

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VİBRO YER DEĞİŞTİRME YÖNTEMİYLE İMAL EDİLEN TAŞ KOLONLAR  
İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gökçe ARAS**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendislik Programı**

**ARALIK 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VİBRO YER DEĞİŞTİRME YÖNTEMİYLE İMAL EDİLEN TAŞ KOLONLAR  
İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gökçe ARAS  
(501131306)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendislik Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Recep İYİSAN**

**ARALIK 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131306 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gökçe ARAS, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “VİBRO YER DEĞİŞTİRME YÖNTEMİYLE İMAL EDİLEN TAŞ KOLONLAR İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Recep İYİSAN**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN**      .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **27 Kasım 2015**

**Savunma Tarihi :**      **25 Aralık 2015**



*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerinden vibro yer değiştirme ile imal edilen taş kolon elemanlarının saha zeminin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Taş kolon imalatı sonrasında gerçekleşen iyileşme miktarlarını elde edebilmek için taş kolon imalatı öncesinde ve taş kolon imalatı sonrasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deneyi sonuçlarından yararlanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde iyileşme oranları, taş kolon elemanlarının yerleşim sıklığına bağlı karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma ve öğrencilik hayatım sırasında bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Recep İyisan'a, çalışmalarına her zaman katkıda bulunan ve daha iyisini yapabilmem için beni destekleyen ELC Group ailesine teşekkürlerimi sunarım. Manevi desteklerini ömrüm boyunca ödeyemeyeceğim anneme, babama ve dostum ablama, neşe kaynağım biricik yeğenim Defne'ye, yaptığı eleştirileri ve destekleriyle bana güç katan Cem Demirkesen'e, yanımda olan tüm arkadaşlarıma sonsuz kez teşekkürlerimi sunuyorum.

Kasım 2015

Gökçe ARAS  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|   |           |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ.....  | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....   | ix        |
| KISALTMALAR .....   | xi        |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | xiii      |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | xv        |
| ÖZET.....   | xvii      |
| SUMMARY .....   | xix       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Amaç .....  | 2         |
| 1.2 Kapsam.....   | 2         |
| <b>2. ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE TAŞ KOLONLAR .....</b>                         | <b>5</b>  |
| 2.1 Taş Kolon Yapım Yöntemleri .....  | 6         |
| 2.1.1 Vibro yer değiştirme yöntemi .....                                      | 6         |
| 2.1.1.1 Islak üstten beslemeli yöntem .....                                   | 7         |
| 2.1.1.2 Kuru alttan beslemeli yöntem .....                                    | 8         |
| 2.1.1.3 Kuru üstten beslemeli yöntem.....                                     | 9         |
| 2.2 Taş Kolonların Özellikleri.....   | 9         |
| 2.2.1 Taş kolon malzemesinin dane çapı dağılımı .....                         | 9         |
| 2.2.2 Taş kolon malzemesinin kayma mukavemeti açısı.....                      | 10        |
| 2.2.3 Taş kolon çapı .....  | 10        |
| 2.3 Taş Kolonların Uygulanabilirliği ve Uygulama Alanları.....                | 11        |
| 2.4 Taş Kolonların Göçme Mekanizması.....                                     | 12        |
| 2.4.1 Tekil taş kolonda göçme mekanizması .....                               | 13        |
| 2.4.2 Taş kolon grubu göçme mekanizması.....                                  | 14        |
| 2.5 Birim Hücre Kavramı.....  | 16        |
| 2.6 Taş Kolonların Elemanlarında Taşıma Gücü .....                            | 19        |
| 2.6.1 Tekil taş kolonun taşıma gücü .....                                     | 19        |
| 2.6.2 Kısa taş kolonların nihai taşıma gücü .....                             | 21        |
| 2.6.3 Taş kolon gruplarının nihai taşıma gücü.....                            | 23        |
| 2.7 Taş Kolon Elemanlarında Oturma Analizi .....                              | 24        |
| 2.8 Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin İyileştirilmesi.....                | 27        |
| 2.9 Kalite Kontrol.....   | 30        |
| 2.10 İmalat Yöntemlerinin Avantaj ve Sınırlamalarının Karşılaştırılması ..... | 31        |
| <b>3. KONİ PENETRASYON DENEYİ (CPT).....</b>                                  | <b>33</b> |
| 3.1 CPT Türleri .....   | 34        |
| 3.1.1 Mekanik CPT .....   | 34        |
| 3.1.2 Elektronik CPT .....  | 34        |
| 3.1.3 Piyezokon (CPTu).....   | 35        |
| 3.1.4 Sismik SCPTu .....  | 36        |
| 3.2 CPT Ekipmanı ve Deneyin Yapılışı .....                                    | 37        |

|   |            |
|---|------------|
| 3.3 CPT ile Ölçülen Parametreler ve Deney Düzeltmeleri.....                   | 38         |
| 3.3.1 CPT ile ölçülen parametreler.....                                       | 39         |
| 3.3.2 CPT düzeltmeleri.....   | 39         |
| 3.3.2.1 Boşluk suyu basıncı düzeltmeleri.....                                 | 39         |
| 3.3.2.2 Filtrenin konumu .....  | 41         |
| 3.3.2.3 Sıcaklık etkisi .....   | 41         |
| 3.3.2.4 Tabakalaşma düzeltmesi.....   | 42         |
| 3.3.2.5 Jeolojik gerilme düzeltmesi.....                                      | 42         |
| 3.4 CPT Sonuçlarının Kullanımı .....  | 43         |
| 3.4.1 CPT ile zemin sınıfının ve birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi..... | 43         |
| 3.4.2 CPT ile zeminlerin relatif sıkılığının belirlenmesi .....               | 44         |
| 3.4.3 CPT ile zeminlerin hassasiyetinin belirlenmesi .....                    | 45         |
| 3.4.4 CPT ile aşırı konsolidasyon oranının belirlenmesi .....                 | 45         |
| 3.4.5 CPT ile drenajsız kayma mukavemetinin belirlenmesi.....                 | 46         |
| 3.4.5.1 CPT ile kayma mukavemeti açısının belirlenmesi .....                  | 47         |
| 3.4.6 CPT ile hacimsel sıkışma katsayısının belirlenmesi .....                | 48         |
| 3.4.7 CPT ile kayma dalga hızı belirlenmesi .....                             | 49         |
| 3.4.8 CPT ile elastisite modülünün belirlenmesi belirlenmesi.....             | 49         |
| 3.4.9 CPT ile taşıma gücü hesaplanması.....                                   | 50         |
| 3.4.10 CPT ile oturma miktarının hesaplanması .....                           | 52         |
| 3.4.11 CPT ile zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi.....     | 54         |
| <b>4. VAKA ANALİZLERİ.....</b>  | <b>57</b>  |
| 4.1 Sahanın Tanıtılması ve İnceleme Alanının Jeolojisi .....                  | 57         |
| 4.2 Geoteknik İncelemeler.....  | 58         |
| 4.2.1 Araştırma sondajları .....  | 58         |
| 4.2.2 Koni penetrasyon deneyleri.....   | 60         |
| 4.2.3 Laboratuvar Deneyleri ve Analizler.....                                 | 62         |
| 4.2.3.1 Zeminlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi .....                 | 63         |
| 4.2.3.2 Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi .....                  | 63         |
| 4.3 Mühendislik Analizleri.....   | 65         |
| 4.3.1 Taşıma gücü analizleri .....  | 65         |
| 4.3.1.1 İyileştirme öncesi taşıma gücü analizleri .....                       | 65         |
| 4.3.1.2 İyileştirme sonrası taşıma gücü analizleri .....                      | 66         |
| 4.3.2 Oturma analizleri.....  | 67         |
| 4.3.2.1 Taş kolon imalatı öncesi oturma analizleri.....                       | 68         |
| 4.3.2.2 Taş kolon imalatı sonrası oturma analizleri .....                     | 70         |
| 4.3.3 Sıvılaşma analizleri .....  | 72         |
| 4.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....                               | 73         |
| 4.4.1 Taşıma gücü analizlerinin değerlendirilmesi .....                       | 73         |
| 4.4.2 Oturma analizlerinin değerlendirilmesi.....                             | 74         |
| 4.4.3 Sıvılaşma analizlerinin değerlendirilmesi .....                         | 74         |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>  | <b>77</b>  |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>   | <b>79</b>  |
| <b>EKLER.....</b>   | <b>83</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>127</b> |

## KISALTMALAR

|            |   |
|------------|---|
| $1/a_s$    | : Alan iyileştirme oranı  |
| $a_s$      | : Alan yer değiştirme oranı                                     |
| $A$        | : Taş kolon birim hücre alanı                                   |
| $A_c$      | : Koni kesit alanı  |
| $A_n$      | : Yükleme hücresinin kesit alanı                                |
| $A_s$      | : Sürtünme alanı  |
| $A_{sb}$   | : Sürtünme yüzeyinin alt kesit alanı                            |
| $A_{st}$   | : Taş kolon kesit alanı   |
| <b>AKO</b> | : Aşırı konsolidasyon oranı                                     |
| <b>B</b>   | : Temel genişliği   |
| $c_1$      | : Temel derinliği düzeltme katsayısı                            |
| $c_2$      | : Krip düzeltme katsayısı                                       |
| $c_3$      | : Temel şekli düzeltme katsayısı                                |
| $c_u$      | : Drenajsız kayma mukavemeti                                    |
| <b>CRR</b> | : Tekrarlı mukavemet oranı                                      |
| <b>CSR</b> | : Tekrarlı gerilme oranı  |
| $C_\sigma$ | : Jeolojik yük düzeltmesi uygulanmış uç direncine bağlı katsayı |
| $d_c$      | : CPT koni çapı   |
| $D_f$      | : Temel derinliği   |
| $D_e$      | : Taş kolon birim hücre çapı                                    |
| $D_r$      | : Relatif Sıklık  |
| <b>E</b>   | : Elastisite modülü   |
| $f_s$      | : Çevre sürtünmesi  |
| $f_t$      | : Düzeltilmiş çevre sürtünmesi                                  |
| $F_c$      | : Boşluk genişleme katsayısı                                    |
| $F_q$      | : Boşluk genişleme katsayısı                                    |
| $F_r$      | : Normalize edilmiş sürtünme oranı                              |
| <b>FC</b>  | : İnce dane oranı   |
| <b>g</b>   | : Yer çekimi ivmesi   |
| <b>G</b>   | : Kayma modülü  |
| <b>GS</b>  | : Güvenlik sayısı   |
| <b>H</b>   | : Sıkışabilir tabaka kalınlığı                                  |
| $I_p$      | : Plastisite indisi   |
| $I_r$      | : Zeminin rijitlik indisi                                       |
| $I_z$      | : Zemin tabakasının ortasındaki deformasyon etki faktörü        |
| <b>k</b>   | : Permeabilite katsayısı  |
| $K_{ps}$   | : Taş kolon elemanın pasif toprak basıncı katsayısı             |
| $K_\sigma$ | : Jeolojik yük düzeltme faktörü                                 |
| <b>L</b>   | : Temel uzunluğu  |
| $m_v$      | : Hacimsel sıkışma katsayısı                                    |
| <b>M</b>   | : Deprem magnitüdü  |
| $M_c$      | : Sıkışma modülü  |

|  |  |
|--|--|
| <b>MSF</b>   | : Magnitüt faktörü   |
| <b>n</b>   | : Gerilme konsantrasyon oranı                                      |
| <b>N<sub>c</sub>, N<sub>γ</sub>, N<sub>q</sub></b> | : Taşıma gücü katsayıları  |
| <b>N<sub>k</sub></b>                               | : Koni faktörü   |
| <b>N<sub>kt</sub></b>                              | : Düzeltilmiş koni faktörü   |
| <b>P<sub>a</sub></b>                               | : Atmosfer Basıncı   |
| <b>q</b>   | : Hesap yapılan derinlikteki ortalama gerilme                      |
| <b>q<sub>c</sub></b>                               | : Koni uç direnci  |
| <b>q<sub>c1N</sub></b>                             | : Normalize edilmiş düzeltilmiş koni uç direnci                    |
| <b>q<sub>c1NCS</sub></b>                           | : Temiz kuma eşdeğer düzeltilmiş uç direnci                        |
| <b>q<sub>c2</sub></b>                              | : Sert ince tabakada ölçülen koni uç direnci                       |
| <b>q<sub>cN</sub></b>                              | : İnce tabaka düzeltmesi düzeltmesinin yapıldığı koni uç direnci   |
| <b>q<sub>em</sub></b>                              | : Emniyetli taşıma gücü  |
| <b>q<sub>sınır,ult</sub></b>                       | : Sınır taşıma gücü  |
| <b>q<sub>maks</sub></b>                            | : Maksimum yer ivmesi  |
| <b>q<sub>n</sub></b>                               | : Net uç direnci   |
| <b>q<sub>t</sub></b>                               | : Düzeltilmiş koni uç direnci                                      |
| <b>R<sub>f</sub></b>                               | : Sürtünme oranı   |
| <b>s</b>   | : Taş kolonlar arası mesafe  |
| <b>ΔH</b>  | : Oturma miktarı   |
| <b>S'</b>  | : Zemin iyileştirilmesi yapılan zeminde meydana gelen oturma       |
| <b>S</b>   | : Zemin iyileştirilmesi yapılmayan zeminde meydana gelen oturma    |
| <b>S<sub>t</sub></b>                               | : Hassaslık  |
| <b>u<sub>0</sub></b>                               | : Boşluk suyu basıncı  |
| <b>u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub></b>                | : CPT boşluk suyu basıncı  |
| <b>V<sub>p</sub></b>                               | : Basınç dalgası hızı  |
| <b>V<sub>s</sub></b>                               | : Kayma dalgası hızı   |
| <b>Q<sub>c</sub></b>                               | : Sıkışabilirlik faktörü   |
| <b>Q<sub>t</sub></b>                               | : Normalize edilmiş koni uç direnci                                |
| <b>α</b>   | : Taş kolon elemanında oluşan göçme yüzeyi eğimi                   |
| <b>β</b>   | : Oturma azaltım oranı   |
| <b>φ</b>   | : Kayma mukavemeti açısı   |
| <b>φ<sub>st</sub></b>                              | : Taş kolon elemanın kayma mukavemeti açısı                        |
| <b>γ</b>   | : Birim hacim ağırlık  |
| <b>γ<sub>w</sub></b>                               | : Suyun birim hacim ağırlığı                                       |
| <b>μ<sub>c</sub></b>                               | : Zemin için gerilme oranı   |
| <b>μ<sub>s</sub></b>                               | : Taş kolon elemanı için gerilme oranı                             |
| <b>σ<sub>1</sub></b>                               | : Taş kolon elemanın taşıyabileceği gerilme                        |
| <b>σ<sub>3</sub></b>                               | : Taş kolon elemanını destekleyen yanal çevre gerilmesi            |
| <b>σ<sub>c</sub></b>                               | : Düşey gerilme  |
| <b>σ<sub>h</sub></b>                               | : Yatay gerilme  |
| <b>σ<sub>ro</sub></b>                              | : Taş kolon elemanı imalatı öncesinde zeminde oluşan yatay gerilme |
| <b>σ<sub>s</sub></b>                               | : Taş kolon elemanı içerisinde oluşan düşey gerilme                |
| <b>σ<sub>v</sub>'</b>                              | : Düşey efektif gerilme  |
| <b>v</b>   | : Poisson oranı  |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 3.1 : Güvenilirlik açısından CPT'nin tasarımda kullanım alanları.....         | 33 |
| Çizelge 3.2 : $q_c$ ile $\phi$ arasındaki ilişki (Kulhawy ve Mayne, 1990). ....       | 48 |
| Çizelge 3.3 : $M_v$ için $\alpha$ katsayısı değerleri (Sanglerat, 1972). ....         | 48 |
| Çizelge 3.4 : $q_c$ ile $V_s$ arasındaki ilişkiler .....                              | 49 |
| Çizelge 3.5 : $q_c$ ve $E$ arasındaki ilişkiler (Robertson ve Campanella, 1983). .... | 50 |
| Çizelge 3.6 : Temel tipine göre $I_z$ 'nin derinlikle değişimine ait ilişkiler .....  | 54 |
| Çizelge 4.1 : Blokların temel boyutları ve temel altı maks. zemin gerilmeri .....     | 58 |
| Çizelge 4.2 : Sondajlarda karşılaşılan zemin birimleri ve derinlikleri .....          | 60 |
| Çizelge 4.3 : Zeminin fiziksel özellikleri .....                                      | 63 |
| Çizelge 4.4 : Terzaghi formülleri ile emniyetli taşıma gücü değerleri .....           | 66 |
| Çizelge 4.5 : Taş kolon grubunun emniyetli taşıma gücü değeri .....                   | 66 |
| Çizelge 4.6 : Temel ortasında gerçekleşen oturmalar.....                              | 71 |
| Çizelge 4.7 : Hesaplanan oturma azaltım oranları.....                                 | 74 |



## ŞEKİL LİSTESİ

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1 : Islak üstten beslemeli yöntemin operasyon aşaması (Url-1).....  | 7            |
| Şekil 2.2 : Kuru alttan beslemeli yöntemin operasyon aşaması ve prob (Url-1).....                                       | 8            |
| Şekil 2.3 : Drenajsız kayma mukavemeti ile kolon çapı arasındaki ilişki<br>(Besancon ve diğ., 1984) .....               | 10           |
| Şekil 2.4 : Dane çapı dağılımına bağlı taş kolon tekniğinin uygulanabilirliği .....                                     | 11           |
| Şekil 2.5 : Homojen zeminde tekil taş kolon göçme mekanizmaları(FHWA/RD-<br>83/027).....                                | 14           |
| Şekil 2.6 : Taş kolon grupları için göçme mekanizmaları(FHWA/RD-83/027) .....   | 15           |
| Şekil 2.7 : Küçük taş kolon gruplarında kabarma göçmesi (Hu, 1995).....   | 15           |
| Şekil 2.8 : Taş kolon dizilimleri (Han ve Ye, 2001).....  | 17           |
| Şekil 2.9 : Boşluk genişleme faktörleri (Juran ve diğ., 1988) .....   | 21           |
| Şekil 2.10 : Taş kolonda şerit yükleme durumunda taşıma gücü katsayıları<br>(Juran ve diğ., 1988) .....                 | 22           |
| Şekil 2.11 : Taş kolon grup analizi (Barksdale ve Bachus, 1983). .....  | 23           |
| Şekil 2.12 : Oturma azaltım faktörü (Barksdale ve Bachus, 1983). .....  | 25           |
| Şekil 2.13 : Vibro yer değiştirme yöntemi ile yapılan taş kolonlarda gerilme<br>konsantrasyon oranı (Priebe, 1995)..... | 26           |
| Şekil 2.14 : Oturma azaltım faktörü (Greenwood yöntemi). .....  | 27           |
| Şekil 2.15 : Kompozit sistemde oluşan kayma gerilmeleri ve yeniden dağılım<br>(Baez,1995).....                          | 29           |
| Şekil 3.1 : Mekanik tipte çalışan CPT (Begemann, 1965). .....   | 34           |
| Şekil 3.2 : Elektrik CPT detayları (Lunne vd., 1997). .....   | 35           |
| Şekil 3.3 : Elektrik CPT türleri (Sabatini ve diğ., 2002). .....  | 35           |
| Şekil 3.4 : SCPTu arazide uygulaması (Url-2).....   | 36           |
| Şekil 3.5 : Ölçüm derinliğinde düşeyliliğin etkisi.(Bruzzi ve Battaglio,1987) .....                                     | 38           |
| Şekil 3.6 : Boşluk suyu basıncı etkileri (Lunne ve diğ., 1997).....   | 40           |
| Şekil 3.7 : CPT sonuçlarına bağlı zemin sınıfı tayini (Lunne ve diğ., 1997.....   | 44           |
| Şekil 3.8 : CPT sonuçlarına bağlı birim hacim ağırlık tayini (Robertson ve Cabal,<br>2009).....                         | 44           |
| Şekil 3.9 : Drenajsız kayma mukavemetinin belirlenmesi (Lunne ve Eide, 1976). ..  | 46           |
| Şekil 3.10 : $q_c$ ile $\phi$ arasındaki ilişki (Robertson ve Campenalla, 1983). .....                                  | 47           |
| Şekil 3.11 : Silika kumları üzerinde yapılan çalışma sonucu elastisi modülü hesabı<br>(Robertson ve Cabal, 2009).....   | 49           |
| Şekil 3.12 : Sığ temel taşıma gücün hesabındaki k katsayısının tahmini<br>(Eslaamizaad ve Robertson, 1996). .....       | 51           |
| Şekil 3.13 : Temel Tipine Göre $I_z$ 'nin derinlikle değişimi (Robertson ve Cabal,<br>2009).....                        | 53           |
| Şekil 3.14 : $\Delta q_{c1N}$ 'nin FC ve $q_{c1N}$ 'e göre değişimi (Idriss ve Boulanger, 2008). ....                   | 56           |
| Şekil 4.1 : İncelenen blokların, yapılan deney ve imalatların yerleşim yeri.....  | 59           |
| Şekil 4.2 : C blok temeli altında ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve<br>hesaplanan elastisite modülü .....    | 61           |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Şekil 4.3</b> : CPT-6 ve CPT-18’de ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü farkları.....   | <b>61</b>  |
| <b>Şekil 4.4</b> : C blok temeli altındaki birimlerin zemin sınıfı tayini .....   | <b>62</b>  |
| <b>Şekil 4.5</b> : Sahanın idealize zemin profili .....   | <b>64</b>  |
| <b>Şekil 4.6</b> : C blok için oluşturulan zemin modeli .....   | <b>67</b>  |
| <b>Şekil 4.7</b> : Mevcut zemin koşullarında C blok temel zemininde meydana gelen düşey deformasyonlar .....  | <b>68</b>  |
| <b>Şekil 4.8</b> : Mevcut zemin koşullarında C blok temelinde meydana gelen düşey deformasyonlar .....  | <b>69</b>  |
| <b>Şekil 4.9</b> : Zemin iyileştirilmesi sonrasında C blok temeli zemininde meydana gelen düşey deformasyonlar .....  | <b>70</b>  |
| <b>Şekil 4.10</b> : Zemin iyileştirilmesi sonrasında C blok temelinde meydana gelen düşey deformasyonlar .....  | <b>71</b>  |
| <b>Şekil 4.11</b> : D blokta zemin iyileştirilmesi öncesi ve sonrasında sıvılaşmaya karşı elde edilen güvenlik sayıları .....   | <b>72</b>  |
| <b>Şekil 4.12</b> : Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının zemin iyileştirme öncesi ve sonrasındaki farklarının alan oranına göre değişimi.....   | <b>75</b>  |
| <b>Şekil A.1</b> : D blok temelleri altında iyileştirme öncesi ve sonrası ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü .....                                       | <b>84</b>  |
| <b>Şekil A.2</b> : D blok temelleri altında iyileştirme sonrası ile öncesi ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü farklarının derinliğe bağlı değişimi ..... | <b>84</b>  |
| <b>Şekil A.3</b> : E blok temelleri altında iyileştirme öncesi ve sonrası ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü .....                                       | <b>85</b>  |
| <b>Şekil A.4</b> : D blok temelleri altında iyileştirme sonrası ile öncesi ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü farklarının derinliğe bağlı değişimi ..... | <b>85</b>  |
| <b>Şekil A.5</b> : D blok temeli altındaki birimlerin zemin sınıfı tayini .....   | <b>86</b>  |
| <b>Şekil A.6</b> : E blok temeli altındaki birimlerin zemin sınıfı tayini.....  | <b>86</b>  |
| <b>Şekil B.1</b> : Mevcut zemin koşullarında D blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları.....   | <b>97</b>  |
| <b>Şekil B.2</b> : Mevcut zemin koşullarında D blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları.....   | <b>97</b>  |
| <b>Şekil B.3</b> : Zemin iyileştirilmesi sonrasında D blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları .....   | <b>98</b>  |
| <b>Şekil B.4</b> : Zemin iyileştirilmesi sonrasında D blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları .....   | <b>98</b>  |
| <b>Şekil B.5</b> : Mevcut zemin koşullarında E blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları.....   | <b>99</b>  |
| <b>Şekil B.6</b> : Mevcut zemin koşullarında E blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları.....   | <b>99</b>  |
| <b>Şekil B.7</b> : Zemin iyileştirilmesi sonrasında E blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları .....   | <b>100</b> |
| <b>Şekil B.8</b> : Zemin iyileştirilmesi sonrasında E blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları .....   | <b>100</b> |
| <b>Şekil C.1</b> : C blokta zemin iyileştirilmesi öncesi ve sonrasında sıvılaşmaya karşı elde edilen güvenlik sayıları .....  | <b>101</b> |
| <b>Şekil C.2</b> : E blokta zemin iyileştirilmesi öncesi ve sonrasında sıvılaşmaya karşı elde edilen güvenlik sayıları .....  | <b>101</b> |
| <b>Şekil C.3</b> : CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları .....  | <b>102</b> |

## VİBRO YER DEĞİŞTİRME YÖNTEMİYLE İMAL EDİLEN TAŞ KOLONLAR İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ

### ÖZET

Gevşek ve yumuşak zeminler üzerine inşa edilecek yapılarda, temel zemininin projenin uygulanabilirliğini etkileyebilecek boyutlarda sorunları olduğu durumlarda arazi zemin koşullarının iyileştirilmesi gerekli olabilmektedir. Bu nedenle; taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma gibi problemlere çözüm yolu sunabilecek ekonomik zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu yöntemlerden birisi de uygulama açısından oldukça pratik olan, 1940'lı yıllarda Keller Grup tarafından yeniden uygulanmaya başlanmış ve özellikle son otuz yıldır tüm dünyada yaygın olarak kullanılan vibro yer değiştirme yöntemi ile imal edilen taş kolon sistemleridir. Titreşimli sonda ekipmanı ile taş kolon yapılan bu yöntemde, içerisinde dış merkezleyici bulunan bir ağırlığın döndüğü titreşimli sonda, kendi ağırlığı ve titreşim etkisi ile zeminin içerisine doğru indirilir (gerekirse penetrasyonu kolaylaştırmak için su jetleri kullanılır), zemin içerisinde oluşan bu boşluğa üstten ya da alttan besleme ile kademeler halinde granüler dolgu malzemesi eklenerek titreşimli sonda ekipmanı vasıtasıyla bu tabakalar sıkıştırılır ve aşağıdan yukarıya doğru taş kolon elemanı oluşturulur.

Bu çalışma kapsamında, bir proje sahasında vibro yer değiştirme yöntemi ile yapılan taş kolon imalatlarının öncesinde ve taş kolon imalatı sonrasında uygulanan koni penetrasyon deneylerinin (CPT) sonuçları kullanılarak sahada inşa edilecek yapılar için geoteknik değerlendirme yapılmış; yapı temelleri altındaki zeminin emniyetli taşıma gücü, temel zeminin oturma miktarı ve sıvılaşma potansiyeli, mevcut zemin durumu ve vibro yer değiştirme yöntemi ile elde edilen taş kolon elemanları ile iyileştirilmiş zemin durumu için incelenmiştir. Sondajlar ve arazi deney sonuçlarına göre oluşturulmuş zemin modeli kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile oturma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan Clig yazılımıyla; sahada gerçekleştirilen CPT sonuçlarına, yeraltı su seviyesine, etkin yer ivmesi katsayısına ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak zeminin sıvılaşma potansiyeli incelenmiş, sıvılaşmaya karşı güvenlik sayıları hesaplanmıştır. Sahada iyileştirme öncesinde elde edilen taşıma gücü, oturma miktarı ve sıvılaşma potansiyeline karşı hesaplanan güvenlik sayısı değerleri ile yine aynı bölgelerde farklı yerleşim aralıklarıyla imal edilen taş kolonlarla yapılan zemin iyileştirme sonucu hesaplanan bu değerler alan oranlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Taş kolon iyileştirme sonrası yapılan arazi deney sonuçlarına bağlı olarak yapılan analiz sonuçlarından, vibro yer değiştirme yöntemi ile imal edilen taş kolon elemanlarının, oturma ve taşıma kapasitesi yönünden etkili bir zemin iyileştirme yöntemi olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca iyileştirmede alan oranı artıkça taşıma gücü değerinin arttığı, oturma miktarlarının azaldığı, sıvılaşmaya karşı iyileştirme sonrasındaki güvenlik sayılarının öncesine göre arttığı görülmüştür.



## **SOIL IMPROVEMENT WITH THE VIBRO REPLACEMENT STONE COLUMNS**

### **SUMMARY**

It is widely known that in civil engineering projects, where the present soil is not capable enough to support the construction, soil improvement methods are needed. Two options may be suggested in the case of these constructions are impossible to be reinforced by shallow foundations securely, when their geotechnical and seismic risks are considered; either the place of construction should be left or the inefficient soil should be replaced with the one in proper conditions. However, these solutions are mostly not preferred because of technological and economic reasons. In such cases, other soil improvement methods are suggested to overcome the unusual conditions of soil and groundwater. The main purpose of soil improvement is lessening the percentage of emptiness on the soil by compressing with mechanical devices, or limiting the deformation on the soil by filling the blank space with various types of admixtures. By implementing these methods with the aim of converting the inefficient soil into a strong platform that can hold the upper structure forces, it is also aimed that maximizing the bearing capacity of weak soil, accelerating the consolidation settlement rate and lessening the total settlement, reducing the permeability of the soil, decreasing the potential of liquefaction of the soil, and ensuring the stability of filling and slope (Burke and Sehn, 2003). Some soil improvement methods have been developed to serve these purposes previously mentioned. One practical method which was firstly reutilized by Keller Group in 1940's, has started to become very popular for the last 30 years, all over the world. The method is called vibro replacement stone column. Stone columns are load bearing columns made from gravel or crushed stones, constructed in cohesive soils or granular soils with high fines content. The stone columns improve the shear strength and stiffness of the soil mass. This highly versatile method is often used for embankments, tanks, buildings, materials stockpiles, highway or railway constructions. The performance of the stone column can be evaluated with insitu tests, instrumental observations. Monitoring the swelling on the site ground can give idea about the disturbance of the ground soil in places where the stone column is applied. Cone penetration test (CPT) that can give useful information for evaluating the achieved soil improvement, performed between the stone column elements.

The cone penetration (CPT) is a method used to determine the geotechnical engineering properties of soils and delineating soil stratigraphy. It was initially developed in the 1930s at the Dutch Laboratory for Soil Mechanics. Today, the CPT is one of the most used and accepted in soil methods for soil investigation worldwide. The CPT is very applicable as insitu test for a wide range of ground conditions. Test can be carried out in a range of soft clays and dense sand. In the cone penetration test, a cone on the end of a series of rods is pushed into ground at a constant rate and continuous measurements are made of the resistance to penetration of the cone. And these measurements determine sub surface stratigraphy and identify

material present, estimate geotechnical parameters and provide results for direct geotechnical design.

This scope of study, before the vibro replacement stone column application and after the vibro replacement stone column application, one cone penetration test carried out under the C, D and E blocks. Using the result of CPT, sub surface stratigraphy and geotechnical parameters of materials such as determined.

Within the scope of this study, geotechnical evaluations of constructions on the field are done by using the outcomes of cone penetration tests that are implemented on Hatay/Erzin region before the vibro replacement stone column installation and after stone column installation processes. The allowable bearing capacity of foundation soil, the amount of settlement, and the level of liquefaction potentials are analyzed in this study separately for both the existing soil and the improved soil with vibro replacement stone column elements.

The bearing capacity analyses are calculated by using the formula suggested by Terzaghi for the existing soil conditions, and the limit equilibrium method for the computation of the ultimate bearing capacity of the foundation under which the stone column group, that consists of stone columns constructed with vibro replacement method and located in different area ratio, given by Barksdale and Bachus is placed.

During settlement analysis, ground model is prepared according to cone penetration test results and boring applied to the site ground for the finite element analysis; and amount of settlement is calculated considering the geometrical characteristics of considered structures and upper structure loads. Finite element method separates the continuous system to little finite elements which is suitable to the characteristic of problem and this method makes calculations with the goal of gathering minimum inner and outer force energies on the finite elements. At the end, this method unites all finite elements and shows the total result of system. After this analysis, it is easy to consider the boundary limits, system characteristics, instantaneous and continuous changes on outer loads. Within the context of this study, Mohr Coloumb model is used. In this model, Young modulus (E), poisson ratio ( $\nu$ ), degree of shearing resistance ( $\phi$ ), expansion degree ( $\Psi$ ), dry and natural unit volume weights of ground ( $\gamma_d$  and  $\gamma_n$ ), will be used with the symbols shown. And if the ground contacts with any structural component, interfaces will be defined. After defining all material parameters, all components are defined on the programme and finite element mesh structure is prepared. After that upper construction loads are applied on the structure and settlements are calculated. To calculate the settlement quantities on foundations, finite element programme is used. Within this scope, the settlement quantities before ground improvement are determined with the strength parameters specified according to cone penetration test results. With the use of cone penetration experiment results applied by following the stone column installation, ground parameters are determined for improved situation. Then using improved soil parameters, analysis are recalculated with the finite element programme for improved ground conditions.

The increased pore water pressures which resultant by the cyclic loads in saturated soil layers during earthquake triggers the liquefaction phenomenon which can be designated as soil transforming from solid phase in to liquid phase. For long years, it is adopted that liquefaction can be occurred only in cohesionless soils but as a result of the recent site observations and laboratory researchs, it is revealed that liquefaction can be observed even in silty layers with a low cohesion and also in gravelly sands

layer which the water flow is hindered at all. Number of safety which, is determined the liquefaction potential, is calculated via Clig software with the related data of CPT results carried out at site, ground water level, effective ground acceleration coefficient and earthquake magnitude. Number of safety is calculated by dividing the shear stress to the cyclic loads induced by earthquake. In case of number of safety is calculated  $<1$ , liquefaction potential should be considered as a whole. Investigations reveal the effectiveness of stone column against liquefaction potential by redistribute the shear stress. In case of stone column application at site, the initial stress ratio and due to changes in stiffness, stress ratio of earthquake will be affected. As a result of the shear stresses induced by earthquake, soil and column will be deformed together and due to differences of the stiffness between the soil and column, shear stress is redistributed. Liquefaction analyses are conducted in this study cause of silty sands and sandy layers were observed at site and the ground water level is measured 2 m below. Liquefaction analyse is performed current soil conditions and it is recalculated after the vibro replacement stone column instalation in different area ratio. Number of safety is obtained as aresult of liquefaction analyses. Difference of safety numbers that are obtained from after soil improvemnt and current soil conditions, is given by the depth of variation of this values.

Number of safety values for liquefaction potential, the amount of settlement and bearing capacity, before improvement is evaluated based on area ratio with the above defined values that is calculated after improvement with stone column at different area ratio for the same site. The effectiveness in terms of settlement and bearing capacity of stone columns which vibro-replacement method is adopted, is demonstrated with the calculations of CPT data. The investigations demonstrate that, by increasing the area ratio, bearing capacity and avarage number of safety differences before and after improvement are increased and settlement ratio is decreased accordingly.

Cone penetration test that carried out after soil improvement, remained limited, despite soil improvement with vibro replacement stone column construction is done entire area below the foundation of building in this study. The analyzes were performed with the limited cone penetration tests results. In the light of obtaining new datas, it is possible to improve this study results.



## 1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği projelerinde mevcut zeminin yapıyı destekleyebilecek kapasitede olmaması durumunda zemin iyileştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. Söz konusu yapıların geoteknik ve sismik risklerinin değerlendirilmesi sonucu, yüzeysel temellerle güvenli olarak desteklenemeyeceğine karar verildiğinde, inşaat yerinin değiştirilmesi ya da istenilen özelliklere sahip olmayan zeminin kaldırılarak yerine uygun zeminlerin kullanılması tercih edilebilir. Ancak bu çözümlerin kullanılabilirliği gerek teknolojik ve gerekse ekonomik nedenlerle uygun görülmemektedir. Bu gibi durumlarda, çalışma alanındaki zemin yapısı ve yeraltı suyu durumları için farklı zemin iyileştirme yöntemleri önerilir. Zemin iyileştirme yöntemlerinde temel amaç, zeminin boşluk oranının mekanik araçlarla sıkıştırılarak azaltılması ya da zemin boşluklarının çeşitli bileşimlerdeki karışımlarla doldurularak, zeminin şekil değiştirme özelliğinin kısıtlanmasıdır. Elverişsiz zemini, üst yapı yüklerini destekleyebilecek duruma getirebilmek amacıyla uygulanan bu yöntemlerle, zayıf zeminin taşıma kapasitesinin artırılması, toplam oturmanın azaltılıp konsolidasyon oturmasının hızlandırılması, zeminin permeabilitesinin azaltılması, zeminin sıvılaşma potansiyelinin azaltılması, dolgu ve şevlerin stabilitesinin sağlanması hedeflenmektedir (Burke ve Sehn, 2003).

Dünyada ve ülkemizde çok sık kullanılan zemin iyileştirme yöntemleri aşağıda sıralanmıştır (Moseley ve Kirsch, 2004):

- Vibro yer değiştirme yöntemi ile imal edilen taş kolonlar,
- Darbeli kırmataş kolonlar
- Kum kazıklar-düşey drenler
- Ön yükleme
- Derin karıştırma
- Dinamik kompaksiyon
- Kompaksiyon enjeksiyonu

- Jet enjeksiyonu
- Geotekstil ve geosentetikler ile güçlendirme
- Kimyasal enjeksiyon

Temel inşaatı yönünden sorunlu oldukları varsayılan zemin türleri için yukarıda bahsedilen iyileştirme yöntemlerinden birisi veya birkaçı uygulanabilir, ancak bu yöntemlerin hepsinin benzer zemin koşullarında uygulanması mümkün değildir.

Taş kolon teknikleri genel olarak statik, dinamik koşullarda temel problemlerini çözmek amaçlı zemin sıkıştırma yöntemleri olarak tanımlanabilir. Taş kolonların uygulama işlemi; zeminde jetli ya da jetsiz yöntemle bir delik oluşturulması, ardından da bu deliğe kademeler halinde doldurulan taşın vibrasyon etkisi ile düşey ve radyal yönde sıkıştırılması adımlarından oluşur. Taş kolonlar yumuşak killerin, siltli kumların derin sıkıştırma teknikleri ile verimli şekilde sıkıştırılamayan gevşek granüler zeminlerin ve gevşek dolgu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır.

### **1.1 Amaç**

Zemin iyileştirmesi yöntemlerinden vibro yer değiştirme ile imal edilen taş kolon elemanlarının saha zeminin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma üzerindeki etkileri incelenen bu çalışmada taş kolon imalatı sonrasında gerçekleşen iyileşme miktarlarını elde edebilmek için taş kolon imalatı öncesinde ve taş kolon imalatı sonrasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deneyi sonuçlarından yararlanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde iyileşme oranları, taş kolon elemanlarının alan oranlarına bağlı karşılaştırılarak sonuçlar daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

### **1.2 Kapsam**

Vibro yer değiştirme yöntemi ile elde edilen taş kolon elemanlarının alan oranlarının zeminin taşıma gücü, oturma miktarı ve sıvılaşma potansiyeli üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada Hatay/Erzin bölgesinde yapılmış taş kolon imalatlarının öncesindeki ve sonraki koni penetrasyon deney sonuçları kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde zemin iyileştirme yöntemlerinden olan vibro yer değiştirme ile imal edilen taş kolon elemanları hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Taş kolon elemanlarının özellikleri, imalat teknikleri, tasarım yöntemleri ve kalite kontrolü hakkında yapılan çalışmaların sonuçları mümkün olduğunca geniş bir şekilde özetlenmeye çalışılmıştır.

Üçüncü bölümünde derinlikle beraber sürekli veri sağlayan ve hızlı bir deney olan koni penetrasyon deneyi anlatılmaktadır. Bu kapsamda koni penetrasyon deney türleri, deneyin yapılışı, ölçülen parametrelerin düzeltilmesi ve bu parametrelerin zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlenmesinde nasıl kullanıldığını anlatan çalışmalar özetlenmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde sahada vibro yer değiştirme yöntemi ile yapılan taş kolon imalatlarının öncesinde uygulanan koni penetrasyon deneylerinin sonuçları ve taş kolon imalatı sonrasında uygulanan koni penetrasyon deneylerinin sonuçları kullanılarak sahada yapılan yapılar için geoteknik değerlendirme yapılmıştır. Zemin profili ve zeminin mukavemet özellikleri, ilgili bloklar altında gerçekleştirilen koni penetrasyon deneyi sonuçlarına bağlı hesap yapan CPe-It programı kullanılarak belirlenmiştir. Zemin profilinin ve mukavemet özelliklerinin belirlenmesi ile de yapı temelleri altındaki zeminin emniyetli taşıma gücü, temel zeminin oturma miktarı ve sıvılaşma potansiyeli, mevcut zemin durumu ve vibro yer değiştirme yöntemi ile elde edilen taş kolon imalatı ile iyileştirilmiş zemin durumu için ayrı ayrı incelenmiştir.

Ani ve konsolidasyon oturması toplamı, geoteknik mühendisliği uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar analiz programı Plaxis ile hesaplanmıştır. Sıvılaşma analizlerinde ise güvenlik sayısının belirlenmesi için koni penetrasyon deneyi sonuçlarına bağlı olarak zeminin sahip olduğu kayma gerilmelerin depremin yaratacağı tekrarlı kayma gerilmelerine oranlanması esası ile analizleri yapan Clig yazılımı kullanılmıştır. Sahada iyileştirme öncesinde elde edilen taşıma gücü, oturma miktarı ve sıvılaşma potansiyeline karşı hesaplanan güvenlik sayısı değerleri ile yine aynı bölgelerde farklı yerleşim aralıklarıyla imal edilen taş kolonlarla yapılan zemin iyileştirmesi sonucu hesaplanan bu değerler alan oranlarına bağlı olarak yorumlanmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.



## 2. ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE TAŞ KOLONLAR

İnşaat mühendisliği uygulamalarında proje sahasının yerel zemin koşullarının mühendislik tasarımları ve yapım yöntemleri seçimi üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bazı inşaat alanlarında karşılaşılan zemin koşulları projenin yapılabiliğini etkileyebilecek boyutlarda sorunlar yaratabilmektedir. Bu durumlarda arazi zemin koşullarının iyileştirilmesi gerekli olabilmektedir. Söz konusu zemin iyileştirme yöntemleri;

- Sıkışabilir tabakanın kalınlığına bağlı olarak uç mukavemetli ya da sadece çevre sürtünmeli kazık uygulaması,
- Zemin mukavemetinin artırılması ile inşaat sonrasında oturmaların azaltılması amacıyla önyüklemeye yapılması,
- Oturmaların hızlandırılması amacıyla kum ya da fitil dren imali,
- Zemin mühendislik özellikleri daha iyi olan bir malzeme ile değiştirilmesi,
- Taş kolon imali

olarak sıralanabilir.

Taş kolon teknikleri genel olarak statik, dinamik (tekrarlı yükler ya da makina temelleri) koşullarda temel problemlerini çözmek amaçlı zemin sıkılaştırma yöntemleri olarak tanımlanabilir. Taş kolonların uygulama işlemi; zeminde jetli ya da jetsiz yöntemle bir delik oluşturulması, ardından da bu deliğe kademeler halinde doldurulan taşın vibrasyon etkisi ile düşey ve radyal yönde sıkıştırılması adımlarından oluşur. Taş kolonlar yumuşak killerin, siltli kumların derin sıkıştırma teknikleri ile verimli şekilde sıkıştırılmayan gevşek granüler zeminlerin ve gevşek dolgu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır (Barksdale ve Bachus, 1983).

Taş kolonların ilk uygulaması, 1830'larda Fransada yapı ve makina temellerinin altındaki zeminin güçlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Ancak, taş kolonlar bu uygulamanın ardından uzun yıllar unutulmuş 1940'lı yıllarda ise Keller Grup tarafından yeniden uygulanmaya başlanmış ve özellikle son yirmi yıldır tüm dünyada yeniden yaygın olarak kullanılır olmuştur (Priebe, 1995). Kohezyonlu, tabakalı ve

karma zeminlerin sadece titreşime tabi tutulduğunda sıkıştırılması kolay değildir bu sebeple taş kolon imali özellikle bu tür zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde taş kolonların imalat kademelerinde farklı teknikler ve ekipmanların kullanılması ile yapım metodları çeşitlendirilmiştir.

## **2.1 Taş Kolon Yapım Yöntemleri**

Zeminin içersinde silindirik bir boşluk oluştururken zeminin yanal yer değiştirme yapması durumunda zeminlerin çevresindeki zeminin sıkışması sağlanır. Silindirik boşluk içerisine tabakalar halinde yerleştirilen granüler dolgu malzemesinin sıkıştırılması ile taş kolon elemanları imal edilmektedir. Taş kolonların imalatındaki temel kademeler;

- Penetrasyon ya da delgi
- Doldurma
- Sıkıştırma

şeklinde sıralanmaktadır. Taş kolon elemanlarının imalat metotları iyileştirmeden beklenen sonuca ve uygulamanın yapılacağı zeminin özelliklerine göre özelleştirilmiştir. Belirtilen bu kriterlere bağlı olarak taş kolonların imalat metotları temel olarak;

a. Vibroflot (titreşimli sonda) ekipmanı ile taş kolon yapımı,

- Kuru vibro yer değiştirme yöntemi ile
- Islak vibro yer değiştirme yöntemi ile

b. Darbeli sıkıştırma metodu ile taş kolon yapımı

şeklinde iki ana grupta toplanabilir.

Bu tez kapsamında vibro yer değiştirme yöntemi ile imal edilen taş kolonlardan bahsedilecektir.

### **2.1.1 Vibro yer değiştirme yöntemi**

Taş kolonlar yumuşak killerin, siltli kumların ve vibro kompaksiyon ya da derin sıkıştırma teknikleri ile verimli şekilde sıkıştırılmayan gevşek granüler zeminlerin ve gevşek dolgu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Vibro yer değiştirme yöntemi özellikle bu tür zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Titreşimli sonda ekipmanı ile taş kolon imalı yapılan vibro yer değiştirme yönteminde, içinde dış merkezleyicili bir ağırlığın döndüğü titreşimli sondanın, kendi ağırlığı ve titreşim etkisi ile zemine penetrasyonu sağlanırken (penetrasyonu kolaylaştırmak için su

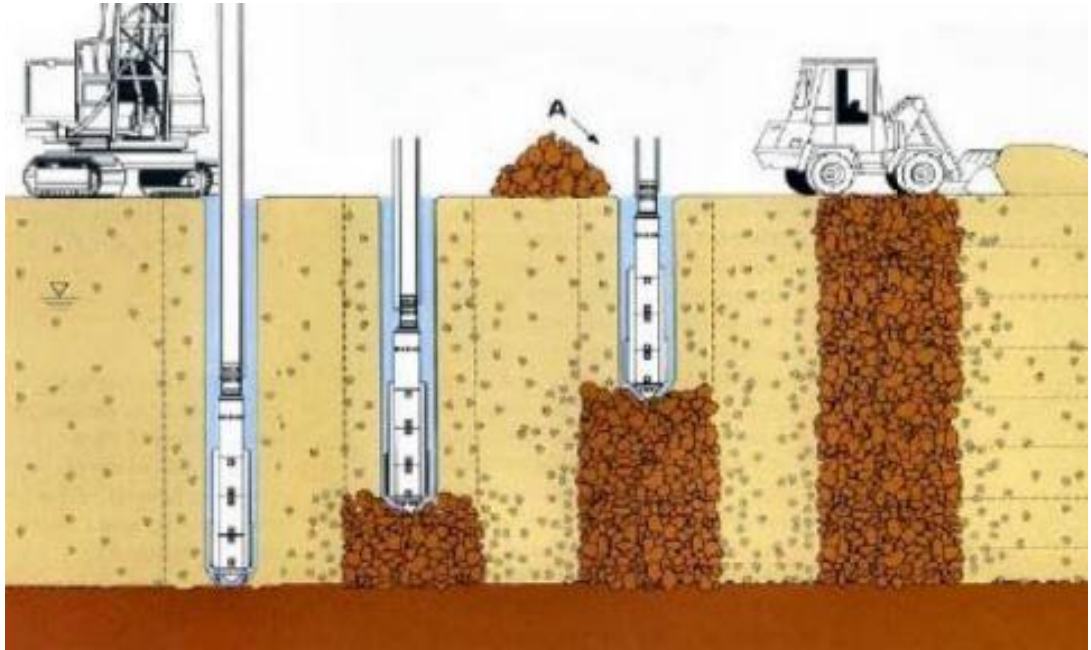
jetleri kullanılabilir), zemin içerisinde oluşturulan boşluğa üstten ya da alttan besleme ile kademeler halinde yerleştirilen granüler dolgu malzemesi vibrasyonlu sonda ile sıkıştırılır ve aşağıdan yukarı doğru taş kolon elemanı oluşturulur (Sondermann ve Wehr, 2004). Vibro yer değiştirme yönteminde farklı kurulum yöntemleri kullanılarak taş kolon imalatı yapılmaktadır. Bu kurulum yöntemleri;

- Islak üstten beslemeli yöntem
- Kuru alttan beslemeli yöntem
- Kuru üstten beslemeli yöntem

olmak üzere temel olarak üçe ayrılmaktadır.

### 2.1.1.1 Islak üstten beslemeli yöntem

Taş kolonun bu yöntemle imalatında, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi yüksek basınca sahip su jeti ve vibrasyon yardımı ile istenilen derinlikte bir kuyu açılmaktadır. Daha sonra prob etrafındaki bölge taş aktarımı için basınçlı su ile yıkanarak bölgedeki yumuşak zemin uzaklaştırılır ve tabakalar halinde granüler dolgu malzemesi eklenerek taş kolon elemanı oluşturulur. Her tabakanın doldurulmasının ardından prob aşağı doğru indirilerek, probun uyguladığı kuvvet yardımı ile taşın düşey ve kuyu çeperine doğru sıkışması sağlanır. Taş kolon imalatı bittikten sonra, yüzey silindir ile düzeltilir.

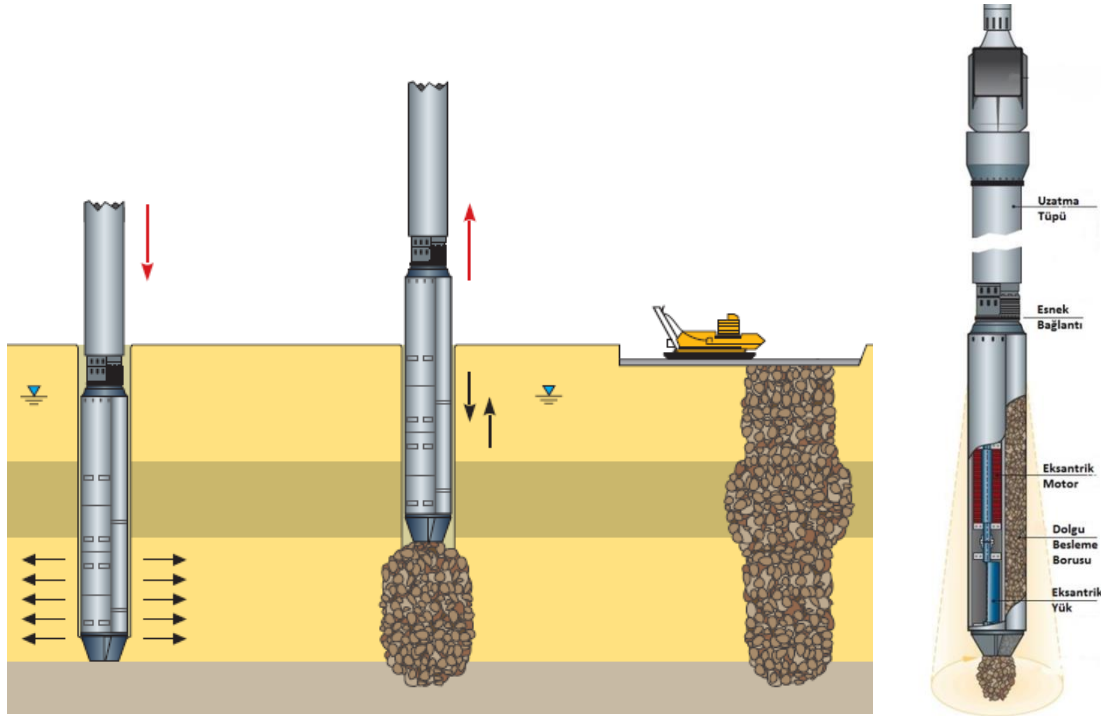


Şekil 2.1: Islak üstten beslemeli yöntemin operasyon aşaması (Url-1).

Bu yöntemdeki en önemli etken, mevcut zemin içerisindeki ince danelerin kuyu çevresinde taş kolonun geçirimsiz olmasını engelleyen ve kuyunun imalat sırasında stabilitesini sağlayan su jetidir. Bu yöntem, yumuşak ile katı kıvamlı zemin koşullarında ve yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde etkili bir iyileştirme yöntemidir (Sondermann ve Wehr, 2004).

### 2.1.1.2 Kuru alttan beslemeli yöntem

İçerisinde dış merkezleyici bulunan bir ağırlığın döndüğü titreşimli sonda, kendi ağırlığı ve vibrasyon etkisi ile zeminin içerisine doğru indirilir ve probun zemini yanal olarak ötelemesi ile bir kuyu oluşturulur. Kuyu dibine indirilen prob yukarı çekilerek dolgu besleme borusundan kuyu içerisine tabakalar halinde taş doldurulur. Her tabakanın doldurulmasının ardından prob aşağı doğru indirilerek, probun uyguladığı vibrasyon etkisi ile taşın düşey ve kuyu çeperine doğru sıkışması sağlanır. Sıkışmış bir taş kolon oluşturulan bu yöntemde, kuyu açılmasından taşın kuyu içerisine doldurulmasına kadar geçen süre içerisinde mevcut zeminin kendini tutabilmesi gerekmektedir. Kuru alttan beslemeli yöntem yeraltı su seviyesinin daha derinlerde olduğu zemin koşullarında uygundur. Bu yöntemin imalat detayları Şekil 2.2’de gösterildiği gibi; probun zemine itilmesi ve vibrasyonlu şekilde taş kolonunun oluşturulması şeklinde sıralanabilir (Sondermann ve Wehr, 2004).



Şekil 2.2: Kuru alttan beslemeli yöntemin operasyon aşaması ve prob (Url-1).

### **2.1.1.3 Kuru üstten beslemeli yöntem**

Bu yöntemin kuru altan beslemeli yöntem ile arasındaki farkı prop istenilen derinliğe vibrasyon etkisi ile indirildikten sonra, geri çekilerek yüzeyden kuyu içerisine tabakalar halinde taş doldurulur. Her tabakada prob aşağı doğru indirilerek, probun uyguladığı kuvvet yardımı ile taşın düşey ve kuyu çeperine doğru sıkışması sağlanır. Sıkışmış bir taş kolon oluşturulan bu yöntemde, kuyu açılmasından taşın kuyu içerisine doldurulmasına kadar geçen süre içerisinde mevcut zeminin kendini tutabilmesi gerekmektedir.

## **2.2 Taş Kolonların Özellikleri**

Proje türü ve çalışılan bölgenin zemin koşulları göz önünde bulundurulduğunda farklı özelliklerde taş kolon uygulaması yapılmaktadır. Taş kolon elemanlarının çapları, boyları, kayma mukavemeti açıları ve imalatta kullanılan malzemenin özellikleri projeden projeye değişmektedir. Bu özellikler aşağıda anlatılmaktadır.

### **2.2.1 Taş kolon malzemesinin dane çapı dağılımı**

Taş kolonların imalinde genellikle çapları 2.5~7.5 cm arasında değişen iyi derecelenmiş taş ve çakıl malzeme kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme çapı seçilen uygulama tipine göre değişiklik göstermektedir. Islak tepeden beslemeli yöntemde çapları 2.5~7.5 cm, kuru dipten beslemeli yöntemde çapları 0.8~5 cm, kuru üstten beslemeli yöntemde 4~7.5 cm aralığında değişen malzeme kullanılmaktadır. (EN 14731, 2005)

Bu şekilde iyi derecelenmiş malzemenin bulunamaması ya da ekonomik olmaması durumunda kırma taş malzeme de kullanılabilir. Ancak üniform dağılımlı bu tip bir malzemenin kullanılması durumunda kolonu çevreleyen kil zeminin kolon içine sızarak mukavemet ve geçirimsizlikte azalmaya yol açacağı, konsolidasyonu yavaşlatarak iyileştirmeden beklenen sonuca ulaşılmasını engelliyeceği unutulmamalıdır. 1975 yılında McKenna ve diğerleri tarafından hazırlanan vaka analizinde taş kolon imalinde dolgu malzemesi olarak üniform dağılımlı kırma taş kullanılması sebebiyle özellikle oturumların azaltılması konusunda kayda değer bir iyileştirme sağlanamadığı belirtilmiştir. Eğer doğal ve iyi derecelenmiş malzeme kullanılması mümkün değilse kırma taş malzemenin birkaç farklı çaptan uygun

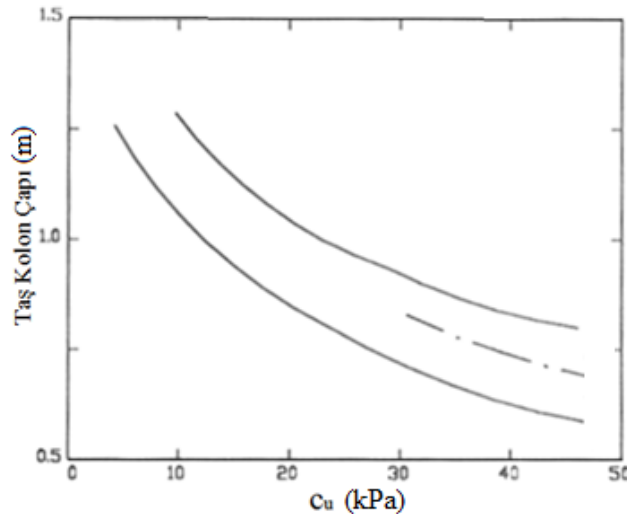
oranlarda seçilerek karıştırılması suretiyle dolgu malzemesinin oluşturulması faydalı olmaktadır.

### 2.2.2 Taş kolon malzemesinin kayma mukavemeti açısı

Taş kolon elemanları için kayma mukavemeti açısı kullanılan malzemeye bağlı olmak üzere  $40^\circ$  ile  $45^\circ$  arasındadır (Bell, 1978). Pripe ise 1995 yılında yaptığı çalışmalarda taş kolon elemanının kayma mukavemeti açısının  $35^\circ$  ile  $45^\circ$  arasında değiştiğini söylemiştir.

### 2.2.3 Taş kolon çapı

Taş kolonların çapı uygulanan zeminin mukavemet parametrelerine, imalat yöntemlerine ve uygulamada gerçekleştirilen sıkıştırma enerjisine bağlı olup değişiklik göstermektedir. Taş kolonun etki çapının net olarak belirlenmesi zordur ve ancak yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi için kullanılan bazı yöntemler mevcuttur. Taş kolonların çapları genellikle imal edilmiş olan birkaç kolonun kazılarak açığa çıkartılıp gözlenmesi ile kısmi olarak belirlenebilir ayrıca kolonun imali için kullanılan taş miktarından da tahmin edilebilir. Şekil 2.3’de 1984 yılında Besancon tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmalar sonucunda kolon çapı ile kohezyonlu zeminin drenajsız kayma mukavemeti arasında bir ilişki ortaya koyan grafik gösterilmiştir.



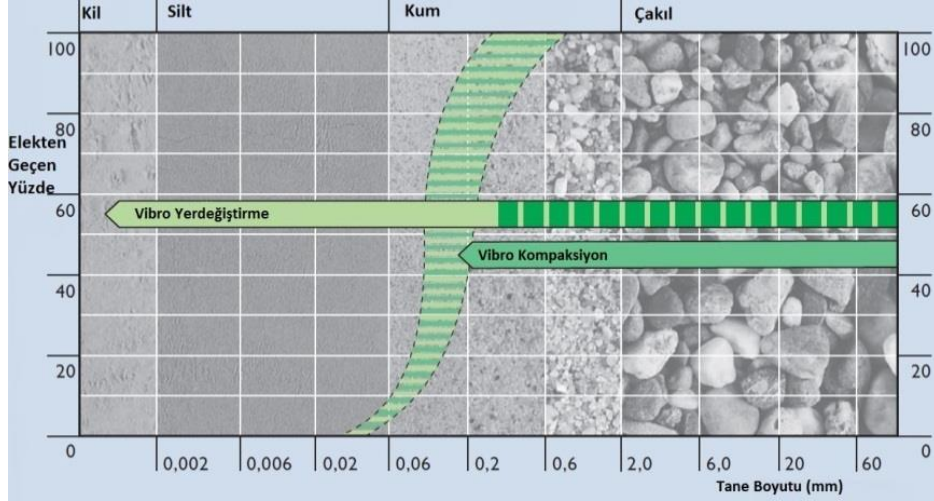
**Şekil 2.3:** Drenajsız kayma mukavemeti ile kolon çapı arasındaki ilişki (Besancon ve diğ., 1984)

Şekil 2.3’de görüldüğü üzere zeminin drenajsız kayma mukavemeti arttıkça, zemin iyileştirmesi amacıyla imal edilen taş kolon elemanlarının çapları azalmaktadır. İmal

edilen taş kolonların çapları genellikle 60 cm ile 120 cm arasında değişmektedir.

### 2.3 Taş Kolonların Uygulanabilirliği ve Uygulama Alanları

Dane çapı dağılımına bağlı olarak zeminlerin vibro yer değiştirme ve vibro kompaksiyon metotları için uygunluğunu inceleyen bir çalışmanın sonuçları Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.4:** Dane çapı dağılımına bağlı taş kolon tekniğinin uygulanabilirliği (U1-1)

Vibro yer değiştirme yöntemi ince daneli kohezyonlu zeminlerde kullanılırken, vibro kompaksiyon yöntemi ile yapılan derin sıkıştırma kaba daneli zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır.

