

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SIVILAŞMA POTANSİYELİ VE SIVILAŞMAYA BAĞLI OTURMALARIN
NÜMERİK ANALİZ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sarper Doğa ÖNGEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Berrak TEYMÜR

ARALIK 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SIVILAŞMA POTANSİYELİ VE SIVILAŞMAYA BAĞLI OTURMALARIN
NÜMERİK ANALİZ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sarper Doğa ÖNGEN
(501181309)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Berrak TEYMÜR

ARALIK 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501181309 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sarper Doğa ÖNGEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SIVILAŞMA POTANSİYELİ VE SIVILAŞMAYA BAĞLI OTURMALARIN NÜMERİK ANALİZ İLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Berrak TEYMÜR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Recep İYİSAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sadık ÖZTOPRAK
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : **06.12.2022**
Savunma Tarihi : **16.12.2022**





Eşime,



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca her konuda yanımda olan, desteğini ve hoşgörüsünü her daim hissettiren saygıdeğer hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Berrak Teymür'e teşekkür ederim.

Bu çalışmayı tamamlamamda bilgi birikim ve deneyimlerini esirgemeyen, başta sayın İnş. Yük. Müh. Hakan Köpüklü olmak üzere tüm Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. ailesine, bu mesleği seçmemde pay sahibi olan her daim idolüm, sevgili arkadaşım sayın Dr. İnş. Müh. Ayça Kıran'a, hoşgörüsünü ve deneyimlerini esirgemeyen saygıdeğer şefim sayın İnş. Yük. Müh. Şafak Söylemez'e, deneyimlerini, görüşlerini, bilgi birikimini esirgemeyen sayın İnş. Yük. Müh. Samet Özenç'e teşekkürü bir borç bilirim.

Birlikte büyüdüğüm, birlikte öğrendiğim, birlikte yetiştiğim meslektaşım ve eşim sayın İnş. Müh. Benay Öngen'e, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem Safiye Tokmak ve ablam Öykü Şayan Öngen'e, tez çalışmalarım boyunca yanımda olan tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2022

Sarper Doğa Öngen
(İnşaat Mühendisi)







İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxviii
1. GİRİŞ.....	1
2. DEPREM	3
2.1 Deprem Dalgaları	3
2.2 Deprem Boyutu	4
2.3 Yer Hareketi Parametreleri.....	5
2.4 Zeminin Dinamik Özellikleri	8
3. SIVILAŞMA	15
3.1 Sıvılaşma Tanımı ve Mekanizması	15
3.2 Sıvılaşma Türleri	17
3.3 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler.....	18
3.3.1 Deprem büyüklüğü ve süresi.....	18
3.3.2 Zemin cinsi.....	19
3.3.3 Dane şekli.....	19
3.3.4 Dane dağılımı	20
3.3.5 Yeraltı suyu seviyesi	21
3.3.6 Drenaj koşulları.....	21
3.3.7 Çevre basıncı.....	21
3.3.8 Rölatif sıkılık.....	21
3.3.9 Çökelme ortamı.....	22
3.3.10 Yaş ve çimentolaşma	22
3.3.11 Gerilme geçmişi	22
3.4 Sıvılaşma analiz yöntemleri	22
3.4.1 Tekrarlı gerilme oranı (CSR)	24
3.4.2 Derinlik azaltma faktörü (r_d)	25
3.4.3 Tekrarlı direnç oranı (CRR).....	27
3.4.4 Deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (MSF)	30
3.4.5 Jeolojik gerilme düzeltme faktörü (K_σ)	31
3.4.6 Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı	32
3.4.7 Sıvılaşmaya bağlı oturmalar.....	32
4. SIVILAŞMANIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İRDELENMESİ	35

4.1 Malzeme Modellerinin Tanımı.....	35
4.1.1 Mohr-Coulomb modeli.....	36
4.1.2 Pekleşen zemin modeli (Hardening soil model)	36
4.1.3 Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modeli (The Hardening soil model with small-strain stiffness)	37
4.1.4 PM4SAND zemin modeli	38
5. BİR SAHAYA ÖZEL SIVILAŞMA DEĞERLENDİRME ANALİZİNİN İRDELENMESİ	45
5.1 Sahada Yapılan Çalışmalar.....	45
5.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)	46
5.3 Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)	47
5.4 Presiyometre Deneyi	48
5.5 Laboratuvar Deneyleri.....	49
5.6 Zemin Etüdü Verilerinin İrdelenmesi ve İdealize Zemin Profilinin Elde Edilmesi.....	51
5.7 Malzeme ve Yöntem.....	53
5.7.1 Deepsoil.....	53
5.7.2 Soil Test (Plaxis)	53
5.8 Geoteknik Modelleme	56
5.8.1 Zemin parametrelerinin tespiti	58
HSSmall Model Parametrelerinin Belirlenmesi:.....	58
PM4Sand Doğrulaması:	60
5.8.2 Sonlu elemanlar modellerinin oluşturulması.....	64
5.8.3 Zemin parametrelerinin tanımlanması	68
5.8.4 Sonlu elemanlar analizlerinin irdelenmesi	70
6. ANALİZ SONUÇLARI	71
7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	95
KAYNAKLAR.....	99
EKLER.....	102
ÖZGEÇMİŞ	106

KISALTMALAR

CPT	: Cone Penetration Test / Koni Penetrasyon Deneyi
CDSS	: Cyclic Direct Shear Test / Tekrarlı Direk Kesme Deneyi
CSR	: Cyclic Stress Ratio / Tekrarlı Gerilme Oranı
CRR	: Cyclic Resistance Ratio / Tekrarlı Direnç Oranı
DMT	: Dilatometer Test / Dilatometre Deneyi
DSS	: Direct Shear Test / Direk Kesme Deneyi
EPRI	: Electric Power Research Institute
FEM	: Finite Element Method / Sonlu Elemanlar Metodu
FS	: Factory of Safety / Güvenlik Faktörü
HS	: Hardenning Soil Model / Pekleşen Zemin Modeli
HSSmall	: Hardenning Soil Model with Small Strain Stiffness / Küçük Şekil Değiştirmeler ile Pekleşen Zemin Modeli
MC	: Mohr-Coulomb Soil Model / Mohr-Coulomb Zemin Modeli
MSF	: Magnitude Scaling Factor / Deprem Moment Büyüklüğü Düzeltme Katsayısı
NCEER	: National Center of Earthquake Engineering Research
PMT	: Pressuremeter Test / Presiyometre Deneyi
RCTS	: Resonant Column Torsional Buckling Test / Rezonans Kolon Burulma Burkulma Testi
SSR	: Seismic Stress Ratio / Sismik Gerilme Oranı
SASW	: Spectral Analysis of Surface Waves / Yüzey Dalgasının Spektral Analizi
SCPT	: Seismic Cone Penetration Test / Sismik Koni Penetrasyon Deneyi
SPT	: Standard Penetration Test / Standart Penetrasyon Deneyi



