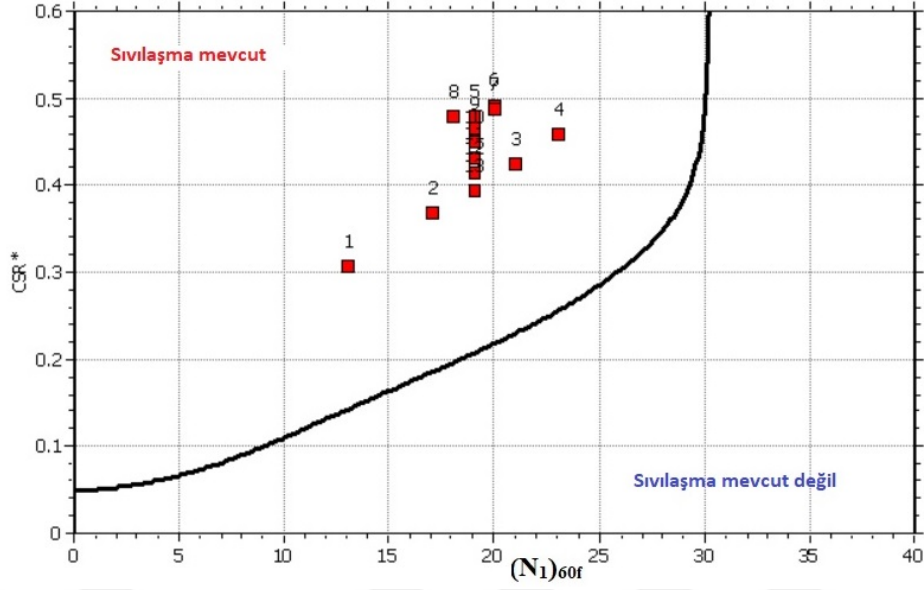
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_r(M=6)$	$\tau_r(M=6.5)$	$\tau_r(M=7)$	$\tau_r(M=7.5)$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
95,6	5	1,2	13,846	0,149	1,770	1,442	1,193	1,000	7,333	5,974	4,942	4,142	0,989	21,059	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	17,226	0,183	1,770	1,442	1,193	1,000	15,297	12,463	10,309	8,640	0,977	42,690	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	19,892	0,214	1,770	1,442	1,193	1,000	23,551	19,187	15,872	13,302	0,966	64,332	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	17,023	0,181	1,770	1,442	1,193	1,000	24,729	20,147	16,666	13,967	0,954	85,446	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	16,894	0,180	1,770	1,442	1,193	1,000	29,308	23,878	19,752	16,554	0,943	106,035	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	17,459	0,186	1,770	1,442	1,193	1,000	35,241	28,711	23,750	19,905	0,931	126,097	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	15,374	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	35,423	28,860	23,872	20,007	0,894	141,512	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	16,163	0,172	1,770	1,442	1,193	1,000	41,744	34,009	28,132	23,578	0,854	154,745	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	16,277	0,173	1,770	1,442	1,193	1,000	46,629	37,990	31,425	26,337	0,814	166,141	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	16,403	0,174	1,770	1,442	1,193	1,000	51,617	42,054	34,787	29,155	0,774	175,700	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	16,537	0,176	1,770	1,442	1,193	1,000	56,707	46,200	38,217	32,029	0,733	183,422	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	16,678	0,177	1,770	1,442	1,193	1,000	61,897	50,429	41,715	34,961	0,693	189,307	✓	✓	✓	✓
95,6	5	1,2	11,678	0,128	1,770	1,442	1,193	1,000	48,143	39,223	32,445	27,192	0,653	193,356	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde dördüncü kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Dördüncü sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 25. SK 4'ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 26. SK 4'ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 27SK 4'ün LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.87	0.00	27.87	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	55.74	9.81	45.93	0.98	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
3	4.50	83.61	24.52	59.09	0.97	0.51	1.00	0.51	1.00	0.51
4	6.00	111.48	39.24	72.24	0.95	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
5	7.50	139.35	53.95	85.39	0.94	0.57	1.00	0.57	1.00	0.57
6	9.00	167.22	68.67	98.55	0.93	0.59	1.00	0.59	1.00	0.59
7	10.50	195.09	83.39	111.70	0.89	0.58	1.00	0.58	1.00	0.58
8	12.00	222.96	98.10	124.86	0.85	0.57	1.00	0.57	0.99	0.57
9	13.50	250.83	112.81	138.01	0.81	0.55	1.00	0.55	0.99	0.55
10	15.00	278.70	127.53	151.17	0.77	0.53	1.00	0.53	0.99	0.54
11	16.50	306.57	142.25	164.32	0.73	0.51	1.00	0.51	0.99	0.51
12	18.00	334.44	156.96	177.48	0.69	0.48	1.00	0.48	0.99	0.49
13	19.50	362.31	171.68	190.63	0.65	0.46	1.00	0.46	0.98	0.47

Tablo 27'de CSR* değerleri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7,5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 28'de ($CRR_{7.5}$) değerleri gösterilmiştir.

Tablo 28. SK 4'ün LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	6.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	6.12	6.22	13.00	0.14
2	10.00	1.48	0.75	1.00	0.85	1.00	9.41	6.88	17.00	0.18
3	14.00	1.30	0.75	1.00	0.95	1.00	12.98	7.60	21.00	0.23
4	17.00	1.18	0.75	1.00	0.95	1.00	14.25	7.85	23.00	0.25
5	15.00	1.08	0.75	1.00	0.95	1.00	11.57	7.31	19.00	0.21
6	16.00	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	12.09	7.42	20.00	0.22
7	17.00	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	12.06	7.41	20.00	0.22
8	15.00	0.89	0.75	1.00	1.00	1.00	10.07	7.01	18.00	0.20
9	17.00	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	10.85	7.17	19.00	0.21
10	18.00	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	10.98	7.20	19.00	0.21
11	19.00	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	11.12	7.22	19.00	0.21
12	20.00	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	11.26	7.25	19.00	0.21
13	21.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	11.41	7.28	19.00	0.21

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 29'da belirlenmiştir.

Tablo 29. SK 4'ün Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli

Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.54	9.25	7.48
2	0.50	8.50	6.37
3	0.46	7.75	5.36
4	0.44	7.00	4.66
5	0.57	6.25	5.33
6	0.56	5.50	4.60
7	0.55	4.75	3.95
8	0.59	4.00	3.55
9	0.56	3.25	2.71
10	0.54	2.50	2.03
11	0.52	1.75	1.37
12	0.50	1.00	0.75
13	0.48	0.25	0.18

Tablo 29'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 48,33'tür. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 4 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.5. Sondaj Kuyusu 5 (SK 5)

Sondaj kuyusu 5'ün sondaj logu Ek Şekil 6'da gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 30'da verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneylemleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 30. SK 5 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	4	4	4,50	18,900	28,350	28,350	1,70	0,75	0,90	0,75	3,443
3,0	10	10	4,50	18,900	56,700	56,700	1,33	0,75	0,90	0,75	6,723
4,5	12	12	4,50	18,900	85,050	85,050	1,08	0,85	0,90	0,75	7,466
6,0	13	13	4,50	18,900	115,050	100,050	1,00	0,95	0,90	0,75	8,334
7,5	14	14	4,50	18,900	145,050	115,050	0,93	0,95	0,90	0,75	8,370
9,0	11	11	4,50	18,900	175,050	130,050	0,88	0,95	0,90	0,75	6,185
10,5	19	17	4,50	18,900	205,050	145,050	0,83	1	0,90	0,75	9,528
12,0	18	16,5	4,50	18,900	235,050	160,050	0,79	1	0,90	0,75	8,804
13,5		17,5	4,50	18,900	265,050	175,050	0,76	1	0,90	0,75	8,928
15,0	21	18	4,50	18,900	295,050	190,050	0,73	1	0,90	0,75	8,813
16,5		19	4,50	18,900	325,050	205,050	0,70	1	0,90	0,75	8,956
18,0		20	4,50	18,900	355,050	220,050	0,67	1	0,90	0,75	9,101
19,5	26	20,5	4,50	18,900	385,050	235,050	0,65	1	0,90	0,75	9,026

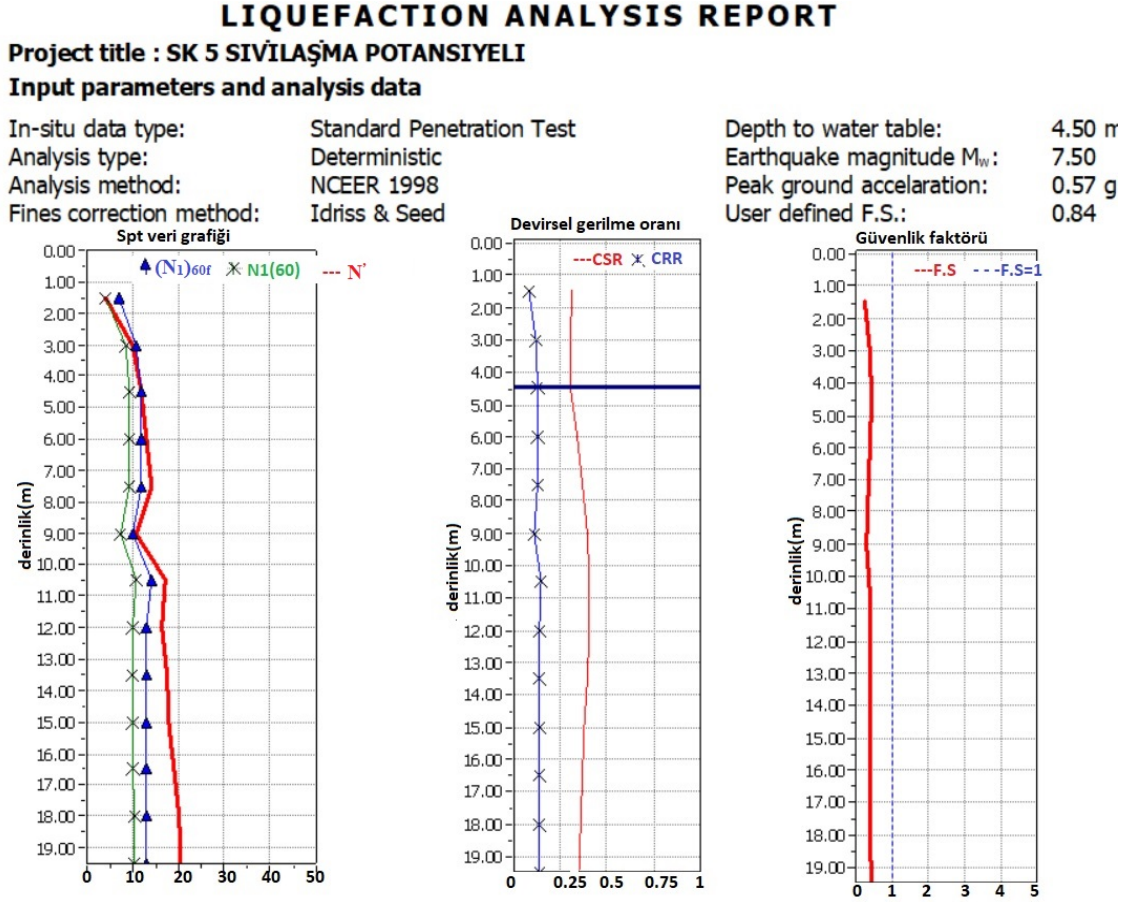
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 31'de gösterilmiştir.



Tablo 31. TBDY’e göre SK 5’in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

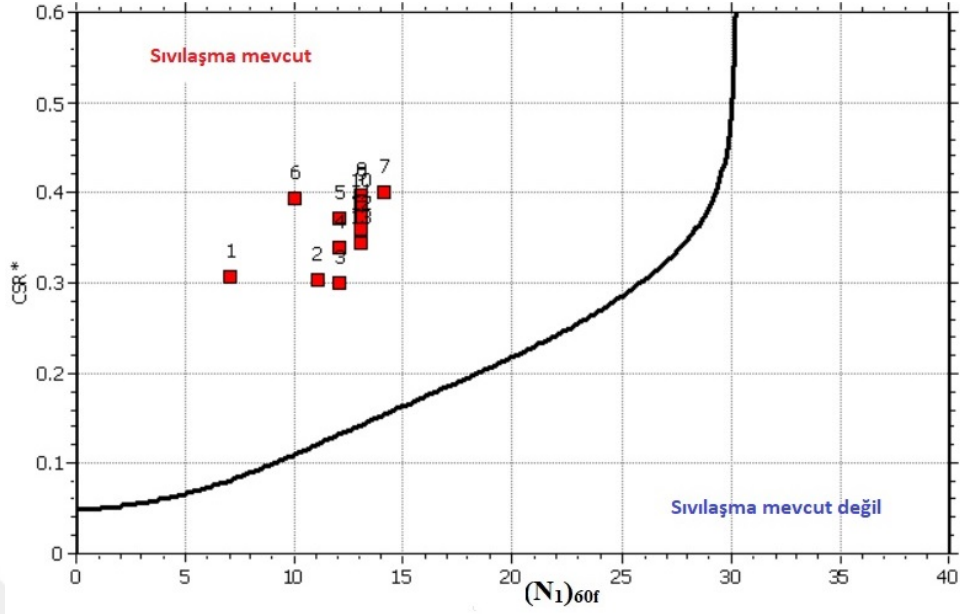
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
86,3	5	1,2	12,229	0,133	1,770	1,442	1,193	1,000	6,370	5,190	4,293	3,598	0,989	20,471	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	12,440	0,135	1,770	1,442	1,193	1,000	12,928	10,533	8,713	7,302	0,977	40,467	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	14,117	0,151	1,770	1,442	1,193	1,000	18,478	15,054	12,453	10,437	0,966	62,210	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	18,853	0,202	1,770	1,442	1,193	1,000	29,970	24,417	20,198	16,928	0,954	83,425	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	15,054	0,161	1,770	1,442	1,193	1,000	28,139	22,926	18,964	15,894	0,943	104,111	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	15,811	0,168	1,770	1,442	1,193	1,000	33,957	27,666	22,885	19,180	0,931	124,269	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	16,054	0,171	1,770	1,442	1,193	1,000	39,001	31,775	26,284	22,029	0,894	139,828	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	15,800	0,168	1,770	1,442	1,193	1,000	42,866	34,924	28,889	24,211	0,854	153,202	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	16,242	0,173	1,770	1,442	1,193	1,000	48,621	39,613	32,767	27,462	0,814	164,734	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	20,896	0,227	1,770	1,442	1,193	1,000	70,479	57,421	47,498	39,808	0,774	175,330	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	19,670	0,211	1,770	1,442	1,193	1,000	71,268	58,064	48,030	40,254	0,733	183,129	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	19,125	0,205	1,770	1,442	1,193	1,000	74,493	60,691	50,203	42,075	0,693	189,084	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	18,091	0,193	1,770	1,442	1,193	1,000	75,266	61,321	50,724	42,512	0,653	193,197	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde beşinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Beşinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 27. SK 5'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 28. SK 5'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 32. SK 5'in LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR*
1	1.50	28.35	0.00	28.35	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	56.70	0.00	56.70	0.98	0.36	1.00	0.36	1.00	0.36
3	4.50	85.05	0.00	85.05	0.97	0.36	1.00	0.36	1.00	0.36
4	6.00	113.40	14.71	98.69	0.95	0.41	1.00	0.41	1.00	0.41
5	7.50	141.75	29.43	112.32	0.94	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
6	9.00	170.10	44.15	125.95	0.93	0.47	1.00	0.47	0.99	0.47
7	10.50	198.45	58.86	139.59	0.89	0.47	1.00	0.47	0.99	0.48
8	12.00	226.80	73.58	153.22	0.85	0.47	1.00	0.47	0.99	0.47
9	13.50	255.15	88.29	166.86	0.81	0.46	1.00	0.46	0.99	0.47
10	15.00	283.50	103.00	180.50	0.77	0.45	1.00	0.45	0.99	0.46
11	16.50	311.85	117.72	194.13	0.73	0.44	1.00	0.44	0.98	0.44
12	18.00	340.20	132.44	207.76	0.69	0.42	1.00	0.42	0.98	0.43
13	19.50	368.55	147.15	221.40	0.65	0.40	1.00	0.40	0.98	0.41

Tablo 32'de sondaj verileri kullanılarak CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 33'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 33. SK 5'in LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	4.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	4.08	2.13	7.00	0.08
2	10.00	1.33	0.75	1.00	0.85	1.00	8.47	2.30	11.00	0.12
3	12.00	1.08	0.75	1.00	0.95	1.00	9.27	2.33	12.00	0.13
4	13.00	1.01	0.75	1.00	0.95	1.00	9.32	2.33	12.00	0.13
5	14.00	0.94	0.75	1.00	0.95	1.00	9.41	2.33	12.00	0.13
6	11.00	0.89	0.75	1.00	1.00	1.00	7.35	2.25	10.00	0.11
7	17.00	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	10.79	2.39	14.00	0.15
8	16.50	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	10.00	2.36	13.00	0.14
9	17.50	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	10.16	2.36	13.00	0.14
10	18.00	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	10.05	2.36	13.00	0.14
11	19.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	10.23	2.36	13.00	0.14
12	20.00	0.69	0.75	1.00	1.00	1.00	10.41	2.37	13.00	0.14
13	20.50	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	10.33	2.37	13.00	0.14

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 34'de belirlenmiştir.

Tablo 34. SK 5'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.74	9.25	10.23
2	0.60	8.50	7.71
3	0.56	7.75	6.56
4	0.62	7.00	6.47
5	0.65	6.25	6.07
6	0.72	5.50	5.95
7	0.62	4.75	4.40
8	0.64	4.00	3.86
9	0.64	3.25	3.11
10	0.63	2.50	2.37
11	0.62	1.75	1.63
12	0.61	1.00	0.91
13	0.59	0.25	0.22

Tablo 34'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 59,50'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 5 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.6. Sondaj Kuyusu 6 (SK 6)

Sondaj kuyusu 6'nın sondaj logu Ek Şekil 7'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 35'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 35. SK 6 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	7	7	3,00	18,000	27,000	27,000	1,70	0,75	0,90	0,75	6,024
3,0	11	11	3,00	18,000	54,000	54,000	1,36	0,75	0,90	0,75	7,578
4,5	10	10	3,00	18,000	84,000	69,000	1,20	0,85	0,90	0,75	6,907
6,0	UD	12	3,00	18,000	114,000	84,000	1,09	0,95	0,90	0,75	8,396
7,5	14	14	3,00	18,000	144,000	99,000	1,01	0,95	0,90	0,75	9,023
9,0	12	12	3,00	18,000	174,000	114,000	0,94	0,95	0,90	0,75	7,207
10,5		13,5	3,00	18,000	204,000	129,000	0,88	1	0,90	0,75	8,023
12,0	15	15	3,00	18,000	234,000	144,000	0,83	1	0,90	0,75	8,438
13,5		16	3,00	18,000	264,000	159,000	0,79	1	0,90	0,75	8,565
15,0	19	17	3,00	18,000	294,000	174,000	0,76	1	0,90	0,75	8,699
16,5		18	3,00	18,000	324,000	189,000	0,73	1	0,90	0,75	8,838
18,0	22	18,5	3,00	18,000	354,000	204,000	0,70	1	0,90	0,75	8,743
19,5		19	3,00	18,000	384,000	219,000	0,68	1	0,90	0,75	8,666

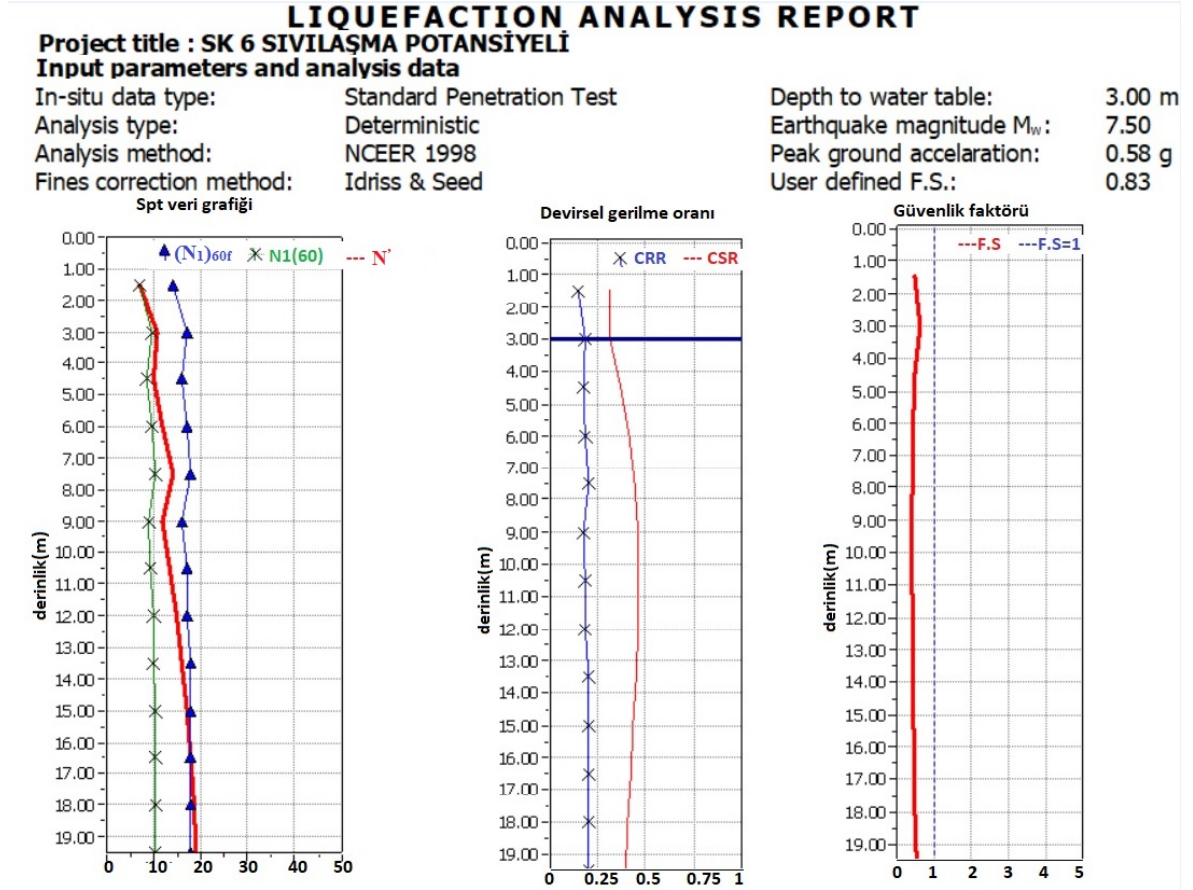
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 36'da gösterilmiştir.



Tablo 36. TBDY'e göre SK 6'nın sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

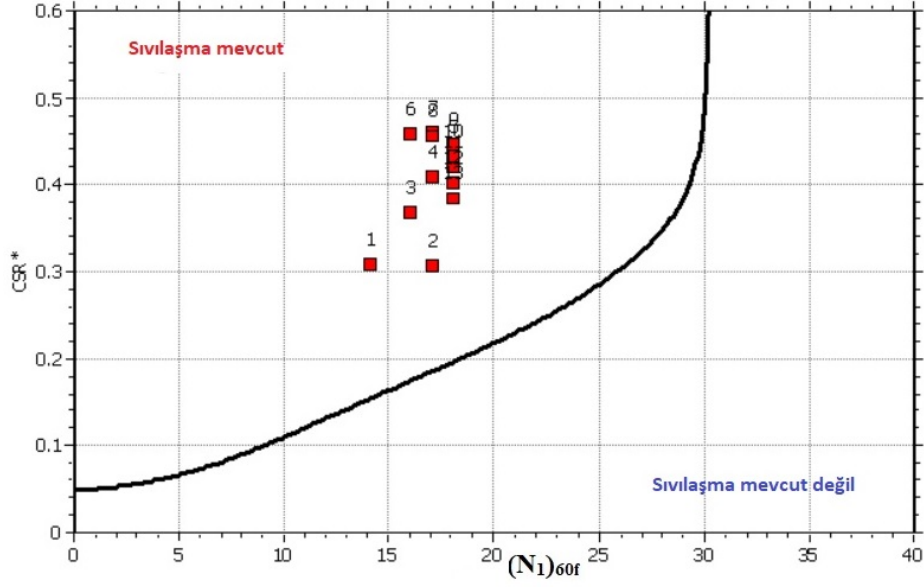
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
95,1	5	1,2	12,229	0,133	1,770	1,442	1,193	1,000	6,370	5,190	4,293	3,598	0,989	20,471	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	14,094	0,151	1,770	1,442	1,193	1,000	14,439	11,764	9,731	8,155	0,977	40,467	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	13,289	0,143	1,770	1,442	1,193	1,000	17,499	14,257	11,793	9,884	0,966	62,210	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,075	0,161	1,770	1,442	1,193	1,000	23,907	19,478	16,112	13,503	0,954	83,425	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,827	0,168	1,770	1,442	1,193	1,000	29,519	24,050	19,894	16,673	0,943	104,111	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	13,648	0,147	1,770	1,442	1,193	1,000	29,609	24,123	19,955	16,724	0,931	124,269	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	14,628	0,156	1,770	1,442	1,193	1,000	35,694	29,081	24,055	20,161	0,894	139,828	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,125	0,161	1,770	1,442	1,193	1,000	41,112	33,495	27,707	23,221	0,854	153,202	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,278	0,163	1,770	1,442	1,193	1,000	45,830	37,338	30,886	25,886	0,814	164,734	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,439	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	50,657	41,271	34,139	28,612	0,774	174,423	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,605	0,166	1,770	1,442	1,193	1,000	55,592	45,292	37,466	31,400	0,733	182,268	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,492	0,165	1,770	1,442	1,193	1,000	59,585	48,545	40,156	33,655	0,693	188,271	✓	✓	✓	✓
95,1	5	1,2	15,400	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	63,603	51,818	42,864	35,924	0,653	192,430	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde altıncı kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Altıncı sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 29. SK 6'nın LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 30. SK 6'nın LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 37. SK 6'nın LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR*
1	1.50	27.00	0.00	27.00	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	54.00	0.00	54.00	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	81.00	14.71	66.28	0.97	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
4	6.00	108.00	29.43	78.57	0.95	0.49	1.00	0.49	1.00	0.49
5	7.50	135.00	44.15	90.86	0.94	0.53	1.00	0.53	1.00	0.53
6	9.00	162.00	58.86	103.14	0.93	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
7	10.50	189.00	73.58	115.42	0.89	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
8	12.00	216.00	88.29	127.71	0.85	0.54	1.00	0.55	0.99	0.55
9	13.50	243.00	103.00	140.00	0.81	0.53	1.00	0.53	0.99	0.54
10	15.00	270.00	117.72	152.28	0.77	0.52	1.00	0.52	0.99	0.52
11	16.50	297.00	132.44	164.56	0.73	0.50	1.00	0.50	0.99	0.51
12	18.00	324.00	147.15	176.85	0.69	0.48	1.00	0.48	0.99	0.49
13	19.50	351.00	161.87	189.13	0.65	0.46	1.00	0.46	0.98	0.47

Tablo 37'den anlaşıldığı üzere CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7,5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 38'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 38. SK 6'nın LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.00	0.00	27.00	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	54.00	0.00	54.00	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	81.00	14.71	66.28	0.97	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
4	6.00	108.00	29.43	78.57	0.95	0.49	1.00	0.49	1.00	0.49
5	7.50	135.00	44.15	90.86	0.94	0.53	1.00	0.53	1.00	0.53
6	9.00	162.00	58.86	103.14	0.93	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
7	10.50	189.00	73.58	115.42	0.89	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
8	12.00	216.00	88.29	127.71	0.85	0.54	1.00	0.55	0.99	0.55
9	13.50	243.00	103.00	140.00	0.81	0.53	1.00	0.53	0.99	0.54
10	15.00	270.00	117.72	152.28	0.77	0.52	1.00	0.52	0.99	0.52
11	16.50	297.00	132.44	164.56	0.73	0.50	1.00	0.50	0.99	0.51
12	18.00	324.00	147.15	176.85	0.69	0.48	1.00	0.48	0.99	0.49
13	19.50	351.00	161.87	189.13	0.65	0.46	1.00	0.46	0.98	0.47

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 39'da belirlenmiştir.

Tablo 39. SK 6'nın Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.51	9.25	7.03
2	0.40	8.50	5.05
3	0.53	7.75	6.15
4	0.55	7.00	5.77
5	0.55	6.25	5.19
6	0.62	5.50	5.12
7	0.60	4.75	4.27
8	0.59	4.00	3.57
9	0.56	3.25	2.74
10	0.55	2.50	2.06
11	0.53	1.75	1.40
12	0.52	1.00	0.77
13	0.49	0.25	0.19

Tablo 39'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 49,31'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 6 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.7. Sondaj Kuyusu 7 (SK 7)

Sondaj kuyusu 7'nin sondaj logu Ek Şekil 8'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltilmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 40'da verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değer aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 40. SK 7 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	7	7	3,00	18,000	27,000	27,000	1,70	0,75	0,90	0,75	6,024
3,0	9	9	3,00	18,000	54,000	54,000	1,36	0,75	0,90	0,75	6,200
4,5	11	11	3,00	18,000	84,000	69,000	1,20	0,85	0,90	0,75	7,598
6,0	18	16,5	3,00	18,000	114,000	84,000	1,09	0,95	0,90	0,75	11,544
7,5	13	13	3,00	18,000	144,000	99,000	1,01	0,95	0,90	0,75	8,378
9,0	15	15	3,00	18,000	174,000	114,000	0,94	0,95	0,90	0,75	9,009
10,5	16	15,5	3,00	18,000	204,000	129,000	0,88	1	0,90	0,75	9,212
12,0	17	16	3,00	18,000	234,000	144,000	0,83	1	0,90	0,75	9,000
13,5	20	17,5	3,00	18,000	264,000	159,000	0,79	1	0,90	0,75	9,368
15,0	37	26	3,00	18,510	295,530	175,530	0,75	1	0,90	0,75	13,247
16,5		25	3,00	18,510	325,530	190,530	0,72	1	0,90	0,75	12,225
18,0		25	3,00	18,510	355,530	205,530	0,70	1	0,90	0,75	11,771
19,5	33	24	3,00	18,510	385,530	220,530	0,67	1	0,90	0,75	10,909

İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir.

Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 41'de gösterilmiştir.



Tablo 41. TBDY’e göre SK 7’nin sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_r(M=6)$	$\tau_r(M=6.5)$	$\tau_r(M=7)$	$\tau_r(M=7.5)$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
86,3	5	1,2	12,229	0,133	1,770	1,442	1,193	1,000	6,370	5,190	4,293	3,598	0,989	20,471	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	12,440	0,135	1,770	1,442	1,193	1,000	12,928	10,533	8,713	7,302	0,977	40,467	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	14,117	0,151	1,770	1,442	1,193	1,000	18,478	15,054	12,453	10,437	0,966	62,210	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	18,853	0,202	1,770	1,442	1,193	1,000	29,970	24,417	20,198	16,928	0,954	83,425	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	15,054	0,161	1,770	1,442	1,193	1,000	28,139	22,926	18,964	15,894	0,943	104,111	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	15,811	0,168	1,770	1,442	1,193	1,000	33,957	27,666	22,885	19,180	0,931	124,269	✓	✓	✓	✓
86,3	5	1,2	16,054	0,171	1,770	1,442	1,193	1,000	39,001	31,775	26,284	22,029	0,894	139,828	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	15,800	0,168	1,770	1,442	1,193	1,000	42,866	34,924	28,889	24,211	0,854	153,202	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	16,242	0,173	1,770	1,442	1,193	1,000	48,621	39,613	32,767	27,462	0,814	164,734	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	20,896	0,227	1,770	1,442	1,193	1,000	70,479	57,421	47,498	39,808	0,774	175,330	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	19,670	0,211	1,770	1,442	1,193	1,000	71,268	58,064	48,030	40,254	0,733	183,129	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	19,125	0,205	1,770	1,442	1,193	1,000	74,493	60,691	50,203	42,075	0,693	189,084	✓	✓	✓	✓
92,5	5	1,2	18,091	0,193	1,770	1,442	1,193	1,000	75,266	61,321	50,724	42,512	0,653	193,197	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde yedinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Yedinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

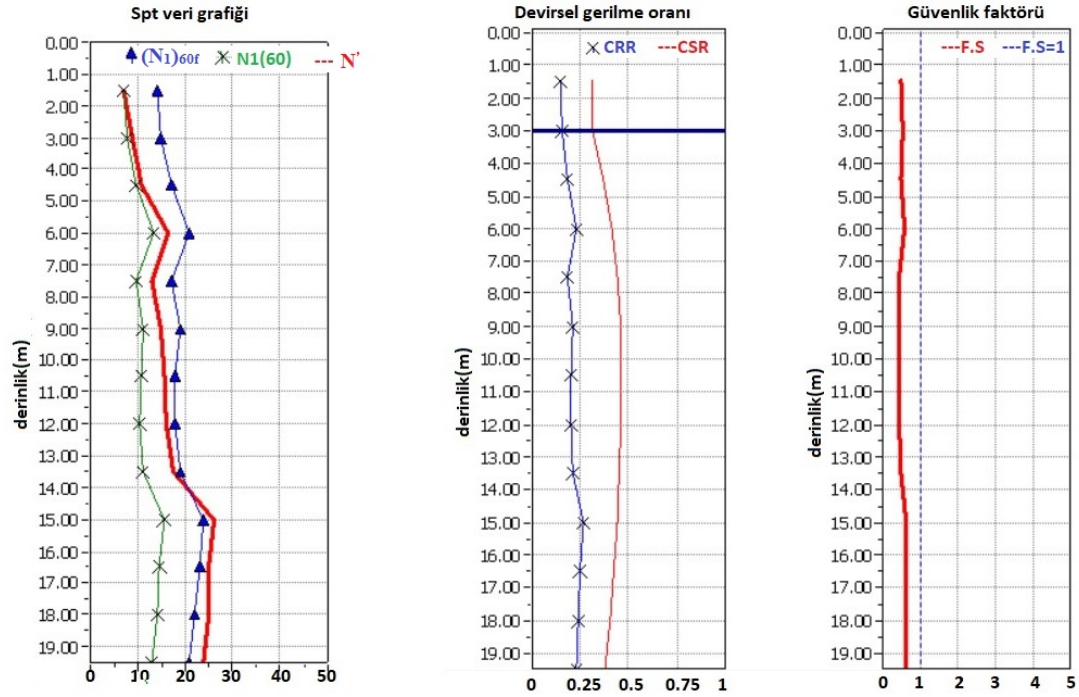
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : SK7 SIVILAŞMA POTANSİYELİ

Input parameters and analysis data

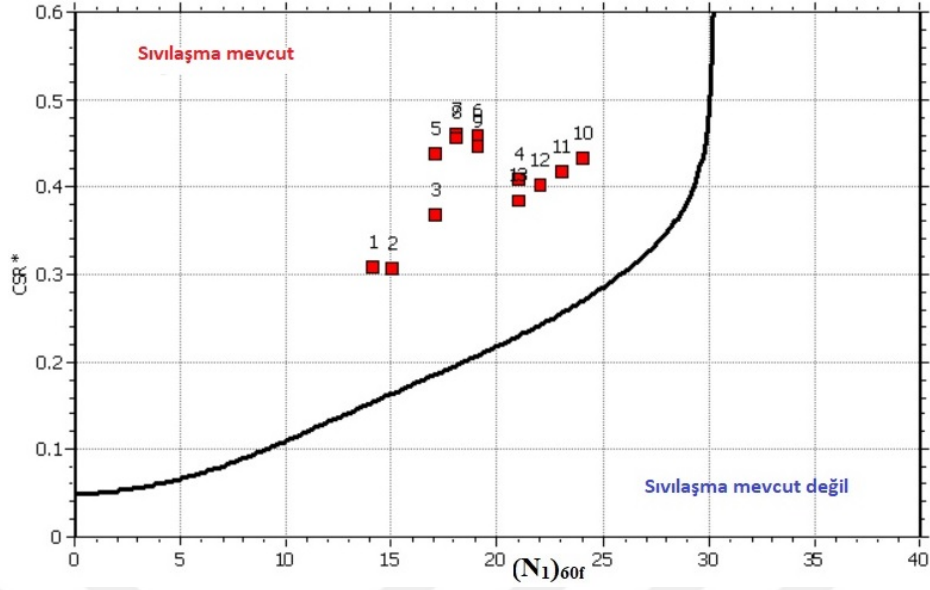
In-situ data type: Standard Penetration Test
 Analysis type: Deterministic
 Analysis method: NCEER 1998
 Fines correction method: Idriss & Seed

Depth to water table: 3.00 m
 Earthquake magnitude M_w : 7.50
 Peak ground acceleration: 0.58 g
 User defined F.S.: 0.83



Şekil 31. SK 7'nin LiqIT programında SPT-N, CSR,CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 32. SK 7'nin LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 42. SK 7'nin LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR*
1	1.50	27.00	0.00	27.00	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	54.00	0.00	54.00	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	81.00	14.71	66.28	0.97	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
4	6.00	108.00	29.43	78.57	0.95	0.49	1.00	0.49	1.00	0.49
5	7.50	135.00	44.15	90.86	0.94	0.53	1.00	0.53	1.00	0.53
6	9.00	162.00	58.86	103.14	0.93	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
7	10.50	189.00	73.58	115.42	0.89	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
8	12.00	216.00	88.29	127.71	0.85	0.54	1.00	0.55	0.99	0.55
9	13.50	243.00	103.00	140.00	0.81	0.53	1.00	0.53	0.99	0.54
10	15.00	270.76	117.72	153.04	0.77	0.52	1.00	0.52	0.99	0.52
11	16.50	298.53	132.44	166.09	0.73	0.50	1.00	0.50	0.98	0.51
12	18.00	326.30	147.15	179.15	0.69	0.48	1.00	0.48	0.98	0.49
13	19.50	354.06	161.87	192.19	0.65	0.45	1.00	0.45	0.98	0.46

Tablo 42'de görüldüğü üzere CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7,5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 43'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 43. K 7'nin LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	7.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	7.14	6.43	14.00	0.15
2	9.00	1.36	0.75	1.00	0.85	1.00	7.81	6.56	15.00	0.16
3	11.00	1.23	0.75	1.00	0.95	1.00	9.63	6.93	17.00	0.18
4	16.50	1.13	0.75	1.00	0.95	1.00	13.26	7.65	21.00	0.23
5	13.00	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	9.72	6.94	17.00	0.18
6	15.00	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	11.08	7.22	19.00	0.21
7	15.50	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	10.82	7.16	18.00	0.20
8	16.00	0.88	0.75	1.00	1.00	1.00	10.62	7.12	18.00	0.20
9	17.50	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	11.09	7.22	19.00	0.21
10	26.00	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	15.76	8.15	24.00	0.27
11	25.00	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	14.55	7.91	23.00	0.25
12	25.00	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	14.01	7.80	22.00	0.24
13	24.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	12.98	7.60	21.00	0.23

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 44'de belirlenmiştir.

Tablo 44. SK 7'nin Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.51	9.25	7.03
2	0.47	8.50	5.94
3	0.50	7.75	5.81
4	0.44	7.00	4.63
5	0.58	6.25	5.42
6	0.55	5.50	4.53
7	0.58	4.75	4.10
8	0.57	4.00	3.43
9	0.54	3.25	2.62
10	0.38	2.50	1.43
11	0.39	1.75	1.03
12	0.40	1.00	0.60
13	0.40	0.25	0.15

Tablo 44'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 46,73'tür. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 7 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.8. Sondaj Kuyusu 8 (SK 8)

Sondaj kuyusu 8'in sondaj logu Ek Şekil 9'da gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 45'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneylemleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 45. SK 8 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5		8	2,00	18,550	27,825	27,825	1,70	0,75	0,90	0,75	6,885
3,0	10	10	2,00	18,550	57,100	47,100	1,46	0,75	0,90	0,75	7,377
4,5	9	9	2,00	18,550	87,100	62,100	1,27	0,85	0,90	0,75	6,553
6,0	12	12	2,00	18,550	117,100	77,100	1,14	0,95	0,90	0,75	8,764
7,5	10	10	2,00	18,550	147,100	92,100	1,04	0,95	0,90	0,75	6,682
9,0	14	14	2,00	18,550	177,100	107,100	0,97	0,95	0,90	0,75	8,675
10,5	15	15	2,00	18,550	207,100	122,100	0,90	1	0,90	0,75	9,163
12,0	15	15	2,00	18,550	237,100	137,100	0,85	1	0,90	0,75	8,647
13,5		16	2,00	18,230	266,460	151,460	0,81	1	0,90	0,75	8,776
15,0	18	16,5	2,00	18,230	296,460	166,460	0,78	1	0,90	0,75	8,632
16,5		18	2,00	18,230	326,460	181,460	0,74	1	0,90	0,75	9,020
18,0	23	19	2,00	18,230	356,460	196,460	0,71	1	0,90	0,75	9,150
19,5		20	2,00	18,230	386,460	211,460	0,69	1	0,90	0,75	9,284

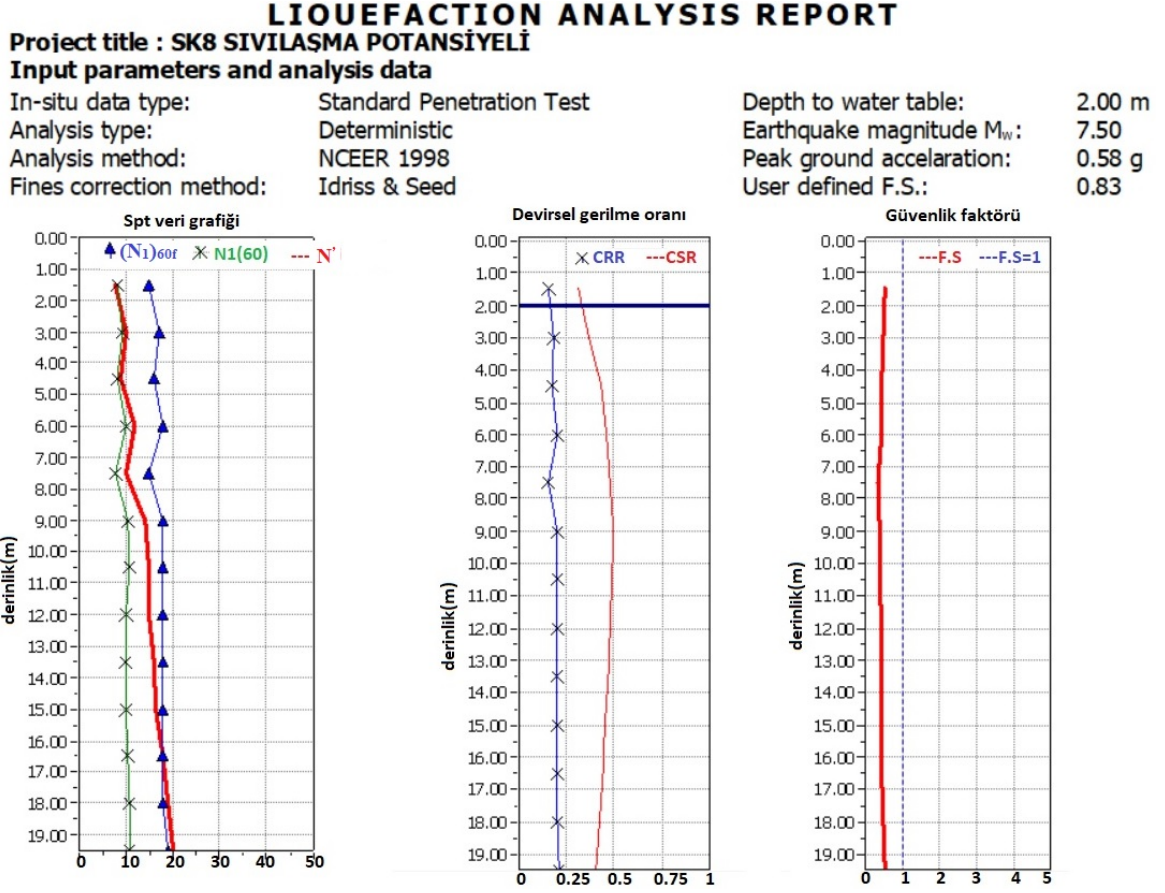
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 46'da gösterilmiştir.



Tablo 46. TBDY’ e göre SK 8’in sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu

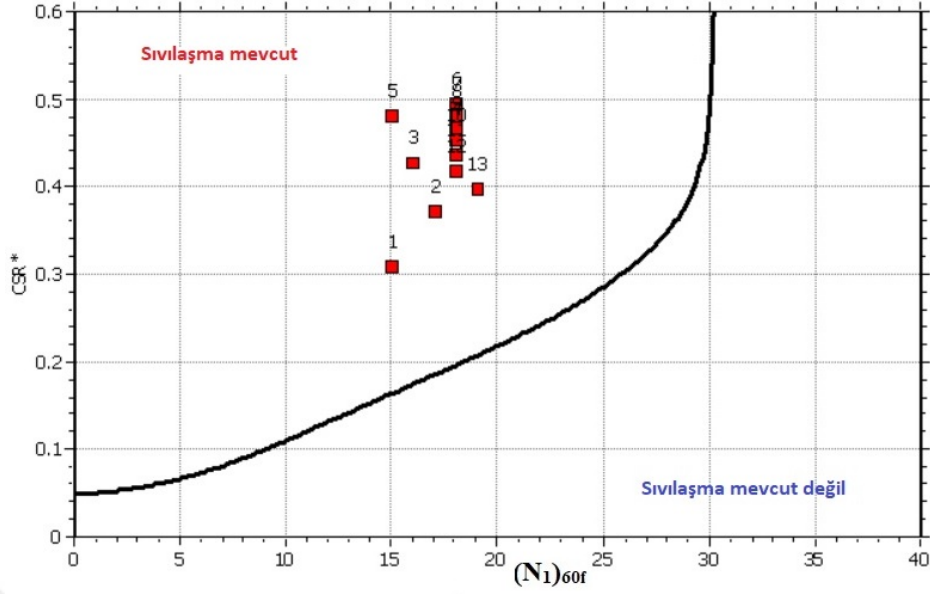
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sınıvlaşma Durumu (M=6.0)	Sınıvlaşma Durumu (M=6.5)	Sınıvlaşma Durumu (M=7.0)	Sınıvlaşma Durumu (M=7.5)
66,5	5	1,2	13,262	0,143	1,770	1,442	1,193	1,000	7,044	5,739	4,747	3,979	0,989	21,097	✓	✓	✓	✓
66,5	5	1,2	13,852	0,149	1,770	1,442	1,193	1,000	12,397	10,100	8,355	7,002	0,977	42,791	✓	✓	✓	✓
66,5	5	1,2	12,863	0,139	1,770	1,442	1,193	1,000	15,305	12,469	10,314	8,644	0,966	64,506	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,516	0,165	1,770	1,442	1,193	1,000	22,554	18,375	15,200	12,739	0,954	85,693	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	13,018	0,141	1,770	1,442	1,193	1,000	22,938	18,688	15,459	12,956	0,943	106,352	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,410	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	31,124	25,357	20,975	17,579	0,931	126,483	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,996	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	36,784	29,968	24,790	20,776	0,894	141,952	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,377	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	39,760	32,394	26,796	22,457	0,854	155,232	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,531	0,165	1,770	1,442	1,193	1,000	44,346	36,129	29,886	25,047	0,814	166,269	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,359	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	48,222	39,287	32,498	27,237	0,774	175,882	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,823	0,168	1,770	1,442	1,193	1,000	54,094	44,072	36,456	30,554	0,733	183,652	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	15,980	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	59,129	48,174	39,849	33,397	0,693	189,579	✓	✓	✓	✓
84,2	5	1,2	16,140	0,172	1,770	1,442	1,193	1,000	64,268	52,360	43,312	36,300	0,653	193,663	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde sekizinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Sekizinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 33. SK 8'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 34. SK 8'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 47. SK 8'in LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.82	0.00	27.82	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	55.65	9.81	45.84	0.98	0.45	1.00	0.45	1.00	0.45
3	4.50	83.47	24.52	58.95	0.97	0.52	1.00	0.52	1.00	0.52
4	6.00	111.30	39.24	72.06	0.95	0.56	1.00	0.56	1.00	0.56
5	7.50	139.13	53.95	85.17	0.94	0.58	1.00	0.58	1.00	0.58
6	9.00	166.95	68.67	98.28	0.93	0.60	1.00	0.60	1.00	0.60
7	10.50	194.78	83.39	111.39	0.89	0.59	1.00	0.59	1.00	0.59
8	12.00	222.60	98.10	124.50	0.85	0.58	1.00	0.58	0.99	0.58
9	13.50	249.94	112.81	137.13	0.81	0.56	1.00	0.56	0.99	0.56
10	15.00	277.29	127.53	149.76	0.77	0.54	1.00	0.54	0.99	0.55
11	16.50	304.63	142.25	162.39	0.73	0.52	1.00	0.52	0.99	0.53
12	18.00	331.98	156.96	175.02	0.69	0.50	1.00	0.50	0.99	0.50
13	19.50	359.32	171.68	187.65	0.65	0.47	1.00	0.47	0.98	0.48

Tablo 47'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 48'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 48. SK 8'in LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	8.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	8.16	6.63	15.00	0.16
2	10.00	1.48	0.75	1.00	0.85	1.00	9.42	6.88	17.00	0.18
3	9.00	1.30	0.75	1.00	0.95	1.00	8.35	6.67	16.00	0.17
4	12.00	1.18	0.75	1.00	0.95	1.00	10.07	7.01	18.00	0.20
5	10.00	1.08	0.75	1.00	0.95	1.00	7.72	6.54	15.00	0.16
6	14.00	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	10.59	7.12	18.00	0.20
7	15.00	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	10.66	7.13	18.00	0.20
8	15.00	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	10.08	7.02	18.00	0.20
9	16.00	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	10.25	7.05	18.00	0.20
10	16.50	0.82	0.75	1.00	1.00	1.00	10.11	7.02	18.00	0.20
11	18.00	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	10.59	7.12	18.00	0.20
12	19.00	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	10.77	7.15	18.00	0.20
13	20.00	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	10.95	7.19	19.00	0.21

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 49'da belirlenmiştir.

Tablo 49. SK 8'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.47	9.25	6.55
2	0.50	8.50	6.41
3	0.59	7.75	6.90
4	0.58	7.00	6.05
5	0.66	6.25	6.20
6	0.61	5.50	4.99
7	0.60	4.75	4.29
8	0.59	4.00	3.56
9	0.58	3.25	2.84
10	0.57	2.50	2.13
11	0.55	1.75	1.45
12	0.53	1.00	0.80
13	0.48	0.25	0.18

Tablo 49'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 52,35'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 8 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.9. Sondaj Kuyusu 9 (SK 9)

Sondaj kuyusu 9'un sondaj logu Ek Şekil 10'da gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 50'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneylemlerinde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerler aşılmaması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 50. SK 9 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m ³)	σ_{v0} (kN/m ²)	σ'_{v0} (kN/m ²)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	6	6	4,00	18,290	27,435	27,435	1,70	0,75	0,90	0,75	5,164
3,0	6	6	4,00	18,290	54,870	54,870	1,35	0,75	0,90	0,75	4,101
4,5	12	12	4,00	18,290	83,160	78,160	1,13	0,85	0,90	0,75	7,788
6,0		13	4,00	18,290	113,160	93,160	1,04	0,95	0,90	0,75	8,637
7,5	14	14	4,00	18,290	143,160	108,160	0,96	0,95	0,90	0,75	8,632
9,0	21	18	4,00	18,290	173,160	123,160	0,90	0,95	0,90	0,75	10,401
10,5		17,5	4,00	18,290	203,160	138,160	0,85	1	0,90	0,75	10,050
12,0	19	17	4,00	18,290	233,160	153,160	0,81	1	0,90	0,75	9,272
13,5		16	4,00	18,290	263,160	168,160	0,77	1	0,90	0,75	8,328
15,0	16	15,5	4,00	18,290	293,160	183,160	0,74	1	0,90	0,75	7,731
16,5		16	4,00	18,290	323,160	198,160	0,71	1	0,90	0,75	7,672
18,0		17	4,00	18,290	353,160	213,160	0,68	1	0,90	0,75	7,860
19,5		18	4,00	18,290	383,160	228,160	0,66	1	0,90	0,75	8,044

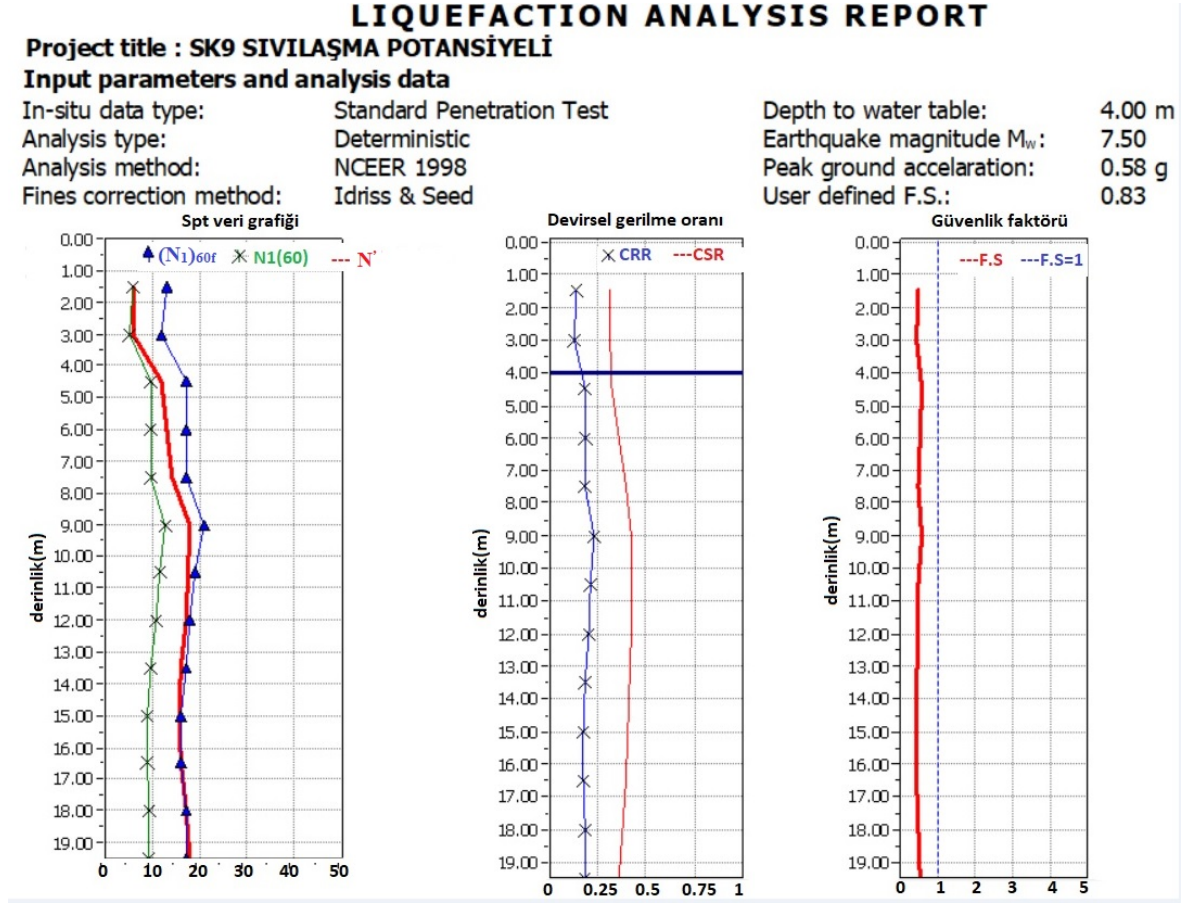
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 51'de gösterilmiştir.