Taş kolonlar yumuşak killerin, siltli kumların ve vibro-kompaksiyon ya da derin sıkıştırma teknikleri ile verimli şekilde sıkıştırılmayan gevşek granüler zeminlerin ve gevşek dolgu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Taş kolonların drenajsız kayma mukavemeti 15 kPa’dan büyük olan kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesinde başarıyla kullanıldığını söylemişlerdir (Smoltczyk ve Hilmer, 1994).

1983 yılında HHWA tarafından yayınlanan “Design and Construction of Stone Columns” bildirisinde iyileştirme yapılacak zeminin mobilize durumdaki çevre basıncı, kolonun belli bir sınırın üzerinde genişlemesini ve şekil değiştirmesini engelleyecek değere ulaşıyorsa bu mukavemete sahip bir zeminin taş kolon tekniği uygulanarak efektif bir şekilde iyileştirilebilecek bir zemin olarak kabul edildiğini söylemişlerdir. Turba zeminler ve organik zeminler, yüksek sıkışabilirlikleri sebebiyle taş kolonun yanıl genişlemesine karşı düşük çevre basıncı oluştururlar. Bu

sebeple taş kolonlar, organik ya da turba zemin tabakasının kalınlığının taş kolon çapının iki katından fazla olması durumunda uygulanamazlar.

Taş kolonların temel uygulama alanları;

- Dolgular, seddeler, batardolar ve baraj gövdeleri,
- Ağır makina, silo, bunker, depo ve tankların temel zemini,
- Terminal, rıhtım, havaalanı gibi tesislerin zeminleri,
- Enerji üretim ve nakil tesislerinin temel zeminleri

olarak sıralanabilir.

Taş kolon tekniği ile yapılan zemin iyileştirilmesi bir ya da birkaç farklı amaçla yapılır. Taş kolon tekniğinin temel uygulama amaçları aşağıda özetlenmiştir.

- Taşıma gücünün artırılması,
- Toplam ve farklı oturmaların azaltılması,
- Oturmaların hızlandırılması,
- Dolguların ve doğal şevlerin stabilitesinin artırılması,
- Sıvılaşma riski olan zeminlerde bu riskin azaltılması

olarak sıralanabilir. Taş kolonlar, uygulanmaya başlandığı ilk dönemlerden itibaren yukarıda sıralanan uygulama amaçlarının özellikle ilk üçünün hedeflendiği projelerde kullanılmış, şevlerin ve dolguların stabilitesi alanında yapılan uygulamalardaki kullanımları daha sonraları ortaya çıkmıştır. Taş kolon tekniğinin en yeni uygulama alanı ise, sıvılaşma potansiyeline sahip gevşek kum zeminlerde sıvılaşma riskinin azaltılmasını amaçlayan uygulamalardır.

#### **2.4 Taş Kolonların Göçme Mekanizması**

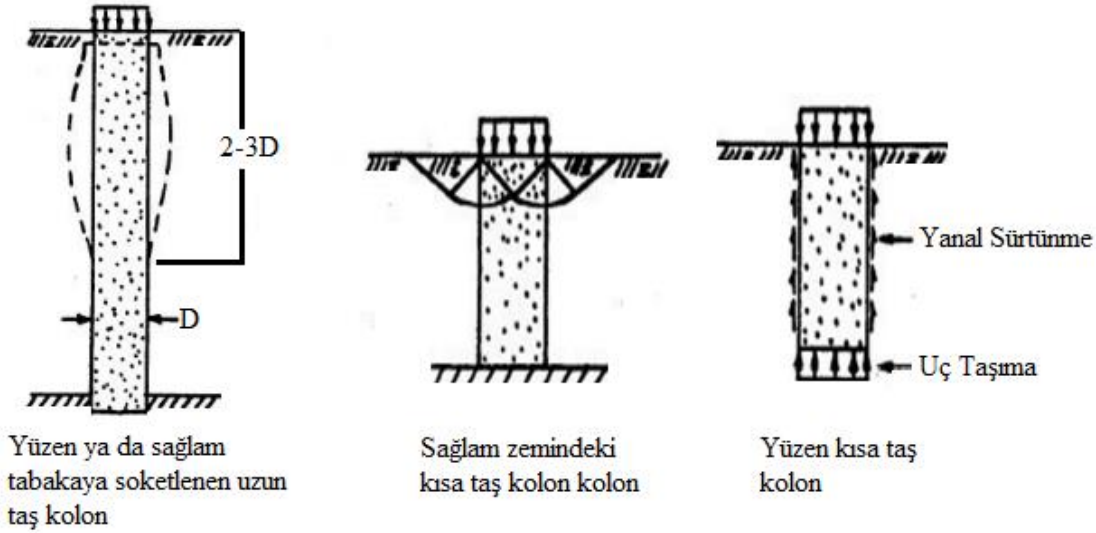
Barksdale ve Bachus taş kolonlar için yenilme mekanizmasını üç grupta sınıflandırmışlardır. Bu mekanizmalar yanal genişleme, makaslama ve zımbalama gerilmeleri olarak tanımlanmaktadır. Değişik yenilme mekanizmaları esas alınarak taş kolonun nihai taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik teorik çözümler getirilmiştir. Yanal genişleme için, Grenwood, Vesic, Hughes, Withers, Datye ve Madhav, makaslama (kesme) gerilmesi için Madhav, Vitkare, Wong, Barksdale, Bachus, zımbalama yenilmesi için ise Aboshi teorik çözümler sunmuşlardır (Sayraç ve diğ., 2014).

Taş kolonlar yerine geçtikleri doğal zeminden daha sağlamdırlar. Kolon malzemesinin kohezyonsuz olması sebebiyle kolonun sıklığı ve rijitliği, kolona zemin tarafından sağlanan yanal desteğe bağlıdır. Eğer bu destek yeterli değilse kolon aşırı yanal genişleme yaparak göçer. Zemin-kolon kompozit sisteminin stabilitesi ayrıca kolon ve onu çevreleyen zemin arasında kayma etkisinin (yüzey sürtünmesi) oluşup oluşmamasına bağlıdır. Geniş yükleme alanı altında kolonun kendisini çevreleyen zeminle eşit olmayan oturma yapması veya temel yükünün tamamının kolon tarafından taşınması durumunda zemin-kolon ara kesitinde kolon boyunca kayma gerilmeleri oluşur. Bu gibi durumlarda taş kolon, çevre sürtünmesi ve uç mukavemetinin aşılması ile kazıklarda görülen göçmeye benzer bir mekanizma ile göçer. Bu sebeplerden dolayı taş kolonlar hem göçme-şişme (aşırı yanal genişleme), hem de kayma yönünden analiz edilmelidir (Barksdale ve Bachus, 1983).

Yumuşak sıkışabilir zeminler, taş kolonlar ile iyileştirilmeleri durumunda iyileştirilmemiş durumda yapacakları oturmalarından çok daha az miktarda oturma yaparlar. Kolonun şişmesi, kolonlar arasında kalan zeminin yanal olarak sıkışmasına sebep olur ki bu da taş kolon için ilave çevre basıncı anlamına gelir. İyileştirilmemiş zeminle kıyaslandığında, nihai olarak düşey yöndeki hareketin azalması ile sonuçlanan denge konumuna ulaşılır. Kolonun rijitliğinin, kendisini çevreleyen zemininkinden oldukça yüksek olması sebebiyle uygulanan yükün büyük miktarı kolona transfer olur. Taş kolon tekniği ile iyileştirilen zeminin üzerine çoğunlukla kum-çakıldan oluşan granüler bir dolgu ya da yarı rijit donatılı zemin tabakası serilir. Bu örtü tabakası, zemin üzerinde bir kemerlenme oluşturarak yükün kolonlara aktarılmasını kolaylaştırır. Zamanla yumuşak zeminde meydana gelen oturma, oluşan negatif çevre sürtünmesi sayesinde daha fazla yükün zeminden kolona transfer olmasını sağlar ki bu da zeminin yapacağı toplam oturmada ilave bir azalma anlamına gelmektedir.

#### **2.4.1 Tekil taş kolonda göçme mekanizması**

Taş kolonlar yumuşak bir zeminin altında yer alan sert zemine ulaşarak uç kolonu olarak imal edilebildikleri gibi tüm boyun yumuşak zemin içinde kalması şeklinde de imal edilebilirler. Şekil 2.5’de tekil taş kolonun göçme mekanizmaları gösterilmiştir.



**Şekil 2.5:** Homojen zeminde tekil taş kolon göçme mekanizmaları(FHWA/RD-83/027)

Sağlam tabakaya soketlenen ya da yüzen taş kolonun boyunun kolon çapının 3~4 katından daha uzun olması durumunda, kolonun aşırı yanal genişleme yaparak göçtüğü tespit edilmiştir. Sağlam zemine ulaşan kısa boylu bir kolonda ise göçme yüzeye yakın kesimde taşıma gücünün aşılması sonucunda genel veya bölgesel göçme şeklinde meydana gelir. Yüzen taş kolon elemanının boyu çapın yaklaşık 2~3 katı olması durumunda ise göçme taş kolon elemanının ucunda taşıma gücünün aşılması ile olmaktadır (Barksdale ve Bachus, 1983). Bae ve diğ. (2002), taş kolon yenilme mekanizması üzerindeki parametre etkisini laboratuvarında model testler ile araştırıp, sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Tekil taş kolonların yanal genişleme yenilmesinin 1.6D ile 2.8 D arasındaki derinliklerde oluştuğu kolon taşıma kapasitesinde zeminin drenajsız mukavemetinin ve alan oranının etkili olduğu görülmüştür.

#### 2.4.2 Taş kolon grubu göçme mekanizması

Taş kolon grubu ile kıyaslandığında tekil kolonun taşıma gücü, gruptaki her bir kolonun taşıma güçlerinden biraz daha düşüktür. İmalatı tamamlanmış bir taş kolonun çevresinde diğer taş kolonların oluşturulması ile arada kalan zemin bu kolonlar ile çevrelenmiş, bu etki ile sıkıştırılmış ve böylece taş kolon grubu meydana gelmiş olur. Yüklemin geniş bir alanda yapıldığı durumlarda, sıkışabilir zemin ve taş kolonda meydana gelen oturmanın eşit olmaktadır (Hu, 1995). Şekil 2.6'da taş kolon gruplarındaki göçme mekanizmaları gösterilmiştir.



Ayrıca Hu 1995 yılında yumuşak zemin içerisindeki taş kolon gruplarında yaptığı model deneylerinde küçük taş kolon grubunun göçme davranışını yanal genişleme göçmesi olarak olduğunu Şekil 2.7’de göstermiştir.

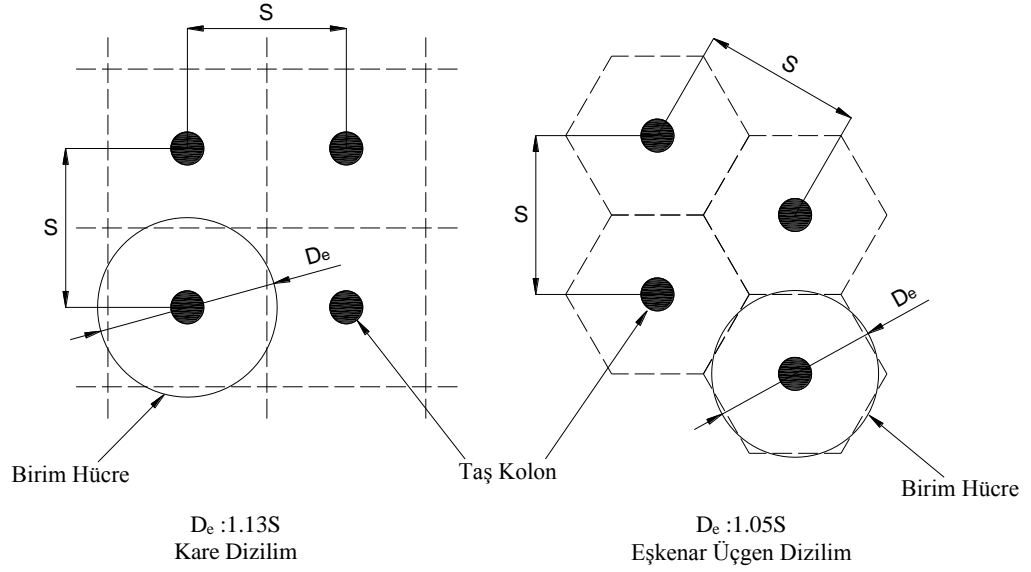
Taş kolonlar yumuşak killer içinde teşkil edildiğinde, yumuşak zeminin sağlayabildiği yanal basıncın düşüklüğü dolayısı ile üzerlerine büyük yükler alamamaktadır. McKenna vd. (1975) yumuşak killer içinde teşkil edilmiş taş kolonların kafalarının dağıldığını ve yumuşak kilin taşların arasına girdiğini rapor etmişlerdir. Açıktır ki, taşların boşluklarına yumuşak kil dolması, tıpkı demiryollarındaki balast malzemedeki olduğu gibi taşıma gücünü ve düşürmekte, deformasyonların artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yumuşak killer içinde taş kolon teşkili daha fazla taş malzeme sarfına yol açmaktadır. Bu sorunu aşabilmek içinilerleyen teknoloji ile, granül malzeme etrafına geosentetik kılıf yerleştirilmesi fikri geliştirilmiştir. Geosentetik kılıflı taş kolonun taş kolondan tek farkı, etrafında geosentetik bir donatı malzemesi olmasıdır. Bu sayede yanlara doğru yayılmak isteyen granül malzemeyi artık sadece kohezyonlu zemin değil, esas olarak geosentetik donatı sınırlandırmaktadır (Güler, 2014).

## **2.5 Birim Hücre Kavramı**

Han ve Ye 2001 yılında yaptığı çalışmada taş kolonlar ile güçlendirilmiş bir zeminin yük-oturma davranışında grup etkisinin simüle edilebilmesi için her bir kolon ile birlikte çalışan zemin sınır koşullarını sağlayan bir birim hücre olarak değerlendirmişlerdir.

- Birim hücrenin dairesel sınırı, rijit ancak tam pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Böylece dairesel sınır yanal yer değiştirme yapmaz ve sınırda kayma gerilmeleri oluşmaz.
- Birim hücredeki kolon ve zeminin düşey oturmaları eşittir. Ancak kolon ile zemin arasındaki sıkılık farkı gerilmelerin kolon üzerinde konsantre olması sonucunu doğurur.

Birim hücreyi oluşturan taş kolonun kare ve eşkenar üçgen şekillerindeki dizilimleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.8:** Taş kolon dizilimleri (Han ve Ye, 2001)

Birim hücreyi oluşturan dairenin eşdeğer efektif çapı ( $D_e$ ) kare ve eşkenar üçgen dizilimi için sırasıyla;

$$D_e = 1.13s$$

$$D_e = 1.05s$$

olarak bulunur. Burada  $s$  taş kolonlar arası mesafedir. FHWA tarafından 1983 yılında yayınlanan bildiride zemin ve taş kolondan oluşan  $D_e$  çapına sahip alan ise birim hücre olarak adlandırılmaktadır. Taş kolon-zemin yapısının analizi aşağıdaki parametrelere bağlı olarak yapılır. (Sayraç ve diğ., 2015)

- Kolon çapı,
- Yerleşim düzeni,
- Kolon dolgu malzemesinin kayma mukavemeti açısı,
- Alan yer değiştirme oranı,
- Kolon zemin arasındaki gerilme konsantrasyon oranı,
- Kolonun ve zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışı (Oturma azaltım oranı).

Kolon çapı, kolon dolgu malzemesinin kayma mukavemeti açısı ve taş kolonların yerleşimi daha önceki bölümlerde anlatılmıştır.

#### Alan Yer Değiştirme Oranı :

Taş kolonun imalatı sırasında yerine geçtiği zemin miktarı, iyileştirilmiş zeminin performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Yer değiştirtilen zeminin oranı, taş

kolonun kesit alanının birim hücrenin toplam alanına oranı olarak hesaplanan alan yer değiştirme oranı ( $a_s$ ) ile tanımlanır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$a_s = \frac{A_{st}}{A} \quad (2.1)$$

Bağıntıdaki  $A_{st}$  kolonun kesit alanını,  $A$  ise birim hücrenin alanını ifade etmektedir.

#### Gerilme Konsantrasyon Oranı:

Taş kolon ile iyileştirilmiş zemine yük uygulandığında, zemin ile kolon uygulanan bu yükü relatif sıklıkları oranında, kolonların toplam kesit alanının tüm alana olan oranına ve kolonların yerleşim aralıklarına bağlı olarak paylaşırlar. Bir grup taş kolonla iyileştirilmiş üniform yüklü temel zemininde gerilme konsantrasyon oranı kolondaki düşey gerilmenin zemindeki düşey gerilmeye oranı olarak tanımlanır ve;

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \quad (2.2)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada  $\sigma_s$  taş kolon içerisinde oluşan düşey gerilmeyi,  $\sigma_c$  ise zeminde oluşan düşey gerilmeyi ifade etmektedir.

Tüm yükleme alanında oluşan ortalama gerilme  $\sigma$  ile ifade edilirse denge koşulundan bu gerilmeler;

$$\sigma = \sigma_s \times a_s + \sigma_c \times (1 - a_s) \quad (2.3)$$

$$\sigma_c = \sigma / [1 + (n - 1) \times a_s] = \mu_c \times \sigma \quad (2.4)$$

$$\sigma_s = (n \times \sigma) / [1 + (n - 1) \times a_s] = \mu_s \times \sigma \quad (2.5)$$

ifadeleri ile hesaplanır. Burada  $\mu_c$  ve  $\mu_s$  sırası ile zemin ve taş kolon için gerilme oranlarını ifade etmektedir. Munfakh (1981) tarafından kolon/zemin gerilme konsantrasyon oranı için 2~6 arasında (çoğu durumda 3~4 arasında) bir değer önerilmiştir. Arazide yaptığı test ve ölçümler sonucunda Aboshi (1979), sabit yük altında meydana gelen konsolidasyon süresince gerilme konsantrasyon oranının arttığını ortaya koymuştur. Munfakh (1984) ise kolonların üzerlerine basınç hücreleri yerleştirmek suretiyle yaptığı bir çalışma sonucunda, imalatın tamamlanmasının hemen sonrasında 2.5~3.5 civarında olan gerilme konsantrasyon oranlarının konsolidasyonun tamamlanmasının ardından 4~5'e yükseldiğini ortaya koymuştur.

### Oturma Azaltım Oranı:

Taş kolon uygulamalarının temel amaçlarından birisi iyileştirilmiş zeminde oluşacak oturmaların azaltılmasıdır. Bu kavram oturma azaltım oranı ( $\beta$ ) ile tanımlanır ve aynı yükleme koşullarında iyileştirilmiş zeminin oturmasını iyileştirilmemiş zeminin oturmasına oranlanması ile elde edilir.

$$\beta = S' / S \quad (2.6)$$

Burada S' iyileştirilmiş zeminin oturmasını, S ise iyileştirilmemiş zeminin oturmasını ifade etmektedir. Bu değer 0.17 ile 1 arasında bir değer olmaktadır ve oturma azaltım oranı küçüldükçe iyileştirme yapılan zemindeki oturmalar azalmaktadır. (Barksdale ve Bachus, 1983).

## **2.6 Taş Kolonların Elemanlarında Taşıma Gücü**

Taş kolonlar ile iyileştirilmiş temel zeminlerinin nihai taşıma gücünün tahmini için geliştirilmiş olan metotların büyük kısmı boşluk genişleme teorisi ve limit durum analizlerinden geliştirilmiştir.

### **2.6.1 Tekil taş kolonun taşıma gücü**

Ucu yumuşak tabakada kalacak şekilde yüzen sistem olarak tasarlanan veya ucu sağlam tabakaya kadar uzatılan taş kolonlarda, kolonun boyunun çapına oranı 4-6'ya eşit ya da daha büyük ise genellikle taş kolonda yanal genişleme şeklinde göçme meydana gelmektedir. Yumuşak tabakada çevrelenmiş tekil bir taş kolonun nihai taşıma gücünün tahmini için ortaya konmuş yöntemlerin bir kısmı kolonda üç eksenli gerilme durumunun geçerli olduğunu ve kolon ile zeminin limit gerilme durumunda olduğunu varsayar.

Bu yöntemlerde taş kolonu destekleyen yanal çevre gerilmesi ( $\sigma_3$ ), kolonu çevreleyen zeminde mobilize olup kolonun yanal genişlemesine engel olan nihai pasif direnç olarak alınır. Kolonun limit gerilme durumunda olduğu kabul edildiğinde, kolonun taşıyabileceği gerilme ( $\sigma_1$ ), kolonun pasif toprak basıncı katsayısı ( $K_{ps}$ ) ile yanal çevre basıncı ( $\sigma_3$ )'ün çarpımına eşittir.

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = K_{ps} = \frac{1 + \sin \phi_{st}}{1 - \sin \phi_{st}} \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir ve burada  $\phi_{st}$ , kolonun kayma mukavemeti açısıdır.

Hughes ve Withers (1974) taş kolonda zemine doğru meydana gelen yanal genişlemenin presiyometre testinde gelişen yanal boşluk genişlemesi ile benzer özellikler taşıdığını düşünmüşlerdir. Limit durumdaki çevre basıncının tahmini için, sürtünmesiz bir malzemede elasto-plastik boşluk genişleme çözümünü kullanarak;

$$\sigma_3 = \sigma_o + c_u \times \left[ 1 + \ln \left( \frac{G}{c_u} \right) \right] \quad (2.8)$$

ifadesini ortaya koymuşlardır. Burada;

$\sigma_3$  : Drenajsız nihai yanal çevre gerilmesi

$\sigma_o$  : Başlangıçta arazideki yanal gerilme

G : Zeminin kayma modülü =  $E/[2(1+\nu)]$

E : Zeminin elastisite modülü

$c_u$  : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti

$\nu$  : Zeminin poisson oranı

Kolondaki limit hal gerilmeleri düşünüldüğünde kolonun nihai taşıma gücü ise;

$$q_{ult} = \left\{ \sigma_o + c_u \times \left[ 1 + \ln \left( \frac{G}{c_u} \right) \right] \right\} \times K_{ps} \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilebilir ve bu da yaklaşık olarak;

$$q_{ult} = (\sigma_o + 4c_u) \times K_{ps} \quad (2.10)$$

değerine eşittir.

Vesic 1972 yılında hem sürtünmeli, hem de kohezyonlu zeminler için boşluk genişlemeli elasto-plastik bir çözüm ortaya koymuştur. Boşluk genişleme basıncının nihai yanal kapasitesi ( $\sigma_3$ ) ;

$$\sigma_3 = F_c' \times c_u + F_q' \times q \quad (2.11)$$

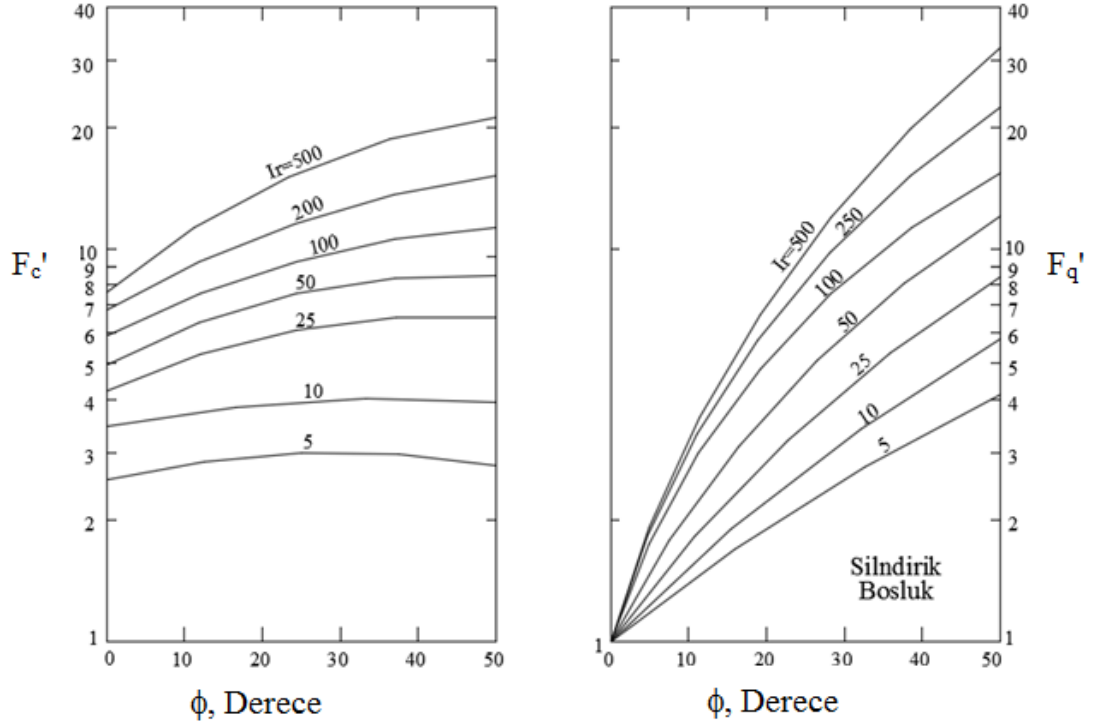
şeklinde hesaplanabilir. Burada

q : Hesap yapılan derinlikteki ortalama gerilme  $(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$

$F_c'$   $F_q'$  : Boşluk genişleme katsayısı

$c_u$  : Drenajsız kayma mukavemeti

değerlerini göstermektedir.  $F_c'$  ve  $F_q'$  nun belirlenmesi için oluşturulmuş abak Şekil 2.9'da verilmiştir.



**Şekil 2.9:** Boşluk genişleme faktörleri (Juran ve diğ., 1988)

Bu katsayılar kolonu çevreleyen zeminin kayma mukavemeti açısına ve rijitlik indisine bağlıdır. Rijitlik indisi;

$$I_r = \frac{E}{2(1+\nu)(c+qtg\phi)} \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir. 2.11 no.'lu eşitlikten elde edilen  $\sigma_3$  kullanılarak kolonda nihai düşey gerilme;

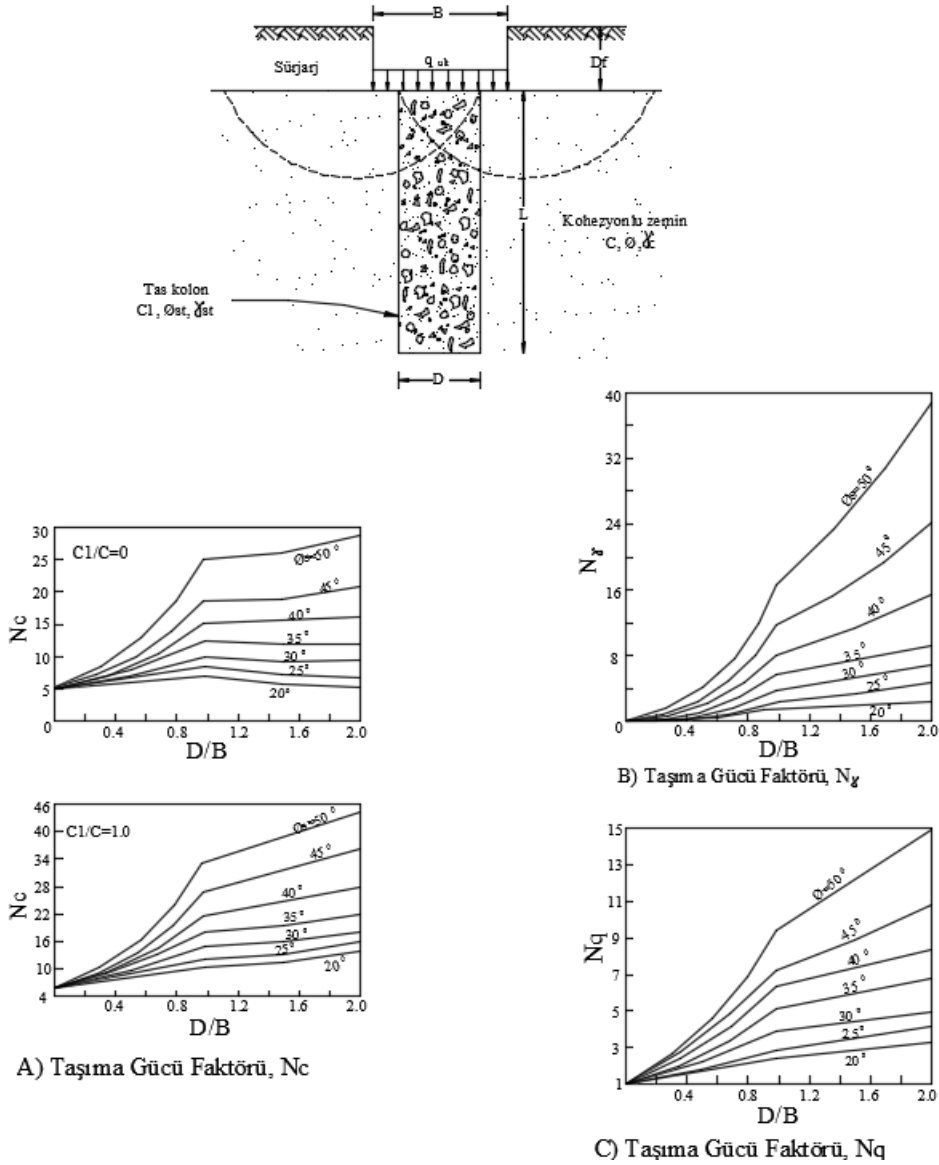
$$q_{ult} = (F_c' \times c_u + F_q' \times q) \times K_{ps} \quad (2.13)$$

olarak bulunabilir.

### 2.6.2 Kısa taş kolonların nihai taşıma gücü

Boyu çapının 2-3 katından az olan taş kolonlar kısa kolonlarda göçme, kolonda ya da zeminde, genel veya bölgesel olarak taşıma gücünün aşılması şeklinde ortaya çıkar. Oluşabilecek bir diğer göçme mekanizması ise alttaki yumuşak zemine doğru bir zımbalama göçmesidir. Zımbalama göçmesi için taşıma gücü hesabı, klasik kazık

tasarım metotları ile birlikte kolonun uç taşıma gücü ve yanal çevre sürtünmesi hesabı yapılarak bulunur.



**Şekil 2.10:** Taş kolonda şerit yükleme durumunda taşıma gücü katsayıları (Juran ve diğ., 1988)

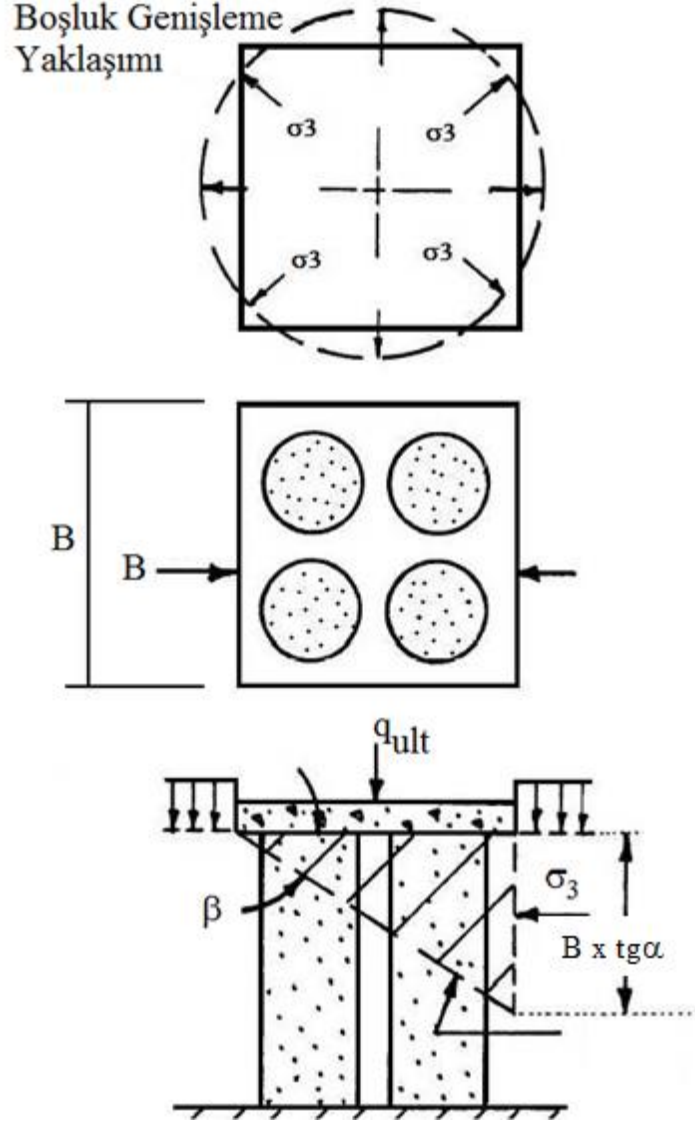
Genel göçme ise örtülü sürşarj etkisinin minimum olduğu yüzeyde olur. 1978 yılında Madhav ve Vitkar sürtünmesiz zeminde granüler malzeme doldurularak oluşturulan hendekler için bir düzlem şekil değiştirme çözümü geliştirmişlerdir. Yük granüler malzemeli hendeğe ya da komşu yumuşak zemine uygulanabilir. Bu durumda şerit yükleme için taşıma gücü;

$$q_{ult} = c_u \times N_c + (\gamma \times B / 2) \times N_\gamma + \gamma \times D_f \times N_q \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilir ki burada  $N_\gamma$ ,  $N_c$  ve  $N_q$  Şekil 2.10'dan bulunabilecek taşıma gücü katsayılarını, B ise temel genişliğini göstermektedir.

### 2.6.3 Taş kolon gruplarının nihai taşıma gücü

Taş kolon grubunun üzerinde bulunan kare, şerit temelin nihai taşıma gücü limit denge yöntemi ile analiz edilebilir. Barksdale ve Bachus tarafından bu amaçla yapılan bir çalışmada hızlı yükleme yapılarak kohezyonlu zeminde drenajsız kayma mukavemeti parametrelerinin geçerli olması sağlanmıştır. Taş kolon ise kohezyonsuzdur (Etezad ve diğ. 2015).



Şekil 2.11: Taş kolon grup analizi (Barksdale ve Bachus, 1983).

Şekil 2.11'de gösterilmiş olan beklenen göçme yüzeyi üçgen bir blok oluşturur. Kayma yüzeyi boyunca zeminin ve kolonun kayma direnci tamamıyla mobilize olur. Kompozit sistemin alabileceği nihai gerilme ( $q_{ult}$ ), yanıl pasif toprak basıncına ( $\sigma_3$ ) ve kayma düzlemi boyunca oluşan kompozit sistemin kayma direncine bağlıdır. Bloğun kuvvet dengesi göz önünde alındığında;

$$q_{ult} = \sigma_3 \times tg^2 \alpha + 2c_{avg} \times tg \alpha \quad (2.15)$$

Bağıntı ile taş kolon gruplarının nihai taşıma gücü elde edilir. Buradaki;

$$c_{avg} = (1 - a_s) \times c_u \quad (2.16)$$

$$\alpha = 45 + \phi_{avg} / 2 \quad (2.17)$$

$$\phi_{avg} = \tan^{-1}(\mu_s \times a_s \times \tan \phi_{st}) \quad (2.18)$$

$$\sigma_3 = \frac{\gamma_n \times B \times \tan a}{2} + 2c_u \quad (2.19)$$

ifadeleri ile hesaplanır.

$\alpha$  : Göçme yüzeyin eğimi

B : Temel genişliği

$c_u$  : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti

$\mu_s$  : Taş kolon için gerilme oranı

$\sigma_3$  : Boşluk genişleme basıncının nihai yanıl kapasitesi

Taş kolonların nihai taşıma gücünün hesaplanması için önerilen bu yöntemde; temel şekli, temel boyutları, taş kolonun kayma mukavemeti açısı, taş kolonla iyileştirilmiş zeminin kayma dayanımı, taş kolonu çevreleyen zeminin rijilik modülü ve üzerine etkileyen jeolojik gerilme dikkate alınmaktadır.

## 2.7 Taş Kolon Elemanlarında Oturma Analizi

Barksdale ve Bachus 1983 yılında yaptığı taş kolonların oturma analizi için, bir boyutlu konsolidasyon teorisi ile gerilme faktörünü ve birim hücre kavramını birleştirerek, denge yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için geçmiş tecrübeler ve yapılmış olan arazi ölçümleri kullanılarak gerilme konsantrasyon oranı (n) tahmin edilmelidir. Herhangi bir iyileştirme uygulanmamış yumuşak zeminde meydana gelecek oturma;

$$S = H \times m_v \times \sigma \quad (2.20)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada H sıkışabilir tabaka kalınlığını,  $m_v$  ise hacimsel sıkışma katsayısını göstermektedir.

İyileştirilmiş zeminde ise, zemin ile kolonun eşit oturma yapacağı varsayımından, beklenen oturma;

$$S' = H \times m_v \times (\mu_c \times \sigma) \quad (2.21)$$

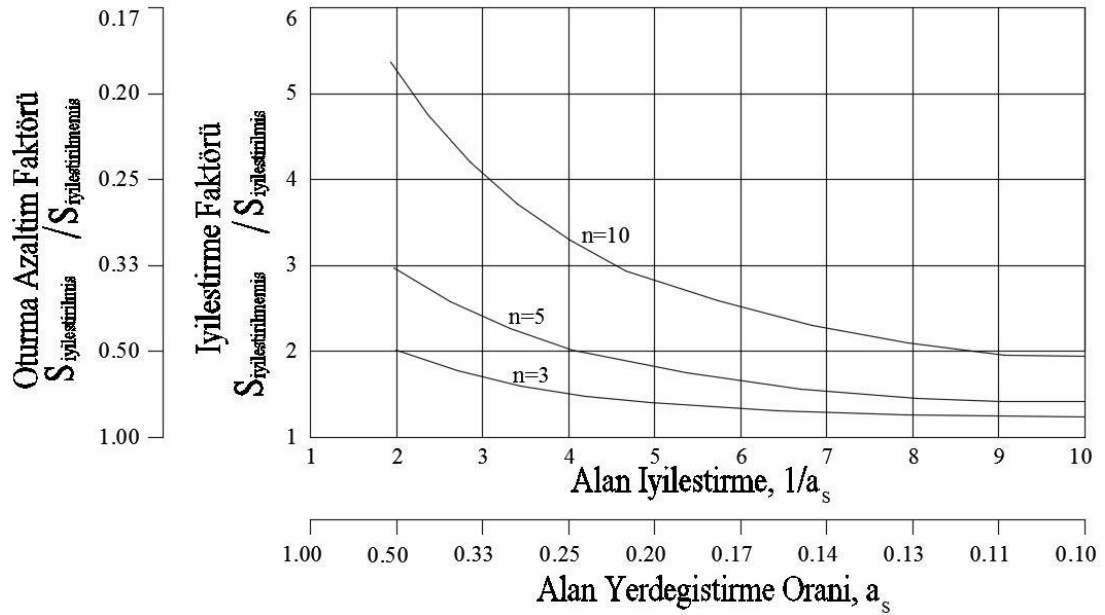
şeklinde hesaplanır.

Burada  $\mu_c \times \sigma$  zemindeki düşey gerilmeyi göstermektedir. Dolayısıyla iyileştirilmiş zemin oturma miktarı;

$$S' = \mu_c = 1 / [1 + (n-1) \times a_s] \quad (2.22)$$

şeklinde hesaplanır.

Barksdale ve Bachus tarafından yapılan çalışmada farklı alan yer değiştirme oranları ve gerilme konsantrasyon oranlarına karşılık oturma azaltım oranının değişimi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 2.12'de verilmiştir.



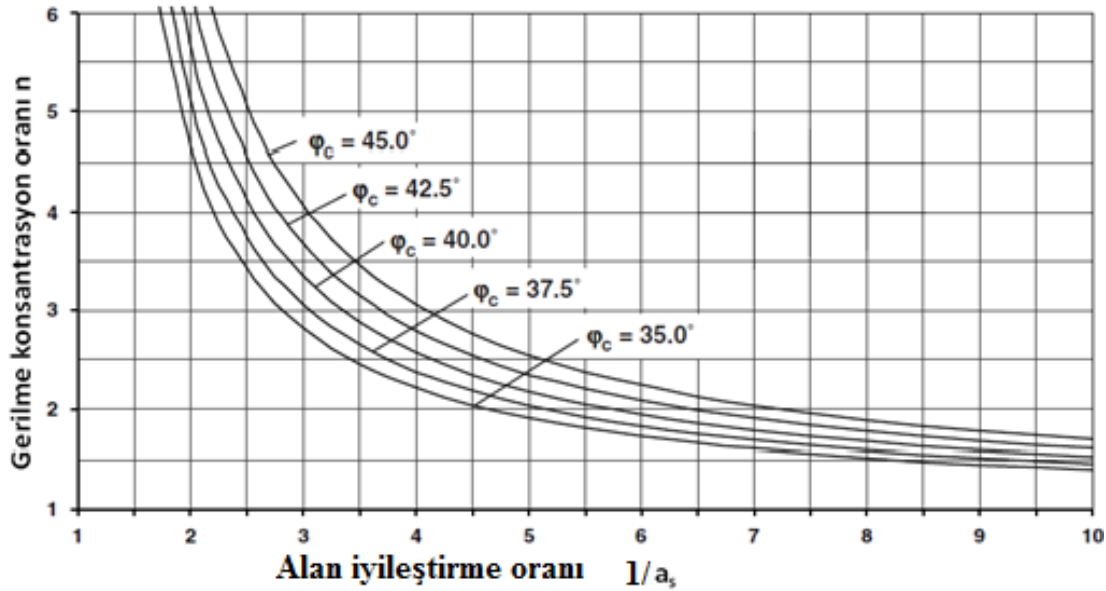
**Şekil 2.12:** Oturma azaltım faktörü (Barksdale ve Bachus, 1983).

Taş kolonlar ile iyileştirilmiş zeminlerdeki oturma azaltımının hesabı amacıyla Priebe tarafından geliştirilmiş olan yöntem birim hücre için aşağıdaki kabulleri yapmaktadır:

- Taş kolon rijit, plastik ve sıkışmaz olarak kabul edilir.
- Zemin idealize bir malzeme olarak kabul edilmiştir.

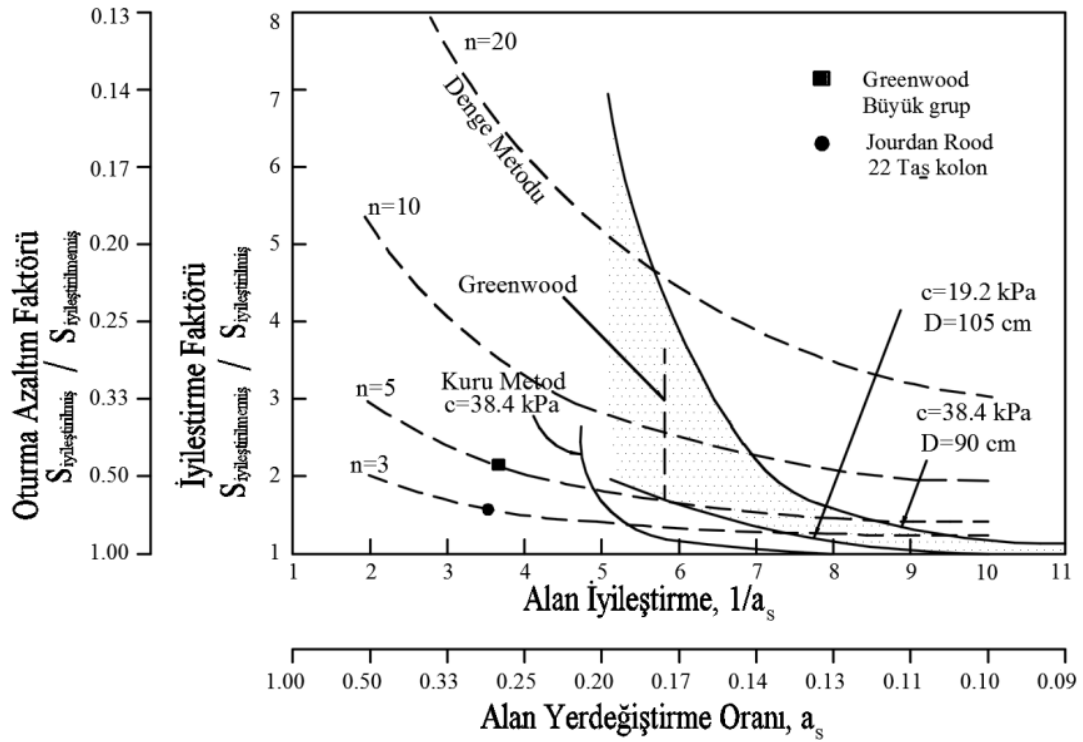
- Zemin ile kolonun düşey oturmaları eşittir.
- Zeminde ve kolonda üniform gerilme durumu geçerlidir.
- İmalat yönteminin yarattığı yoğrulma etkisi ile zemin viskoz bir sıvı gibi davranır, dolayısıyla eş yönlü (izotropik) bir gerilme hali geçerli olur.
- Kolonun ucu sert zemine soketlenmelidir.
- Kolonun sıkışmaz olarak kabul edilmesi sebebiyle, zeminin hacmindeki değişim kolonun düşeydeki kısılması ile ilgilidir.

Priebe vibro yer değiştirme yöntemi ile yapılan taş kolonlarda gerilme konsantrasyon oranını, alan yer değiştirme oranı ile taş kolonun kayma mukavemeti açısı ( $\phi_{st}$ )'nın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Priebe tarafından geliştirilen tasarım eğrisi Şekil 2.13'de görülmektedir. Priebe metodu ile oturma azaltım etkisi bir miktar fazla tahmin edilmektedir.



**Şekil 2.13:** Vibro yer değiştirme yöntemi ile yapılan taş kolonlarda gerilme konsantrasyon oranı (Priebe, 1995).

Taş kolonlar ile iyileştirilmiş zeminde oluşan oturma azaltımını, zeminin drenajsız kayma mukavemeti ve kolon yerleşim aralıkları cinsinden veren bir takım ön amprük eğriler Greenwood tarafından ortaya konmuştur. Bu eğrilerin Barksdale ve Bachus tarafından yeniden düzenlenmiş hali Şekil 2.14'de verilmiştir ve burada kolon yerleşim aralıkları yerine alan yer değiştirme oranı kullanılmıştır. Şekilde ayrıca karşılaştırma amacıyla gerilme konsantrasyon oranlarının ( $n$ ) 3, 5, 10 ve 20 değerleri için denge metodu ile elde edilen sonuçlara da yer verilmiştir.



**Şekil 2.14:** Oturma azaltım faktörü (Greenwood yöntemi).

Vibro yer değiştirme metodu ve 20 kN/m<sup>2</sup>'lik kayma mukavemeti genellikle n = 3~5 aralığında gerilme konsantrasyon oranlarına karşılık gelir ki bu değerler denge metodu ile de tahmin edilenlerle aynıdır.

## 2.8 Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin İyileştirilmesi

Sıvılaşma kısaca deprem durumunda geçici ve tekrarlı yüklerle yeraltı su seviyesi altındaki kumlu ve siltli zeminlerin boşluk suyu basıncının artmasına bağlı olarak mukavemet kaybı olarak adlandırılmaktadır (Seed ve Idriss, 1971). Sıvılaşmanın belli başlı etkileri arasında deprem esnasında ve sonrasında oluşan zemin taşıma gücü kayıpları, oturmalar, şevli arazilerde yanal zemin ötelenmeleri, istinat duvarları arkasındaki toprak itkilerinde artış ve zemine gömülü boru ve servis hatlarının deformasyonları sayılabilir. Geçmişte Niigata ve Alaska (1964) depremlerindeki gözlemler akademik alanda ilgiyi bu konu üzerine çekmiş, sıvılaşma riskinin tespitine yönelik çalışmalar yapılmış ve Kobe (1995) depremi ile özellikle kullanılan zemin ıslah yöntemlerinin etkinliği gündeme gelmiştir (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003).

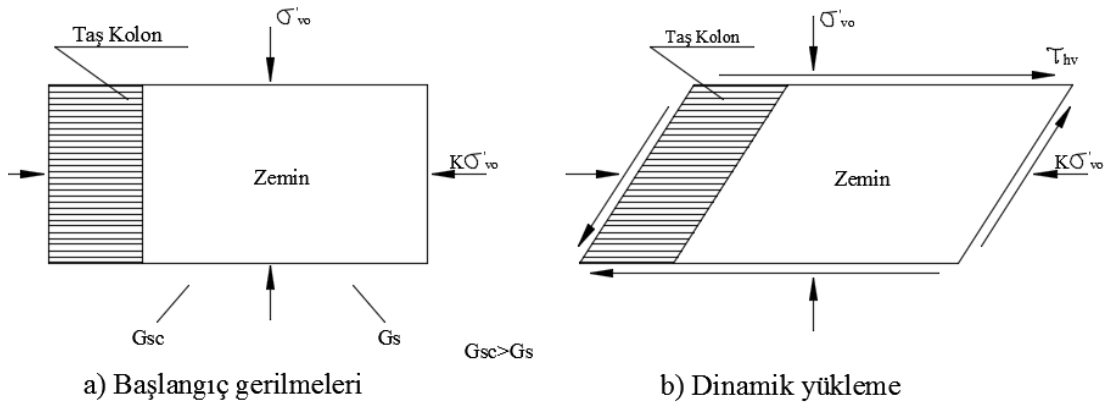
Sıvılaşmanın oluşmasını engellemek ya da oluşturacağı hasarları en aza indirmek, bu riski taşıyan zeminlerin sıkılaştırılması ve/veya yeni drenaj yolları oluşturularak boşluk suyu basınçlarını oluşumlarından daha hızlı şekilde dağıtılması ile mümkündür.

Sıvılaşma riskinin azaltılması amacıyla uygulanabilecek diğer bir yöntem zemin tarafından karşılanan kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla çevre basıncının artırılması ve zeminde güçlendirme yapılmasıdır.

Taş kolon tekniğinin sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde yapılan iyileştirmelerde kullanımı özellikle son on yılda önemli boyutta artış göstermiştir. Taş kolonlar yüksek hidrolik geçirgenlikleri dolayısıyla, zemin içinde aynı zamanda dren olarak görev yapabilmektedir. Ayrıca, taş kolonların teşkili sırasında kolonlar arasındaki zemin de sıkıştığından kolon teşkili sonrası ara zeminde kısmen ıslah edilmiş olmaktadır. Bu iki husus, bu tip kolonların deprem yükleri altında sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının artırılmasında dünyada çok yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. (Durgunoğlu, 2004).

İmalat tekniği sebebiyle taş kolon malzemesi ile yerel zemin arasında bir karışma meydana gelir ve bu da taş kolonun permeabilitesini etkiler. Dolayısıyla taş kolonların permeabilitelerinin teorik olarak tayini tam olarak mümkün değildir. Bunun tayini için arazide pompaj testleri yapılmalı ya da imal edilmiş taş kolonlardan alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmelidir. Farklı imalat metodları ve farklı taş kolon malzemeleri kullanılarak imal edilen taş kolonlar üzerinde gerek laboratuvar, gerekse arazi testlerinin yapıldığı bir çalışma sonucunda, imalat metoduna bağlı olmaksızın iyi derecelenmiş malzeme ile imal edilen taş kolonların geçirimsizliğinin kötü derecelenmiş dolgu ile imal edilenlerden %50 civarında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Baez 1995 yılında hazırladığı çalışmada sıvılaşma riskinin azaltılmasını amaçlayan uygulamalarda taş kolonun geçirimsizliğinin yerel zeminin geçirimsizliğinden en az iki merteye yüksek olması, uygulamanın başarısı açısından yerine getirilmesi gereken bir kriter olarak belirtmiştir.

Yapılan araştırmalar zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin azaltılmasında, taş kolonların sismik kayma gerilmelerini yeniden dağıtmak suretiyle etkili olduğunda ortaya koymuştur (Baez, 1995). Zeminde taş kolonların imali ile ilk durumdaki gerilme koşulları ve sıklıktaki değişim sebebiyle deprem durumundaki yük koşulları etkilenir. Deprem sonucunda oluşan kayma gerilmelerinin etkisi ile zemin ve kolon birlikte deforme olur ve bu iki birimin sıklıklarındaki farklılık sebebiyle kayma gerilmeleri yeniden dağılır. Bu durum Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.15:** Kompozit sistemde oluşan kayma gerilmeleri ve yeniden dağılım (Baez,1995).

Kayma gerilmeleri zemine göre daha sıkı ve sağlam olan taş kolon üzerinde yoğunlaşır ve zemine etkileyen kayma gerilmelerinde önemli derecede azalma olur. Taş kolon tekniği ile iyileştirilmiş zeminde yeniden dağılım sonunda oluşan kayma gerilmeleri bir matematik model kullanılarak hesaplanabilir. Kayma gerilmelerin elemanların sıklıklarına bağlı olarak dağılımını belirleyen bu model, oluşan kayma gerilmeleri altında kolonun ve komşu zeminin eşit deformasyonlar yaptığını kabul etmektedir. Kayma gerilmesindeki azalma ( $\tau_s$ ), kolon ile zemin arasındaki kayma modülü oranının ( $G_r$ ) ve alan yer değiştirme oranının ( $A_s$ ) fonksiyonu olarak hesaplanır. Analiz;

$$\tau_s = (1/G) \times \left[ \frac{\tau}{A_s} + 1/G_r \times (1 - A_s) \right] \quad (2.23)$$

ya da

$$A_s = 1/(G_r - 1) \times \left[ \frac{\tau}{\tau_s} - 1 \right] \quad (2.24)$$

ifadeleri kullanılarak yapılır.

Sıvılaşma potansiyeline sahip olup taş kolon tekniği ile iyileştirilmelerinin ardından depreme maruz kalan bazı sahalarda, deprem sonrası durumun tesbiti ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Mitchell ve Wentz 1989'da meydana gelen 7.1 şiddetindeki deprem sonrasında, Baez ise 1995'te meydana gelen 6.8 şiddetindeki Norridge depremi sonrasında, taş kolon tekniği ile iyileştirilen sahalarda yaptıkları çalışmalar neticesinde, zeminde sıvılaşma meydana gelmediği ve iyileştirme yapılan sahalarda

yer alan yapılarda sıvılaşma sonucunda oluşan tipte bir hasarın meydana gelmediğini ancak iyileştirilmeyen sahalarda bu tip hasarların gözlemlendiğini rapor edilmiştir.

## 2.9 Kalite Kontrol

Taş kolonların imalat tekniği performanslarını belirli bir ölçüde etkilemektedir. Taş kolonların performansları üzerinde önemli olan ve imalat süresince değerlendirilmesi gereken bazı hususlar şu şekilde sıralanabilir:

- Taş kolonun imalat çapı,
- Kolon yüzünden zemin süzülmesinin kolonun permeabilitesine ve imalat tamamlandığındaki sürtünme direncine etkisi,
- Taş kolonun yerleştirilmesinin, kolonu çevreleyen zemin ve daha önce imal edilmiş kolonlar üzerindeki etkisi.

İmal edilen her kolon için kullanılan taş kolon malzemesi ile kolon boyu arasındaki oranın kaydedilmesinin elde edilen gerçek kolon çapının belirlenmesi açısından önemi büyüktür. İşin tamamlanmasının ardından oluşturulmuş olan toplam kolon hacmi, sarfedilen toplam malzeme ile yüzeydeki toplam zayıflığın farkı belirlenerek bulunabilir.

Taş kolonların performansı aletsel gözlemler, arazi testleri ve çıplak gözlemlerle değerlendirilebilir. Taş kolon imalatını yapıldığı yerde ve çevresindeki zeminde meydana gelen kabarmaların gözlemlenmesi zeminde meydana gelen örselenme hakkında fikir verebilir. İmal edilen taş kolonların arasındaki zeminde yapılacak koni penetrasyon deneyleri (CPT), zeminde taş kolon imali ile ulaşılan iyileştirmenin değerlendirilmesi açısından oldukça faydalı bilgiler vermektedir. İyileştirilmiş zeminin yüzeyinde temel yüklemesini temsil edecek şekilde yapılacak yükleme deneyleri, kolonun taşıma gücü ve oturma davranışının belirlenebilmesi amacıyla uygulanabilecek en etkin yöntemlerden birisidir. Taş kolon yükleme testleri:

- Sadece taş kolonun yüklenmesi,
- Bir taş kolonun ve onu çevreleyen zeminin (birim hücrenin) yüklenmesi,
- Taş kolon grubu ve bunları çevreleyen zemin üzerinde tam ölçekli temel yüklemesi şeklinde uygulanabilir.

Son yıllarda bu metotlardan özellikle üçüncüsü yaygın olarak uygulanır olmuştur. Genellikle 1.5 - 2.4 m. arasında değişen kenar boyutlarında (taş kolonların yerleşimine bağlı olarak) çelik ya da betonarme bir kare temelin iyileştirilmiş zemin üzerine yerleştirilmesi ve bu temel üzerine hidrolik bir krikonun merkezlenerek bir sabit çelik kiriş ya da ölü ağırlıktan yararlanılarak zeminin yüklenmesi suretiyle gerçekleştirilir. Yüklemeyle birlikte temelin oturması gözlenerek iyileştirilen zeminin taşıma gücü ve oturma karakteristikleri saptanır. Yüklemenin %25'lik arttırmaları tasarımı yükünün %150'sine kadar çıkartılması genel olarak uygulanan bir yöntemdir. Maksimum yüklemeye ulaşıldıktan sonra bu yük kademesinde oturma hızı 0.025 mm/saat'in altına düşünceye kadar beklenir ve ardından yük yine belirli düşümlerle boşaltılır.

Taş kolonlarla desteklenmiş dolguların performansının imalat sırasında ve sonrasında gözlemlenmesi amacıyla geoteknik aletsel ölçümler uygulanabilir. Bu amaçla yapılacak gözlemlerde genellikle oturma ölçerler kullanılır ve iyileştirilmiş zeminin yatay ve düşey hareketleri ile konsolidasyon hızı belirlenebilir. Ayrıca kolon üstleri ile kolonlar arasındaki zemin yüzeyine basınç hücreleri yerleştirilerek kolonda ve iyileştirilmiş zemindeki gerilme oranları belirlenebilir.

## **2.10 İmalat Yöntemlerinin Avantaj ve Sınırlamalarının Karşılaştırılması**

Taş kolonların imalat metotlarının genel bir karşılaştırılması yapıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir.

- Vibro yer değiştirme metodunda deliğin stabilitesinin sağlanması için kılıfa gereksinilmez ve dolayısıyla imalat hızı tokmıklama metodundan yüksektir.
- Vibro yer değiştirme yönteminin ıslak üstten beslemeli yöntemde büyük miktarda su gereksinimi vardır. Dolayısıyla ince zemin daneleri içeren su kullanımı kirlilik problemi yaratabilmektedir. Kuru dipten beslemeli yöntem ise temiz bir yöntemdir. Bu sebeple kuru metot, yeraltı su seviyesinin düşük olduğu ve zemin mukavemetinin yüksek olduğu sahalarda uygulanabilir. Su kaynaklarının kısıtlı olduğu, kirlilikle ilgili kısıtlamaların olduğu ve zemin özelliklerinin kuru metodun uygulanmasına izin verdiği sahalarda alttan beslemeli yöntem iyi bir alternatif olmaktadır.



### 3. KONİ PENETRASYON DENEYİ (CPT)

Koni Penetrasyon Deneyi (CPT), Hollanda'da 1930'lu yıllarda ilk olarak kullanılmaya başlanmış ve geliştirilmiştir. Önceleri Batı Avrupa'da kullanılan deney, daha sonra ABD'ye ve dünyaya yayılmış, şu anda dünya çapında kullanılan en yaygın arazi deneylerinden biri olmuştur. Koni penetrasyon deneyi çelik bir sondanın sabit hızla zemine sokularak zeminin gösterdiği direncin ölçülmesi ile gerçekleştirilir. CPT, derinlikle beraber sürekli veri sağlaması ve hızlı bir deney olması sebebiyle günümüzde zemin etütleri ve temel mühendisliği değerlendirmelerinde son derece tercih edilen deneydir. CPT çok yumuşak killerden sıkı kumlara kadar tüm zemin grubu için uygun olmakla beraber, çakıllar ve kayaç içeren malzemeler için uygun değildir. Robertson ve Campanella 1988 yılında CPT'nin zemin araştırmalarındaki rolünü 3 ana grupta toplamıştır:

- Zemin tabakalaşması ve tabakaları belirlemek (tabaka değişimleri ve tabakaların kalınlıkları, tabakaların fiziksel ve mekanik özellikleri, zemin cinsi vb.)
- Zemin tabakalarına ait geoteknik parametrelerin tayini ( $D_r$ ,  $\phi$ ,  $c_u$ ,  $k$  vb.)
- Geoteknik tasarım için direkt sonuçlara ulaşmak (sığ temellerin ve kazıklı temellerin taşıma gücü ve oturma miktarlarının tespiti, siltli ve kumlu zeminlerde sıvılaşma, uygulanan zemin iyileştirmenin kontrolü vb.). Çizelge 2.1'de 2009 yılında Toğrol ve Sivrikaya tarafından hazırlanan CPT'nin geoteknik amacına yönelik güvenilirliğinin değerlendirilmesi verilmektedir.