SEMBOLLER

a_{max}	: Maksimum yer ivmesi
cem	: Çimento
c	: Kohezyon
C_u	: Uniformluk katsayısı
D	: Sönüm oranı
E	: Elastisite Modülü
E_{ur}	: Tekrar Yükleme / Boşaltma Rijitliği
e	: Boşluk oranı
e_{max}	: Maksimum boşluk oranı
e_{min}	: Minimum boşluk oranı
G	: Kayma modülü
G_0	: Başlangıç kayma modülü
G_{max}	: Maksimum kayma modülü
hp_0	: Büzülme oranı
K_0	: Sükunetteki yatay toprak basıncı katsayısı
$K_{2,max}$	: Zemin modülü katsayısı
m	: Gerilme-rijitlik katsayısı
M_L	: Richter yerel büyüklüğü
M_s	: Yüzey dalgası büyüklüğü
M_0	: Sismik moment
M_w	: Moment büyüklüğü
n^b	: Sınır yüzey parametresi
n^d	: Dilatasyon yüzey parametresi
N	: Çevrim Sayısı
N	: Düzeltilmemiş SPT darbe sayısı
N_{60}	: Örtü yükü düzeltmesi uygulanmadan düzeltilmiş SPT darbe sayısı
$(N_1)_{60}$	: Düzeltilmiş SPT darbe sayısı
AKO	: Aşırı Konsolidasyon Oranı
p_a	: Atmosferik basınç
r_u	: Boşluk suyu basıncı oranı

$r_{u,max}$	: Maksimum Boşluk suyu basıncı oranı
r_d	: Derinlik azaltma faktörü
$q-r$	: Kritik durum çizgi parametreleri
q_c	: Koni uç direnci
s_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
u	: Boşluk suyu basıncı
ν	: Poisson Oranı
V_s	: Kayma dalgası hızı
w	: Su muhtevası
w_L	: Likit limit
σ'_0	: Çevre basıncı
t	: Zaman
IP	: Plastisite indisi
γ_c	: Tekrarlı şekil değiştirme
γ'	: Şekil değiştirme oranı (tekrarlı yükleme frekansı)
ρ	: Birim hacim kütle (yoğunluk)
σ'_m	: Üç doğrultudaki efektif gerilmelerin ortalaması
D_R	: Rölatif sıkılık
σ'_v	: Düşey doğrultudaki efektif gerilme
ϕ	: Kayma mukavemeti açısı
γ	: Şekil değiştirme
σ	: Normal gerilme
σ'	: Efektif gerilme
τ_{cyc}	: Depremin uniform tekrarlı kayma gerilmesi genliği
τ_{max}	: Maksimum kayma gerilmesi
K_σ	: Jeolojik Gerilme Düzeltme Faktörü
ψ	: Dilatasyon açısı
$\gamma_{0.7}$	: Başlangıç kayma modülü'nün 70%'ine eşit olduğu durumdaki şekil değiştirme değeri
ϕ_{cv}	: Kritik durum sürtünme açısı
$\alpha-\beta$	: Rayleigh sönüm katsayıları





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kil ve silt birimler için SPT-Vs korelasyonları [3]	12
Çizelge 2.2 : Maksimum kayma modülü ve saha deneyleri parametreleri arasındaki ilişkiler [1].....	13
Çizelge 5.1 : SPT düzeltme faktörleri.....	46
Çizelge 5.2 : Menard α_M faktörleri.....	49
Çizelge 5.3 : Zemin sınıflandırma laboratuvar deneyleri	50
Çizelge 5.4 : Zemin mukavemet laboratuvar deneyleri.....	50
Çizelge 5.5 : Kesit 1 70% şekil değiştirme değerleri ($\gamma_{0.7}$) ve Darendeli, 2001 yaklaşımı için zemin parametreleri	58
Çizelge 5.6 : Kesit 2 70% şekil değiştirme değerleri ($\gamma_{0.7}$) ve Darendeli, 2001 yaklaşımı için zemin parametreleri	59
Çizelge 5.7 : Büzülme oranı (h_{p0}) doğrulaması	63
Çizelge 5.8 : PM4Sand zemin modelinde kullanılan parametreler	69
Çizelge 5.9 : HSSmall zemin modelinde kullanılan parametreler.....	69
Çizelge 6.1 : Serbest saha analizleri boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) ve toplam oturma özet tablosu	93
Çizelge 6.2 :Yapı yükleri etkisinde ana kum tabakası oturma özet tablosu (Landers Depremi)	94
Çizelge 6.3 :Yapı yükleri etkisinde ana kum tabakası oturma özet tablosu (Kocaeli Depremi)	94



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Cisim dalgaları sebebiyle oluşan deformasyonlar, a) P Dalgası b) S_v Dalgası [1].....	4
Şekil 2.2 : İvme, hız ve yer değiştirme zaman tanım alanı örnekleri (1989 Gilroy Depremi) [1]	5
Şekil 2.3 : Histeresiz çevrimi [2]	9
Şekil 2.4 : Tekrarlı yükleme altında kayma modülü (G) ve sönüm oranının (D) belirlenmesi [3]	9
Şekil 2.5 : Omurga eğrisi ve histeresiz çevrimi [4]	12
Şekil 2.6 : Farklı çevre basınçları etkisi altında plastisite indisinin göre modül oranı (G/G_{max}) ve sönüm oranının (D) şekil değiştirmelere göre değişimi [2].....	14
Şekil 3.1 : Eşit çevre basıncı etkisi altında gevşek kum ve sıkı kumun şekil değiştirme (a) ve boşluk oranı (b) değişimi [1]	16
Şekil 3.2 : Çevre basıncı – boşluk oranı grafiğinde gevşek kum ve sıkı kumun drenajlı ve drenajsız koşullarda kritik boşluk oranı eğrisine göre davranışı [1]	16
Şekil 3.3 : Düşük uniformluk katsayısına (c_u) sahip zemin türleri için sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu granülometri aralıkları [11].....	20
Şekil 3.4 : Yüksek uniformluk katsayısına (c_u) sahip zemin türleri için sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu granülometri aralıkları [11].....	20
Şekil 3.5 : Tekrarlı gerilme oranı hesap kabulleri [10].....	24
Şekil 3.6 : Derinlik azaltma faktörü (r_d) [13].....	26
Şekil 3.7 : SPT (N_1) ₆₀ ve tekrarlı direnç oranı ilişkisi [15].....	28
Şekil 3.8 : $MSF_{max} - b$ değeri ilişkisi [31]	31
Şekil 3.9 : K_σ parametresi hesabı için önerilen f eğrileri [13]	32
Şekil 3.10 : Hacimsel şekil değiştirme değerlerinin $CSR_m=7.5$ ve (N_1) ₆₀ değişimlerine göre ilişkisi [19]	33
Şekil 3.11 : Hacimsel şekil değiştirme değerlerinin FS ve $Dr(\%)$, N ve q_{c1} değişimlerine göre ilişkisi [18]	34
Şekil 4.1 : Lineer elastik mükemmel plastik (MC) malzeme gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [20]	36
Şekil 4.2 : Pekleşen zemin (HS) gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [20]	37
Şekil 4.3 : Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin (HSsmall) rijitlik-şekil değiştirme ilişkisi [20]	38
Şekil 4.4 : Düzeltilmiş SPT darbe sayısı (N_1) _{60cs} ve $\sigma_v=100$ kPa çevre basıncı ve $M=7.5$ büyüklüğündeki deprem koşullarındaki tekrarlı direnç oranı ($CRR_{\sigma_v=1atm}$, $M=7.5$) ilişkisi [23]	41
Şekil 4.5 : Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin (hssmall) rijitlik-şekil değiştirme ilişkisi [24]	41
Şekil 5.1 : SPT/ N , SPT/(N) ₆₀ ve SPT/(N) _{1,60} değerlerinin derinlik (m) ile değişimi.	47
Şekil 5.2 : İdealize uç direnç ve idealize sürtünme direnci verilerinin derinlik (m) ile değişimi.....	48