Tablo 51. TBDY’e göre SK 9’un sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

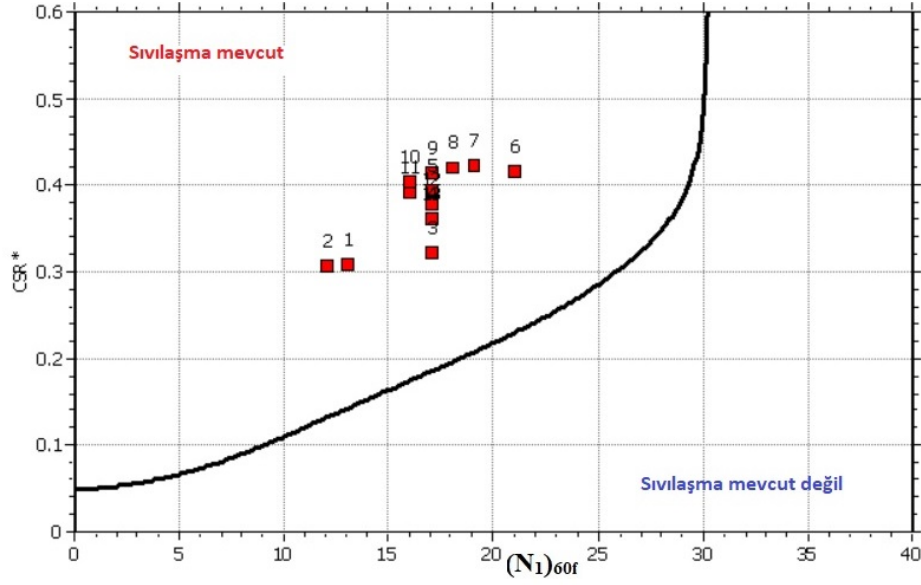
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_r(M=6)$	$\tau_r(M=6.5)$	$\tau_r(M=7)$	$\tau_r(M=7.5)$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
60,4	5	1,2	11,197	0,124	1,770	1,442	1,193	1,000	6,012	4,898	4,052	3,396	0,989	20,836	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	9,921	0,112	1,770	1,442	1,193	1,000	10,917	8,895	7,358	6,166	0,977	41,189	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	14,345	0,154	1,770	1,442	1,193	1,000	21,240	17,305	14,315	11,997	0,966	61,692	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	15,364	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	26,997	21,995	18,194	15,248	0,954	82,950	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	15,359	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	31,332	25,527	21,116	17,697	0,943	103,679	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	17,481	0,186	1,770	1,442	1,193	1,000	40,556	33,042	27,332	22,907	0,931	123,879	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	17,060	0,181	1,770	1,442	1,193	1,000	44,374	36,152	29,905	25,063	0,894	139,488	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	16,127	0,172	1,770	1,442	1,193	1,000	46,510	37,893	31,345	26,270	0,854	152,911	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	14,994	0,160	1,770	1,442	1,193	1,000	47,618	38,795	32,091	26,896	0,814	164,488	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	14,277	0,153	1,770	1,442	1,193	1,000	49,556	40,375	33,398	27,990	0,774	174,219	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	14,207	0,152	1,770	1,442	1,193	1,000	53,373	43,484	35,970	30,146	0,733	182,104	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	14,432	0,154	1,770	1,442	1,193	1,000	58,248	47,456	39,255	32,900	0,693	188,142	✓	✓	✓	✓
60,4	5	1,2	14,652	0,157	1,770	1,442	1,193	1,000	63,230	51,515	42,613	35,714	0,653	192,334	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde dokuzuncu kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Dokuzuncu sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 35. SK 9'un LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 36. SK 9'un LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 52. SK 9'un LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.43	0.00	27.43	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	54.87	0.00	54.87	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	82.31	4.91	77.40	0.97	0.39	1.00	0.39	1.00	0.39
4	6.00	109.74	19.62	90.12	0.95	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
5	7.50	137.18	34.34	102.84	0.94	0.47	1.00	0.47	1.00	0.47
6	9.00	164.61	49.05	115.56	0.93	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50
7	10.50	192.04	63.77	128.28	0.89	0.50	1.00	0.51	0.99	0.51
8	12.00	219.48	78.48	141.00	0.85	0.50	1.00	0.50	0.99	0.51
9	13.50	246.91	93.19	153.72	0.81	0.49	1.00	0.49	0.99	0.50
10	15.00	274.35	107.91	166.44	0.77	0.48	1.00	0.48	0.99	0.49
11	16.50	301.79	122.63	179.16	0.73	0.47	1.00	0.47	0.99	0.47
12	18.00	329.22	137.34	191.88	0.69	0.45	1.00	0.45	0.99	0.46
13	19.50	356.65	152.06	204.60	0.65	0.43	1.00	0.43	0.98	0.44

Tablo 52'den anlaşıldığı üzere CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 53'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 53. SK 9'un LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	6.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	6.12	6.22	13.00	0.14
2	6.00	1.35	0.75	1.00	0.85	1.00	5.16	6.03	12.00	0.13
3	12.00	1.14	0.75	1.00	0.95	1.00	9.72	6.94	17.00	0.18
4	13.00	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	9.76	6.95	17.00	0.18
5	14.00	0.99	0.75	1.00	0.95	1.00	9.84	6.97	17.00	0.18
6	18.00	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	12.56	7.51	21.00	0.23
7	17.50	0.88	0.75	1.00	1.00	1.00	11.59	7.32	19.00	0.21
8	17.00	0.84	0.75	1.00	1.00	1.00	10.74	7.15	18.00	0.20
9	16.00	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	9.68	6.94	17.00	0.18
10	15.50	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	9.01	6.80	16.00	0.17
11	16.00	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	8.97	6.79	16.00	0.17
12	17.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	9.20	6.84	17.00	0.18
13	18.00	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	9.44	6.89	17.00	0.18

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 54'de belirlenmiştir.

Tablo 54. SK 9'un Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.54	9.25	7.51
2	0.57	8.50	7.29
3	0.43	7.75	4.94
4	0.49	7.00	5.17
5	0.53	6.25	4.98
6	0.45	5.50	3.71
7	0.51	4.75	3.64
8	0.54	4.00	3.21
9	0.55	3.25	2.70
10	0.57	2.50	2.14
11	0.56	1.75	1.46
12	0.51	1.00	0.77
13	0.49	0.25	0.18

Tablo 54'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 47,70'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 9 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.10. Sondaj kuyusu 10 (SK 10)

Sondaj kuyusu 10'un sondaj logu Ek Şekil 11'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 55'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 55. SK 10 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	8	8	5,00	18,630	27,945	27,945	1,70	0,75	0,90	0,75	6,885
3,0	14	14	5,00	18,630	55,890	55,890	1,34	0,75	0,90	0,75	9,480
4,5	11	11	5,00	18,630	83,835	83,835	1,09	0,85	0,90	0,75	6,893
6,0	21	18	5,00	18,630	113,150	103,150	0,98	0,95	0,90	0,75	11,365
7,5	17	16	5,00	18,630	143,150	118,150	0,92	0,95	0,90	0,75	9,439
9,0	13	13	5,00	18,630	173,150	133,150	0,87	0,95	0,90	0,75	7,224
10,5	13	13	5,00	18,630	203,150	148,150	0,82	1	0,90	0,75	7,209
12,0	21	18	5,00	18,630	233,150	163,150	0,78	1	0,90	0,75	9,512
13,5	27	21	5,00	18,630	263,150	178,150	0,75	1	0,90	0,75	10,620
15,0	25	20	5,00	18,630	293,150	193,150	0,72	1	0,90	0,75	9,714
16,5		21	5,00	18,630	323,150	208,150	0,69	1	0,90	0,75	9,825
18,0		22	5,00	18,630	353,150	223,150	0,67	1	0,90	0,75	9,941
19,5		23	5,00	18,630	383,150	238,150	0,65	1	0,90	0,75	10,060

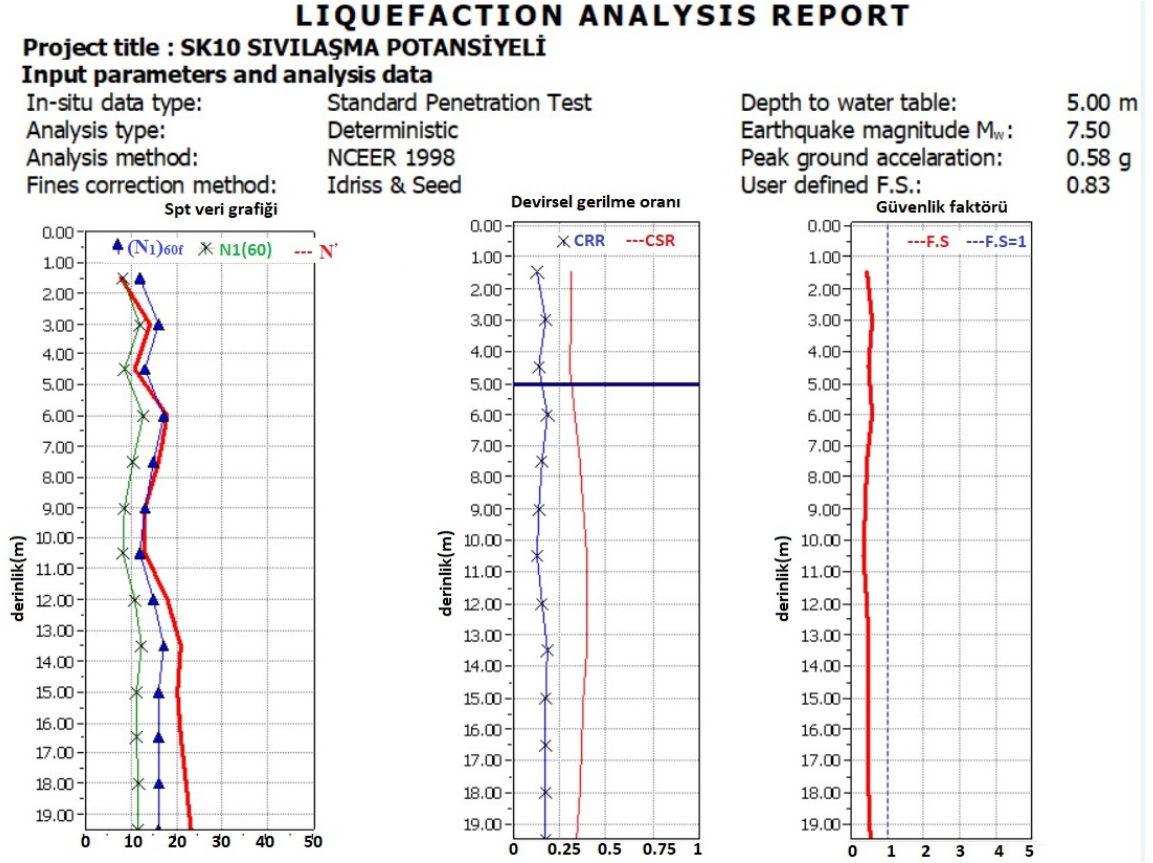
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 56'da gösterilmiştir.



Tablo 56. TBDY’e göre SK 10’nun sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

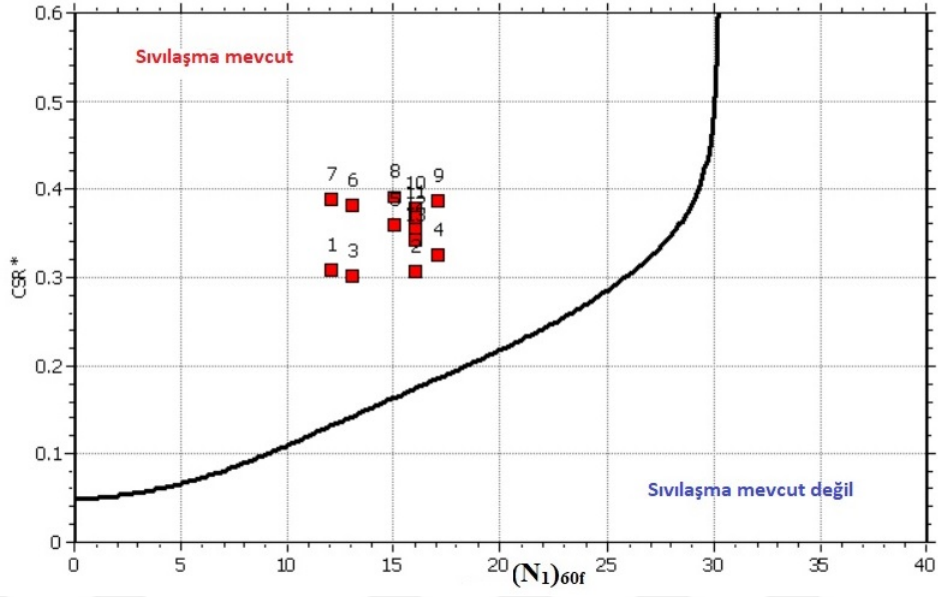
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
18	3,231	1,07	10,573	0,118	1,770	1,442	1,193	1,000	5,846	4,763	3,940	3,302	0,989	21,278	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	13,340	0,144	1,770	1,442	1,193	1,000	14,223	11,588	9,586	8,034	0,977	42,061	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	10,581	0,118	1,770	1,442	1,193	1,000	17,550	14,298	11,827	9,912	0,966	62,351	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	15,350	0,164	1,770	1,442	1,193	1,000	29,865	24,332	20,127	16,868	0,954	83,153	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	13,296	0,143	1,770	1,442	1,193	1,000	29,980	24,425	20,204	16,933	0,943	103,935	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	10,935	0,121	1,770	1,442	1,193	1,000	28,621	23,318	19,288	16,166	0,931	124,186	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	10,919	0,121	1,770	1,442	1,193	1,000	31,807	25,914	21,436	17,965	0,894	139,835	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	13,374	0,144	1,770	1,442	1,193	1,000	41,614	33,904	28,045	23,504	0,854	153,293	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	14,556	0,156	1,770	1,442	1,193	1,000	49,068	39,977	33,069	27,715	0,814	164,899	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	13,589	0,146	1,770	1,442	1,193	1,000	49,972	40,713	33,678	28,225	0,774	174,655	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	13,708	0,147	1,770	1,442	1,193	1,000	54,275	44,219	36,577	30,655	0,733	182,560	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	13,832	0,149	1,770	1,442	1,193	1,000	58,659	47,790	39,532	33,132	0,693	188,614	✓	✓	✓	✓
18	3,231	1,07	13,959	0,150	1,770	1,442	1,193	1,000	63,123	51,427	42,540	35,653	0,653	192,817	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onuncu kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onuncu sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 37SK 10'un LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 38. SK 10'un LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 57. SK 10'un LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR^*
1	1.50	27.95	0.00	27.95	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	55.89	0.00	55.89	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	83.83	0.00	83.83	0.97	0.36	1.00	0.36	1.00	0.36
4	6.00	111.78	9.81	101.97	0.95	0.39	1.00	0.39	1.00	0.39
5	7.50	139.72	24.52	115.20	0.94	0.43	1.00	0.43	1.00	0.43
6	9.00	167.67	39.24	128.43	0.93	0.46	1.00	0.46	0.99	0.46
7	10.50	195.62	53.95	141.66	0.89	0.47	1.00	0.47	0.99	0.47
8	12.00	223.56	68.67	154.89	0.85	0.47	1.00	0.47	0.99	0.47
9	13.50	251.50	83.39	168.12	0.81	0.46	1.00	0.46	0.99	0.47
10	15.00	279.45	98.10	181.35	0.77	0.45	1.00	0.45	0.98	0.46
11	16.50	307.39	112.81	194.58	0.73	0.44	1.00	0.44	0.98	0.44
12	18.00	335.34	127.53	207.81	0.69	0.42	1.00	0.42	0.98	0.43
13	19.50	363.29	142.25	221.04	0.65	0.41	1.00	0.41	0.98	0.41

Tablo 57'de görüldüğü üzere CSR^* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti $CRR_{M=7.5}$ deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 58'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 58. SK 10'un LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	8.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	8.16	3.77	12.00	0.13
2	14.00	1.34	0.75	1.00	0.85	1.00	11.94	4.02	16.00	0.17
3	11.00	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	8.56	3.80	13.00	0.14
4	18.00	0.99	0.75	1.00	0.95	1.00	12.70	4.07	17.00	0.18
5	16.00	0.93	0.75	1.00	0.95	1.00	10.62	3.94	15.00	0.16
6	13.00	0.88	0.75	1.00	1.00	1.00	8.60	3.80	13.00	0.14
7	13.00	0.84	0.75	1.00	1.00	1.00	8.19	3.77	12.00	0.13
8	18.00	0.80	0.75	1.00	1.00	1.00	10.85	3.95	15.00	0.16
9	21.00	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	12.15	4.04	17.00	0.18
10	20.00	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	11.14	3.97	16.00	0.17
11	21.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	11.29	3.98	16.00	0.17
12	22.00	0.69	0.75	1.00	1.00	1.00	11.45	3.99	16.00	0.17
13	23.00	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	11.60	4.00	16.00	0.17

Hesaplanan CSR^* ve $CRR_{M7.5}$ değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 59'da belirlenmiştir.

Tablo 59. SK 10'un Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.58	9.25	8.00
2	0.43	8.50	5.49
3	0.53	7.75	6.17
4	0.44	7.00	4.58
5	0.55	6.25	5.11
6	0.63	5.50	5.19
7	0.66	4.75	4.73
8	0.58	4.00	3.49
9	0.52	3.25	2.55
10	0.54	2.50	2.03
11	0.53	1.75	1.39
12	0.51	1.00	0.77
13	0.49	0.25	0.18

Tablo 59'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 49,68'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 10 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.11. Sondaj Kuyusu 11 (SK 11)

Sondaj kuyusu 11'in sondaj logu Ek Şekil 12'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 60'da verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneylemleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 60. SK 11 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	8	8	5,50	18,650	27,975	27,975	1,70	0,75	0,90	0,75	6,885
3,0	7	7	5,50	18,650	55,950	55,950	1,34	0,75	0,90	0,75	4,738
4,5	UD	16	5,50	18,650	83,925	83,925	1,09	0,85	0,90	0,75	10,021
6,0	35	25	5,50	18,650	112,575	107,575	0,96	0,95	0,90	0,75	15,457
7,5	24	19,5	5,50	18,650	142,575	122,575	0,90	0,95	0,90	0,75	11,294
9,0	32	23,5	5,50	18,650	172,575	137,575	0,85	0,95	0,90	0,75	12,848
10,5		21	5,50	18,650	202,575	152,575	0,81	1	0,90	0,75	11,476
12,0	22	18,5	5,50	18,650	232,575	167,575	0,77	1	0,90	0,75	9,647
13,5		20	5,50	18,650	262,575	182,575	0,74	1	0,90	0,75	9,991
15,0	29	22	5,50	18,770	293,235	198,235	0,71	1	0,90	0,75	10,547
16,5		20	5,50	18,770	323,235	213,235	0,68	1	0,90	0,75	9,245
18,0	22	18,5	5,50	18,770	353,235	228,235	0,66	1	0,90	0,75	8,266
19,5		20	5,50	18,770	383,235	243,235	0,64	1	0,90	0,75	8,656

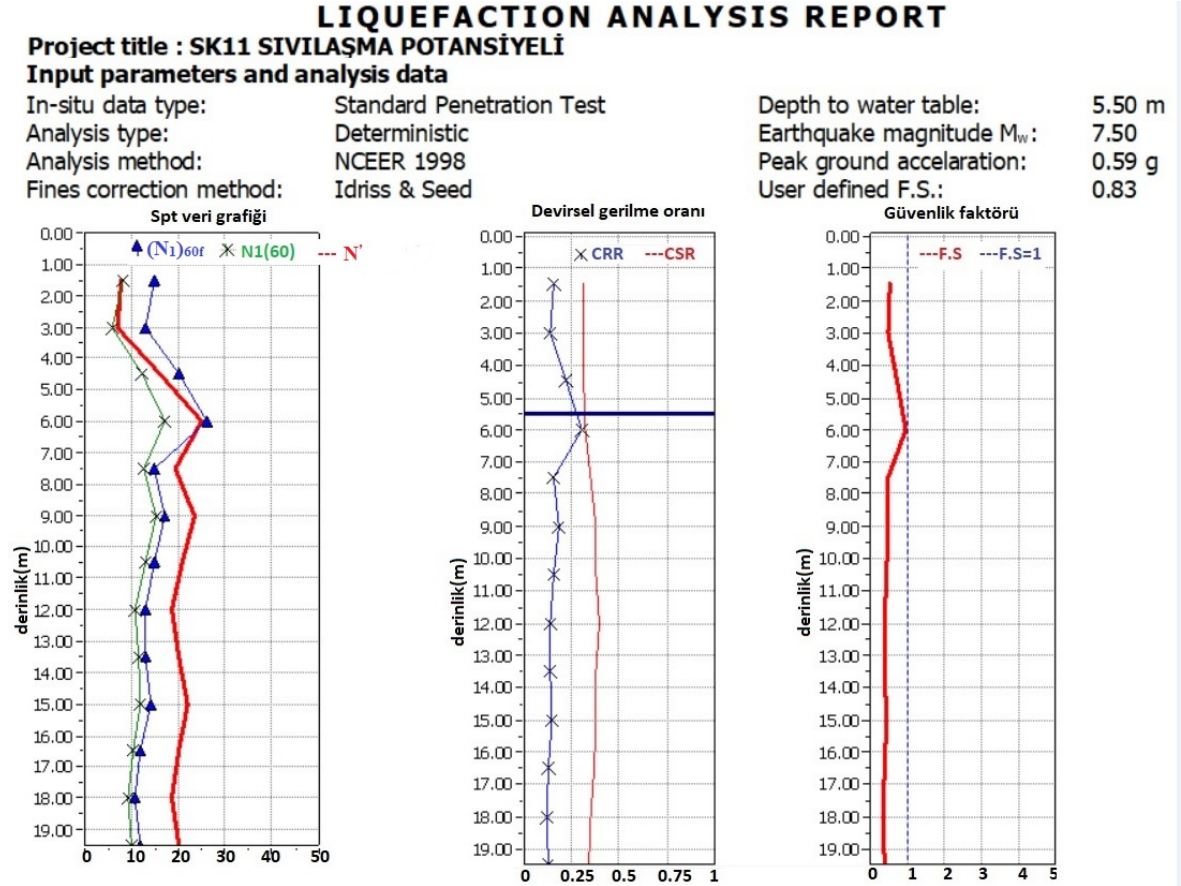
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 61'de gösterilmiştir.



Tablo 61. TBDY'ye göre SK 11'in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

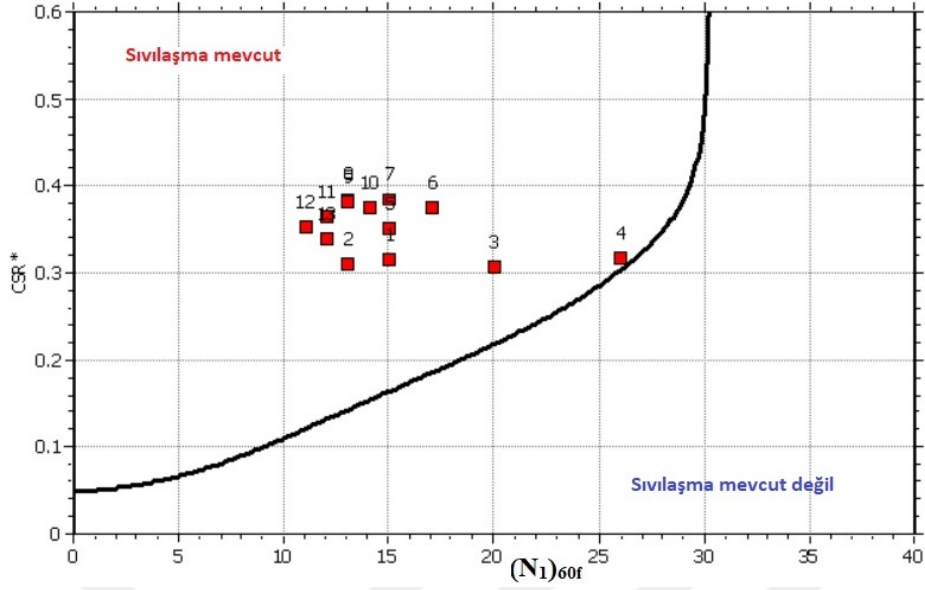
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_r(M=6)$	$\tau_r(M=6.5)$	$\tau_r(M=7)$	$\tau_r(M=7.5)$	Γ_d	Γ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
55,8	5	1,2	13,262	0,143	1,770	1,442	1,193	1,000	7,082	5,770	4,773	4,000	0,989	42,142	✓	✓	✓	✓
55,8	5	1,2	10,685	0,119	1,770	1,442	1,193	1,000	11,804	9,617	7,955	6,667	0,977	62,471	✓	✓	✓	✓
55,8	5	1,2	17,025	0,181	1,770	1,442	1,193	1,000	26,899	21,915	18,128	15,193	0,966	82,801	✓	✓	✓	✓
55,8	5	1,2	23,548	0,266	1,770	1,442	1,193	1,000	50,594	41,220	34,097	28,576	0,954	103,605	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	12,635	0,137	1,770	1,442	1,193	1,000	29,742	24,231	20,044	16,799	0,943	123,878	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	14,226	0,152	1,770	1,442	1,193	1,000	37,101	30,227	25,004	20,955	0,931	139,557	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	12,821	0,139	1,770	1,442	1,193	1,000	37,494	30,547	25,268	21,177	0,894	153,044	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	10,947	0,122	1,770	1,442	1,193	1,000	36,052	29,372	24,297	20,363	0,854	164,678	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	11,300	0,125	1,770	1,442	1,193	1,000	40,312	32,843	27,168	22,769	0,814	174,853	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	11,869	0,130	1,770	1,442	1,193	1,000	45,600	37,151	30,731	25,756	0,774	182,762	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	10,535	0,118	1,770	1,442	1,193	1,000	44,482	36,241	29,978	25,124	0,733	188,819	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	9,532	0,109	1,770	1,442	1,193	1,000	44,037	35,878	29,678	24,873	0,693	193,023	✓	✓	✓	✓
10,6	1,065	1,02	9,932	0,113	1,770	1,442	1,193	1,000	48,438	39,464	32,644	27,359	0,653	193,023	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onbirinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onbirinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 39.SK 11'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 40. SK 11'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 62. SK 11'in LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.98	0.00	27.98	0.99	0.38	1.00	0.38	1.00	0.38
2	3.00	55.95	0.00	55.95	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	83.92	0.00	83.92	0.97	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
4	6.00	111.90	4.91	107.00	0.95	0.38	1.00	0.38	1.00	0.38
5	7.50	139.88	19.62	120.25	0.94	0.42	1.00	0.42	0.99	0.42
6	9.00	167.85	34.34	133.51	0.93	0.45	1.00	0.45	0.99	0.45
7	10.50	195.82	49.05	146.78	0.89	0.46	1.00	0.46	0.99	0.46
8	12.00	223.80	63.77	160.03	0.85	0.46	1.00	0.46	0.99	0.46
9	13.50	251.78	78.48	173.29	0.81	0.45	1.00	0.45	0.99	0.46
10	15.00	279.93	93.19	186.74	0.77	0.45	1.00	0.45	0.98	0.45
11	16.50	308.08	107.91	200.18	0.73	0.43	1.00	0.43	0.98	0.44
12	18.00	336.24	122.63	213.62	0.69	0.42	1.00	0.42	0.98	0.43
13	19.50	364.39	137.34	227.06	0.65	0.40	1.00	0.40	0.98	0.41

Tablo 62'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 63'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 63. SK 11'in LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	8.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	8.16	6.63	15.00	0.16
2	7.00	1.34	0.75	1.00	0.85	1.00	5.97	6.19	13.00	0.14
3	16.00	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	12.44	7.49	20.00	0.22
4	25.00	0.97	0.75	1.00	0.95	1.00	17.22	8.44	26.00	0.30
5	19.50	0.91	0.75	1.00	0.95	1.00	12.67	1.37	15.00	0.16
6	23.50	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	15.25	1.44	17.00	0.18
7	21.00	0.83	0.75	1.00	1.00	1.00	13.00	1.38	15.00	0.16
8	18.50	0.79	0.75	1.00	1.00	1.00	10.97	1.33	13.00	0.14
9	20.00	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	11.39	1.34	13.00	0.14
10	22.00	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	12.07	1.36	14.00	0.15
11	20.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	10.60	1.32	12.00	0.13
12	18.50	0.68	0.75	1.00	1.00	1.00	9.49	1.30	11.00	0.12
13	20.00	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	9.95	1.31	12.00	0.13

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 64'de belirlenmiştir.

Tablo 64. SK 11'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.48	9.25	6.67
2	0.54	8.50	6.94
3	0.29	7.75	3.39
4	0.05	7.00	0.52
5	0.53	6.25	5.01
6	0.51	5.50	4.20
7	0.58	4.75	4.10
8	0.63	4.00	3.79
9	0.63	3.25	3.07
10	0.59	2.50	2.23
11	0.64	1.75	1.68
12	0.66	1.00	0.99
13	0.62	0.25	0.23

Tablo 64'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 42,83'tür. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 11 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.12. Sondaj Kuyusu 12 (SK 12)

Sondaj kuyusu 12'nin sondaj logu Ek Şekil 13'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 65'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 65. SK 12 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m ³)	σ_{v0} (kN/m ²)	σ'_{v0} (kN/m ²)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5		20	8,00	18,690	28,035	28,035	1,70	0,75	0,90	0,75	17,213
3,0	26	20,5	8,00	18,690	56,070	56,070	1,34	0,75	0,90	0,75	13,860
4,5		19	8,00	18,690	84,105	84,105	1,09	0,85	0,90	0,75	11,887
6,0	21	18	8,00	18,690	112,140	112,140	0,94	0,95	0,90	0,75	10,900
7,5		18	8,00	18,690	140,175	140,175	0,84	0,95	0,90	0,75	9,749
9,0	19	18	8,00	18,690	169,520	159,520	0,79	0,95	0,90	0,75	9,139
10,5		17,5	8,00	18,690	199,520	174,520	0,76	1	0,90	0,75	8,942
12,0	19	17	8,00	18,690	229,520	189,520	0,73	1	0,90	0,75	8,335
13,5		17	8,00	18,690	259,520	204,520	0,70	1	0,90	0,75	8,024
15,0	20	17,5	8,00	18,970	291,760	221,760	0,67	1	0,90	0,75	7,932
16,5		18	8,00	18,970	321,760	236,760	0,65	1	0,90	0,75	7,896
18,0		19	8,00	18,970	351,760	251,760	0,63	1	0,90	0,75	8,083
19,5		20	8,00	18,970	381,760	266,760	0,61	1	0,90	0,75	8,266

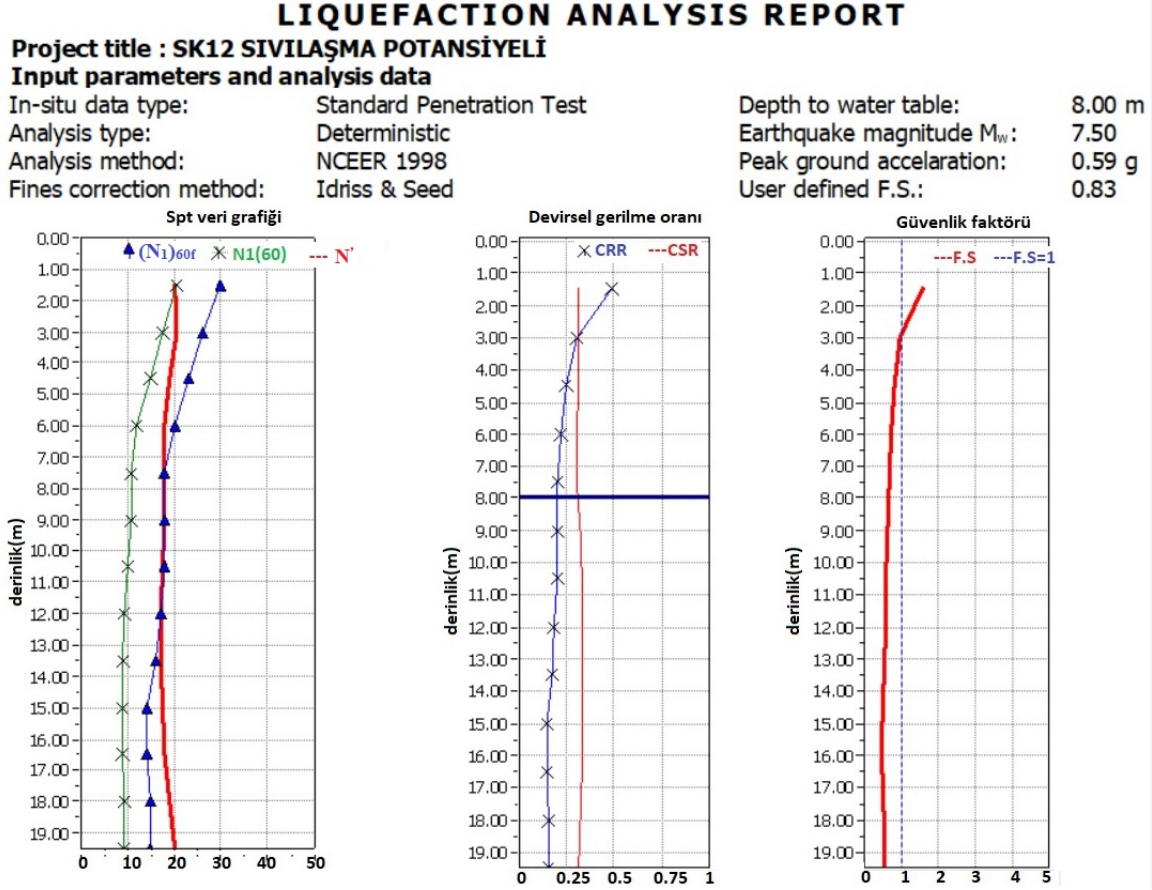
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 66'da gösterilmiştir.