**Çizelge 3.1:** Güvenilirlik açısından CPT'nin tasarımda kullanım alanları

| Zemin Türü  | Kazık Tasarımı | Taşıma Gücü | Oturma | Dolgu Kontrolü | Sıvılaşma |
|-------------|----------------|-------------|--------|----------------|-----------|
| Kum         | ÇY-Y           | ÇY-Y        | Y-O    | ÇY-Y           | ÇY-Y      |
| Kil         | ÇY-Y           | ÇY-Y        | D-ÇD   | D-ÇD           | -         |
| Karma Zemin | ÇY-Y           | Y-O         | Y-O    | Y-O            | -         |

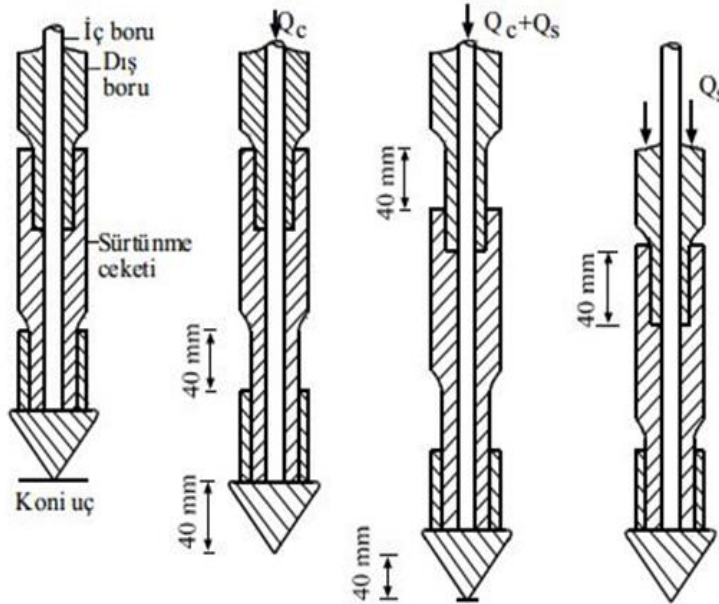
\*ÇY: Çok yüksek, Y: Yüksek, O: Orta, D: Düşük, ÇD: Çok düşük

### 3.1 CPT Türleri

CPT, mekanik CPT, elektronik-elektronik CPT, günümüzde gelişen piyezokon CPTu ve en gelişmiş CPT türü olan sismik SCPTu olmak üzere dört ana gruba ayrılır.

#### 3.1.1 Mekanik CPT

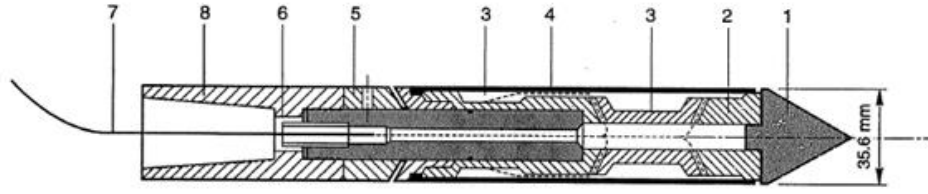
Penetrometre ucu iç tijlere bağlı olup, önce uç bir miktar zemine itilerek uç direnci ( $q_c$ ) ölçülür. Daha sonra tijler biraz daha itilerek, sürtünme kolunun konik başlık ile teması sağlanır ve zemine birlikte penetrasyonu sağlanır. Bu durumda okunan düşey yük ( $q_{top}$ ), uç direnci ile sürtünme direncinin ( $f_s$ ) toplamına eşittir. Toplam okuma ile uç okuması farkı çevre sürtünmesine eşit olmaktadır. ( $f_s = q_{top} - q_c$ ). Şekil 3.1'de mekanik tipte CPT'nin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Mekanik tipte çalışan CPT (Begemann, 1965).

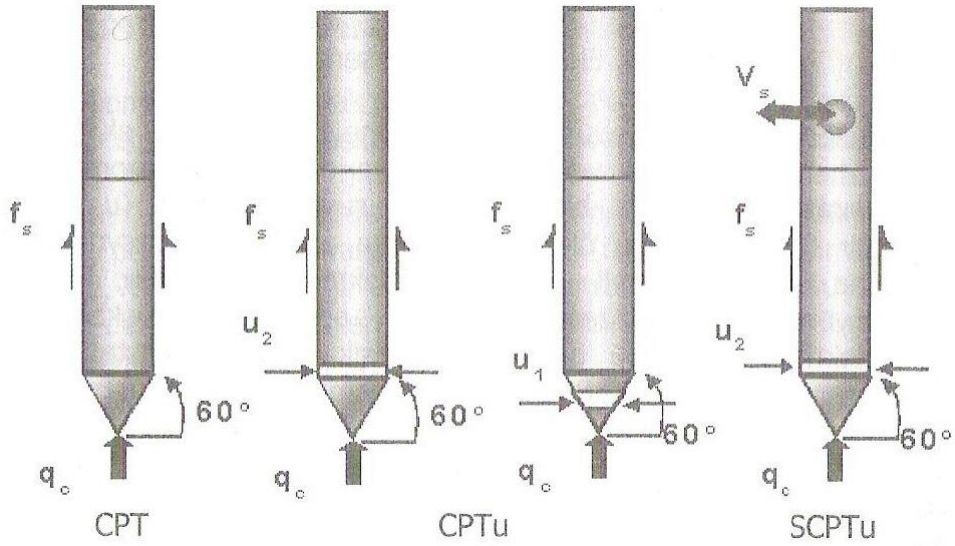
#### 3.1.2 Elektronik CPT

Elektronik CPT türündeki penetrometrenin ucu tijlerin içinden geçen kablolarla bağlıdır. Uç yaklaşık 20 mm/sn hızla zemine itilir. Uç ve sürtünme dirençleri ayrı ayrı veri toplama ünitesine sürekli olarak aktarılır. Toplam ve uç okumaları alınırken, mekanik CPT'de olduğu gibi deney durdurulmaz. Yalnızca tij eklenirken deneye ara verilir. Şekil 3.2'de Elektronik CPT aletinin detayları verilmiştir. Bunun yanında Şekil 3.3'de Elektronik CPT türleri verilmiştir.



- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1. Koni                | 5. Ayarlama halkası    |
| 2. Yükleme hücresi     | 6. Sügeçirmez burç     |
| 3. Strain gauge        | 7. Kablo               |
| 4. Sürtünme Dir. Ölçme | 8. Çubuklarla bağlantı |

Şekil 3.2: Elektrik CPT detayları (Lunne vd., 1997).



Şekil 3.3: Elektrik CPT türleri (Sabatini ve diğ., 2002).

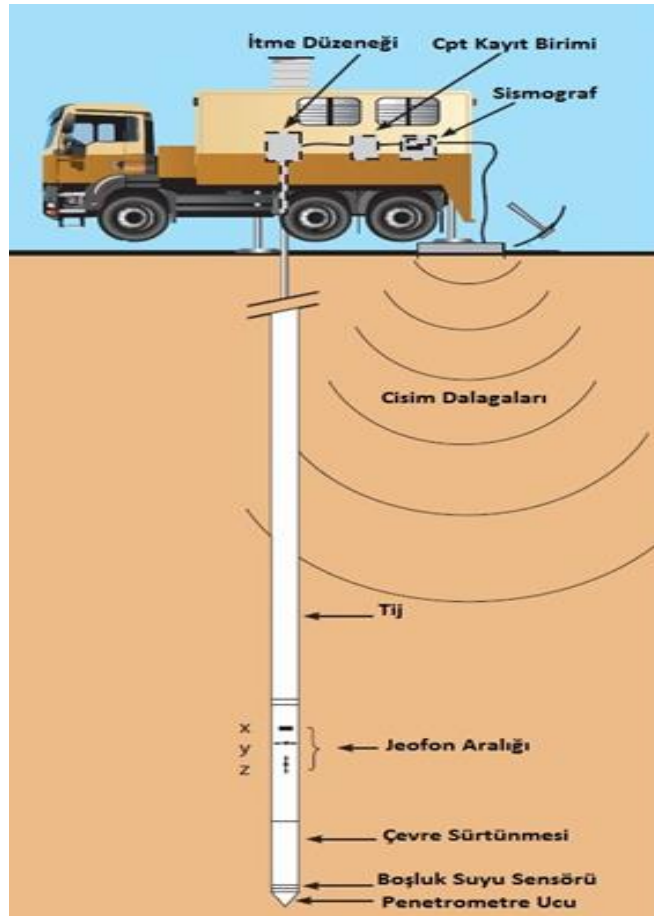
### 3.1.3 Piyezokon (CPTu)

İlerleyen teknoloji ile birlikte elektronik CPT aletlerine boşluk suyu ölçen aygıt da eklenmiş ve bu yeni elektronik CPT aletine piyezokon adı verilmiştir. Piyezokon deneylerinde, deneye başlanılmadan önce kesinlikle suya doygunluk sağlanmalıdır. Bunun için, konik uç içindeki hava alınmalı ve montaj su içerisinde uygulanmalıdır. Piyezokon deneyi ile koni uç direnci ( $q_c$ ) ve sürtünme direnci ( $f_s$ ) değerlerinin yanında, piyezometreler sayesinde boşluk suyu basınçları ( $u_1$  ya da  $u_2$ ) ölçülür. Şekil 3.3'de gösterilen CPTu'da piyozometrelerin yerine bağlı olarak 2 farklı tipte piyezokon bulunmaktadır. Piyozometrenin konik ucunun arkasında bulunduğu zaman  $u_2$ , ortasında bulunduğu zaman ise  $u_1$  olarak tabir edilen boşluk suyu basınçları ölçülür. Penetrasyon sırasında ölçülen boşluk suyu basınçları ile ortamın

aşırı konsolidasyon oranı hakkında bilgiler vermektedir. Kum zeminlere ait boşluk suyu basınçları, yaklaşık olarak hidrostatik basınca eşittir ( $u_2 \sim u_0$ ). Yumuşak-katı-sert ve örselenmemiş killerde ise  $u_2 > u_0$ 'dır.  $u_1$  daima pozitif değer alır iken,  $u_2$  örselenmemiş zeminlerde pozitif değer, fisürlü killer ve sıkı siltlerde ise 100 kPa kadar düşük negatif değer alabilir.

### 3.1.4 Sismik SCPTu

CPT sondasına hız alıcıların monte edilmesi ile sismik ölçümler yapılabilen sismik CPT (SCPTu) aleti geliştirilmiştir. Şekil 3.4'de SCPTu arazide uygulandığı gösterilmektedir.



Şekil 3.4: SCPTu arazide uygulandığı (Url-2).

Penetrometre konik ucunun hemen arkasında birbirine 1,0 m ara mesafe ile yerleştirilmiş olan, yatayda iki yönde (x,y) ve düşeyde bir yönde (z) üçlü bir jeofon sistemine sahip iki sismometre aracılığı ile kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) arzu edilen derinlikte ölçülebilmektedir. Elde edilen kayma dalgası hızları ile zeminlerin sıvılaşma ve deprem durumundaki davranışı hakkında bilgi sahibi olunabilir.

### 3.2 CPT Ekipmanı ve Deneyin Yapılışı

CPT, 60° konik uç, 10 cm<sup>2</sup> uç alana ve 150cm<sup>2</sup> sürtünme ceketine sahip sondanın sabit bir hızla (yaklaşık 20 mm/sn mertebelerinde) zemin içine itilerek, penetrasyon direncini ölçmek için uygulanan bir arazi deneyidir. Sonda zemine itilirken, uç direnci ( $q_c$ ), çevre sürtünmesi ( $f_s$ ), eğim ölçümü, Piyezokon kullanıldığında boşluk suyu basıncı ( $u_0$ ), SCPTu türü kullanıldığında ise kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) ölçümü yapılabilmektedir. Bu okumalar 2 cm aralıklar ile yapılabilmektedir. Deney sırasında 1 m boyunda çelik borular (tij) ve bunun içinde çalışan çelik çubuklar kullanılmaktadır. CPT ekipmanının detay ve uygulanışı, mekanik CPT için ASTM D 3441’de, elektrik CPT için ise ASTM D 5778’de açıklanmıştır.

ISSMFE 1989 yılında CPT yöntemi için yapılması gerekenleri şu şekilde sıralamıştır:

**Ön araştırma:** Dolgu veya sert zemin tabakalarının bulunduğu yerlerde, penetrometreyi aşırı yüklememek ve hasar vermemek için bir ön sondaj veya ön deney yapmak gerekebilir. Bloklü taşlı dolgu tabakaları ön sondajla geçilip deneye öyle başlanmalıdır.

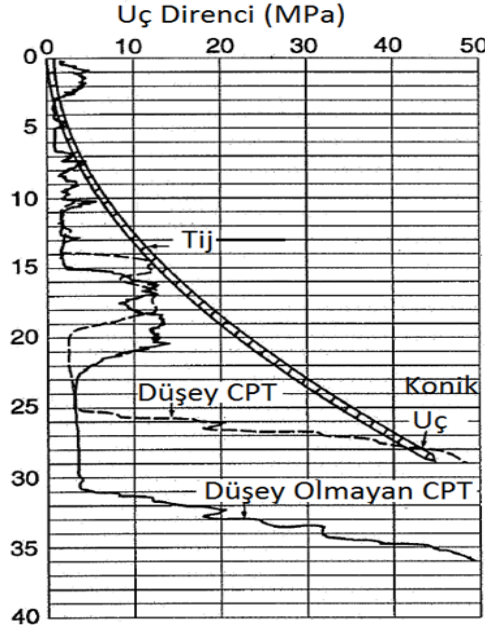
**Referans ölçümleri:** Modern elektronik penetrometreler, yüksek bir doğruluğa ve tekrarlılığa sahiptir. Bununla birlikte  $q_c$ ,  $f_s$  ve  $u_0$  ölçerlerin deney başında ve sonunda sıfır okumaları yapılır.

**Penetrasyon Hızı:** CPT için penetrasyon hızı 2 cm/sn  $\pm$  10% olmalıdır. Boşluk suyu basıncı ölçülmeyen CPT’de penetrasyon hızı 2 cm/s  $\pm$  25% olabilir. Penetrasyon hızı özellikle ince daneli zeminlerde önemlidir. Powell 1988 yılında hızın artması uç direncini katı kilde %10-20, yumuşak kilde %5-10 arttırdığını ileri sürmektedir.

**Boşluk Suyu Basıncı İçin Doymunluk:** CPT ve CPTu deneyinin arazi uygulamaları arasında bir farklılık yoktur. Tek farkı piyezokonun suya doymun duruma getirilmesidir. Aksi durumda boşluk suyu basıncı ölçüm değerlerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu ise killi zeminlerde önem kazanmaktadır. Doymunluğu sağlamak için boşluk suyu basıncını ölçmekte kullanılan sistem su içinde monte edilmelidir.

**Düşeylik:** CPT sondasının zemine düşey olarak penetrasyonu çok önemlidir. Düşeyden sapma %2’den fazla olmamalıdır. Tijlerin tam doğru olmaması da düşeyden saptmaya neden olmaktadır. Günümüzde birçok CPT’nin basit eğim

ölçerleri vardır. Bu tip eğim ölçerler ile deney sırasında özellikle derinlerde ani sapmaların belirlenerek CPT'nin hasar görmesi önlenir. Bu durumda deney durdurulur. Şekil 3.5'de 1987'de Bruzzi ve Battaglio tarafından verilen grafikte ölçüm derinliğinde düşeyliliğin etkisi gösterilmektedir. Genel olarak 15 m derinlikten sonra inklinometrik (eğim) ölçümlerin alınması tavsiye edilmektedir.



Şekil 3.5: Ölçüm derinliğinde düşeyliliğin etkisi.(Bruzzi ve Battaglio,1987)

**Veri Okuma Aralığı:** Elektronik CPT sürekli veri alır ve seçilen aralıkta onları dijital hale dönüştürür. Veri toplama sıklığı amaca bağlı olarak değişir. Seçilen aralık küçük ise daha fazla detay elde edilir. Tipik  $q_c$  ve  $f_s$  okumalar sıklıkla yapılar ve ortalama derinlik aralığı 50 mm'dir. Boşluk suyu basıncı okumaları ise her 20 mm derinlikte alınmalıdır.

**Derinlik Ölçümleri:** Derinlik ölçmek için birçok sistem mevcuttur. Sistem zemin yüzeyinde deney boyunca sabit kalmalıdır. Deney başında referans okuması yapılmalı ve doğru değerler verdiği kontrol edilmelidir. İtme sistemine bağlı olarak penetrasyon sırasında saat akrebi yönünde dönerken okuma alır, diğer yönde okuma almaz. Koni penetrasyon derinliği  $\pm 100$  mm doğrulukta yapılmalıdır.

### 3.3 CPT İle Ölçülen Parametreler ve Deney Düzeltmeleri

CPT esnasında ölçülen parametreler uç direnci ( $q_c$ ), çevre sürtünmesi ( $f_s$ ) ve sürtünme oranı ( $R_f$ ) bileşenlerinden oluşmaktadır. Bunların yanında CPTu ile boşluk suyu basıncı, SCPTu ile kayma dalgası hızı elde edilebilmektedir.

### 3.3.1 CPT ile ölçülen parametreler

CPT ile elde edilen parametreler ve formülleri aşağıda kısaca özetlenmiştir:

**Koni uç direnci ( $q_c$ ):** Konik uca etkiyen toplam düşey kuvvetin en kesit alanına oranıdır.

$$q_c = \frac{Q_c}{A_c} \quad (3.25)$$

**Sürtünme direnci ( $f_s$ ):** Sürtünme ceketine etkiyen toplam kuvvetin, sürtünme yüzeyine oranıdır.

$$f_s = \frac{Q_s}{A_s} \quad (3.26)$$

**Sürtünme oranı ( $R_f$ ):** Aynı derinlikte ölçülen sürtünme direncinin, koni uç direncine oranıdır.

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} 100 \quad (3.27)$$

**Net uç direnci ( $q_n$ ):** Düzeltilmiş koni uç direncinden, toplam düşey gerilmenin çıkarılması ile bulunur. Burada  $q_t$  boşluk suyu basıncı etkilerini dikkate alan düzeltilmiş uç direncidir.

$$q_n = q_t - \sigma_v \quad (3.28)$$

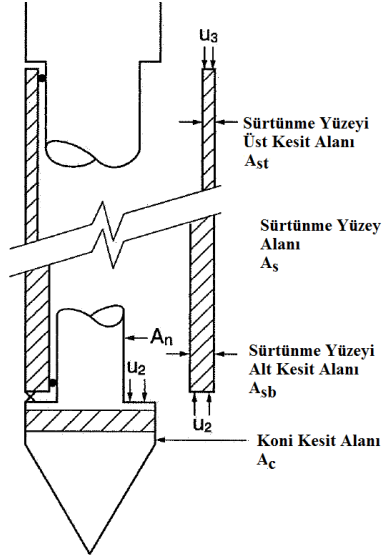
### 3.3.2 CPT düzeltmeleri

#### 3.3.2.1 Boşluk suyu basıncı düzeltmeleri

Penetrometreye ait içsel geometriden kaynaklanan, sürtünme kolu ve başlık arasındaki alanda, penetrasyon sırasında etkili olan boşluk suyu basıncı ( $u$ ), ölçülen koni uç direnci ( $q_c$ ) ve sürtünme direnci ( $f_s$ ) değerlerine etki etmektedir. Bu etki eşit olmayan alan etkisinden kaynaklanmakta ve uç direnci ve sürtünme direncinden elde edilen toplam dirence etki etmektedir. Oluşan bu boşluk suyu basıncından dolayı etkilenen değerler aşağıdaki gibi düzeltilmelidir.

$$q_t = q_c - u_c(1-a) \quad (3.29)$$

Burada  $q_t$  boşluk suyu basıncı düzeltilmesi uygulanmış uç direnci,  $u_c$  ölçülen boşluk suyu basıncı,  $q_c$  ölçülen koni uç direnci ve  $a$  net alan oranıdır.  $a$  oranı yükleme hücresinin kesit alanının ' $A_n$ ', koni kesit alanına ' $A_c$ ' bölünmesi ile elde edilir. Şekil 3.6'da test düzeneği üzerinde boşluk suyu basıncı etkilerine sebep olan parametreler ilgili açıklamalarıyla birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Boşluk suyu basıncı etkileri (Lunne ve diğ., 1997).

Birçok koni penetrasyon deneyi aleti için alan oranı 0.55 ile 0.90 arasında değiştiği görülse de, ideal alan oranı " $a$ " yaklaşık 1.0 mertebesinde olup, bu durumda,  $q_t=q_c$  olmaktadır.

Boşluk suyu basıncı, toplam uç direncinin yanında sürtünme direnci  $f_s$ 'yi de etkilemektedir.

$$f_t = f_s - \frac{uA_{sb}}{A_s} \quad (3.30)$$

$$f_t = f_s - \frac{(u_2A_{sb} - u_3A_{st})}{A_s} \quad (3.31)$$

Burada;  $f_t$  boşluk suyu basıncı etkilerini dikkate alan düzeltilmiş sürtünme direnci,  $u_2$  alt  $u_3$  üst kısımda ölçülen boşluk suyu basıncı,  $a$  alan oranı,  $A_{sb}$  sürtünme yüzeyinin alt kesit alanı,  $A_s$  sürtünme alanıdır.  $A_{sb}/A_s$  oranının olabildiğince küçük olması

istenilmektedir. Teknoloji ilerledikçe üretimler de buna uygun olarak yapılmaktadır (Tipik  $A_s=150 \text{ cm}^2$ ). Pratik uygulamalarda boşluk suyu basıncı etkisi yok sayılır ise  $f_t=f_s$  olarak hesaplanmaktadır.

### 3.3.2.2 Filtrenin konumu

Teorik çalışmalar ve zamanla yapılan çalışmalar, boşluk suyu basıncı ölçmek için kullanılan filtrenin konumunun ölçümleri etkilediğini göstermiştir. Bu sebeple yapılan çalışmalar ile en uygun filtrenin, herhangi bir standart olmamakla birlikte, koninin hemen üstüne yerleştirilen  $u_2$  boşluk suyu basıncının ölçüldüğü konumda olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Filtre konumunun koninin hemen üstünde yer aldığı pozisyonadaki avantajlar şu şekilde özetlenebilir:

- Filtre daha az zarar görür.
- Ölçümler, parçaların sıkışabilirliğinden daha az etkilenir.
- Ölçülen boşluk suyu basıncı direkt olarak uç direncini düzeltmek için kullanılabilir.

### 3.3.2.3 Sıcaklık etkisi

CPT aletinin parçaları, yük hücresi ya da sensörler sıcaklık değişimlerinden etkilenebilmektedir. Lunne 1986'da Onsoy kili üzerinde yürüttüğü birçok arazi ve laboratuvar çalışması sonucunda piyozokon ölçümlerinin sıcaklık değişimlerinden etkilendiğini göstermiştir. Bu çalışmada sıcaklık artışı ile birlikte uç direnci azalmaktadır.

Sıcaklık etkisi, yük hücresinin çıktısında, sıfır yükleme aşamasında bir kaymaya sebep olabilir. Modern piyezokonlarda bu etkiyi en aza indirmek için, yükleme hücreleri geniş aralıkta sıcaklık değişimine dayanıklı olsa da, yumuşak kil gibi zeminlerde küçük yüklemelerde hala bu etki görülebilir. Bu etkiyi en aza indirebilmek için aşağıdaki önlemler alınabilir:

- Deneyin başında ve sonunda alınan sıfır okumalarının aynı sıcaklıkta olmasına dikkat edilmelidir.
- Sıcaklık sensörü yerleştirilerek, laboratuvar kalibrasyonuna bağlı daha güvenilir ölçümler alınabilir.

### 3.3.2.4 Tabakalaşma düzeltmesi

Penetrasyon direncinin, konik ucun önündeki ve gerisindeki zeminden etkilendiği bilinmektedir. Penetrasyon sırasında, mevcut bir tabakadan diğer bir tabakaya geçişlerde genelde keskin bir ayırım olmaz. Tabakalı ortamlarda, CPT ucu yeni tabakaya ulaştığında penetrasyon devam ederken bu değişimi hissetmeye başlayacaktır. Bu nedenle tabakalar arasında yataklanmış ince tabakaların mekanik özellikleri tam olarak ölçülemeyebilir. Yumuşak zeminlerde bu mesafe koni çapının 2-3 katı iken, sert zeminlerde 10-20 katıdır. Yani sert zeminlere girilmeden önce bu tabakanın rijitliği ölçümleri etkilemektedir. Tabaka kalınlığı 75 cm'den daha az olduğu durumlarda, ölçülen değerler daha düşüktür. Özellikle yumuşak kil içerisinde ince bir kum tabakası olduğu durumlarda önemlidir. Basitleştirilmiş elastik çözüme göre Vreugdenhil ve diğ. (1994) sert ince tabakalar için düzeltme faktörü ( $K_c$ ) önererek, ölçülen uç dirençler düzeltilmiştir.

$$q_c^* = q_{c2} K_c = q_{c2} [0.25(H_{si} / (17d_c) - 1.77)^2 + 1] \quad (3.32)$$

Burada  $H_{si}$  sert ince tabaka kalınlığı (mm),  $d_c$  CPT koni çapı,  $q_{c2}$  sert ince tabakada

ölçülen CPT uç direncidir.  $\left(\frac{H_{si}}{17d_c} - 1.77\right)^2 > 0$  ise  $K_c=1$  alınır.

### 3.3.2.5 Jeolojik gerilme düzeltmesi

CPT sonuçlarına efektif düşey gerilme aşağıdaki gibi etkili olmaktadır.

$$q_{c1} = \left(\frac{100}{\sigma_v'}\right)^{0.5} q_c \quad (3.33)$$

Burada  $\sigma_v'$  efektif düşey gerilmedir. CPT sonuçları aşağıdaki gibi de normalize edilebilir. Normalize edilmiş uç direnci:

$$Q_t = \left(\frac{q_c - \sigma_v'}{P_a}\right) \left(\frac{P_a}{\sigma_v'}\right)^n \quad (3.34)$$

Normalize edilmiş sürtünme oranı:

$$F_r = \left( \frac{f_s}{q_c - \sigma_v} \right) 100\% \quad (3.35)$$

Boşluk suyu basıncı oranı:

$$B_q = \frac{u_c - u_0}{q_t - \sigma_v} \quad (3.36)$$

Burada  $\sigma_v$  toplam gerilme,  $\sigma_v'$  efektif gerilme,  $f_s$  sürtünme direnci,  $P_a$  atmosferik basınç değeri,  $n$  ise 0.5-1.0 arasında değişen bir katsayıdır.

### 3.4 CPT Sonuçlarının Kullanımı

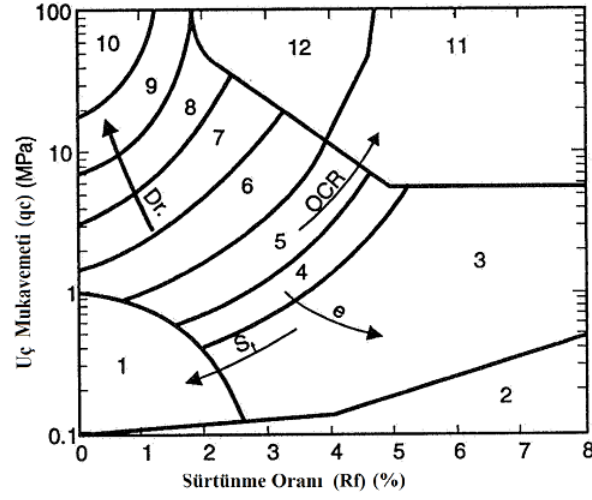
CPT ile elde edilen parametreler kullanılarak, zemin sınıfını, relatif sıklık, drenajsız kayma mukavemeti, sıkışabilirlik kayma modülü gibi zeminlerin mühendislik özellikleri tayin edilebilirken, çeşitli korelasyonların yardımı ile sıvılaştırma analizleri, taşıma gücü ve oturma değerleri hesaplanabilmektedir.

#### 3.4.1 CPT ile zemin sınıfının ve birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Şekil 3.7'de Robertson tarafından 1989 yılında hazırlanan grafikte uç direnci ve sürtünme oranını kullanarak zemin sınıfı belirlenmektedir. Ayrıca Robertson ve Cabal 2009 yılında CPT sonuçlarını kullanarak her bir zemin sınıfı için birim hacim ağırlıklarının tayininde aşağıdaki eşitliği önermektedir.

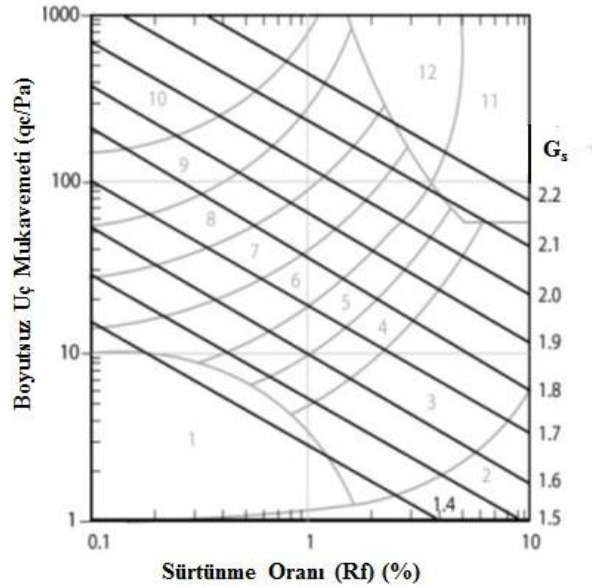
$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0.27(\text{Log}R_f) + 0.36(\text{Log}(q_c / P_a)) + 1.236 \quad (3.37)$$

Bu formülasyonda  $\gamma_w$  suyun birim hacim ağırlığını,  $P_a$  atmosferik basınç değerini (uç direnci  $q_c$  ile aynı birimde) ifade etmektedir. Zemin birim hacim ağırlıkları Robertson tarafından 2010 yılında hazırlanan Şekil 3.8' deki grafik kullanılarak her bir zemin sınıfı için ayrı ayrı tahmin edilebilir.



- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. Hassas İnce Daneli    | 7. Siltli Kum-Kumlu Silt |
| 2. Organik Zemin         | 8. Kum-Siltli Kum        |
| 3. Kil                   | 9. Kum                   |
| 4. Siltli Kil-Kil        | 10. Çakıllı Kum-Kum      |
| 5. Killi Silt-Siltli Kil | 11. Çok Sıkı İnce Daneli |
| 6. Kumlu Silt-Siltli Kil | 12. Kum-Killi Kum        |

Şekil 3.7: CPT sonuçlarına bağlı zemin sınıfı tayini (Lunne ve diğ., 1997).



Şekil 3.8: CPT sonuçlarına bağlı birim hacim ağırlık tayini (Robertson ve Cabal, 2009).

### 3.4.2 CPT ile zeminlerin relatif sıklığının belirlenmesi

Jamiolkowski ve diğ. 1985 yılında aşağıdaki eşitliği silika kumlar için önermiştir. Burada  $D_r$  (%),  $q_c$  ve  $\sigma_v'$  ( $t/m^2$ ) birimleri içermektedir.

$$D_r = -98 + 66 \log_{10} \frac{q_c}{(\sigma_v')^{0.5}} \quad (3.38)$$

Kulhawy ve Mayne (1990), relatif sıkılığı tahmin etmek için aşağıdaki formülü önermiştir.

$$D_r = \sqrt{\left(\frac{1}{305 Q_c AKO^{0.18} Q_A}\right) \left(\frac{q_c}{P_a}\right)} \sqrt{\left(\frac{P_a}{\sigma_v'}\right)^{0.5}} \quad (3.39)$$

Burada  $Q_c$  sıkışabilirlik faktörü (düşük sıkışabilirlik için  $Q_c=0.91$ , orta sıkışabilirlik için  $Q_c=1$  ve yüksek sıkışabilirlik için  $Q_c=1.09$ ), AKO aşırı konsolidasyon oranı,  $q_c$  uç direnci,  $\sigma_v'$  efektif gerilme,  $P_a$  atmosfer basıncı (100 kPa=1 atm)'dır.  $Q_A$  yaşlılık faktörü olup,  $Q_A=1.2+0.05\log(t/100)$  ile belirlenir.

### 3.4.3 CPT ile zeminlerin hassasiyetinin belirlenmesi

1978 yılında Schmertmann kil zeminlerin hassasiyetini örselenmemiş drenajsız kayma mukavemetinin, yeniden yoğrulmuş drenajsız kayma mukavemetine oranı olarak tanımlamıştır ve aşağıdaki eşiliği önermiştir.

$$S_t = \frac{N_s}{R_f} \quad (3.40)$$

Schertman  $N_s$  değerinin mekanik CPT'de 15 alınmasını, Robertson ve Campanella 6 alınmasını, Rad ve Lune ise 5 ile 10 arasında değişen ortalama olarak 7.5 alınmasını önermiştir.

### 3.4.4 CPT ile aşırı konsolidasyon oranının belirlenmesi

CPT/CPTu sonuçlarına bağlı aşırı konsolidasyon oranının belirlenmesinde güvenilir bir metot olmamasına rağmen Mayne ve Kamper (1988), AKO ile  $q_c$  arasında aşağıdaki ilişkiyi önermiştir.

$$AKO = k \left( \frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_v'} \right) \quad (3.41)$$

Burada, AKO aşırı konsolidasyon oranını,  $\sigma_v$  toplam gerilmeyi,  $\sigma_v'$  efektif gerilmeyi ifade etmektedir ve  $k$  değeri ise 0.2 ile 0.5 arasında değişen bir aralıkta olup 0.33 değeri olarak kabul edilebilir. Aşırı konsolide killerde  $k$  değeri daha yüksek bir değerde kullanılması önerilmektedir. Robertson ise 2009 yılında aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$AKO = 0.25 \left( \frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_v'} \right)^{1.25} \quad (3.42)$$

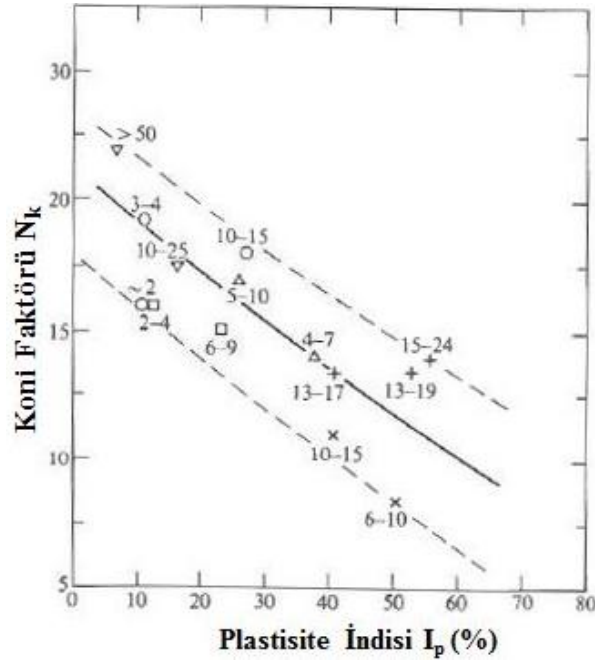
### 3.4.5 CPT ile drenajsız kayma mukavemetinin belirlenmesi

İnce daneli zeminler için CPT sonuçlarını kullanarak aşağıdaki eşitliklerle drenajsız kayma mukavemeti ( $c_u$ ) tahmin edilebilir.

$$c_u = \frac{(q_c - \sigma_v)}{N_k} \quad (3.43)$$

$$c_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}} \quad (3.44)$$

Burada  $q_c$  uç direnci,  $\sigma_v$  toplam düşey gerilme ve  $N_k$  koni faktörüdür. Lunne ve Eddie 1976 yılında hazırladıkları Şekil 3.09'de gösterilen grafikte gösterildiği gibi,  $N_k$  değeri çoğunlukla 15-20 arasındadır ve plastisite indisi  $I_p$ 'ye bağlı bir parametredir.



**Şekil 3.9:** Drenajsız kayma mukavemetinin belirlenmesi (Lunne ve Eide, 1976).

Düzeltilmiş koni faktörü  $N_{kt}$ , düzeltilmiş koni uç direncine göre ( $q_t$ ) tanımlanmış olup,  $I_p$ 'ye bağlı bir parametredir.  $N_{kt}$ , 10-20 arasında değişmekte olup, aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$N_{kt} = 13 + \frac{5.5}{50} I_p (\pm 2) \quad (3.45)$$

Düşük hassaslığa ( $S_t < 4$ ) sahip ve  $I_p < 30$  için normal konsolide killerde yaklaşık olarak  $N_k = 18$  ve  $N_{kt} = 14$  alınabilir.

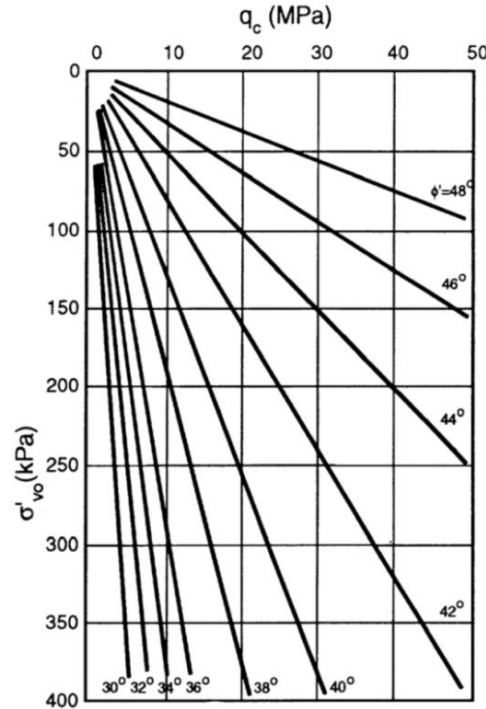
### 3.4.5.1 CPT ile kayma mukavemeti açısının belirlenmesi

Meyerhof 1974 yılında kayma direnci açısı  $\phi$  ile  $q_c$  (MPa) arasında aşağıdaki eşitliği önermiş olup, bulunan değer çakıllar için  $5^\circ$  arttırılmalı, siltli kumlar için ise  $5^\circ$  azaltılmalıdır.

$$\phi = 29^\circ + (q_c)^{0.5} \quad (3.46)$$

Robertson ve Campanella 1983 yılında efektif kayma mukavemeti açısı  $\phi'$ 'nin,  $q_c$  (MPa) ile  $\sigma_v'$  ye bağlı olarak geliştirilen ilişkisi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. 1990 yılında ise bu açının belirlenmesinde aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$\tan \phi' = \frac{1}{2.68} \left( \text{Log} \frac{q_c}{\sigma_v'} + 0.29 \right) \quad (3.47)$$



Şekil 3.10:  $q_c$  ile  $\phi$  arasındaki ilişki (Robertson ve Campanella, 1983).

Kulhawy ve Mayne 1990 yılında  $q_c$ - $\phi$  arasında, aşağıdaki Çizelge 3.2'de gösterildiği gibi bir ilişkiden söz etmiştir.

**Çizelge 3.2:**  $q_c$  ile  $\phi$  arasındaki ilişki (Kulhawy ve Mayne, 1990).

| $q_c/P_a$ | Relatif Sıklık | $\phi$ (°) |
|-----------|----------------|------------|
| <20       | Çok gevşek     | <30        |
| 20-40     | Gevşek         | 30-35      |
| 40-120    | Orta           | 35-40      |
| 120-200   | Sıkı           | 40-45      |
| >200      | Çok sıkı       | >45        |

### 3.4.6 CPT ile hacimsel sıkışma katsayısının belirlenmesi

Hacimsel sıkışma katsayısının bulunması için aşağıdaki eşitliği kullanılmaktadır.

$$m_v = \frac{1}{\alpha \cdot q_c} \quad (3.48)$$

Buradaki bağıntıda  $m_v$  hacimsel sıkışma katsayısıdır,  $\alpha$  zeminin plastisite indisine ve su muhtevasına bağlı amprik bir katsayıdır.

1972 yılında Sanglerat'ın yürüttüğü çalışmalara göre  $\alpha$  katsayısı değeri zemin cinslerine ve uç direnci değerlerine göre, organik ve turba killerde ise su muhtevasına göre Çizelge 3.3'deki gibi değişmektedir.

**Çizelge 3.3:**  $M_v$  için  $\alpha$  katsayısı değerleri (Sanglerat, 1972).

| Zemin Türü  | $q_c$ (MPa)     | $\alpha$ |
|-------------|-----------------|----------|
| CL          | $\leq 0.7$      | 3 - 8    |
|             | 0.7 - 2         | 2 - 5    |
|             | $\geq 2$        | 1 - 2.5  |
| ML          | < 2             | 3 - 6    |
|             | $\geq 2$        | 1 - 3    |
| CH-MH       | < 2             | 2 - 6    |
|             | > 2             | 1 - 2    |
| OL          | < 1.2           | 2 - 8    |
| OH ve Turba | < 0.7 için      |          |
|             | $50 < w < 100$  | 1.5 - 4  |
|             | $100 < w < 200$ | 1 - 1.5  |
|             | $w \geq 300$    | < 0.4    |

$\alpha$  katsayısı 1987 yılında Meigh tarafından 2 ile 8 arasında değişen bir değer olarak önerilirken, 2001 yılında Mayne tarafından genel bir değer olarak 5 alınmasını önerilmiştir.

### 3.4.7 CPT ile kayma dalga hızı belirlenmesi

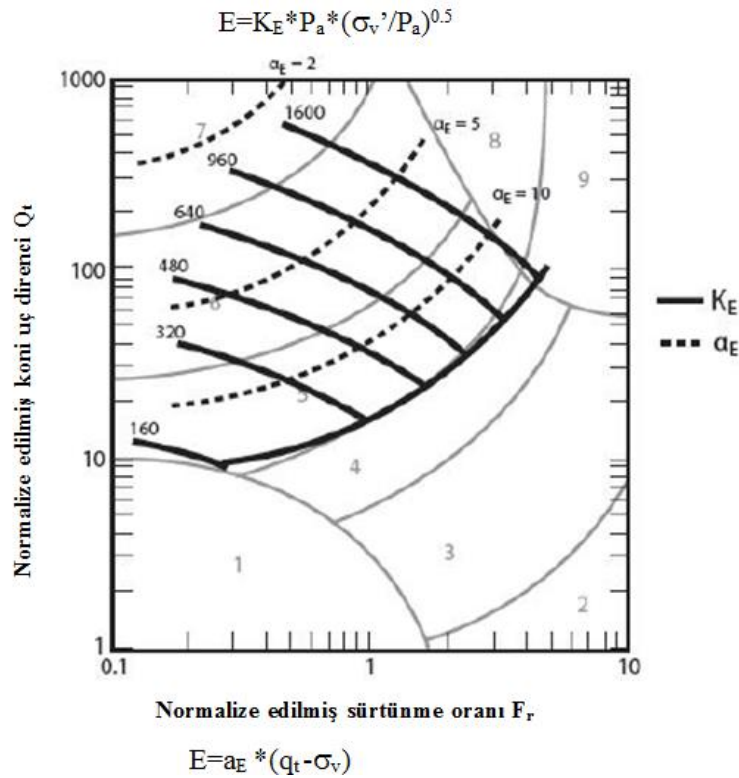
Çizelge 3.4'de İyisan, Mayne ve Rix tarafından yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda kayma dalgası hızı ile uç direnci arasındaki ilişkiler verilmiştir. Burada unutulmaması gereken,  $V_s$ 'lerin ölçüm teknik farklılıklarının, korelasyon denklemlerini etkilediğidir.

Çizelge 3.4:  $q_c$  ile  $V_s$  arasındaki ilişkiler

| Araştırmacı           | Zemin Türü | $V_s$ (m/sn)                                |
|-----------------------|------------|---|
| İyisan (1996)         | Kil ve Kum | $55.3q_c^{0.377} q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Mayne ve Rix (1995)   | Kil        | $1.75q_c^{0.627} q_c$ (kPa)                 |
| İyisan ve diğ. (2000) | Tüm        | $12.6q_c^{0.363} q_c$ (kPa)                 |

### 3.4.8 CPT ile elastisite modülünün belirlenmesi

CPT dataları kullanılarak zeminlerin elastisite modülleri tahmin edilebilmektedir. Bununla birlikte uç direnci ve elastisite modülü arasındaki korelasyonlar gerilme geçmişine ve zemin minorolijisine göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Robertson ve Cabal 2009 yılında silika kumları üzerinde yaptığı çalışma elastisite modülü hesabı için Şekil-3.11'de gösterilen abağı geliştirmişlerdir.



Şekil 3.11: Silika kumları üzerinde yapılan çalışma sonucu elastisite modülü hesabı (Robertson ve Cabal, 2009).

Robertson ve Campanella tarafından 1983 yılında yenilen çalışmaları neticesinde silisli kumlardaki elastisite modülü Çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5:**  $q_c$  ve E arasındaki ilişkiler (Robertson ve Campanella, 1983).

| Zemin Türü  | E/ $q_c$ |
|---|----------|
| Genç Normal Konsolide Silisli Kumlar (<100 yıl)   | 2.5      |
| Yaşlı Normal Konsolide Silisli Kumlar (>3000 yıl) | 3.5      |
| Aşırı Konsolide Silisli Kumlar                    | 6.0      |

### 3.4.9 CPT ile taşıma gücü hesaplanması

CPT sonuçlarından yüzeysel temellerde taşıma gücü hesaplanması için, uç direnci  $q_c$  kullanılarak oluşturulan bir takım bağıntılar ile taşıma gücü tahmin edilebilmektedir.

Terzaghi taşıma gücü denklemindeki taşıma gücü katsayıları, Schmertman (1978) tarafından uç direncine bağlı olarak  $D_f/ B \leq 1.5$  için aşağıdaki gibi önerilmiştir.

Burada  $\bar{q}_c$  temelin tabanından B/2 kadar yukarısı ile 1.1B kadar aşağısı arasında ölçülen ortalama uç dirençtir.

$$\bar{q}_c \cong 0.8N_q \cong 0.8N_\gamma \quad (3.49)$$

Ayrık daneli ve killi zeminler için farklı temel tipleri dikkate alınarak Bowles (1996) tarafından aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir. Burada  $q_c$ ’nin birimi  $kg/cm^2$ ’dir.

Ayrık daneli zeminlerde;

$$\text{Şerit temel için, } q_{sınır}=28-0.0052(300-q_c)^{1.5} \quad (3.50)$$

$$\text{Kare temel için, } q_{sınır}=48-0.009(300-q_c)^{1.5} \quad (3.51)$$

Killi zeminlerde;

$$\text{Şerit temel için, } q_{sınır}=2+0.28q_c \quad (3.52)$$

$$\text{Kare temel için, } q_{sınır}=5+0.34q_c \quad (3.53)$$

1974 yılında Meyerhof, CPT sonuçlarını kullanarak kumlu zeminler üzerindeki yüzeysel temellerin sınır taşıma gücünü tahmin eden 3.51’deki yaklaşımı önermiştir.

$$q_{ult} = \bar{q}_c \left( \frac{B}{C} \right) \left[ 1 + \frac{D_f}{B} \right] \quad (3.54)$$

Burada C amprik bir katsayı olup 12.2 m, B temel genişliği (m), D<sub>f</sub> temel derinliği (m),  $\bar{q}_c$  temel altından en az B derinliğe kadar ölçülmüş koni uç dirençlerinin ortalamasıdır. kadar yukarısı ile 1.1B kadar aşağısı arasında ölçülen ortalama uç direncidir. Emniyetli taşıma gücü ( $q_{em}=q_{sınır}/GS$ ) için Meyerhof (1974), güvenlik katsayısı GS'nın 3 alınmasını tavsiye etmektedir.

1995 yılında ise Tand ve diğ., hafif çimentolu orta sıkı kumlar üzerindeki sığ temellerin taşıma gücünü tahmin eden aşağıdaki denklemi önermiştir.

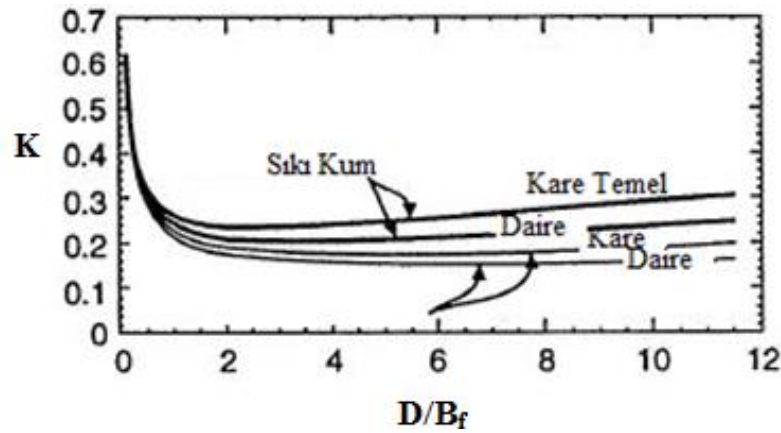
$$q_{ult} = R_k q_c + \sigma_v \quad (3.55)$$

Burada R<sub>k</sub>, temelin şekline, derinliğine bağlı bir katsayı olup, 0.14 ~ 0.2 arasında değişmektedir.  $\sigma_v$  ise temel taban seviyesindeki düşey gerilme değeridir. Meyerhorf ve Tand tarafından önerilen bu yöntemler daha muhafazakar sonuçlar vermektedir.

Eslaamizaad ve Robertson (1996), kaba daneli zeminler üzerindeki yüzeysel temellerin sınır taşıma gücünü için aşağıdaki eşitliği önermiştir

$$q_s = k q_c \quad (3.56)$$

k katsayısı temelin gömme derinliği, genişliği, zeminin sıklığına ve temel şekline bağlı olarak Şekil 3.12'de gösterilen abaktan tahmin edilmektedir.



**Şekil 3.12:** Sığ temel taşıma gücün hesabındaki k katsayısının tahmini (Eslaamizaad ve Robertson, 1996).

### 3.4.10 CPT ile oturma miktarının hesaplanması

Meyerhof 1974 yılında yürüttüğü çalışmasında CPT uç direncinden yararlanarak, kumlu zeminlerde oturma hesaplayabilmek aşağıdaki formülü önermiştir.

$$s = \frac{(q - \sigma_v')B}{2q_c} \quad (3.57)$$

Burada q temelin zemine uyguladığı ortalama taban basıncı  $\sigma_v'$  temel tabanı seviyesindeki efektif düşey gerilme,  $\bar{q}_c$  temel altından B derinliğe kadar ölçülen ortalama uç direncidir. Bu yaklaşım, yaklaşık olarak elastisite modülünün  $E=2q_c$  kullanılmasına eşdeğerdir.

Schmertman ve diğ. 1978 yılında kumlu zeminlerde toplam oturma miktarını hesaplayabilmek için CPT sonuçlarını kullanarak bir yöntem önermiştir.

$$s = C_1 C_2 C_3 (q - \sigma_v') \sum_{i=1}^n \frac{I_{zi}}{E} \Delta z \quad (3.58)$$

Burada  $C_1$  temel derinliği düzeltme katsayısı,  $C_2$  kriş düzeltme katsayısı,  $C_3$  temel boyutu düzeltme katsayısı, q temelin zemine uyguladığı ortalama taban basıncı,  $\sigma_v'$  temel tabanı seviyesindeki efektif gerilme,  $I_z$  deformasyon etki faktörü,  $I_{zi}$  zemin tabakasının ortasındaki  $I_z$  değeri,  $\Delta z$  tabaka kalınlığı ve  $E=\alpha q_c$  olup eşdeğer elastisite modülüdür.

Bu metot kullanıldığında, kum birçok tabakaya bölünür. Tabakalara ayrılırken, kare temel için temelin tabanından itibaren 2B derinliğe kadar inilirken, şerit temel ( $L>10B$ ) için temelin tabanından 4B kadar derinliğe inilir ve n tabakaya ayrılır. Her bir tabaka kalınlığı için ortalama uç direnci değeri hesaplanır. Bölünen her bir tabaka için deformasyon ( $\epsilon$ ),  $I_z(q - \sigma_v')/E$  olarak alınır ve elastisite modülü  $E= \alpha q_c$ 'dir. Schmertman (1970), normal konsolide, genç ve çimentolaşmamış kumlar için  $\alpha=2$  olarak alınabileceğini belirtmiştir. Formülde yer alan  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  katsayıları aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanır.

$$C_1 = 1 - 0.5 \left[ \frac{\sigma_v'}{q - \sigma_v'} \right] \geq 0.5 \quad (3.59)$$

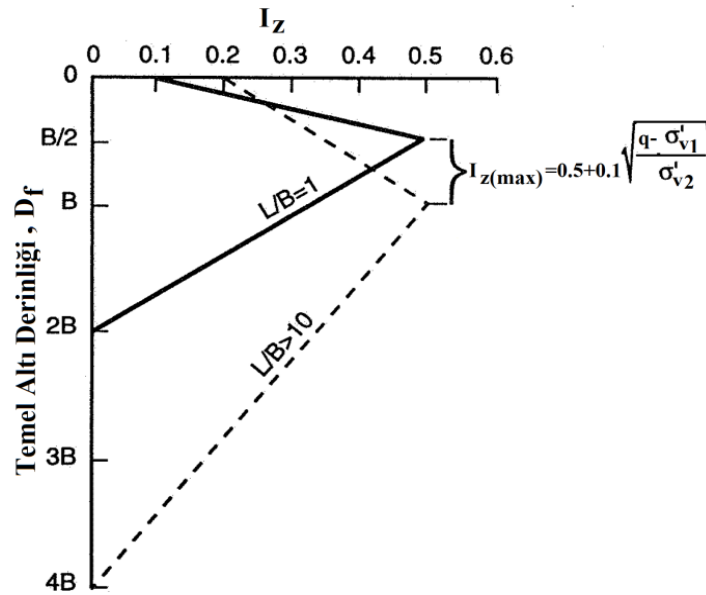
$$C_2 = 1 + 0.2 \log \left( \frac{t}{0.1} \right) \quad (3.60)$$

Kum zeminler için, t yükün uygulamasından başlayan ikincil sıkışmalar (creep) süresi (yıl) olup  $t \geq 0.1$  olmalıdır. Schmertman (1978), kare temeller için  $C_3=1.25$ , şerit temeller ( $L > 10B$ ) için  $C_3=1.75$  önermiştir (Robertson, 1997). Coduto ise 1994 yılında genel kullanım için ise aşağıdaki bağıntı önermiştir.

$$C_3 = 1.03 + 0.03 \left( \frac{L}{B} \right) \geq 0.73 \quad (3.61)$$

Deformasyon etki faktörü ( $I_z$ ) derinlikle değişmektedir. Maksimum  $I_z$  değeri  $I_{z(\max)}$  aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_{z(\max)} = 0.5 + 0.1 \sqrt{\frac{(q - \sigma_{v1}')}{\sigma_{v2}'}} \quad (3.62)$$



**Şekil 3.13:** Temel Tipine Göre  $I_z$ 'nin derinlikle değişimi (Robertson ve Cabal, 2009).

Burada  $\sigma_{v1}'$  temel tabanı seviyesindeki efektif düşey gerilme,  $\sigma_{v2}'$  maksimum  $I_z$  derinlikteki efektif düşey gerilmedir. Daire ve kare temeller için:  $z=D_f+B/2$  ve şerit (sürekli) temeller için  $z=D_f+B$ 'dir.

Aşağıdaki Çizelge 3.6'da değişik temel tipleri için  $I_z$  değerleri bulmak için kullanılan denklemler verilmiştir. Burada,  $z_f$  temel tabanından ilgili zemin tabakası ortasına

olan derinliği,  $I_{z(\text{şerit})}$  şerit temelin  $I_z$  değerini,  $I_{z(\text{kare})}$  kare temelin  $I_z$  değerini göstermektedir.

**Çizelge 3.6:** Temel tipine göre  $I_z$ 'nin derinlikle değişimine ait ilişkiler

| $Z_f$     | $I_z$  |
|-----------|--|
|           | Kare ve Daire Temeller için  |
| 0.0-0.5B  | $0.1+(z_f/B)(2I_{z(\text{max})}-0.2)$                                    |
| 0.5B-2.0B | $0.67I_{z(\text{max})}(2-z_f/B)$   |
|           | Şerit Temeller ( $L/B \geq 10$ ) için                                    |
| 0.0-B     | $0.2+(z_f/B)(2I_{z(\text{max})}-0.2)$                                    |
| B-4B      | $0.33 I_{z(\text{max})}(4-z_f/B)$  |
|           | Dikdörtgen Temeller ( $1 < L/B < 10$ )                                   |
| B-5B      | $I_{z(\text{kare})}+0.11(I_{z(\text{şerit})}-I_{z(\text{kare})})(L/B-1)$ |

### 3.4.11 CPT ile zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi

Deprem yükleri altındaki kumlu ve siltli zeminlerin boşluk suyu basıncının artmasına bağlı olarak mukavemet kaybı olarak adlandırılmaktadır (Seed ve Idriss, 1971). CPT ile zeminin sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi amacıyla, Idriss ve Boulanger (2008) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde öncelikle normalize edilmiş koni uç direncinin ve normalize edilmiş sürtünme oranının bulunması gerekmektedir. Normalize edilmiş conic penetrasyon deneyi veri sonuçları  $Q_t$  ve  $F_r$  kullanılarak, zemin davranış tipi katsayısı  $I_c$  aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I_c = \left[ \left( (3.47 - \log(Q_t))^2 + (\log(F_r) + 1.22)^2 \right) \right]^{0.5} \quad (3.63)$$

$$FC(\%) = 1.75I_c^3 - 3.7$$

Bunların dışında CPT sonuçları kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin hesaplanabilmesi için CPT jeolojik yük düzeltme faktörü  $C_N$ , normalize edilmiş jeolojik yük düzeltmesi uygulanmış koni uç direnci  $q_{c1N}$  ve jeolojik yük düzeltme faktörü  $K_\sigma$ 'nin hesaplanması gerekmektedir. Jeolojik yük düzeltmesi uygulanmış koni uç direnci  $q_{c1N}$  aşağıdaki bağıntıda 21 ile 254 arasında değişen bir değer olarak alınmalıdır.

$$C_N = \left( \frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^{1.338 - 0.249(q_{c1N})^{0.264}} \leq 1.7 \quad (3.64)$$

$$q_{c1_N} = q_{c_N} \cdot c_N \quad (3.65)$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left( \frac{\sigma_v'}{P_a} \right) \leq 1.1 \quad (3.66)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1_N})^{0.264}} \leq 0.3 \quad (3.67)$$

Burada  $C_\sigma$  jeolojik yük düzeltmesi uygulanmış uç direncine bağlı değişen, maksimum 0.3 değerini alan bir katsayıdır.  $q_{cN}$  ise ince tabaka düzeltmesi gibi birtakım düzeltmelerin mevcut olduğu durumdaki koni uç direncidir. Genelde düzeltmeye gerek olmaması sebebiyle uç direncine eşittir.

Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR) aşağıdaki denklem yardımı ile bulunur.

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_v'}{\sigma_v'} r_d \quad (3.68)$$

Burada kayma gerilmesi azaltma katsayısı  $r_d$  ise derinliğin ve magnitudün bir fonksiyonu olarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanır. Ayrıca,  $a_{\max}$  maksimum yer ivmesi ve  $g$  yer çekimi ivmesi değeridir.

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M) \quad (3.69)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin \left( \frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \quad (3.70)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 1.118 \sin \left( \frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \quad (3.71)$$

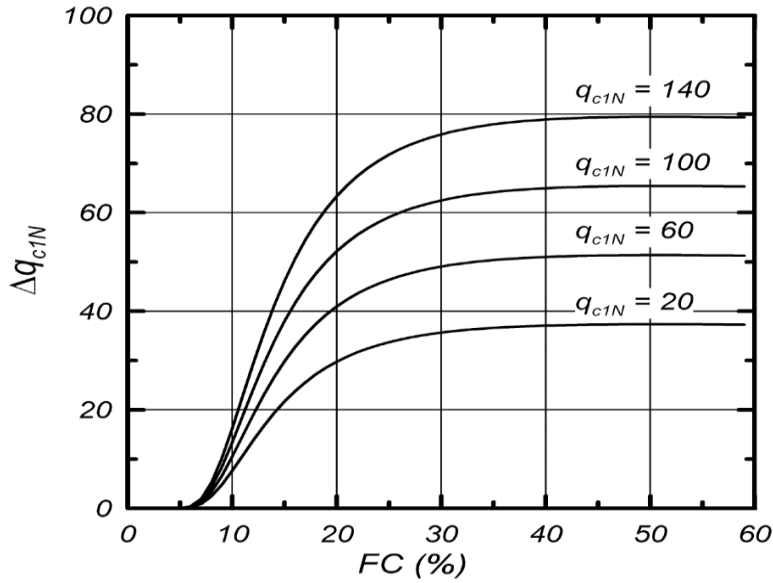
Arazideki tekrarlı mukavemet oranı (CRR) ise deprem magnitudü  $M=7.5$  ve efektif gerilme değerinin  $(\sigma_v')=1$  atm olduğu kabul edilerek aşağıdaki denklem yardımı ile bulunur.

$$CRR_{M=7.5, \sigma_v'=1} = \exp \left( \frac{q_{c1NCS}}{540} + \left( \frac{q_{c1NCS}}{67} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1NCS}}{80} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1NCS}}{114} \right)^4 - 3 \right) \quad (3.72)$$

Burada  $q_{c1NCS}$  değeri, temiz kuma eşdeğer düzeltilmiş uç direnci değeridir ve aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunur.

$$q_{c1NCS} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (3.73)$$

Burada  $\Delta q_{c1N}$  değeri, ince dane oranı “FC” ve jeolojik yük düzeltmesi uygulanmış uç direnci  $q_{c1N}$ 'e bağlı olarak değişen bir parametredir.  $\Delta q_{c1N}$  değerinin, FC ve  $q_{c1N}$ 'e bağlı değişimi Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14:  $\Delta q_{c1N}$ 'nin FC ve  $q_{c1N}$ 'e göre değişimi (Iddriss ve Boulanger, 2008).

$$\Delta q_{c1N} = \left( 5.4 + \frac{q_{c1N}}{16} \right) \cdot \exp \left( 1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left( \frac{15.7}{FC + 0.01} \right)^2 \right) \quad (3.74)$$

Tekrarlı mukavemet oranı (CRR) ise diğer magnitüt değerleri için (M=7.5 hariç) aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanır.

$$CRR = CRR_{M=7.5, \sigma_v=1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (3.75)$$

Zeminin sıvılaşma potansiyeline sahip olup olmadığı güvenlik katsayısı hesaplanarak belirlenebilir. Güvenlik sayısı tekrarlı mukavemet oranının tekrarlı gerilme oranına bölümü ile hesaplanır.

$$GS = \frac{CRR}{CSR} \quad (3.76)$$

#### **4. VAKA ANALİZLERİ**

Bu tez çalışması kapsamında, Hatay/Erzin bölgesinde vibro yer değiştirme yöntemi ile yapılan taş kolon imalatlarının öncesinde uygulanan koni penetrasyon deneylerinin sonuçları ve taş kolon imalatı sonrasında uygulanan koni penetrasyon deneylerinin sonuçları kullanılarak sahada yapılan yapılar için geoteknik değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda yapı temelleri altındaki zeminin emniyetli taşıma gücü, temel zeminin oturma miktarı ve sıvılaşma potansiyeli, mevcut zemin durumu ve taş kolon imalatı ile iyileştirilmiş zemin durumu için incelenmiş ve sonuçları sırası ile sunulmuştur. Oturma analizleri yapılırken sonlu elemanlar yöntemi ile zemin modeli CPT sonuçlarına ve sahada gerçekleştirilen sondajlara göre oluşturulmuş, oturma miktarları, ilgili yapıların temel geometrisine ve üst yapı yüküne bağlı olarak hesaplanmıştır. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan Clig yazılımı; sahada gerçekleştirilen CPT sonuçlarına, yeraltı su seviyesine, etkin yer ivmesi katsayısına ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak zeminin sıvılaşma potansiyeline sahip olup olmadığını belirlemeye yardımcı olan güvenlik sayısını hesaplamaktadır. Sahada iyileştirme öncesinde elde edilen taşıma gücü, oturma miktarı ve sıvılaşma potansiyeline karşı hesaplanan güvenlik sayısı değerleri ile yine aynı bölgelerde farklı yerleşim aralıklarıyla imal edilen taş kolonlarla yapılan zemin iyileştirmesi sonucu hesaplanan bu değerler alan oranlarına bağlı olarak yorumlanmıştır.