Şekil 5.3 : Presiyometre deneyleri menard modülü (E_M), net limit basınç (P^*_{LM}) değerleri ve elastisite modülü (E) değerlerinin derinlik (m) ile değişimleri	49
Şekil 5.4 : Kesit 1 idealize zemin profili	52
Şekil 5.5 : Kesit 2 idealize zemin profili	52
Şekil 5.6 : Soil Test arayüzü	54
Şekil 5.7 : Kocaeli (Adapazarı-5401) deprem kaydı ivme zaman grafiği	57
Şekil 5.8 : Landers (RSN:848) deprem kaydı ivme zaman grafiği.....	57
Şekil 5.9 : Kesit 1 modül oranı (G/G_{max}) – şekil değiştirme grafikleri ile birlikte 70% şekil değiştirme değerleri – kil birimler ($\gamma_{0.7}$)	59
Şekil 5.10 : Kesit 1 modül oranı (G/G_{max}) – şekil değiştirme grafikleri ile birlikte 70% şekil değiştirme değerleri – kum birimler ($\gamma_{0.7}$)	59
Şekil 5.11 : Kesit 2 modül oranı (G/G_{max}) – şekil değiştirme grafikleri ile birlikte 70% şekil değiştirme değerleri ($\gamma_{0.7}$)	60
Şekil 5.12 : Örnek büzülme oranı doğrulaması cdss deney simülasyonu (Kesit 1/Kum-2 Adapazarı).....	63
Şekil 5.13 : Sonlu elemanlar modelleri sınır koşulları.....	66
Şekil 6.1 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – model görünümü	71
Şekil 6.2 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	71
Şekil 6.3 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – oturma diyagramı	72
Şekil 6.4 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – oturma grafiği	72
Şekil 6.5 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – model görünümü	73
Şekil 6.6 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	73
Şekil 6.7 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma diyagramı	73
Şekil 6.8 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma grafiği	74
Şekil 6.9 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – model görünümü ...	74
Şekil 6.10 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı.....	75
Şekil 6.11 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – oturma diyagramı	75
Şekil 6.12 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – oturma grafiği.....	75
Şekil 6.13 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – model görünümü..	76
Şekil 6.14 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı.....	76
Şekil 6.15 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – oturma diyagramı	77
Şekil 6.16 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – oturma grafiği	77
Şekil 6.17 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – model görünümü	78
Şekil 6.18 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı.....	78
Şekil 6.19 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – oturma diyagramı	78
Şekil 6.20 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – oturma grafiği	79
Şekil 6.21 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – model görünümü	79
Şekil 6.22 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	80
Şekil 6.23 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma diyagramı	80
Şekil 6.24 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma grafiği	80
Şekil 6.25 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – model görünümü	81
Şekil 6.26 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	81

Şekil 6.27 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – oturma diyagramı.....	82
Şekil 6.28 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – oturma grafiği (Kum-1).....	82
Şekil 6.29 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – oturma grafiği (Kum-2).....	82
Şekil 6.30 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – model görünümü	83
Şekil 6.31 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	83
Şekil 6.32 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – oturma diyagramı	84
Şekil 6.33 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-1).....	84
Şekil 6.34 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-2).....	84
Şekil 6.35 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – model görünümü.....	85
Şekil 6.36 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	85
Şekil 6.37 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – oturma diyagramı	86
Şekil 6.38 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – oturma grafiği (Kum-1).....	86
Şekil 6.39 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – oturma grafiği (Kum-2).....	86
Şekil 6.40 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – model görünümü.....	87
Şekil 6.41 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	87
Şekil 6.42 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – oturma diyagramı	88
Şekil 6.43 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-1)	88
Şekil 6.44 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-2)	88
Şekil 6.45 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – model görünümü.....	89
Şekil 6.46 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	89
Şekil 6.47 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – oturma diyagramı.....	90
Şekil 6.48 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – oturma grafiği	90
Şekil 6.49 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – model görünümü	91
Şekil 6.50 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı	91
Şekil 6.51 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – oturma diyagramı	91
Şekil 6.52 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – oturma grafiği.....	92
Şekil 6.53 : Yapı yükleri etkisi altında landers depremi dikkate alınarak ara kum tabakasının oturmaya etkisi	92
Şekil 6.54 : Yapı yükleri etkisi altında kocaeli depremi dikkate alınarak ara kum tabakasının oturmaya etkisi	93



SIVILAŞMA POTANSİYELİ VE SIVILAŞMAYA BAĞLI OTURMALARIN NÜMERİK ANALİZ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Yerkabuğu içindeki kırılmalar, volkanik faaliyetler ve toprak kaymaları gibi aniden ortaya çıkan titreşimler, deprem dalgaları oluşturarak yer hareketlerine sebep olmaktadır. Depremlere bağlı mühendislik yapılarında oluşabilecek hasarların ve stabilite kayıplarının azaltılarak önüne geçilebilmesi için bölgenin depremselliğinin araştırılması, deprem etkisi altındaki zeminin davranışının ve yapılara olan etkisinin incelenmesi gerekmektedir. Geçmişten günümüze gerçekleşen büyük etkili depremlere bağlı zeminde gerçekleşen sıvılaşmanın yapılar üzerindeki yadsınamaz etkileri görülmüş ve deprem davranışları üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu tez kapsamında sıvılaşma potansiyelinin irdelenmesi ve sıvılaşma neticesinde ortaya çıkabilecek deformasyonlar incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, geoteknik literatürde verilen deprem tanımı, deprem dalgalarının çeşitleri ve özellikleri, deprem şiddeti ve deprem büyüklüğü kavramlarının tanımları, yer hareketi parametreleri için önemli olan mevcut kavramlar, dalga yayılım davranışının tanımı, zeminin dinamik özelliklerinin tanımları ve elde edilmeleri için geoteknik literatürde verilen yaklaşık yöntemler yer almaktadır. Sıvılaşma ana başlığı altında sıvılaşmanın tanımı, sıvılaşma mekanizması için literatürde verilen açıklamalar, sıvılaşma türleri, sıvılaşmaya etki eden faktörler, sıvılaşma analiz yöntemleri, sıvılaşmanın zeminde meydana getirdiği etkiler ile ilgili mevcut bilgiler verilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemleri ile birlikte sıvılaşma davranışının modellenmesi için kullanılan Mohr Coulomb (MC), Hardening Soil (HS), küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin (HSSmall) ve PM4SAND malzeme modellerinin tanımları, çalışma biçimleri, girdi parametrelerinin çeşitlilikleri de bu çalışma özelinde yer almaktadır. Ek olarak sahaya özel bir sıvılaşma değerlendirmesi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak PM4SAND zemin modeli ile gerçekleştirilmiş, gerekli tüm doğrulama, modelleme ve geoteknik hesap prosedürleri detaylandırılarak açıklanmıştır. Değişiklik gösterecek girdiler belirlenmiş ve nümerik çalışmalar ile sonuçlarda meydana gelen farklılıklar irdelenmiş ve yorumlanmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ve literatürde yer alan incelemeler göz önünde bulundurularak, PM4SAND zemin modelinin birincil parametrelerinden biri olan büzülme oranı (hp_0) doğrulamasının hatalara sebebiyet verebilecek derecede hassas olduğu anlaşılmaktadır. Ek olarak sıvılaşmaya etki eden faktörlerden biri olan yapı yüklerinin değişimi dolayısıyla zeminde kayma direncinde meydana gelen farklılıklar incelenerek özellikle sıkışabilir tabakalar arasında kalan sıvılaşabilir tabakaların sıvılaşma potansiyelinin yapı yükü ve temel boyutu ile önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Üst yapı gerilmesinin etki alanı dışındaki sıvılaşma potansiyeli serbest saha analizleri ile benzerdir. Bu doğrultuda yapı yüklerinin sıvılaşmaya olumlu