Tablo 66. TBDY’e göre SK 12’nin sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu

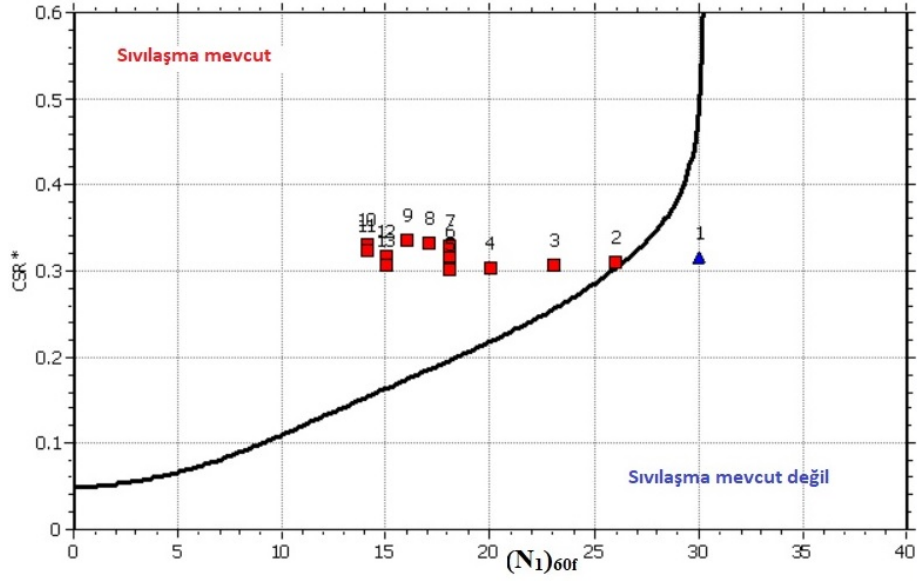
İDO	α	β	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}	(C) _{M=6}	(C) _{M=6,5}	(C) _{M=7}	(C) _{M=7,5}	$\tau_r(M=6)$	$\tau_r(M=6,5)$	$\tau_r(M=7)$	$\tau_r(M=7,5)$	Γ_d	τ_{deprem}	Sınıvlaşma Durumu (M=6,0)	Sınıvlaşma Durumu (M=6,5)	Sınıvlaşma Durumu (M=7,0)	Sınıvlaşma Durumu (M=7,5)
36,9	5	1,2	25,655	0,305	1,770	1,442	1,193	1,000	15,154	12,346	10,213	8,559	0,989	21,346	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	21,632	0,237	1,770	1,442	1,193	1,000	23,501	19,146	15,838	13,274	0,977	42,197	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	19,264	0,206	1,770	1,442	1,193	1,000	30,730	25,036	20,710	17,357	0,966	62,552	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	18,080	0,193	1,770	1,442	1,193	1,000	38,249	31,162	25,777	21,604	0,954	82,411	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	16,699	0,178	1,770	1,442	1,193	1,000	44,062	35,898	29,695	24,887	0,943	101,775	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	15,967	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	47,972	39,084	32,330	27,096	0,931	121,583	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	15,730	0,167	1,770	1,442	1,193	1,000	51,728	42,144	34,861	29,217	0,894	137,336	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	15,002	0,160	1,770	1,442	1,193	1,000	53,695	43,746	36,187	30,328	0,854	150,906	✓	✓	✓	✓
36,9	5	1,2	14,629	0,156	1,770	1,442	1,193	1,000	56,593	46,108	38,140	31,965	0,814	162,625	✓	✓	✓	✓
22,6	4,002	1,1	12,705	0,138	1,770	1,442	1,193	1,000	54,066	44,049	36,437	30,538	0,774	173,827	✓	✓	✓	✓
22,6	4,002	1,1	12,665	0,137	1,770	1,442	1,193	1,000	57,567	46,901	38,796	32,515	0,733	181,775	✓	✓	✓	✓
22,6	4,002	1,1	12,870	0,139	1,770	1,442	1,193	1,000	62,074	50,573	41,834	35,061	0,693	187,872	✓	✓	✓	✓
22,6	4,002	1,1	13,070	0,141	1,770	1,442	1,193	1,000	66,670	54,318	44,931	37,657	0,653	192,118	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onikinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onikinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 41. SK 12'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 42. SK 12'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 67. SK 12'in LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	28.04	0.00	28.04	0.99	0.38	1.00	0.38	1.00	0.38
2	3.00	56.07	0.00	56.07	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	84.11	0.00	84.11	0.97	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
4	6.00	112.14	0.00	112.14	0.95	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
5	7.50	140.18	0.00	140.18	0.94	0.36	1.00	0.36	0.99	0.37
6	9.00	168.21	9.81	158.40	0.93	0.38	1.00	0.38	0.99	0.38
7	10.50	196.25	24.52	171.72	0.89	0.39	1.00	0.39	0.99	0.40
8	12.00	224.28	39.24	185.04	0.85	0.40	1.00	0.40	0.99	0.40
9	13.50	252.31	53.95	198.36	0.81	0.40	1.00	0.40	0.98	0.40
10	15.00	280.77	68.67	212.10	0.77	0.39	1.00	0.39	0.98	0.40
11	16.50	309.23	83.39	225.84	0.73	0.39	1.00	0.39	0.98	0.39
12	18.00	337.68	98.10	239.58	0.69	0.38	1.00	0.38	0.98	0.38
13	19.50	366.13	112.81	253.32	0.65	0.36	1.00	0.36	0.98	0.37

Tablo 67'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 68'de değerler gösterilmiştir.

Tablo 68. SK 12'in LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	20.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	20.40	9.08	30.00	0.49
2	20.50	1.34	0.75	1.00	0.85	1.00	17.45	8.49	26.00	0.30
3	19.00	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	14.76	7.95	23.00	0.25
4	18.00	0.94	0.75	1.00	0.95	1.00	12.11	7.42	20.00	0.22
5	18.00	0.84	0.75	1.00	0.95	1.00	10.83	7.17	18.00	0.20
6	18.00	0.79	0.75	1.00	1.00	1.00	10.73	7.15	18.00	0.20
7	17.50	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	10.02	7.00	18.00	0.20
8	17.00	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	9.37	6.87	17.00	0.18
9	17.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	9.05	6.81	16.00	0.17
10	17.50	0.69	0.75	1.00	1.00	1.00	9.01	4.88	14.00	0.15
11	18.00	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	8.98	4.87	14.00	0.15
12	19.00	0.65	0.75	1.00	1.00	1.00	9.21	4.90	15.00	0.16
13	20.00	0.63	0.75	1.00	1.00	1.00	9.42	4.92	15.00	0.16

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 69'da belirlenmiştir.

Tablo 69. SK 12'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyel

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.00	9.25	0.00
2	0.03	8.50	0.34
3	0.17	7.75	1.98
4	0.29	7.00	3.01
5	0.35	6.25	3.33
6	0.39	5.50	3.19
7	0.41	4.75	2.90
8	0.45	4.00	2.69
9	0.48	3.25	2.34
10	0.54	2.50	2.02
11	0.53	1.75	1.39
12	0.48	1.00	0.73
13	0.47	0.25	0.18

Tablo 69'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 24,10'dur. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 12 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür. Ancak 1.5 metrede derinlikte sıvılaşmanın oluşmayacağı görülmüştür.

2.2.13. Sondaj Kuyusu 13 (SK 13)

Sondaj kuyusu 13'ün sondaj logu Ek Şekil 14'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltilmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 70'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerler aşılmaması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 70 SK 13 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	11	11	7,00	18,500	27,750	27,750	1,70	0,75	0,90	0,75	9,467
3,0	10	10	7,00	18,500	55,500	55,500	1,34	0,75	0,90	0,75	6,795
4,5	14	14	7,00	18,500	83,250	83,250	1,10	0,85	0,90	0,75	8,804
6,0	15	15	7,00	18,500	111,000	111,000	0,95	0,95	0,90	0,75	9,130
7,5	18	16,5	7,00	18,500	139,500	134,500	0,86	0,95	0,90	0,75	9,123
9,0	20	17,5	7,00	18,500	169,500	149,500	0,82	0,95	0,90	0,75	9,178
10,5		17	7,00	18,500	199,500	164,500	0,78	1	0,90	0,75	8,947
12,0	19	17	7,00	18,500	229,500	179,500	0,75	1	0,90	0,75	8,565
13,5		17	7,00	18,500	259,500	194,500	0,72	1	0,90	0,75	8,228
15,0	19	17	7,00	18,500	289,500	209,500	0,69	1	0,90	0,75	7,928
16,5		18	7,00	18,500	319,500	224,500	0,67	1	0,90	0,75	8,109
18,0		19	7,00	18,500	349,500	239,500	0,65	1	0,90	0,75	8,287
19,5		20	7,00	18,500	379,500	254,500	0,63	1	0,90	0,75	8,462

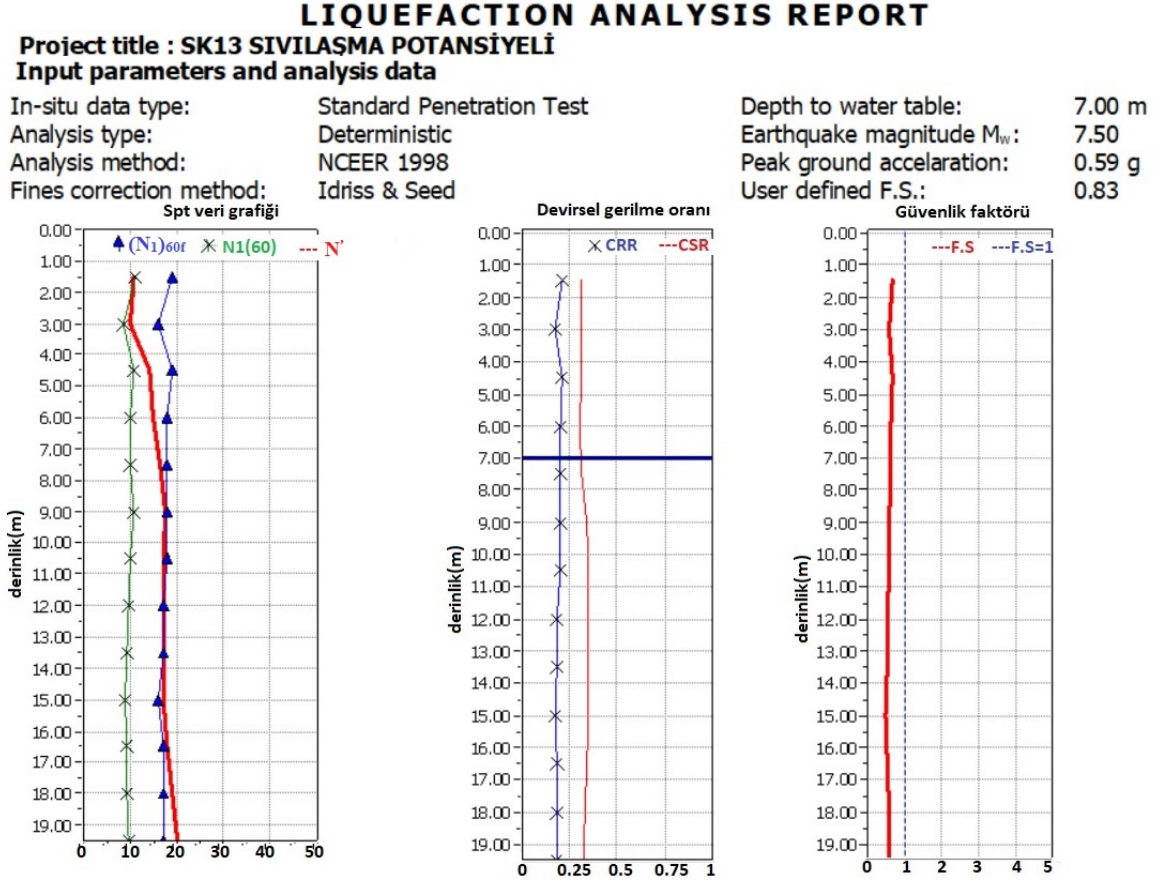
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 71'de gösterilmiştir.



Tablo 71. TBDY’e göre SK 13’ün sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

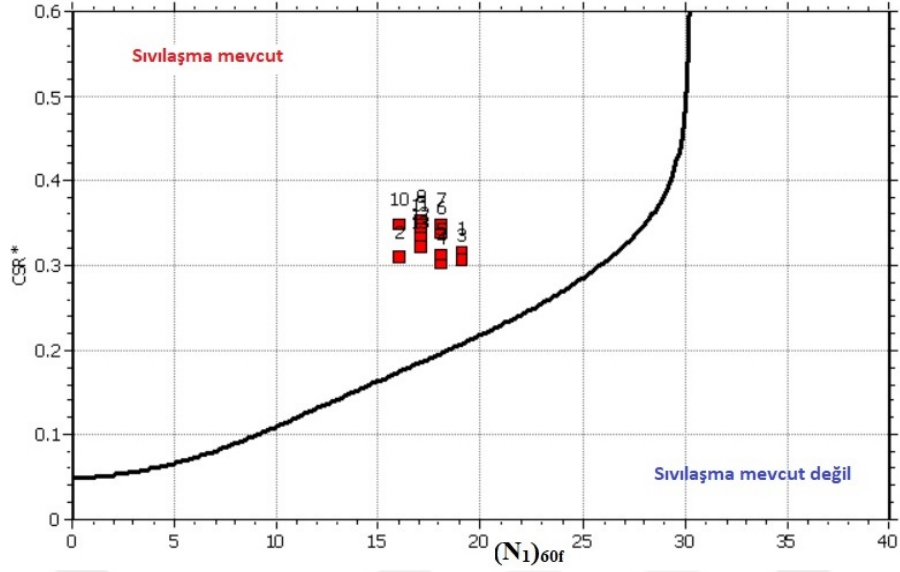
İDO	α	β	$(N_i)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_r(M=6)$	$\tau_r(M=6.5)$	$\tau_r(M=7)$	$\tau_r(M=7.5)$	R_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
52,3	5	1,2	16,360	0,174	1,770	1,442	1,193	1,000	8,547	6,963	5,760	4,827	0,989	21,129	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	13,155	0,142	1,770	1,442	1,193	1,000	13,950	11,365	9,401	7,879	0,977	41,768	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	15,564	0,166	1,770	1,442	1,193	1,000	24,425	19,900	16,461	13,796	0,966	61,916	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	15,956	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	33,358	27,178	22,481	18,841	0,954	81,573	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	15,948	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	40,402	32,916	27,228	22,820	0,943	101,285	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	16,014	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	45,087	36,734	30,386	25,466	0,931	121,568	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	15,736	0,168	1,770	1,442	1,193	1,000	48,777	39,740	32,872	27,550	0,894	137,323	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	15,278	0,163	1,770	1,442	1,193	1,000	51,738	42,152	34,868	29,223	0,854	150,893	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	14,874	0,159	1,770	1,442	1,193	1,000	54,661	44,533	36,838	30,874	0,814	162,612	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	14,514	0,155	1,770	1,442	1,193	1,000	57,548	46,886	38,784	32,504	0,774	172,481	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	14,731	0,157	1,770	1,442	1,193	1,000	62,526	50,941	42,138	35,316	0,733	180,498	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	14,945	0,160	1,770	1,442	1,193	1,000	67,609	55,082	45,564	38,187	0,693	186,665	✓	✓	✓	✓
52,3	5	1,2	15,155	0,162	1,770	1,442	1,193	1,000	72,796	59,308	49,059	41,116	0,653	190,981	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onüçüncü kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onüçüncü sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 43. SK 13'ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayılar

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 44. SK 13'ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 72. SK 13'ün LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR*
1	1.50	27.75	0.00	27.75	0.99	0.38	1.00	0.38	1.00	0.38
2	3.00	55.50	0.00	55.50	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	83.25	0.00	83.25	0.97	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
4	6.00	111.00	0.00	111.00	0.95	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
5	7.50	138.75	4.91	133.84	0.94	0.37	1.00	0.37	0.99	0.38
6	9.00	166.50	19.62	146.88	0.93	0.40	1.00	0.40	0.99	0.41
7	10.50	194.25	34.34	159.91	0.89	0.42	1.00	0.42	0.99	0.42
8	12.00	222.00	49.05	172.95	0.85	0.42	1.00	0.42	0.99	0.43
9	13.50	249.75	63.77	185.99	0.81	0.42	1.00	0.42	0.99	0.43
10	15.00	277.50	78.48	199.02	0.77	0.41	1.00	0.41	0.98	0.42
11	16.50	305.25	93.19	212.06	0.73	0.41	1.00	0.41	0.98	0.41
12	18.00	333.00	107.91	225.09	0.69	0.39	1.00	0.39	0.98	0.40
13	19.50	360.75	122.63	238.13	0.65	0.38	1.00	0.38	0.98	0.39

Tablo 72'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7,5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 73'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 73. SK 13'ün LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	11.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	11.22	7.24	19.00	0.21
2	10.00	1.34	0.75	1.00	0.85	1.00	8.56	6.71	16.00	0.17
3	14.00	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	10.93	7.19	19.00	0.21
4	15.00	0.95	0.75	1.00	0.95	1.00	10.14	7.03	18.00	0.20
5	16.50	0.86	0.75	1.00	0.95	1.00	10.16	7.03	18.00	0.20
6	17.50	0.83	0.75	1.00	1.00	1.00	10.83	7.17	18.00	0.20
7	17.00	0.79	0.75	1.00	1.00	1.00	10.08	7.02	18.00	0.20
8	17.00	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	9.70	6.94	17.00	0.18
9	17.00	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	9.35	6.87	17.00	0.18
10	17.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	9.04	6.81	16.00	0.17
11	18.00	0.69	0.75	1.00	1.00	1.00	9.27	6.85	17.00	0.18
12	19.00	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	9.50	6.90	17.00	0.18
13	20.00	0.65	0.75	1.00	1.00	1.00	9.72	6.94	17.00	0.18

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 74'de belirlenmiştir.

Tablo 74. SK 13'ün Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.34	9.25	4.78
2	0.44	8.50	5.62
3	0.33	7.75	3.82
4	0.36	7.00	3.77
5	0.38	6.25	3.53
6	0.42	5.50	3.50
7	0.44	4.75	3.15
8	0.48	4.00	2.87
9	0.48	3.25	2.33
10	0.50	2.50	1.88
11	0.46	1.75	1.21
12	0.44	1.00	0.67
13	0.43	0.25	0.16

Tablo 74'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 37,27'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 13 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.14. Sondaj Kuyusu 14 (SK 14)

Sondaj kuyusu 14'ün sondaj logu Ek Şekil 15'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 75'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değer aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 75. SK 14 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m ³)	σ_{v0} (kN/m ²)	σ'_{v0} (kN/m ²)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5		10	4,00	18,670	28,005	28,005	1,70	0,75	0,90	0,75	8,606
3,0	11	11	4,00	18,670	56,010	56,010	1,34	0,75	0,90	0,75	7,441
4,5		14	4,00	18,670	84,680	79,680	1,12	0,85	0,90	0,75	8,999
6,0	18	16,5	4,00	18,670	114,680	94,680	1,03	0,95	0,90	0,75	10,874
7,5		16	4,00	18,670	144,680	109,680	0,95	0,95	0,90	0,75	9,797
9,0	17	16	4,00	18,670	174,680	124,680	0,90	0,95	0,90	0,75	9,189
10,5		17	4,00	18,670	204,680	139,680	0,85	1	0,90	0,75	9,709
12,0	21	18	4,00	18,670	234,680	154,680	0,80	1	0,90	0,75	9,769
13,5		17	4,00	18,670	264,680	169,680	0,77	1	0,90	0,75	8,809
15,0	18	16,5	4,00	18,670	294,680	184,680	0,74	1	0,90	0,75	8,196
16,5		17	4,00	18,670	324,680	199,680	0,71	1	0,90	0,75	8,121
18,0		18	4,00	18,670	354,680	214,680	0,68	1	0,90	0,75	8,292
19,5		19	4,00	18,670	384,680	229,680	0,66	1	0,90	0,75	8,462

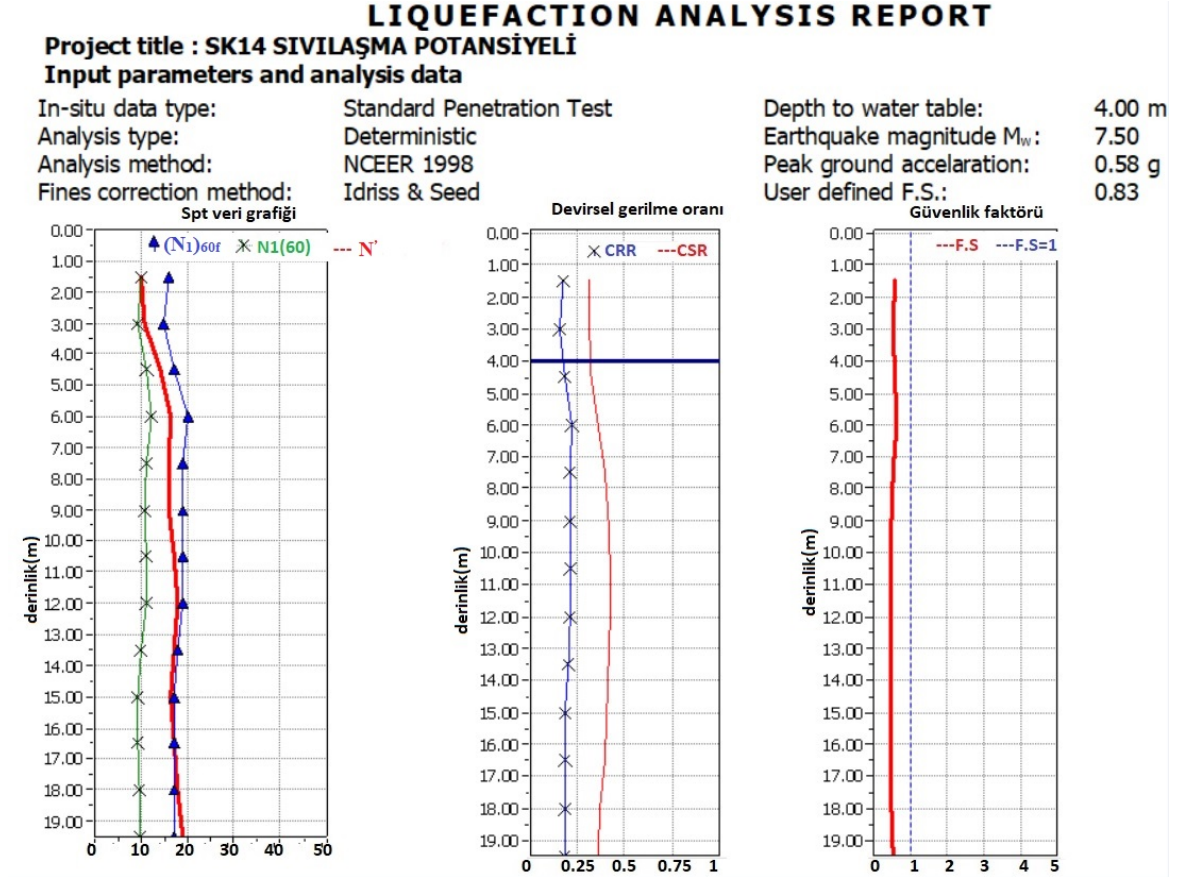
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 76'da gösterilmiştir.



Tablo 76. TBDY’ye göre SK 14’ün sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

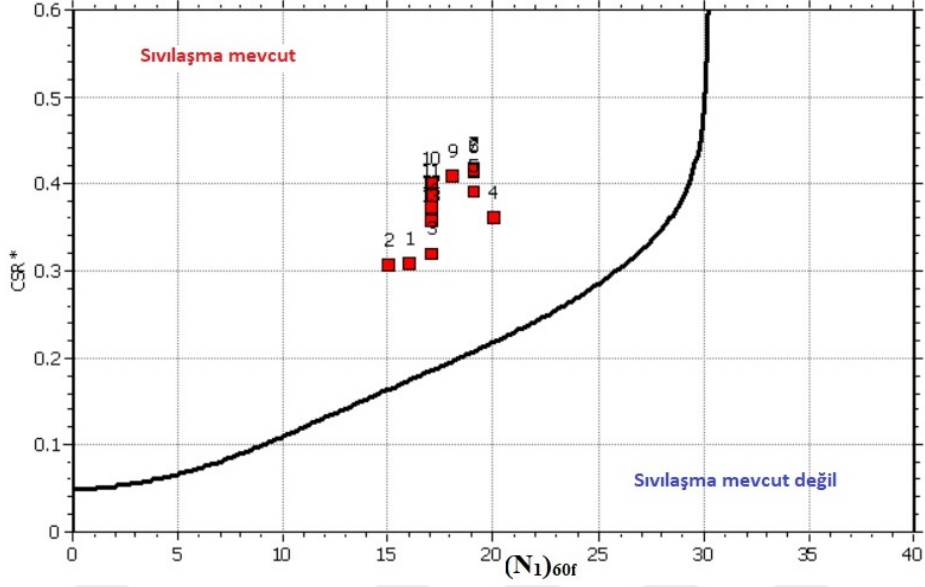
İDO	α	β	$(N_1)_{60r}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_r(M=6)$	$\tau_r(M=6.5)$	$\tau_r(M=7)$	$\tau_r(M=7.5)$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
22	3,928	1,09	13,338	0,144	1,770	1,442	1,193	1,000	7,126	5,805	4,802	4,025	0,989	21,323	✓	✓	✓	✓
22	3,928	1,09	12,063	0,132	1,770	1,442	1,193	1,000	13,062	10,642	8,803	7,378	0,977	42,152	✓	✓	✓	✓
22	3,928	1,09	13,767	0,148	1,770	1,442	1,193	1,000	20,856	16,992	14,056	11,780	0,966	62,979	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	18,049	0,192	1,770	1,442	1,193	1,000	32,235	26,262	21,724	18,207	0,954	84,278	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	16,756	0,178	1,770	1,442	1,193	1,000	34,595	28,185	23,315	19,540	0,943	105,046	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	16,026	0,171	1,770	1,442	1,193	1,000	37,631	30,659	25,361	21,255	0,931	125,284	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	16,651	0,177	1,770	1,442	1,193	1,000	43,781	35,669	29,505	24,728	0,894	140,888	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	16,723	0,178	1,770	1,442	1,193	1,000	48,692	39,670	32,815	27,502	0,854	154,299	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	15,571	0,166	1,770	1,442	1,193	1,000	49,804	40,576	33,565	28,130	0,814	165,858	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	14,835	0,158	1,770	1,442	1,193	1,000	51,774	42,181	34,892	29,243	0,774	175,567	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	14,745	0,158	1,770	1,442	1,193	1,000	55,662	45,349	37,512	31,439	0,733	183,425	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	14,951	0,160	1,770	1,442	1,193	1,000	60,626	49,394	40,858	34,243	0,693	189,432	✓	✓	✓	✓
45,8	5	1,2	15,155	0,162	1,770	1,442	1,193	1,000	65,697	53,525	44,275	37,107	0,653	193,587	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde ondördüncü kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Ondördüncü sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 45. SK 14'ün LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 46. SK 14'ün LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 77. SK 14'ün LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	28.00	0.00	28.00	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	56.01	0.00	56.01	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	84.02	4.91	79.11	0.97	0.39	1.00	0.39	1.00	0.39
4	6.00	112.02	19.62	92.40	0.95	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
5	7.50	140.03	34.34	105.69	0.94	0.47	1.00	0.47	1.00	0.47
6	9.00	168.03	49.05	118.98	0.93	0.50	1.00	0.50	0.99	0.50
7	10.50	196.03	63.77	132.27	0.89	0.50	1.00	0.50	0.99	0.50
8	12.00	224.04	78.48	145.56	0.85	0.50	1.00	0.50	0.99	0.50
9	13.50	252.04	93.19	158.85	0.81	0.49	1.00	0.49	0.99	0.49
10	15.00	280.05	107.91	172.14	0.77	0.48	1.00	0.48	0.99	0.48
11	16.50	308.06	122.63	185.43	0.73	0.46	1.00	0.46	0.99	0.47
12	18.00	336.06	137.34	198.72	0.69	0.44	1.00	0.44	0.98	0.45
13	19.50	364.06	152.06	212.01	0.65	0.42	1.00	0.42	0.98	0.43

Tablo 77'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 78'de değerlerin belirlendiği gösterilmiştir.