##### **4.1 Sahanın Tanıtılması ve İnceleme Alanının Jeolojisi**

İnceleme alanında mevcut zemin kotları +3.0 m ile +4.0 m arasında değişmekte olup genel olarak düz bir topografyaya sahiptir. Bu çalışma kapsamında inşa edilen bloklardan taş kolon imalatı öncesi ve taş kolon imalatı sonrasında koni penetrasyon deneyi uygulanan 3 adet blok incelenmiştir. Şekil 4.1’de blokların, taş kolonların, sahada gerçekleştirilen sondajların ve koni penetrasyon deneylerinin yeri gösterilmiştir. C blok temelleri altında 2.2m x 2.5m, D blok temelleri altında 2.3m x 2.3m, E blok temelleri altında 2.2 m x 2.0m yerleşim aralığında 80 cm çapında C ve D blok temelleri altında 19 m E blok temelleri altında 22.5 m uzunluğunda vibro yer

değiştirme yöntemi ile imal edilmiş taş kolonlar bulunmaktadır. Bloklar altında zemin iyileştirmesi öncesi koni penetrasyon deneyi yerleşim yerleri ve taş kolon ile zemin iyileştirmesi imalatı sonrasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deneylerinin yerleşim yerleri aynı noktadır.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere 3 adet farklı boyutlarında radye temel bulunmaktadır. Üst yapı yüklerinden dolayı zemine 110 ~ 150 kN/m<sup>2</sup> değerinde gerilme aktarmaktadır. Temel boyutları ve temel altı maksimum zemin gerilmeleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.1:** Blokların temel boyutları ve temel altı maks. zemin gerilmeri

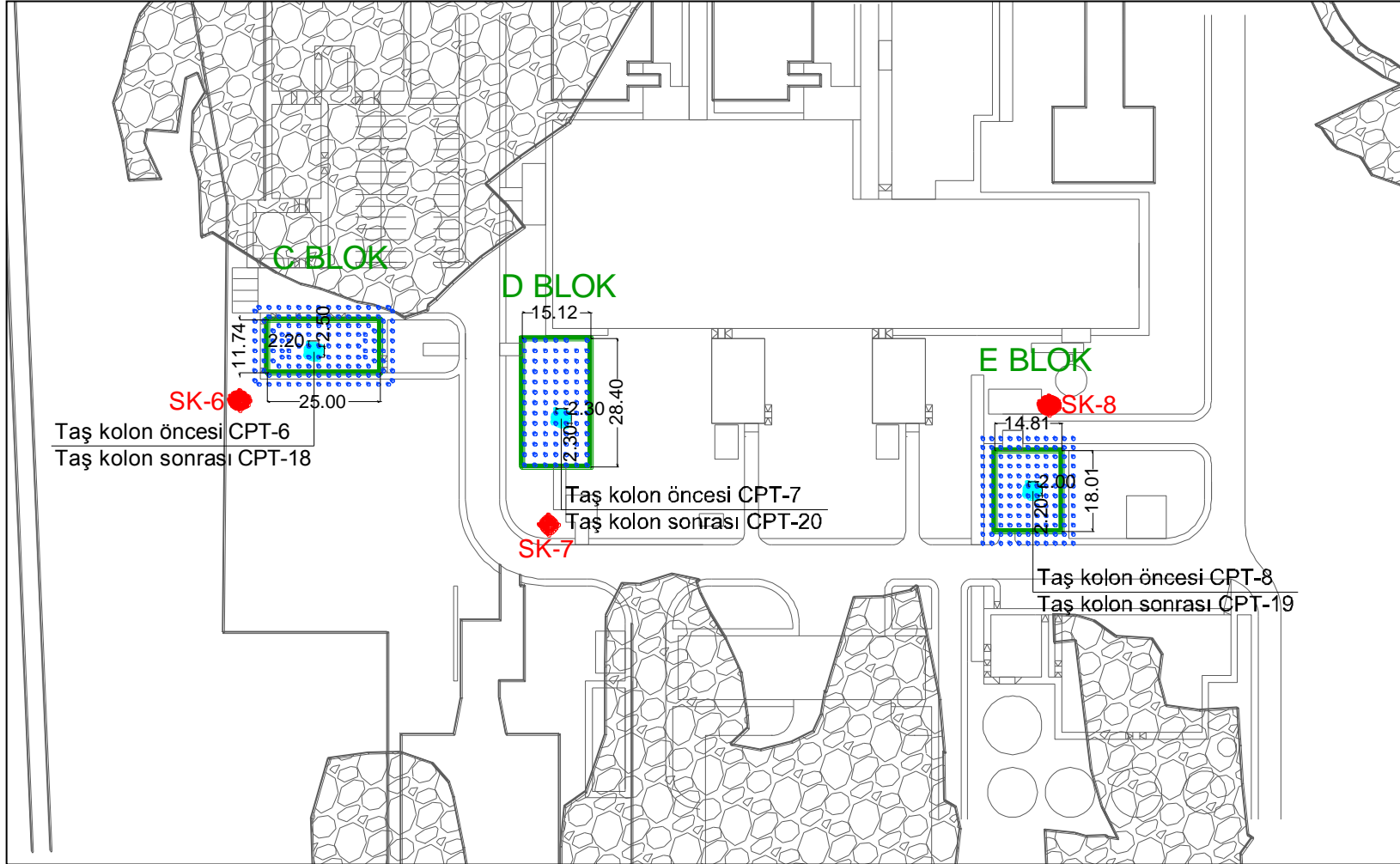
| Blok   | Temel genişliği B (m) | Temel uzunluğu L (m) | Maks. zemin gerilmesi (kN/m <sup>2</sup> ) |
|--------|-----------------------|----------------------|--|
| C Blok | 11.7                  | 25.0                 | 110  |
| D Blok | 15.2                  | 28.4                 | 130  |
| E Blok | 14.8                  | 18.0                 | 150  |

## 4.2 Geoteknik İncelemeler

Arazi çalışmaları kapsamında 3 adet araştırma sondajı açılmış, sondaj kuyusu içerisinde örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Ayrıca sondaj kuyularında yerinde yer altı su seviyeleri tespit edilmiştir. Araştırma sondajlarının yanı sıra zemin iyileştirmesini test etmek amacı ile taş kolon uygulaması öncesi 3 adet, taş kolon uygulaması sonrası 3 adet toplamda 6 adet koni penetrasyon deneyi uygulanmıştır. Sahada gerçekleştirilen koni penetrasyon deneylerinin ve sondaj yeri taş kolon yerleşim planı üzerinde Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

### 4.2.1 Araştırma sondajları

Sahada 3 adet zemin sondajı yapılmıştır. İnceleme alanında zeminde gerçekleştirilen sondajlarda yaklaşık 16 m derinliklere kadar kum - siltli kum tabakasını ardından maksimum 7 m kalınlığında siltli kil biriminini takiben bazalt tabakası gözlemlenmiştir. Sondajlarda yapılan yer altı su seviyesi ölçümlerinde yer altı suyu 2.0 m derinliktedir. Çizelge 4.2’de Sondaj kuyusu içerisinde alınan numuneler yardımı ile geçilen zemin türlerinin derinlik aralığı gösterilmiştir.



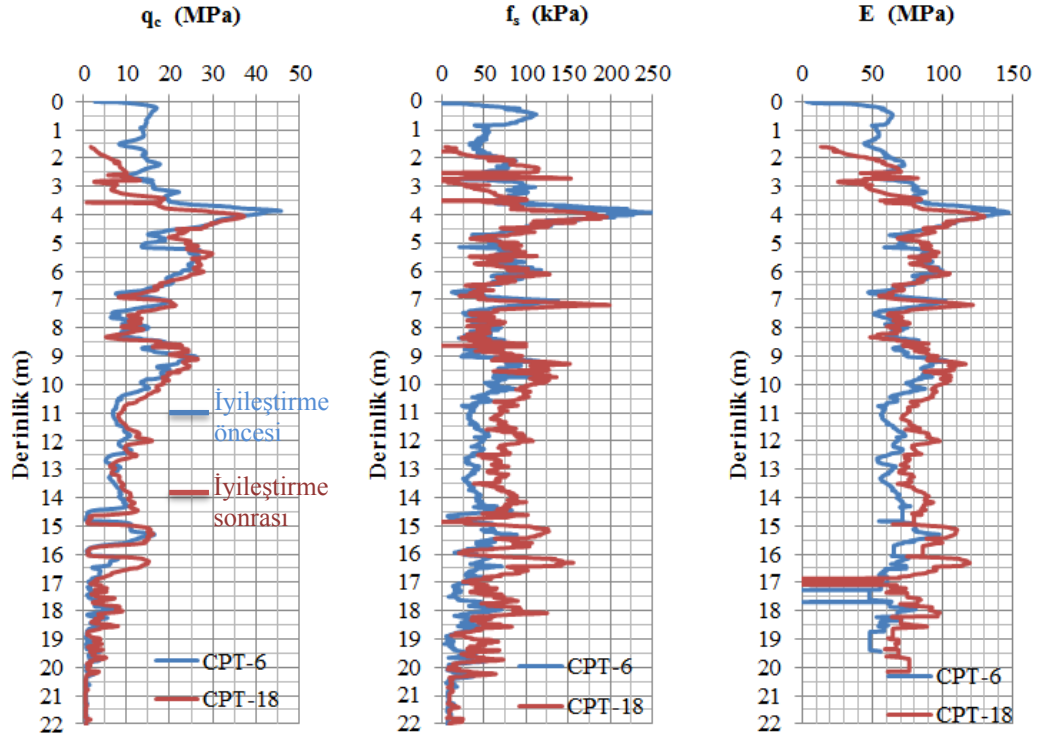
Şekil 4.1: İncelenen blokların, yapılan deney ve imalatların yerleşim yeri

**Çizelge 4.2:** Sondajlarda karşılaşılan zemin birimleri ve derinlikleri

| Sondaj No | Geçilen Birim   | Derinlik Aralığı (m) | Tabaka Kalınlığı (m) |
|-----------|-----------------|----------------------|----------------------|
| SK-6      | Kum             | 0.0 – 5.0            | 5.0                  |
|           | Siltli kum      | 5.0 – 16.0           | 11.0                 |
|           | Siltli kil      | 16.0 – 22.5          | 6.5                  |
|           | Bazalt          | 22.5 – 30.0          | 7.5                  |
| SK-7      | Siltli kum- kum | 0.0 – 3.0            | 3.0                  |
|           | Kum             | 3.0 – 6.5            | 3.5                  |
|           | Siltli Kum      | 6.5 – 16.0           | 9.5                  |
|           | Siltli Kil      | 16.0 – 22.0          | 6.0                  |
|           | Bazalt          | 22.0 – 25.0          | 3.0                  |
| SK-8      | Siltli kum- kum | 0.0 – 4.0            | 4.0                  |
|           | Kum             | 4.0 – 6.0            | 2.0                  |
|           | Siltli Kum      | 6.0 – 15.5           | 9.5                  |
|           | Siltli Kil      | 15.5 – 22.5          | 7.0                  |
|           | Bazalt          | 22.5 – 25.0          | 3.0                  |

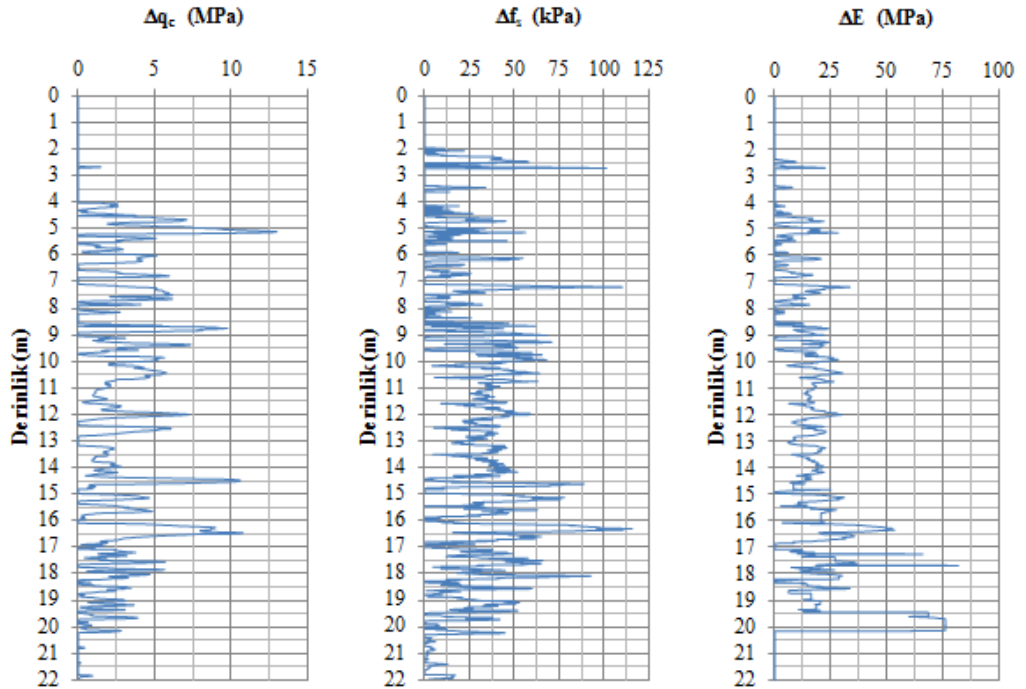
#### 4.2.2 Koni penetrasyon deneyleri

Sahada C, D ve E bloklar altında taş kolon ile zemin iyileştirme öncesi birer adet, zemin iyileştirme sonrası birer adet olmak üzere toplamda 6 adet koni penetrasyon testi yapılmıştır. Zemin iyileştirilmesi öncesinde C blokta CPT-6 adıyla 22.42 m, D blokta CPT-7 adıyla 22.31 m, E blokta ise CPT-8 adıyla 22.21 m uzunluğunda 3 adet koni penetrasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Zemin iyileştirilmesi sonrasında C blokta CPT-18 adıyla 22.43 m, D blokta altında CPT-20 adıyla 22.63 m, E blokta ise CPT-19 adıyla 22.63 m uzunluğunda 3 adet koni penetrasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2’de C blok temelleri altında gerçekleştirilen taş kolon imalatı öncesi ve sonrası ölçülen değerler ve CPe-IT programı kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerleri gösterilmiştir. Taş kolon imalatı öncesi yapılan koni penetrasyon deneyinde koni uç direnci ortalama 4 metre boyunca 15 MPa, 4 - 5 m arasında 25 MPa, 5 – 10 m arasında 20 MPa, 10 – 17 m arasında 10 MPa, 17 – 22 MPa arasında 5 MPa olarak ölçülmüştür. Çevre sürtünmesi ortalama 4 metre boyunca 75 kPa, 4 - 5 m arasında 150 kPa, 5 – 10 m arasında 75 kPa, 10 – 17 m arasında 50 kPa, 17 – 22 MPa arasında 25 kPa olarak ölçülmüştür. Buna bağlı olarak hesaplanan elastisite modülleri ortalama, 4 metre boyunca 50 MPa, 4 - 5 m arasında 100 kPa, 5 – 10 m arasında 80 MPa, 10 – 17 m arasında 70 MPa, 17 – 22 MPa arasında 50 MPa’dır. Şekil 4.3 incelendiğinde zemin iyileştirmesi sonrasında ölçülen uç mukavemeti ve öncesinde ölçülen uç mukavemetinin farkı derinlik boyunca 2.5 ile 5 MPa, çevre sürtünmesi farkı 35 ile 40 kPa, hesaplanan elastisite modülü değişimi ortalama 15 ile 25 MPa civarındadır.



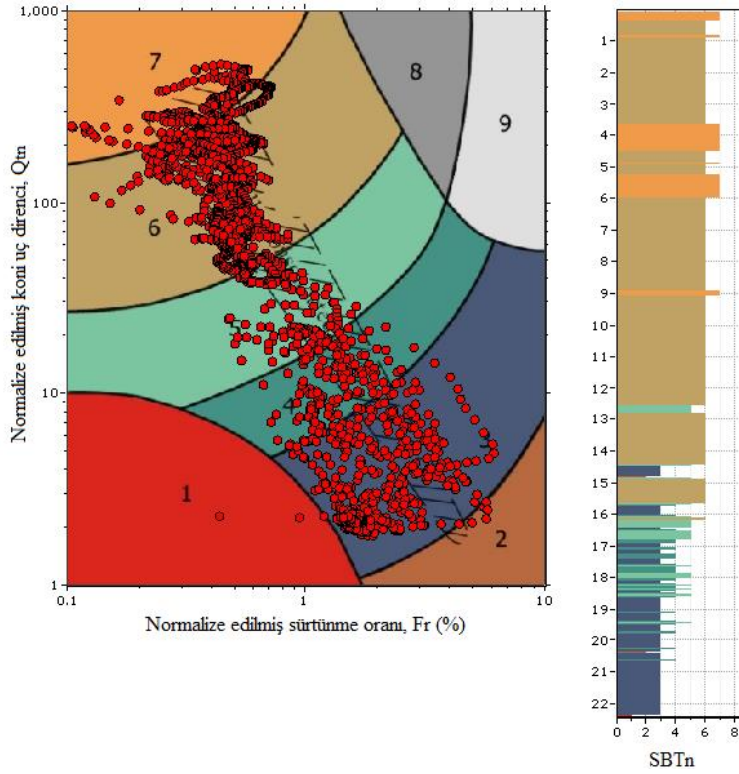
**Şekil 4.2:** C blok temeli altında ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü

Şekil 4.3’de zemin iyileştirme sonrasında ölçülen uç mukavemeti, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü ile zemin iyileştirme öncesi elde edilen bu değerlerin farkı derinliğe bağlı verilmiştir.



**Şekil 4.3:** CPT-6 ve CPT-18’de ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü farkları

Ayrıca zemin iyileştirmesi öncesi C blok temeli altında yapılan CPT-6 deney sonuçları kullanılarak yapılan zemin sınıfı tayini de Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.4:** C blok temeli altındaki birimlerin zemin sınıfı tayini

Zemin sınıfını belirlemekte kullanılan numaralar; 1.Hassas ince daneli zemin, 2.Organik zemin, 3.Kil-silti kil, 4.Killi silt–silti kil, 5. Siltli kum- kumlu silt, 6.Kum-silti kum, 7. Kum, 8. Çok Sıkı kum-killi kum, 9. Çok sıkı ince daneli kum birimlerini göstermektedir. Şekil 4.4’de görüldüğü üzere C blok temelleri altında 4 m siltli kum birimini takiben 2 metre kalınlığında kum birim gözlemlenmiştir. Kum birimini takiben 9.5 m siltli kum biriminin ardından 6.5 metre kalınlığında siltli kil birimi gözlemlenmiştir. Bazalt tabakasına gelindiğinde koni penetrasyon deneyi sonlandırılmıştır. D ve E Blok temelleri altında gerçekleştirilen CPT ile elde edilen koni uç direnci ve çevre sürtünmesi değerleri, bu değerlere bağlı hesaplanan elastisite modülleri, zemin sınıfı tayini ve zemin iyileştirilmesi sonucu meydana gelen farklar Ek-A’de verilmiştir.

#### 4.2.3 Laboratuvar Deneyleri ve Analizler

Sahanın jeolojik koşullarını meydana getiren tabakaların mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan sondajlar sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde zemin mekaniği laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.3.1 Zeminlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

İnceleme sahasındaki siltli kil biriminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacı ile yapılan laboratuvar deney sonuçları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

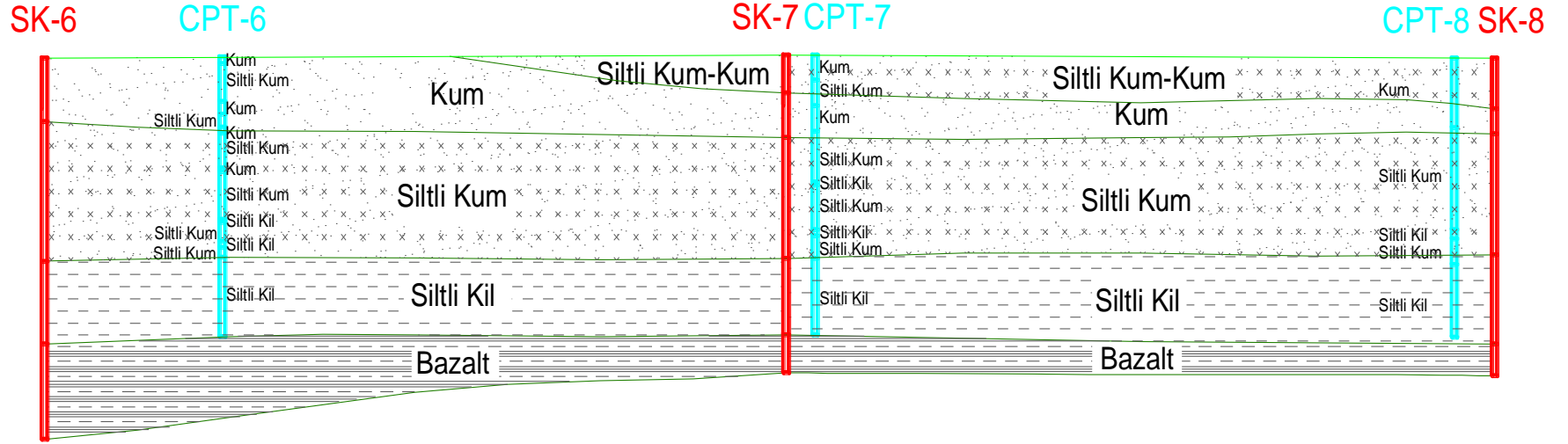
**Çizelge 4.3:** Zeminin fiziksel özellikleri






|                    |         |
|--------------------|---------|
| w (%)              | 25- 90  |
| w <sub>L</sub> (%) | 20 - 50 |
| w <sub>P</sub> (%) | 10 - 40 |
| I <sub>p</sub> (%) | 15 - 65 |

\*w: su muhtevası, w<sub>L</sub>:likit limit, w<sub>P</sub>:plastik limit, I<sub>p</sub>:plastisite indeksi

#### 4.2.3.2 Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Sondajlardan alınan numuneler üzerinde saha zeminin mukavemet özelliklerini belirleyebilmek amacıyla bazalt tabakasında nokta yükleme deneyi yapılmış ve deney sonucunda bazalt tabakasının Is<sub>50</sub> değeri 6.2 Mpa olarak bulunmuştur. Bazalt tabakasının RQD değeri ortalama olarak %68 olarak verilmektedir, elde edilen bu bilgileri ile “CSIR – Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses” sınıflandırmasına göre bazalt tabakası için bir değerlendirme yapılarak kaya birim için mukavemet parametreleri belirlenmiştir. Bu sınıflandırmada kayaç üzerinde gerçekleştirilen nokta yükleme indisi değeri, RQD değeri, çatlak aralığı, çatlakların konumu ve yeraltı suyu durumu göz önüne alınarak temeller için bir puanlama yapılmıştır. Sondajlarda gözlenen diğer zemin tabakalarının mukavemet parametreleri belirlenirken, zemin iyileştirmesi öncesi mevcut zemin koşullarında gerçekleştirilen CPT sonuçları kullanılmıştır. Sondaj kuyularında gözlemlenen zemin tabakaları ile koni penetrasyon deneyi sonuçları ile yapılan zemin sınıfı tayini bir arada değerlendirilerek idealize zemin modeli oluşturulmuştur. Modelde görüldüğü gibi koni penetrasyon deneyi sonuçlarına göre kum tabakasında ince arabantlı siltli kil tabakalanması ve siltli kum tabakasındaki ince ara bantlı siltli kil tabakalanması, tabaka kalınlıkları çok az olduğu için idealize zemin modelinde bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.5’te gösterilen idealize zemin modelinde mukavemet parametreleri de yer almaktadır. Sonlu elemanlar analizinde 3 ayrı kesitte modelleme yapılırken oluşturulan idealize zemin modeli ve modelde verilen mukavemet parametreleri ile oturma miktarları hesaplanılmıştır.



|                |   |                                |                                |                 |                    |
|----------------|---|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------|
| Siltli Kum-Kum |   | $\gamma_n=18.0 \text{ kN/m}^3$ | $\gamma_s=18.5 \text{ kN/m}^3$ | $\phi=27^\circ$ | $c=2 \text{ kPa}$  |
| Kum            |  | $\gamma_n=18.0 \text{ kN/m}^3$ | $\gamma_s=18.5 \text{ kN/m}^3$ | $\phi=27^\circ$ | $c=0 \text{ kPa}$  |
| Siltli Kum     |  | $\gamma_n=18.5 \text{ kN/m}^3$ | $\gamma_s=19.0 \text{ kN/m}^3$ | $\phi=28^\circ$ | $c=2 \text{ kPa}$  |
| Siltli Kil     |  | $\gamma_n=18.5 \text{ kN/m}^3$ | $\gamma_s=19.0 \text{ kN/m}^3$ | $\phi=30^\circ$ | $c=5 \text{ kPa}$  |
| Bazalt         |  | $\gamma_n=24.0 \text{ kN/m}^3$ | $\gamma_s=24.5 \text{ kN/m}^3$ | $\phi=50^\circ$ | $c=20 \text{ kPa}$ |

**Şekil 4.5:** Sahanın idealize zemin profili

### 4.3 Mühendislik Analizleri

İnşa edilecek olan C, D ve E bloklarının geoteknik değerlendirmesi kapsamında taşıma gücü, oturma miktarları ve sıvılaşma riskine karşı güvenlik sayısı, mevcut zemin koşullarında hesaplanmış ve zemin iyileştirmesinin yapılması sonrasında taş kolon gruplarının taşıma gücü, sonlu elemanlar analizleri ile oturma miktarı ve sıvılaşma riskine karşı güvenlik sayısı tekrardan hesaplanmıştır.

#### 4.3.1 Taşıma gücü analizleri

Mevcut zemin koşullarında Terzaghi tarafından önerilen formülle emniyetli taşıma gücü ve vibro yer değiştirme yöntemiyle farklı yerleşim aralıkları ile imal edilen taş kolonlar sonrasında emniyetli taşıma gücü hesaplanmıştır. Taşıma gücü problemi olup olmadığı temel altı gerilmelerine göre belirlenmiştir.

##### 4.3.1.1 İyileştirme öncesi taşıma gücü analizleri

Taşıma gücü hesabının yapılabilmesi için temel boyutlarının yanında zemine ait mukavemet parametrelerine ihtiyaç vardır. Zeminin mukavemet parametreleri zemin iyileştirilmesi yapılmadan önceki CPT sonucunda elde edilen uç direnci değerine bağlı korelasyonlarla hesaplanmıştır. Yüzeysel temeller için taşıma gücünün belirlenmesinde Terzaghi tarafından verilen;

$$q_d = (K_1 \times c \times N_c) + (\gamma_1 \times D_f \times N_q) + (K_2 \times N_\gamma \times B \times \gamma_2)$$

ifadesi kullanılmıştır. Bu ifadede;

$K_1$  ve  $K_2$  : Temel şekline bağlı katsayılar

$c$  : Kohezyon (olası bir göçme durumunda kohezyon ifadesinin taşıma gücüne katkıda bulunmayacağı kabul edilmektedir.)

$\phi$  : Kayma mukavemeti açısı (Lokal göçmeler meydana gelebileceğinden  $\tan \phi' = 2/3 \tan \phi$  kabul edilmiştir.)

$D_f$  : Temel derinliği

$\gamma_1$  : Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı

$\gamma_2$  : Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı

$B$  : Temel genişliği

$N_c, N_q, N_\gamma$  : Temel tabanı altındaki zeminin kayma mukavemeti açısına bağlı taşıma gücü katsayılarını göstermektedir.

Blokların temel zeminlerinin emniyetli taşıma gücü hesabı Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4:** Terzaghi formülleri ile emniyetli taşıma gücü değerleri

| Temel No | B (m) | L (m) | $K_1$ | $K_2$ | $\phi'$ (°) | $D_f$ (m) | $\gamma_1$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_2$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $q_{ult}$ (kPa) | $q_{em}$ (kPa) |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|------------|-----------------|----------------|
| C        | 11.7  | 25    | 1.09  | 0.45  | 18          | 0.6       | 18                              | 11.3                            | 15.5  | 6.04  | 3.87       | 297             | 99             |
| D        | 15.2  | 28    | 1.11  | 0.45  | 18          | 0.6       | 18                              | 11.0                            | 15.5  | 6.04  | 3.87       | 354             | 118            |
| E        | 14.8  | 18    | 1.16  | 0.42  | 18          | 0.6       | 18                              | 11.0                            | 15.5  | 6.04  | 3.87       | 328             | 109            |

Yapılan hesaplar sonucunda sahada taşıma gücü 300 ile 350 kPa arasında bulunmuştur. Güvenlik sayısının 3 olması durumunda emniyetli taşıma gücü değeri yaklaşık olarak 100 kPa mertebelerinde olmaktadır. Düşey yükler altında zeminde oluşan gerilmeler C blok için 110, D blok için 130 ve E blok için 150 kPa'dır. Mevcut zemin koşullarında C, D ve E blok yüzeysel temel inşası durumunda oluşacak temel altı gerilmeleri hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerlerinden yüksektir. C, D ve E blokta yüzeysel temel teşkilinin mevcut zemin koşullarında mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

#### 4.3.1.2 İyileştirme sonrası taşıma gücü analizleri

80 cm çapında farklı yerleşim aralıklarıyla C, D ve E Blok temelleri altında vibro-yer değiştirme yöntemi ile imal edilen taş kolon imalatları sonrasında Bölüm 2.6.3’de verilen hesap detaylarına göre taşıma gücü hesapları yenilenmiş ve emniyetli taşıma gücü değerleri çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5:** Taş kolon grubunun emniyetli taşıma gücü değeri

| Temel No | B (m) | TK yatay aralığı | TK yatay aralığı | $a_s$ | $m_s$ | $c$ (kPa) | $c_{ort}$ (kPa) | $\phi_{ort}$ (°) | $\beta$ | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_3$ (kPa) | $q_{ult}$ (kPa) | $q_{em}$ (kPa) |
|----------|-------|------------------|------------------|-------|-------|-----------|-----------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|-----------------|----------------|
| C        | 11.7  | 2.2              | 2.5              | 0.09  | 2.8   | 0         | 0.0             | 14.6             | 52.3    | 19                            | 144              | 241             | 120            |
| D        | 15.2  | 2.3              | 2.3              | 0.10  | 2.8   | 2         | 1.7             | 15.0             | 52.5    | 19                            | 192              | 332             | 166            |
| E        | 14.8  | 2.0              | 2.2              | 0.11  | 2.7   | 2         | 1.7             | 17.3             | 53.6    | 19                            | 195              | 364             | 182            |

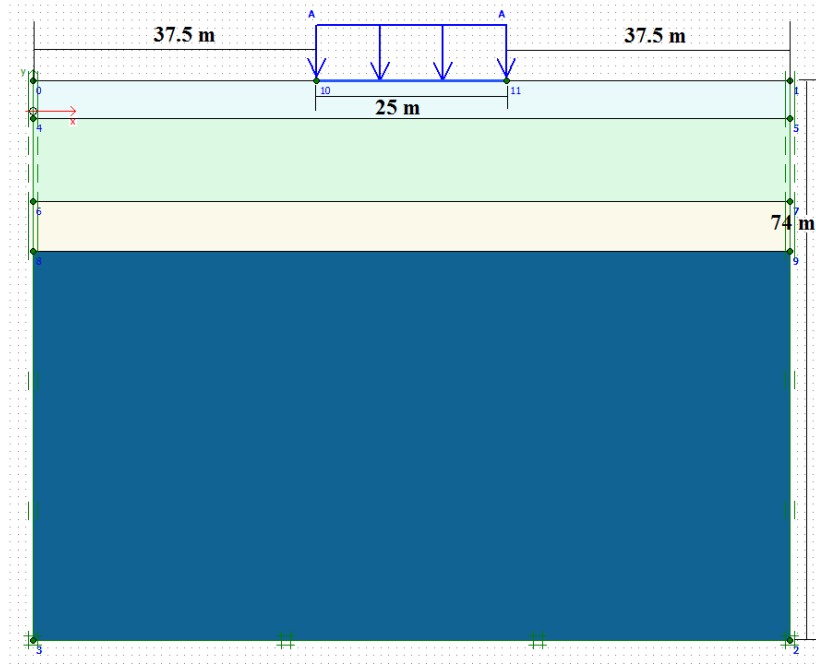
Bu tabloda  $a_s$  alan yer değiştirme oranını,  $m_s$  taş kolon için gerilme oranını,  $c$  iyileştirme öncesi zeminin drenajsız kayma mukavemetini,  $c_{ort}$  kompozit sistemin hesaplanan drenajsız kayma mukavemetini,  $\phi_{ort}$  kompozit sistemin hesaplanan kayma mukavemeti açısını,  $\beta$  göçme yüzeyi eğimini,  $\gamma$  zeminin birim hacim ağırlığını,  $\sigma_3$  nihai çevre geilmesini,  $q_{ult}$  sınır taşıma gücü değerini ve  $q_{em}$  emniyetli taşıma gücü değerini ifade etmektedir. Taş kolonların taşıma gücü; temel altı zeminin taşıma

gücüne katkıda bulunmayacağı tüm yükün taş kolon elemanları tarafından karşılanacağı kabulüne göre hesaplanmıştır. Sahada yapılacak blokların temelleri altında oluşan gerilmeler taş kolon gruplarındaki taş kolon elemanlarının taşıma gücü kapasitesinden küçüktür bu sebeple, taşıma gücü problemi yoktur.

#### 4.3.2 Oturma analizleri

Blok temellerinde meydana gelecek oturma miktarlarının belirlenmesi için sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Bu çerçevede koni penetrasyon deney sonuçlarına göre belirlenen mukavemet parametreleri kullanılarak zemin iyileştirmesi öncesindeki oturma miktarı belirlenmiştir. Taş kolon imalatı sonrasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deney sonuçları kullanılarak iyileştirilmiş durumdaki zemin parametreleri belirlenmiş ve sonlu elemanlar programına taş kolon imatları girilerek analizler yenilenmiştir.

PLAXIS programında deney kasasının geometrik modeli, iki boyutlu ve ele alınan probleme uygun olarak, düzlem şekil değiştirme koşullarında oluşturulmuştur. Zemin ortamı, daha hassas bir çözüm elde etmek amacıyla 15 düğüm noktalı üçgen elemanlarla modellenmiştir. Simetrik geometrik modelin genişliği 100m ve toplam zemin yüksekliği 74m'dir. Analizlerde zeminin farklı tabakalanma durumları için geometri yeniden oluşturulmuştur. C blok için oluşturulan zemin modeli Şekil 4.6'da verilmiştir.

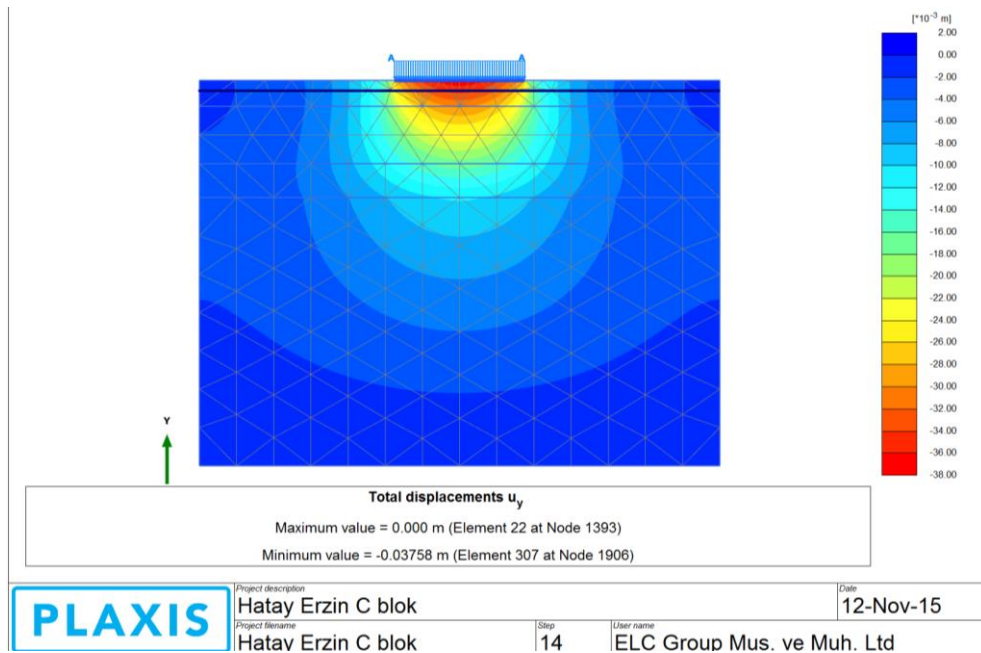


Şekil 4.6: C blok için oluşturulan zemin modeli

Zemin, kaya ortamın ve taş kolon elemanlarının davranışını modellemek için Mohr Columb Modeli (MC) kullanılmıştır. Mohr Columb Modeli elasto-plastik zemin modelidir. Programda, giriş bilgileri olarak 5 parametre girilir. Bunlar; elastisite modülü, E, poisson oranı, “ $\nu$ ”, kohezyon, “c”, içsel sürtünme açısı, “ $\phi$ ” ve dilatasyon açısı,  $\psi$ 'dir. Mevcut zemin koşullarında, iyileştirme öncesi uygulanan koni penetrasyon deney sonuçlarına bağlı hesaplanan elastisite modülü ve sayfa 62’de verilen zemin/kaya ortamın mukavemet parametreleri göz önünde bulundurularak oturma hesapları yapılmıştır. İyileştirilmiş durumda taş kolon grupları arasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deney sonuçlarına bağlı hesaplanan elastisite modülleri ve sayfa 62’de verilen zemin kaya ortamın mukavemet parametreleri kullanılmıştır, taş kolon imalatı ile iyileştirme yapılmayan bölgelerde ise mevcut zemin koşullarında hesaplanan elastise modülleri kullanılmıştır. Ayrıca bloklar altındaki ilgili boyda ve çaptaki taş kolon elemanının geometrisi analiz modeline çizilerek taş kolon elemanı zemin gibi modellenmiştir.

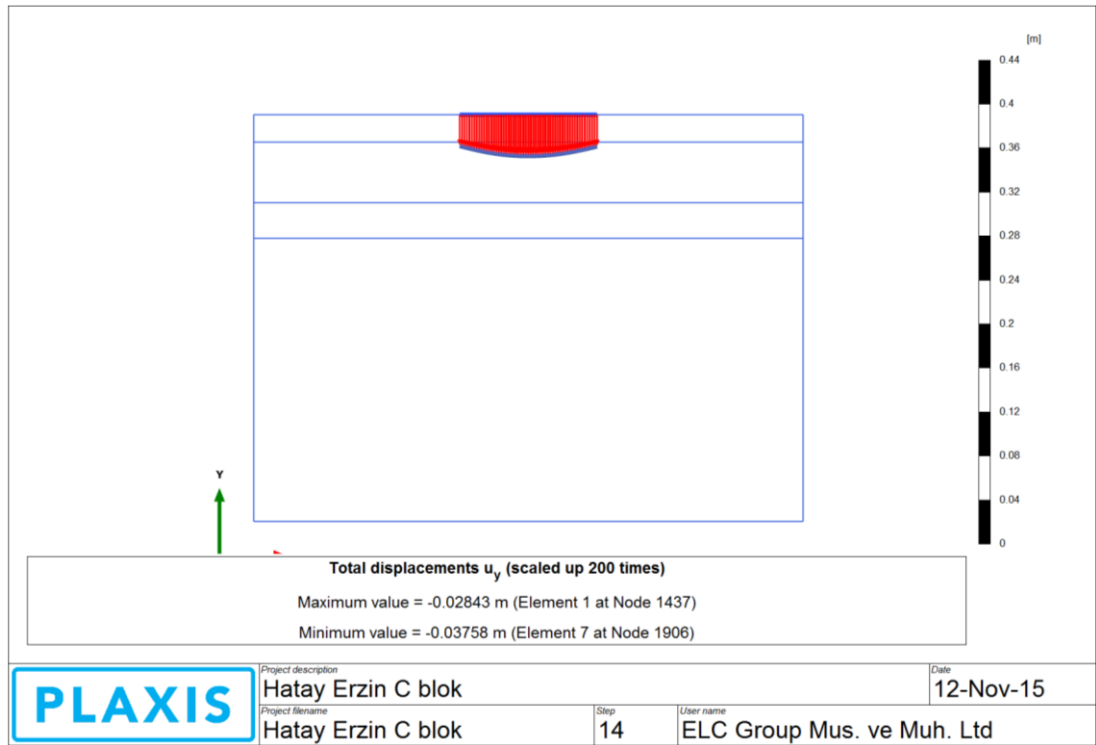
#### 4.3.2.1 Taş kolon imalatı öncesi oturma analizleri

C blok temelleri altında oluşturulan idealize zemin profili kullanılarak kumlu birimlerdeki ani oturmalar ve siltli kil birimindeki konsolidasyon oturmaları toplamı sonlu elemanlar analizi yardımı ile bulunmuştur. Şekil 4.7’de temel altı zemininde meydana gelen düşey deformasyon sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.7: Mevcut zemin koşullarında C blok temel zemininde meydana gelen düşey deformasyonlar

Mevcut zemin koşullarında yapılan analizlerde temel 60 cm kalınlığında girilmiştir ve temel zemini altında meydana gelen 110 kPa'lık düşey gerilmeyi modelleyebilmek için temel üzerinde yayılı yük etkilmiştir. Yayılı yük hesabı yapılırken 60 cm kalınlığındaki temelin yaratacağı gerilme çıkarılmış, temel altına 110 kPa değerinde bir gerilme iletilmesi sağlanmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda temel altında meydana gelen toplam oturma miktarı 3.76 cm olarak bulunmuştur. Ayrıca temel elemanı boyunca gerçekleşen farklı oturmaları görebilmek için, temel elemanının düşey deformasyon sonuçları Şekil 4.8'de verilmiştir.

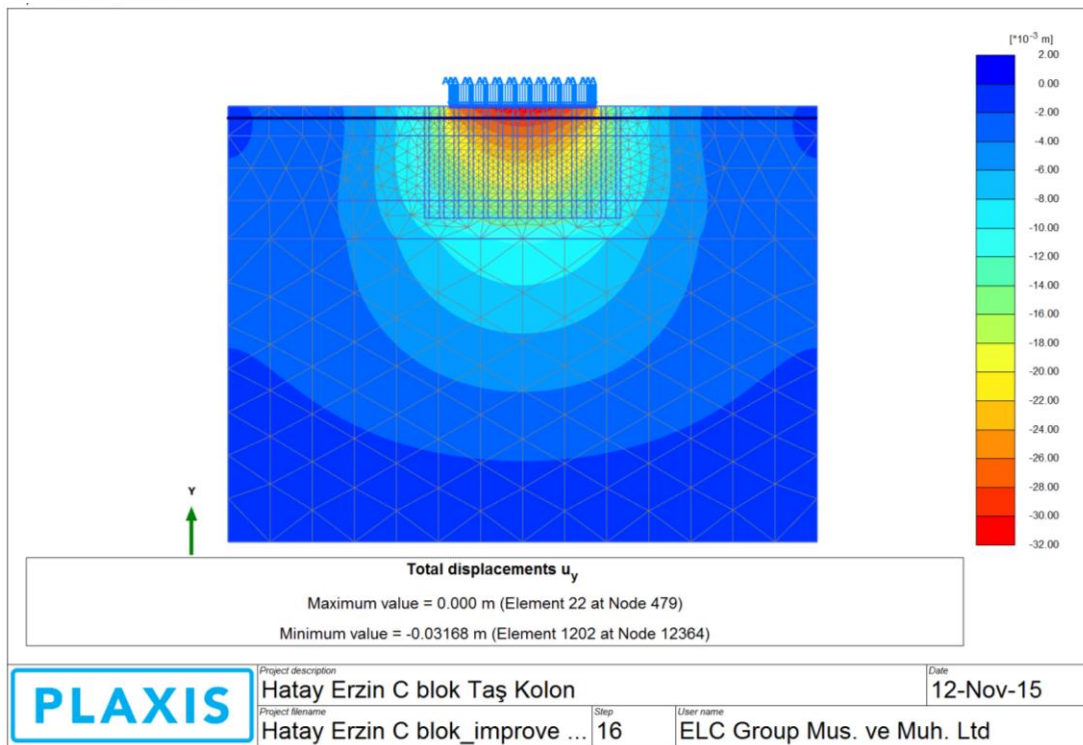


**Şekil 4.8:** Mevcut zemin koşullarında C blok temelinde meydana gelen düşey deformasyonlar

Şekil 4.8'de gösterildiği gibi temelin orta noktasında meydana gelen oturma miktarı 3.76 cm, temelin kenarlarında meydana gelen oturma miktarı 2.84 cm olarak bulunmuştur. Bu durumda temelde oluşan farklı oturma miktarı 0.92 cm olarak bulunmuştur. TS 500'de verilen kum üzerinde inşa edilen radye temeller altında izin verilen oturma 7.50 cm, farklı oturma 3.20 cm'dir. İlgili standart göz önünde bulundurulduğunda C blokta oturma problemi ile karşılaşılmasına rağmen temel zeminin taşıma gücü açısından yetersiz olması sebebiyle taş kolon imalatı yapılmıştır.

#### 4.3.2.2 Taş kolon imalatı sonrası oturma analizleri

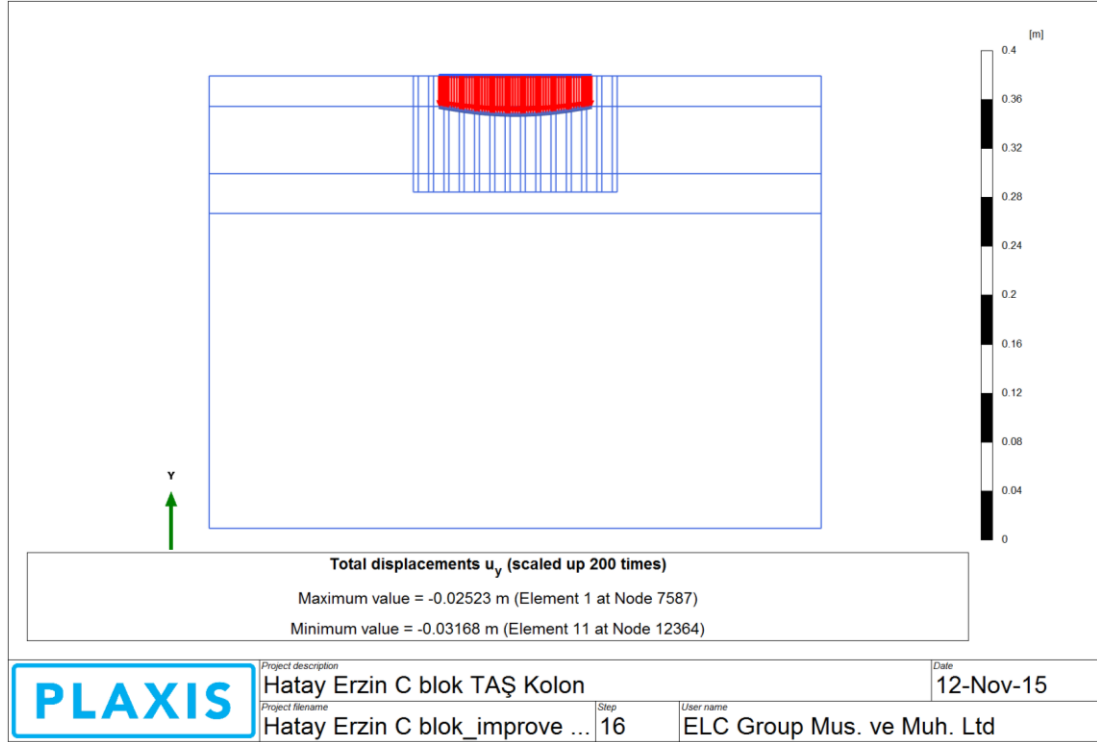
2.5 m x 2.5 m yatay aralıklar ile 19 metre uzunluğunda, 80 cm çapında taş kolon imalatı sonrasında C blok temelleri altında meydana gelen oturmalar, iyileştirilmiş durumda taş kolon grupları arasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deney sonuçlarına bağlı hesaplanan elastisite modülleri ve sayfa 62’de verilen zemin kaya ortamın mukavemet parametreleri kullanılmıştır, taş kolon imalatı ile iyileştirme yapılmayan bölgelerde ise mevcut zemin koşullarında hesaplanan elastisite modülleri kullanılmıştır. Şekil 4.9’da zeminde meydana gelen düşey deformasyon sonuçları verilmiştir.



**Şekil 4.9:** Zemin iyileştirilmesi sonrasında C blok temeli zeminde meydana gelen düşey deformasyonlar

Taş kolon elemanları ile zemin iyileştirilmesi sonucunda temel altında meydana gelen toplam oturma miktarı 3.17 cm olarak bulunmuştur. Ayrıca temel elemanı boyunca gerçekleşen farklı oturmaları görebilmek için, temel elemanının düşey deformasyon sonuçları Şekil 4.10’da verilmiştir.

Şekil 4.10’da gösterildiği gibi temelin orta noktasında meydana gelen oturma miktarı 3.17 cm, temelin kenarlarında meydana gelen oturma miktarı 2.52 cm olarak bulunmuştur. Bu durumda temelde oluşan farklı oturma miktarı 0.65 cm olarak bulunmuştur.



**Şekil 4.10:** Zemin iyileştirilmesi sonrasında C blok temelinde meydana gelen düşey deformasyonlar

Taş kolonlar ile yapılan zemin iyileştirme öncesinde mevcut durum oturma analizleri D ve E bloktada yapılmıştır. D blokta temel ortasında meydana gelen oturma miktarı 3.75 cm, temel kenarlarında meydana gelen oturma miktarı 3.37 cm olarak, E blokta temel ortasında meydana gelen oturma miktarı 4.23 cm, temel kenarlarında meydana gelen oturma miktarı 3.92 cm olarak hesaplanmıştır. Zemin iyileştirilmesi sonrasında yapılan oturma analizlerinde 2.3 m x 2.3 m yatay aralıklar ile 19 metre uzunluğunda gerçekleştirilen 80 cm çaplı taş kolon imalatı sonrasında D blok temelinin orta noktasında meydana gelen oturma 3.05 cm, temel kenarında meydana gelen oturma 2.60 cm olarak hesaplanmıştır. 2.0 m x 2.2 m aralıklarla 22.5 m uzunluğunda yapılan taş kolon imalatı sonrasında E blok temelinin orta noktasında meydana gelen oturma 3.40 cm, kenarında meydana gelen oturma 2.83 cm olarak bulunmuştur. Hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.6’da özet olarak gösterilmiştir ve sonlu elemanlar analiz çıktıları Ek-B’de verilmektedir.

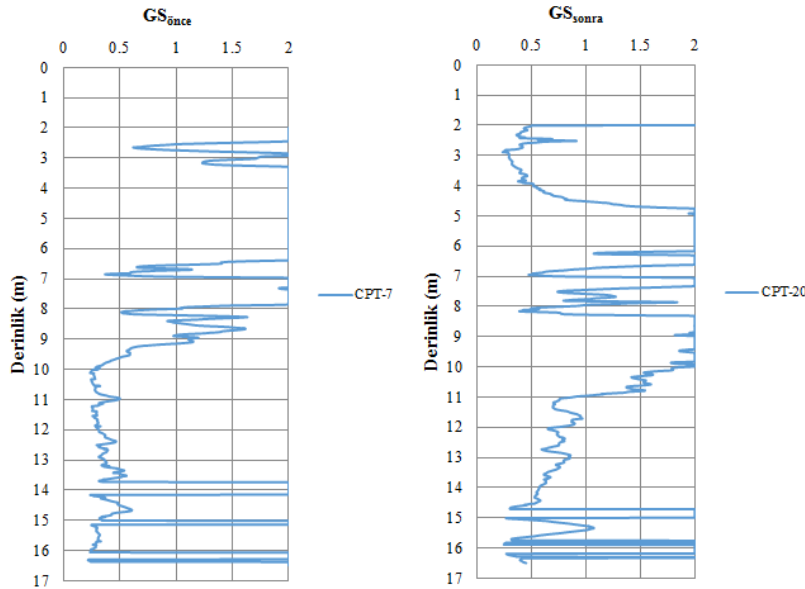
**Çizelge 4.6:** Temel ortasında gerçekleşen oturmalar

| Blok   | TK yerleşim aralığı | Oturma (cm)       |                    |
|--------|---------------------|-------------------|--------------------|
|        |                     | S <sub>önce</sub> | S <sub>sonra</sub> |
| C blok | 2.2m x 2.5m         | 3.76              | 3.17               |
| D blok | 2.3m x 2.3m         | 3.75              | 3.05               |
| E blok | 2.0m x 2.2m         | 4.23              | 3.40               |

\*TK: Taş kolon,  $s_{ö}$ : iyileştirme öncesi oturma,  $s_{s}$ : iyileştirme sonrası oturma.

### 4.3.3 Sıvılaşma analizleri

CPT'den alınan veriler kullanılarak CLiQ yazılımıyla sıvılaşma analizleri yapılmış zeminin sıvılaşma potansiyeline sahip karşı direnci güvenlik sayısı hesaplanarak belirlenmiştir. Güvenlik sayısı, zeminin sahip olduğu kayma gerilmelerinin depremin neden olduğu tekrarlı gerilmesine oranlanarak hesaplanır. Güvenlik sayının 1'den küçük bulunması halinde sıvılaşma potansiyelinin var olduğundan bahsedilebilir. Zemin kesiti ve yer altı su seviyesi göz önünde bulundurulduğunda sıvılaşma analizleri yapılmalıdır. Saha, 1. dereceden deprem bölgesi sınırları içerisindedir. Sıvılaşma analizlerinde en büyük yer ivmesi katsayısı (PGA) 0.4 g, deprem büyüklüğü 7.5 olarak ve yeraltı su seviyesi yüzeyin 2 m aşağısında girilmiştir. Yüzeyden itibaren 16.5 metre derinlikte plastisite indisi %15 ile %69 arasında değişen ortalama %34 olan siltli kil birimi ve bu birimi takiben bazalt birimi mevcuttur. Plastisite indisi %15'den büyük olan zeminlerde ve kaya birimlerde sıvılaşma potansiyeli beklenmemektedir. Bu sebeple sıvılaşma analizleri 16.5 metreden sonra yapılmamıştır. Şekil 4.11'da D blok temeli altında 2.3 m x 2.5 m aralıklarla gerçekleştirilen taş kolon imalatı öncesi ve sonrası sıvılaşma analizlerinden elde edilen güvenlik sayıları ve bu değerlerin derinliğe göre değişimi verilmiştir.



**Şekil 4.11:** D blokta zemin iyileştirilmesi öncesi ve sonrasında sıvılaşmaya karşı elde edilen güvenlik sayıları

C blok temeli altında 2.5 m x 2.5 m, E blok temeli altında 2.2 m x 2.0 m aralıklarla gerçekleştirilen taş kolon imalatı öncesinde ve sonrasında sıvılaşma analizleri

yapılmıştır. Elde edilen güvenlik sayıları ve bu değerlerin derinliğe göre değişimi Ek-C'de verilmiştir. Ayrıca EK-C'de Clig programının analiz çıktıları, sadece bir CPT noktası için verilmiştir.

#### **4.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Bu tez kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerinden vibro yer değiştirme ile imal edilen taş kolon elemanlarının saha zeminin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Taş kolon imalatı sonrasında gerçekleşen iyileşme miktarlarını elde edebilmek için mevcut zemin koşullarında ve taş kolon imalatı sonrasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deneyi sonuçlarından yararlanılmıştır.

##### **4.4.1 Taşıma gücü analizlerinin değerlendirilmesi**

C, D ve E blok yapı temelleri altındaki zeminin iyileştirme öncesi emniyetli taşıma gücü 100 kPa değerinde hesaplanmıştır. Taş kolonların taşıma gücü; temel altı zeminin taşıma gücüne katkıda bulunmayacağı tüm yükün taş kolon elemanları tarafından karşılanacağı kabulüne göre hesaplanmış ve her bir blokta farklı yerleşim aralıklarındaki taş kolonların imalinden sonra hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerleri 120 ile 180 kPa arasında değiştiği görülmektedir. Yapılan hesaplarda bloklar altındaki taş kolon elemanının yerleşim aralığı, blokların temel genişliği ve temel zemini değişmektedir. Taş kolon elemanlarının nihai taşıma gücü, değeri temel genişliğinin büyümesi ve yerleşim aralığının sıklaşması ile arttığı görülmektedir ki bu sonuç literatürde yapılan çalışmaların sonuçları ile uyumludur. Zahmatkesh ve Choobbasti (2010), taş kolonlar ile desteklenmiş şerit temelin taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi için bir seri sayısal analiz yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda, geliştirdikleri taşıma kapasitesi oranının; kolon aralığına ve temel genişliğine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Afshar ve Ghazavi (2013), nihai taşıma kapasitesinin tahmini için basit bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, yanal toprak basıncı teoremi ile kolonun ve zeminin kayma mukavemeti parametrelerinin kullanımına dayanmakla birlikte, çap ve kolon aralığı gibi geometrik parametrelere de ihtiyaç duymaktadır. İlgili sonuçlar, sonlu elemanlar yöntemi ve literatür ile doğrulanmış olup, taş kolonun sürtünme açısının artmasıyla nihai taşıma kapasitesinin artış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

#### 4.4.2 Oturma analizlerinin değerlendirilmesi

Taş kolon uygulamalarının temel amaçlarından birisi iyileştirilmiş zeminde oluşacak oturmaların azaltılmasıdır. Litaratürde yapılan çalışmalarda oturma azaltım faktörü ( $\beta$ ) aynı yükleme koşullarında iyileştirilmiş zeminin oturmasını iyileştirilmemiş zeminin oturmasına oranları olarak tanımlanmaktadır. (Barksdale ve Bachus, 1983). Blok temellerinde meydana gelecek oturma miktarlarının belirlenmesi için sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Bu çerçevede koni penetrasyon deney sonuçlarına göre belirlenen mukavemet parametreleri kullanılarak zemin iyileştirmesi öncesindeki oturma miktarı belirlenmiştir. Taş kolon imalatı sonrasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deney sonuçları kullanılarak iyileştirilmiş durumdaki zemin parametreleri belirlenmiş ve sonlu elemanlar programına taş kolon imalatları girilerek analiz yenilenmiştir. Analiz sonucunda iyileştirilmiş durumda meydana gelen oturma miktarları ile iyileştirme öncesinde meydana gelen oturma miktarları oranlanarak oturma azaltım oranları bulunmuştur.

**Çizelge 4.7:** Hesaplanan oturma azaltım oranları

| Blok   | $a_s$ | Oturma (cm) |             | $\beta$ |
|--------|-------|-------------|-------------|---------|
|        |       | $S_{önce}$  | $S_{sonra}$ |         |
| C blok | 0.09  | 3.76        | 3.17        | 0.84    |
| D blok | 0.10  | 3.75        | 3.05        | 0.81    |
| E blok | 0.11  | 4.23        | 3.40        | 0.80    |

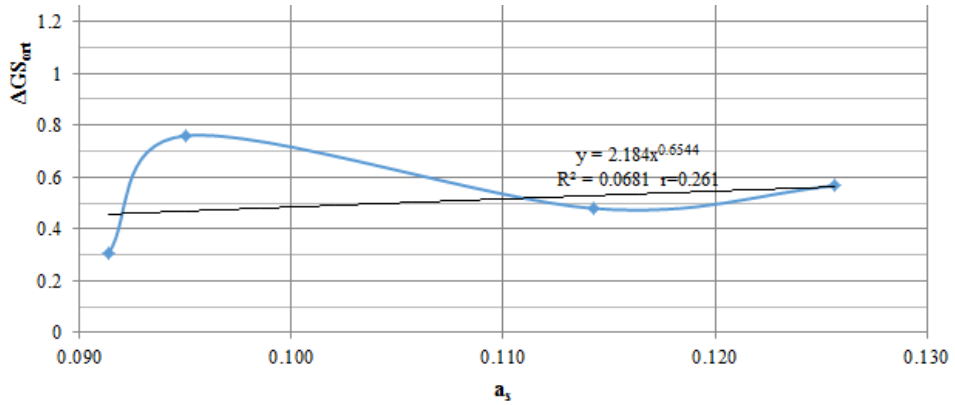
Çizelge 4.7’de gösterilen sonuçlarında alan oranları artıkça, oturma azaltım oranları azalmaktadır bu sonuç Bölüm 2.7’de Barksdale ve Bachus tarafından verilen oturma azaltım oranı grafiği sonuçları ile uyumludur.