katkılarının sadece etki alanları çerçevesinde olduğu görülmektedir. Yapılan nümerik analizlerde, zemin modellerinde ara kum bantlarının kullanılması durumunda kum tabakalarının sıvılaşma potansiyelinin daha düşük olduğu fark edilmiştir. Ek olarak gerçekleştirilen dinamik analizler neticesinde deprem sonrası görülen düşey deplasman değerlerinin sıvılaşan kum tabakasının kalınlığı ile doğru orantılı olduğu ve sıvılaşma potansiyelinin artışı ile birlikte yükselebileceği doğrulanmıştır.





ASSESSMENT OF LIQUEFACTION POTENTIAL AND LIQUEFACTION BASED SETTLEMENTS WITH NUMERICAL ANALYSIS

SUMMARY

Sudden vibrations such as fractures in the earth's crust, volcanic activities and landslides cause ground movements by creating earthquake. In order to prevent the damages and stability losses that may occur in engineering structures due to earthquakes, the seismicity of the region should be investigated, the behavior of the ground under the influence of earthquakes and its effect on the structures should be examined. The undeniable effects of liquefaction in the ground due to large-scale earthquakes from past to present have been observed on the structures, and various studies have been carried out on earthquake behaviour. In this thesis, liquefaction potential and liquefaction-based deformations depending on parametric variables with numerical analysis are assessed.

In this thesis, the definition of earthquake given in the geotechnical literature under the main title of earthquake, the types and properties of earthquake waves, the definitions of the concepts of earthquake intensity and earthquake magnitude, the existing concepts that are important for ground motion parameters, the definition of wave propagation behavior, the definitions of dynamic properties of the soil and the approximate methods given in the geotechnical literature for their obtaining are included. The definition of liquefaction, the mechanism of liquefaction, types of liquefaction, factors affecting liquefaction, liquefaction analysis methods, and current information about the effects of liquefaction are given. Definitions, technical backgrounds, variety of input parameters of mohr coulomb (MC), hardening soil (HS), hardening soil with small-strain stiffness (HSSmall) and PM4SAND material models, which are used for modeling liquefaction behavior together with finite element methods is also included in this study. In addition, a site-specific liquefaction assessment was carried out with the PM4SAND soil model using the finite element method, and all necessary calibration, modeling and geotechnical calculation procedures are explained in detail. As a result of the numerical study, the inputs that will change were determined and the differences that occurred with these changes were examined and interpreted.

Considering the studies carried out in this thesis and the studies in the literature, it is understood that the contraction rate (h_{p0}) calibration for the PM4SAND soil model is sensitive and can cause errors. In addition, by examining the differences in the shear resistance of the soil due to the change in structural loads, which is one of the factors affecting liquefaction, it is seen that the liquefaction potential of the liquefiable layers, especially between the compressible layers, changes significantly with the structural load and foundation size. The liquefaction potential outside the effect area of the structural loads is similar to the free field analysis. Accordingly, positive contribution of the structural loads are observed on the liquefaction of the soil layers. In the numerical analysis, it was noticed that the liquefaction potential of the sand layers was lower when sand layers existed between soil layers in the soil models. In addition, as

a result of the dynamic analyzes carried out, it has been confirmed that the vertical displacement values observed after the earthquake are directly proportional to the thickness of the liquefied sand layer and can increase with the increase of the liquefaction potential.



1. GİRİŞ

Deprem, yeryüzünün farklı derinliklerinde meydana gelen fay hareketlilikleri ve volkanik hareketliliklerinden kaynaklanan sarsıntı şeklinde ortaya çıkan bir yer hareketliliği olarak tanımlanabilir. Dünyada, ülkemizin de içinde bulunduğu sismik açıdan aktif olan ve deprem tehlikesi ile karşı karşıya olan farklı bölgeler mevcuttur. Mevcut ve yeni yapılacak olan yapılar için meydana gelebilecek olan deprem etkilerinin göz önünde bulundurularak ve sismik hareketliliklere bağlı olarak yapısal ve zemin-yapı etkileşimi bağlantılarını tehdit etmeyecek şekilde tasarım-inşaat-onarım süreçlerinin yürütülmesi gereklidir. Yapıların deprem güvenliğinin sağlanması, ortaya çıkması muhtemel can ve mal kayıplarının önüne geçilmesini sağlamaktadır.

Geçmişte meydana gelen depremler dikkate alınarak yapıların yalnızca üst yapı taşıyıcı sistemlerin dinamik etkilere karşı dayanıklı olmasının yapının stabilitesinin korunması için yeterli olmadığı tecrübe edilmiştir. Depremlerin meydana geldiği esnada zemindeki mukavemet ve rijitlik kayıpları sebebiyle yapılarda hasara sebep olabilecek düzensiz hareketlenmeler, çatlakların oluşumu, oturmalar, yıkımlar ve zeminde kaymalar meydana gelebilmektedir.

Deprem etkilerinin yapılar üzerindeki etkileri geçmişten günümüze araştırmalara konu edilmesine rağmen, zeminin deprem etkileri etkisi altında gösterdiği davranış ve zemin türlerine göre değişiklik gösterebilecek şekilde gözlenen mukavemet kayıpları ve stabilite problemleri günümüzde halen araştırılmaya devam edilmektedir.

Basit olarak zemindeki boşluk suyu basıncının artışı ile efektif gerilmenin sıfıra yaklaşması sonucu zeminin mukavemet kaybı sıvılaşma olarak tanımlanabilir. Çok sayıda yapılan araştırmalar sonucunda sıvılaşmanın kohezyonsuz zemin davranışına sahip zeminlerde görülebildiği saptanmıştır. [1]

Türkiye’de ve yurt dışında sıvılaşmanın gözlenebildiği ve örnek teşkil eden çok sayıda deprem meydana gelmiştir. 16 Haziran 1964 Niigata-Japonya depremi, 27 Mart 1964 Alaska depremi ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli-Türkiye depremi örnek olarak verilebilir.

Deprem etkisi altında zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Sıvılaşma potansiyeli irdellemeleri çeşitli dinamik laboratuvar deneyleri yardımı ile yapılabilmekte olsa da pratikte sıvılaşabilirlik değerlendirmeleri çoğunlukla saha deneyleri yardımı ile yapılmaktadır. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için geoteknik literatürde mevcut olan lineer nümerik yöntemler pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda geoteknik tasarım analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi sayesinde lineer nümerik hesaplara göre oluşturulan noktasal ağlar ile birlikte daha detaylı, doğruya daha yakın, gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin gerçeğe daha uygun hesaplanabildiği, karmaşık geometriler, kazı-dolgu sistemleri ve göreceli etkilerin daha uygun olarak dikkate alınabildiği modeller oluşturmak mümkündür.

Sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde zeminin sıvılaşma davranışının, tekrarlı dinamik yükler etkisinde gerilme ve boşluk oranı değişimlerinin laboratuvar deneyleri ile birlikte kalibre edilmiş modeller kullanılarak doğruya yakın ifade edilebildiği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sıvılaşma potansiyelinin nümerik analizler yardımı ile değerlendirilmesinin gerektirdiği prosedürlerin açıklanması, sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulan modellerde değişkenlerin sıvılaşma davranışı üzerinde sebep olacağı farklılıkların değerlendirilmesidir.

Bu çalışma kapsamında deprem kaynaklı yer hareketlerinin tanımları ve türleri, yer hareketi parametreleri, dalga yayılım davranışları, dinamik zemin özellikleri, sıvılaşma tanımı ve mekanizması, sıvılaşma türleri, sıvılaşmaya etki eden faktörler, sıvılaşmanın zemine etkileri, sonlu elemanlar yönteminde kullanılan zemin bünye modellerinin tanımları, özellikleri ve kullanımı detaylandırılmaktadır. Ek olarak sıvılaşmanın sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek irdelenmesi için gerekli geoteknik hesaplar, doğrulama ve modelleme prosedürleri, analiz sonuçlarının karşılaştırılması detaylarına yer verilmiştir.

2. DEPREM

Levha hareketleri nedeniyle oluşan gerilmeler yeraltında yeni bir fay oluşturacak şekilde veya var olan fay düzleminde açığa çıkar. Büyük depremler, yeryüzünün herhangi bir noktasından ölçülebilecek kadar enerji üretebilmektedir. Deprem sırasında ortaya çıkan sismik dalgalar farklı zemin ve kaya tabakaları arasında hareket eder ve tabaka sınırlarında kırılma ve yansıma davranışları göstererek farklı yollarla yeryüzüne ulaşırlar.

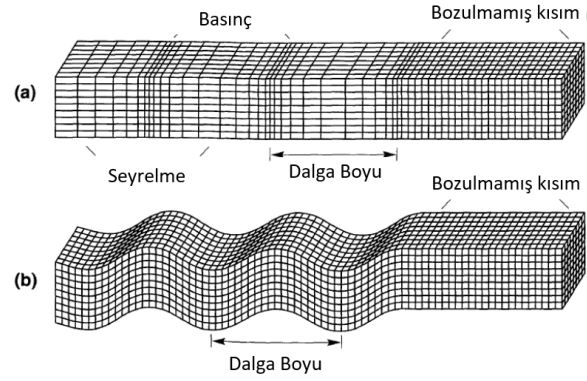
2.1 Deprem Dalgaları

Bir deprem meydana geldiğinde farklı türde deprem dalgaları ortaya çıkmaktadır. Bu deprem dalgaları cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak isimlendirilmektedir. Cisim dalgaları P dalgaları ve S dalgaları olarak iki ana başlıkta incelenmektedir.

P dalgaları, birincil dalga, boyuna dalga ve basınç dalgası olarak da tanımlanmaktadır. P dalgaları, yayılımın gerçekleştiği ortamda ardışık olarak sıkışma ve seyrekleşme deformasyonlarına sebep olmaktadır. P dalgası deformasyonlarının doğrultusu dalga yayılımının gerçekleştiği doğrultu ile aynıdır. Yapısal olarak ise ses dalgalarına benzetilebilmekte, katı ve sıvı ortamda yayılabilmektedirler. Birincil dalga olarak tanımlanmasının nedeni ise en yüksek hıza sahip dalga olması sebebiyle kaynaktan herhangi bir uzaklıkta bulunan kayıt cihazına ilk ulaşan dalga olmasıdır.

S dalgaları, ikincil dalga, enine dalga ve kayma dalgası olarak da tanımlanmaktadır. S dalgaları yayılımın gerçekleştiği ortamda kayma deformasyonlarına sebep olmaktadır. S dalgası deformasyonlarının doğrultusu yayılımın gerçekleştiği doğrultuya dik olarak meydana gelmektedir. P dalgalarından farklı olarak S dalgalarının sadece katı ortamda yayılabildiği bilinmektedir. Bunun sebebi ise sıvıların kayma rijitliğinin 0 olması ve sıvı ortamda kayma deformasyonlarının oluşamaz olmasıdır. S dalgalarının noktasal hareket özelinde düşey düzlem hareketi (S_V) ve yatay düzlem hareketine (S_H) sebep olabildiği bilinmektedir. [1]

Şekil 2.1’de P ve S dalgalarının sebep olduğu deformasyon şekilleri sembolik olarak gösterilmiş ve dalga yayılımı ve deformasyon doğrultuları simgelenmiştir.



Şekil 2.1 : Cisim dalgaları sebebiyle oluşan deformasyonlar, a) P Dalgası b) Sv Dalgası [1]

Sonsuz ortamlarda oluşan deprem dalgaları sadece cisim dalgalarıdır. Yarı sonsuz ortamlarda (serbest yüzey) ise cisim dalgaları normal gerilmelerin olmaması sebebiyle oluşamaz ve yüzey dalgaları meydana gelir. Yüzey dalgaları, cisim dalgaları, zemin yüzeyi ve jeolojik ortamları birbirinden ayıran tabaka sınırlarının birbirleri ile olan etkileşimleri sebebiyle meydana gelen dalgalardır.

2.2 Deprem Boyutu

Bir depremin boyutu çok farklı biçimlerde ifade edilebilir. Modern enstrümantasyon tekniklerinin geliştirilmesinden önce depremin boyutunun belirlenmesi için kullanılan yöntemlerin genel olarak depremin etkilerinin kaba ve nitel tanımlarına dayandığı bilinmektedir. Teknoloji ve ölçme tekniklerinin gelişimi ile birlikte deprem boyutunun belirlenmesi konusunda daha teorik ve bilimsel çalışmalar devreye girmiştir. Bu bilgilerden hareketle deprem boyutunun incelenmesi konusunda öne çıkan iki önemli kavram bulunmaktadır. Bunlar Deprem Şiddeti ve Deprem Büyüklüğü kavramlarıdır.

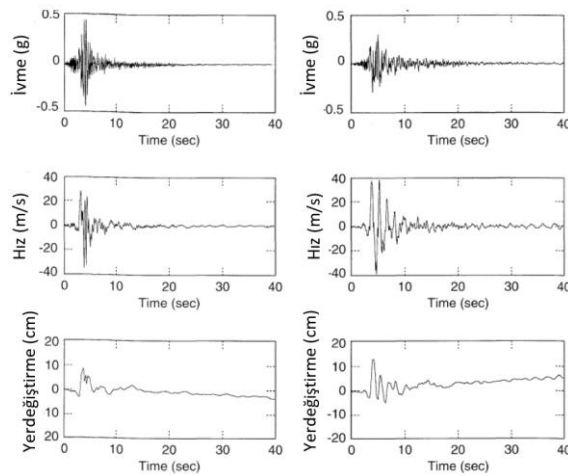
Deprem şiddeti kavramı bilinen en eski deprem boyutu ölçüsü olup deprem bölgesinde meydana gelen hasarlar ve yapılar, doğa ve insan üzerinde bıraktığı etkilerin nitel olarak açıklanmasına dayanmaktadır. Ölçüm aletlerinin kullanılmadığı zamanlarda meydana gelen depremler için depremin şiddeti kavramının var olması sebebiyle gerçekleştirilen yaklaşık hesaplar yardımı ile geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerin büyüklükleri hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Bu çalışmalar çeşitli bölgelerde meydana gelebilecek depremler üzerinde yapılan tekrarlanma olasılığı çalışmaları için büyük önem taşımaktadır. [1]