Tablo 78. SK 14'ün LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	10.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	10.20	4.88	16.00	0.17
2	11.00	1.34	0.75	1.00	0.85	1.00	9.37	4.80	15.00	0.16
3	14.00	1.12	0.75	1.00	0.95	1.00	11.21	4.97	17.00	0.18
4	16.50	1.04	0.75	1.00	0.95	1.00	12.23	7.45	20.00	0.22
5	16.00	0.97	0.75	1.00	0.95	1.00	11.09	7.22	19.00	0.21
6	16.00	0.92	0.75	1.00	1.00	1.00	11.00	7.20	19.00	0.21
7	17.00	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	11.09	7.22	19.00	0.21
8	18.00	0.83	0.75	1.00	1.00	1.00	11.19	7.24	19.00	0.21
9	17.00	0.79	0.75	1.00	1.00	1.00	10.12	7.02	18.00	0.20
10	16.50	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	9.43	6.89	17.00	0.18
11	17.00	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	9.36	6.87	17.00	0.18
12	18.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	9.58	6.92	17.00	0.18
13	19.00	0.69	0.75	1.00	1.00	1.00	9.79	6.96	17.00	0.18

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 79'da belirlenmiştir.

Tablo 79. SK 14'ün Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.44	9.25	6.07
2	0.47	8.50	5.94
3	0.42	7.75	4.93
4	0.40	7.00	4.19
5	0.47	6.25	4.43
6	0.50	5.50	4.14
7	0.51	4.75	3.61
8	0.50	4.00	3.02
9	0.52	3.25	2.55
10	0.54	2.50	2.02
11	0.52	1.75	1.37
12	0.51	1.00	0.76
13	0.48	0.25	0.18

Tablo 79'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 37,27'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 14 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.15. Sondaj Kuyusu 15 (SK 15)

Sondaj kuyusu 15'in sondaj logu Ek Şekil 16'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 80'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 80. SK 15 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	12	12	3,00	18,760	28,140	28,140	1,70	0,75	0,90	0,75	10,328
3,0	11	11	3,00	18,760	56,280	56,280	1,33	0,75	0,90	0,75	7,423
4,5	15	15	3,00	18,760	86,280	71,280	1,18	0,85	0,90	0,75	10,194
6,0	17	16	3,00	18,760	116,280	86,280	1,08	0,95	0,90	0,75	11,046
7,5	17	16	3,00	18,700	146,100	101,100	0,99	0,95	0,90	0,75	10,204
9,0	22	18,5	3,00	18,700	176,100	116,100	0,93	0,95	0,90	0,75	11,010
10,5		19	3,00	18,700	206,100	131,100	0,87	1	0,90	0,75	11,201
12,0	24	19,5	3,00	18,700	236,100	146,100	0,83	1	0,90	0,75	10,890
13,5		20	3,00	18,700	266,100	161,100	0,79	1	0,90	0,75	10,636
15,0	25	20	3,00	18,700	296,100	176,100	0,75	1	0,90	0,75	10,173
16,5		21	3,00	18,700	326,100	191,100	0,72	1	0,90	0,75	10,254
18,0		22	3,00	18,700	356,100	206,100	0,70	1	0,90	0,75	10,344
19,5		23	3,00	18,700	386,100	221,100	0,67	1	0,90	0,75	10,441

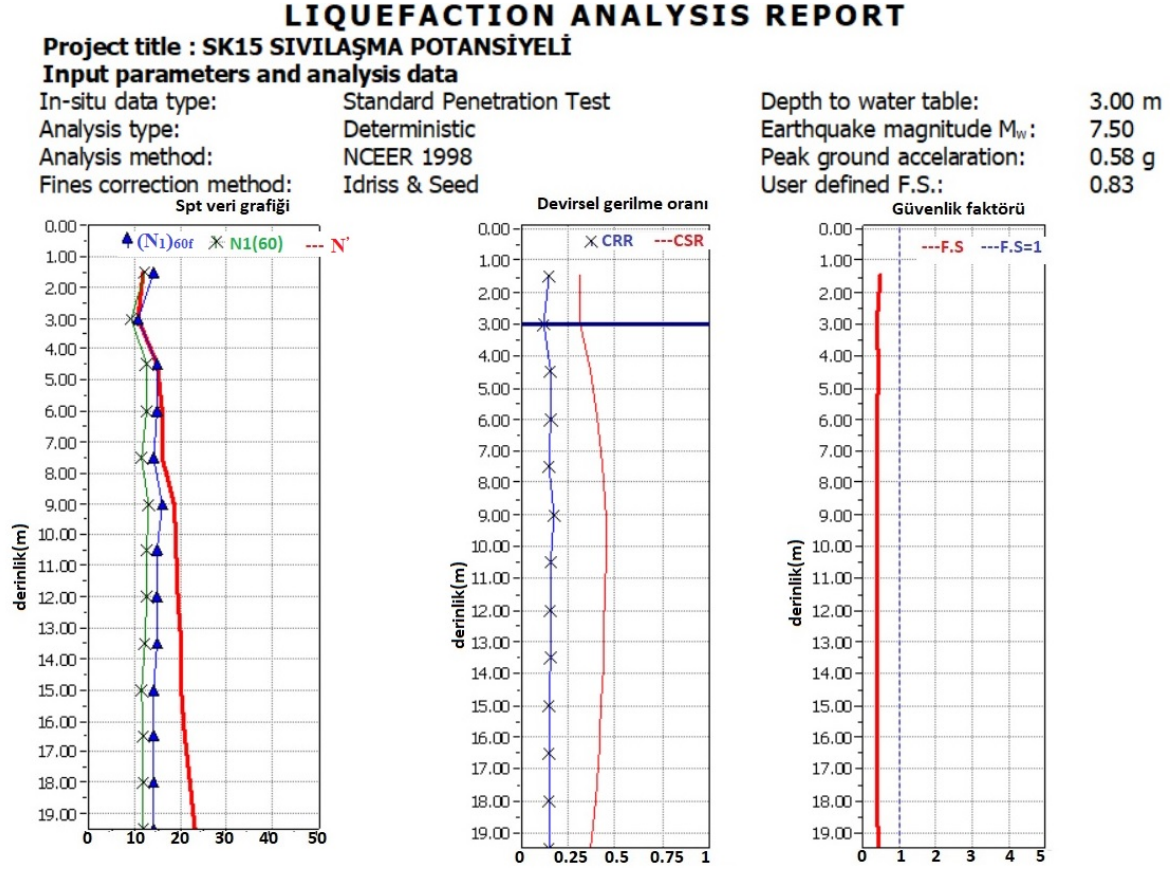
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 81'de gösterilmiştir.



Tablo 81. TBDY’e göre SK 15’in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

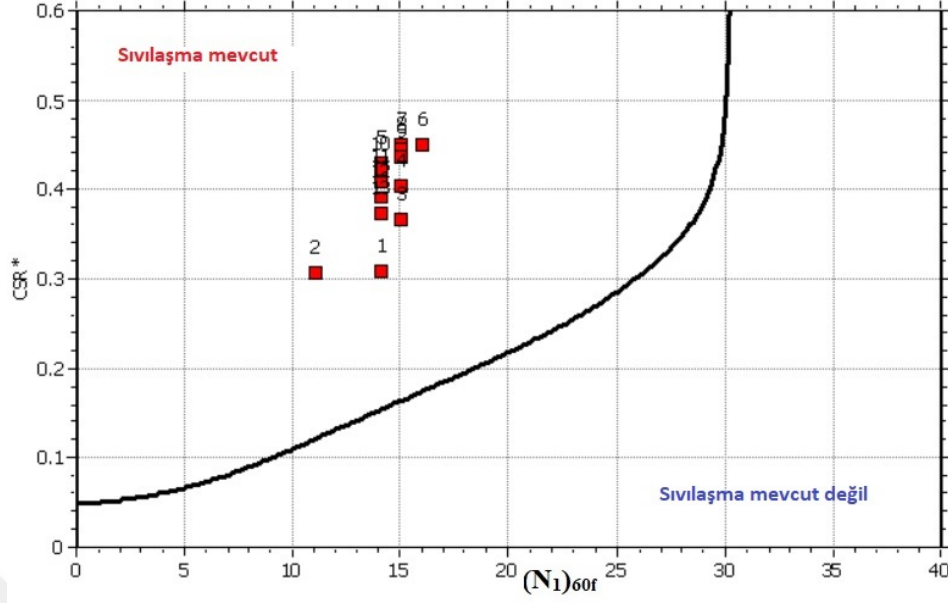
İDO	α	β	$(N_i)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
10,95	1,192	1,03	11,790	0,129	1,770	1,442	1,193	1,000	6,437	5,244	4,338	3,636	0,989	21,408	✓	✓	✓	✓
10,95	1,192	1,03	8,809	0,103	1,770	1,442	1,193	1,000	10,237	8,340	6,899	5,782	0,977	42,319	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	11,974	0,131	1,770	1,442	1,193	1,000	16,519	13,458	11,132	9,330	0,966	64,115	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	12,852	0,139	1,770	1,442	1,193	1,000	21,248	17,311	14,320	12,001	0,954	85,382	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	11,985	0,131	1,770	1,442	1,193	1,000	23,447	19,103	15,802	13,243	0,943	105,987	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	12,815	0,139	1,770	1,442	1,193	1,000	28,520	23,236	19,220	16,109	0,931	126,196	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	13,012	0,141	1,770	1,442	1,193	1,000	32,637	26,590	21,995	18,434	0,894	141,746	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	12,691	0,138	1,770	1,442	1,193	1,000	35,587	28,994	23,983	20,100	0,854	155,101	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	12,430	0,135	1,770	1,442	1,193	1,000	38,543	31,401	25,975	21,770	0,814	166,607	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	11,953	0,131	1,770	1,442	1,193	1,000	40,749	33,199	27,462	23,016	0,774	176,264	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	12,036	0,132	1,770	1,442	1,193	1,000	44,481	36,239	29,977	25,124	0,733	184,071	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	12,129	0,132	1,770	1,442	1,193	1,000	48,286	39,339	32,541	27,273	0,693	190,029	✓	✓	✓	✓
11,76	1,471	1,03	12,229	0,133	1,770	1,442	1,193	1,000	52,163	42,498	35,154	29,463	0,653	194,138	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onbeşinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onbeşinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 47SK 15'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 48. SK 15'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 82. SK 15'in LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR*
1	1.50	28.14	0.00	28.14	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	56.28	0.00	56.28	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	84.42	14.71	69.70	0.97	0.44	1.00	0.44	1.00	0.44
4	6.00	112.56	29.43	83.13	0.95	0.49	1.00	0.49	1.00	0.49
5	7.50	140.61	44.15	96.47	0.94	0.52	1.00	0.52	1.00	0.52
6	9.00	168.66	58.86	109.80	0.93	0.54	1.00	0.54	1.00	0.54
7	10.50	196.71	73.58	123.14	0.89	0.54	1.00	0.54	0.99	0.54
8	12.00	224.76	88.29	136.47	0.85	0.53	1.00	0.53	0.99	0.54
9	13.50	252.81	103.00	149.81	0.81	0.52	1.00	0.52	0.99	0.52
10	15.00	280.86	117.72	163.14	0.77	0.50	1.00	0.50	0.99	0.51
11	16.50	308.91	132.44	176.47	0.73	0.48	1.00	0.48	0.98	0.49
12	18.00	336.96	147.15	189.81	0.69	0.46	1.00	0.46	0.98	0.47
13	19.50	365.01	161.87	203.15	0.65	0.44	1.00	0.44	0.98	0.45

Tablo 82'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 83'Te bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 83. SK 15'in LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	12.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	12.24	1.51	14.00	0.15
2	11.00	1.33	0.75	1.00	0.85	1.00	9.35	1.44	11.00	0.12
3	15.00	1.20	0.75	1.00	0.95	1.00	12.80	1.86	15.00	0.16
4	16.00	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	12.50	1.85	15.00	0.16
5	16.00	1.02	0.75	1.00	0.95	1.00	11.61	1.82	14.00	0.15
6	18.50	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	13.24	1.87	16.00	0.17
7	19.00	0.90	0.75	1.00	1.00	1.00	12.84	1.86	15.00	0.16
8	19.50	0.86	0.75	1.00	1.00	1.00	12.52	1.85	15.00	0.16
9	20.00	0.82	0.75	1.00	1.00	1.00	12.26	1.84	15.00	0.16
10	20.00	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	11.74	1.83	14.00	0.15
11	21.00	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	11.86	1.83	14.00	0.15
12	22.00	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	11.98	1.83	14.00	0.15
13	23.00	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	12.10	1.84	14.00	0.15

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 84'de belirlenmiştir.

Tablo 84. SK 15'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.51	9.25	7.03
2	0.61	8.50	7.74
3	0.55	7.75	6.44
4	0.60	7.00	6.26
5	0.64	6.25	6.05
6	0.61	5.50	5.05
7	0.64	4.75	4.54
8	0.63	4.00	3.80
9	0.62	3.25	3.05
10	0.64	2.50	2.40
11	0.63	1.75	1.64
12	0.61	1.00	0.92
13	0.59	0.25	0.22

Tablo 84'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 55,12'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 13 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.16. Sondaj Kuyusu 16 (SK 16)

Sondaj kuyusu 16'in sondaj logu Ek Şekil 17'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 85'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneylemleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerin aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 85. SK 16 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	UD	5	2,50	18,340	27,510	27,510	1,70	0,75	0,90	0,75	4,303
3,0		5	2,50	18,340	55,850	50,850	1,40	0,75	0,90	0,75	3,550
4,5	5	5	2,50	18,340	85,850	65,850	1,23	0,85	0,90	0,75	3,535
6,0		8	2,50	18,340	115,850	80,850	1,11	0,95	0,90	0,75	5,705
7,5	11	11	2,50	18,340	145,850	95,850	1,02	0,95	0,90	0,75	7,205
9,0		14,5	2,50	18,340	175,850	110,850	0,95	0,95	0,90	0,75	8,831
10,5	21	18	2,50	18,290	205,725	125,725	0,89	1	0,90	0,75	10,836
12,0		18	2,50	18,290	235,725	140,725	0,84	1	0,90	0,75	10,242
13,5	22	18,5	2,50	18,290	265,725	155,725	0,80	1	0,90	0,75	10,007
15,0		19	2,50	18,290	295,725	170,725	0,77	1	0,90	0,75	9,815
16,5		20	2,50	18,290	325,725	185,725	0,73	1	0,90	0,75	9,906
18,0		21	2,50	18,290	355,725	200,725	0,71	1	0,90	0,75	10,005
19,5		22	2,50	18,290	385,725	215,725	0,68	1	0,90	0,75	10,111

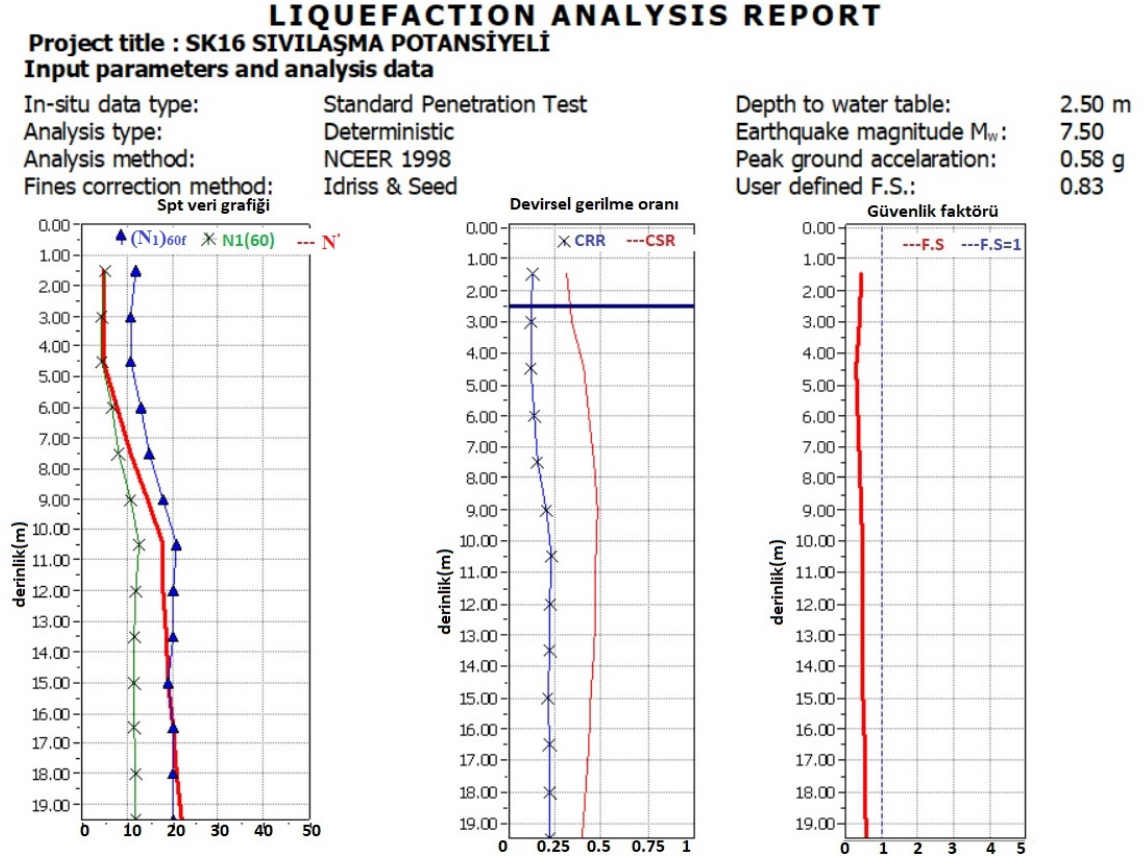
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 86'da gösterilmiştir.



Tablo 86. TBDY’e göre SK 16’nın sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

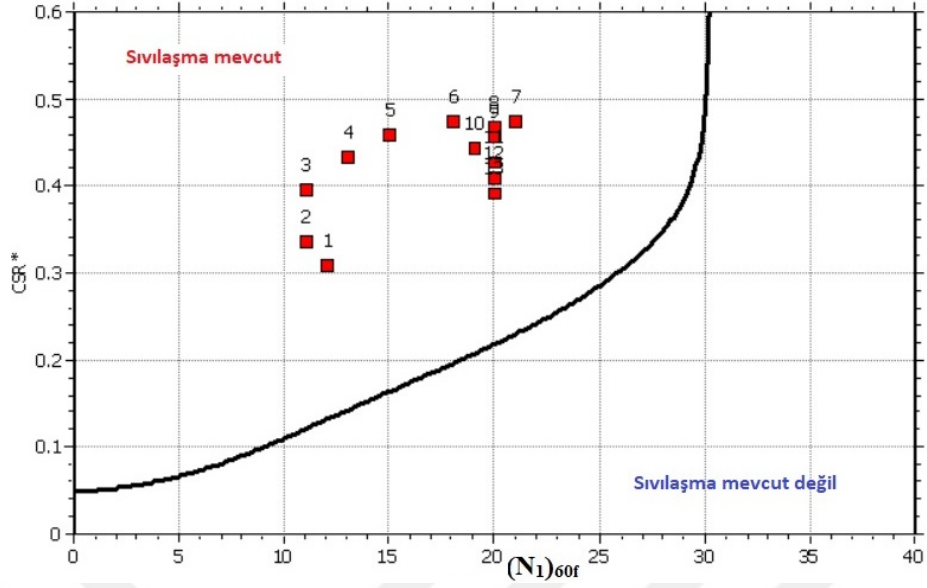
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
80,9	5	1,2	10,164	0,115	1,770	1,442	1,193	1,000	5,578	4,544	3,759	3,151	0,989	20,929	✓	✓	✓	✓
80,9	5	1,2	9,260	0,107	1,770	1,442	1,193	1,000	9,598	7,820	6,468	5,421	0,977	41,996	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	9,242	0,107	1,770	1,442	1,193	1,000	12,412	10,112	8,365	7,010	0,966	63,796	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	11,846	0,130	1,770	1,442	1,193	1,000	18,568	15,127	12,513	10,487	0,954	85,066	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	13,646	0,147	1,770	1,442	1,193	1,000	24,891	20,279	16,775	14,059	0,943	105,806	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	15,598	0,166	1,770	1,442	1,193	1,000	32,590	26,552	21,963	18,407	0,931	126,016	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	18,003	0,192	1,770	1,442	1,193	1,000	42,690	34,781	28,770	24,112	0,894	141,488	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	17,291	0,184	1,770	1,442	1,193	1,000	45,821	37,332	30,881	25,881	0,854	154,855	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	17,008	0,181	1,770	1,442	1,193	1,000	49,863	40,624	33,604	28,163	0,814	166,373	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	16,779	0,178	1,770	1,442	1,193	1,000	53,922	43,931	36,339	30,456	0,774	176,041	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	16,887	0,180	1,770	1,442	1,193	1,000	59,041	48,102	39,790	33,348	0,733	183,860	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	17,006	0,181	1,770	1,442	1,193	1,000	64,264	52,357	43,309	36,297	0,693	189,829	✓	✓	✓	✓
90,8	5	1,2	17,133	0,182	1,770	1,442	1,193	1,000	69,588	56,695	46,897	39,305	0,653	193,950	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onaltıncı kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onaltıncı sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 49. SK 16'nın LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 50. SK 16'nın LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 87. SK 16'nın LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.51	0.00	27.51	0.99	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
2	3.00	55.02	4.91	50.12	0.98	0.40	1.00	0.40	1.00	0.40
3	4.50	82.53	19.62	62.91	0.97	0.48	1.00	0.48	1.00	0.48
4	6.00	110.04	34.34	75.70	0.95	0.52	1.00	0.52	1.00	0.52
5	7.50	137.55	49.05	88.50	0.94	0.55	1.00	0.55	1.00	0.55
6	9.00	165.06	63.77	101.30	0.93	0.57	1.00	0.57	1.00	0.57
7	10.50	192.50	78.48	114.02	0.89	0.57	1.00	0.57	1.00	0.57
8	12.00	219.93	93.19	126.73	0.85	0.56	1.00	0.56	0.99	0.56
9	13.50	247.37	107.91	139.46	0.81	0.54	1.00	0.54	0.99	0.55
10	15.00	274.80	122.63	152.18	0.77	0.53	1.00	0.53	0.99	0.53
11	16.50	302.24	137.34	164.90	0.73	0.51	1.00	0.51	0.99	0.51
12	18.00	329.67	152.06	177.62	0.69	0.49	1.00	0.49	0.98	0.49
13	19.50	357.11	166.77	190.34	0.65	0.46	1.00	0.46	0.98	0.47

Tablo 87'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 88'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 88. SK 16'nın LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	5.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	5.10	6.02	12.00	0.13
2	5.00	1.41	0.75	1.00	0.85	1.00	4.50	5.90	11.00	0.12
3	5.00	1.26	0.75	1.00	0.95	1.00	4.49	5.90	11.00	0.12
4	8.00	1.15	0.75	1.00	0.95	1.00	6.55	6.31	13.00	0.14
5	11.00	1.06	0.75	1.00	0.95	1.00	8.33	6.67	15.00	0.16
6	14.50	0.99	0.75	1.00	1.00	1.00	10.81	7.16	18.00	0.20
7	18.00	0.94	0.75	1.00	1.00	1.00	12.64	7.53	21.00	0.23
8	18.00	0.89	0.75	1.00	1.00	1.00	11.99	7.40	20.00	0.22
9	18.50	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	11.75	7.35	20.00	0.22
10	19.00	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	11.55	7.31	19.00	0.21
11	20.00	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	11.68	7.34	20.00	0.22
12	21.00	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	11.82	7.36	20.00	0.22
13	22.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	11.96	7.39	20.00	0.22

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 89'da belirlenmiştir.

Tablo 89. SK 16'nın Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.58	9.25	8.00
2	0.64	8.50	8.18
3	0.70	7.75	8.10
4	0.67	7.00	7.07
5	0.64	6.25	6.03
6	0.59	5.50	4.86
7	0.52	4.75	3.68
8	0.53	4.00	3.21
9	0.52	3.25	2.55
10	0.53	2.50	2.00
11	0.49	1.75	1.29
12	0.47	1.00	0.70
13	0.44	0.25	0.17

Tablo 89'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 55,84'tür. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 16 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür.

2.2.17. Sondaj Kuyusu 17 (SK 17)

Sondaj kuyusu 17'in sondaj logu Ek Şekil 18'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 90'da verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneylemleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerler aşılmaması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 90. SK 17 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5		18	10,00	18,640	27,960	27,960	1,70	0,75	0,90	0,75	15,491
3,0	20	20	10,00	18,640	55,920	55,920	1,34	0,75	0,90	0,75	13,540
4,5		19,5	10,00	18,640	83,880	83,880	1,09	0,85	0,90	0,75	12,216
6,0	19	19	10,00	18,640	111,840	111,840	0,95	0,95	0,90	0,75	11,521
7,5		19,5	10,00	18,640	139,800	139,800	0,85	0,95	0,90	0,75	10,576
9,0	25	20	10,00	18,640	167,760	167,760	0,77	0,95	0,90	0,75	9,902
10,5		28	10,00	18,640	196,400	191,400	0,72	1	0,90	0,75	13,661
12,0	50	35,5	10,00	18,230	222,300	202,300	0,70	1	0,90	0,75	16,847
13,5		36	10,00	18,230	252,300	217,300	0,68	1	0,90	0,75	16,485
15,0		38	10,00	18,230	282,300	232,300	0,66	1	0,90	0,75	16,829
16,5		40	10,00	18,230	312,300	247,300	0,64	1	0,90	0,75	17,169
18,0		42	10,00	18,230	342,300	262,300	0,62	1	0,90	0,75	17,505
19,5		45	10,00	18,230	372,300	277,300	0,60	1	0,90	0,75	18,241

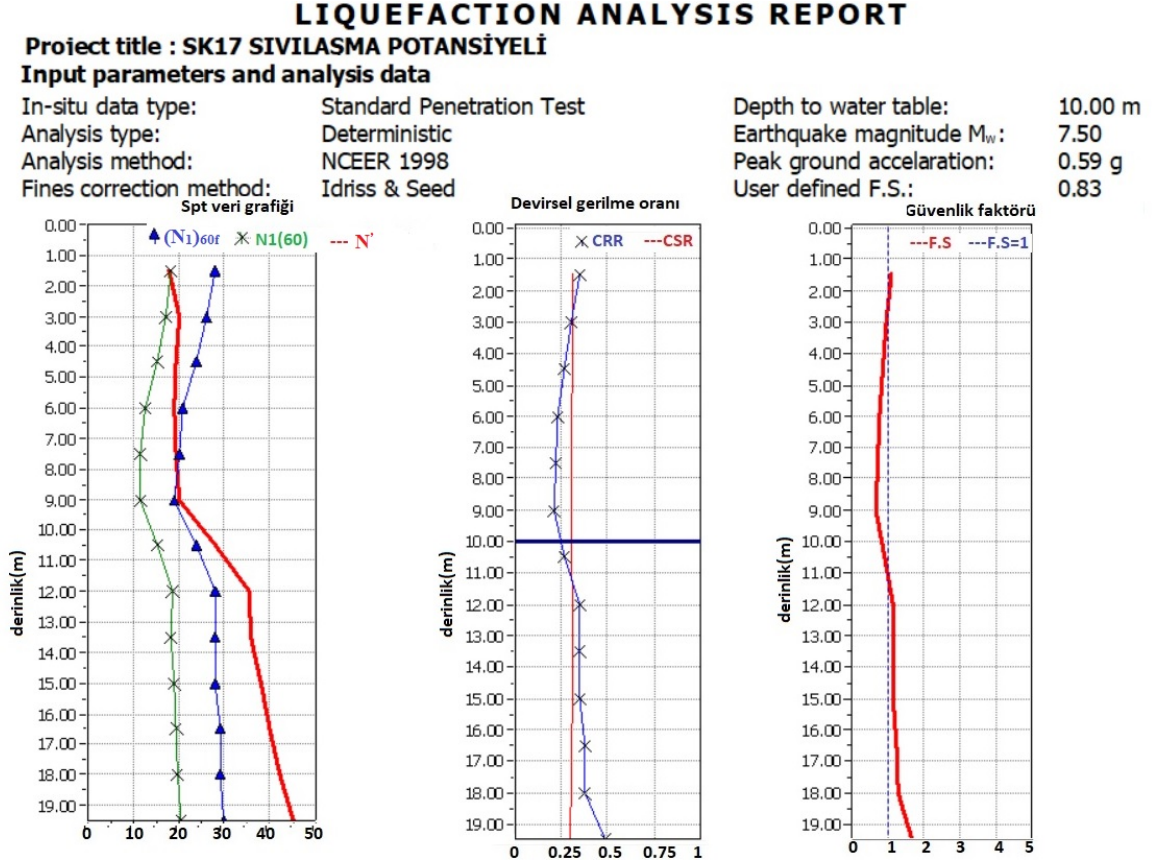
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 91'de gösterilmiştir.