#### 4.4.3 Sıvılaşma analizlerinin değerlendirilmesi

Yapılan araştırmalar zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin azaltılmasında, taş kolonların sismik kayma gerilmelerini yeniden dağıtmak suretiyle etkili olduğunda ortaya koymuştur (Baez, 1995). Zeminde taş kolonların imali ile ilk durumdaki gerilme koşulları ve sıklıktaki değişim sebebiyle deprem durumundaki yük koşulları etkilenir. Deprem sonucunda oluşan kayma gerilmelerinin etkisi ile zemin ve kolon birlikte deforme olur ve bu iki birimin sıklılıklarındaki farklılık sebebiyle kayma gerilmeleri yeniden dağılır. Sıvılaşmanın oluşmasını engellemek ya da oluşturacağı hasarları en aza indirmek, bu riski taşıyan zeminlerde yeni drenaj yolları oluşturarak boşluk suyu basınçlarını oluşumlarından daha hızlı şekilde dağıtılması ile de

mümkündür. Bu çalışmada sıvılaşma analizleri CPT sonuçlarına göre yapıldığı için elde edilen güvenlik sayısı değerleri sadece deney noktasını temsil etmektedir. Sahada gerçekleştirilen CPT'lerin yerleri imal edilen taş kolon grubunun ortasında kaldığından, iyileşme yönünden en az etkilenen bölgededir. Yapılan sıvılaşma analizleri en elverişsiz koşul için yapılmış olup sahanın geneli hakkında bilgi vermektedir. Oysaki taş kolon ile zemin iyileştirilmesi yapı temellerinin altındaki alanın tamamında yapılmışına rağmen iyileştirme sonrası yapılan koni penetrasyon deneyleri sınırlı sayıda kalmıştır.

Yapılan analizlerde zemin iyileştirmesi sonrasındaki güvenlik sayısı ile zemin iyileştirme öncesindeki güvenlik sayısının farklarının ortalamaları alınmıştır. İyileştirilmiş zeminde güvenlik sayılarının önceki duruma göre azalmayacağı yaklaşımı yapılarak, iyileştirme sonrasındaki güvenlik sayısı iyileştirme öncesinde hesaplanan güvenlik sayısından küçükse güvenlik sayısı değişimi sıfır olarak alınmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda alan oranları ile sıvılaşmaya karşı elde edilen güvenlik sayılarının artışlarının ağırlıklı ortalaması karşılaştırılmıştır. Şekil 4.12'de kısıtlı sayıda veri kullanılarak elde edilen grafiğe göre taş kolon elemanlarının yerleşim araklıkları sıklaştırılarak artan alan oranlarına bağlı olarak sıvılaşmaya karşı hesaplanan güvenlik sayısının değişimi daha büyük olacaktır.



**Şekil 4.12:** Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının zemin iyileştirme öncesi ve sonrasındaki farklarının alan oranına göre değişimi

Bu değerlendirmeler sırasında taş kolon elemanlarının zemin içerisinde düşey drenaj elemanları vazifesi gördüğü unutulmamalıdır. Zemindeki içerisindeki suyun taş kolonların yardımı ile suyu drene olarak artık boşluk suyu basıncının azaldığı ve efektif gerilme artışı meydana gelmesi beklenmektedir ki bu durumda sıvılaşma riskini azaltması üzerinde daha olumlu sonuçlar görülmesi beklenmektedir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada zemin iyileştirmesi yöntemlerinden vibro yer değiştirme ile imal edilen taş kolon elemanlarının saha zeminin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada taş kolon imalatı sonrasında gerçekleşen iyileşmeleri gözlemleyebilmek için taş kolon imalatı öncesinde ve taş kolon imalatı sonrasında gerçekleştirilen koni penetrasyon deneyi sonuçlarından yararlanılmıştır. İki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak saha modellenmiş, iyileşme oranları, taş kolon elemanlarının alan oranlarına bağlı belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde taş kolon elemanlarının yerleşimine bağlı taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Koni penetrasyon deneyi ile ölçülen uç mukavemeti, iyileştirme öncesinde ölçülen uç mukavemetine göre kum tabakasında yaklaşık olarak %10, siltli kum tabakasında %80 ve siltli kil tabakası içinde %100 arttığı belirlenmiştir.
- Taş kolon imalatı ile yapılan iyileştirmesi sonrasında koni penetrasyon deneyi ile belirlenmiş çevre sürtünmesi değerlerinde kum birimde %15, siltli kum birimde %100, siltli kil biriminde %130, mertebelerinde bir artış olduğu anlaşılmaktadır.
- Taş kolon imalatı ile yapılan iyileştirmesi sonrasında koni penetrasyon deney sonuçlarından hesaplanan elastisite modülünde de artışlar gözlenmiştir. Kum biriminde %3, siltli kum ve siltli kil tabakalarında elastisite modülünde %30 ile %40 arasında bir artışın olduğu belirlenmiştir.
- Alan oranı artıkça taş kolon gruplarının taşıma gücü değerinin taşıma gücü değerinin artığı; temel altı zeminin taşıma gücüne katkıda bulunmayacağı tüm yükün taş kolon elemanları tarafından karşılanacağı kabulüne rağmen gösterilmiştir.

- Vibro yer değiştirme yöntemi ile imal edilen taş kolonlar sonrasında yapılan koni penetrasyon deneyi sonuçları kullanılarak, sonlu elemanlar analizleri ile gerçekleştirilen oturma hesaplarında, alan oranı artıkça oturma azaltım oranının azaldığı anlaşılmaktadır.
- Sıvılaşma analizleri CPT sonuçlarına göre yapıldığı için elde edilen güvenlik sayısı değerleri sadece deney noktasını temsil etmektedir. Sahada gerçekleştirilen CPT'lerin yerleri imal edilen taş kolon grubunun ortasında kaldığından, iyileşme yönünden en az etkilenen bölgede olmasına rağmen alan oranı artıkça sıvılaşmaya karşı iyileştirme sonrasındaki ve öncesindeki güvenlik sayılarının farklarının ortalaması artmıştır.
- Vibro yer değiştirme yöntemi ile imal edilen taş kolon elemanlarının, oturma ve taşıma kapasitesi yönünden etkili bir zemin iyileştirme yöntemi olduğu gerçekleştirilen koni penetrasyon deneyi sonuçlarına bağlı yapılan hesaplarda gösterilmiştir.
- İyileştirme sonrası yapılan koni penetrasyon deneyleri, taş kolon yerleşim geometrisinin yaklaşık ortasında uygulanmıştır. Kolon bölgesine yaklaşıkça penetrasyon deney sonuçlarının daha yüksek değerler vereceği beklenmektedir. Bu nedenle burada elde edilen iyileştirme oranlarının daha iyi olduğu düşünölmektedir.
- Vibro yer değiştirme yöntemi ile imal edilmiş taş kolon elemanları ile iyileştirilmiş temel zemininde, temel yüklemesini temsil edilecek şekilde yapılacak yükleme deneyleri, taş kolonun taşıma gücü ve oturma davranışının belirlenebilmesi amacıyla uygulanabilecek en etkin yöntemlerden bir tanesi olduğu için, taş kolon imalatları sonrasında yükleme deneylerinin yapılması önerilmektedir.

Bu çalışmada incelenen bloklarda taş kolon ile zemin iyileştirilmesi yapı temellerinin altındaki alanın tamamında yapılmasına rağmen iyileştirme sonrası yapılan koni penetrasyon deneyleri sınırlı sayıda kalmıştır. Bu sebeple zemin iyileştirmesi sonrasındaki analizlerde sınırlı sayıda koni penetrasyon deney sonucu ile çalışılmıştır. Elde edilebilecek yeni veriler ışığında bu çalışmaların tekrarlanarak elde edilen sonuçların geliştirilmesi mümkün olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Afshar, J.N., Ghazavi, M.** (2013). A Simple Analytical Method for Calculation of Bearing Capacity of Stone-Column, *International Journal of Civil Engineering*.
- ASTM,** (2005). Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Test of Soil, *Book of Standard Vol. 04.08*, D3441-05
- ASTM,** (2000). Standard Test Method for Performing Electronic Cone and Piezocone Penetration Test of Soils, *Book of Standard Vol. 04.08*, D5778-95.
- Bae, W.S., Shin, B.W., and An, B.C.** (2002). Behaviors of Foundation System Improved with Stone Columns, Japan.
- Baez, J.I.** (1995). A design Model for reuction of soil liquefaction by vibro stone coloumns, Ph. D. Disseration, University of Southern California, Los Angeles.
- Bowles, J.E.** (1996). Foundation Analysis and Design, *McGraw-Hill Book Company*, Singapore, 4<sup>th</sup> Edition.
- Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C.** (1983). Design and Construction of Stone Columns Volume I, *Federal Highway Administration Offices of Research and Development Report No. FHWA/RD-83/026*.
- Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C.** (1983). Design and Construction of Stone Columns Volume II, *Federal Highway Administration Offices of Research and Development Report No. FHWA/RD-83/027*.
- Begemann, H. K. S,** (1965). The Friction Jacket Cone as an Aid in Determining the Soil Profile, *Proceedings, 6th ICSMFE, Montreal, Quebec, Canada, Vol I, pp.17-20*.
- Bell, J. R.** (1978). Future Advances in Soil Placement and Improvement, *JoWrnae 06 the Geotechnid Engineehing Divibion; AXE, Vol. 104, No. GT 1, Jan., 1978, pp. 1-10*.
- Besancon, G., Iorio, J.R., Soyez, B.** (1984). Detailed Analysis of Stone Columns. *International Conference on Insitu Soil and Rock Reinforcement, Paris, pp:119-126*
- Bruzzi, D. and Battaglio, M.** (1987). Pore Pressure Measurements During Cone Penetration Tests, *ISMES Publication No. 229, Bergamo, Italy*.
- Burke, G., Sehn, A.L.,** (2003). The Influence of Ground Improvement on Geotechnical Design. *ASCE/PENNDOT 20<sup>th</sup> Central PA Geotechnical Conference*.

- Campenalla, R.G. and Howie, J.A.** (2008). Guidelines for the Use, Interpretation and Application of Seismic Piezocone Test Data, *Geotechnical Research Group Department of Civil Engineering the University of British Columbia*.
- Coduto, D.P.** (1994). Foundation Design Principles and Practices, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Durgunoğlu, H.T.** (2004). Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul
- EN-14731**, (2005). Execution of Special Geotechnical Works-Ground Treatment by Deep Vibration, *European Standart*.
- Etezzad, M., Hanna, A.M. and Ayadat, T.** (2015). Bearing Capacity of a Group of Stone Columns in Soft Soil, *International Journal of Geomechanics*.
- Eslaamizaad, S. And Robertson, R.K.** (1996). Cone Penetration Test to Evaluate Bearing Capacity of Foundation in Sands, *Proceedings of the Canadian 49th Geotechnical Conference*, Newfoundland
- Güler, E.** (1996). Geoteknik Mühendisliğinde Yeni Bir Devir Başlatan Malzeme: Geosentetikler, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*, Ankara.
- Hanna, A.M., Etezzad, M. and Ayadat, T.** (2013). Mode of Failure of Group of Stone Columns in Soft Soils, *International Journal of Geomechanics*.
- Han, J. and Ye, S.L.** (2001). Simplified Method for Consolidation Rate of Stone column Reinforced Foundation, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127, pp.597-603*
- Hu, W.** (1995). Physical Modelling of Group Behaviour of Stone Column Foundations, PhD Thesis, University of Glasglow.
- Hughes, J.M.O., and Withers, N.J.** (1974). Reinforcing of Soft Cohesive Soils with Stone Columns, *Ground Engineering, Vol.7, No.3, pp.42-49*
- Idriss, I.M. and Boulanger R.W.** (2008). Soil Liquefaction During Earthquakes, *Earthquake Engineering Research Institute*.
- ISSMFE**, (1989). International Reference Test Procedure for Cone Penetration Test (CPT), *Report Of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils-TC 16*, Swedish Geotechnical Institute, Linköping.
- İyisan, R.** (1996). Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlılıklar, *İMO Teknik Dergi*, 1187-1189.
- İyisan, R., Özçimen. N., Ansal, A.**, (2000). Dinamik Zemin Özelliği Belirlemede Arazi Ölçümlerine Dayanan Korelasyonlar. *Zemin Mekaniği ve Ulusal Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi s:409-419*, İTÜ, İSTANBUL
- Juran, I., Chen, C.L., Acar, Y.B., Guermazi, A.** (1988). Soil Improvement Methods for Reinforcing Foundations Soils- Volume:3-Stone Columns, A comparative Study of Soil Improvement/Reinforcement Techniques for Highway Embankments. Research Report, Louisiana State University, Baton Rouge.

- Kullhawy, F.H. and Mayne, P.H.** (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation and Design, *Electric Power Research Institute, EPRI*, August.
- Lunne, T., Eide, O.** (1976). Correlations Between Cone Resistance and Vane Shear Strength in Some Scandinavian Soft to Medium Stiff Clays, *Canadian Geotech. Journal*, 13(4).
- Lunne, T., Robertson, P.K. ve Powell, J.J.M.** (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, *E&FN Spon*, New York, U.S.A.
- Madhav, M.R. and Vitkar, R.P.** (1978). Strip Footing on Weak Clay Stabilized with a Granular Trench or Pile, *Canadian Geotechnical Journal*, s:605-609.
- Mayne, P.W. and Kemper, J.B.** (1988). Profiling OCR in Stiff Clays by CPT and SPT, *ASTM Geotechnical Testing Journal*, s:139-147.
- Mayne, P.W. and Rix, G.J.** (1988). Corelations Between Shear Wave Velocity And Cone Tip Resistance İn Natural Clays, *Japanese Society Of Soil Mechanics And Foundation Engineering*,
- McKenna, J.M., Eyre, W.A., and Wolstenholme, D.R.,** (1975). Performance of an embankment supported by stone columns in soft ground *Geotechnique*
- Meyerhof, G.G.** (1974). Penetration Testing Outside Europe, General report at the European Symposium on Penetration Testing, *ESOPT-1, Stockholm*, 2.1, 40-48, Balkema Pub., Rotterdam.
- Moseley, M.P. ve Kirsch, K. , M.B.** (2004). Ground İmprovement, 2<sup>th</sup> Edition, Brooks/Cole, California, U.S.A.
- Özsoy, B. ve Durgunoğlu, T.** (2003). Sıvılaşma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiri No:AT-004*.
- Priebe, H.J.** (1995). The Design of Vibro Replacement, *Ground Engineering*.
- Priebe, H.J.** (1998). Vibro Replacement to Prevent Earthquake Induced Liquefaction, *Ground Engineering*.
- Robertson, P.K.,** (1989). Soil Classification Using the Cone Penetration Test, Department of Civil Engineering, The University of Alberta, Edmonton, Alta, Canada.
- Robertson, P.K., Cabal, K.L.** (2009). Guide Cone Penetration Test for Geotechnical Engineering, *Gregg Drilling & Testing, Inc, ABD*.
- Robertson, P.K., Campanella, R.G.** (1983). Interpretation of Cone Penetration Tests, *Canadian Geotechnical Journal*, 46, 11, 1337-1355.
- Sabatini, P. J., Bachus, R. C., Mayne, P.W., Schneider, J. A., Zettler, T. E.** (2002) Evaluation of Soil and Rock Properties, *Federal Highway Administration Offices of Research and Development Implementation DIV. Wash Report No. FHWA-IF-02-034*.
- Sanglerat, G.** (1972). The Penetrometer and Soil Exploration, Amsterdam, pp:464.

- Sayraç, M. A., Kemaloğlu, H.F., Bal E. K., Öner L., Çetin, K. Ö.** (2014). Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) Elemanlarının Deformasyon Temelli Tasarımı, İstanbul
- Schmertmann, J. H.** (1978). Guidelines for Cone Penetration Test Performance and Design, *Federal Highway Administration Offices of Research and Development Implementation DIV. Wash Report No. FHWA-TS-78-209*, July, 1978.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M.** (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, Vol 97, No Sm9, Proc Paper 8371, Pp 1249-1273*.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E.** (2009). Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Smoltczyk, U., and Hilmer, K.** (1994). Baugrundverbesserung. *Groundbautaschenbuch, 5. Auflage Teil 2*.
- Sondermann, W. and Wehr, W.** (2004). Deep Vibro Techniques, *Ground Improvement, 2<sup>th</sup> Edition*, Brooks/Cole, California, U.S.A.
- Tand, K.E., Funegard, E.G., Warden. P.E.** (1995). Predicted/Measured Bearing Capacity of Shallow Footing on Sand, Swedish Geotechnical Society.
- Vesic, A.S.** (1972). Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.98(SM3), pp.265–290*
- Vreugdenhil, R., Davis R., Berril, J.** (1994). Interpolation Of Cone Penetration Results İn Multilayered Soils, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*.
- Zahmatkesh, A. and Choobbasti, A. J.** (2010). Investigation of Bearing Capacity and Settlement of Strip Footing on Clay Reinforced with Stone Columns, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(8): 3658-3668*.
- Url-1** <<http://www.kellerholding.com/deep-vibro-techniques.html>>, alındığı tarih:18.09.2015
- Url-2** <<http://www.fes.co.uk/downloads/CPT-general.pdf>>, alındığı tarih:6.10.2015

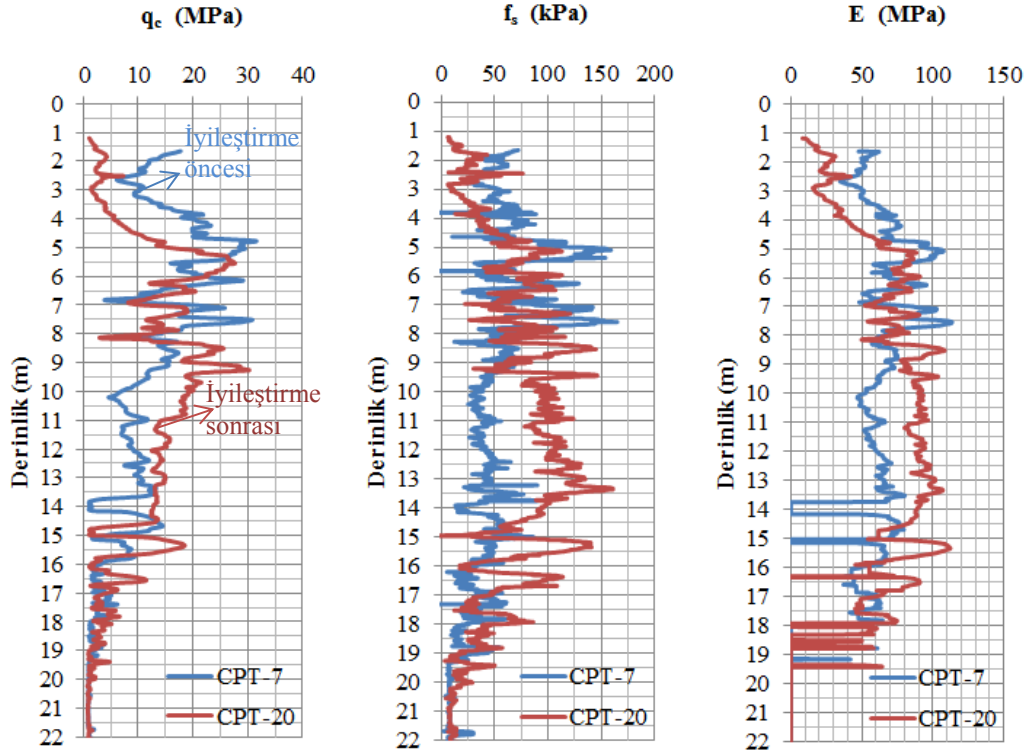
## **EKLER**

EK A: Koni Penetrasyon Deney Sonuçları ve Zemin Sınıfı Tayini

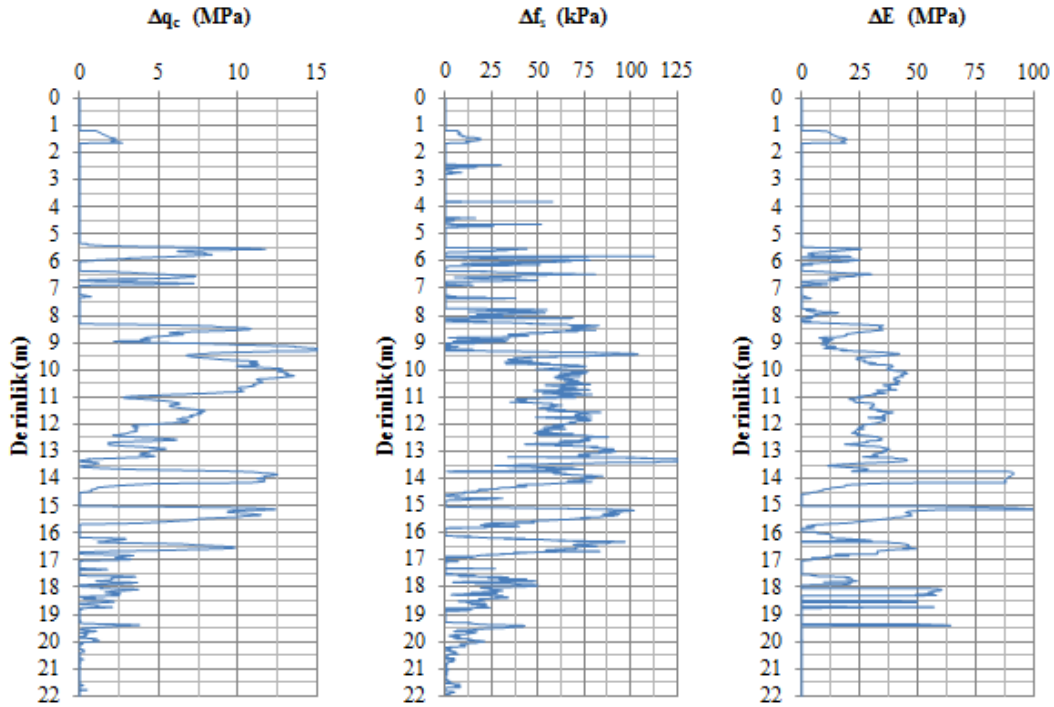
EK B: Oturma Analizi Sonuçları

EK C: Sıvılaşma Analiz Sonuçları

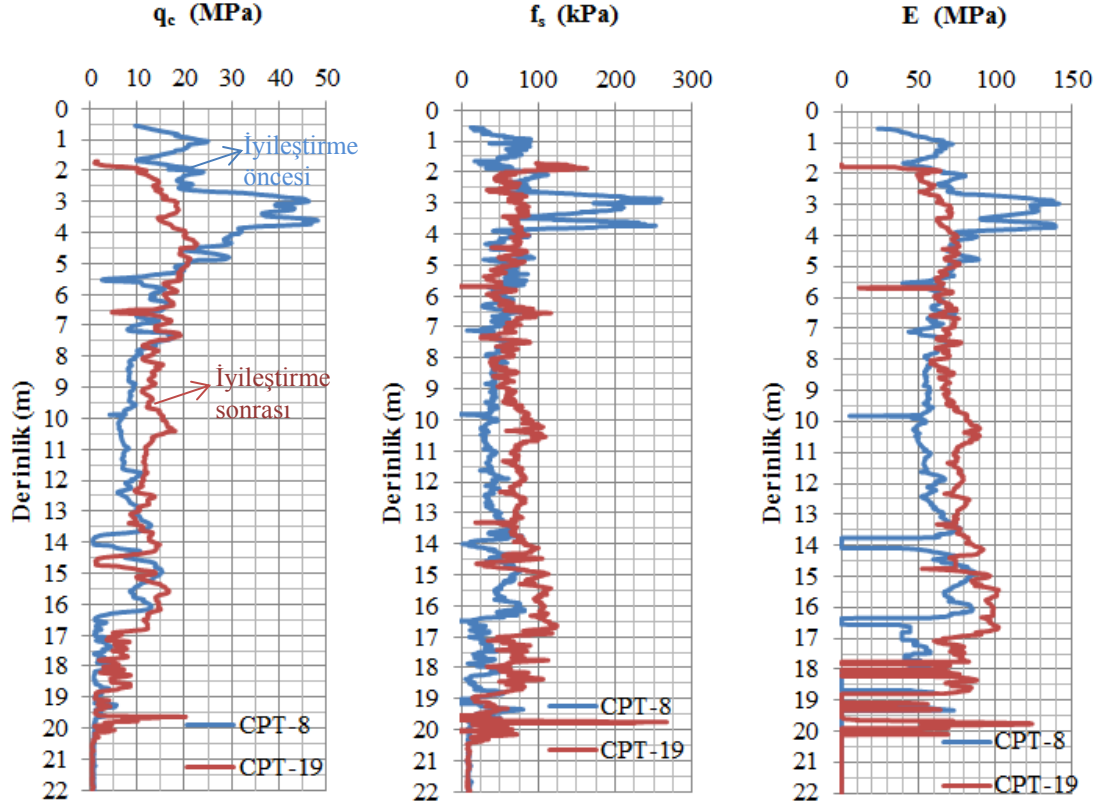
## EK A



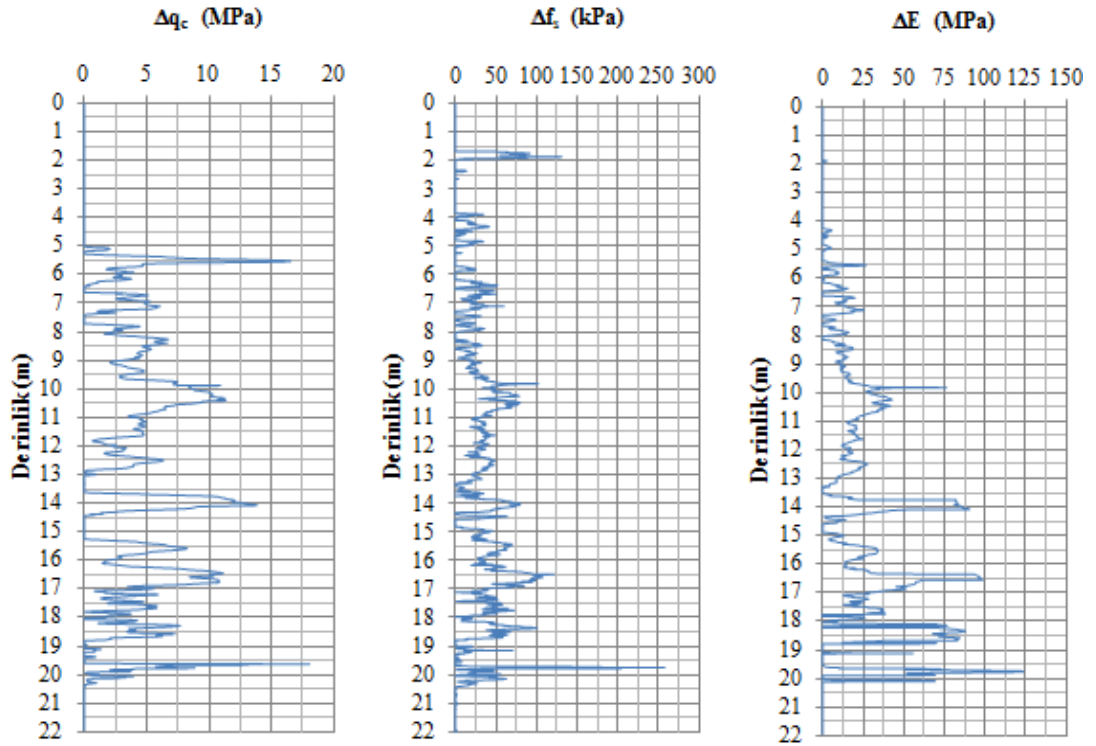
Şekil A.1: D blok temelleri altında iyileştirme öncesi ve sonrası ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü



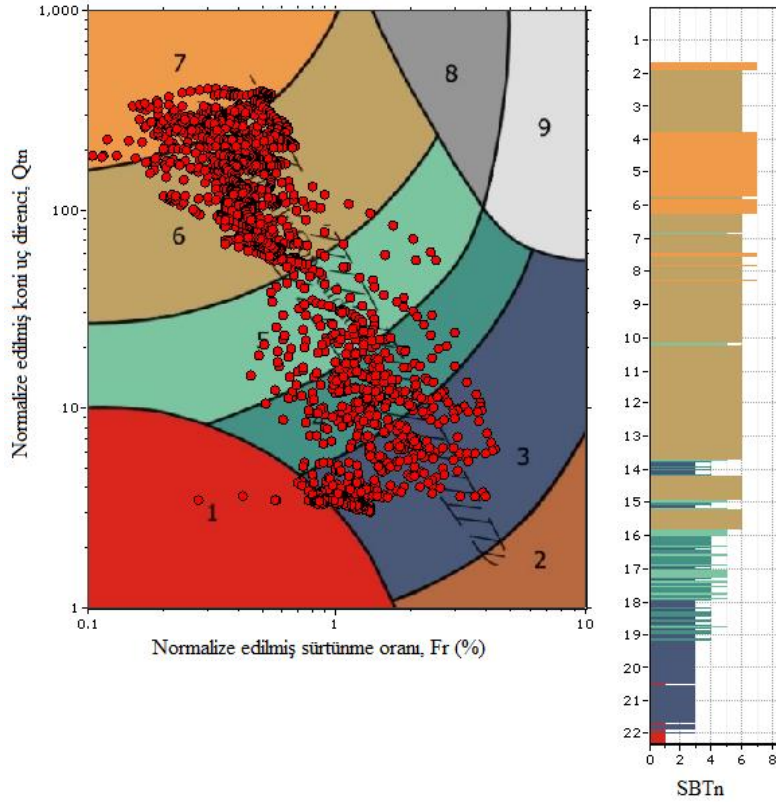
Şekil A.2: D blok temelleri altında iyileştirme sonrası ile öncesi ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü farklarının derinliğe bağlı değişimi



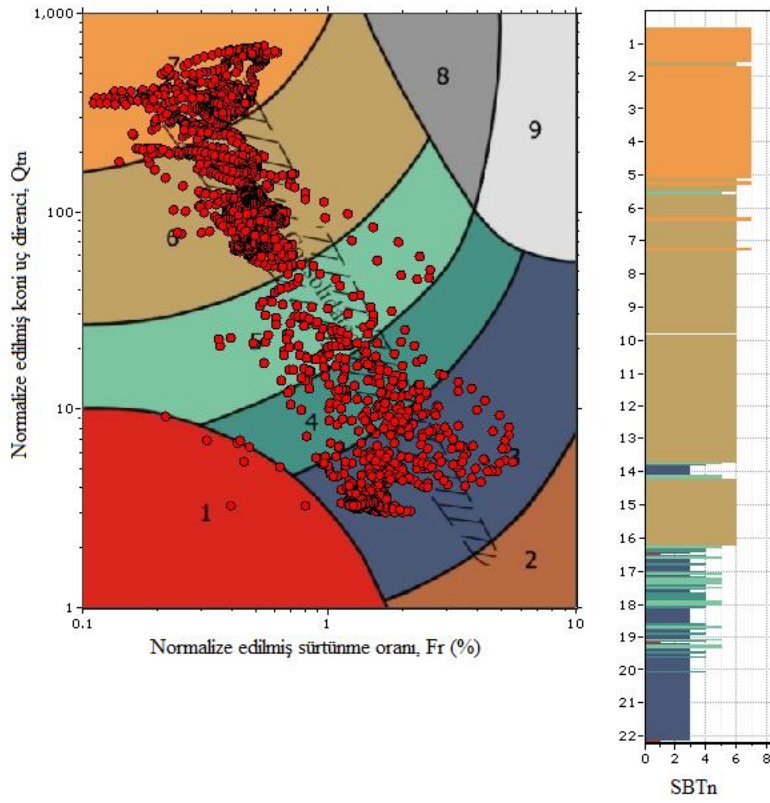
**Şekil A.3:** E blok temelleri altında iyileştirme öncesi ve sonrası ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü



**Şekil A.4:** D blok temelleri altında iyileştirme sonrası ile öncesi ölçülen koni uç direnci, çevre sürtünmesi ve hesaplanan elastisite modülü farklarının derinliğe bağlı değişimi

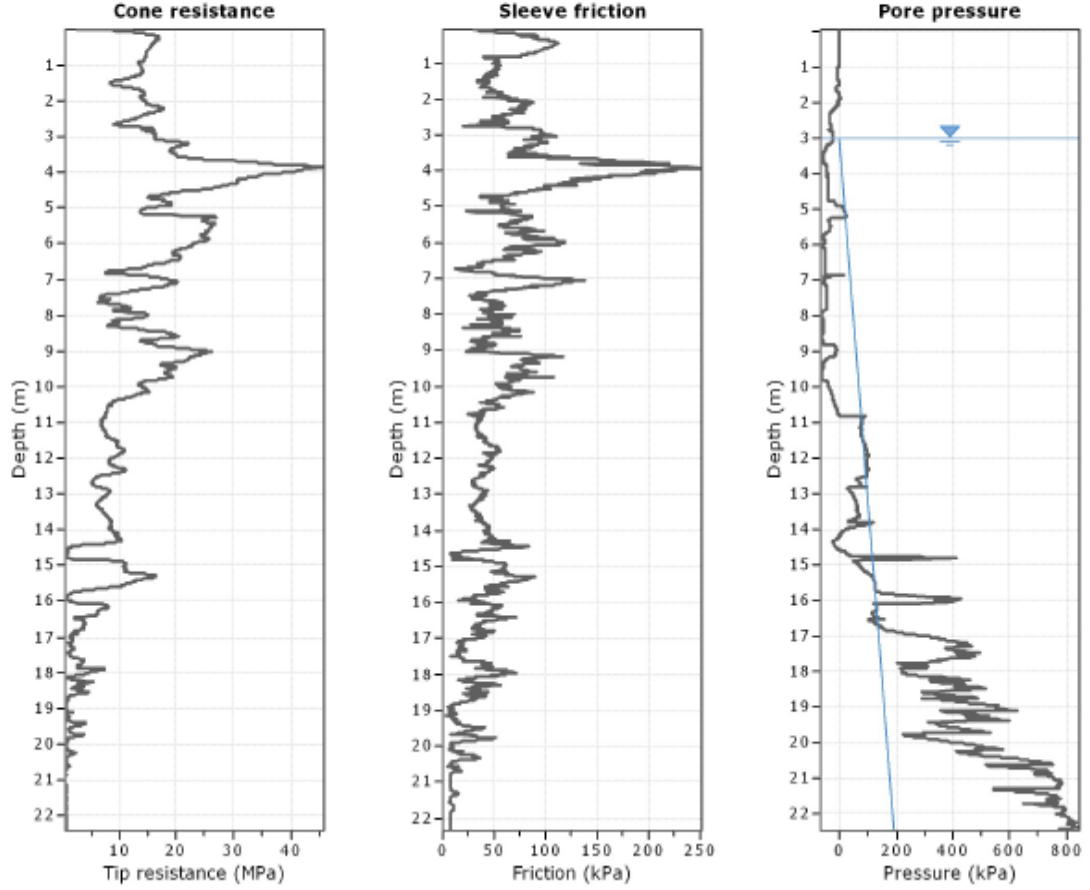


Şekil A.5: D blok temeli altındaki birimlerin zemin sınıfı tayini

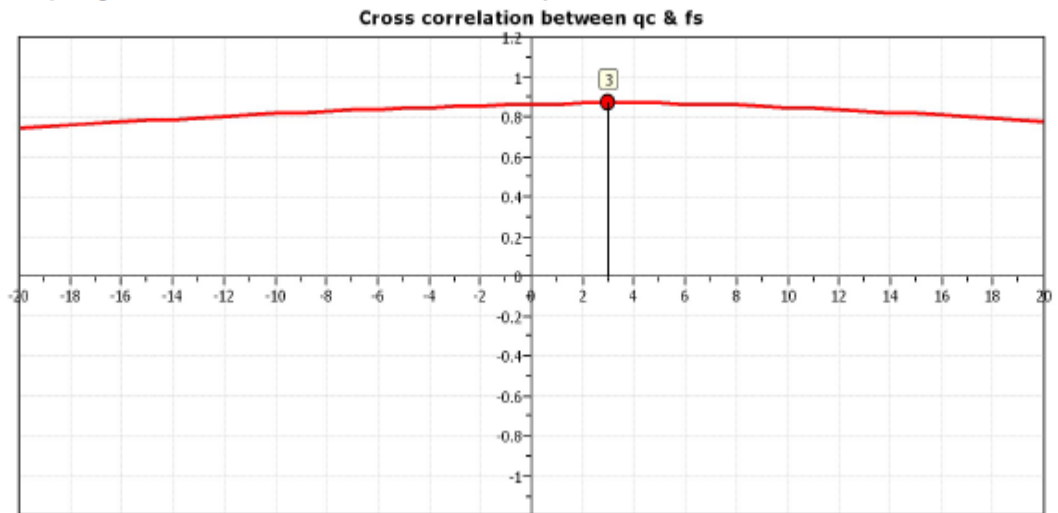


Şekil A.6: E blok temeli altındaki birimlerin zemin sınıfı tayini

Project:  
Location:

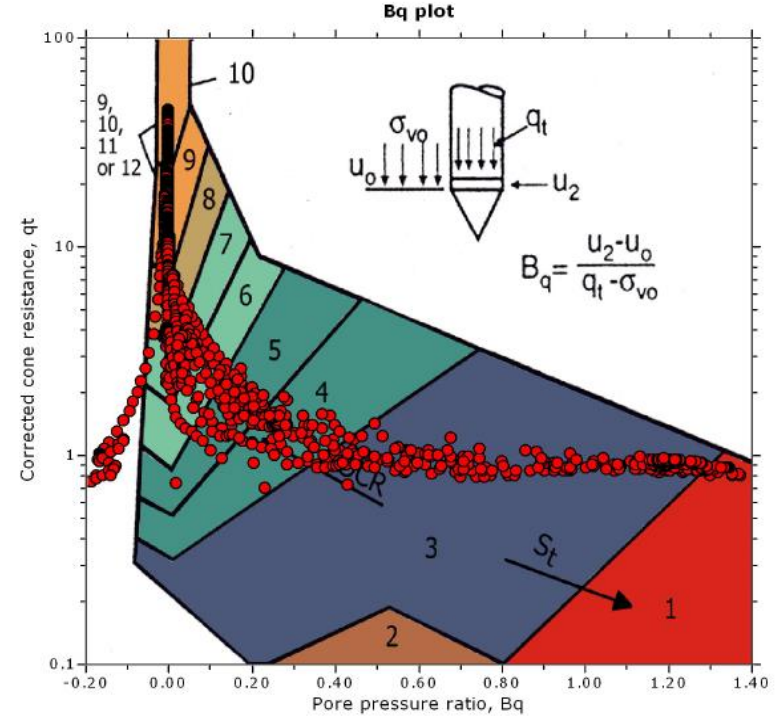
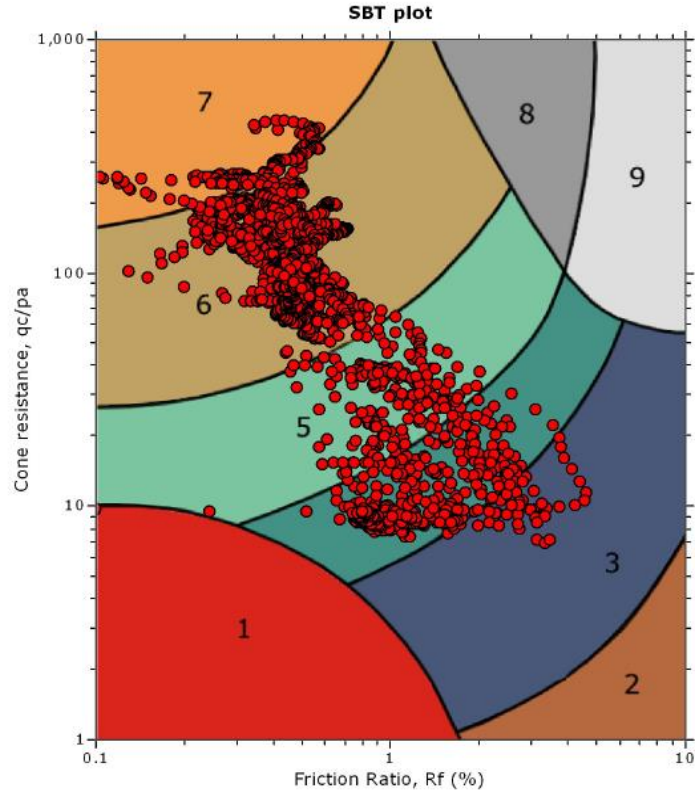


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Şekil A.7: CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

SBT - Bq plots

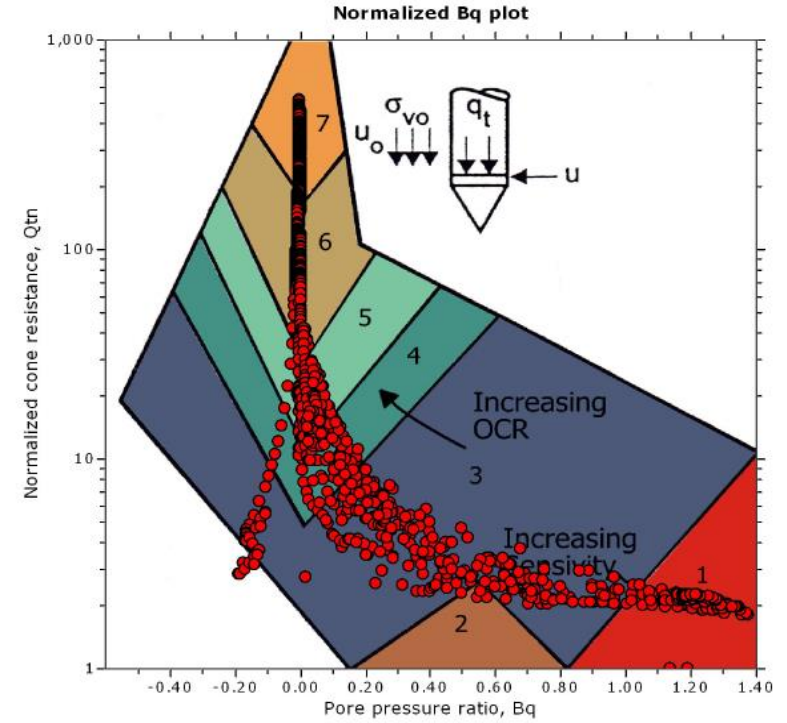
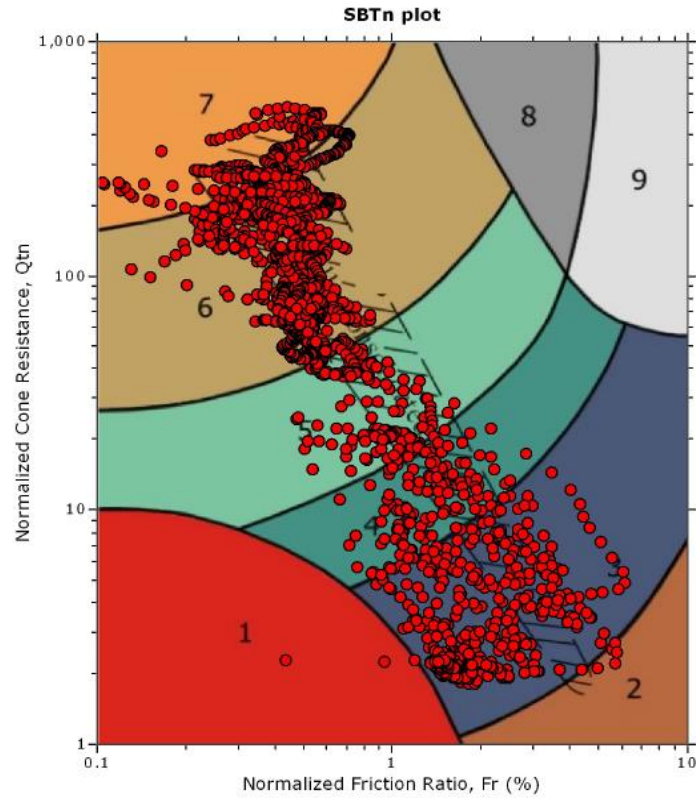


**SBT legend**

|                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt  | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand  | 9. Very stiff fine grained        |

Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

SBT - Bq plots (normalized)

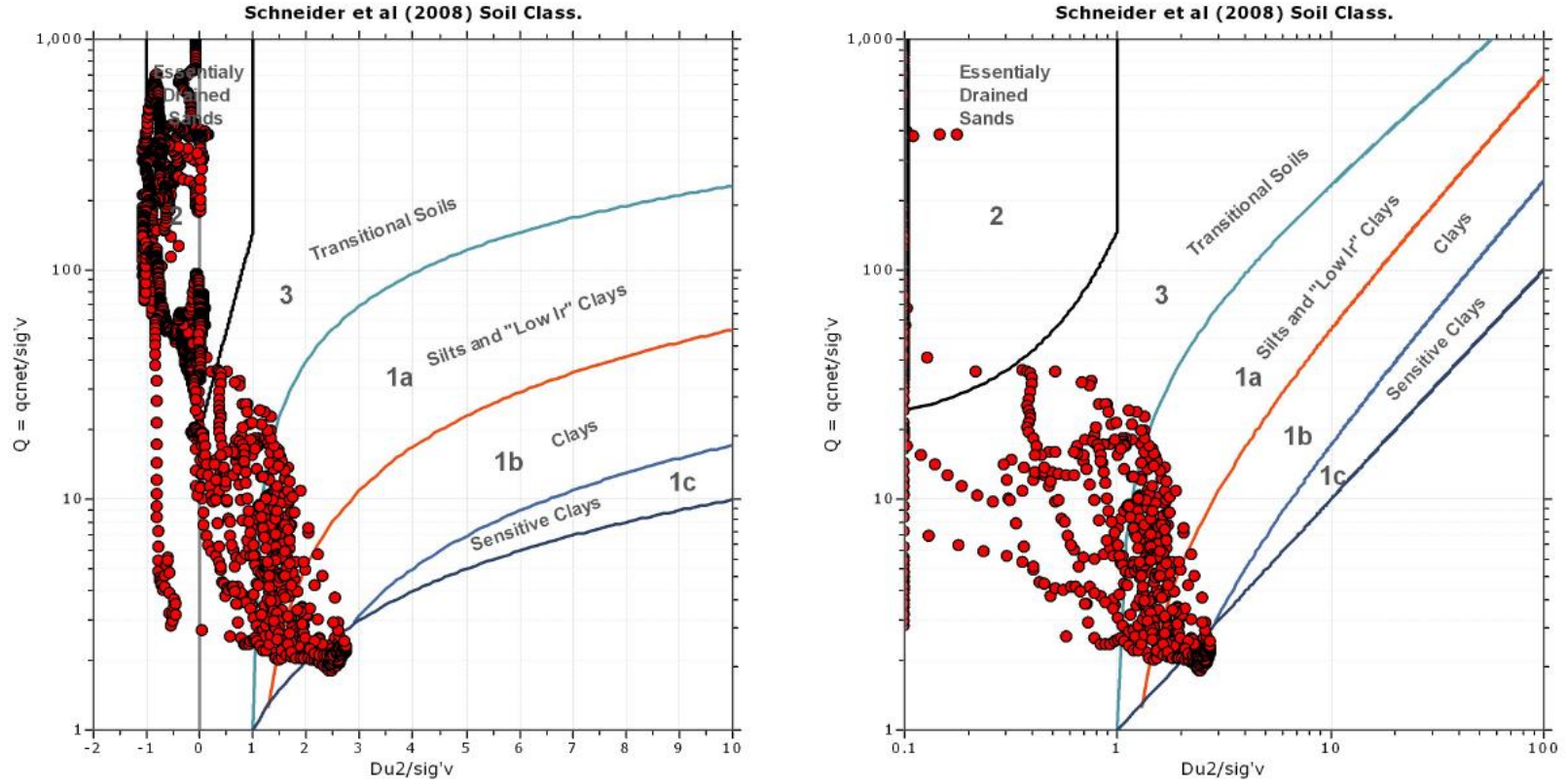


SBTn legend

- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt  | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand  | 9. Very stiff fine grained        |

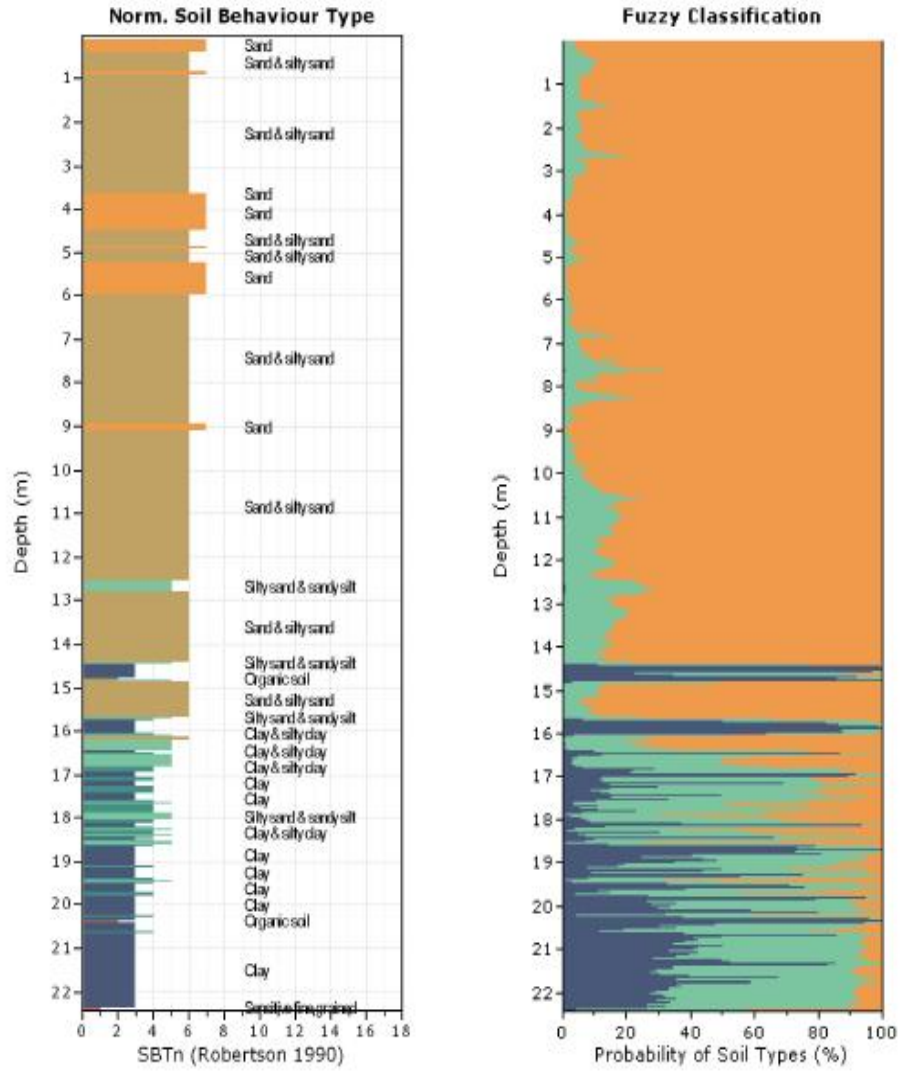
Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

Bq plots (Schneider)



Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

Project:  
Location:



Şekil A.7 (devam): CPE-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

Project:  
Location:

CPT: CPT-6

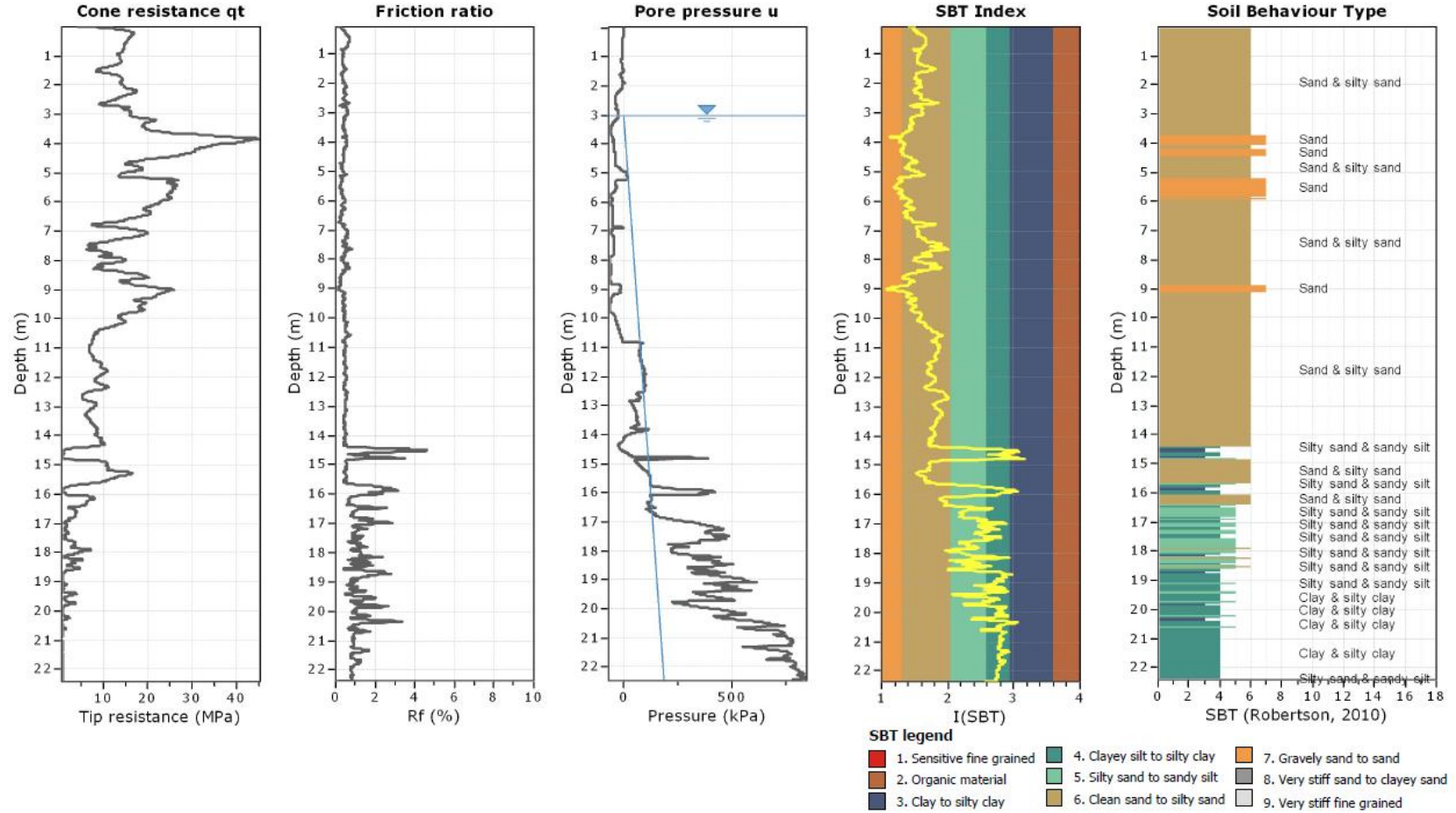
Total depth: 22.42 m, Date: 03-Nov-15

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

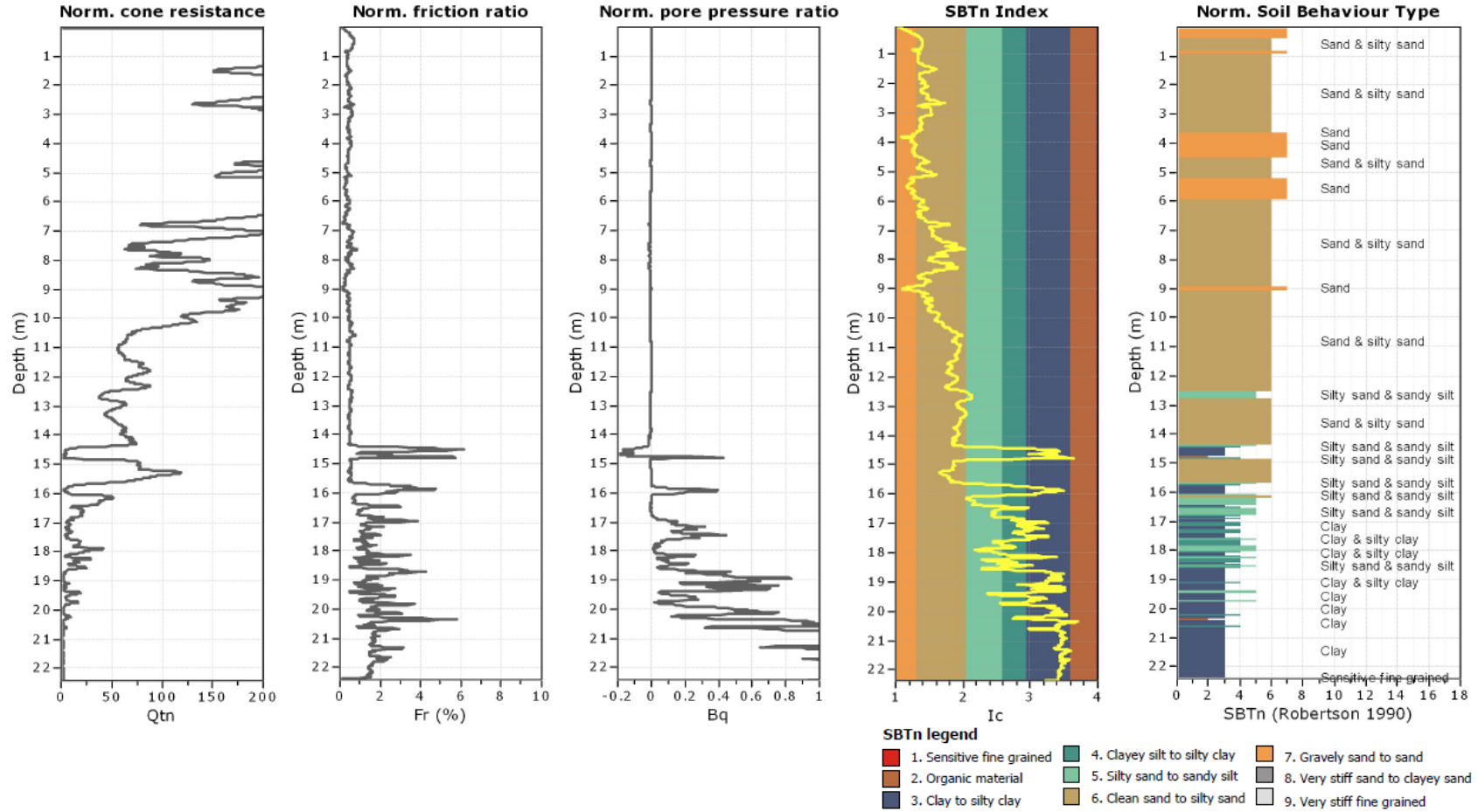
Cone Operator: Unknown



Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

Project:

Location:

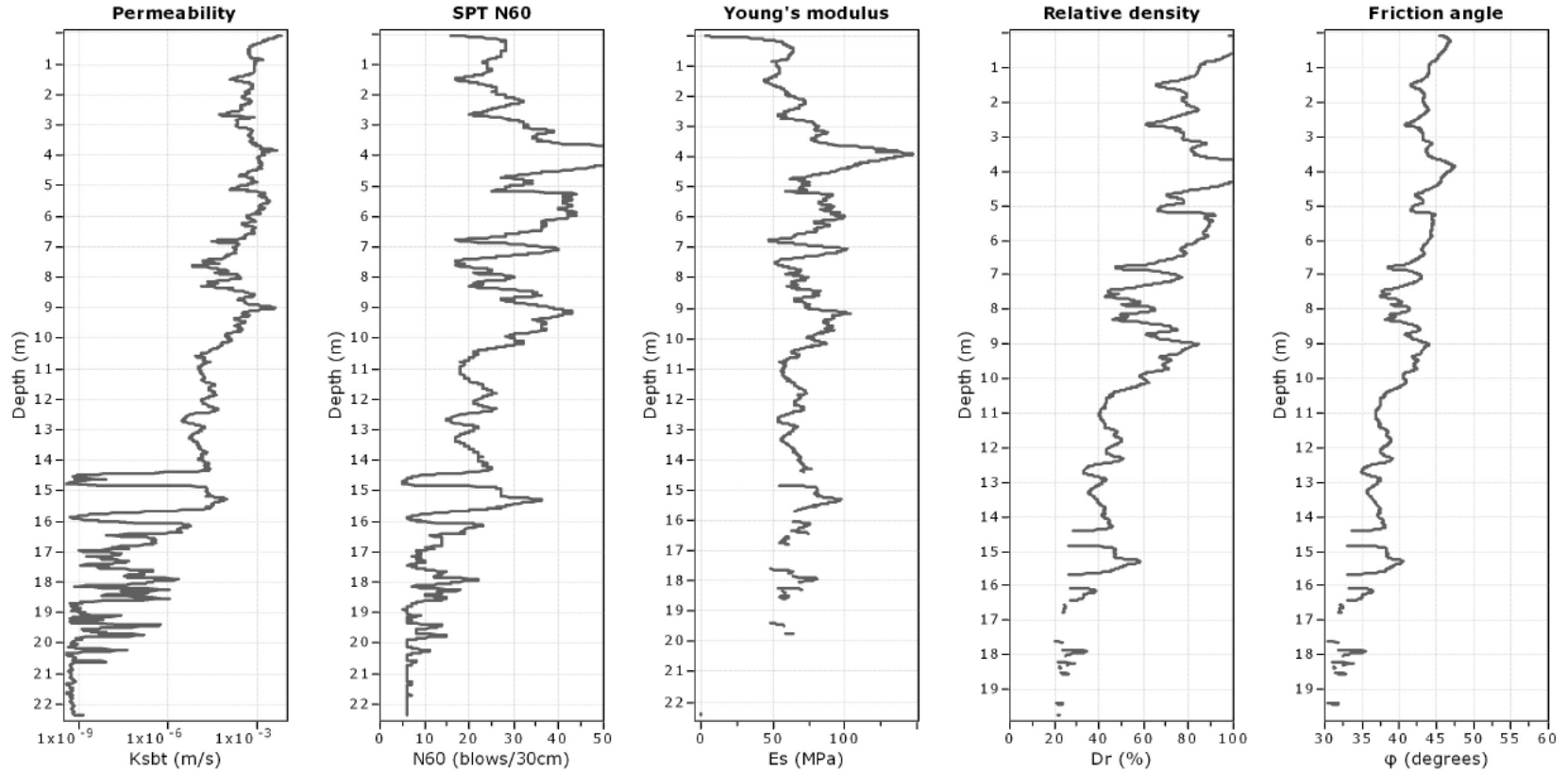


Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

Project:  
Location:

CPT: CPT-6

Total depth: 22.42 m, Date: 03-Nov-15  
Surface Elevation: 0.00 m  
Coords: X:0.00, Y:0.00  
Cone Type: Unknown  
Cone Operator: Unknown



**Calculation parameters**

Permeability: Based on  $SBT_n$

SPT  $N_{60}$ : Based on  $I_c$  and  $q_c$

Young's modulus: Based on variable alpha using  $I_c$  (Robertson, 2009)

Relative density constant,  $C_{Dr}$ : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

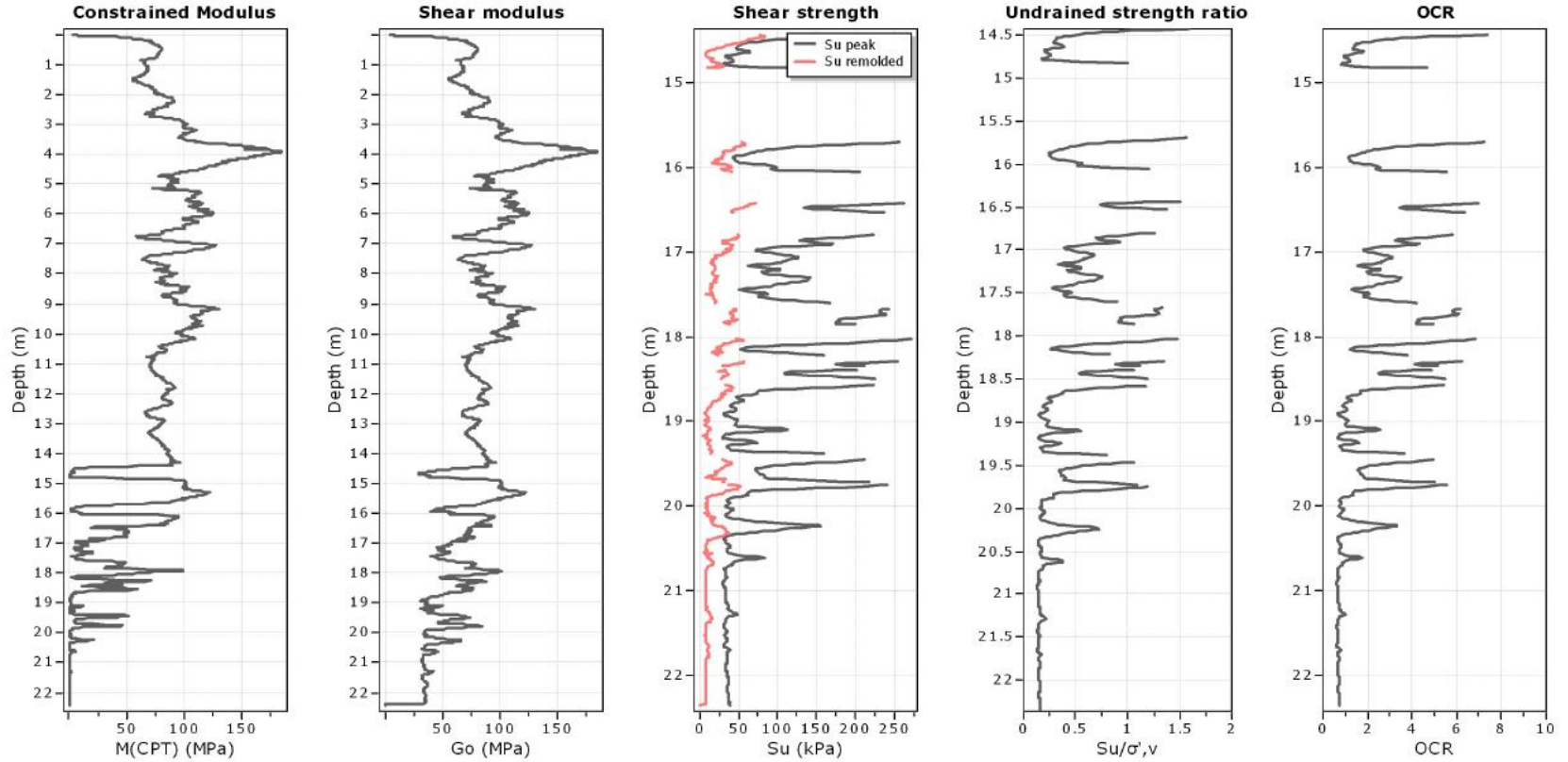
● — User defined estimation data

Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

Project:  
Location:

CPT: CPT-6

Total depth: 22.42 m, Date: 03-Nov-15  
Surface Elevation: 0.00 m  
Coords: X:0.00, Y:0.00  
Cone Type: Unknown  
Cone Operator: Unknown



**Calculation parameters**

Constrained modulus: Based on variable  $\alpha$  using  $I_c$  and  $Q_{m1}$  (Robertson, 2009)

Go: Based on variable  $\alpha$  using  $I_c$  (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays,  $N_{kt}$ : 14

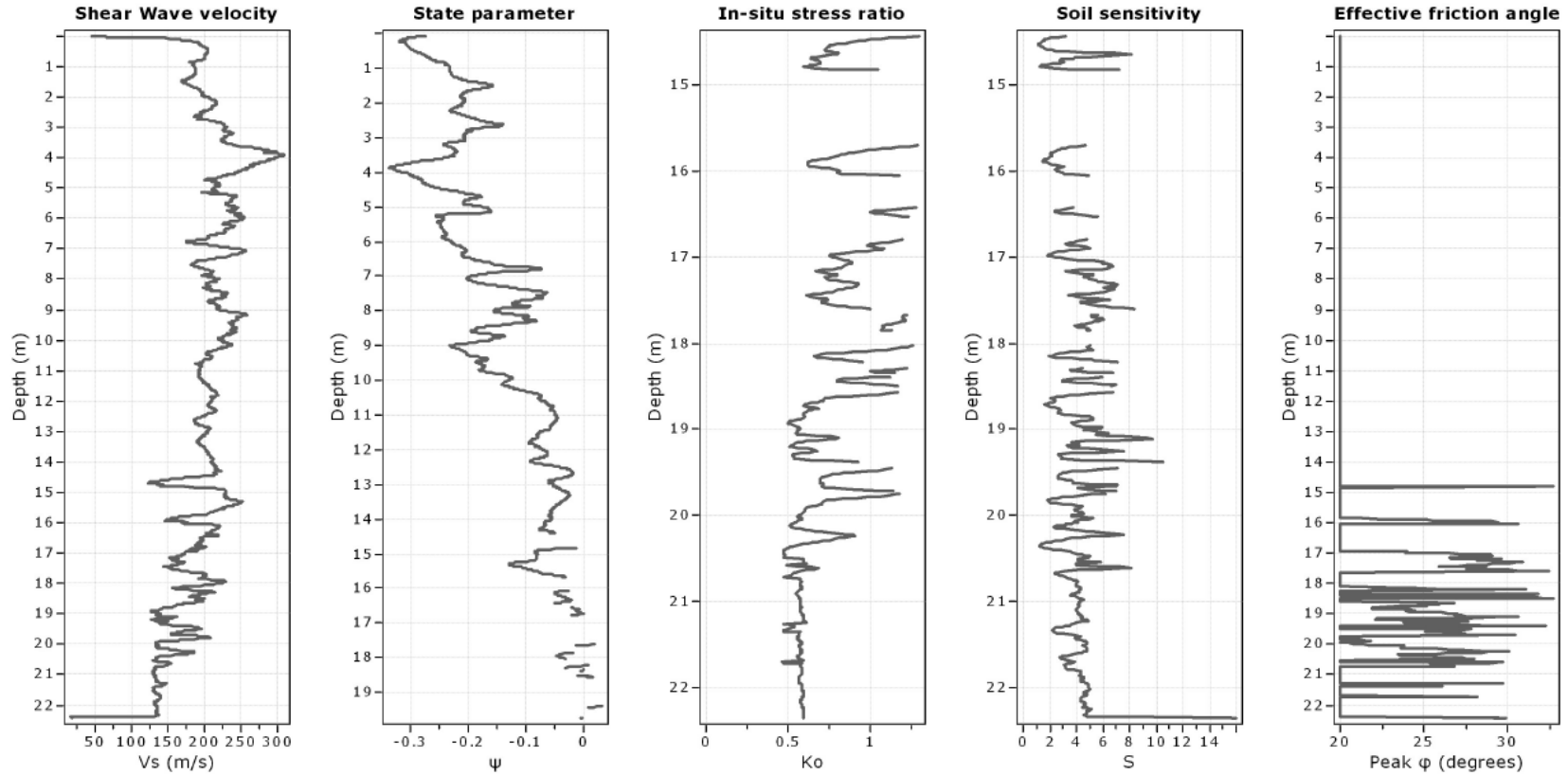
OCR factor for clays,  $N_{kt}$ : 0.33

● User defined estimation data

Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

Project:

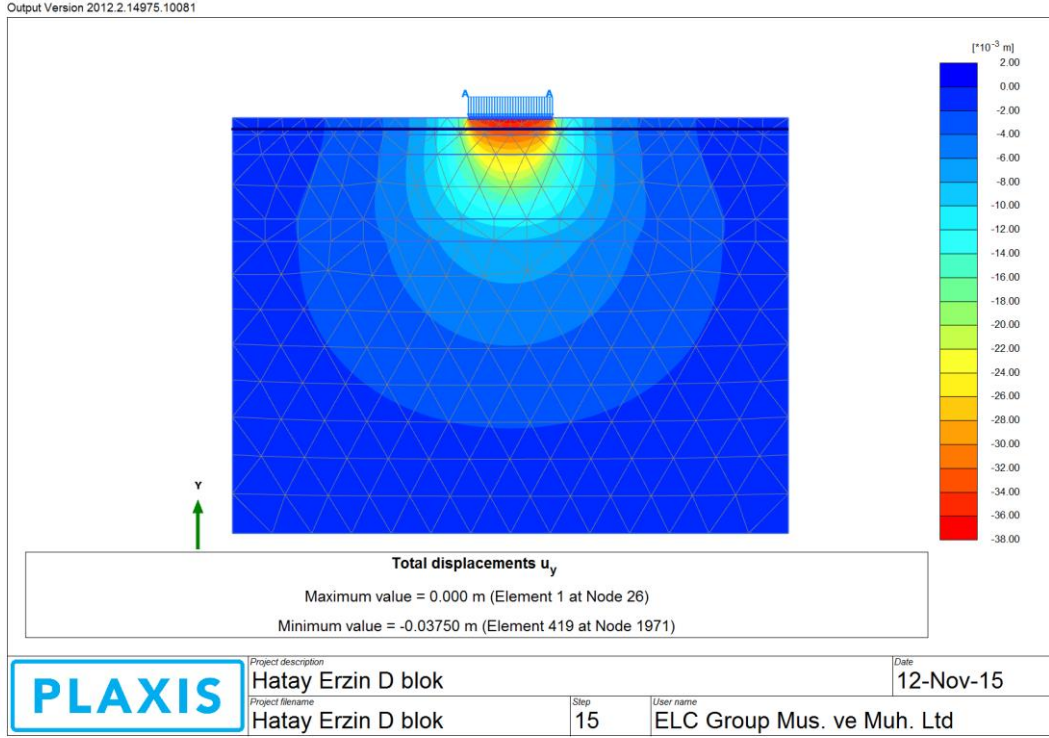
Location:



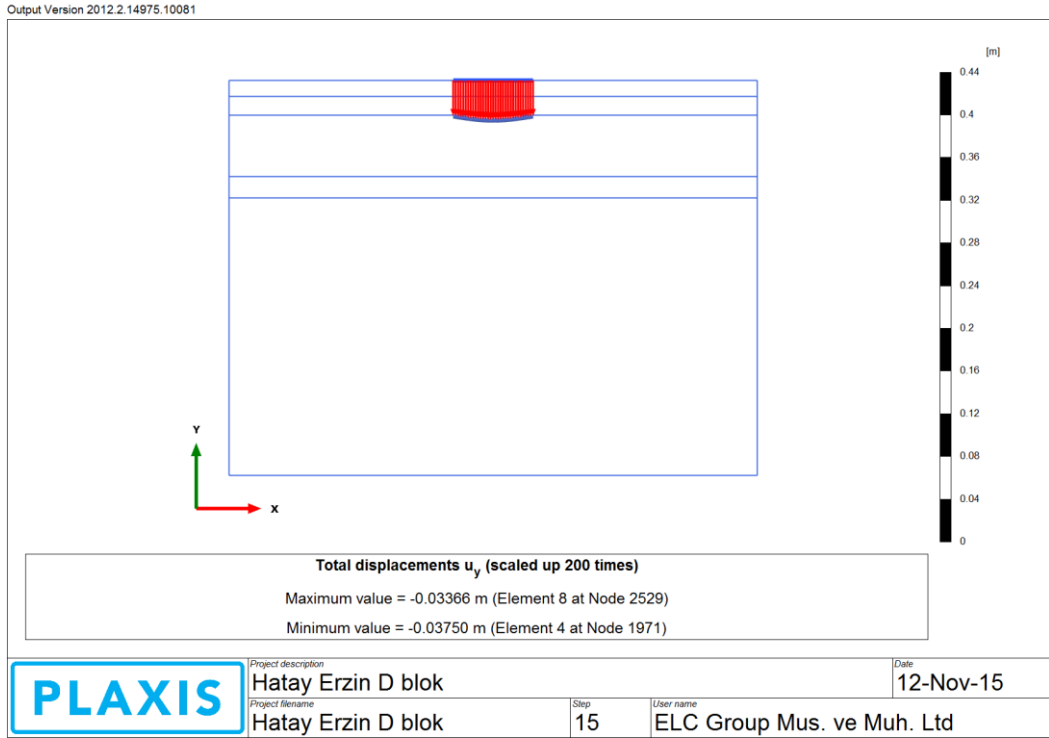
**Calculation parameters**  
Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00  
● User defined estimation data

Şekil A.7 (devam): CPe-IT programı ile CPT-6 için yapılan analiz sonuçları

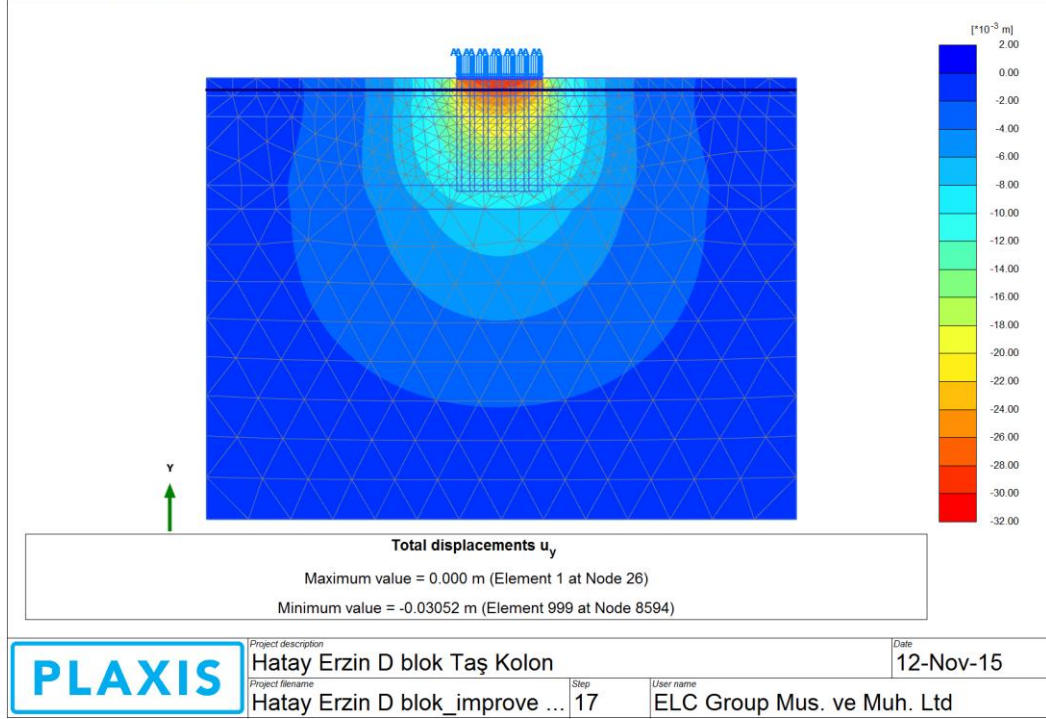
## EK B



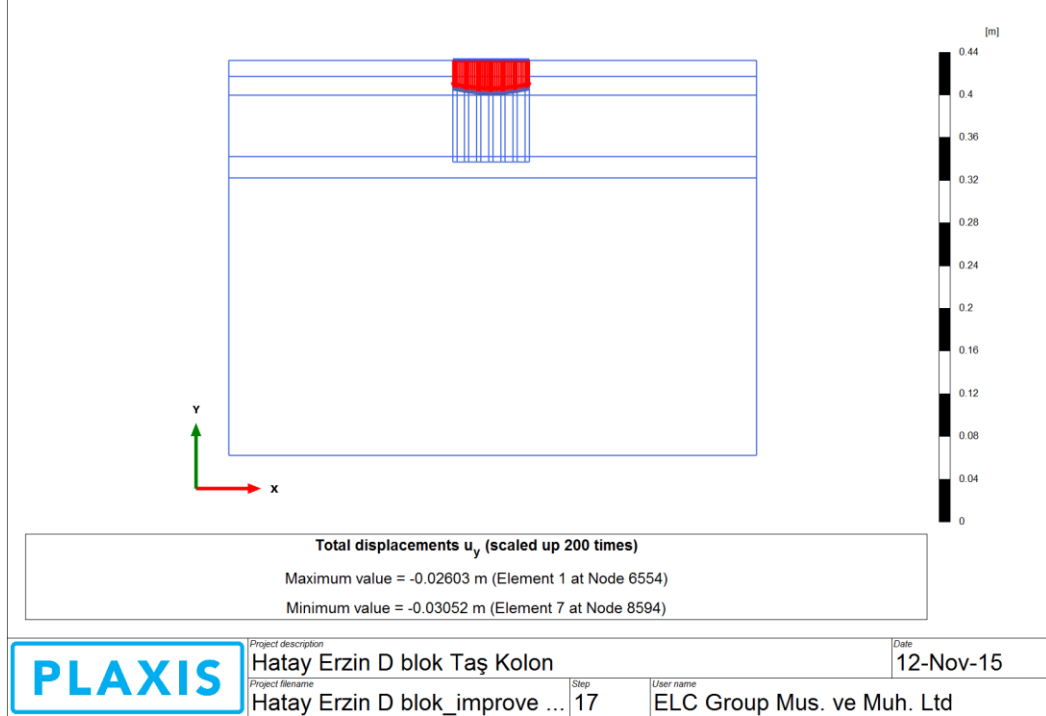
**Şekil B.1:** Mevcut zemin koşullarında D blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları



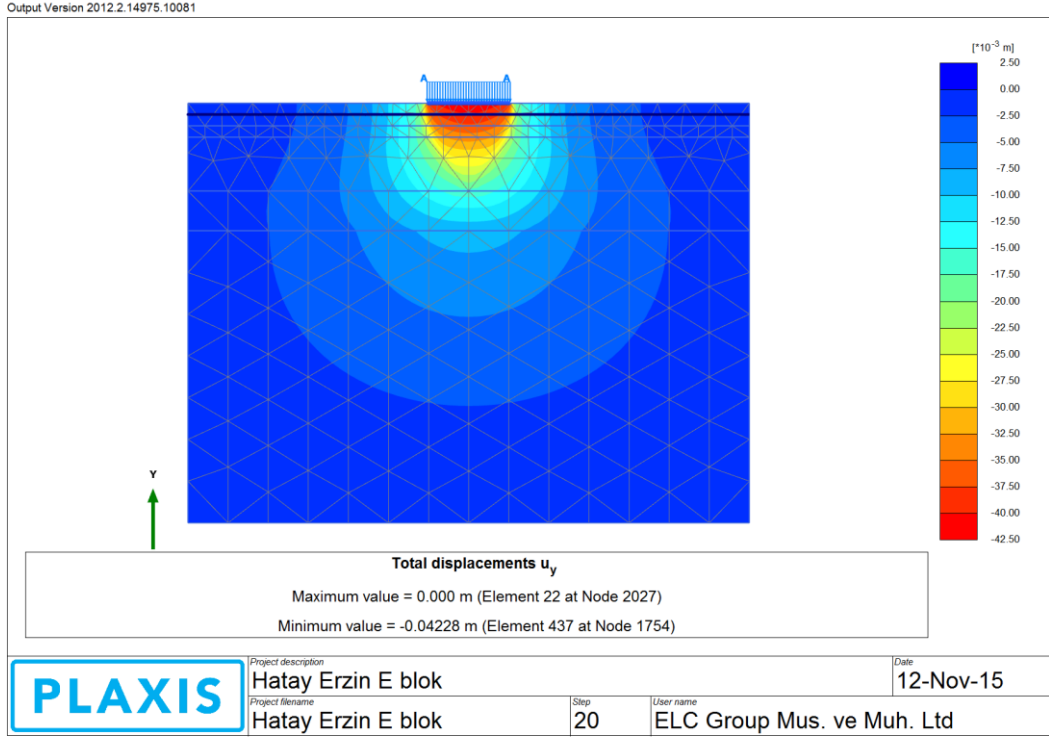
**Şekil B.2:** Mevcut zemin koşullarında D blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları



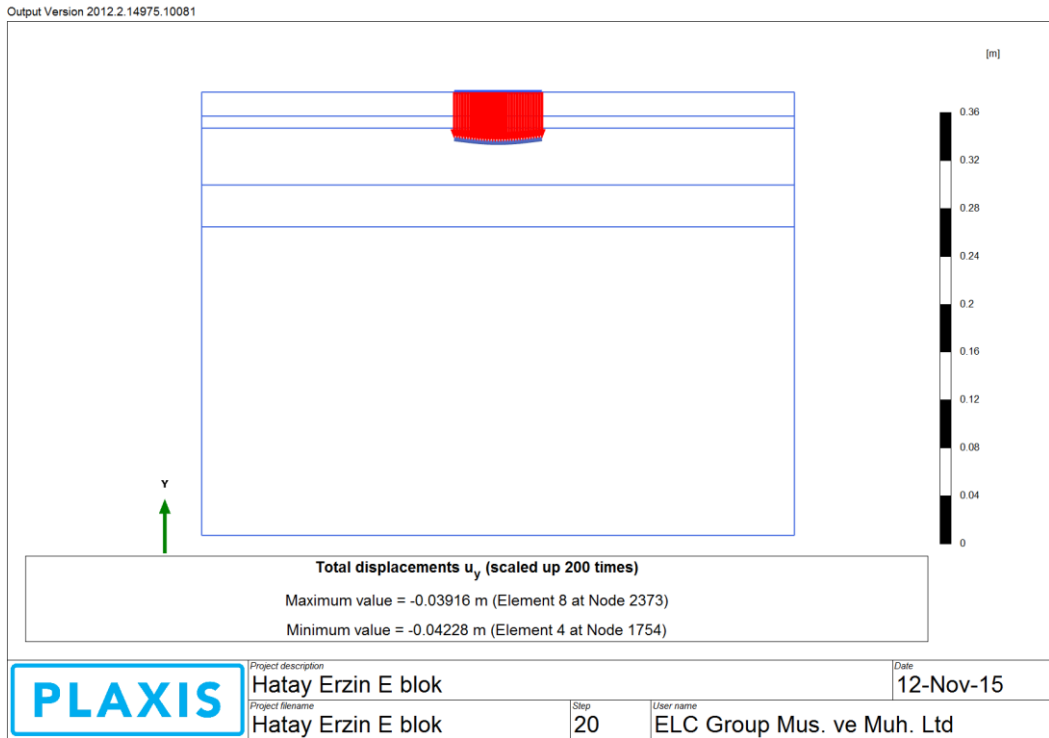
Şekil B.3: Zemin iyileştirilmesi sonrasında D blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları



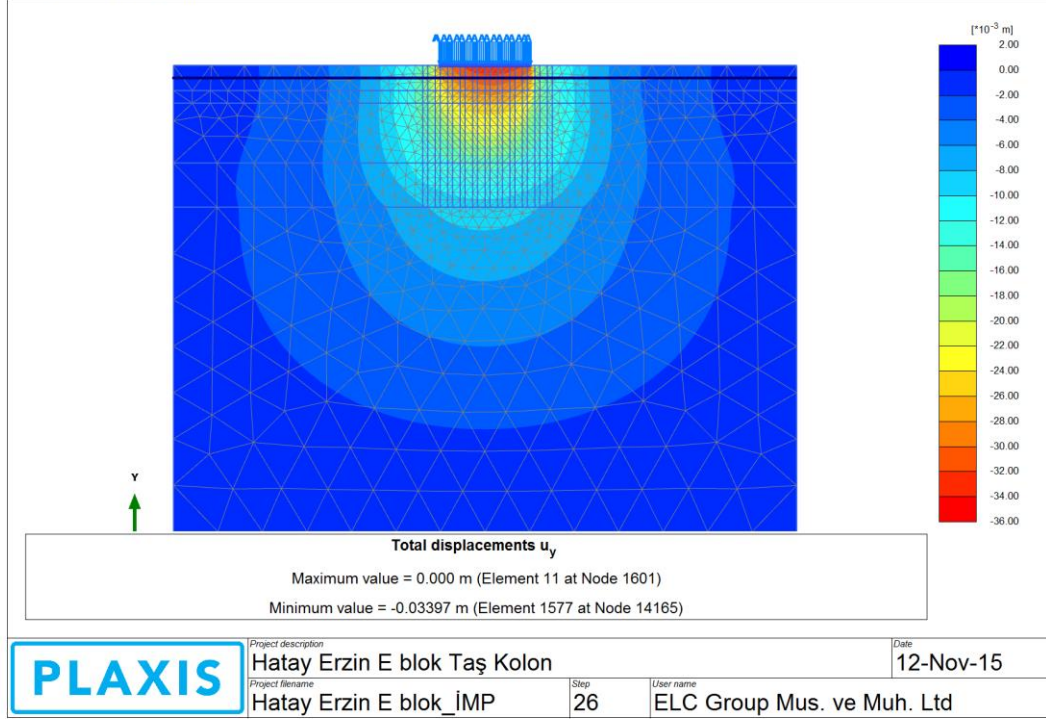
Şekil B.4: Zemin iyileştirilmesi sonrasında D blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları



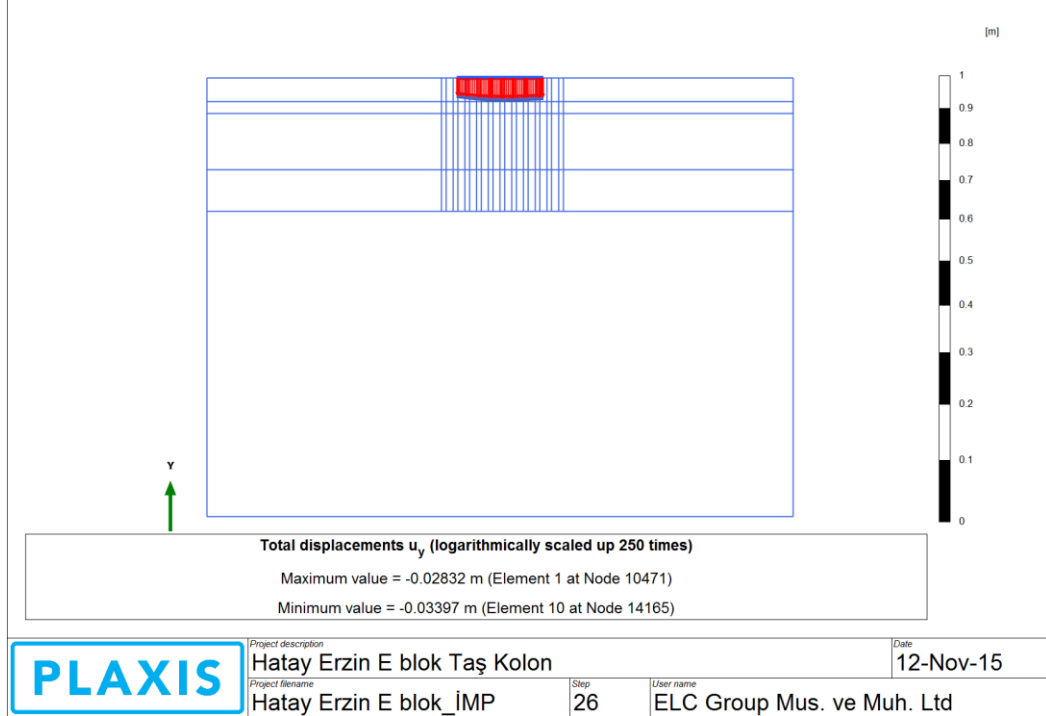
**Şekil B.5:** Mevcut zemin koşullarında E blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları



**Şekil B.6:** Mevcut zemin koşullarında E blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları

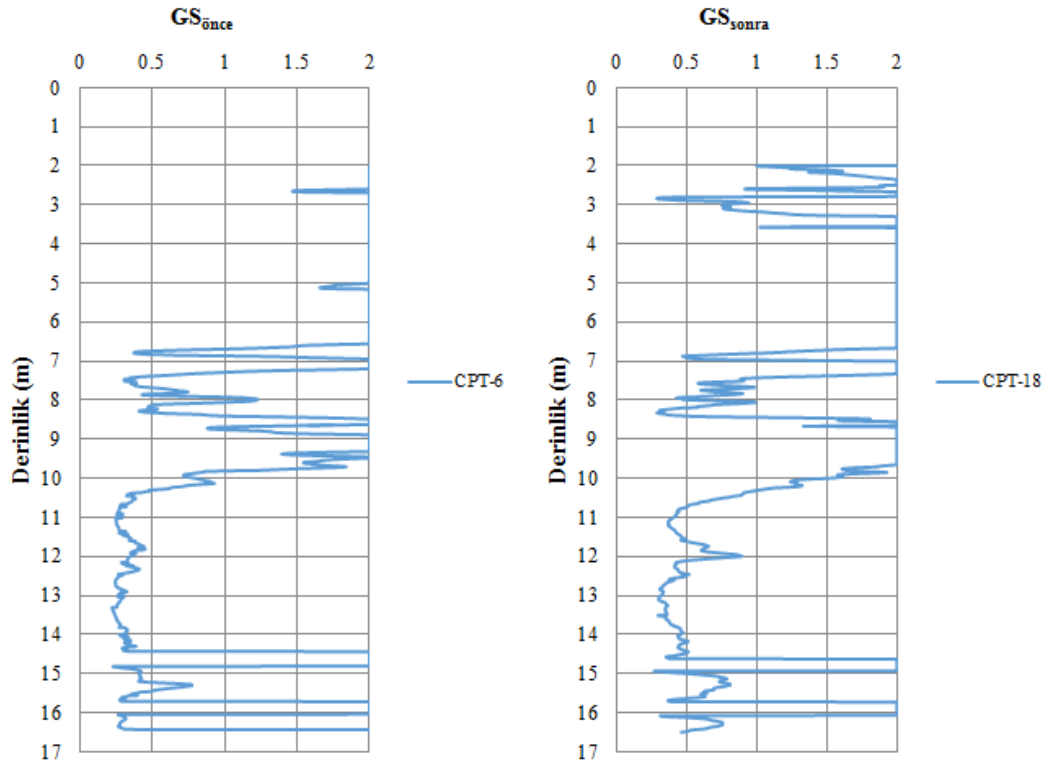


Şekil B.7: Zemin iyileştirilmesi sonrasında E blok zemininde meydana gelen düşey deformasyon miktarları

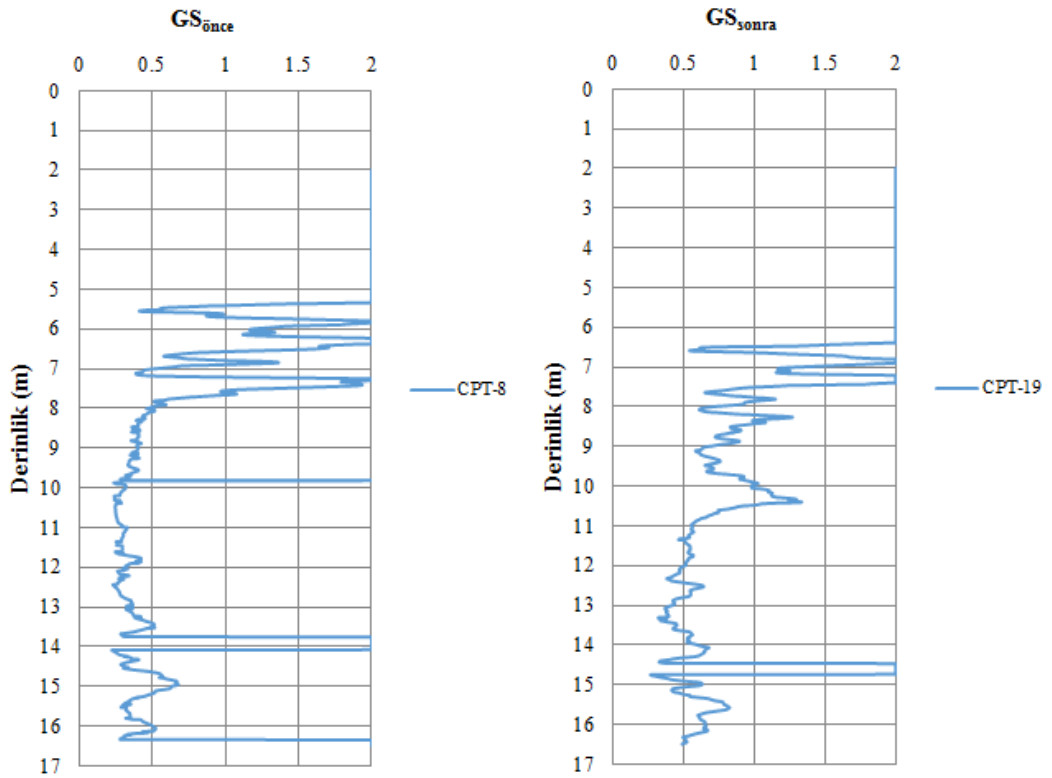


Şekil B.8: Zemin iyileştirilmesi sonrasında E blok temelinde meydana gelen düşey deformasyon miktarları

## EK C



Şekil C.1: C blokta zemin iyileştirilmesi öncesi ve sonrasında sıvılaşmaya karşı elde edilen güvenlik sayıları



Şekil C.2: E blokta zemin iyileştirilmesi öncesi ve sonrasında sıvılaşmaya karşı elde edilen güvenlik sayıları

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

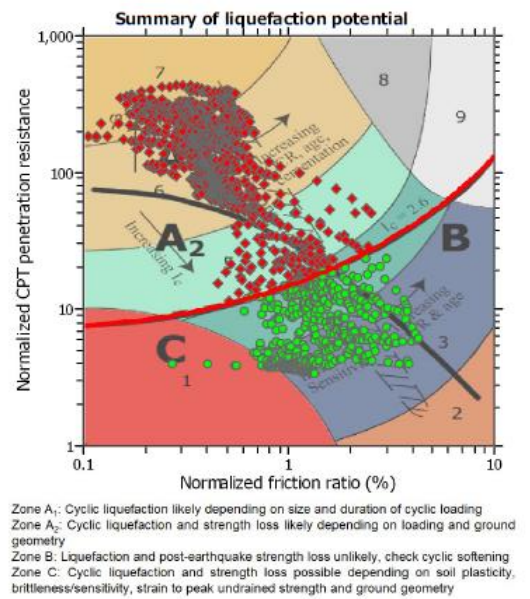
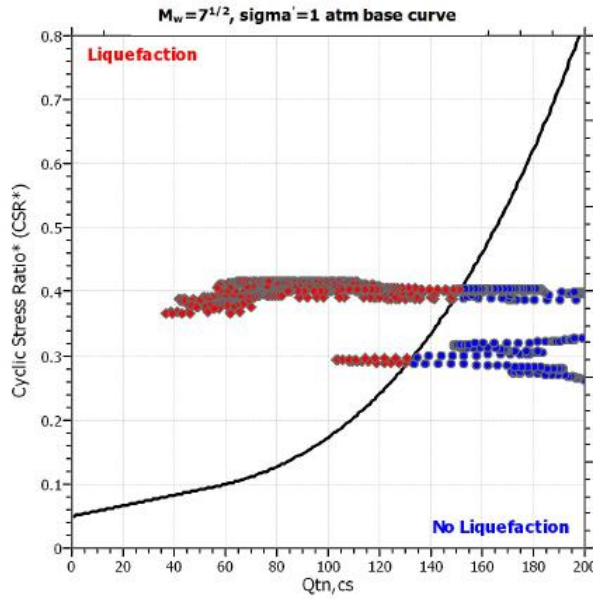
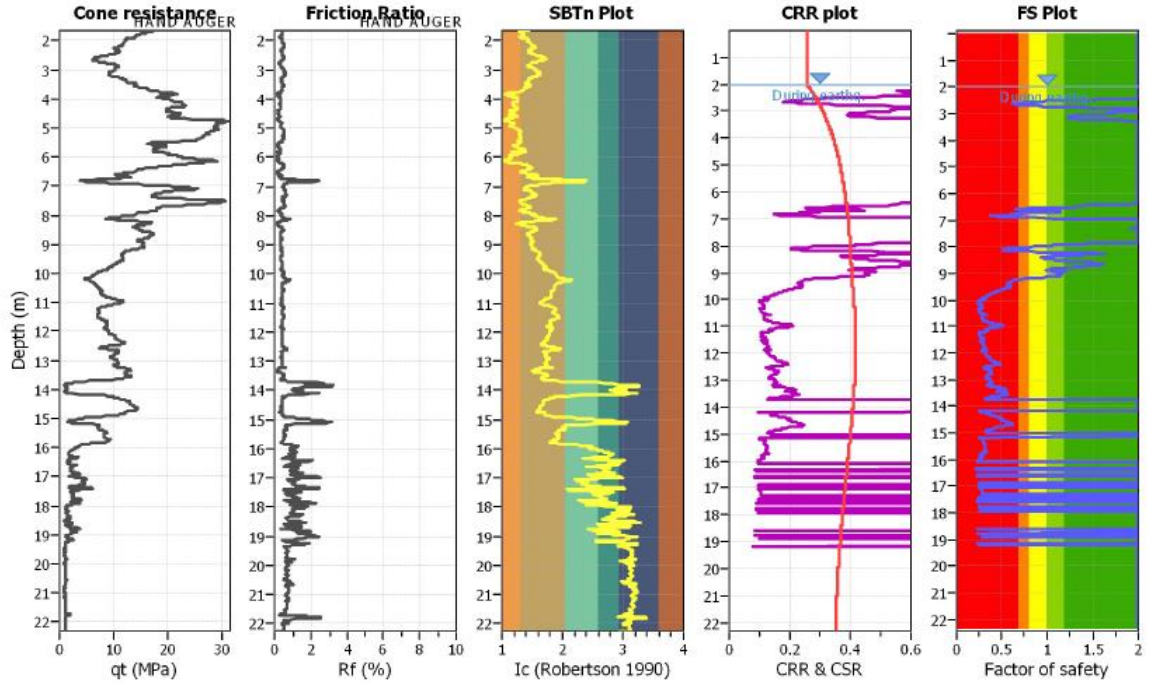
Project title :

Location :

CPT file : CPT-7

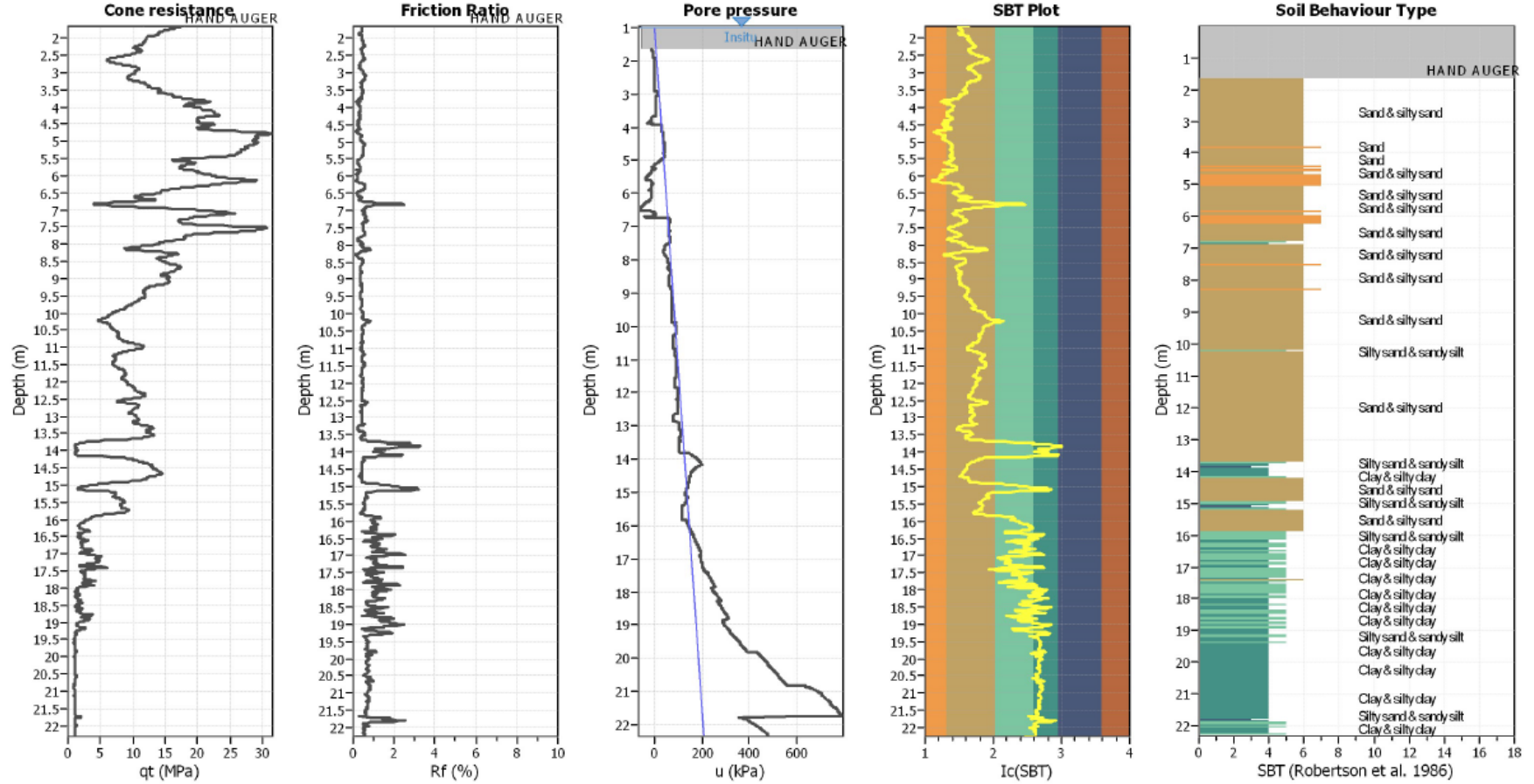
**Input parameters and analysis data**

|                              |                   |                           |              |                         |     |                      |              |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method:             | NCEER (1998)      | G.W.T. (in-situ):         | 1.00 m       | Use fill:               | No  | Clay like behavior   |              |
| Fines correction method:     | NCEER (1998)      | G.W.T. (earthq.):         | 2.00 m       | Fill height:            | N/A | applied:             | Sands only   |
| Points to test:              | Based on Ic value | Average results interval: | 3            | Fill weight:            | N/A | Limit depth applied: | No           |
| Earthquake magnitude $M_w$ : | 7.50              | Ic cut-off value:         | 2.60         | Trans. detect. applied: | No  | Limit depth:         | N/A          |
| Peak ground acceleration:    | 0.40              | Unit weight calculation:  | Based on SBT | $K_{\sigma}$ applied:   | Yes | MSF method:          | Method based |



Şekil C.3: CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

### CPT basic interpretation plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)  
 Fines correction method: NCEER (1998)  
 Points to test: Based on Ic value  
 Earthquake magnitude  $M_w$ : 7.50  
 Peak ground acceleration: 0.40  
 Depth to water table (insitu): 1.00 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 m  
 Average results interval: 3  
 Ic cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

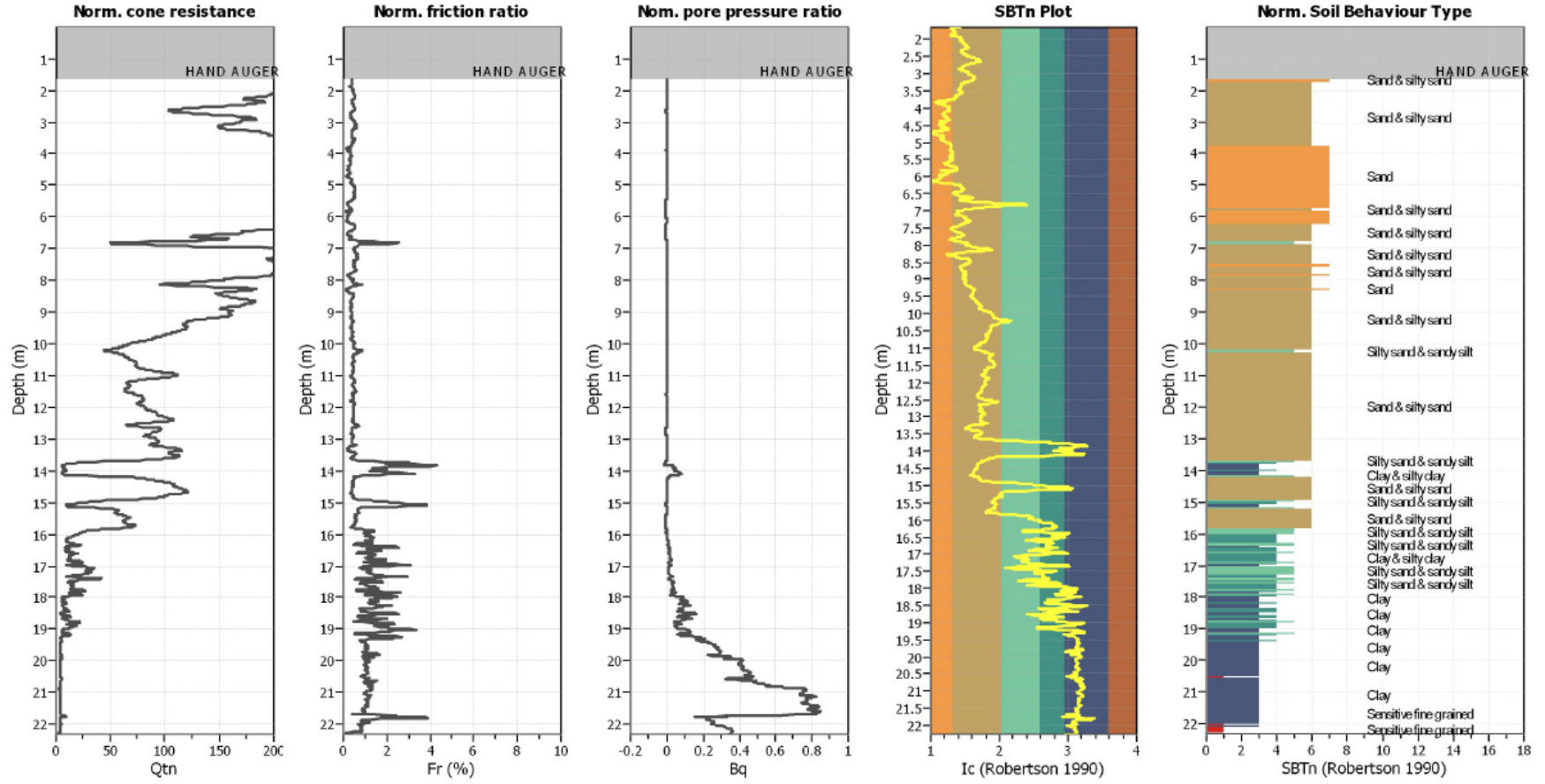
Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: No  
 $K_p$  applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: No  
 Limit depth: N/A

#### SBT legend

- |                           |                             |                            |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty     | 7. Gravely sand to sand    |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to      |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sınıflama analiz sonuçları

### CPT basic interpretation plots (normalized)



#### Input parameters and analysis data

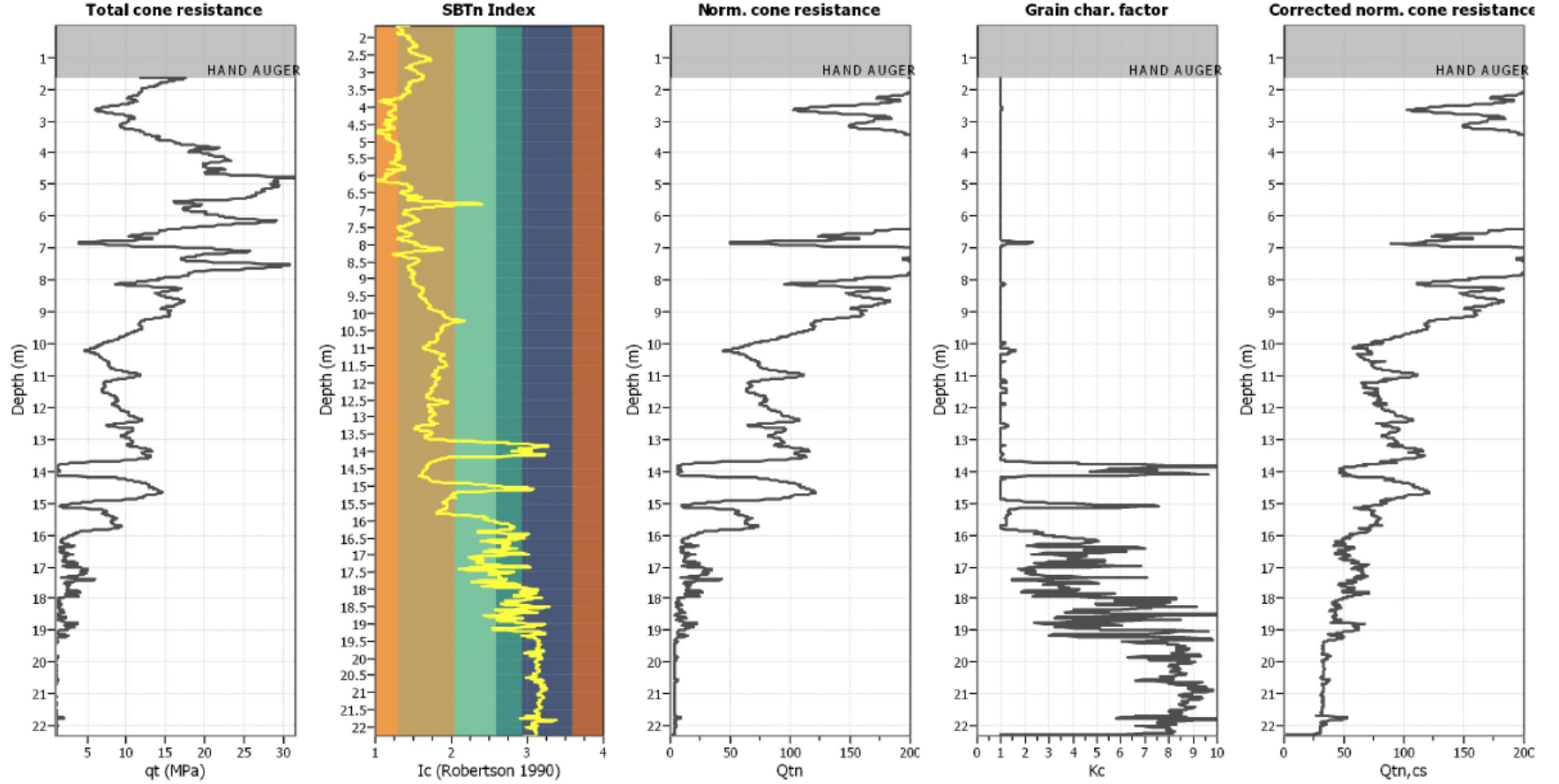
|                                |                   |                                |              |                             |            |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method:               | NCEER (1998)      | Depth to water table (erthq.): | 2.00 m       | Fill weight:                | N/A        |
| Fines correction method:       | NCEER (1998)      | Average results interval:      | 3            | Transition detect. applied: | No         |
| Points to test:                | Based on Ic value | Ic cut-off value:              | 2.60         | $K_p$ applied:              | Yes        |
| Earthquake magnitude $M_w$ :   | 7.50              | Unit weight calculation:       | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration:      | 0.40              | Use fill:                      | No           | Limit depth applied:        | No         |
| Depth to water table (insitu): | 1.00 m            | Fill height:                   | N/A          | Limit depth:                | N/A        |

#### SBTn legend

|                           |                             |                            |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty     | 7. Gravely sand to sand    |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to      |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

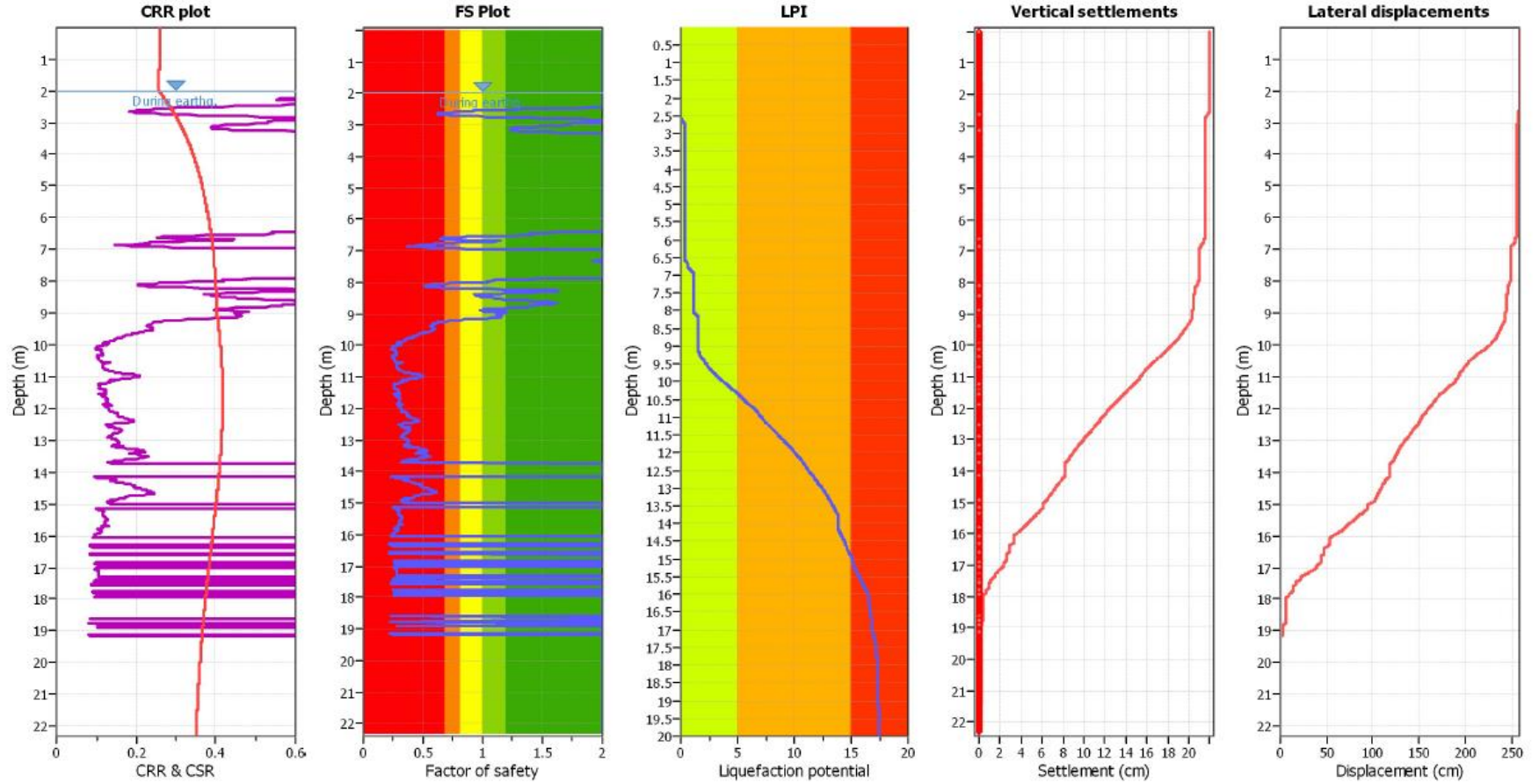
Analysis method: NCEER (1998)  
 Fines correction method: NCEER (1998)  
 Points to test: Based on  $I_c$  value  
 Earthquake magnitude  $M_w$ : 7.50  
 Peak ground acceleration: 0.40  
 Depth to water table (insitu): 1.00 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 m  
 Average results interval: 3  
 $I_c$  cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: No  
 $K_v$  applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: No  
 Limit depth: N/A

Şekil C.3 (devam): CPT-7' de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)  
 Fines correction method: NCEER (1998)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 7.50  
 Peak ground acceleration: 0.40  
 Depth to water table (Insitu): 1.00 m

Depth to water table (erthq.): 2.00 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: No  
 K<sub>σ</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: No  
 Limit depth: N/A

#### F.S. color scheme

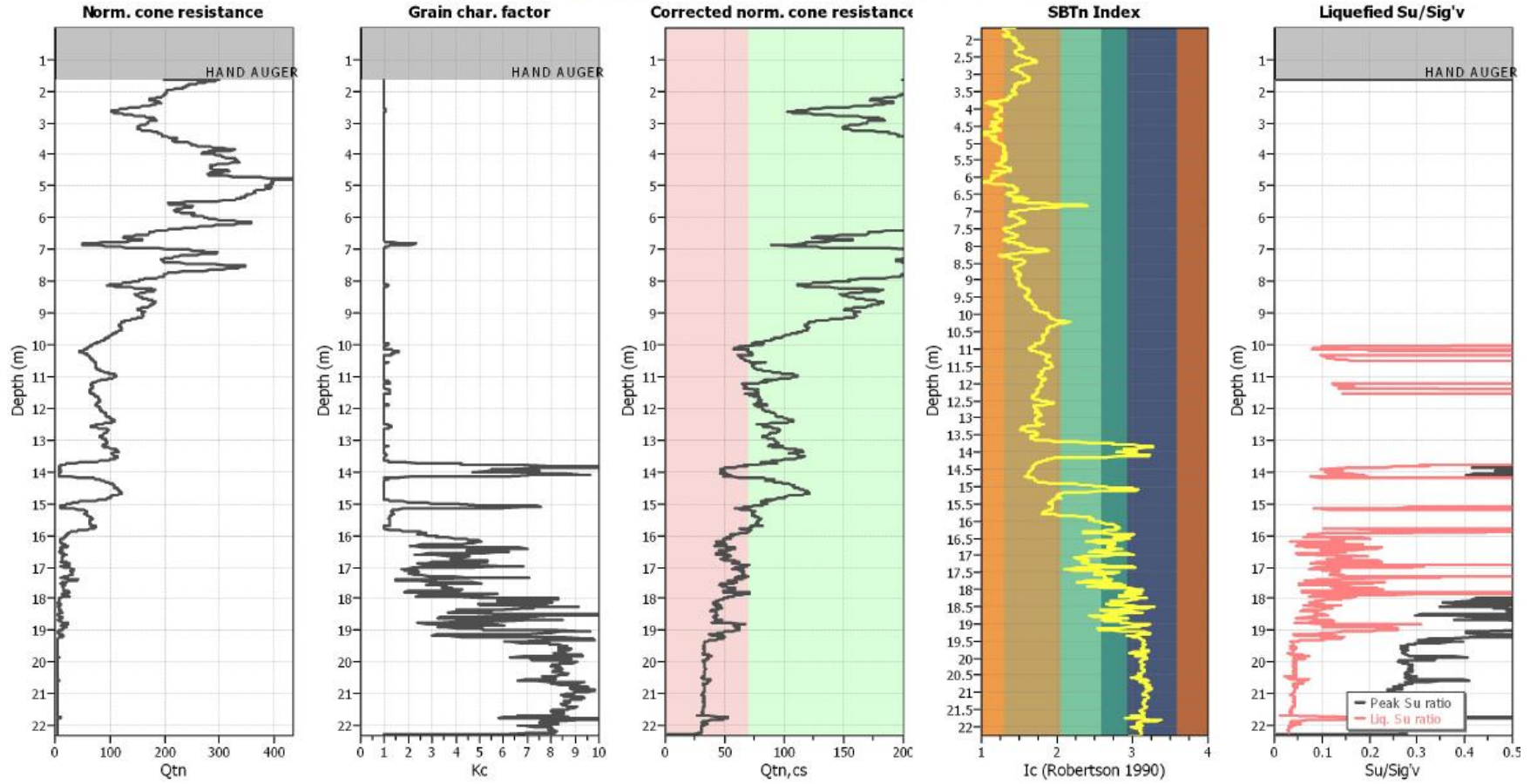
- Red: Almost certain it will liquefy
- Orange: Very likely to liquefy
- Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely
- Light Green: Unlike to liquefy
- Dark Green: Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