Deprem büyüklüğü kavramı ise gelişen ölçüm teknolojileri ile birlikte ortaya çıkmış ve depremin nicel bir yöntem ile tanımlanabilmesi için kullanılmaktadır. Deprem büyüklüğünün incelenmesi için kullanılan bazı bilinen ölçekler, P ve S dalgalarının maksimum genliklerinden yararlanılarak hesaplanan Richter Yerel Büyüklüğü (M_L), yüzey dalgalarının maksimum genliklerinden yararlanılarak hesaplanan Yüzey Dalgası Büyüklüğü (M_S) ve açığa çıkan enerjinin büyüklüğünü bir fay boyunca kırılmaya neden olan faktörlerin doğrudan bir ölçüsü olarak tanımlanan sismik momente (M_0) göre belirlenen Moment Büyüklüğü'dür (M_W). [1]

2.3 Yer Hareketi Parametreleri

Deprem kaynaklı yer hareketlerinin sebep olabileceği hasarların tahmin edilebilmesi için zemin ve deprem özelliklerinin doğru tanımlanması gereklidir. Deprem davranışının karmaşık olması, yer hareketinin tanımlanması için birçok parametrenin kullanılmasını gerektirmektedir. Yer hareketi parametreleri üç ana kavramdan birini veya birkaçını simgelemektedir. Bu üç önemli kavram ise genlik, frekans içeriği ve süre olarak bilinmektedir.

Yer hareketleri zaman tanım alanları kullanılarak tanımlanabilmektedir. Zaman tanım alanları ile yer değiştirme, hız ve ivme parametrelerinin belirli bir zaman aralığındaki değişimleri gözlenebilmektedir. Bu parametrelerin arasında bulunan matematiksel ilişkiler yardımıyla türevleme ve integrasyon yöntemi ile bilinen parametre kullanılarak bilinmeyen parametre elde edilebilmektedir. 1989 Gilroy Depremi'ne ait örnek ivme, hız ve yer değiştirme zaman tanım alanı grafikleri Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 : İvme, hız ve yer değiştirme zaman tanım alanı örnekleri (1989 Gilroy Depremi) [1]

Maksimum yatay ivme parametreleri ile deprem büyüklüğü arasında bir ilişki bulunduğu yönünde araştırmalar mevcuttur. Maksimum yatay ivme değerinin yüksek olması genel olarak depremin büyüklüğünün fazla olduğu yorumunu beraberinde getirmektedir. Bu sebeple maksimum yatay ivme parametreleri mühendislik hesaplarında yaygın olarak yer hareketi genliğinin temsil edilmesi için kullanılmaktadır. Maksimum düşey ivme parametresi genel olarak depreme dayanıklı mühendislik yapılarının tasarımında daha az önemli olarak görülmektedir. Bunun en önemli sebebi ise düşey doğrultulu yüklerin karşılanabilmesi için gerekli dayanımın çoğunlukla düşey deprem yüklerini karşılayabilmesidir. Ayrıca maksimum ivme parametresinden yola çıkılarak depremin frekans içeriği ve süresi hakkında yorumda bulunmak mümkün değildir.

Maksimum hız ve maksimum yer değiştirme parametreleri de yer hareketi genliğinin tanımlanması için kullanılan parametrelerdir. Her iki parametre de farklı durumlarda frekansın yüksek olduğu zamanlarda deprem yer hareketinin davranış biçiminin incelenmesi açısından kullanışlı olabilmektedir.

Depremlerin geniş frekans aralığına yayılan karmaşık yükler meydana getirdikleri bilinmektedir. Frekans içeriği, depremin etkilerinin farklı zaman aralıklarında gösterdikleri değişimlerin gözlenebilmesini sağlar. Maksimum yatay ivme parametresi daha düşük bir deprem gerekli koşullar sağlandığında daha yıkıcı olabilir. Örneğin, mühendislik yapısının doğal periyodu ile yer hareketinin periyodunun çakışması ile ortaya çıkan rezonans olayı esnasında daha büyük maksimum yatay ivmeye sahip bir depreme göre daha yıkıcı etkiler ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeple depremin etkilerinin frekans içeriği parametreleri dikkate alınmadan incelenmesi sağlıklı sonuçlar doğurmaz. Depreme ait farklı parametrelerin frekans içeriğine göre değişimlerinin gözlenebilmesi için farklı spektrum grafikleri kullanılabilir.

Frekans içeriğinin yer hareketine etkisi Fourier spektrumları ve Tepki spektrumları kullanılarak gözlenebilir. Fourier spektrumlarında yer hareketinin frekans içeriği doğrudan verilirken tepki spektrumlarında ise yer hareketine bağlı ivme, hız ve yer değiştirme (spektral ivme, spektral hız ve spektral yer değiştirme) gibi parametreler değişik doğal frekans değerleri için verilir. Özellikle ivme tepki spektrumlarının

mühendislikte yoğun kullanımı yapının doğal periyodunun spektrum üzerindeki konumunu belirleme amaçlıdır. [1]

Genel olarak yer hareketinin süresi, dalganın bir fay boyunca biriken enerjisinin sönümlenmesi için gereken zaman ile ilişkilidir. Yer hareketinin süresi, yapıda meydana gelebilecek hasar için önemli etkiye sahip olabilir. Dinamik etkinin süresi zeminde meydana gelebilecek olan mukavemet kaybı ve boşluk suyu basınçlarının oluşması gibi birçok önemli fiziksel olayın belirleyici etkilerindendir. Kısa süreli bir yer hareketi yüksek genlikli olmasına rağmen bir yapıda oluşacak hasar için yeterli yük oluşturamayabilir. Öte yandan, daha düşük genliğe sahip uzun süreli bir yer hareketi önemli hasara neden olacak kadar yük oluşmasına sebep olabilir. [1]

Birincil önem taşıyan parametrelere (genlik, frekans içeriği, süre) ek olarak yer hareketi karakteristiğinin tanımlanması için önem taşıyan farklı parametreler mevcuttur.

- rms ivmesi, a_{rms}

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt} = \sqrt{\lambda_0} \quad (2.1)$$

Burada, T_d yer hareketinin süresi ve λ_0 ortalama şiddeti temsil etmektedir. Bu parametre büyük, yüksek frekanslı ivmelerden çok fazla etkilenmediğinden ve yer hareketi süresine bağlıdır. Bu sebeple mühendislik amaçlı kullanımı literatürde uygun görülmektedir.

- Arias şiddeti, I_a

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt \quad (2.2)$$

Arias şiddeti, “rms ivmesi” parametresi ile ilişkilidir. Birimi metre/saniye’dir. Tüm yer hareketi süresinin integrali dikkate alınarak elde edildiğinden, sürenin belirlenme yöntemine bağlı değildir.

- Karakteristik şiddet, I_c

$$I_c = a_{rms}^{1.5} T_d^{0.5} \quad (2.3)$$

Karakteristik şiddet, maksimum deformasyon ve histeretik enerjiden kaynaklanan yapısal hasarlar ile ilişkilendirilmektedir.