Tablo 91. TBDY’e göre SK 17’nin sınıvlaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınıvlaşma durumu

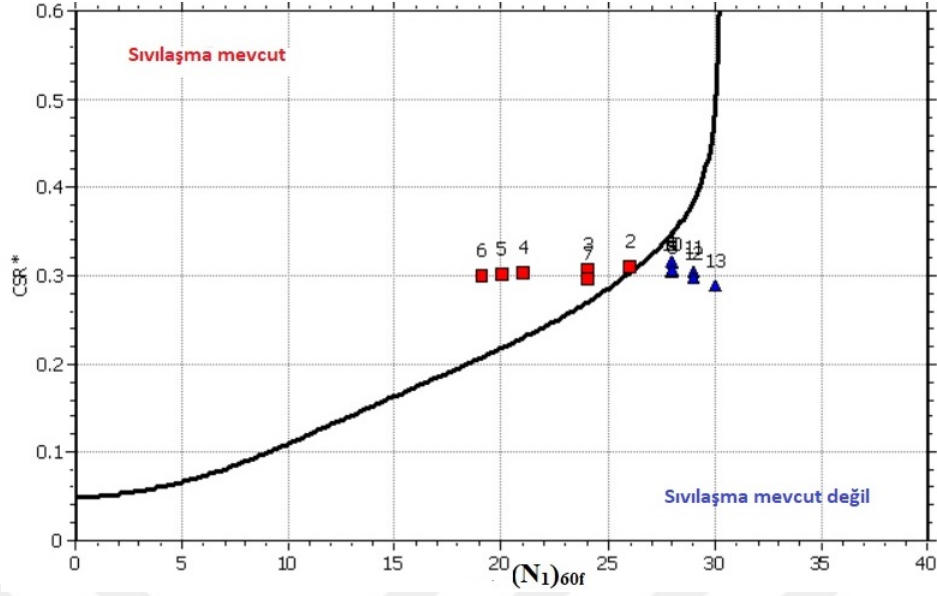
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	F_d	T_{deprem}	Sınıvlaşma Durumu (M=6.0)	Sınıvlaşma Durumu (M=6.5)	Sınıvlaşma Durumu (M=7.0)	Sınıvlaşma Durumu (M=7.5)
51,2	5	1,2	23,590	0,266	1,770	1,442	1,193	1,000	13,184	10,741	8,885	7,447	0,989	21,307	✓	✓	✓	✓
51,2	5	1,2	19,467	0,209	1,770	1,442	1,193	1,000	20,673	16,843	13,932	11,677	0,977	42,119	✓	✓	✓	✓
51,2	5	1,2	18,005	0,192	1,770	1,442	1,193	1,000	28,485	23,207	19,197	16,089	0,966	62,437	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	17,588	0,187	1,770	1,442	1,193	1,000	37,061	30,194	24,976	20,933	0,954	82,260	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	16,921	0,180	1,770	1,442	1,193	1,000	44,532	36,281	30,011	25,152	0,943	101,588	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	17,092	0,182	1,770	1,442	1,193	1,000	53,983	43,981	36,381	30,491	0,931	120,422	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	21,675	0,237	1,770	1,442	1,193	1,000	80,424	65,523	54,200	45,425	0,894	135,303	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	25,333	0,299	1,770	1,442	1,193	1,000	106,907	87,099	72,048	60,383	0,854	146,282	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	24,887	0,290	1,770	1,442	1,193	1,000	111,399	90,759	75,075	62,920	0,814	158,234	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	25,296	0,298	1,770	1,442	1,193	1,000	122,446	99,759	82,520	69,160	0,774	168,333	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	25,700	0,306	1,770	1,442	1,193	1,000	134,102	109,255	90,375	75,743	0,733	176,580	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	26,098	0,315	1,770	1,442	1,193	1,000	146,422	119,293	98,679	82,702	0,693	182,974	✓	✓	✓	✓
82,8	5	1,2	26,980	0,338	1,770	1,442	1,193	1,000	165,789	135,072	111,731	93,641	0,653	187,515	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onyedinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onyedinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 51. SK 17'nin LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 52. SK 17'nin LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 92. SK 17'nin LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.96	0.00	27.96	0.99	0.38	1.00	0.38	1.00	0.38
2	3.00	55.92	0.00	55.92	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	83.88	0.00	83.88	0.97	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
4	6.00	111.84	0.00	111.84	0.95	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
5	7.50	139.80	0.00	139.80	0.94	0.36	1.00	0.36	0.99	0.37
6	9.00	167.76	0.00	167.76	0.93	0.36	1.00	0.36	0.99	0.36
7	10.50	195.72	4.91	190.81	0.89	0.35	1.00	0.35	0.98	0.36
8	12.00	223.06	19.62	203.44	0.85	0.36	1.00	0.36	0.98	0.37
9	13.50	250.41	34.34	216.07	0.81	0.36	1.00	0.36	0.98	0.37
10	15.00	277.75	49.05	228.71	0.77	0.36	1.00	0.36	0.98	0.37
11	16.50	305.10	63.77	241.34	0.73	0.36	1.00	0.36	0.97	0.37
12	18.00	332.44	78.48	253.97	0.69	0.35	1.00	0.35	0.97	0.36
13	19.50	359.79	93.19	266.60	0.65	0.34	1.00	0.34	0.97	0.35

Tablo 92'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 93'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 93. SK 17'nin LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	18.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	18.36	8.67	28.00	0.35
2	20.00	1.34	0.75	1.00	0.85	1.00	17.05	8.41	26.00	0.30
3	19.50	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	15.17	8.03	24.00	0.27
4	19.00	0.95	0.75	1.00	0.95	1.00	12.80	7.56	21.00	0.23
5	19.50	0.85	0.75	1.00	0.95	1.00	11.75	7.35	20.00	0.22
6	20.00	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	11.58	7.32	19.00	0.21
7	28.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	15.20	8.04	24.00	0.27
8	35.50	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	18.67	8.73	28.00	0.35
9	36.00	0.68	0.75	1.00	1.00	1.00	18.37	8.67	28.00	0.35
10	38.00	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	18.85	8.77	28.00	0.35
11	40.00	0.64	0.75	1.00	1.00	1.00	19.31	8.86	29.00	0.38
12	42.00	0.63	0.75	1.00	1.00	1.00	19.77	8.95	29.00	0.38
13	45.00	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	20.67	9.13	30.00	0.49

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 94'te belirlenmiştir.

Tablo 94. SK 17'nin Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.00	9.25	0.00
2	0.03	8.50	0.34
3	0.12	7.75	1.44
4	0.25	7.00	2.60
5	0.28	6.25	2.64
6	0.31	5.50	2.59
7	0.10	4.75	0.68
8	0.00	4.00	0.00
9	0.00	3.25	0.00
10	0.00	2.50	0.00
11	0.00	1.75	0.00
12	0.00	1.00	0.00
13	0.00	0.25	0.00

Tablo 94'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 10,30'dur. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 17 kuyusunun ilk 12 metresinde sıvılaşmanın düşük seviyede olabileceğini; 12 metreden sonra ise sıvılaşmanın olmayacağı görülmüştür.

2.2.18. Sondaj Kuyusu 18 (SK 18)

Sondaj kuyusu 18'in sondaj logu Ek Şekil 19'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltilmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 95'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değer aşılması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 95. SK 18 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,5	9	9	20,00	18,770	28,155	28,155	1,70	0,75	0,90	0,75	7,746
3,0	18	18	20,00	18,770	56,310	56,310	1,33	0,75	0,90	0,75	12,144
4,5	30	30	20,00	18,770	84,465	84,465	1,09	0,85	0,90	0,75	18,729
6,0	21	21	20,00	18,770	112,620	112,620	0,94	0,95	0,90	0,75	12,689
7,5	28	28	20,00	18,770	140,775	140,775	0,84	0,95	0,90	0,75	15,133
9,0	24	24	20,00	18,770	168,930	168,930	0,77	0,95	0,90	0,75	11,841
10,5	34	34	20,00	18,770	197,085	197,085	0,71	1	0,90	0,75	16,348
12,0		36	20,00	18,770	225,240	225,240	0,67	1	0,90	0,75	16,191
13,5		37	20,00	18,770	253,395	253,395	0,63	1	0,90	0,75	15,689
15,0	39	39	20,00	18,770	281,550	281,550	0,60	1	0,90	0,75	15,689
16,5	36	36	20,00	18,920	312,180	312,180	0,57	1	0,90	0,75	13,753
18,0		32	20,00	18,920	340,560	340,560	0,54	1	0,90	0,75	11,705
19,5	28	28	20,00	18,920	368,940	368,940	0,52	1	0,90	0,75	9,840

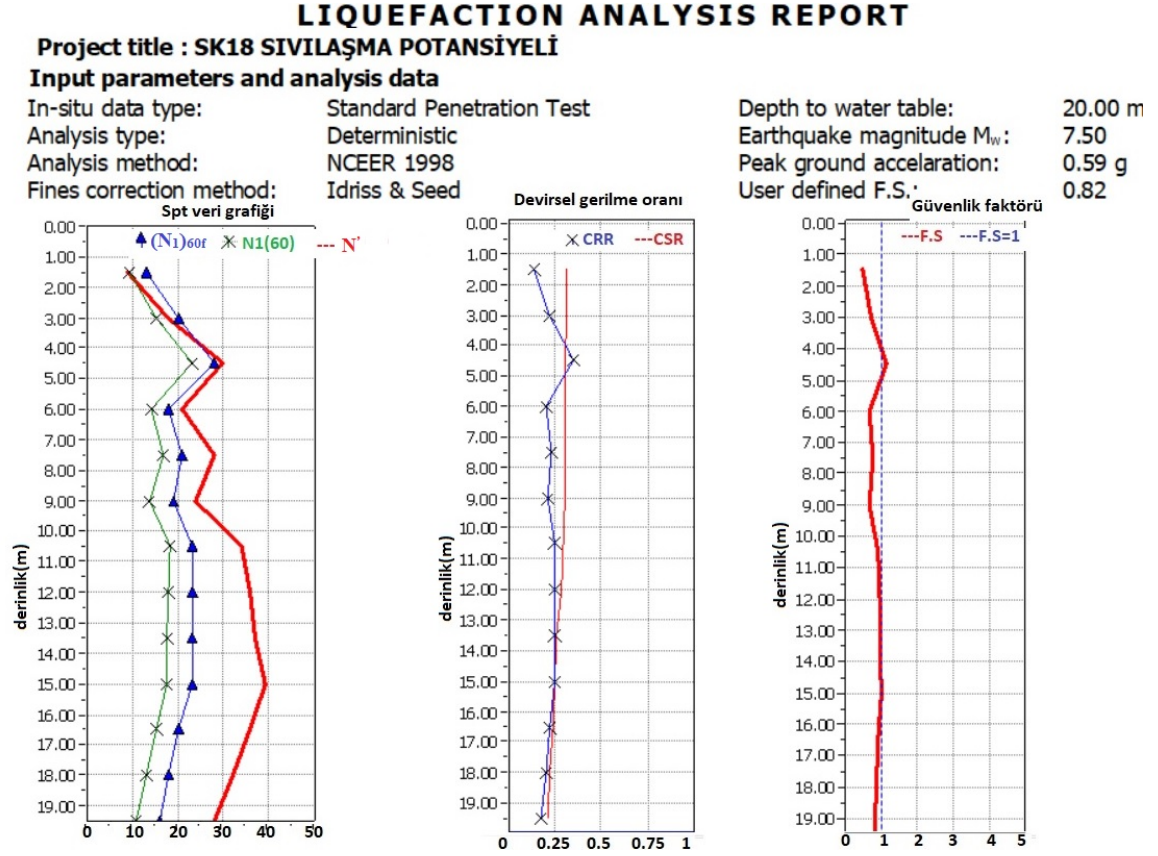
İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da kullanılarak $(N_1)_{60f}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 96'da gösterilmiştir.



Tablo 96. TBDY’e göre SK 18’in sıvılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sıvılaşma durumu

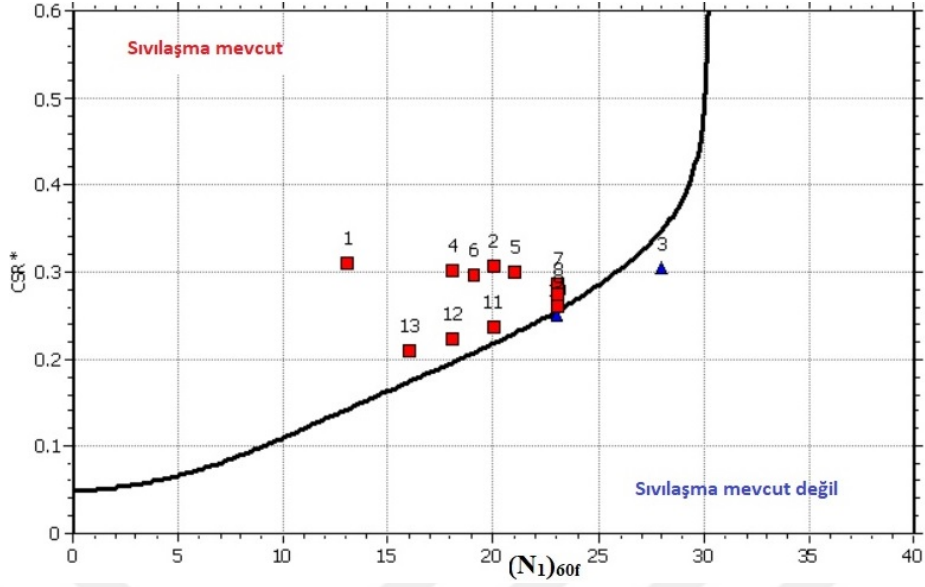
İDO	α	β	$(N_1)_{60f}$	$(CRR)_{M=7.5}$	$(C)_{M=6}$	$(C)_{M=6.5}$	$(C)_{M=7}$	$(C)_{M=7.5}$	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	r_d	τ_{deprem}	Sıvılaşma Durumu (M=6.0)	Sıvılaşma Durumu (M=6.5)	Sıvılaşma Durumu (M=7.0)	Sıvılaşma Durumu (M=7.5)
16,5	2,892	1,06	11,080	0,123	1,770	1,442	1,193	1,000	6,117	4,984	4,123	3,455	0,989	41,734	✓	✓	✓	✓
16,5	2,892	1,06	15,728	0,167	1,770	1,442	1,193	1,000	16,689	13,597	11,247	9,426	0,977	61,865	✓	✓	✓	✓
16,5	2,892	1,06	22,689	0,252	1,770	1,442	1,193	1,000	37,694	30,710	25,403	21,290	0,966	81,507	✓	✓	✓	✓
16,5	2,892	1,06	16,305	0,173	1,770	1,442	1,193	1,000	34,572	28,166	23,299	19,527	0,954	100,658	✓	✓	✓	✓
16,5	2,892	1,06	18,888	0,202	1,770	1,442	1,193	1,000	50,328	41,004	33,918	28,426	0,943	119,319	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	16,166	0,172	1,770	1,442	1,193	1,000	51,423	41,895	34,656	29,045	0,931	133,600	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	21,005	0,228	1,770	1,442	1,193	1,000	79,636	64,881	53,669	44,980	0,894	145,843	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	20,837	0,226	1,770	1,442	1,193	1,000	90,130	73,431	60,741	50,907	0,854	156,375	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	20,298	0,219	1,770	1,442	1,193	1,000	98,281	80,072	66,235	55,511	0,814	165,196	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	20,297	0,219	1,770	1,442	1,193	1,000	109,197	88,965	73,592	61,677	0,774	173,684	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	18,219	0,194	1,770	1,442	1,193	1,000	107,349	87,460	72,346	60,633	0,733	179,127	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	16,020	0,170	1,770	1,442	1,193	1,000	102,749	83,712	69,246	58,035	0,693	182,846	✓	✓	✓	✓
19,1	3,455	1,07	14,018	0,150	1,770	1,442	1,193	1,000	98,167	79,978	66,158	55,447	0,653	182,846	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde onsekizinci kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Onsekizinci sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 53. SK 18'in LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 54. SK 18'in LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 97. SK 18'in LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	$K\sigma$	CSR*
1	1.50	27.96	0.00	27.96	0.99	0.38	1.00	0.38	1.00	0.38
2	3.00	55.92	0.00	55.92	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	83.88	0.00	83.88	0.97	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
4	6.00	111.84	0.00	111.84	0.95	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
5	7.50	139.80	0.00	139.80	0.94	0.36	1.00	0.36	0.99	0.37
6	9.00	167.76	0.00	167.76	0.93	0.36	1.00	0.36	0.99	0.36
7	10.50	195.72	4.91	190.81	0.89	0.35	1.00	0.35	0.98	0.36
8	12.00	223.06	19.62	203.44	0.85	0.36	1.00	0.36	0.98	0.37
9	13.50	250.41	34.34	216.07	0.81	0.36	1.00	0.36	0.98	0.37
10	15.00	277.75	49.05	228.71	0.77	0.36	1.00	0.36	0.98	0.37
11	16.50	305.10	63.77	241.34	0.73	0.36	1.00	0.36	0.97	0.37
12	18.00	332.44	78.48	253.97	0.69	0.35	1.00	0.35	0.97	0.36
13	19.50	359.79	93.19	266.60	0.65	0.34	1.00	0.34	0.97	0.35

Tablo 97'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti $CRR_{M7.5}$ 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 98'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 98. SK 18'in LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	9.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	9.18	3.42	13.00	0.14
2	18.00	1.33	0.75	1.00	0.85	1.00	15.29	3.76	20.00	0.22
3	30.00	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	23.26	4.22	28.00	0.35
4	21.00	0.94	0.75	1.00	0.95	1.00	14.10	3.70	18.00	0.20
5	28.00	0.84	0.75	1.00	0.95	1.00	16.81	3.85	21.00	0.23
6	24.00	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	13.85	4.47	19.00	0.21
7	34.00	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	18.16	4.79	23.00	0.25
8	36.00	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	17.99	4.78	23.00	0.25
9	37.00	0.63	0.75	1.00	1.00	1.00	17.43	4.74	23.00	0.25
10	39.00	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00	17.43	4.74	23.00	0.25
11	36.00	0.57	0.75	1.00	1.00	1.00	15.34	4.58	20.00	0.22
12	32.00	0.54	0.75	1.00	1.00	1.00	13.05	4.41	18.00	0.20
13	28.00	0.52	0.75	1.00	1.00	1.00	10.97	4.26	16.00	0.17

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 99'da belirlenmiştir.

Tablo 99. SK 18'in Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.54	9.25	7.54
2	0.29	8.50	3.72
3	0.00	7.75	0.00
4	0.35	7.00	3.69
5	0.24	6.25	2.21
6	0.31	5.50	2.53
7	0.11	4.75	0.81
8	0.07	4.00	0.44
9	0.03	3.25	0.14
10	0.00	2.50	0.00
11	0.08	1.75	0.22
12	0.13	1.00	0.19
13	0.17	0.25	0.07

Tablo 99'a göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 21,55'dir. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 18 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın

olabileceği görülmüştür. Iwasaki'nin sınıflama indeksine göre 15. metrede sınıflamanın olmayacağı görülmüştür.

2.2.19. Sondaj Kuyusu 19 (SK 19)

Sondaj kuyusu 19'in sondaj logu Ek Şekil 20'de gösterilmektedir. Sondaj sonucu elde edilen SPT-N değerleri için öncelikle yeraltı suyu düzeltmesi yapılarak düzeltilmiş SPT-N değerleri (N') hesaplanmıştır. Yapılan sondajda yer altı su seviyesi belirlenerek, alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden zeminin doğal birim hacim ağırlığı ve ince dane oranı belirlenmiştir. (Ek Şekil 1). İnceleme alanında mevcut koşullar göz önüne alınarak yapılan düzeltmeler sonucunda bulunan $(N_1)_{60}$ değerleri Tablo 100'de verilmiştir. Burada, tij boyu düzeltme faktörü derinliğe bağlı olarak Tablo 3'ten alınmıştır. Türkiye'de yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nde teorik enerjinin %45'ini ileten bir tokmak kullanıldığından enerji düzeltme katsayısı (C_E), Tablo 7'den 0.75 olarak alınarak düzeltme hesabına dahil edilmiştir. Derinlik düzeltme katsayılarının hesabında ise Denklem (3) kullanılmıştır. Youd vd.'ye (2001) göre C_N değerleri 1,7'den büyük olamayacağından bu değerler aşılmaması durumunda katsayı yine 1,7 alınmıştır.

Tablo 100. SK 19 SPT-N, Düşey gerilme, Efektif gerilme ve düzeltme katsayıları

Derinlik (m)	SPT-Narazi	N'	YASS (m)	Zemin Doğal B.H.A (kN/m^3)	σ_{v0} (kN/m^2)	σ'_{v0} (kN/m^2)	C_N	C_R	C_S	C_E	$(N_1)_{60}$
1,50		25,00	20,00	18,42	27,63	27,63	1,70	0,75	0,90	0,75	21,52
3,00	25,00	25,00	20,00	18,42	55,26	55,26	1,35	0,75	0,90	0,75	17,03
4,50	31,00	31,00	20,00	18,42	82,89	82,89	1,10	0,85	0,90	0,75	19,54
6,00		32,00	20,00	18,42	110,52	110,52	0,95	0,95	0,90	0,75	19,52
7,50	32,00	32,00	20,00	18,60	139,50	139,50	0,85	0,95	0,90	0,75	17,37
9,00		30,00	20,00	18,60	167,40	167,40	0,77	0,95	0,90	0,75	14,87
10,50	27,00	27,00	20,00	18,60	195,30	195,30	0,72	1,00	0,90	0,75	13,04
12,00		30,00	20,00	18,60	223,20	223,20	0,67	1,00	0,90	0,75	13,55
13,50	34,00	34,00	20,00	18,60	251,10	251,10	0,63	1,00	0,90	0,75	14,48
15,00		34,50	20,00	18,60	279,00	279,00	0,60	1,00	0,90	0,75	13,94
16,50	35,00	35,00	20,00	18,60	306,90	306,90	0,57	1,00	0,90	0,75	13,49
18,00		38,00	20,00	18,60	334,80	334,80	0,55	1,00	0,90	0,75	14,02
19,50	41,00	41,00	20,00	18,60	362,70	362,70	0,53	1,00	0,90	0,75	14,53

İnce dane oranını belirlemek amacıyla Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak α ve β değerleri hesaplanmıştır. $(N_1)_{60}$, α ve β değerleri Denklem 6'da

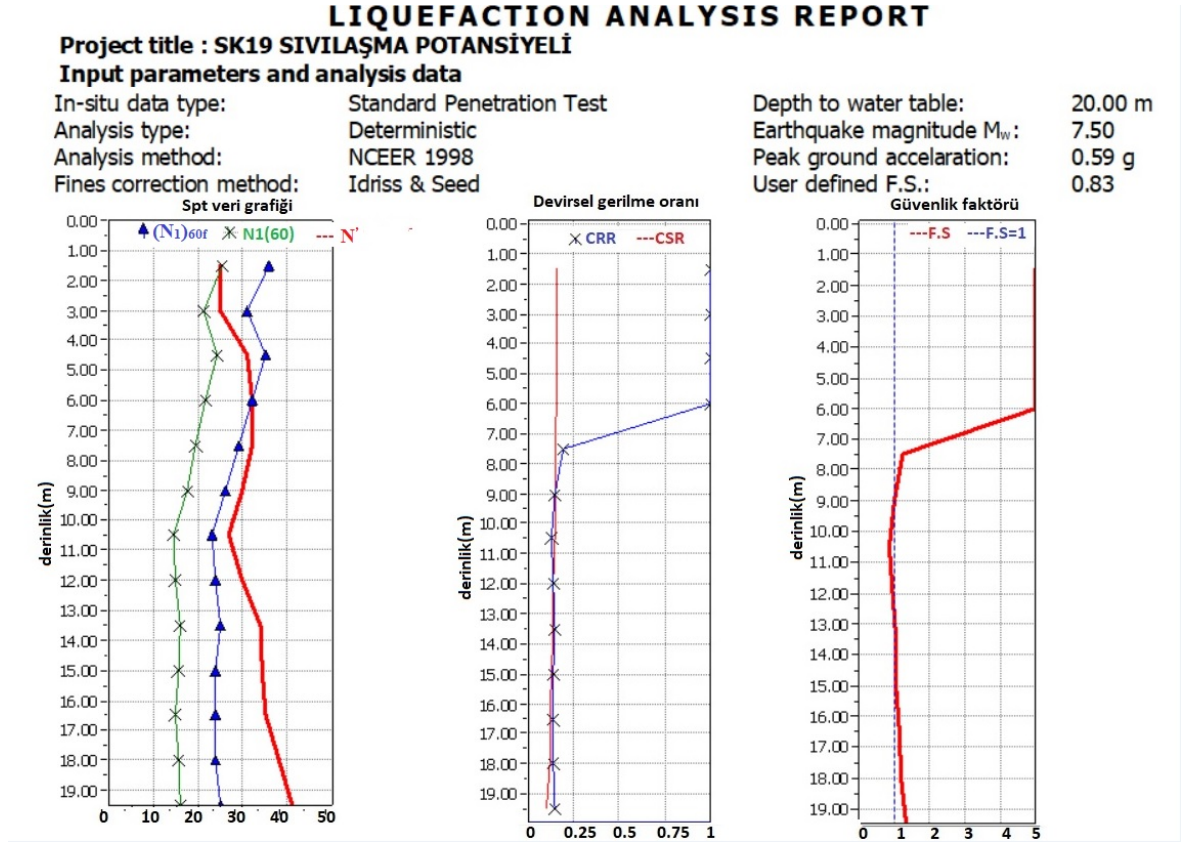
kullanılarak $(N_1)_{6of}$ deperleri hesaplanmıştır. Çevrimsel kayma mukavemeti 7.5 büyüklüğündeki depreme göre Denklem 10 kullanılarak belirlenmiştir. Sıvılaşma direnci Denklem 12'ye, depremde oluşan kayma gerilmesi ise Denklem 15'e göre elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla, TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Denklem 16'nın sağlamadığı durumlarda sıvılaşmanın oluşabileceği Tablo 101'de gösterilmiştir.



Tablo 101. TBDY’e göre SK 19’un sınılaşma direnci, kayma gerilmeleri ve sınılaşma durumu

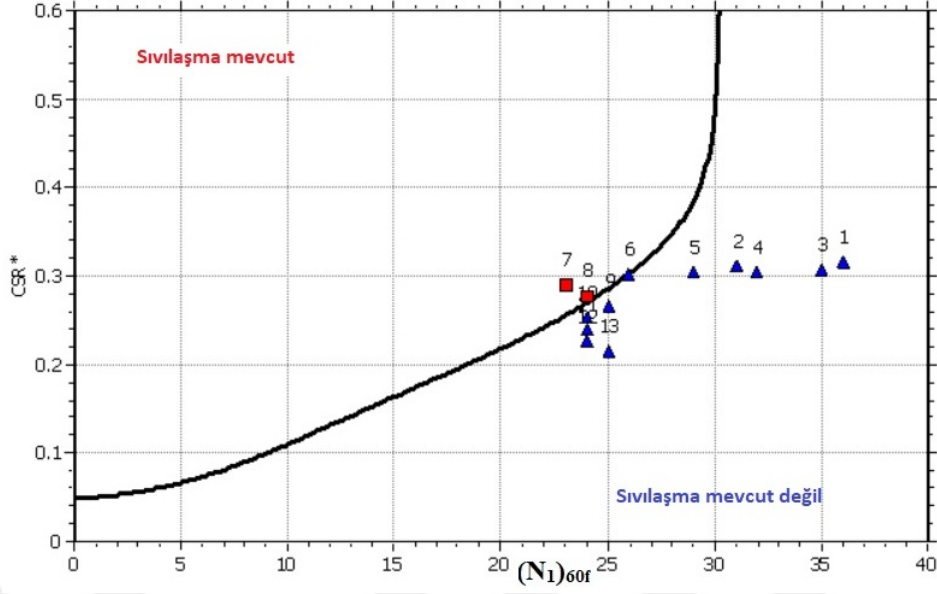
(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}	(C) _{M=6}	(C) _{M=6,5}	(C) _{M=7}	(C) _{M=7,5}	$\tau_{r(M=6)}$	$\tau_{r(M=6.5)}$	$\tau_{r(M=7)}$	$\tau_{r(M=7.5)}$	F _d	τ_{deprem}	Sınılaşma Durumu (M=6,0)	Sınılaşma Durumu (M=6,5)	Sınılaşma Durumu (M=7,0)	Sınılaşma Durumu (M=7,5)
30,819	0,538	1,770	1,442	1,193	1,000	26,310	21,435	17,731	14,860	0,989	20,718	✓	✓	✓	✓
25,431	0,301	1,770	1,442	1,193	1,000	29,402	23,954	19,815	16,607	0,977	40,955	✓	✓	✓	✓
28,443	0,386	1,770	1,442	1,193	1,000	56,642	46,148	38,173	31,993	0,966	60,712	✓	✓	✓	✓
28,423	0,385	1,770	1,442	1,193	1,000	75,366	61,402	50,791	42,568	0,954	79,987	✓	✓	✓	✓
25,848	0,310	1,770	1,442	1,193	1,000	76,459	62,293	51,528	43,186	0,943	99,746	✓	✓	✓	✓
22,842	0,254	1,770	1,442	1,193	1,000	75,400	61,430	50,814	42,587	0,931	118,239	✓	✓	✓	✓
20,649	0,224	1,770	1,442	1,193	1,000	77,305	62,982	52,098	43,663	0,894	132,390	✓	✓	✓	✓
21,265	0,232	1,770	1,442	1,193	1,000	91,567	74,601	61,710	51,719	0,854	144,522	✓	✓	✓	✓
22,380	0,248	1,770	1,442	1,193	1,000	110,001	89,620	74,133	62,131	0,814	154,958	✓	✓	✓	✓
21,730	0,238	1,770	1,442	1,193	1,000	117,616	95,824	79,265	66,432	0,774	163,700	✓	✓	✓	✓
21,183	0,231	1,770	1,442	1,193	1,000	125,301	102,086	84,445	70,773	0,733	170,746	✓	✓	✓	✓
21,822	0,239	1,770	1,442	1,193	1,000	141,902	115,611	95,632	80,149	0,693	176,098	✓	✓	✓	✓
22,438	0,248	1,770	1,442	1,193	1,000	159,444	129,902	107,454	90,057	0,653	179,754	✓	✓	✓	✓

TBDY'ye göre hesaplanan veriler eşliğinde ondokuzuncu kuyu ve çevresinde sıvılaşmanın görülebileceği belirlenmiştir. Ondokuzuncu sondaj kuyusundan elde edilen veriler neticesinde LiqIT programında sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 55. SK 19'un LiqIT programında SPT-N, CSR, CRR ve Güvenlik Katsayıları

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır.