- Red: Very high risk
- Orange: High risk
- Yellow: Low risk

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

|                                |                   |                                |              |                             |            |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method:               | NCEER (1998)      | Depth to water table (erthq.): | 2.00 m       | Fill weight:                | N/A        |
| Fines correction method:       | NCEER (1998)      | Average results interval:      | 3            | Transition detect. applied: | No         |
| Points to test:                | Based on Ic value | Ic cut-off value:              | 2.60         | $K_p$ applied:              | Yes        |
| Earthquake magnitude $M_w$ :   | 7.50              | Unit weight calculation:       | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration:      | 0.40              | Use fill:                      | No           | Limit depth applied:        | No         |
| Depth to water table (insitu): | 1.00 m            | Fill height:                   | N/A          | Limit depth:                | N/A        |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşıma analiz sonuçları

| :: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR <sup>+</sup> ) calculation data :: (continued) |           |                  |             |                   |       |       |      |                    |       |         |                  |                       |
|---|-----------|------------------|-------------|-------------------|-------|-------|------|--------------------|-------|---------|------------------|-----------------------|
| Point ID  | Depth (m) | $\sigma_v$ (kPa) | $u_0$ (kPa) | $\sigma_v'$ (kPa) | $r_d$ | CSR   | MSF  | CSR <sub>req</sub> | $K_c$ | User FS | CSR <sup>+</sup> | Belongs to transition |
| 1057  | 10.57     | 197.91           | 84.07       | 113.84            | 0.89  | 0.404 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1058  | 10.58     | 198.09           | 84.17       | 113.92            | 0.89  | 0.404 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1059  | 10.59     | 198.27           | 84.27       | 114.00            | 0.89  | 0.404 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1060  | 10.60     | 198.45           | 84.37       | 114.08            | 0.89  | 0.404 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1061  | 10.61     | 198.62           | 84.46       | 114.16            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1062  | 10.62     | 198.80           | 84.56       | 114.24            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1063  | 10.63     | 198.98           | 84.66       | 114.32            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1064  | 10.64     | 199.16           | 84.76       | 114.40            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1065  | 10.65     | 199.34           | 84.86       | 114.48            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1066  | 10.66     | 199.51           | 84.95       | 114.56            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.404              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1067  | 10.67     | 199.69           | 85.05       | 114.64            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1068  | 10.68     | 199.87           | 85.15       | 114.72            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1069  | 10.69     | 200.05           | 85.25       | 114.80            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1070  | 10.70     | 200.23           | 85.35       | 114.88            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1071  | 10.71     | 200.40           | 85.45       | 114.96            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1072  | 10.72     | 200.58           | 85.54       | 115.04            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1073  | 10.73     | 200.76           | 85.64       | 115.12            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1074  | 10.74     | 200.94           | 85.74       | 115.20            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1075  | 10.75     | 201.12           | 85.84       | 115.28            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1076  | 10.76     | 201.30           | 85.94       | 115.36            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1077  | 10.77     | 201.48           | 86.03       | 115.44            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1078  | 10.78     | 201.66           | 86.13       | 115.52            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1079  | 10.79     | 201.84           | 86.23       | 115.61            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1080  | 10.80     | 202.02           | 86.33       | 115.69            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1081  | 10.81     | 202.20           | 86.43       | 115.77            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1082  | 10.82     | 202.38           | 86.52       | 115.86            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1083  | 10.83     | 202.56           | 86.62       | 115.94            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1084  | 10.84     | 202.74           | 86.72       | 116.02            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1085  | 10.85     | 202.92           | 86.82       | 116.10            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1086  | 10.86     | 203.10           | 86.92       | 116.18            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1087  | 10.87     | 203.28           | 87.01       | 116.27            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1088  | 10.88     | 203.46           | 87.11       | 116.35            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1089  | 10.89     | 203.65           | 87.21       | 116.44            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1090  | 10.90     | 203.83           | 87.31       | 116.52            | 0.89  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1091  | 10.91     | 204.01           | 87.41       | 116.61            | 0.88  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1092  | 10.92     | 204.20           | 87.51       | 116.69            | 0.88  | 0.403 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1093  | 10.93     | 204.38           | 87.60       | 116.78            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1094  | 10.94     | 204.57           | 87.70       | 116.86            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1095  | 10.95     | 204.75           | 87.80       | 116.95            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.403              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1096  | 10.96     | 204.93           | 87.90       | 117.03            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1097  | 10.97     | 205.12           | 88.00       | 117.12            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1098  | 10.98     | 205.30           | 88.09       | 117.21            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1099  | 10.99     | 205.48           | 88.19       | 117.29            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1100  | 11.00     | 205.67           | 88.29       | 117.38            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1101  | 11.01     | 205.85           | 88.39       | 117.46            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1102  | 11.02     | 206.03           | 88.49       | 117.54            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1103  | 11.03     | 206.21           | 88.58       | 117.63            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1104  | 11.04     | 206.39           | 88.68       | 117.71            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402              | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

| :: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR <sup>f</sup> ) calculation data :: (continued) |           |                  |             |                   |       |       |      |                   |       |         |                  |                       |
|---|-----------|------------------|-------------|-------------------|-------|-------|------|-------------------|-------|---------|------------------|-----------------------|
| Point ID  | Depth (m) | $\sigma_v$ (KPa) | $u_0$ (KPa) | $\sigma_v'$ (KPa) | $r_d$ | CSR   | MSF  | CSR <sub>eq</sub> | $K_o$ | User FS | CSR <sup>f</sup> | Belongs to transition |
| 1105  | 11.05     | 206.58           | 88.78       | 117.79            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1106  | 11.06     | 206.76           | 88.88       | 117.88            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1107  | 11.07     | 206.94           | 88.98       | 117.96            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1108  | 11.08     | 207.12           | 89.07       | 118.05            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1109  | 11.09     | 207.30           | 89.17       | 118.13            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1110  | 11.10     | 207.49           | 89.27       | 118.21            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1111  | 11.11     | 207.67           | 89.37       | 118.30            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.97  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1112  | 11.12     | 207.85           | 89.47       | 118.38            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.96  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1113  | 11.13     | 208.03           | 89.57       | 118.46            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.96  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1114  | 11.14     | 208.21           | 89.66       | 118.55            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.96  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1115  | 11.15     | 208.39           | 89.76       | 118.63            | 0.88  | 0.402 | 1.00 | 0.402             | 0.96  | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1116  | 11.16     | 208.57           | 89.86       | 118.71            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.402             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1117  | 11.17     | 208.75           | 89.96       | 118.79            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.402             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1118  | 11.18     | 208.93           | 90.06       | 118.88            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.402             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1119  | 11.19     | 209.11           | 90.15       | 118.96            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1120  | 11.20     | 209.29           | 90.25       | 119.04            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1121  | 11.21     | 209.47           | 90.35       | 119.12            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1122  | 11.22     | 209.65           | 90.45       | 119.20            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1123  | 11.23     | 209.83           | 90.55       | 119.28            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1124  | 11.24     | 210.00           | 90.64       | 119.36            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1125  | 11.25     | 210.18           | 90.74       | 119.44            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1126  | 11.26     | 210.36           | 90.84       | 119.52            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1127  | 11.27     | 210.53           | 90.94       | 119.59            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1128  | 11.28     | 210.71           | 91.04       | 119.67            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1129  | 11.29     | 210.89           | 91.13       | 119.75            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1130  | 11.30     | 211.06           | 91.23       | 119.83            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1131  | 11.31     | 211.24           | 91.33       | 119.91            | 0.88  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1132  | 11.32     | 211.42           | 91.43       | 119.99            | 0.87  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1133  | 11.33     | 211.59           | 91.53       | 120.07            | 0.87  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1134  | 11.34     | 211.77           | 91.63       | 120.15            | 0.87  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1135  | 11.35     | 211.95           | 91.72       | 120.22            | 0.87  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1136  | 11.36     | 212.13           | 91.82       | 120.30            | 0.87  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1137  | 11.37     | 212.30           | 91.92       | 120.38            | 0.87  | 0.401 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1138  | 11.38     | 212.48           | 92.02       | 120.46            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1139  | 11.39     | 212.66           | 92.12       | 120.54            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1140  | 11.40     | 212.84           | 92.21       | 120.62            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.401             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1141  | 11.41     | 213.02           | 92.31       | 120.71            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1142  | 11.42     | 213.20           | 92.41       | 120.79            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1143  | 11.43     | 213.38           | 92.51       | 120.87            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1144  | 11.44     | 213.55           | 92.61       | 120.95            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1145  | 11.45     | 213.73           | 92.70       | 121.03            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1146  | 11.46     | 213.91           | 92.80       | 121.11            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1147  | 11.47     | 214.09           | 92.90       | 121.19            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1148  | 11.48     | 214.27           | 93.00       | 121.27            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1149  | 11.49     | 214.45           | 93.10       | 121.35            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1150  | 11.50     | 214.63           | 93.19       | 121.43            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1151  | 11.51     | 214.81           | 93.29       | 121.52            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |
| 1152  | 11.52     | 214.99           | 93.39       | 121.60            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96  | 1.00    | 0.417            | No                    |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data :: (continued) |           |                  |             |                   |       |       |      |                   |            |         |       |                       |
|--|-----------|------------------|-------------|-------------------|-------|-------|------|-------------------|------------|---------|-------|-----------------------|
| Point ID   | Depth (m) | $\sigma_v$ (KPa) | $u_0$ (KPa) | $\sigma_v'$ (KPa) | $r_d$ | CSR   | MSF  | CSR <sub>eq</sub> | $K_\sigma$ | User FS | CSR*  | Belongs to transition |
| 1153   | 11.53     | 215.17           | 93.49       | 121.68            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1154   | 11.54     | 215.35           | 93.59       | 121.76            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1155   | 11.55     | 215.52           | 93.69       | 121.84            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1156   | 11.56     | 215.70           | 93.78       | 121.92            | 0.87  | 0.400 | 1.00 | 0.400             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1157   | 11.57     | 215.88           | 93.88       | 121.99            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.400             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1158   | 11.58     | 216.05           | 93.98       | 122.07            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.400             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1159   | 11.59     | 216.23           | 94.08       | 122.15            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.400             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1160   | 11.60     | 216.41           | 94.18       | 122.23            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1161   | 11.61     | 216.59           | 94.27       | 122.31            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1162   | 11.62     | 216.77           | 94.37       | 122.40            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1163   | 11.63     | 216.95           | 94.47       | 122.48            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1164   | 11.64     | 217.13           | 94.57       | 122.56            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1165   | 11.65     | 217.31           | 94.67       | 122.64            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1166   | 11.66     | 217.49           | 94.76       | 122.72            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1167   | 11.67     | 217.67           | 94.86       | 122.80            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1168   | 11.68     | 217.84           | 94.96       | 122.88            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1169   | 11.69     | 218.02           | 95.06       | 122.97            | 0.87  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1170   | 11.70     | 218.20           | 95.16       | 123.05            | 0.86  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1171   | 11.71     | 218.38           | 95.26       | 123.13            | 0.86  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1172   | 11.72     | 218.56           | 95.35       | 123.21            | 0.86  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1173   | 11.73     | 218.74           | 95.45       | 123.29            | 0.86  | 0.399 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1174   | 11.74     | 218.92           | 95.55       | 123.38            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1175   | 11.75     | 219.10           | 95.65       | 123.46            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1176   | 11.76     | 219.28           | 95.75       | 123.54            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.399             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1177   | 11.77     | 219.46           | 95.84       | 123.62            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1178   | 11.78     | 219.64           | 95.94       | 123.70            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1179   | 11.79     | 219.82           | 96.04       | 123.78            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.96       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1180   | 11.80     | 220.00           | 96.14       | 123.86            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1181   | 11.81     | 220.18           | 96.24       | 123.94            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1182   | 11.82     | 220.35           | 96.33       | 124.02            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1183   | 11.83     | 220.53           | 96.43       | 124.10            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1184   | 11.84     | 220.71           | 96.53       | 124.18            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1185   | 11.85     | 220.89           | 96.63       | 124.26            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1186   | 11.86     | 221.07           | 96.73       | 124.35            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1187   | 11.87     | 221.25           | 96.82       | 124.43            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1188   | 11.88     | 221.43           | 96.92       | 124.51            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1189   | 11.89     | 221.61           | 97.02       | 124.59            | 0.86  | 0.398 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1190   | 11.90     | 221.80           | 97.12       | 124.68            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1191   | 11.91     | 221.98           | 97.22       | 124.76            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.398             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1192   | 11.92     | 222.16           | 97.32       | 124.84            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1193   | 11.93     | 222.34           | 97.41       | 124.92            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1194   | 11.94     | 222.52           | 97.51       | 125.01            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1195   | 11.95     | 222.70           | 97.61       | 125.09            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1196   | 11.96     | 222.88           | 97.71       | 125.17            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1197   | 11.97     | 223.06           | 97.81       | 125.25            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1198   | 11.98     | 223.24           | 97.90       | 125.34            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1199   | 11.99     | 223.42           | 98.00       | 125.42            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |
| 1200   | 12.00     | 223.60           | 98.10       | 125.50            | 0.86  | 0.397 | 1.00 | 0.397             | 0.95       | 1.00    | 0.417 | No                    |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları (devamı)

| :: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR <sup>f</sup> ) calculation data :: (continued) |           |                  |             |                   |       |       |      |                    |            |         |                  |                       |
|---|-----------|------------------|-------------|-------------------|-------|-------|------|--------------------|------------|---------|------------------|-----------------------|
| Point ID  | Depth (m) | $\sigma_v$ (kPa) | $u_0$ (kPa) | $\sigma_v'$ (kPa) | $r_d$ | CSR   | MSF  | CSR <sub>req</sub> | $K_\sigma$ | User FS | CSR <sup>f</sup> | Belongs to transition |
| 1249  | 12.49     | 232.57           | 102.91      | 129.67            | 0.84  | 0.393 | 1.00 | 0.393              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1250  | 12.50     | 232.75           | 103.00      | 129.75            | 0.84  | 0.393 | 1.00 | 0.393              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1251  | 12.51     | 232.94           | 103.10      | 129.83            | 0.84  | 0.393 | 1.00 | 0.393              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1252  | 12.52     | 233.12           | 103.20      | 129.92            | 0.84  | 0.393 | 1.00 | 0.393              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1253  | 12.53     | 233.30           | 103.30      | 130.00            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.393              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1254  | 12.54     | 233.48           | 103.40      | 130.08            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.393              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1255  | 12.55     | 233.66           | 103.50      | 130.17            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1256  | 12.56     | 233.84           | 103.59      | 130.25            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1257  | 12.57     | 234.03           | 103.69      | 130.33            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1258  | 12.58     | 234.21           | 103.79      | 130.42            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1259  | 12.59     | 234.39           | 103.89      | 130.51            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1260  | 12.60     | 234.58           | 103.99      | 130.59            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.416            | No                    |
| 1261  | 12.61     | 234.76           | 104.08      | 130.68            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1262  | 12.62     | 234.95           | 104.18      | 130.76            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1263  | 12.63     | 235.13           | 104.28      | 130.85            | 0.84  | 0.392 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1264  | 12.64     | 235.31           | 104.38      | 130.93            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1265  | 12.65     | 235.50           | 104.48      | 131.02            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.392              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1266  | 12.66     | 235.68           | 104.57      | 131.10            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1267  | 12.67     | 235.86           | 104.67      | 131.19            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1268  | 12.68     | 236.04           | 104.77      | 131.27            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1269  | 12.69     | 236.22           | 104.87      | 131.36            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1270  | 12.70     | 236.41           | 104.97      | 131.44            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1271  | 12.71     | 236.59           | 105.07      | 131.53            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1272  | 12.72     | 236.77           | 105.16      | 131.61            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1273  | 12.73     | 236.96           | 105.26      | 131.69            | 0.84  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1274  | 12.74     | 237.14           | 105.36      | 131.78            | 0.83  | 0.391 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1275  | 12.75     | 237.32           | 105.46      | 131.86            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.391              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1276  | 12.76     | 237.50           | 105.56      | 131.95            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1277  | 12.77     | 237.69           | 105.65      | 132.03            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1278  | 12.78     | 237.87           | 105.75      | 132.12            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1279  | 12.79     | 238.05           | 105.85      | 132.20            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1280  | 12.80     | 238.23           | 105.95      | 132.28            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1281  | 12.81     | 238.41           | 106.05      | 132.36            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1282  | 12.82     | 238.59           | 106.14      | 132.45            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1283  | 12.83     | 238.77           | 106.24      | 132.53            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1284  | 12.84     | 238.95           | 106.34      | 132.61            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1285  | 12.85     | 239.13           | 106.44      | 132.69            | 0.83  | 0.390 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1286  | 12.86     | 239.31           | 106.54      | 132.77            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.390              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1287  | 12.87     | 239.49           | 106.63      | 132.86            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.415            | No                    |
| 1288  | 12.88     | 239.67           | 106.73      | 132.94            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1289  | 12.89     | 239.85           | 106.83      | 133.02            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1290  | 12.90     | 240.03           | 106.93      | 133.10            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1291  | 12.91     | 240.21           | 107.03      | 133.19            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1292  | 12.92     | 240.40           | 107.13      | 133.27            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1293  | 12.93     | 240.58           | 107.22      | 133.35            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1294  | 12.94     | 240.76           | 107.32      | 133.44            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1295  | 12.95     | 240.94           | 107.42      | 133.52            | 0.83  | 0.389 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1296  | 12.96     | 241.12           | 107.52      | 133.61            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.389              | 0.94       | 1.00    | 0.414            | No                    |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları (devamı)

| :: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR <sup>f</sup> ) calculation data :: (continued) |           |                  |             |                   |       |       |      |                   |       |         |                  |                       |
|---|-----------|------------------|-------------|-------------------|-------|-------|------|-------------------|-------|---------|------------------|-----------------------|
| Point ID  | Depth (m) | $\sigma_v$ (kPa) | $u_0$ (kPa) | $\sigma_v'$ (kPa) | $r_d$ | CSR   | MSF  | CSR <sub>eq</sub> | $K_c$ | User FS | CSR <sup>f</sup> | Belongs to transition |
| 1297  | 12.97     | 241.31           | 107.62      | 133.69            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.389             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1298  | 12.98     | 241.49           | 107.71      | 133.78            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1299  | 12.99     | 241.67           | 107.81      | 133.86            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1300  | 13.00     | 241.85           | 107.91      | 133.94            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1301  | 13.01     | 242.04           | 108.01      | 134.03            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1302  | 13.02     | 242.22           | 108.11      | 134.11            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1303  | 13.03     | 242.40           | 108.20      | 134.20            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1304  | 13.04     | 242.58           | 108.30      | 134.28            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1305  | 13.05     | 242.76           | 108.40      | 134.36            | 0.83  | 0.388 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1306  | 13.06     | 242.95           | 108.50      | 134.45            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1307  | 13.07     | 243.13           | 108.60      | 134.53            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.388             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1308  | 13.08     | 243.31           | 108.69      | 134.62            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1309  | 13.09     | 243.50           | 108.79      | 134.70            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.414            | No                    |
| 1310  | 13.10     | 243.68           | 108.89      | 134.79            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1311  | 13.11     | 243.86           | 108.99      | 134.87            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1312  | 13.12     | 244.04           | 109.09      | 134.96            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1313  | 13.13     | 244.23           | 109.19      | 135.04            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1314  | 13.14     | 244.41           | 109.28      | 135.13            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1315  | 13.15     | 244.59           | 109.38      | 135.21            | 0.82  | 0.387 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1316  | 13.16     | 244.77           | 109.48      | 135.29            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1317  | 13.17     | 244.96           | 109.58      | 135.38            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.387             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1318  | 13.18     | 245.14           | 109.68      | 135.46            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1319  | 13.19     | 245.32           | 109.77      | 135.55            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1320  | 13.20     | 245.51           | 109.87      | 135.63            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.94  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1321  | 13.21     | 245.69           | 109.97      | 135.72            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1322  | 13.22     | 245.88           | 110.07      | 135.81            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1323  | 13.23     | 246.05           | 110.17      | 135.89            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1324  | 13.24     | 246.23           | 110.26      | 135.97            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1325  | 13.25     | 246.41           | 110.36      | 136.05            | 0.82  | 0.386 | 1.00 | 0.386             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1326  | 13.26     | 246.59           | 110.46      | 136.13            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.386             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1327  | 13.27     | 246.76           | 110.56      | 136.21            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1328  | 13.28     | 246.94           | 110.66      | 136.29            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1329  | 13.29     | 247.12           | 110.75      | 136.37            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.413            | No                    |
| 1330  | 13.30     | 247.30           | 110.85      | 136.44            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1331  | 13.31     | 247.47           | 110.95      | 136.52            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1332  | 13.32     | 247.65           | 111.05      | 136.60            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1333  | 13.33     | 247.83           | 111.15      | 136.68            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1334  | 13.34     | 248.01           | 111.25      | 136.76            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1335  | 13.35     | 248.19           | 111.34      | 136.84            | 0.82  | 0.385 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1336  | 13.36     | 248.36           | 111.44      | 136.92            | 0.82  | 0.384 | 1.00 | 0.385             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1337  | 13.37     | 248.54           | 111.54      | 137.00            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1338  | 13.38     | 248.72           | 111.64      | 137.09            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1339  | 13.39     | 248.91           | 111.74      | 137.17            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1340  | 13.40     | 249.09           | 111.83      | 137.25            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1341  | 13.41     | 249.27           | 111.93      | 137.34            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1342  | 13.42     | 249.46           | 112.03      | 137.43            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1343  | 13.43     | 249.64           | 112.13      | 137.52            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1344  | 13.44     | 249.83           | 112.23      | 137.60            | 0.81  | 0.384 | 1.00 | 0.384             | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

| :: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR <sup>f</sup> ) calculation data :: (continued) |           |                  |             |                   |       |       |      |                    |       |         |                  |                       |
|---|-----------|------------------|-------------|-------------------|-------|-------|------|--------------------|-------|---------|------------------|-----------------------|
| Point ID  | Depth (m) | $\sigma_v$ (kPa) | $u_0$ (kPa) | $\sigma_v'$ (kPa) | $r_d$ | CSR   | MSF  | CSR <sub>req</sub> | $K_c$ | User FS | CSR <sup>f</sup> | Belongs to transition |
| 1345  | 13.45     | 250.02           | 112.32      | 137.69            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.384              | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1346  | 13.46     | 250.21           | 112.42      | 137.78            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.384              | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1347  | 13.47     | 250.39           | 112.52      | 137.87            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.412            | No                    |
| 1348  | 13.48     | 250.58           | 112.62      | 137.96            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1349  | 13.49     | 250.77           | 112.72      | 138.05            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1350  | 13.50     | 250.96           | 112.81      | 138.14            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1351  | 13.51     | 251.15           | 112.91      | 138.23            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1352  | 13.52     | 251.34           | 113.01      | 138.32            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1353  | 13.53     | 251.52           | 113.11      | 138.41            | 0.81  | 0.383 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1354  | 13.54     | 251.71           | 113.21      | 138.50            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.383              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1355  | 13.55     | 251.90           | 113.31      | 138.59            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1356  | 13.56     | 252.08           | 113.40      | 138.68            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1357  | 13.57     | 252.27           | 113.50      | 138.77            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1358  | 13.58     | 252.45           | 113.60      | 138.85            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1359  | 13.59     | 252.64           | 113.70      | 138.94            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1360  | 13.60     | 252.82           | 113.80      | 139.02            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1361  | 13.61     | 253.00           | 113.89      | 139.11            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1362  | 13.62     | 253.18           | 113.99      | 139.19            | 0.81  | 0.382 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1363  | 13.63     | 253.36           | 114.09      | 139.27            | 0.81  | 0.381 | 1.00 | 0.382              | 0.93  | 1.00    | 0.411            | No                    |
| 1364  | 13.64     | 253.55           | 114.19      | 139.36            | 0.81  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1365  | 13.65     | 253.73           | 114.29      | 139.44            | 0.81  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1366  | 13.66     | 253.92           | 114.38      | 139.53            | 0.81  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1367  | 13.67     | 254.10           | 114.48      | 139.62            | 0.81  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1368  | 13.68     | 254.28           | 114.58      | 139.70            | 0.80  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1369  | 13.69     | 254.47           | 114.68      | 139.79            | 0.80  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1370  | 13.70     | 254.65           | 114.78      | 139.88            | 0.80  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1371  | 13.71     | 254.84           | 114.88      | 139.96            | 0.80  | 0.381 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1372  | 13.72     | 255.03           | 114.97      | 140.05            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.381              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1373  | 13.73     | 255.21           | 115.07      | 140.14            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1374  | 13.74     | 255.40           | 115.17      | 140.23            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1375  | 13.75     | 255.58           | 115.27      | 140.31            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1376  | 13.76     | 255.76           | 115.37      | 140.40            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1377  | 13.77     | 255.94           | 115.46      | 140.47            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1378  | 13.78     | 256.11           | 115.56      | 140.55            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1379  | 13.79     | 256.29           | 115.66      | 140.63            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.410            | No                    |
| 1380  | 13.80     | 256.46           | 115.76      | 140.70            | 0.80  | 0.380 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1381  | 13.81     | 256.63           | 115.86      | 140.78            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.380              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1382  | 13.82     | 256.81           | 115.95      | 140.85            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1383  | 13.83     | 256.98           | 116.05      | 140.93            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1384  | 13.84     | 257.15           | 116.15      | 141.00            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1385  | 13.85     | 257.32           | 116.25      | 141.07            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1386  | 13.86     | 257.49           | 116.35      | 141.14            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1387  | 13.87     | 257.66           | 116.44      | 141.21            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1388  | 13.88     | 257.82           | 116.54      | 141.28            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1389  | 13.89     | 257.99           | 116.64      | 141.35            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1390  | 13.90     | 258.15           | 116.74      | 141.41            | 0.80  | 0.379 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1391  | 13.91     | 258.31           | 116.84      | 141.48            | 0.80  | 0.378 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |
| 1392  | 13.92     | 258.48           | 116.94      | 141.54            | 0.80  | 0.378 | 1.00 | 0.379              | 0.93  | 1.00    | 0.409            | No                    |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |             |       |           |      |          |       |            |             |                         |                     |      |
|--|-----------|-------------|-------|-----------|------|----------|-------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | $q_t$ (MPa) | $I_c$ | $F_r$ (%) | $n$  | $Q_{in}$ | $K_c$ | $Q_{m,cs}$ | $CRR_{7.5}$ | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | F5   |
| 1057   | 10.57     | 7.70        | 1.84  | 0.48      | 0.58 | 73.36    | 1.00  | 73.36      | 0.117       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1058   | 10.58     | 7.74        | 1.83  | 0.46      | 0.57 | 73.70    | 1.00  | 73.70      | 0.117       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1059   | 10.59     | 7.77        | 1.82  | 0.43      | 0.57 | 73.94    | 1.00  | 73.94      | 0.118       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1060   | 10.60     | 7.81        | 1.81  | 0.42      | 0.56 | 74.31    | 1.00  | 74.31      | 0.118       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1061   | 10.61     | 7.81        | 1.81  | 0.42      | 0.56 | 74.34    | 1.00  | 74.34      | 0.118       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1062   | 10.62     | 7.82        | 1.81  | 0.43      | 0.57 | 74.40    | 1.00  | 74.40      | 0.118       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1063   | 10.63     | 7.80        | 1.81  | 0.43      | 0.57 | 74.10    | 1.00  | 74.10      | 0.118       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1064   | 10.64     | 7.78        | 1.81  | 0.42      | 0.57 | 73.91    | 1.00  | 73.91      | 0.118       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1065   | 10.65     | 7.74        | 1.81  | 0.42      | 0.57 | 73.48    | 1.00  | 73.48      | 0.117       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1066   | 10.66     | 7.71        | 1.82  | 0.44      | 0.57 | 73.11    | 1.00  | 73.11      | 0.116       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1067   | 10.67     | 7.69        | 1.83  | 0.45      | 0.57 | 72.88    | 1.00  | 72.88      | 0.116       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1068   | 10.68     | 7.70        | 1.83  | 0.45      | 0.57 | 72.94    | 1.00  | 72.94      | 0.116       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1069   | 10.69     | 7.72        | 1.83  | 0.45      | 0.57 | 73.10    | 1.00  | 73.10      | 0.116       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1070   | 10.70     | 7.75        | 1.83  | 0.45      | 0.57 | 73.39    | 1.00  | 73.39      | 0.117       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1071   | 10.71     | 7.80        | 1.83  | 0.46      | 0.57 | 73.88    | 1.00  | 73.88      | 0.117       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1072   | 10.72     | 7.85        | 1.83  | 0.46      | 0.57 | 74.30    | 1.00  | 74.30      | 0.118       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1073   | 10.73     | 7.91        | 1.82  | 0.45      | 0.57 | 74.89    | 1.00  | 74.89      | 0.119       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1074   | 10.74     | 7.97        | 1.81  | 0.44      | 0.57 | 75.45    | 1.00  | 75.45      | 0.120       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1075   | 10.75     | 8.07        | 1.81  | 0.44      | 0.56 | 76.36    | 1.00  | 76.36      | 0.121       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1076   | 10.76     | 8.16        | 1.80  | 0.44      | 0.56 | 77.23    | 1.00  | 77.23      | 0.123       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1077   | 10.77     | 8.27        | 1.80  | 0.45      | 0.56 | 78.20    | 1.00  | 78.20      | 0.124       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1078   | 10.78     | 8.37        | 1.80  | 0.46      | 0.56 | 79.17    | 1.00  | 79.17      | 0.126       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1079   | 10.79     | 8.48        | 1.80  | 0.47      | 0.56 | 80.20    | 1.00  | 80.20      | 0.128       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1080   | 10.80     | 8.59        | 1.80  | 0.47      | 0.56 | 81.27    | 1.00  | 81.27      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1081   | 10.81     | 8.72        | 1.80  | 0.48      | 0.56 | 82.46    | 1.00  | 82.46      | 0.132       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1082   | 10.82     | 8.87        | 1.79  | 0.49      | 0.56 | 83.91    | 1.00  | 83.91      | 0.135       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1083   | 10.83     | 9.05        | 1.77  | 0.46      | 0.55 | 85.65    | 1.00  | 85.65      | 0.138       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1084   | 10.84     | 9.27        | 1.75  | 0.44      | 0.54 | 87.72    | 1.00  | 87.72      | 0.143       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1085   | 10.85     | 9.51        | 1.72  | 0.39      | 0.53 | 90.08    | 1.00  | 90.08      | 0.148       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1086   | 10.86     | 9.76        | 1.71  | 0.40      | 0.53 | 92.50    | 1.00  | 92.50      | 0.154       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1087   | 10.87     | 10.02       | 1.71  | 0.41      | 0.53 | 94.96    | 1.00  | 94.96      | 0.160       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1088   | 10.88     | 10.14       | 1.72  | 0.44      | 0.53 | 96.12    | 1.00  | 96.12      | 0.163       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1089   | 10.89     | 10.26       | 1.71  | 0.44      | 0.53 | 97.25    | 1.00  | 97.25      | 0.166       | No                      | No                  | 0.40 |
| 1090   | 10.90     | 10.45       | 1.72  | 0.46      | 0.53 | 99.04    | 1.00  | 99.04      | 0.170       | No                      | No                  | 0.41 |
| 1091   | 10.91     | 10.76       | 1.70  | 0.45      | 0.52 | 102.00   | 1.00  | 102.00     | 0.179       | No                      | No                  | 0.43 |
| 1092   | 10.92     | 11.06       | 1.69  | 0.45      | 0.52 | 104.84   | 1.00  | 104.84     | 0.187       | No                      | No                  | 0.45 |
| 1093   | 10.93     | 11.29       | 1.68  | 0.44      | 0.52 | 107.08   | 1.00  | 107.08     | 0.194       | No                      | No                  | 0.47 |
| 1094   | 10.94     | 11.50       | 1.67  | 0.43      | 0.51 | 109.11   | 1.00  | 109.11     | 0.201       | No                      | No                  | 0.48 |
| 1095   | 10.95     | 11.65       | 1.65  | 0.41      | 0.51 | 110.58   | 1.00  | 110.58     | 0.206       | No                      | No                  | 0.49 |
| 1096   | 10.96     | 11.73       | 1.64  | 0.40      | 0.50 | 111.33   | 1.00  | 111.33     | 0.208       | No                      | No                  | 0.50 |
| 1097   | 10.97     | 11.73       | 1.64  | 0.40      | 0.50 | 111.29   | 1.00  | 111.29     | 0.208       | No                      | No                  | 0.50 |
| 1098   | 10.98     | 11.73       | 1.64  | 0.39      | 0.50 | 111.19   | 1.00  | 111.19     | 0.208       | No                      | No                  | 0.50 |
| 1099   | 10.99     | 11.66       | 1.66  | 0.42      | 0.51 | 110.41   | 1.00  | 110.41     | 0.205       | No                      | No                  | 0.49 |
| 1100   | 11.00     | 11.57       | 1.66  | 0.41      | 0.51 | 109.50   | 1.00  | 109.50     | 0.202       | No                      | No                  | 0.49 |
| 1101   | 11.01     | 11.45       | 1.65  | 0.40      | 0.51 | 108.34   | 1.00  | 108.34     | 0.198       | No                      | No                  | 0.48 |
| 1102   | 11.02     | 11.29       | 1.64  | 0.36      | 0.50 | 106.80   | 1.00  | 106.80     | 0.193       | No                      | No                  | 0.46 |
| 1103   | 11.03     | 11.09       | 1.65  | 0.36      | 0.50 | 104.84   | 1.00  | 104.84     | 0.187       | No                      | No                  | 0.45 |
| 1104   | 11.04     | 10.84       | 1.66  | 0.37      | 0.51 | 102.36   | 1.00  | 102.36     | 0.180       | No                      | No                  | 0.43 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |             |       |           |      |       |       |            |             |                         |                     |      |
|--|-----------|-------------|-------|-----------|------|-------|-------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | $q_t$ (MPa) | $I_c$ | $F_r$ (%) | $n$  | $Q_m$ | $K_c$ | $Q_{m,cs}$ | $CRR_{7.5}$ | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | F5   |
| 1105   | 11.05     | 10.57       | 1.67  | 0.38      | 0.51 | 99.61 | 1.00  | 99.61      | 0.172       | No                      | No                  | 0.41 |
| 1106   | 11.06     | 10.25       | 1.71  | 0.43      | 0.53 | 96.42 | 1.00  | 96.42      | 0.163       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1107   | 11.07     | 9.95        | 1.74  | 0.45      | 0.54 | 93.46 | 1.00  | 93.46      | 0.156       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1108   | 11.08     | 9.65        | 1.76  | 0.48      | 0.55 | 90.41 | 1.00  | 90.41      | 0.149       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1109   | 11.09     | 9.38        | 1.77  | 0.48      | 0.55 | 87.76 | 1.00  | 87.76      | 0.143       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1110   | 11.10     | 9.16        | 1.79  | 0.49      | 0.56 | 85.61 | 1.00  | 85.61      | 0.138       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1111   | 11.11     | 8.98        | 1.80  | 0.49      | 0.56 | 83.79 | 1.00  | 83.79      | 0.135       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1112   | 11.12     | 8.78        | 1.80  | 0.49      | 0.56 | 81.89 | 1.00  | 81.89      | 0.131       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1113   | 11.13     | 8.53        | 1.82  | 0.51      | 0.57 | 79.42 | 1.13  | 89.35      | 0.146       | No                      | No                  | 0.35 |
| 1114   | 11.14     | 8.34        | 1.83  | 0.51      | 0.57 | 77.48 | 1.13  | 87.73      | 0.143       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1115   | 11.15     | 8.16        | 1.85  | 0.53      | 0.58 | 75.73 | 1.14  | 86.66      | 0.141       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1116   | 11.16     | 7.97        | 1.86  | 0.52      | 0.58 | 73.90 | 1.15  | 85.01      | 0.137       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1117   | 11.17     | 7.78        | 1.88  | 0.55      | 0.59 | 71.95 | 1.17  | 83.94      | 0.135       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1118   | 11.18     | 7.58        | 1.89  | 0.56      | 0.60 | 69.98 | 1.18  | 82.56      | 0.132       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1119   | 11.19     | 7.41        | 1.90  | 0.57      | 0.60 | 68.30 | 1.19  | 81.48      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1120   | 11.20     | 7.25        | 1.90  | 0.54      | 0.60 | 66.75 | 1.19  | 79.56      | 0.127       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1121   | 11.21     | 7.14        | 1.90  | 0.52      | 0.60 | 65.75 | 1.19  | 78.19      | 0.124       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1122   | 11.22     | 7.07        | 1.89  | 0.49      | 0.60 | 65.08 | 1.00  | 65.08      | 0.106       | No                      | No                  | 0.25 |
| 1123   | 11.23     | 7.04        | 1.88  | 0.47      | 0.59 | 64.78 | 1.00  | 64.78      | 0.105       | No                      | No                  | 0.25 |
| 1124   | 11.24     | 7.03        | 1.87  | 0.45      | 0.59 | 64.68 | 1.00  | 64.68      | 0.105       | No                      | No                  | 0.25 |
| 1125   | 11.25     | 7.06        | 1.87  | 0.44      | 0.59 | 64.91 | 1.00  | 64.91      | 0.105       | No                      | No                  | 0.25 |
| 1126   | 11.26     | 7.11        | 1.86  | 0.43      | 0.59 | 65.33 | 1.00  | 65.33      | 0.106       | No                      | No                  | 0.25 |
| 1127   | 11.27     | 7.18        | 1.86  | 0.43      | 0.58 | 65.98 | 1.00  | 65.98      | 0.107       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1128   | 11.28     | 7.25        | 1.85  | 0.42      | 0.58 | 66.67 | 1.00  | 66.67      | 0.108       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1129   | 11.29     | 7.32        | 1.84  | 0.41      | 0.58 | 67.29 | 1.00  | 67.29      | 0.108       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1130   | 11.30     | 7.37        | 1.84  | 0.41      | 0.58 | 67.77 | 1.00  | 67.77      | 0.109       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1131   | 11.31     | 7.39        | 1.85  | 0.43      | 0.58 | 67.94 | 1.00  | 67.94      | 0.109       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1132   | 11.32     | 7.40        | 1.85  | 0.44      | 0.58 | 67.94 | 1.00  | 67.94      | 0.109       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1133   | 11.33     | 7.39        | 1.85  | 0.44      | 0.58 | 67.81 | 1.00  | 67.81      | 0.109       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1134   | 11.34     | 7.35        | 1.85  | 0.44      | 0.58 | 67.42 | 1.00  | 67.42      | 0.109       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1135   | 11.35     | 7.31        | 1.86  | 0.45      | 0.58 | 67.00 | 1.00  | 67.00      | 0.108       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1136   | 11.36     | 7.29        | 1.86  | 0.45      | 0.58 | 66.75 | 1.00  | 66.75      | 0.108       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1137   | 11.37     | 7.24        | 1.87  | 0.47      | 0.59 | 66.25 | 1.00  | 66.25      | 0.107       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1138   | 11.38     | 7.21        | 1.89  | 0.49      | 0.59 | 65.87 | 1.00  | 65.87      | 0.107       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1139   | 11.39     | 7.14        | 1.90  | 0.51      | 0.60 | 65.18 | 1.19  | 77.37      | 0.123       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1140   | 11.40     | 7.11        | 1.91  | 0.53      | 0.60 | 64.82 | 1.20  | 77.49      | 0.123       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1141   | 11.41     | 7.05        | 1.92  | 0.55      | 0.61 | 64.22 | 1.21  | 77.61      | 0.123       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1142   | 11.42     | 7.03        | 1.92  | 0.56      | 0.61 | 63.96 | 1.21  | 77.56      | 0.123       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1143   | 11.43     | 7.01        | 1.92  | 0.55      | 0.61 | 63.75 | 1.21  | 77.30      | 0.123       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1144   | 11.44     | 7.00        | 1.92  | 0.55      | 0.61 | 63.62 | 1.21  | 77.10      | 0.123       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1145   | 11.45     | 6.97        | 1.92  | 0.54      | 0.61 | 63.38 | 1.21  | 76.69      | 0.122       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1146   | 11.46     | 6.96        | 1.92  | 0.53      | 0.61 | 63.27 | 1.21  | 76.24      | 0.121       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1147   | 11.47     | 6.96        | 1.92  | 0.53      | 0.61 | 63.24 | 1.21  | 76.22      | 0.121       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1148   | 11.48     | 6.96        | 1.93  | 0.56      | 0.61 | 63.18 | 1.22  | 76.92      | 0.122       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1149   | 11.49     | 6.97        | 1.94  | 0.58      | 0.61 | 63.22 | 1.23  | 77.56      | 0.123       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1150   | 11.50     | 6.99        | 1.94  | 0.59      | 0.61 | 63.31 | 1.23  | 77.73      | 0.124       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1151   | 11.51     | 7.03        | 1.94  | 0.58      | 0.61 | 63.69 | 1.22  | 77.96      | 0.124       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1152   | 11.52     | 7.11        | 1.93  | 0.57      | 0.61 | 64.44 | 1.21  | 78.28      | 0.125       | No                      | No                  | 0.30 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |             |       |           |      |       |       |            |             |                         |                     |      |
|--|-----------|-------------|-------|-----------|------|-------|-------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | $q_c$ (MPa) | $I_c$ | $F_r$ (%) | $n$  | $Q_m$ | $K_c$ | $Q_{m,cs}$ | $CRR_{7.5}$ | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | F5   |
| 1153   | 11.53     | 7.21        | 1.91  | 0.54      | 0.60 | 65.42 | 1.20  | 78.40      | 0.125       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1154   | 11.54     | 7.34        | 1.88  | 0.49      | 0.59 | 66.68 | 1.00  | 66.68      | 0.108       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1155   | 11.55     | 7.48        | 1.84  | 0.42      | 0.58 | 68.04 | 1.00  | 68.04      | 0.109       | No                      | No                  | 0.26 |
| 1156   | 11.56     | 7.63        | 1.83  | 0.41      | 0.57 | 69.49 | 1.00  | 69.49      | 0.111       | No                      | No                  | 0.27 |
| 1157   | 11.57     | 7.76        | 1.82  | 0.41      | 0.57 | 70.63 | 1.00  | 70.63      | 0.113       | No                      | No                  | 0.27 |
| 1158   | 11.58     | 7.83        | 1.83  | 0.42      | 0.57 | 71.27 | 1.00  | 71.27      | 0.114       | No                      | No                  | 0.27 |
| 1159   | 11.59     | 7.87        | 1.82  | 0.42      | 0.57 | 71.60 | 1.00  | 71.60      | 0.114       | No                      | No                  | 0.27 |
| 1160   | 11.60     | 7.92        | 1.82  | 0.42      | 0.57 | 72.07 | 1.00  | 72.07      | 0.115       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1161   | 11.61     | 8.03        | 1.83  | 0.44      | 0.57 | 73.08 | 1.00  | 73.08      | 0.116       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1162   | 11.62     | 8.19        | 1.82  | 0.45      | 0.57 | 74.57 | 1.00  | 74.57      | 0.119       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1163   | 11.63     | 8.33        | 1.81  | 0.44      | 0.56 | 75.88 | 1.00  | 75.88      | 0.121       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1164   | 11.64     | 8.45        | 1.80  | 0.43      | 0.56 | 77.00 | 1.00  | 77.00      | 0.122       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1165   | 11.65     | 8.57        | 1.79  | 0.43      | 0.56 | 78.08 | 1.00  | 78.08      | 0.124       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1166   | 11.66     | 8.67        | 1.79  | 0.44      | 0.56 | 79.02 | 1.00  | 79.02      | 0.126       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1167   | 11.67     | 8.72        | 1.79  | 0.44      | 0.56 | 79.45 | 1.00  | 79.45      | 0.127       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1168   | 11.68     | 8.72        | 1.79  | 0.44      | 0.56 | 79.36 | 1.00  | 79.36      | 0.126       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1169   | 11.69     | 8.68        | 1.79  | 0.44      | 0.56 | 79.01 | 1.00  | 79.01      | 0.126       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1170   | 11.70     | 8.66        | 1.80  | 0.44      | 0.56 | 78.78 | 1.00  | 78.78      | 0.125       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1171   | 11.71     | 8.65        | 1.80  | 0.45      | 0.56 | 78.59 | 1.00  | 78.59      | 0.125       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1172   | 11.72     | 8.66        | 1.80  | 0.45      | 0.56 | 78.62 | 1.00  | 78.62      | 0.125       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1173   | 11.73     | 8.70        | 1.80  | 0.45      | 0.56 | 79.04 | 1.00  | 79.04      | 0.126       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1174   | 11.74     | 8.77        | 1.79  | 0.44      | 0.56 | 79.62 | 1.00  | 79.62      | 0.127       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1175   | 11.75     | 8.85        | 1.79  | 0.44      | 0.56 | 80.34 | 1.00  | 80.34      | 0.128       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1176   | 11.76     | 8.89        | 1.79  | 0.44      | 0.56 | 80.69 | 1.00  | 80.69      | 0.129       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1177   | 11.77     | 8.90        | 1.77  | 0.41      | 0.55 | 80.82 | 1.00  | 80.82      | 0.129       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1178   | 11.78     | 8.87        | 1.75  | 0.37      | 0.54 | 80.61 | 1.00  | 80.61      | 0.129       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1179   | 11.79     | 8.83        | 1.74  | 0.35      | 0.54 | 80.21 | 1.00  | 80.21      | 0.128       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1180   | 11.80     | 8.78        | 1.75  | 0.36      | 0.54 | 79.69 | 1.00  | 79.69      | 0.127       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1181   | 11.81     | 8.74        | 1.77  | 0.40      | 0.55 | 79.20 | 1.00  | 79.20      | 0.126       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1182   | 11.82     | 8.70        | 1.77  | 0.40      | 0.55 | 78.78 | 1.00  | 78.78      | 0.125       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1183   | 11.83     | 8.67        | 1.79  | 0.42      | 0.56 | 78.45 | 1.00  | 78.45      | 0.125       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1184   | 11.84     | 8.54        | 1.80  | 0.44      | 0.56 | 77.16 | 1.00  | 77.16      | 0.123       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1185   | 11.85     | 8.39        | 1.82  | 0.47      | 0.57 | 75.63 | 1.00  | 75.63      | 0.120       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1186   | 11.86     | 8.24        | 1.84  | 0.49      | 0.58 | 74.18 | 1.00  | 74.18      | 0.118       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1187   | 11.87     | 8.21        | 1.85  | 0.50      | 0.58 | 73.81 | 1.00  | 73.81      | 0.117       | No                      | No                  | 0.28 |
| 1188   | 11.88     | 8.24        | 1.85  | 0.51      | 0.58 | 74.07 | 1.15  | 84.83      | 0.137       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1189   | 11.89     | 8.30        | 1.85  | 0.51      | 0.58 | 74.58 | 1.14  | 85.16      | 0.137       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1190   | 11.90     | 8.37        | 1.84  | 0.50      | 0.58 | 75.25 | 1.00  | 75.25      | 0.120       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1191   | 11.91     | 8.44        | 1.83  | 0.49      | 0.57 | 75.83 | 1.00  | 75.83      | 0.121       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1192   | 11.92     | 8.50        | 1.83  | 0.48      | 0.57 | 76.40 | 1.00  | 76.40      | 0.121       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1193   | 11.93     | 8.59        | 1.82  | 0.47      | 0.57 | 77.20 | 1.00  | 77.20      | 0.123       | No                      | No                  | 0.29 |
| 1194   | 11.94     | 8.68        | 1.81  | 0.46      | 0.56 | 78.10 | 1.00  | 78.10      | 0.124       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1195   | 11.95     | 8.78        | 1.80  | 0.46      | 0.56 | 79.00 | 1.00  | 79.00      | 0.126       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1196   | 11.96     | 8.86        | 1.80  | 0.46      | 0.56 | 79.72 | 1.00  | 79.72      | 0.127       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1197   | 11.97     | 8.93        | 1.79  | 0.46      | 0.56 | 80.34 | 1.00  | 80.34      | 0.128       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1198   | 11.98     | 8.99        | 1.80  | 0.46      | 0.56 | 80.85 | 1.00  | 80.85      | 0.129       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1199   | 11.99     | 9.04        | 1.79  | 0.46      | 0.56 | 81.30 | 1.00  | 81.30      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1200   | 12.00     | 9.08        | 1.80  | 0.47      | 0.56 | 81.62 | 1.00  | 81.62      | 0.131       | No                      | No                  | 0.31 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |             |       |        |      |        |       |            |                    |                         |                     |      |
|--|-----------|-------------|-------|--------|------|--------|-------|------------|--------------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | $q_t$ (MPa) | $I_c$ | Fr (%) | n    | $Q_m$  | $K_c$ | $Q_{m,cs}$ | CRR <sub>7.5</sub> | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | F5   |
| 1201   | 12.01     | 9.11        | 1.80  | 0.47   | 0.56 | 81.89  | 1.00  | 81.89      | 0.131              | No                      | No                  | 0.31 |
| 1202   | 12.02     | 9.14        | 1.79  | 0.47   | 0.56 | 82.14  | 1.00  | 82.14      | 0.132              | No                      | No                  | 0.32 |
| 1203   | 12.03     | 9.15        | 1.79  | 0.47   | 0.56 | 82.19  | 1.00  | 82.19      | 0.132              | No                      | No                  | 0.32 |
| 1204   | 12.04     | 9.14        | 1.80  | 0.48   | 0.56 | 82.05  | 1.00  | 82.05      | 0.131              | No                      | No                  | 0.32 |
| 1205   | 12.05     | 9.14        | 1.80  | 0.49   | 0.56 | 81.97  | 1.00  | 81.97      | 0.131              | No                      | No                  | 0.31 |
| 1206   | 12.06     | 9.17        | 1.79  | 0.47   | 0.56 | 82.22  | 1.00  | 82.22      | 0.132              | No                      | No                  | 0.32 |
| 1207   | 12.07     | 9.23        | 1.79  | 0.48   | 0.56 | 82.74  | 1.00  | 82.74      | 0.133              | No                      | No                  | 0.32 |
| 1208   | 12.08     | 9.32        | 1.79  | 0.47   | 0.56 | 83.62  | 1.00  | 83.62      | 0.134              | No                      | No                  | 0.32 |
| 1209   | 12.09     | 9.46        | 1.79  | 0.48   | 0.56 | 84.85  | 1.00  | 84.85      | 0.137              | No                      | No                  | 0.33 |
| 1210   | 12.10     | 9.62        | 1.78  | 0.48   | 0.55 | 86.29  | 1.00  | 86.29      | 0.140              | No                      | No                  | 0.34 |
| 1211   | 12.11     | 9.77        | 1.77  | 0.48   | 0.55 | 87.65  | 1.00  | 87.65      | 0.143              | No                      | No                  | 0.34 |
| 1212   | 12.12     | 9.90        | 1.77  | 0.48   | 0.55 | 88.83  | 1.00  | 88.83      | 0.145              | No                      | No                  | 0.35 |
| 1213   | 12.13     | 10.00       | 1.76  | 0.47   | 0.55 | 89.80  | 1.00  | 89.80      | 0.147              | No                      | No                  | 0.35 |
| 1214   | 12.14     | 10.07       | 1.76  | 0.47   | 0.54 | 90.43  | 1.00  | 90.43      | 0.149              | No                      | No                  | 0.36 |
| 1215   | 12.15     | 10.15       | 1.75  | 0.45   | 0.54 | 91.15  | 1.00  | 91.15      | 0.150              | No                      | No                  | 0.36 |
| 1216   | 12.16     | 10.22       | 1.74  | 0.45   | 0.54 | 91.80  | 1.00  | 91.80      | 0.152              | No                      | No                  | 0.36 |
| 1217   | 12.17     | 10.31       | 1.74  | 0.45   | 0.54 | 92.59  | 1.00  | 92.59      | 0.154              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1218   | 12.18     | 10.35       | 1.74  | 0.45   | 0.54 | 92.99  | 1.00  | 92.99      | 0.155              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1219   | 12.19     | 10.37       | 1.74  | 0.45   | 0.54 | 93.12  | 1.00  | 93.12      | 0.155              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1220   | 12.20     | 10.35       | 1.74  | 0.46   | 0.54 | 92.84  | 1.00  | 92.84      | 0.154              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1221   | 12.21     | 10.32       | 1.75  | 0.47   | 0.54 | 92.53  | 1.00  | 92.53      | 0.154              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1222   | 12.22     | 10.31       | 1.75  | 0.47   | 0.54 | 92.39  | 1.00  | 92.39      | 0.153              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1223   | 12.23     | 10.32       | 1.75  | 0.47   | 0.54 | 92.41  | 1.00  | 92.41      | 0.153              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1224   | 12.24     | 10.34       | 1.74  | 0.46   | 0.54 | 92.59  | 1.00  | 92.59      | 0.154              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1225   | 12.25     | 10.37       | 1.75  | 0.47   | 0.54 | 92.85  | 1.00  | 92.85      | 0.154              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1226   | 12.26     | 10.45       | 1.74  | 0.46   | 0.54 | 93.54  | 1.00  | 93.54      | 0.156              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1227   | 12.27     | 10.58       | 1.74  | 0.47   | 0.54 | 94.67  | 1.00  | 94.67      | 0.159              | No                      | No                  | 0.38 |
| 1228   | 12.28     | 10.73       | 1.73  | 0.46   | 0.53 | 96.11  | 1.00  | 96.11      | 0.163              | No                      | No                  | 0.39 |
| 1229   | 12.29     | 10.88       | 1.72  | 0.46   | 0.53 | 97.50  | 1.00  | 97.50      | 0.166              | No                      | No                  | 0.40 |
| 1230   | 12.30     | 11.01       | 1.72  | 0.46   | 0.53 | 98.65  | 1.00  | 98.65      | 0.169              | No                      | No                  | 0.41 |
| 1231   | 12.31     | 11.12       | 1.71  | 0.45   | 0.53 | 99.62  | 1.00  | 99.62      | 0.172              | No                      | No                  | 0.41 |
| 1232   | 12.32     | 11.20       | 1.71  | 0.46   | 0.53 | 100.38 | 1.00  | 100.38     | 0.174              | No                      | No                  | 0.42 |
| 1233   | 12.33     | 11.30       | 1.70  | 0.45   | 0.52 | 101.24 | 1.00  | 101.24     | 0.177              | No                      | No                  | 0.42 |
| 1234   | 12.34     | 11.42       | 1.70  | 0.45   | 0.52 | 102.32 | 1.00  | 102.32     | 0.180              | No                      | No                  | 0.43 |
| 1235   | 12.35     | 11.57       | 1.69  | 0.44   | 0.52 | 103.77 | 1.00  | 103.77     | 0.184              | No                      | No                  | 0.44 |
| 1236   | 12.36     | 11.74       | 1.69  | 0.44   | 0.52 | 105.26 | 1.00  | 105.26     | 0.188              | No                      | No                  | 0.45 |
| 1237   | 12.37     | 11.86       | 1.68  | 0.43   | 0.51 | 106.42 | 1.00  | 106.42     | 0.192              | No                      | No                  | 0.46 |
| 1238   | 12.38     | 11.94       | 1.67  | 0.42   | 0.51 | 107.15 | 1.00  | 107.15     | 0.194              | No                      | No                  | 0.47 |
| 1239   | 12.39     | 11.95       | 1.69  | 0.46   | 0.52 | 107.10 | 1.00  | 107.10     | 0.194              | No                      | No                  | 0.47 |
| 1240   | 12.40     | 11.94       | 1.69  | 0.46   | 0.52 | 106.90 | 1.00  | 106.90     | 0.194              | No                      | No                  | 0.47 |
| 1241   | 12.41     | 11.87       | 1.69  | 0.46   | 0.52 | 106.27 | 1.00  | 106.27     | 0.192              | No                      | No                  | 0.46 |
| 1242   | 12.42     | 11.78       | 1.67  | 0.41   | 0.51 | 105.56 | 1.00  | 105.56     | 0.189              | No                      | No                  | 0.46 |
| 1243   | 12.43     | 11.63       | 1.67  | 0.41   | 0.51 | 104.09 | 1.00  | 104.09     | 0.185              | No                      | No                  | 0.44 |
| 1244   | 12.44     | 11.42       | 1.69  | 0.42   | 0.52 | 102.03 | 1.00  | 102.03     | 0.179              | No                      | No                  | 0.43 |
| 1245   | 12.45     | 11.13       | 1.70  | 0.43   | 0.52 | 99.26  | 1.00  | 99.26      | 0.171              | No                      | No                  | 0.41 |
| 1246   | 12.46     | 10.78       | 1.72  | 0.43   | 0.53 | 95.94  | 1.00  | 95.94      | 0.162              | No                      | No                  | 0.39 |
| 1247   | 12.47     | 10.45       | 1.73  | 0.43   | 0.53 | 92.79  | 1.00  | 92.79      | 0.154              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1248   | 12.48     | 10.09       | 1.75  | 0.44   | 0.54 | 89.39  | 1.00  | 89.39      | 0.146              | No                      | No                  | 0.35 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |             |       |           |      |          |       |            |             |                         |                     |      |
|--|-----------|-------------|-------|-----------|------|----------|-------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | $q_t$ (MPa) | $I_c$ | $F_r$ (%) | $n$  | $Q_{tn}$ | $K_c$ | $Q_{m,cs}$ | $CRR_{7.5}$ | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | FS   |
| 1249   | 12.49     | 9.70        | 1.76  | 0.44      | 0.55 | 85.70    | 1.00  | 85.70      | 0.139       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1250   | 12.50     | 9.24        | 1.79  | 0.46      | 0.56 | 81.34    | 1.00  | 81.34      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1251   | 12.51     | 8.79        | 1.82  | 0.48      | 0.57 | 77.15    | 1.00  | 77.15      | 0.123       | No                      | No                  | 0.30 |
| 1252   | 12.52     | 8.42        | 1.86  | 0.52      | 0.58 | 73.58    | 1.15  | 84.67      | 0.136       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1253   | 12.53     | 8.14        | 1.88  | 0.55      | 0.59 | 70.87    | 1.17  | 83.20      | 0.134       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1254   | 12.54     | 7.89        | 1.91  | 0.59      | 0.60 | 68.52    | 1.20  | 82.24      | 0.132       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1255   | 12.55     | 7.69        | 1.93  | 0.62      | 0.61 | 66.60    | 1.22  | 81.37      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1256   | 12.56     | 7.55        | 1.95  | 0.66      | 0.62 | 65.19    | 1.24  | 81.10      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1257   | 12.57     | 7.50        | 1.96  | 0.68      | 0.62 | 64.67    | 1.26  | 81.25      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1258   | 12.58     | 7.60        | 1.97  | 0.71      | 0.63 | 65.51    | 1.26  | 82.64      | 0.132       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1259   | 12.59     | 7.85        | 1.95  | 0.69      | 0.62 | 67.76    | 1.24  | 84.05      | 0.135       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1260   | 12.60     | 8.18        | 1.93  | 0.68      | 0.61 | 70.83    | 1.22  | 86.30      | 0.140       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1261   | 12.61     | 8.64        | 1.91  | 0.67      | 0.60 | 75.02    | 1.19  | 89.61      | 0.147       | No                      | No                  | 0.35 |
| 1262   | 12.62     | 9.16        | 1.87  | 0.63      | 0.59 | 79.79    | 1.16  | 92.85      | 0.154       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1263   | 12.63     | 9.75        | 1.82  | 0.55      | 0.57 | 85.38    | 1.12  | 95.45      | 0.161       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1264   | 12.64     | 10.23       | 1.76  | 0.46      | 0.54 | 90.03    | 1.00  | 90.03      | 0.148       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1265   | 12.65     | 10.57       | 1.71  | 0.41      | 0.53 | 93.37    | 1.00  | 93.37      | 0.156       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1266   | 12.66     | 10.80       | 1.70  | 0.39      | 0.52 | 95.48    | 1.00  | 95.48      | 0.161       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1267   | 12.67     | 10.92       | 1.70  | 0.40      | 0.52 | 96.61    | 1.00  | 96.61      | 0.164       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1268   | 12.68     | 10.92       | 1.70  | 0.41      | 0.52 | 96.52    | 1.00  | 96.52      | 0.164       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1269   | 12.69     | 10.86       | 1.72  | 0.43      | 0.53 | 95.84    | 1.00  | 95.84      | 0.162       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1270   | 12.70     | 10.82       | 1.72  | 0.43      | 0.53 | 95.41    | 1.00  | 95.41      | 0.161       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1271   | 12.71     | 10.81       | 1.72  | 0.44      | 0.53 | 95.25    | 1.00  | 95.25      | 0.160       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1272   | 12.72     | 10.80       | 1.72  | 0.43      | 0.53 | 95.18    | 1.00  | 95.18      | 0.160       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1273   | 12.73     | 10.77       | 1.72  | 0.43      | 0.53 | 94.79    | 1.00  | 94.79      | 0.159       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1274   | 12.74     | 10.73       | 1.72  | 0.42      | 0.53 | 94.45    | 1.00  | 94.45      | 0.158       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1275   | 12.75     | 10.66       | 1.72  | 0.42      | 0.53 | 93.73    | 1.00  | 93.73      | 0.157       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1276   | 12.76     | 10.53       | 1.72  | 0.42      | 0.53 | 92.51    | 1.00  | 92.51      | 0.154       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1277   | 12.77     | 10.38       | 1.73  | 0.43      | 0.54 | 91.11    | 1.00  | 91.11      | 0.150       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1278   | 12.78     | 10.24       | 1.74  | 0.43      | 0.54 | 89.77    | 1.00  | 89.77      | 0.147       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1279   | 12.79     | 10.15       | 1.74  | 0.43      | 0.54 | 88.85    | 1.00  | 88.85      | 0.145       | No                      | No                  | 0.35 |
| 1280   | 12.80     | 10.07       | 1.74  | 0.42      | 0.54 | 88.11    | 1.00  | 88.11      | 0.144       | No                      | No                  | 0.35 |
| 1281   | 12.81     | 10.02       | 1.72  | 0.37      | 0.53 | 87.78    | 1.00  | 87.78      | 0.143       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1282   | 12.82     | 9.97        | 1.71  | 0.35      | 0.53 | 87.42    | 1.00  | 87.42      | 0.142       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1283   | 12.83     | 9.95        | 1.70  | 0.34      | 0.52 | 87.19    | 1.00  | 87.19      | 0.142       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1284   | 12.84     | 9.89        | 1.72  | 0.36      | 0.53 | 86.59    | 1.00  | 86.59      | 0.140       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1285   | 12.85     | 9.83        | 1.73  | 0.39      | 0.54 | 85.90    | 1.00  | 85.90      | 0.139       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1286   | 12.86     | 9.74        | 1.75  | 0.40      | 0.54 | 84.99    | 1.00  | 84.99      | 0.137       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1287   | 12.87     | 9.66        | 1.76  | 0.42      | 0.55 | 84.08    | 1.00  | 84.08      | 0.135       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1288   | 12.88     | 9.51        | 1.77  | 0.42      | 0.55 | 82.70    | 1.00  | 82.70      | 0.133       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1289   | 12.89     | 9.40        | 1.78  | 0.44      | 0.55 | 81.57    | 1.00  | 81.57      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1290   | 12.90     | 9.35        | 1.78  | 0.44      | 0.55 | 81.12    | 1.00  | 81.12      | 0.130       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1291   | 12.91     | 9.42        | 1.79  | 0.45      | 0.56 | 81.69    | 1.00  | 81.69      | 0.131       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1292   | 12.92     | 9.54        | 1.78  | 0.46      | 0.55 | 82.77    | 1.00  | 82.77      | 0.133       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1293   | 12.93     | 9.71        | 1.78  | 0.46      | 0.55 | 84.24    | 1.00  | 84.24      | 0.136       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1294   | 12.94     | 9.90        | 1.76  | 0.44      | 0.55 | 86.04    | 1.00  | 86.04      | 0.139       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1295   | 12.95     | 10.09       | 1.75  | 0.43      | 0.54 | 87.74    | 1.00  | 87.74      | 0.143       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1296   | 12.96     | 10.24       | 1.75  | 0.44      | 0.54 | 89.13    | 1.00  | 89.13      | 0.146       | No                      | No                  | 0.35 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |             |       |           |      |        |       |            |             |                         |                     |      |
|--|-----------|-------------|-------|-----------|------|--------|-------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | $q_t$ (MPa) | $I_c$ | $F_r$ (%) | $n$  | $Q_m$  | $K_c$ | $Q_{m,cs}$ | $CRR_{7.5}$ | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | F5   |
| 1297   | 12.97     | 10.36       | 1.75  | 0.44      | 0.54 | 90.14  | 1.00  | 90.14      | 0.148       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1298   | 12.98     | 10.45       | 1.73  | 0.43      | 0.54 | 90.96  | 1.00  | 90.96      | 0.150       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1299   | 12.99     | 10.47       | 1.73  | 0.41      | 0.53 | 91.22  | 1.00  | 91.22      | 0.151       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1300   | 13.00     | 10.49       | 1.73  | 0.42      | 0.53 | 91.31  | 1.00  | 91.31      | 0.151       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1301   | 13.01     | 10.51       | 1.74  | 0.43      | 0.54 | 91.41  | 1.00  | 91.41      | 0.151       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1302   | 13.02     | 10.55       | 1.73  | 0.43      | 0.53 | 91.80  | 1.00  | 91.80      | 0.152       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1303   | 13.03     | 10.60       | 1.72  | 0.41      | 0.53 | 92.22  | 1.00  | 92.22      | 0.153       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1304   | 13.04     | 10.66       | 1.72  | 0.41      | 0.53 | 92.74  | 1.00  | 92.74      | 0.154       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1305   | 13.05     | 10.73       | 1.72  | 0.41      | 0.53 | 93.34  | 1.00  | 93.34      | 0.156       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1306   | 13.06     | 10.80       | 1.72  | 0.41      | 0.53 | 93.95  | 1.00  | 93.95      | 0.157       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1307   | 13.07     | 10.83       | 1.72  | 0.42      | 0.53 | 94.23  | 1.00  | 94.23      | 0.158       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1308   | 13.08     | 10.86       | 1.72  | 0.43      | 0.53 | 94.40  | 1.00  | 94.40      | 0.158       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1309   | 13.09     | 10.88       | 1.72  | 0.42      | 0.53 | 94.56  | 1.00  | 94.56      | 0.159       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1310   | 13.10     | 10.88       | 1.72  | 0.42      | 0.53 | 94.56  | 1.00  | 94.56      | 0.159       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1311   | 13.11     | 10.85       | 1.72  | 0.43      | 0.53 | 94.17  | 1.00  | 94.17      | 0.158       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1312   | 13.12     | 10.76       | 1.73  | 0.43      | 0.53 | 93.34  | 1.00  | 93.34      | 0.156       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1313   | 13.13     | 10.64       | 1.73  | 0.43      | 0.53 | 92.21  | 1.00  | 92.21      | 0.153       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1314   | 13.14     | 10.48       | 1.73  | 0.42      | 0.53 | 90.71  | 1.00  | 90.71      | 0.149       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1315   | 13.15     | 10.31       | 1.75  | 0.43      | 0.54 | 89.05  | 1.00  | 89.05      | 0.146       | No                      | No                  | 0.35 |
| 1316   | 13.16     | 10.15       | 1.75  | 0.43      | 0.54 | 87.58  | 1.00  | 87.58      | 0.142       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1317   | 13.17     | 10.06       | 1.77  | 0.46      | 0.55 | 86.62  | 1.00  | 86.62      | 0.140       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1318   | 13.18     | 10.03       | 1.77  | 0.46      | 0.55 | 86.30  | 1.00  | 86.30      | 0.140       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1319   | 13.19     | 10.06       | 1.77  | 0.46      | 0.55 | 86.57  | 1.00  | 86.57      | 0.140       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1320   | 13.20     | 10.17       | 1.83  | 0.61      | 0.57 | 87.00  | 1.13  | 98.26      | 0.168       | No                      | No                  | 0.41 |
| 1321   | 13.21     | 10.32       | 1.79  | 0.53      | 0.56 | 88.60  | 1.10  | 97.58      | 0.166       | No                      | No                  | 0.40 |
| 1322   | 13.22     | 10.50       | 1.77  | 0.49      | 0.55 | 90.35  | 1.00  | 90.35      | 0.149       | No                      | No                  | 0.36 |
| 1323   | 13.23     | 10.71       | 1.64  | 0.28      | 0.50 | 93.14  | 1.00  | 93.14      | 0.155       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1324   | 13.24     | 10.96       | 1.63  | 0.27      | 0.50 | 95.40  | 1.00  | 95.40      | 0.161       | No                      | No                  | 0.39 |
| 1325   | 13.25     | 11.32       | 1.61  | 0.27      | 0.50 | 98.57  | 1.00  | 98.57      | 0.169       | No                      | No                  | 0.41 |
| 1326   | 13.26     | 11.75       | 1.58  | 0.24      | 0.50 | 102.36 | 1.00  | 102.36     | 0.180       | No                      | No                  | 0.44 |
| 1327   | 13.27     | 12.10       | 1.57  | 0.24      | 0.50 | 105.47 | 1.00  | 105.47     | 0.189       | No                      | No                  | 0.46 |
| 1328   | 13.28     | 12.34       | 1.54  | 0.22      | 0.50 | 107.51 | 1.00  | 107.51     | 0.196       | No                      | No                  | 0.47 |
| 1329   | 13.29     | 12.47       | 1.54  | 0.23      | 0.50 | 108.66 | 1.00  | 108.66     | 0.199       | No                      | No                  | 0.48 |
| 1330   | 13.30     | 12.61       | 1.53  | 0.22      | 0.50 | 109.87 | 1.00  | 109.87     | 0.203       | No                      | No                  | 0.49 |
| 1331   | 13.31     | 12.74       | 1.53  | 0.21      | 0.50 | 110.96 | 1.00  | 110.96     | 0.207       | No                      | No                  | 0.50 |
| 1332   | 13.32     | 12.85       | 1.52  | 0.21      | 0.50 | 111.90 | 1.00  | 111.90     | 0.210       | No                      | No                  | 0.51 |
| 1333   | 13.33     | 13.00       | 1.51  | 0.20      | 0.50 | 113.26 | 1.00  | 113.26     | 0.215       | No                      | No                  | 0.52 |
| 1334   | 13.34     | 13.14       | 1.52  | 0.21      | 0.50 | 114.43 | 1.00  | 114.43     | 0.219       | No                      | No                  | 0.53 |
| 1335   | 13.35     | 13.24       | 1.51  | 0.22      | 0.50 | 115.31 | 1.00  | 115.31     | 0.223       | No                      | No                  | 0.54 |
| 1336   | 13.36     | 13.17       | 1.52  | 0.23      | 0.50 | 114.65 | 1.00  | 114.65     | 0.220       | No                      | No                  | 0.53 |
| 1337   | 13.37     | 13.06       | 1.54  | 0.25      | 0.50 | 113.60 | 1.00  | 113.60     | 0.216       | No                      | No                  | 0.52 |
| 1338   | 13.38     | 12.76       | 1.57  | 0.28      | 0.50 | 110.88 | 1.00  | 110.88     | 0.207       | No                      | No                  | 0.50 |
| 1339   | 13.39     | 12.48       | 1.60  | 0.31      | 0.50 | 108.39 | 1.00  | 108.39     | 0.198       | No                      | No                  | 0.48 |
| 1340   | 13.40     | 12.19       | 1.64  | 0.36      | 0.50 | 105.77 | 1.00  | 105.77     | 0.190       | No                      | No                  | 0.46 |
| 1341   | 13.41     | 12.07       | 1.67  | 0.41      | 0.51 | 104.38 | 1.00  | 104.38     | 0.186       | No                      | No                  | 0.45 |
| 1342   | 13.42     | 11.99       | 1.71  | 0.47      | 0.53 | 103.27 | 1.00  | 103.27     | 0.182       | No                      | No                  | 0.44 |
| 1343   | 13.43     | 12.00       | 1.72  | 0.50      | 0.53 | 103.24 | 1.00  | 103.24     | 0.182       | No                      | No                  | 0.44 |
| 1344   | 13.44     | 12.06       | 1.72  | 0.51      | 0.53 | 103.66 | 1.05  | 109.27     | 0.201       | No                      | No                  | 0.49 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |             |       |           |      |          |       |            |             |                         |                     |      |
|--|-----------|-------------|-------|-----------|------|----------|-------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | $q_p$ (MPa) | $I_c$ | $F_r$ (%) | $n$  | $Q_{in}$ | $K_c$ | $Q_{m,cs}$ | $CRR_{7.5}$ | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | F5   |
| 1345   | 13.45     | 12.11       | 1.74  | 0.54      | 0.54 | 103.96   | 1.06  | 110.50     | 0.205       | No                      | No                  | 0.50 |
| 1346   | 13.46     | 12.14       | 1.74  | 0.55      | 0.54 | 104.10   | 1.07  | 111.01     | 0.207       | No                      | No                  | 0.50 |
| 1347   | 13.47     | 12.14       | 1.75  | 0.57      | 0.54 | 103.97   | 1.07  | 111.50     | 0.209       | No                      | No                  | 0.51 |
| 1348   | 13.48     | 12.26       | 1.75  | 0.57      | 0.54 | 105.06   | 1.07  | 112.30     | 0.212       | No                      | No                  | 0.51 |
| 1349   | 13.49     | 12.47       | 1.74  | 0.56      | 0.54 | 106.90   | 1.06  | 113.53     | 0.216       | No                      | No                  | 0.53 |
| 1350   | 13.50     | 12.69       | 1.73  | 0.55      | 0.53 | 108.93   | 1.06  | 115.03     | 0.222       | No                      | No                  | 0.54 |
| 1351   | 13.51     | 12.89       | 1.72  | 0.56      | 0.53 | 110.67   | 1.05  | 116.67     | 0.228       | No                      | No                  | 0.55 |
| 1352   | 13.52     | 13.01       | 1.72  | 0.55      | 0.53 | 111.72   | 1.05  | 117.27     | 0.230       | No                      | No                  | 0.56 |
| 1353   | 13.53     | 13.10       | 1.71  | 0.53      | 0.53 | 112.59   | 1.04  | 117.31     | 0.230       | No                      | No                  | 0.56 |
| 1354   | 13.54     | 13.13       | 1.68  | 0.47      | 0.51 | 113.14   | 1.00  | 113.14     | 0.215       | No                      | No                  | 0.52 |
| 1355   | 13.55     | 13.11       | 1.66  | 0.44      | 0.51 | 113.16   | 1.00  | 113.16     | 0.215       | No                      | No                  | 0.52 |
| 1356   | 13.56     | 13.05       | 1.65  | 0.41      | 0.50 | 112.72   | 1.00  | 112.72     | 0.213       | No                      | No                  | 0.52 |
| 1357   | 13.57     | 12.89       | 1.65  | 0.40      | 0.50 | 111.26   | 1.00  | 111.26     | 0.208       | No                      | No                  | 0.51 |
| 1358   | 13.58     | 12.66       | 1.65  | 0.39      | 0.50 | 109.14   | 1.00  | 109.14     | 0.201       | No                      | No                  | 0.49 |
| 1359   | 13.59     | 12.40       | 1.65  | 0.38      | 0.50 | 106.83   | 1.00  | 106.83     | 0.193       | No                      | No                  | 0.47 |
| 1360   | 13.60     | 12.14       | 1.65  | 0.36      | 0.50 | 104.55   | 1.00  | 104.55     | 0.186       | No                      | No                  | 0.45 |
| 1361   | 13.61     | 11.90       | 1.65  | 0.36      | 0.51 | 102.32   | 1.00  | 102.32     | 0.180       | No                      | No                  | 0.44 |
| 1362   | 13.62     | 11.62       | 1.67  | 0.36      | 0.51 | 99.69    | 1.00  | 99.69      | 0.172       | No                      | No                  | 0.42 |
| 1363   | 13.63     | 11.29       | 1.69  | 0.38      | 0.52 | 96.57    | 1.00  | 96.57      | 0.164       | No                      | No                  | 0.40 |
| 1364   | 13.64     | 10.92       | 1.71  | 0.40      | 0.53 | 93.01    | 1.00  | 93.01      | 0.155       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1365   | 13.65     | 10.46       | 1.78  | 0.49      | 0.55 | 88.42    | 1.00  | 88.42      | 0.144       | No                      | No                  | 0.35 |
| 1366   | 13.66     | 9.78        | 1.83  | 0.55      | 0.57 | 82.06    | 1.13  | 92.64      | 0.154       | No                      | No                  | 0.38 |
| 1367   | 13.67     | 8.99        | 1.90  | 0.64      | 0.60 | 74.71    | 1.19  | 88.71      | 0.145       | No                      | No                  | 0.35 |
| 1368   | 13.68     | 8.09        | 1.96  | 0.70      | 0.62 | 66.59    | 1.25  | 83.44      | 0.134       | No                      | No                  | 0.33 |
| 1369   | 13.69     | 7.24        | 2.06  | 0.87      | 0.66 | 58.77    | 1.38  | 81.32      | 0.130       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1370   | 13.70     | 6.35        | 2.17  | 1.09      | 0.70 | 50.70    | 1.59  | 80.70      | 0.129       | No                      | No                  | 0.31 |
| 1371   | 13.71     | 5.48        | 2.29  | 1.41      | 0.75 | 42.93    | 1.92  | 82.45      | 0.132       | No                      | No                  | 0.32 |
| 1372   | 13.72     | 4.60        | 2.43  | 1.86      | 0.80 | 35.18    | 2.45  | 86.32      | 0.140       | No                      | No                  | 0.34 |
| 1373   | 13.73     | 3.86        | 2.57  | 2.42      | 0.86 | 28.72    | 3.17  | 90.96      | 0.150       | No                      | No                  | 0.37 |
| 1374   | 13.74     | 3.24        | 2.70  | 2.99      | 0.90 | 23.51    | 3.98  | 93.62      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1375   | 13.75     | 2.83        | 2.73  | 2.78      | 0.92 | 20.21    | 4.22  | 85.29      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1376   | 13.76     | 2.51        | 2.74  | 2.43      | 0.92 | 17.61    | 4.32  | 76.08      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1377   | 13.77     | 2.26        | 2.73  | 1.93      | 0.91 | 15.73    | 4.19  | 65.90      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1378   | 13.78     | 2.04        | 2.81  | 2.28      | 0.95 | 13.82    | 4.90  | 67.77      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1379   | 13.79     | 1.80        | 2.91  | 2.70      | 0.98 | 11.83    | 5.81  | 68.71      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1380   | 13.80     | 1.55        | 3.02  | 3.27      | 1.00 | 9.89     | 6.99  | 69.17      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1381   | 13.81     | 1.36        | 3.11  | 3.71      | 1.00 | 8.44     | 8.06  | 67.95      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1382   | 13.82     | 1.21        | 3.18  | 4.02      | 1.00 | 7.28     | 9.01  | 65.57      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1383   | 13.83     | 1.12        | 3.23  | 4.17      | 1.00 | 6.58     | 9.64  | 63.46      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1384   | 13.84     | 1.06        | 3.26  | 4.30      | 1.00 | 6.09     | 10.15 | 61.84      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1385   | 13.85     | 1.04        | 3.27  | 4.23      | 1.00 | 5.94     | 10.23 | 60.77      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1386   | 13.86     | 1.02        | 3.26  | 3.97      | 1.00 | 5.81     | 10.12 | 58.81      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1387   | 13.87     | 1.02        | 3.24  | 3.58      | 1.00 | 5.81     | 9.75  | 56.67      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1388   | 13.88     | 1.06        | 3.17  | 2.93      | 1.00 | 6.14     | 8.82  | 54.13      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1389   | 13.89     | 1.17        | 3.05  | 2.09      | 1.00 | 6.92     | 7.28  | 50.43      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1390   | 13.90     | 1.28        | 2.94  | 1.59      | 1.00 | 7.79     | 6.15  | 47.92      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1391   | 13.91     | 1.35        | 2.88  | 1.34      | 0.97 | 8.38     | 5.52  | 46.21      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1392   | 13.92     | 1.32        | 2.91  | 1.45      | 0.98 | 8.07     | 5.81  | 46.90      | 4.000       | No                      | Yes                 | 2.00 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) |           |                      |                |        |      |                |                |                   |                    |                         |                     |      |
|--|-----------|----------------------|----------------|--------|------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID   | Depth (m) | q <sub>t</sub> (MPa) | I <sub>c</sub> | Fr (%) | n    | Q <sub>m</sub> | K <sub>c</sub> | Q <sub>m,cs</sub> | CRR <sub>7.5</sub> | Belongs to trans. layer | Clay-like behaviour | FS   |
| 1393   | 13.93     | 1.22                 | 2.97           | 1.56   | 1.00 | 7.29           | 6.37           | 46.44             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1394   | 13.94     | 1.13                 | 3.04           | 1.87   | 1.00 | 6.61           | 7.22           | 47.70             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1395   | 13.95     | 1.12                 | 3.06           | 2.02   | 1.00 | 6.51           | 7.48           | 48.65             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1396   | 13.96     | 1.18                 | 3.04           | 2.02   | 1.00 | 7.01           | 7.14           | 50.08             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1397   | 13.97     | 1.31                 | 2.96           | 1.74   | 1.00 | 7.97           | 6.26           | 49.87             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1398   | 13.98     | 1.45                 | 2.86           | 1.43   | 0.97 | 9.08           | 5.35           | 48.60             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1399   | 13.99     | 1.55                 | 2.80           | 1.22   | 0.94 | 9.92           | 4.76           | 47.16             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1400   | 14.00     | 1.56                 | 2.79           | 1.18   | 0.94 | 9.97           | 4.69           | 46.79             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1401   | 14.01     | 1.45                 | 2.86           | 1.43   | 0.97 | 9.10           | 5.34           | 48.58             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1402   | 14.02     | 1.31                 | 2.95           | 1.65   | 1.00 | 7.93           | 6.16           | 48.84             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1403   | 14.03     | 1.18                 | 3.02           | 1.84   | 1.00 | 6.97           | 6.94           | 48.38             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1404   | 14.04     | 1.12                 | 3.05           | 1.86   | 1.00 | 6.49           | 7.28           | 47.24             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1405   | 14.05     | 1.09                 | 3.06           | 1.88   | 1.00 | 6.29           | 7.45           | 46.83             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1406   | 14.06     | 1.07                 | 3.10           | 2.13   | 1.00 | 6.13           | 7.89           | 48.40             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1407   | 14.07     | 1.04                 | 3.15           | 2.55   | 1.00 | 5.90           | 8.59           | 50.70             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1408   | 14.08     | 1.02                 | 3.21           | 3.08   | 1.00 | 5.70           | 9.35           | 53.31             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1409   | 14.09     | 1.01                 | 3.23           | 3.29   | 1.00 | 5.65           | 9.61           | 54.29             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1410   | 14.10     | 1.03                 | 3.20           | 3.12   | 1.00 | 5.80           | 9.30           | 53.90             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1411   | 14.11     | 1.09                 | 3.14           | 2.65   | 1.00 | 6.25           | 8.42           | 52.61             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1412   | 14.12     | 1.19                 | 3.04           | 2.01   | 1.00 | 6.97           | 7.16           | 49.92             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1413   | 14.13     | 1.33                 | 2.94           | 1.62   | 0.99 | 8.06           | 6.05           | 48.76             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1414   | 14.14     | 1.65                 | 2.80           | 1.41   | 0.94 | 10.62          | 4.80           | 50.97             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1415   | 14.15     | 2.30                 | 2.61           | 1.19   | 0.87 | 15.89          | 3.41           | 54.16             | 4.000              | No                      | Yes                 | 2.00 |
| 1416   | 14.16     | 3.70                 | 2.33           | 0.84   | 0.76 | 27.63          | 2.05           | 56.59             | 0.097              | No                      | No                  | 0.24 |
| 1417   | 14.17     | 5.38                 | 2.11           | 0.64   | 0.68 | 42.07          | 1.48           | 62.10             | 0.102              | No                      | No                  | 0.25 |
| 1418   | 14.18     | 6.96                 | 1.97           | 0.54   | 0.62 | 55.88          | 1.26           | 70.41             | 0.112              | No                      | No                  | 0.28 |
| 1419   | 14.19     | 7.87                 | 1.90           | 0.51   | 0.60 | 63.89          | 1.19           | 76.26             | 0.121              | No                      | No                  | 0.30 |
| 1420   | 14.20     | 8.39                 | 1.87           | 0.50   | 0.59 | 68.52          | 1.00           | 68.52             | 0.110              | No                      | No                  | 0.27 |
| 1421   | 14.21     | 8.74                 | 1.86           | 0.51   | 0.59 | 71.51          | 1.16           | 82.68             | 0.133              | No                      | No                  | 0.33 |
| 1422   | 14.22     | 9.06                 | 1.86           | 0.54   | 0.58 | 74.23          | 1.15           | 85.65             | 0.138              | No                      | No                  | 0.34 |
| 1423   | 14.23     | 9.35                 | 1.86           | 0.56   | 0.58 | 76.60          | 1.15           | 88.26             | 0.144              | No                      | No                  | 0.35 |
| 1424   | 14.24     | 9.61                 | 1.85           | 0.56   | 0.58 | 78.90          | 1.14           | 90.07             | 0.148              | No                      | No                  | 0.36 |
| 1425   | 14.25     | 9.81                 | 1.83           | 0.53   | 0.57 | 80.68          | 1.13           | 90.99             | 0.150              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1426   | 14.26     | 9.98                 | 1.81           | 0.51   | 0.56 | 82.29          | 1.11           | 91.63             | 0.152              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1427   | 14.27     | 10.12                | 1.79           | 0.48   | 0.56 | 83.63          | 1.00           | 83.63             | 0.134              | No                      | No                  | 0.33 |
| 1428   | 14.28     | 10.31                | 1.78           | 0.47   | 0.55 | 85.30          | 1.00           | 85.30             | 0.138              | No                      | No                  | 0.34 |
| 1429   | 14.29     | 10.52                | 1.76           | 0.45   | 0.55 | 87.30          | 1.00           | 87.30             | 0.142              | No                      | No                  | 0.35 |
| 1430   | 14.30     | 10.76                | 1.75           | 0.45   | 0.54 | 89.40          | 1.00           | 89.40             | 0.146              | No                      | No                  | 0.36 |
| 1431   | 14.31     | 10.99                | 1.74           | 0.44   | 0.54 | 91.41          | 1.00           | 91.41             | 0.151              | No                      | No                  | 0.37 |
| 1432   | 14.32     | 11.22                | 1.73           | 0.44   | 0.53 | 93.39          | 1.00           | 93.39             | 0.156              | No                      | No                  | 0.38 |
| 1433   | 14.33     | 11.42                | 1.72           | 0.44   | 0.53 | 95.15          | 1.00           | 95.15             | 0.160              | No                      | No                  | 0.39 |
| 1434   | 14.34     | 11.58                | 1.72           | 0.45   | 0.53 | 96.55          | 1.00           | 96.55             | 0.164              | No                      | No                  | 0.40 |
| 1435   | 14.35     | 11.72                | 1.72           | 0.45   | 0.53 | 97.68          | 1.00           | 97.68             | 0.167              | No                      | No                  | 0.41 |
| 1436   | 14.36     | 11.87                | 1.71           | 0.45   | 0.53 | 99.07          | 1.00           | 99.07             | 0.170              | No                      | No                  | 0.42 |
| 1437   | 14.37     | 12.04                | 1.70           | 0.44   | 0.52 | 100.57         | 1.00           | 100.57            | 0.175              | No                      | No                  | 0.43 |
| 1438   | 14.38     | 12.24                | 1.69           | 0.43   | 0.52 | 102.41         | 1.00           | 102.41            | 0.180              | No                      | No                  | 0.44 |
| 1439   | 14.39     | 12.44                | 1.69           | 0.44   | 0.52 | 104.10         | 1.00           | 104.10            | 0.185              | No                      | No                  | 0.46 |
| 1440   | 14.40     | 12.65                | 1.69           | 0.44   | 0.52 | 105.85         | 1.00           | 105.85            | 0.190              | No                      | No                  | 0.47 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaştırma analiz sonuçları