- Kümülatif mutlak hız, CAV

$$CAV = \int_0^{T_d} |a(t)| dt \quad (2.4)$$

Kümülatif mutlak hız parametresi, yapısal hasar potansiyeli ile ilişkilendirilebilmektedir. Mutlak ivme grafiğinin altında kalan alanı ifade etmektedir.

- Tepki spektrumu şiddeti, SI

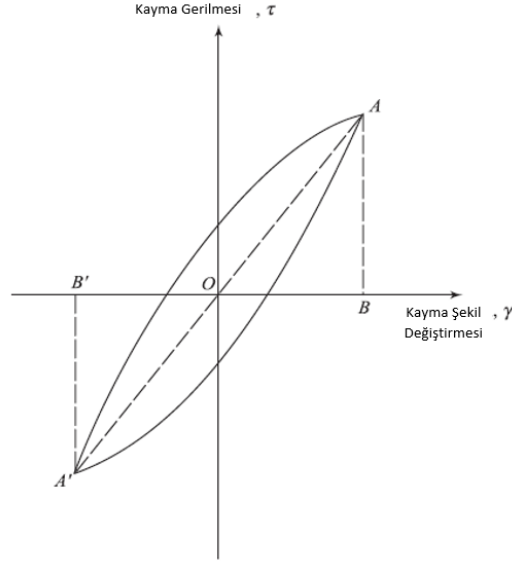
$$SI(\xi) = \int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi, T) dT \quad (2.5)$$

Birçok yapının doğal periyodunun 0.1 ile 2.5 aralığında olması kabulünden yola çıkılarak seçilen herhangi bir sönüm oranı için elde edilebilir bir parametredir.

2.4 Zeminin Dinamik Özellikleri

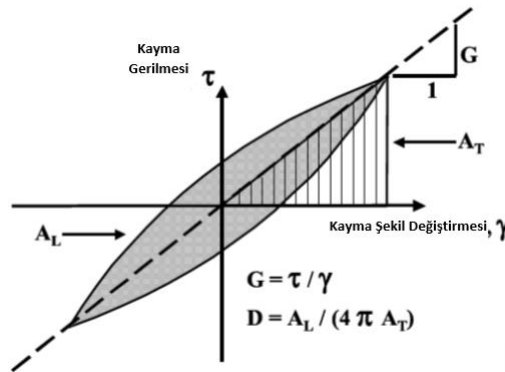
Deprem kaynaklı oluşabilecek hasarların doğası ve dağılımı, jeolojik ortamın tekrarlı yüklemeye tepkisinden büyük ölçüde etkilenir. Bu tepki büyük ölçüde zemin/kaya birimlerin mekanik özellikleri tarafından kontrol edilir. Dinamik yüklemeye maruz kalan zemin/kaya birimin davranışı dinamik zemin özellikleri tarafından domine edilir. Jeolojik ortamların tekrarlı yükler altındaki özellikleri ortamın yükleme öncesinde sahip olduğu özellikler ve yükleme karakteristiklerine bağlı olarak değişir. [2]

Drenajsız durumda zeminde tekrarlı yükler altında mukavemet kaybı, sıvılaşma, yumuşama, aşırı deformasyonlar ve göçme durumları gözlenebilir. Tekrarlı yükler altında zeminin gerilme – şekil değiştirme dağılımları histeresiz çevrimleri şeklindedir. Histeresiz çevriminin iki uç noktasından geçen doğrunun eğimi (Şekil 2.3; A-A') maksimum kayma modülü G_{max} değerini vermektedir. Şekil değiştirme miktarı azaldıkça histeresiz çevrimi gerilme eksenine paralel olmaya yaklaşacak şekilde döner. Bu durumda daha büyük kayma gerilmeleri altında daha az şekil değiştirme görüldüğü durumda kayma rijitliğinin arttığı anlamına gelmektedir. [2]



Şekil 2.3 : Histeresiz çevrimi [2]

Sönüm oranı değerinin bilinmesi dalga yayılımı ve yer hareketi davranışının ve dinamik yüklenmiş jeolojik ortamın davranışının belirlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Tekrarlı yükleme durumunun gerilme – şekil değiştirme ilişkisi yardımı ile sönüm oranı değeri histeresiz çevriminin alanı, orijin ve çevrimin uç noktasından geçen doğrunun altında kalan alan oranı ile elde edilebilir. Kayma modülü ise temelde kayma gerilmesinin şekil değiştirmeye oranı olarak ifade edilebilir. Aşağıda Şekil 2.4'te sönüm oranı (D) ve kayma modülü (G) değerlerinin histeresiz çevrimi üzerinde elde edilişleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Tekrarlı yükleme altında kayma modülü (G) ve sönüm oranının (D) belirlenmesi [3]

Dinamik zemin özellikleri ortalama tekrarlı yüklemenin frekansı, çevrim sayısı, yükleme biçimi ve yükleme doğrultusu, doygunluk derecesi, aşırı konsolidasyon oranı, jeolojik birimin dağılımı, boşluk oranı, efektif jeolojik gerilme gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu parametreler zemin tipi değişikçe farklı etkiler ortaya koyabilmektedir. Örneğin; çevrim sayısı arttıkça kum birimlerde kayma rijitliğinin arttığı bilinirken kil birimlerde ise kayma rijitliği çevrim sayısı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. [1-2]

Zemin dinamiği problemleri genel olarak şekil değiştirme değerinin boyutuna göre farklı irdelenir. Özellikle yüksek şekil değiştirmelerin görüldüğü durumlarda zemin lineer olmayan davranış göstermektedir. Düşük şekil değiştirmelerin görüldüğü durumlarda rijitlik, sönüm oranı, poisson oranı ve yoğunluk parametreleri dalga yayılımını etkilemektedir. Düşük şekil değiştirmelerin görüldüğü durumlara örnek olarak açık deniz zemin davranışı (dalga hareketleri), makine titreşimleri ve kompaksiyon, sıkıştırma gibi imalat işleri örnek verilebilir. Yüksek şekil değiştirmelerin görüldüğü yükleme durumlarına verilebilecek en bilinen örnek ise depremdir. [2]

Dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan arazi ve laboratuvar deneyleri mevcuttur. Laboratuvar deneylerinde sahadan alınan numunenin örselenme derecesi, oluşturulan ideal ortam ve gerilme-şekil değiştirme koşulları yaklaşık olarak sağlanabilmektedir. Pratikte laboratuvar deneylerinin arazide gerçekleştirilen sismik deneyler ile desteklenerek kullanılması yaygın olarak görülmektedir. [2]

Dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesi için kullanımı öne çıkan laboratuvar deneyleri deneyde gözlenen deformasyonların boyutuna göre (şekil değiştirme) küçük orta ve büyük olmak üzere üç başlıkta incelenebilir. Küçük şekil değiştirme düzeylerinde zemin davranışı lineer olarak kabul edilmekte olup gerilme - deformasyon ilişkisi lineer elastik bir model ile ifade edilir. Orta şekil değiştirme düzeylerinde zemin davranışı elastoplastik olup gerilme - deformasyon ilişkisi viskoelastik bir model ile ifade edilir. Büyük şekil değiştirme düzeylerinde ise gerilme – deformasyon ilişkisi zeminin gerilme tarihçesine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu deneylerde zeminin dinamik özellikleri hem deformasyonlara hem de çevrim sayılarına bağlı olarak değişmektedir. Küçük şekil değiştirme düzeyli laboratuvar deneylerine örnek olarak Rezonant Kolon Deneyleri, Ultrasonic Darbe Deneyleri, Eğilme Elemanları ve Eğilme Diskleri Deneyleri verilebilir. Küçük şekil değiştirme