Şekil 56. SK 19'un LiqIT programındaki sıvılaşma analizi

Tablo 102. SK 19'un LiqIT programındaki CSR katsayıları

Noktalar	Derinlik (m)	σ_{vo} (kPa)	u (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{M=7.5}$	K_σ	CSR*
1	1.50	27.63	0.00	27.63	0.99	0.38	1.00	0.38	1.00	0.38
2	3.00	55.26	0.00	55.26	0.98	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
3	4.50	82.89	0.00	82.89	0.97	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
4	6.00	110.52	0.00	110.52	0.95	0.37	1.00	0.37	1.00	0.37
5	7.50	138.42	0.00	138.42	0.94	0.36	1.00	0.36	0.99	0.37
6	9.00	166.32	0.00	166.32	0.93	0.36	1.00	0.36	0.98	0.36
7	10.50	194.22	0.00	194.22	0.89	0.34	1.00	0.34	0.98	0.35
8	12.00	222.12	0.00	222.12	0.85	0.33	1.00	0.33	0.98	0.33
9	13.50	250.02	0.00	250.02	0.81	0.31	1.00	0.31	0.98	0.32
10	15.00	277.92	0.00	277.92	0.77	0.30	1.00	0.30	0.98	0.30
11	16.50	305.82	0.00	305.82	0.73	0.28	1.00	0.28	0.97	0.29
12	18.00	333.72	0.00	333.72	0.69	0.27	1.00	0.27	0.97	0.27
13	19.50	361.62	0.00	361.62	0.65	0.25	1.00	0.25	0.97	0.26

Tablo 102'de CSR* değeri belirlenmiştir. Düzeltilmiş SPT-N değerleriyle birlikte çevrimsel kayma mukavemeti ($CRR_{7.5}$) 7.5 deprem magnitudüne göre hesaplanmıştır. Tablo 103'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 103. SK 19'un LiqIT programındaki CRR katsayıları

Noktalar	N'	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	(N ₁) ₆₀	DeltaN	(N ₁) _{60f}	(CRR) _{M=7.5}
1	25.00	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	25.50	10.10	36.00	2.00
2	25.00	1.35	0.75	1.00	0.85	1.00	21.44	9.29	31.00	2.00
3	31.00	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	24.26	9.85	35.00	2.00
4	32.00	0.95	0.75	1.00	0.95	1.00	21.69	9.34	32.00	2.00
5	32.00	0.85	0.75	1.00	0.95	1.00	19.38	8.88	29.00	0.38
6	30.00	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	17.45	8.49	26.00	0.30
7	27.00	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	14.53	7.91	23.00	0.25
8	30.00	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	15.10	8.02	24.00	0.27
9	34.00	0.63	0.75	1.00	1.00	1.00	16.13	8.23	25.00	0.29
10	34.50	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00	15.52	8.10	24.00	0.27
11	35.00	0.57	0.75	1.00	1.00	1.00	15.01	8.00	24.00	0.27
12	38.00	0.55	0.75	1.00	1.00	1.00	15.60	8.12	24.00	0.27
13	41.00	0.53	0.75	1.00	1.00	1.00	16.17	8.23	25.00	0.29

Hesaplanan CSR* ve CRR_{7.5} değerleri Iwasaki sıvılaşma metodunda kullanılarak kuyu ve çevresinin sıvılaşma potansiyel indeksi Tablo 104'te belirlenmiştir.

Tablo 104. SK 19'un Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli

Iwasaki'ye Göre Sıvılaşma Potansiyeli			
Noktalar	F(z)	w(z)	LPI
1	0.00	9.25	0.00
2	0.00	8.50	0.00
3	0.00	7.75	0.00
4	0.00	7.00	0.00
5	0.00	6.25	0.00
6	0.00	5.50	0.00
7	0.12	4.75	0.87
8	0.03	4.00	0.19
9	0.00	3.25	0.00
10	0.00	2.50	0.00
11	0.00	1.75	0.00
12	0.00	1.00	0.00
13	0.00	0.25	0.00

Tablo 104'e göre genel toplam sıvılaşma potansiyel indeksi 1,06'dır. Buna bağlı olarak LiqIT programında yapılan analiz sonucunda SK 19 kuyusu ve çevresinde sıvılaşmanın olmayacağı görülmüştür.

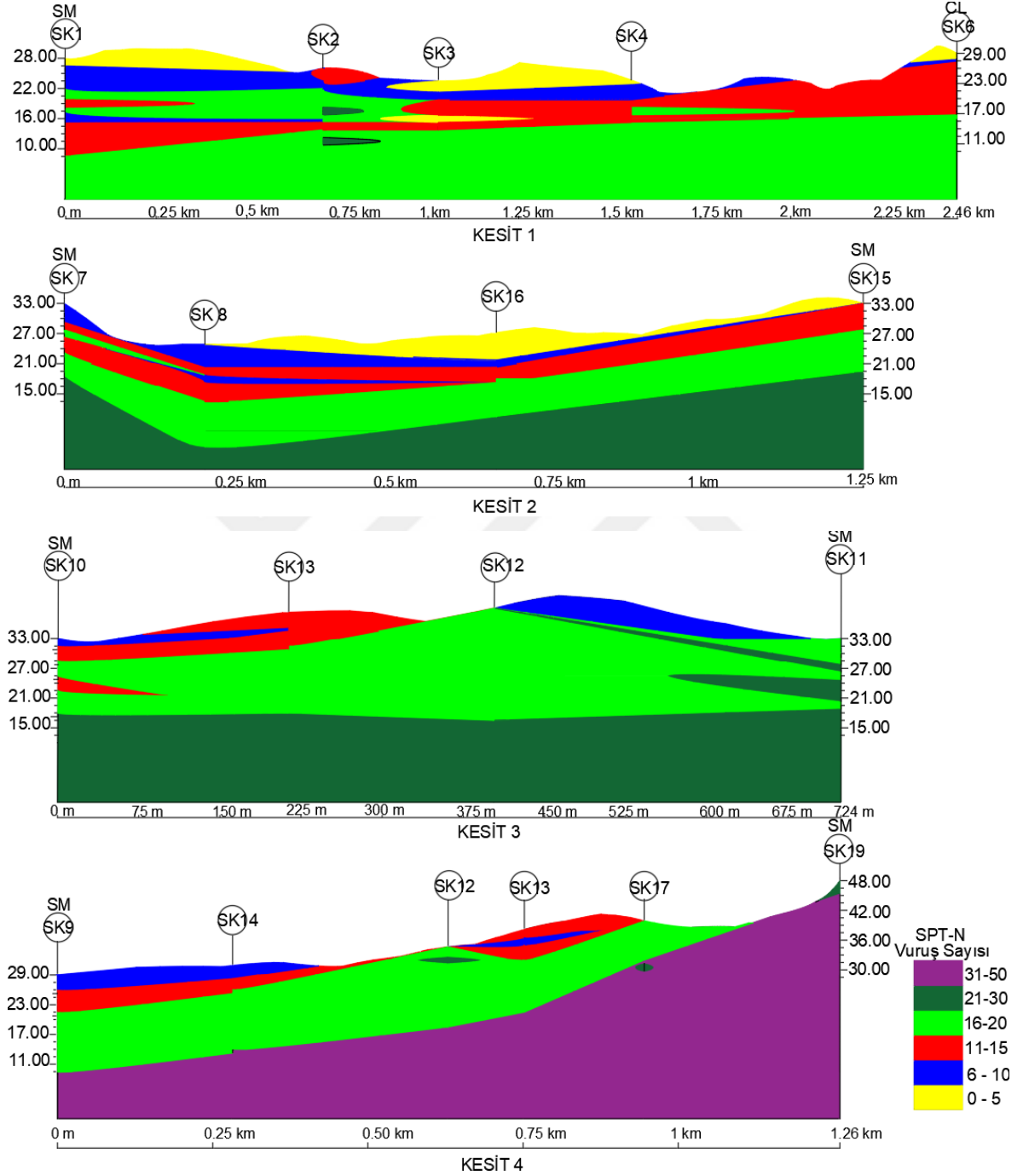
Yapılan sondajlardan elde edilen SPT değerleri arazideki belli noktalardan kesit alınarak gösterilmiştir. Ele alınan kesitler Şekil 57'de gösterilmektedir.



Şekil 57. SPT değerleri için sondaj noktalarından alınan kesitler

Deprem riskini azaltmak için yapılan bu çalışmalar sonucunda hazırlanmış olan sıvılaşma tehlike haritaları kullanımı giderek artmıştır. Yerel yönetimler ve afetler ile mücadele eden kurumların sismik güvenlik planlarına dahil olmaktadır. Özellikle

mühendislik yapılarının tasarımında yapı yapılacak alana özgü geoteknik özelliklerin belirlenmesi, zemin iyileştirme yöntemlerinden uygun olanı belirlenmesini sağlamalıdır.

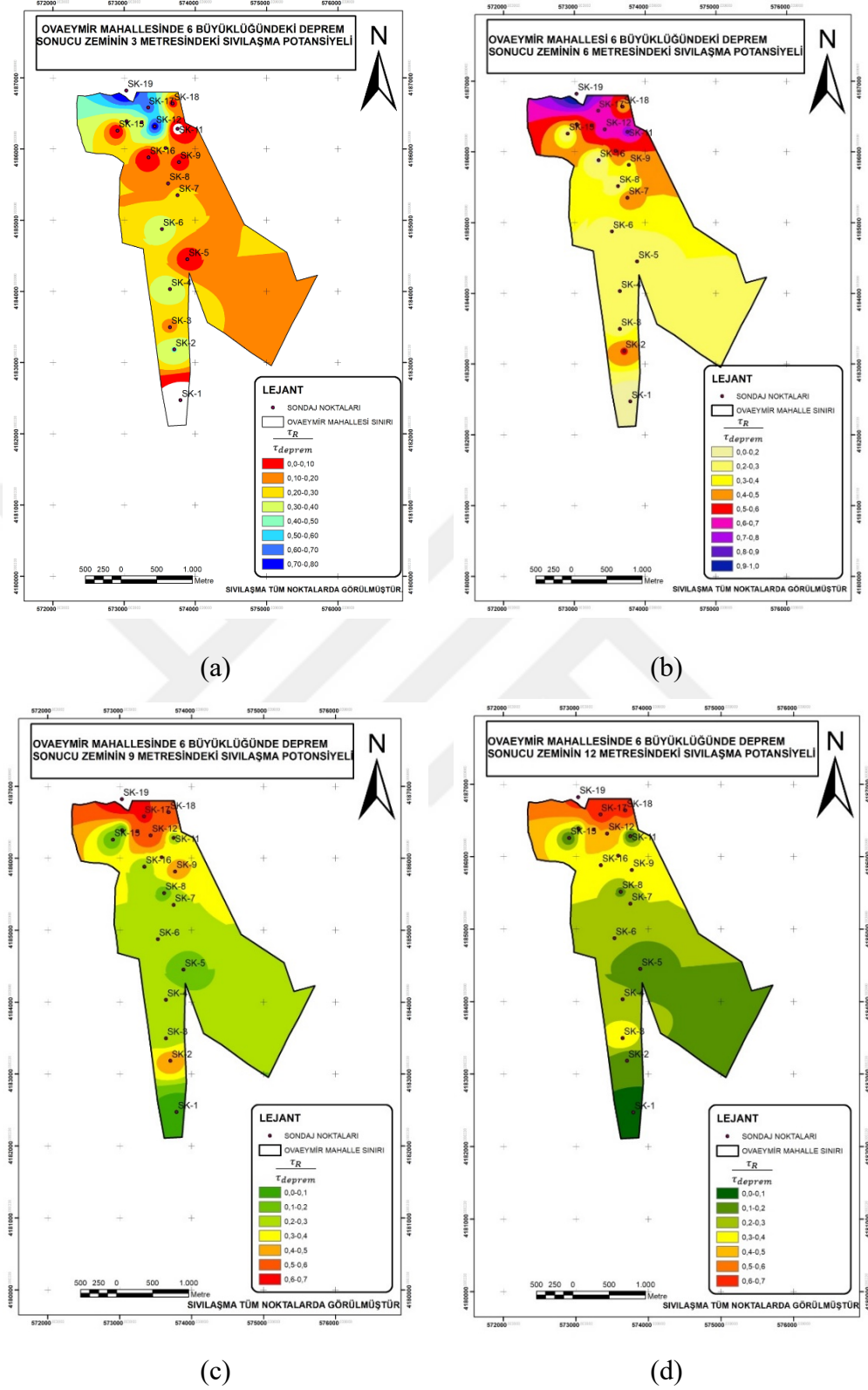


Şekil 58. Farklı kesitlerden alınan SPT-N değerleri

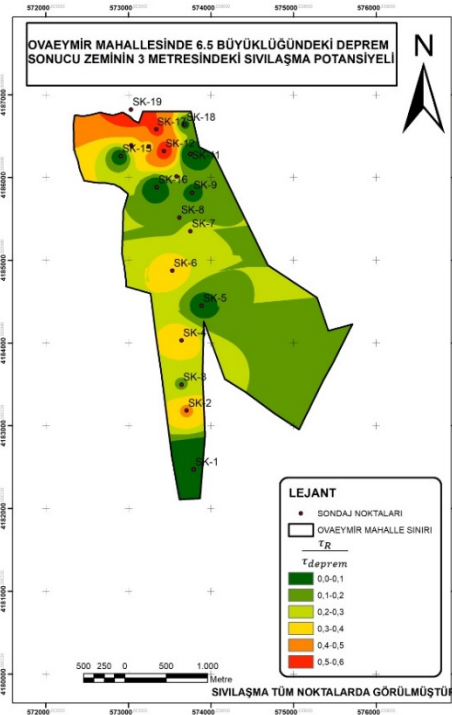
Ovaeymir mahallesinde belirlenen 19 nokta için TBDY'ye ve İwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyeli ARCGİS coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı kullanılarak harita üzerinde koordinatlı olarak işlenmiştir. Bu değerler kullanılarak Inverse Distance

Weighting- IDW (Ters Mesafe Metodu) yöntemi ile enterpolasyon yapılmıştır. Elde edilen sınıflama potansiyelleri her kuyunun 3, 6, 9 ve 12 m'sinde 6.0, 6.5, 7.0 ve 7.5 deprem büyüklükleri için yapılmıştır.

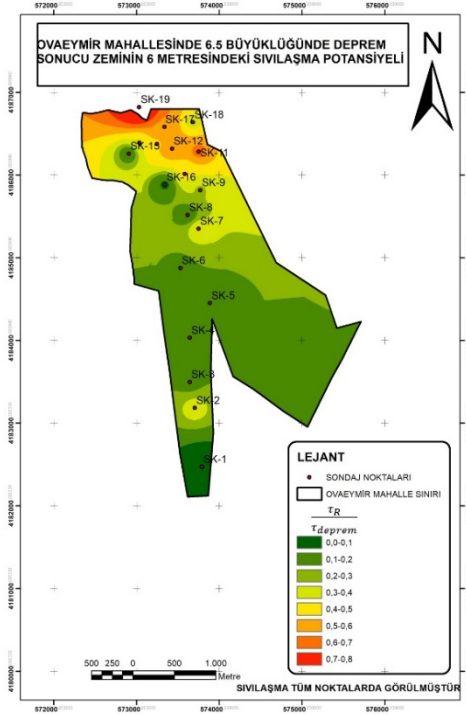




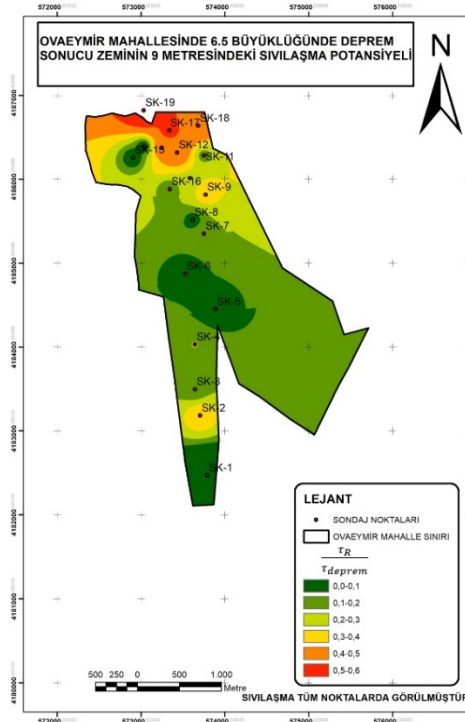
Şekil 59. 6 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli



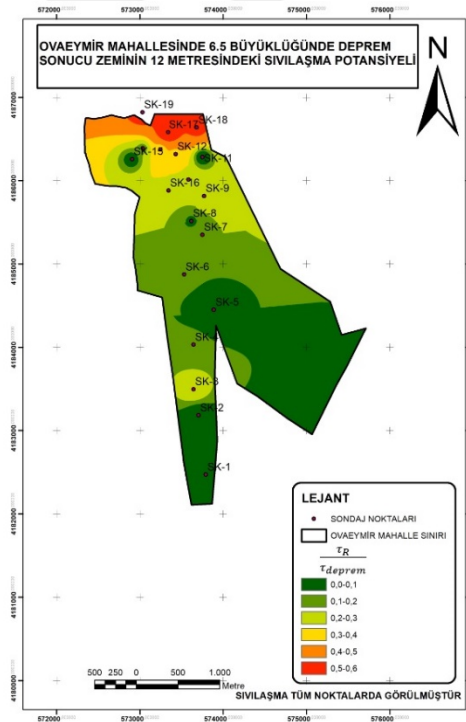
(a)



(b)

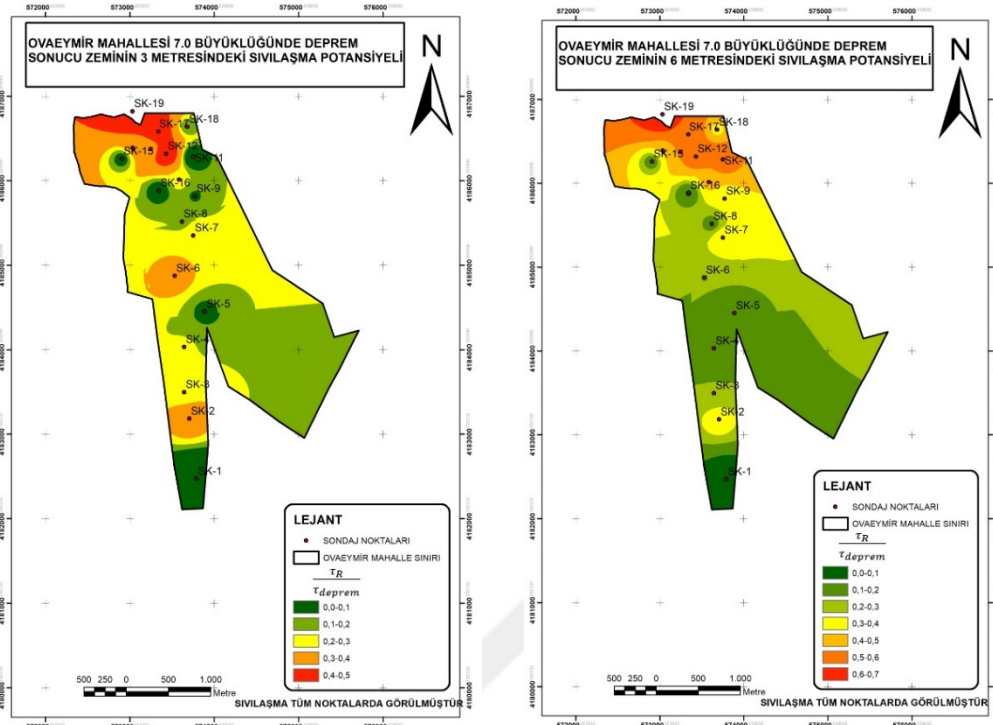


(c)



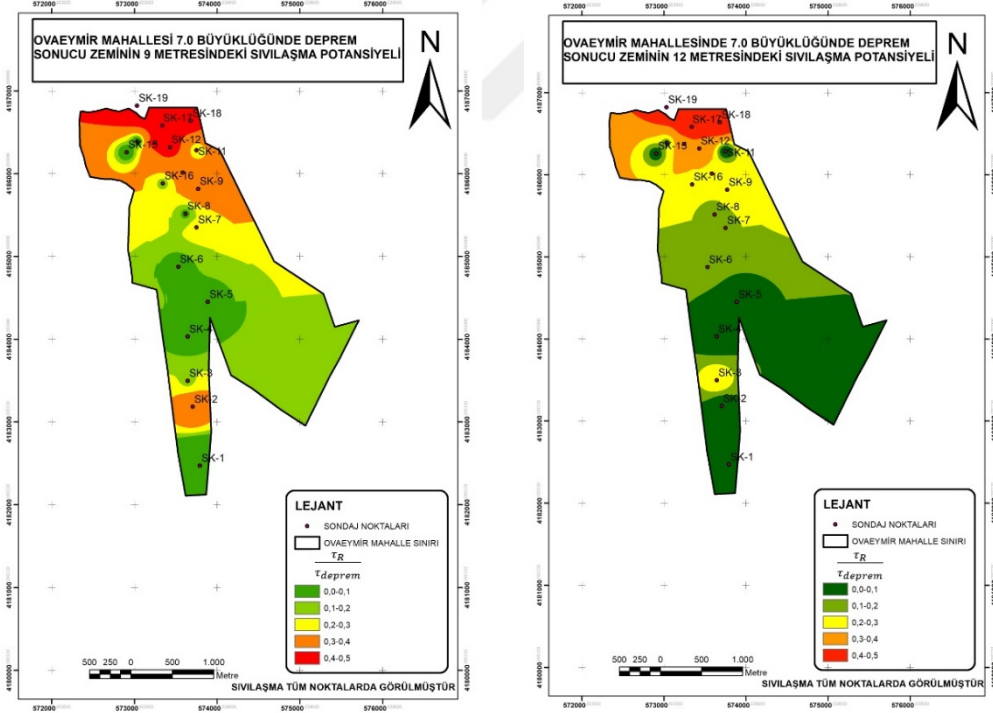
(d)

Şekil 60. 6.5 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli



(a)

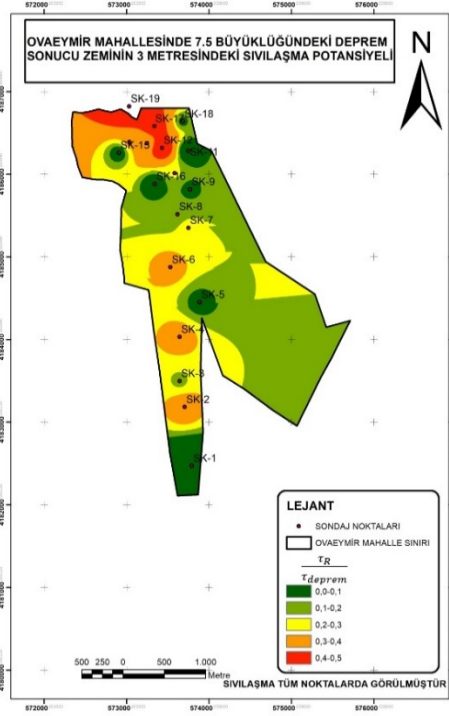
(b)



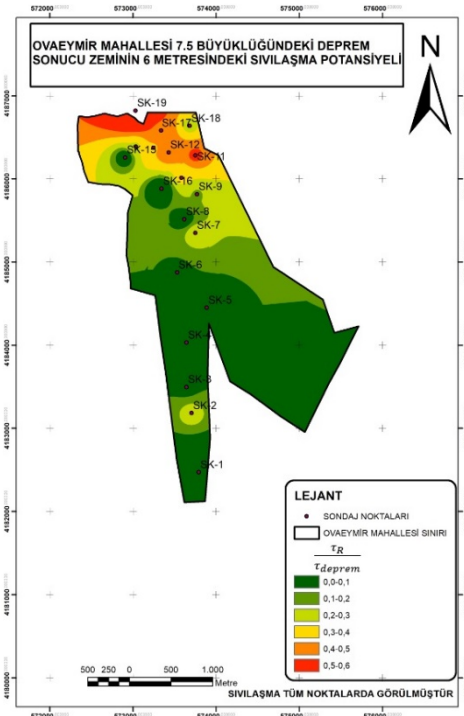
(c)

(d)

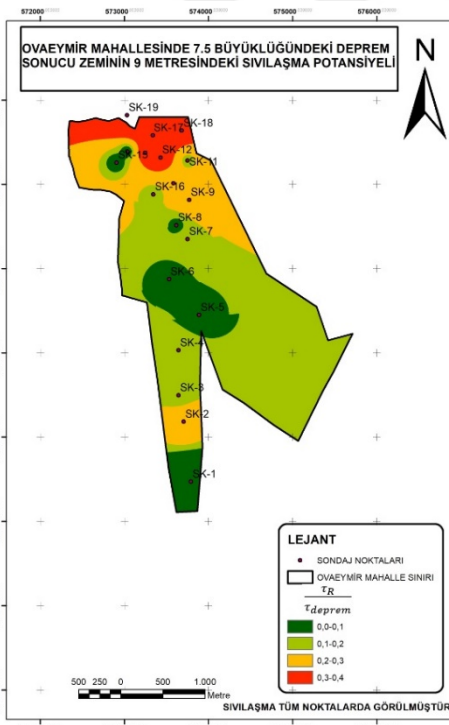
Şekil 61. 7 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli



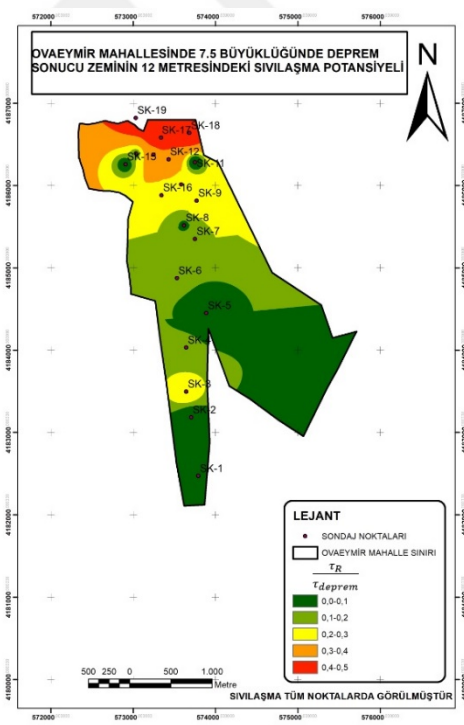
(a)



(b)

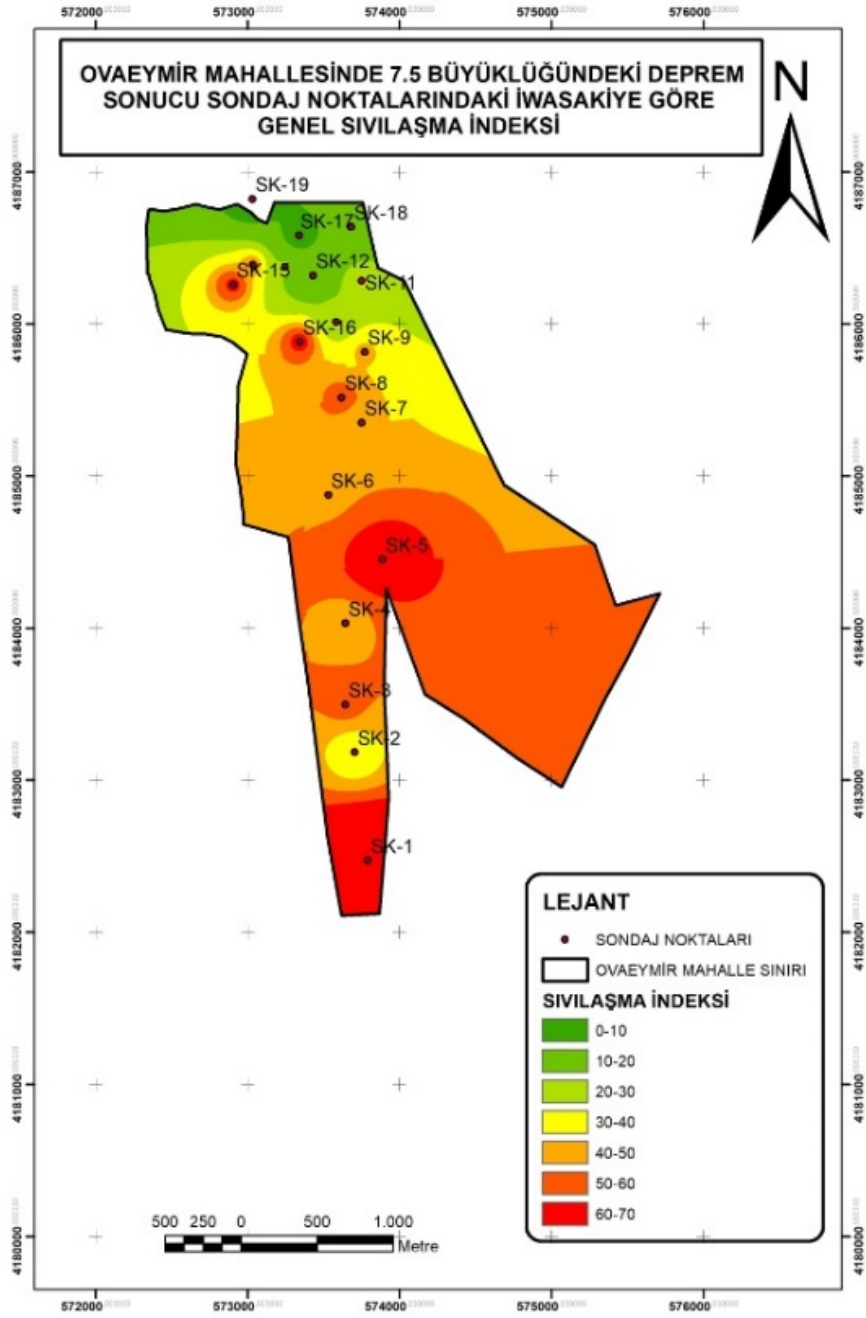


(c)



(d)

Şekil 62. 7.5 Büyüklüğünde Deprem(a) Zeminin 3 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli; (b) Zeminin 6 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(c) Zeminin 9 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli;(d) Zeminin 12 Metredeki Sıvılaşma Potansiyeli



Şekil 63. Iwasaki'ye göre genel sıvılaşma indeksi

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Aydın İli Ovaeymir Mahallesi zemininin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanı 1.5 m ile 20 m arasında değişen 19 sondaj çalışması ile Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Bu deneyden elde edilen veriler neticesinde farklı deprem büyüklükleri için (M=6.0, M=6.5, M=7.0, M=7.5) TBDY 2018 ve LiqIT programında Seed ve Idriss (1981) ve Iwasaki vd. (1981) yöntemlerine göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre programda sıvılaşma analizi şekillerle belirtilmiştir. ArcGIS programı kullanılarak farklı deprem büyüklükleri için sıvılaşma potansiyeli haritaları çizilmiştir. Bazı sonuçlar ortaya çıkmıştır.