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) |      |                |                |                |      |           |      |                |                |                |      |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m)   | FS   | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  | Depth (m) | FS   | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  |
| 10.57   | 0.28 | 0.72           | 4.71           | 0.01           | 0.03 | 10.58     | 0.28 | 0.72           | 4.71           | 0.01           | 0.03 |
| 10.59   | 0.28 | 0.72           | 4.71           | 0.01           | 0.03 | 10.60     | 0.28 | 0.72           | 4.70           | 0.01           | 0.03 |
| 10.61   | 0.28 | 0.72           | 4.70           | 0.01           | 0.03 | 10.62     | 0.29 | 0.71           | 4.69           | 0.01           | 0.03 |
| 10.63   | 0.28 | 0.72           | 4.68           | 0.01           | 0.03 | 10.64     | 0.28 | 0.72           | 4.68           | 0.01           | 0.03 |
| 10.65   | 0.28 | 0.72           | 4.67           | 0.01           | 0.03 | 10.66     | 0.28 | 0.72           | 4.67           | 0.01           | 0.03 |
| 10.67   | 0.28 | 0.72           | 4.67           | 0.01           | 0.03 | 10.68     | 0.28 | 0.72           | 4.66           | 0.01           | 0.03 |
| 10.69   | 0.28 | 0.72           | 4.66           | 0.01           | 0.03 | 10.70     | 0.28 | 0.72           | 4.65           | 0.01           | 0.03 |
| 10.71   | 0.28 | 0.72           | 4.64           | 0.01           | 0.03 | 10.72     | 0.28 | 0.72           | 4.64           | 0.01           | 0.03 |
| 10.73   | 0.29 | 0.71           | 4.63           | 0.01           | 0.03 | 10.74     | 0.29 | 0.71           | 4.63           | 0.01           | 0.03 |
| 10.75   | 0.29 | 0.71           | 4.63           | 0.01           | 0.03 | 10.76     | 0.30 | 0.70           | 4.62           | 0.01           | 0.03 |
| 10.77   | 0.30 | 0.70           | 4.62           | 0.01           | 0.03 | 10.78     | 0.30 | 0.70           | 4.61           | 0.01           | 0.03 |
| 10.79   | 0.31 | 0.69           | 4.61           | 0.01           | 0.03 | 10.80     | 0.31 | 0.69           | 4.60           | 0.01           | 0.03 |
| 10.81   | 0.32 | 0.68           | 4.59           | 0.01           | 0.03 | 10.82     | 0.32 | 0.68           | 4.59           | 0.01           | 0.03 |
| 10.83   | 0.33 | 0.67           | 4.58           | 0.01           | 0.03 | 10.84     | 0.34 | 0.66           | 4.58           | 0.01           | 0.03 |
| 10.85   | 0.36 | 0.64           | 4.58           | 0.01           | 0.03 | 10.86     | 0.37 | 0.63           | 4.57           | 0.01           | 0.03 |
| 10.87   | 0.38 | 0.62           | 4.57           | 0.01           | 0.03 | 10.88     | 0.39 | 0.61           | 4.56           | 0.01           | 0.03 |
| 10.89   | 0.40 | 0.60           | 4.55           | 0.01           | 0.03 | 10.90     | 0.41 | 0.59           | 4.55           | 0.01           | 0.03 |
| 10.91   | 0.43 | 0.57           | 4.54           | 0.01           | 0.03 | 10.92     | 0.45 | 0.55           | 4.54           | 0.01           | 0.02 |
| 10.93   | 0.47 | 0.53           | 4.54           | 0.01           | 0.02 | 10.94     | 0.48 | 0.52           | 4.53           | 0.01           | 0.02 |
| 10.95   | 0.49 | 0.51           | 4.53           | 0.01           | 0.02 | 10.96     | 0.50 | 0.50           | 4.52           | 0.01           | 0.02 |
| 10.97   | 0.50 | 0.50           | 4.51           | 0.01           | 0.02 | 10.98     | 0.50 | 0.50           | 4.51           | 0.01           | 0.02 |
| 10.99   | 0.49 | 0.51           | 4.50           | 0.01           | 0.02 | 11.00     | 0.49 | 0.51           | 4.50           | 0.01           | 0.02 |
| 11.01   | 0.48 | 0.52           | 4.50           | 0.01           | 0.02 | 11.02     | 0.46 | 0.54           | 4.49           | 0.01           | 0.02 |
| 11.03   | 0.45 | 0.55           | 4.49           | 0.01           | 0.02 | 11.04     | 0.43 | 0.57           | 4.48           | 0.01           | 0.03 |
| 11.05   | 0.41 | 0.59           | 4.47           | 0.01           | 0.03 | 11.06     | 0.39 | 0.61           | 4.47           | 0.01           | 0.03 |
| 11.07   | 0.37 | 0.63           | 4.46           | 0.01           | 0.03 | 11.08     | 0.36 | 0.64           | 4.46           | 0.01           | 0.03 |
| 11.09   | 0.34 | 0.66           | 4.46           | 0.01           | 0.03 | 11.10     | 0.33 | 0.67           | 4.45           | 0.01           | 0.03 |
| 11.11   | 0.32 | 0.68           | 4.45           | 0.01           | 0.03 | 11.12     | 0.31 | 0.69           | 4.44           | 0.01           | 0.03 |
| 11.13   | 0.35 | 0.65           | 4.43           | 0.01           | 0.03 | 11.14     | 0.34 | 0.66           | 4.43           | 0.01           | 0.03 |
| 11.15   | 0.34 | 0.66           | 4.42           | 0.01           | 0.03 | 11.16     | 0.33 | 0.67           | 4.42           | 0.01           | 0.03 |
| 11.17   | 0.32 | 0.68           | 4.42           | 0.01           | 0.03 | 11.18     | 0.32 | 0.68           | 4.41           | 0.01           | 0.03 |
| 11.19   | 0.31 | 0.69           | 4.41           | 0.01           | 0.03 | 11.20     | 0.30 | 0.70           | 4.40           | 0.01           | 0.03 |
| 11.21   | 0.30 | 0.70           | 4.39           | 0.01           | 0.03 | 11.22     | 0.25 | 0.75           | 4.39           | 0.01           | 0.03 |
| 11.23   | 0.25 | 0.75           | 4.38           | 0.01           | 0.03 | 11.24     | 0.25 | 0.75           | 4.38           | 0.01           | 0.03 |
| 11.25   | 0.25 | 0.75           | 4.38           | 0.01           | 0.03 | 11.26     | 0.25 | 0.75           | 4.37           | 0.01           | 0.03 |
| 11.27   | 0.26 | 0.74           | 4.37           | 0.01           | 0.03 | 11.28     | 0.26 | 0.74           | 4.36           | 0.01           | 0.03 |
| 11.29   | 0.26 | 0.74           | 4.36           | 0.01           | 0.03 | 11.30     | 0.26 | 0.74           | 4.35           | 0.01           | 0.03 |
| 11.31   | 0.26 | 0.74           | 4.34           | 0.01           | 0.03 | 11.32     | 0.26 | 0.74           | 4.34           | 0.01           | 0.03 |
| 11.33   | 0.26 | 0.74           | 4.33           | 0.01           | 0.03 | 11.34     | 0.26 | 0.74           | 4.33           | 0.01           | 0.03 |
| 11.35   | 0.26 | 0.74           | 4.33           | 0.01           | 0.03 | 11.36     | 0.26 | 0.74           | 4.32           | 0.01           | 0.03 |
| 11.37   | 0.26 | 0.74           | 4.32           | 0.01           | 0.03 | 11.38     | 0.26 | 0.74           | 4.31           | 0.01           | 0.03 |
| 11.39   | 0.30 | 0.70           | 4.30           | 0.01           | 0.03 | 11.40     | 0.30 | 0.70           | 4.30           | 0.01           | 0.03 |
| 11.41   | 0.30 | 0.70           | 4.29           | 0.01           | 0.03 | 11.42     | 0.30 | 0.70           | 4.29           | 0.01           | 0.03 |
| 11.43   | 0.29 | 0.71           | 4.29           | 0.01           | 0.03 | 11.44     | 0.29 | 0.71           | 4.28           | 0.01           | 0.03 |
| 11.45   | 0.29 | 0.71           | 4.28           | 0.01           | 0.03 | 11.46     | 0.29 | 0.71           | 4.27           | 0.01           | 0.03 |
| 11.47   | 0.29 | 0.71           | 4.26           | 0.01           | 0.03 | 11.48     | 0.29 | 0.71           | 4.26           | 0.01           | 0.03 |
| 11.49   | 0.30 | 0.70           | 4.25           | 0.01           | 0.03 | 11.50     | 0.30 | 0.70           | 4.25           | 0.01           | 0.03 |
| 11.51   | 0.30 | 0.70           | 4.25           | 0.01           | 0.03 | 11.52     | 0.30 | 0.70           | 4.24           | 0.01           | 0.03 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) |                |                |                |                |      |           |                |                |                |                |      |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m)   | F <sub>S</sub> | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  | Depth (m) | F <sub>S</sub> | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  |
| 11.53   | 0.30           | 0.70           | 4.24           | 0.01           | 0.03 | 11.54     | 0.26           | 0.74           | 4.23           | 0.01           | 0.03 |
| 11.55   | 0.26           | 0.74           | 4.22           | 0.01           | 0.03 | 11.56     | 0.27           | 0.73           | 4.22           | 0.01           | 0.03 |
| 11.57   | 0.27           | 0.73           | 4.21           | 0.01           | 0.03 | 11.58     | 0.27           | 0.73           | 4.21           | 0.01           | 0.03 |
| 11.59   | 0.27           | 0.73           | 4.21           | 0.01           | 0.03 | 11.60     | 0.28           | 0.72           | 4.20           | 0.01           | 0.03 |
| 11.61   | 0.28           | 0.72           | 4.20           | 0.01           | 0.03 | 11.62     | 0.28           | 0.72           | 4.19           | 0.01           | 0.03 |
| 11.63   | 0.29           | 0.71           | 4.18           | 0.01           | 0.03 | 11.64     | 0.29           | 0.71           | 4.18           | 0.01           | 0.03 |
| 11.65   | 0.30           | 0.70           | 4.17           | 0.01           | 0.03 | 11.66     | 0.30           | 0.70           | 4.17           | 0.01           | 0.03 |
| 11.67   | 0.30           | 0.70           | 4.17           | 0.01           | 0.03 | 11.68     | 0.30           | 0.70           | 4.16           | 0.01           | 0.03 |
| 11.69   | 0.30           | 0.70           | 4.16           | 0.01           | 0.03 | 11.70     | 0.30           | 0.70           | 4.15           | 0.01           | 0.03 |
| 11.71   | 0.30           | 0.70           | 4.14           | 0.01           | 0.03 | 11.72     | 0.30           | 0.70           | 4.14           | 0.01           | 0.03 |
| 11.73   | 0.30           | 0.70           | 4.13           | 0.01           | 0.03 | 11.74     | 0.30           | 0.70           | 4.13           | 0.01           | 0.03 |
| 11.75   | 0.31           | 0.69           | 4.13           | 0.01           | 0.03 | 11.76     | 0.31           | 0.69           | 4.12           | 0.01           | 0.03 |
| 11.77   | 0.31           | 0.69           | 4.12           | 0.01           | 0.03 | 11.78     | 0.31           | 0.69           | 4.11           | 0.01           | 0.03 |
| 11.79   | 0.31           | 0.69           | 4.11           | 0.01           | 0.03 | 11.80     | 0.30           | 0.70           | 4.10           | 0.01           | 0.03 |
| 11.81   | 0.30           | 0.70           | 4.09           | 0.01           | 0.03 | 11.82     | 0.30           | 0.70           | 4.09           | 0.01           | 0.03 |
| 11.83   | 0.30           | 0.70           | 4.08           | 0.01           | 0.03 | 11.84     | 0.29           | 0.71           | 4.08           | 0.01           | 0.03 |
| 11.85   | 0.29           | 0.71           | 4.08           | 0.01           | 0.03 | 11.86     | 0.28           | 0.72           | 4.07           | 0.01           | 0.03 |
| 11.87   | 0.28           | 0.72           | 4.07           | 0.01           | 0.03 | 11.88     | 0.33           | 0.67           | 4.06           | 0.01           | 0.03 |
| 11.89   | 0.33           | 0.67           | 4.05           | 0.01           | 0.03 | 11.90     | 0.29           | 0.71           | 4.05           | 0.01           | 0.03 |
| 11.91   | 0.29           | 0.71           | 4.04           | 0.01           | 0.03 | 11.92     | 0.29           | 0.71           | 4.04           | 0.01           | 0.03 |
| 11.93   | 0.29           | 0.71           | 4.04           | 0.01           | 0.03 | 11.94     | 0.30           | 0.70           | 4.03           | 0.01           | 0.03 |
| 11.95   | 0.30           | 0.70           | 4.03           | 0.01           | 0.03 | 11.96     | 0.30           | 0.70           | 4.02           | 0.01           | 0.03 |
| 11.97   | 0.31           | 0.69           | 4.01           | 0.01           | 0.03 | 11.98     | 0.31           | 0.69           | 4.01           | 0.01           | 0.03 |
| 11.99   | 0.31           | 0.69           | 4.00           | 0.01           | 0.03 | 12.00     | 0.31           | 0.69           | 4.00           | 0.01           | 0.03 |
| 12.01   | 0.31           | 0.69           | 4.00           | 0.01           | 0.03 | 12.02     | 0.32           | 0.68           | 3.99           | 0.01           | 0.03 |
| 12.03   | 0.32           | 0.68           | 3.98           | 0.01           | 0.03 | 12.04     | 0.32           | 0.68           | 3.98           | 0.01           | 0.03 |
| 12.05   | 0.31           | 0.69           | 3.98           | 0.01           | 0.03 | 12.06     | 0.32           | 0.68           | 3.97           | 0.01           | 0.03 |
| 12.07   | 0.32           | 0.68           | 3.96           | 0.01           | 0.03 | 12.08     | 0.32           | 0.68           | 3.96           | 0.01           | 0.03 |
| 12.09   | 0.33           | 0.67           | 3.96           | 0.01           | 0.03 | 12.10     | 0.34           | 0.66           | 3.95           | 0.01           | 0.03 |
| 12.11   | 0.34           | 0.66           | 3.94           | 0.01           | 0.03 | 12.12     | 0.35           | 0.65           | 3.94           | 0.01           | 0.03 |
| 12.13   | 0.35           | 0.65           | 3.94           | 0.01           | 0.03 | 12.14     | 0.36           | 0.64           | 3.93           | 0.01           | 0.03 |
| 12.15   | 0.36           | 0.64           | 3.92           | 0.01           | 0.03 | 12.16     | 0.36           | 0.64           | 3.92           | 0.01           | 0.02 |
| 12.17   | 0.37           | 0.63           | 3.92           | 0.01           | 0.02 | 12.18     | 0.37           | 0.63           | 3.91           | 0.01           | 0.02 |
| 12.19   | 0.37           | 0.63           | 3.90           | 0.01           | 0.02 | 12.20     | 0.37           | 0.63           | 3.90           | 0.01           | 0.02 |
| 12.21   | 0.37           | 0.63           | 3.90           | 0.01           | 0.02 | 12.22     | 0.37           | 0.63           | 3.89           | 0.01           | 0.02 |
| 12.23   | 0.37           | 0.63           | 3.88           | 0.01           | 0.02 | 12.24     | 0.37           | 0.63           | 3.88           | 0.01           | 0.02 |
| 12.25   | 0.37           | 0.63           | 3.88           | 0.01           | 0.02 | 12.26     | 0.37           | 0.63           | 3.87           | 0.01           | 0.02 |
| 12.27   | 0.38           | 0.62           | 3.87           | 0.01           | 0.02 | 12.28     | 0.39           | 0.61           | 3.86           | 0.01           | 0.02 |
| 12.29   | 0.40           | 0.60           | 3.85           | 0.01           | 0.02 | 12.30     | 0.41           | 0.59           | 3.85           | 0.01           | 0.02 |
| 12.31   | 0.41           | 0.59           | 3.85           | 0.01           | 0.02 | 12.32     | 0.42           | 0.58           | 3.84           | 0.01           | 0.02 |
| 12.33   | 0.42           | 0.58           | 3.83           | 0.01           | 0.02 | 12.34     | 0.43           | 0.57           | 3.83           | 0.01           | 0.02 |
| 12.35   | 0.44           | 0.56           | 3.83           | 0.01           | 0.02 | 12.36     | 0.45           | 0.55           | 3.82           | 0.01           | 0.02 |
| 12.37   | 0.46           | 0.54           | 3.81           | 0.01           | 0.02 | 12.38     | 0.47           | 0.53           | 3.81           | 0.01           | 0.02 |
| 12.39   | 0.47           | 0.53           | 3.81           | 0.01           | 0.02 | 12.40     | 0.47           | 0.53           | 3.80           | 0.01           | 0.02 |
| 12.41   | 0.46           | 0.54           | 3.79           | 0.01           | 0.02 | 12.42     | 0.46           | 0.54           | 3.79           | 0.01           | 0.02 |
| 12.43   | 0.44           | 0.56           | 3.79           | 0.01           | 0.02 | 12.44     | 0.43           | 0.57           | 3.78           | 0.01           | 0.02 |
| 12.45   | 0.41           | 0.59           | 3.77           | 0.01           | 0.02 | 12.46     | 0.39           | 0.61           | 3.77           | 0.01           | 0.02 |
| 12.47   | 0.37           | 0.63           | 3.77           | 0.01           | 0.02 | 12.48     | 0.35           | 0.65           | 3.76           | 0.01           | 0.02 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) |      |                |                |                |      |           |      |                |                |                |      |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m)   | FS   | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  | Depth (m) | FS   | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  |
| 12.49   | 0.33 | 0.67           | 3.75           | 0.01           | 0.03 | 12.50     | 0.31 | 0.69           | 3.75           | 0.01           | 0.03 |
| 12.51   | 0.30 | 0.70           | 3.75           | 0.01           | 0.03 | 12.52     | 0.33 | 0.67           | 3.74           | 0.01           | 0.03 |
| 12.53   | 0.32 | 0.68           | 3.73           | 0.01           | 0.03 | 12.54     | 0.32 | 0.68           | 3.73           | 0.01           | 0.03 |
| 12.55   | 0.31 | 0.69           | 3.73           | 0.01           | 0.03 | 12.56     | 0.31 | 0.69           | 3.72           | 0.01           | 0.03 |
| 12.57   | 0.31 | 0.69           | 3.71           | 0.01           | 0.03 | 12.58     | 0.32 | 0.68           | 3.71           | 0.01           | 0.03 |
| 12.59   | 0.33 | 0.67           | 3.71           | 0.01           | 0.02 | 12.60     | 0.34 | 0.66           | 3.70           | 0.01           | 0.02 |
| 12.61   | 0.35 | 0.65           | 3.69           | 0.01           | 0.02 | 12.62     | 0.37 | 0.63           | 3.69           | 0.01           | 0.02 |
| 12.63   | 0.39 | 0.61           | 3.69           | 0.01           | 0.02 | 12.64     | 0.36 | 0.64           | 3.68           | 0.01           | 0.02 |
| 12.65   | 0.37 | 0.63           | 3.67           | 0.01           | 0.02 | 12.66     | 0.39 | 0.61           | 3.67           | 0.01           | 0.02 |
| 12.67   | 0.39 | 0.61           | 3.67           | 0.01           | 0.02 | 12.68     | 0.39 | 0.61           | 3.66           | 0.01           | 0.02 |
| 12.69   | 0.39 | 0.61           | 3.65           | 0.01           | 0.02 | 12.70     | 0.39 | 0.61           | 3.65           | 0.01           | 0.02 |
| 12.71   | 0.39 | 0.61           | 3.65           | 0.01           | 0.02 | 12.72     | 0.39 | 0.61           | 3.64           | 0.01           | 0.02 |
| 12.73   | 0.38 | 0.62           | 3.63           | 0.01           | 0.02 | 12.74     | 0.38 | 0.62           | 3.63           | 0.01           | 0.02 |
| 12.75   | 0.38 | 0.62           | 3.63           | 0.01           | 0.02 | 12.76     | 0.37 | 0.63           | 3.62           | 0.01           | 0.02 |
| 12.77   | 0.36 | 0.64           | 3.62           | 0.01           | 0.02 | 12.78     | 0.36 | 0.64           | 3.61           | 0.01           | 0.02 |
| 12.79   | 0.35 | 0.65           | 3.60           | 0.01           | 0.02 | 12.80     | 0.35 | 0.65           | 3.60           | 0.01           | 0.02 |
| 12.81   | 0.34 | 0.66           | 3.60           | 0.01           | 0.02 | 12.82     | 0.34 | 0.66           | 3.59           | 0.01           | 0.02 |
| 12.83   | 0.34 | 0.66           | 3.58           | 0.01           | 0.02 | 12.84     | 0.34 | 0.66           | 3.58           | 0.01           | 0.02 |
| 12.85   | 0.34 | 0.66           | 3.58           | 0.01           | 0.02 | 12.86     | 0.33 | 0.67           | 3.57           | 0.01           | 0.02 |
| 12.87   | 0.33 | 0.67           | 3.56           | 0.01           | 0.02 | 12.88     | 0.32 | 0.68           | 3.56           | 0.01           | 0.02 |
| 12.89   | 0.31 | 0.69           | 3.56           | 0.01           | 0.02 | 12.90     | 0.31 | 0.69           | 3.55           | 0.01           | 0.02 |
| 12.91   | 0.32 | 0.68           | 3.54           | 0.01           | 0.02 | 12.92     | 0.32 | 0.68           | 3.54           | 0.01           | 0.02 |
| 12.93   | 0.33 | 0.67           | 3.54           | 0.01           | 0.02 | 12.94     | 0.34 | 0.66           | 3.53           | 0.01           | 0.02 |
| 12.95   | 0.34 | 0.66           | 3.52           | 0.01           | 0.02 | 12.96     | 0.35 | 0.65           | 3.52           | 0.01           | 0.02 |
| 12.97   | 0.36 | 0.64           | 3.52           | 0.01           | 0.02 | 12.98     | 0.36 | 0.64           | 3.51           | 0.01           | 0.02 |
| 12.99   | 0.36 | 0.64           | 3.50           | 0.01           | 0.02 | 13.00     | 0.36 | 0.64           | 3.50           | 0.01           | 0.02 |
| 13.01   | 0.36 | 0.64           | 3.50           | 0.01           | 0.02 | 13.02     | 0.37 | 0.63           | 3.49           | 0.01           | 0.02 |
| 13.03   | 0.37 | 0.63           | 3.48           | 0.01           | 0.02 | 13.04     | 0.37 | 0.63           | 3.48           | 0.01           | 0.02 |
| 13.05   | 0.38 | 0.62           | 3.48           | 0.01           | 0.02 | 13.06     | 0.38 | 0.62           | 3.47           | 0.01           | 0.02 |
| 13.07   | 0.38 | 0.62           | 3.46           | 0.01           | 0.02 | 13.08     | 0.38 | 0.62           | 3.46           | 0.01           | 0.02 |
| 13.09   | 0.38 | 0.62           | 3.46           | 0.01           | 0.02 | 13.10     | 0.38 | 0.62           | 3.45           | 0.01           | 0.02 |
| 13.11   | 0.38 | 0.62           | 3.44           | 0.01           | 0.02 | 13.12     | 0.38 | 0.62           | 3.44           | 0.01           | 0.02 |
| 13.13   | 0.37 | 0.63           | 3.44           | 0.01           | 0.02 | 13.14     | 0.36 | 0.64           | 3.43           | 0.01           | 0.02 |
| 13.15   | 0.35 | 0.65           | 3.42           | 0.01           | 0.02 | 13.16     | 0.34 | 0.66           | 3.42           | 0.01           | 0.02 |
| 13.17   | 0.34 | 0.66           | 3.42           | 0.01           | 0.02 | 13.18     | 0.34 | 0.66           | 3.41           | 0.01           | 0.02 |
| 13.19   | 0.34 | 0.66           | 3.40           | 0.01           | 0.02 | 13.20     | 0.41 | 0.59           | 3.40           | 0.01           | 0.02 |
| 13.21   | 0.40 | 0.60           | 3.40           | 0.01           | 0.02 | 13.22     | 0.36 | 0.64           | 3.39           | 0.01           | 0.02 |
| 13.23   | 0.38 | 0.62           | 3.38           | 0.01           | 0.02 | 13.24     | 0.39 | 0.61           | 3.38           | 0.01           | 0.02 |
| 13.25   | 0.41 | 0.59           | 3.38           | 0.01           | 0.02 | 13.26     | 0.44 | 0.56           | 3.37           | 0.01           | 0.02 |
| 13.27   | 0.46 | 0.54           | 3.37           | 0.01           | 0.02 | 13.28     | 0.47 | 0.53           | 3.36           | 0.01           | 0.02 |
| 13.29   | 0.48 | 0.52           | 3.35           | 0.01           | 0.02 | 13.30     | 0.49 | 0.51           | 3.35           | 0.01           | 0.02 |
| 13.31   | 0.50 | 0.50           | 3.35           | 0.01           | 0.02 | 13.32     | 0.51 | 0.49           | 3.34           | 0.01           | 0.02 |
| 13.33   | 0.52 | 0.48           | 3.33           | 0.01           | 0.02 | 13.34     | 0.53 | 0.47           | 3.33           | 0.01           | 0.02 |
| 13.35   | 0.54 | 0.46           | 3.33           | 0.01           | 0.02 | 13.36     | 0.53 | 0.47           | 3.32           | 0.01           | 0.02 |
| 13.37   | 0.52 | 0.48           | 3.31           | 0.01           | 0.02 | 13.38     | 0.50 | 0.50           | 3.31           | 0.01           | 0.02 |
| 13.39   | 0.48 | 0.52           | 3.31           | 0.01           | 0.02 | 13.40     | 0.46 | 0.54           | 3.30           | 0.01           | 0.02 |
| 13.41   | 0.45 | 0.55           | 3.29           | 0.01           | 0.02 | 13.42     | 0.44 | 0.56           | 3.29           | 0.01           | 0.02 |
| 13.43   | 0.44 | 0.56           | 3.29           | 0.01           | 0.02 | 13.44     | 0.49 | 0.51           | 3.28           | 0.01           | 0.02 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) |                |                |                |                |      |           |                |                |                |                |      |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m)   | F <sub>S</sub> | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  | Depth (m) | F <sub>S</sub> | F <sub>L</sub> | w <sub>r</sub> | d <sub>r</sub> | LPI  |
| 13.45   | 0.50           | 0.50           | 3.27           | 0.01           | 0.02 | 13.46     | 0.50           | 0.50           | 3.27           | 0.01           | 0.02 |
| 13.47   | 0.51           | 0.49           | 3.27           | 0.01           | 0.02 | 13.48     | 0.51           | 0.49           | 3.26           | 0.01           | 0.02 |
| 13.49   | 0.53           | 0.47           | 3.25           | 0.01           | 0.02 | 13.50     | 0.54           | 0.46           | 3.25           | 0.01           | 0.01 |
| 13.51   | 0.55           | 0.45           | 3.25           | 0.01           | 0.01 | 13.52     | 0.56           | 0.44           | 3.24           | 0.01           | 0.01 |
| 13.53   | 0.56           | 0.44           | 3.23           | 0.01           | 0.01 | 13.54     | 0.52           | 0.48           | 3.23           | 0.01           | 0.02 |
| 13.55   | 0.52           | 0.48           | 3.23           | 0.01           | 0.02 | 13.56     | 0.52           | 0.48           | 3.22           | 0.01           | 0.02 |
| 13.57   | 0.51           | 0.49           | 3.21           | 0.01           | 0.02 | 13.58     | 0.49           | 0.51           | 3.21           | 0.01           | 0.02 |
| 13.59   | 0.47           | 0.53           | 3.21           | 0.01           | 0.02 | 13.60     | 0.45           | 0.55           | 3.20           | 0.01           | 0.02 |
| 13.61   | 0.44           | 0.56           | 3.19           | 0.01           | 0.02 | 13.62     | 0.42           | 0.58           | 3.19           | 0.01           | 0.02 |
| 13.63   | 0.40           | 0.60           | 3.19           | 0.01           | 0.02 | 13.64     | 0.38           | 0.62           | 3.18           | 0.01           | 0.02 |
| 13.65   | 0.35           | 0.65           | 3.17           | 0.01           | 0.02 | 13.66     | 0.38           | 0.62           | 3.17           | 0.01           | 0.02 |
| 13.67   | 0.35           | 0.65           | 3.17           | 0.01           | 0.02 | 13.68     | 0.33           | 0.67           | 3.16           | 0.01           | 0.02 |
| 13.69   | 0.32           | 0.68           | 3.15           | 0.01           | 0.02 | 13.70     | 0.31           | 0.69           | 3.15           | 0.01           | 0.02 |
| 13.71   | 0.32           | 0.68           | 3.15           | 0.01           | 0.02 | 13.72     | 0.34           | 0.66           | 3.14           | 0.01           | 0.02 |
| 13.73   | 0.37           | 0.63           | 3.13           | 0.01           | 0.02 | 13.74     | 2.00           | 0.00           | 3.13           | 0.01           | 0.00 |
| 13.75   | 2.00           | 0.00           | 3.13           | 0.01           | 0.00 | 13.76     | 2.00           | 0.00           | 3.12           | 0.01           | 0.00 |
| 13.77   | 2.00           | 0.00           | 3.12           | 0.01           | 0.00 | 13.78     | 2.00           | 0.00           | 3.11           | 0.01           | 0.00 |
| 13.79   | 2.00           | 0.00           | 3.10           | 0.01           | 0.00 | 13.80     | 2.00           | 0.00           | 3.10           | 0.01           | 0.00 |
| 13.81   | 2.00           | 0.00           | 3.10           | 0.01           | 0.00 | 13.82     | 2.00           | 0.00           | 3.09           | 0.01           | 0.00 |
| 13.83   | 2.00           | 0.00           | 3.08           | 0.01           | 0.00 | 13.84     | 2.00           | 0.00           | 3.08           | 0.01           | 0.00 |
| 13.85   | 2.00           | 0.00           | 3.08           | 0.01           | 0.00 | 13.86     | 2.00           | 0.00           | 3.07           | 0.01           | 0.00 |
| 13.87   | 2.00           | 0.00           | 3.06           | 0.01           | 0.00 | 13.88     | 2.00           | 0.00           | 3.06           | 0.01           | 0.00 |
| 13.89   | 2.00           | 0.00           | 3.06           | 0.01           | 0.00 | 13.90     | 2.00           | 0.00           | 3.05           | 0.01           | 0.00 |
| 13.91   | 2.00           | 0.00           | 3.04           | 0.01           | 0.00 | 13.92     | 2.00           | 0.00           | 3.04           | 0.01           | 0.00 |
| 13.93   | 2.00           | 0.00           | 3.04           | 0.01           | 0.00 | 13.94     | 2.00           | 0.00           | 3.03           | 0.01           | 0.00 |
| 13.95   | 2.00           | 0.00           | 3.02           | 0.01           | 0.00 | 13.96     | 2.00           | 0.00           | 3.02           | 0.01           | 0.00 |
| 13.97   | 2.00           | 0.00           | 3.02           | 0.01           | 0.00 | 13.98     | 2.00           | 0.00           | 3.01           | 0.01           | 0.00 |
| 13.99   | 2.00           | 0.00           | 3.00           | 0.01           | 0.00 | 14.00     | 2.00           | 0.00           | 3.00           | 0.01           | 0.00 |
| 14.01   | 2.00           | 0.00           | 3.00           | 0.01           | 0.00 | 14.02     | 2.00           | 0.00           | 2.99           | 0.01           | 0.00 |
| 14.03   | 2.00           | 0.00           | 2.98           | 0.01           | 0.00 | 14.04     | 2.00           | 0.00           | 2.98           | 0.01           | 0.00 |
| 14.05   | 2.00           | 0.00           | 2.98           | 0.01           | 0.00 | 14.06     | 2.00           | 0.00           | 2.97           | 0.01           | 0.00 |
| 14.07   | 2.00           | 0.00           | 2.96           | 0.01           | 0.00 | 14.08     | 2.00           | 0.00           | 2.96           | 0.01           | 0.00 |
| 14.09   | 2.00           | 0.00           | 2.96           | 0.01           | 0.00 | 14.10     | 2.00           | 0.00           | 2.95           | 0.01           | 0.00 |
| 14.11   | 2.00           | 0.00           | 2.94           | 0.01           | 0.00 | 14.12     | 2.00           | 0.00           | 2.94           | 0.01           | 0.00 |
| 14.13   | 2.00           | 0.00           | 2.94           | 0.01           | 0.00 | 14.14     | 2.00           | 0.00           | 2.93           | 0.01           | 0.00 |
| 14.15   | 2.00           | 0.00           | 2.92           | 0.01           | 0.00 | 14.16     | 0.24           | 0.76           | 2.92           | 0.01           | 0.02 |
| 14.17   | 0.25           | 0.75           | 2.92           | 0.01           | 0.02 | 14.18     | 0.28           | 0.72           | 2.91           | 0.01           | 0.02 |
| 14.19   | 0.30           | 0.70           | 2.90           | 0.01           | 0.02 | 14.20     | 0.27           | 0.73           | 2.90           | 0.01           | 0.02 |
| 14.21   | 0.33           | 0.67           | 2.90           | 0.01           | 0.02 | 14.22     | 0.34           | 0.66           | 2.89           | 0.01           | 0.02 |
| 14.23   | 0.35           | 0.65           | 2.88           | 0.01           | 0.02 | 14.24     | 0.36           | 0.64           | 2.88           | 0.01           | 0.02 |
| 14.25   | 0.37           | 0.63           | 2.88           | 0.01           | 0.02 | 14.26     | 0.37           | 0.63           | 2.87           | 0.01           | 0.02 |
| 14.27   | 0.33           | 0.67           | 2.87           | 0.01           | 0.02 | 14.28     | 0.34           | 0.66           | 2.86           | 0.01           | 0.02 |
| 14.29   | 0.35           | 0.65           | 2.85           | 0.01           | 0.02 | 14.30     | 0.36           | 0.64           | 2.85           | 0.01           | 0.02 |
| 14.31   | 0.37           | 0.63           | 2.85           | 0.01           | 0.02 | 14.32     | 0.38           | 0.62           | 2.84           | 0.01           | 0.02 |
| 14.33   | 0.39           | 0.61           | 2.83           | 0.01           | 0.02 | 14.34     | 0.40           | 0.60           | 2.83           | 0.01           | 0.02 |
| 14.35   | 0.41           | 0.59           | 2.83           | 0.01           | 0.02 | 14.36     | 0.42           | 0.58           | 2.82           | 0.01           | 0.02 |
| 14.37   | 0.43           | 0.57           | 2.81           | 0.01           | 0.02 | 14.38     | 0.44           | 0.56           | 2.81           | 0.01           | 0.02 |
| 14.39   | 0.46           | 0.54           | 2.81           | 0.01           | 0.02 | 14.40     | 0.47           | 0.53           | 2.80           | 0.01           | 0.01 |

Şekil C.3 (devam): CPT-7’de yapılan sıvılaşma analiz sonuçları



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Gökçe ARAS  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Denizli/1990  
**E-Posta** : arasgkce@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