M=6.0, M=6.5, M=7.0 ve M=7.5 deprem büyüklükleri için τ_R hesaplanan sıvılaşma direnci ve τ_{deprem} depremde oluşan kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bunun sonucunda sıvılaşmanın her deprem büyüklüğünde oluşabileceği görülmüştür.

LiqIT programında sıvılaşma analiz metodu NCEER 1998, düzeltme metodu ise Idriss & Seed'e göre yapılmıştır. CSR* devrimsel gerilme oranı ve çevrimsel kayma mukavemeti (CRR_{7.5}) değerleri programda hesaplanıp sıvılaşmaya yardımcı parametreler belirlenmiştir. Bunun sonucunda Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyel indeksi I_L belirlenmiş olup, sıvılaşma potansiyeli de belirtilmiştir.

Aydın İli Efeler İlçesi Ovaeymir Mahallesinde deney ve analizler sonucunda bölgede yüksek oranda sıvılaşmanın olabileceği görülmüştür. Buna bağlı olarak yeni yapılaşma olan bu bölgede zeminin sıvılaşma özelliği göz önünde tutulmalıdır.

Her iki yöntemle göre belirlenen sonuçlar ve hazırlanan haritalardan da görüldüğü gibi Aydın İli Ovaeymir Mahallesindeki zeminlerin geneli sıvılaşma tehdidi altındadır. Bunun sebebi, yer altı suyu ve kumlu-siltli zeminlerin varlığı, özellikle de bölgenin sismik özellikleridir.

4. KAYNAKLAR

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, ř., Sevin, M., şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğeri, 2011. Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye.
- Akkaş, Ü., 2006. Sıvılaşma Potansiyeli ve Etkilerinin Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Aksoy, G., 2011. Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aksu, O. ve Toz, G., 2002. Zemin Sıvılaşmasına Yönelik Fotogrametrik Uygulamalar, İTÜ Dergisi, 1, 2, 7-13.
- Atak, V.O., Aksu, O., Bircan, Ö., Aydan, Ö., Koca, H. ve Karakaya, M., 2005. Zemin Sıvılaşması ve Faylanmaya Bağlı Yer Değışimlerinin Hava Fotoğrafları Yardımıyla Tespiti, Harita Dergisi, 134, 44-60.
- Canbey, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H. ve Wasti, S.T., 2008. Binalar için Deprem Mühendisliğı Temel İlkeler, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Casagrande, A., 1936. Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Earth Fills, Journal of Boston Society of Civil Engineers, Reprinted in Contributions the Soil Mechanics, Journal of Boston Society of Civil Engineers, 1925-1960.
- Casagrande, A., 1938. Notes on Soil Mechanics - First Semester, Harvard University (unpublished), 129 p.
- Çavuş U. ř., 2004. Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık Modellemesi (Fuzzy Logic Modelling) ile Değeriendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çelik, S. B., 2003. Denizli İl Merkezi Zeminlerinin Jeolojik, Jeoteknik Açından İncelenmesi ve Sıvılaşma Duyarlılığının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Dere, A., 2009. Yapay Sınır Ağları Yöntemi ile Sıvılaşma Analizi ve Adapazarı için Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Dixit, J., Dewaikar, D.M. and Jangid, R.S., 2012. Assessment of Liquefaction Potential Index for Mumbai City, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2759-2768.


- Duman S. E., 2013. Erzincan İl Merkezi ve Çevresindeki Zeminlerin Standart Penetrasyon Deneyi Verileri Kullanılarak Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Duman S.E., İkizler S.B., Angın Z. and Demir G., 2014. Assessment of Liquefaction Potential of the Erzincan, Eastern Turkey, *Geomechanics and Engineering*, 7, 589612.
- Duman S.E. and İkizler S.B., 2014. Assessment of Liquefaction Potential of Erzincan Province and Its Vicinity, Turkey, *Natural Hazards*, 73, 1863-1887.
- Duman S.E., İkizler S.B., Angın Z., 2015. Evaluation of Soil Liquefaction Potential Index Based on SPT Data in the Erzincan, Eastern Turkey, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 5269-5283.
- Erken, A., Yıldırım, H., Savar, T., Kılıç, C. ve Ansal, A., 1985. Erzincan Ekşisu'da Siltli Zeminlerin Dinamik Davranışı, *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 85-89.
- Erken, A., Özay, R., Kaya, Z., Ülker, M.C. ve Elibol, B., 2003. Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431.
- Güngör, L., 2007. İzmir-Mavişehir Kuzey Üst Bölgesi Kapsamındaki Sıvılaşma Riskinin Teorik ve Uygulamalı Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Iwasaki, T., Tokida, K. and Tatsuoka, F., 1981. Soil Liquefaction Potential Evaluation with Use of The Simplified Procedure, *International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, St. Louis, 209-214.
- Karanlık, S., 2006. Hatay Altinköy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kayen, R. E., Mitchell, J.K., Seed, R. B., Lodge, A., Nishio, S. and Coutinho, R., 1992. Evaluation of SPT, CPT and Shear Wave-Based Methods for Liquefaction Potential Assessment Using Loma Prieta Data, *Proceedings, 4th US-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction*, 1, 177-204.
- Kılıç, R., 2009. Zemin ve Kaya Mekaniği Uygulama Notları.
- Koç, G., 2007. Gölcük ve Çevresinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kovacs, W. D. and Salomone., L.A., 1982. SPT Hammer Energy Measurement, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 108, 599-620.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- Kutunis. M, 2005. Lecturer Notes.

- Mollamahmutoğlu, M. ve Babuçu, F., 2006. Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Onur, M. İ., 2007. Dinamik Etkiler Altında Zemin Deformasyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Orhan, M. ve Ateş, A., 2011, Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları: Manisa (Saruhanlı) Örneği, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7, 1, 52-70.
- Orhan, M. ve Ateş, A., 2011. Koni Penetrasyon Testi (CPT) Verileri ile Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Manisa-Saruhanlı Örneği ile Araştırılması, Politeknik Dergisi, 14, 1, 15-23.
- Orhan, M., ve Ulusu, H., 2001. Erzincan Şehir Merkezi Kuzey-Batı Bölümü Zeminlerinin Bazı Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Niğe Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 1, 21-34.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ő. Ve Şaroğlu, F. 2013, 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-, Ankara, Türkiye.
- Rahn, P. H., 2006. Mühendislik Jeolojisi (Çevresel Bir Yaklaşım), Akyol, E. ve Kayabalı, K., Gazi Kitabevi, Ankara.
- Robertson, P, K, and Fear, C. E.,1995. Liquefaction of Sands and Its Evaluation proceedings, 1st Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.
- Robertson, P. K. and Wride, C. E., 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test, Canadian Geotechnical Journal, 35, 3, 442-459.
- Sağlam, M., 2008. Saruhanlı (Manisa) Belediyesi İmar Planına Esas Alanların Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Seed, H. B., 1966. A Method for Earthquake Resistant Design of Earth Dams, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 92, 13-41.
- Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, 97, 9, 1249-1273.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M., 1982. Ground Motions And Soil Liquefaction During Earthquakes, EERI Monograph, Berkeley, Calif.
- Seed H.B., Idriss I.M. and Arango I., 1983. Evaluation of Liquefaction Potential Using Filed Performance Data, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 109, 3, 458-482.

- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Chung, R., 1985. Influence Of Spt Procedures In Soil Liquefaction Resistance Evaluations, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111, 12, 1425-1445
- Seed, H. B. and De Alba, P. 1986. Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Soils, Proceedings, Insitu, ASCE.
- Seed, R. B., et al. 2003. Recent advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework, EERC, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, Calif.
- Sen, G. ve Akyol, E., 2010. Genetic Algorithm Approach for Liquefaction Potential Assessment of Sandy Soils, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 4, 685-698.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E., 2009. Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E., 2003. İnce Daneli Zeminlerde SPT Sonuçlarının Düzeltilmesi Üzerine Bir Çalışma, İTÜ Dergisi, 2, 6, 59-67.
- Sönmez, B., 2006. Kocaeli Körfezi Güney Kıyısında Sıvılaşma Potansiyelinin ve Kapak Zemini Kalınlığını Yüzey Deformasyonlarına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şaylan, F. S., 2006. Erzincan Ovasının Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şişman, E., 2006. Fethiye Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Kayma Dalga Hızı Verileri ile Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Suzuki, Y., Koyamada, K. and Tokimatsu, K., 1997. Prediction of Liquefaction Resistance Based on CPT Tip Resistance and Sleeve Friction, Proceedings XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Germany, 603-606.
- Taylan, Z.N., Uysal H., Lav, M.A. ve Erken, A., 2007. Sıvılaşma ve Taşıma Gücü Kaybı Sonucu Oluşan Oturmaları Kapsayan Vaka Analizi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 471-482.
- Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y., 1983. Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content, Soil and Foundations, 23, 4, 56-74.
- Tonaroğlu, M., 2006. Sıvılaşmanın Nümerik Yöntemlerle Modellenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Toprak, S. ve Jinguuji, M., 2007. Sıvılaşma Tahmini İçin Yeni Bir Test: Vibrasyon Penetrasyon Testi (VPT), Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 483-494.

- Tosun, H., Seyrek E., Orhan A., Savaş, H. and Türköz, M., 2011. Soil Liquefaction Potential in Eskişehir, NW Turkey, Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,11, 1071-1082.
- Ulaş, K., 2007. Ankara Kenti Batısındaki Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri ve Alüvyonun Sıvılaşma Potansiyeli, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- URL-1, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx>, 18/03/2018.
- Uyanık, O., 2002. Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Uyar, O., 2006. Kayma Dalga Hızı ve Basitleştirilmiş Prosedüre Bağlı Karşılaştırılmalı Olarak Sıvılaşma Direnç Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uzuner, B.A., 2007. Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Uzuner, B.A., 2007. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Yalçın, A., Gökçeoğlu, C. and Sönmez, H., 2008. Liquefaction Severity Map for Aksaray City Center (Central Anatolia, Turkey), Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 641-649.
- Yeats, R.S., Allen, C.R. ve Sich, K., 2006. Deprem Jeolojisi, Demirtaş, R. ve Kayabalı, K., 567, Gazi Kitabevi, Ankara.

Ek Şekil 2. Sondaj kuyusu 1'in zeminine ait sondaj logu

 YÖNTEM JEOTEKNİK SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Sayfa No / Page No : 1				Sondaj No / Boring : SK - 1											
				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN															
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu															
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No		*		Ada / Parsel No		*							
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)				20,00 M				Başlama Tarihi / Start Date				5.04.2011							
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)				2,50m.				Bitiş Tarihi / Start Date				5.04.2011							
Sondaj Metodu / Systems				Rotary / 76 mm				Koordinat / Coordinate (Y)				35S 573797D							
Sondör / Driller				Nurettin YALDIZ				Koordinat / Coordinate (X)				4182465K							
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)									
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50					
0				Kahverengi Bitkisel Toprak															
1,5	1.50 - 1.95	1	SPT	Y.A.S.S. 2.50 m.	2	2	3	5											
3,0	3.00 - 3.45	2	SPT		4	3	4	7											
4,5	4.50-4.95	3	SPT	İnce malzemeli gri renkli siltli kumlar SM - alüvyon	3	4	5	9											
6,0	6.00-6.45	4	SPT		4	5	5	10											
7,5	7.50-7.95	5	SPT		7	9	10	19											
9,0	9.00-9.45	6	SPT	Kahverengi kil bandı (CL- Alüvyon)	6	6	7	13											
10,5	10.50-10.95	7	SPT		3	8	8	16											
12,0	12.00-12.45	8	SPT	İnce malzemeli gri renkli siltli kumlar SM - alüvyon	4	4	6	10											
13,5	13.50 - 13.95		SPT		*	*	*	*											
15,0	15.00 - 15.45	9	SPT		6	6	7	13											
16,50	16.50 - 16.95		SPT		*	*	*	*											
18,0	18.00 - 18.45	10	SPT		7	7	7	14											
19,5	19.50 - 19.95	11	SPT		*	*	*	*											
				KUYU TABANI 20.00 METRE															

Ek Şekil 3. Sondaj kuyusu 2'in zeminine ait sondaj logu

YÖNTEM JEOTEKNİK SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Sayfa No / Page No : 1 Sondaj No / Boring : SK - 2				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN											
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu															
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No		*		Ada / Parsel No		*							
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)				20,00 M				Başlama Tarihi / Start Date				6.04.2011							
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)				2,50m.				Bitiş Tarihi / Start Date				6.04.2011							
Sondaj Metodu / Systems				Rotary / 76 mm				Koordinat / Coordinate (Y)				35S 573710D							
Sondör / Driller				Nurettin YALDIZ				Koordinat / Coordinate (X)				41833177K							
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)									
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50					
0				Kahverengi Bitkisel Toprak															
1,5	1.50 - 2.00	1	UD	Y.A.S.S. 2.50 m.	UD	UD	UD	UD											
3,0	3.00 - 3.45	2	SPT	İnorganik Killer, plastik özellikli, açık kahverenkli silt bantlı killer (CL - Alüvyon)	4	6	7	13											
4,5	4.50-4.95	3	SPT		3	5	5	10											
6,0	6.00-6.45	4	SPT		4	9	9	18											
7,5	7.50-7.95	5	SPT		5	6	10	16											
9,0	9.00-9.45	6	SPT		12	10	16	26											
10,5	10.50-10.95			İnce malzemeli gri renkli siltli kumlar SM - alüvyon	*	*	*	*											
12,0	12.00-12.45	7	SPT		5	5	7	12											
13,5	13.50 - 13.95		SPT		*	*	*	*											
15,0	15.00 - 15.45	8	SPT		8	11	15	26											
16,50	16.50 - 16.95		SPT		*	*	*	*											
18,0	18.00 - 18.45	9	SPT		6	7	11	18											
19,5	19.50 - 19.95	10	SPT		7	9	12	21											
				KUYU TABANI 20.00 METRE															

Ek Şekil 6. Sondaj kuyusu 5'in zeminine ait sondaj logu

YÖNTEM JEOTEKNİK SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Sayfa No / Page No : 1 Sondaj No / Boring : SK - 5				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN												
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu																
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No		*		Ada / Parsel No		*								
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)				20,00 M				Başlama Tarihi / Start Date				9.04.2011								
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)				4,50m.				Bitiş Tarihi / Start Date				9.04.2011								
Sondaj Metodu / Systems				Rotary / 76 mm				Koordinat / Coordinate (Y)				35S 573894D								
Sondör / Driller				Nur ettin YALDIZ				Koordinat / Coordinate (X)				4184444K								
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)										
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50						
0																				
				Dolgu																
1,5	1,50 - 1,95	1	SPT		2	2	2	4												
3,0	3,00 - 3,45	2	SPT	İnorganik Killer, plastik özellikli, açık kahverenkli silt bantlı killer (CL - Alüvyon)	3	5	5	10												
4,5	4,50-4,95	3	SPT	Y.A.S.S. 4,50 m.	4	6	6	12												
6,0	6,00-6,45	4	SPT		5	6	7	13												
7,5	7,50-7,95	5	SPT	İnce malzemeli ,çok az çakıl içeren gri renkli, siltli kumlar SM - alüvyon	4	8	6	14												
9,0	9,00-9,45	6	SPT		5	5	6	11												
10,5	10,50-10,95	7	SPT		8	8	11	19												
12,0	12,00-12,45	8	SPT		7	7	11	18												
13,5	13,50 - 13,95		SPT		*	*	*	*												
15,0	15,00 - 15,45	9	SPT	İnce malzemeli gri renkli siltli kumlar SM - alüvyon	8	10	11	21												
16,50	16,50 - 16,95		SPT		*	*	*	*												
18,0	18,00 - 18,45		SPT		*	*	*	*												
19,5	19,50 - 19,95	10	SPT		9	12	14	26												
				KUYU TABANI 20,00 METRE																

Ek Şekil 7. Sondaj kuyusu 6'nın zeminine ait sondaj logu

YÖNTEM JEOTEKNİK SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Sayfa No / Page No : 1 Sondaj No / Boring : SK - 6				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN											
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu															
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No		*		Ada / Parsel No		*							
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)				20,00 M				Başlama Tarihi / Start Date				11.04.2011							
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)				3,00m.				Bitiş Tarihi / Start Date				11.04.2011							
Sondaj Metodu / Systems				Rotary / 76 mm				Koordinat / Coordinate (Y)				35S 573537D							
Sondör / Driller				Nur ettin YALDIZ				Koordinat / Coordinate (X)				4184869K							
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)									
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50					
0				Kahverengi Bitkisel Toprak															
1,5	1.50 - 1.95	1	SPT		3	3	4	7											
3,0	3.00 - 3.45	2	SPT	Y.A.S.S. 3.00 m.	3	5	6	11											
4,5	4.50-4.95	3	SPT	İnorganik Killer, plastik özellikli, açık kahverenkli silt bantlı killer (CL - Alüvyon)	4	4	6	10											
6,0	6.00-6.50	1	UD		UD	UD	UD	UD											
7,5	7.50-7.95	4	SPT		3	6	8	14											
9,0	9.00-9.45	5	SPT	İnorganik killer, kahve renkli killer (CL - Alüvyon)	4	6	6	12											
10,5	10.50-10.95		SPT		*	*	*	*											
12,0	12.00-12.45	6	SPT		5	6	9	15											
13,5	13.50 - 13.95		SPT		*	*	*	*											
15,0	15.00 - 15.45	7	SPT		4	8	11	19											
16,50	16.50 - 16.95		SPT		*	*	*	*											
18,0	18.00 - 18.45	8	SPT		6	10	12	22											
19,5	19.50 - 19.95	9	SPT		*	*	*	*											
				KUYU TABANI 20,00 METRE															

Ek Şekil 8. Sondaj kuyusu 7'nin zeminine ait sondaj logu

YÖNTEM JEOTEKNİK				Sayfa No / Page No : 1															
SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK				Sondaj No / Boring : SK - 7															
İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN															
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu															
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No		*											
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)		20,00 M		Başlama Tarihi / Start Date		12.04.2011													
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)		3,00m.		Bitiş Tarihi / Start Date		12.04.2011													
Sondaj Metodu / Systems		Rotary / 76 mm		Koordinat / Coordinate (Y)		35S 573796D													
Sondör / Driller		Nur ettin YALDIZ		Koordinat / Coordinate (X)		4185345K													
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)									
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50					
0																			
1,5	1,50 - 1,95	1	SPT	Kahverengi Bitkisel Toprak	3	3	4	7											
3,0	3,00 - 3,45	2	SPT	Y.A.S.S. 3,00 m.	2	4	5	9											
4,5	4,50-4,95	3	SPT	İnce malzemeli gri renkli siltli kumlar SM - alüvyon	4	5	6	11											
6,0	6,00-6,50	4	SPT		4	8	10	18											
7,5	7,50-7,95	5	SPT		6	6	7	13											
9,0	9,00-9,45	6	SPT		5	7	8	15											
10,5	10,50-10,95	7	SPT	İnorganik Killer, plastik özellikli, haki renkli killer (CL - Alüvyon)	4	8	8	16											
12,0	12,00-12,45	8	SPT		6	8	9	17											
13,5	13,50 - 13,95	9	SPT		7	9	11	20											
15,0	15,00 - 15,45	10	SPT		10	18	19	37											
16,50	16,50 - 16,95		SPT		*	*	*	*											
18,0	18,00 - 18,45		SPT		*	*	*	*											
19,5	19,50 - 19,95	11	SPT		5	16	17	33											
				KUYU TABANI 20,00 METRE															

Ek Şekil 9. Sondaj kuyusu 8'in zeminine ait sondaj logu

YÖNTEM JEOTEKNİK SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Sayfa No / Page No : 1 Sondaj No / Boring : SK - 8				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN											
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu															
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No		*		Ada / Parsel No		*							
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)				20,00 M				Başlama Tarihi / Start Date				13.04.2011							
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)				2,00m.				Bitiş Tarihi / Start Date				13.04.2011							
Sondaj Metodu / Systems				Rotary / 76 mm				Koordinat / Coordinate (Y)				35S 573624D							
Sondör / Driller				Nur ettin YALDIZ				Koordinat / Coordinate (X)				4185510K							
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)									
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50					
0				Kahverengi Bitkisel Toprak															
1,5	1,50 - 1,95			Y.A.S.S. 2,00 m.	*	*	*	*											
3,0	3,00 - 3,45	1	SPT		2	4	6	10											
4,5	4,50-4,95	2	SPT		3	4	5	9											
6,0	6,00-6,50	3	SPT	İnce malzemeli gri renkli siltli kumlar SM - alüvyon	4	6	6	12											
7,5	7,50-7,95	4	SPT		3	5	5	10											
9,0	9,00-9,45	5	SPT		5	6	8	14											
10,5	10,50-10,95	6	SPT	İnorganik Killer, düşük plastik özellikli, kahvemsi - yeşilimsi renkli killer (CL - Alüvyon)	6	6	9	15											
12,0	12,00-12,45	7	SPT		7	7	8	15											
13,5	13,50 - 13,95		SPT		*	*	*	*											
15,0	15,00 - 15,45	8	SPT		8	8	10	18											
16,50	16,50 - 16,95		SPT		*	*	*	*											
18,0	18,00 - 18,45	9	SPT		10	10	13	23											
19,5	19,50 - 19,95		SPT		*	*	*	*											
				KUYU TABANI 20,00 METRE															

Ek Şekil 19. Sondaj kuyusu 18'in zeminine ait sondaj logu

YÖNTEM JEOTEKNİK				Sayfa No / Page No : 1														
SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK				Sondaj No / Boring : SK - 18														
İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN														
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu														
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No		*										
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)		20,00 M		Başlama Tarihi / Start Date		27.04.2011												
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)		YOK		Bitiş Tarihi / Start Date		27.04.2011												
Sondaj Metodu / Systems		Rotary / 76 mm		Koordinat / Coordinate (Y)		35S 573688D												
Sondör / Driller		Nur ettin YALDIZ		Koordinat / Coordinate (X)		4186632K												
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)								
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50				
0				Bitkisel Toprak														
1,5	1.50 - 1.95	1	SPT		4	4	5	9										
3,0	3.00 - 3.45	2	SPT		5	7	11	18										
4,5	4.50-4.95	3	SPT		10	14	16	30										
6,0	6.00-6.50	4	SPT	Açık kahve, gri renkli çakıllı çakılları yer yer 2-3 cm çaplı sıkı,siltli kumlar (SM - Pliyosen)	9	11	10	21										
7,5	7.50-7.95	5	SPT		8	13	15	28										
9,0	9.00-9.45	6	SPT		7	12	12	24										
10,5	10.50-10.95	7	SPT		8	16	18	34										
12,0	12.00-12.45				*	*	*	*										
13,5	13.50 - 13.95				*	*	*	*										
15,0	15.00 - 15.45	8	SPT		10	19	20	39										
16,50	16.50 - 16.95	9	SPT		12	18	18	36										
18,0	18.00 - 18.45				*	*	*	*										
19,5	19.50 - 19.95	10	SPT		15	10	18	28										
				KUYU TABANI 20,00 METRE														

Ek Şekil 20. Sondaj kuyusu 19'un zeminine ait sondaj logu

YÖNTEM JEOTEKNİK				Sayfa No / Page No : 1														
SONDAJ MÜHENDİSLİK MİMARLIK				Sondaj No / Boring : SK - 19														
İnş. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti				Jeoloji Mühendisi / Geological Engineer : Kıvanç YAŞAN														
PROJE ADI / Project Name				Ovaeymir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu														
İli : AYDIN		Beldesi: Ovaeymir		Mahalle :		Pafta No *												
Sondaj Derinliği / Boring Depth (M)		20,00 M		Başlama Tarihi / Start Date		28.04.2011												
Yeraltı Suyu / Groundwater (M)		YOK		Bitiş Tarihi / Start Date		28.04.2011												
Sondaj Metodu / Systems		Rotary / 76 mm		Koordinat / Coordinate (Y)		35S 573038D												
Sondör / Driller		Nur ettin YALDIZ		Koordinat / Coordinate (X)		4186816K												
Derinlik Boring (Depth M)	Sondaj Kotu (Elevation M)	Numune No (Sample No)	Numune Cinsi (Sample Type)	Zemin Tanımlaması (Soil Description)	Standart Penetrasyon Deneyi (Standard Penetration Test)				Zemin Profili (Profile)	Grafik (Graph)								
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N toplam		10	20	30	40	50				
0																		
1,5	1.50 - 1.95			Gri renkli,ince taneli siltli kumlar (SM - Pliyosen)	*	*	*	*										
3,0	3.00 - 3.45	1	SPT		10	10	15	25										
4,5	4.50-4.95	2	SPT		12	15	16	31										
6,0	6.00-6.50				*	*	*	*										
7,5	7.50-7.95	3	SPT		10	16	16	32										
9,0	9.00-9.45			İnorganik Killer, düşük plastik özellikli, sert, açık kahve renkli killer (CL - Pliyosen)	*	*	*	*										
10,5	10.50-10.95	4	SPT		11	13	14	27										
12,0	12.00-12.45				*	*	*	*										
13,5	13.50 - 13.95	5	SPT		12	16	18	34										
15,0	15.00 - 15.45				*	*	*	*										
16,50	16.50 - 16.95	6	SPT		15	16	19	35										
18,0	18.00 - 18.45				*	*	*	*										
19,5	19.50 - 19.95	7	SPT		29	21	20	41										
				KUYU TABANI 20,00 METRE														

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Aydın İlinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Aydın'da tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu ve aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksekisans öğrenimine başladı. 2014 yılından itibaren Aydın İlinde serbest mühendislik firması bünyesinde proje ve taahhüt hizmeti veren firmanın sahibi olan Osman ÖZPINAR İngilizce bilmektedir.