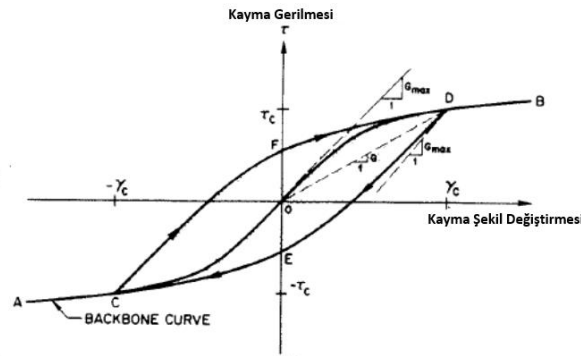
düzeyle laboratuvar deneylerinin ortak amacının maksimum kayma modülünün (G_{max}) tespiti olduğu söylenebilir. Büyük şekil değıştirme düzeyle laboratuvar deneylerine ise Tekrarlı Yükleme Üç Eksenli Basınç Deneyleri, Tekrarlı Yükleme Kesme Deneyleri, Tekrarlı Yükleme Burulma Deneyleri, Sarsma Tablası Deneyleri ve Santrifüj Deneyleri örnek verilebilir. Büyük şekil değıştirme düzeyle laboratuvar deneylerinin ortak amacı ise kayma modülünün (G) dağılımının belirlenmesi olarak kabul edilebilir. [2]

Zeminin dinamik özellikleri için sahada jeofizik temelli deneyler uygulanabilmektedir. Bu deneyler çoğunlukla küçük şekil değıştirme düzeyle deneyler olup uygulama metoduna göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak sahada suni bir yöntem ile yer hareketi yaratarak zeminin göstermiş olduğu davranışın incelenmesi, zemindeki tabakalaşmanın gözlenebilmesi ve çoğunlukla dalga hızlarının ölçülmesi amaçlıdır. Jeofizik saha deneylerine Sismik Kırılma Deneyleri, P-S Loglama Deneyleri, Kalıcı Titreşim (Rayleigh Dalgaları) Deneyleri, Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (SASW), Karşıt Kuyu Deneyleri, Aşağı Kuyu Deneyleri ve Sismik Koni Penetrasyon Deneyleri (SCPT) örnek verilebilir. Ek olarak Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) de tokmağın zemine sabit hızla vurulması suretiyle tekrarlı bir yük oluşturuyor olması sebebiyle büyük şekil değıştirme düzeyle dinamik saha deneyleri sınıfında değerlendirilebileceği söylenebilir. Bu doğrultuda yapılan birçok çalışma yer almakla birlikte kayma dalgası hızı ve SPT darbe sayıları arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade etmek üzerine çokça yaklaşık metot mevcuttur. Bu yaklaşımlardan bazıları örnek olarak kil ve silt birimler için çizelge 2.1’de verilmiş olup kum ve çakıl birimler için de korelasyonlar bulunmaktadır.

Çizelge 2.1 : Kil ve silt birimler için SPT-Vs korelasyonları [3]

Kaynak	Zemin Tipi	SPTN - V_s (m/s) Korelasyonu	N_{60} - V_s (m/s) Korelasyonu
Ohta & Goto (1978)	Kil	$85.6 N^{0.34}$	$82.4 N_{60}^{0.34}$
Ohta & Goto (1978)	Kil	$93.1 N^{0.25}$	$90.6 N_{60}^{0.25}$
Ohta & Goto (1978)	Kil	$134.8 N^{0.25}$	$131.2 N_{60}^{0.25}$
Imai & Tonuchi (1982)	Kil	$98.4 N^{0.25}$	$95.7 N_{60}^{0.25}$
Imai & Tonuchi (1982)	Kil	$107.0 N^{0.27}$	$103.8 N_{60}^{0.27}$
Imai & Tonuchi (1982)	Kil	$128.0 N^{0.26}$	$124.4 N_{60}^{0.26}$
Lee (1992)	Kil	$138.4 (N+1)^{0.24}$	$131.7 (N_{60}+1.2)^{0.24}$
Pitilakis vd. (1999)	Kil	$132.0 N^{0.27}$	$128.1 N_{60}^{0.27}$
Jafari vd. (2002)	Kil	$27.0 N^{0.73}$	$24.9 N_{60}^{0.73}$
Hasncebi & Ulusay (2007)	Kil	$97.9 N^{0.27}$	$95.0 N_{60}^{0.27}$
Jinan (1987)	Silt & Kil	$116.1 (N+0.32)^{0.20}$	$116.1 (N_{60}+0.32)^{0.20}$
Lee (1992)	Silt & Kil	$129.4 (N+1)^{0.26}$	$122.7 (N_{60}+1.2)^{0.26}$
Lee (1992)	Silt	$104.0 (N+1)^{0.33}$	$97.2 (N_{60}+1.2)^{0.33}$
Imai & Tonuchi (1982)	Turba	$63.6 N^{0.45}$	$104.8 N_{60}^{0.45}$
Iyisan (1996)	Tüm Zeminler	$51.5 N^{0.516}$	

Nonlinear (Lineer olmayan) zemin davranışında kayma gerilmeleri ve şekil değiştirmenin histeresiz çevrimi üzerindeki ters orantılı ilişkisi omurga eğrileri ile net bir biçimde görülebilir. Bu davranışın gösterildiği farklı bilimsel çalışmalar mevcut olup Pyke Modeli, Harden ve Drenevich Modeli ve Seed ve Idriss Modeli örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar dikkate alınarak, şekil değiştirme değerlerinin fazla olduğu bölgede kayma modülünün sekantı azalacağı, şekil değiştirme az olduğunda ise artacağı görülmektedir. Şekil 2.5'te tipik bir omurga eğrisi verilmiştir. [4]

**Şekil 2.5 : Omurga eğrisi ve histeresiz çevrimi [4]**

Yaygın olarak uygulanan jeofizik saha deneylerinin çoğunda şekil değiştirmeler 3×10^{-6} değerinden düşük olduğu kabulü ile pratikte maksimum kayma modülü geoteknik literatür ve 2018’de yayınlanmış olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) tarafından kabul görmüş olan denklem 2.6 yardımı ile hesaplanabilir. Yaygın kullanımı düşünülerek özellikle jeofizik saha deneyleri ve ek olarak dinamik laboratuvar deneyleri yardımı ile kayma dalgası hızının doğrudan ölçüldüğü durumlarda bu formül kullanılabilir. Burada ρ zeminin birim hacim kütleini (yoğunluk), v_s ise ölçülen kayma dalgası hızını simgelemektedir. [5]

$$G_{max} = \rho \times v_s^2 \quad [5] \quad (2.6)$$

Kayma dalgası hızının doğrudan ölçüldüğü bir deney mevcut olmadığı durumlarda ise farklı saha ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak maksimum kayma dalgası hızlarının tahmin edilebildiği farklı yöntemler mevcuttur. Bu doğrultuda yapılan birçok bilimsel çalışma mevcut olup ortaya çıkarılmış olan yaklaşık yöntemler genel olarak belirli bir zemin tipi için kullanılabilir olarak Çizelge 2.2’de belirtilmektedir.

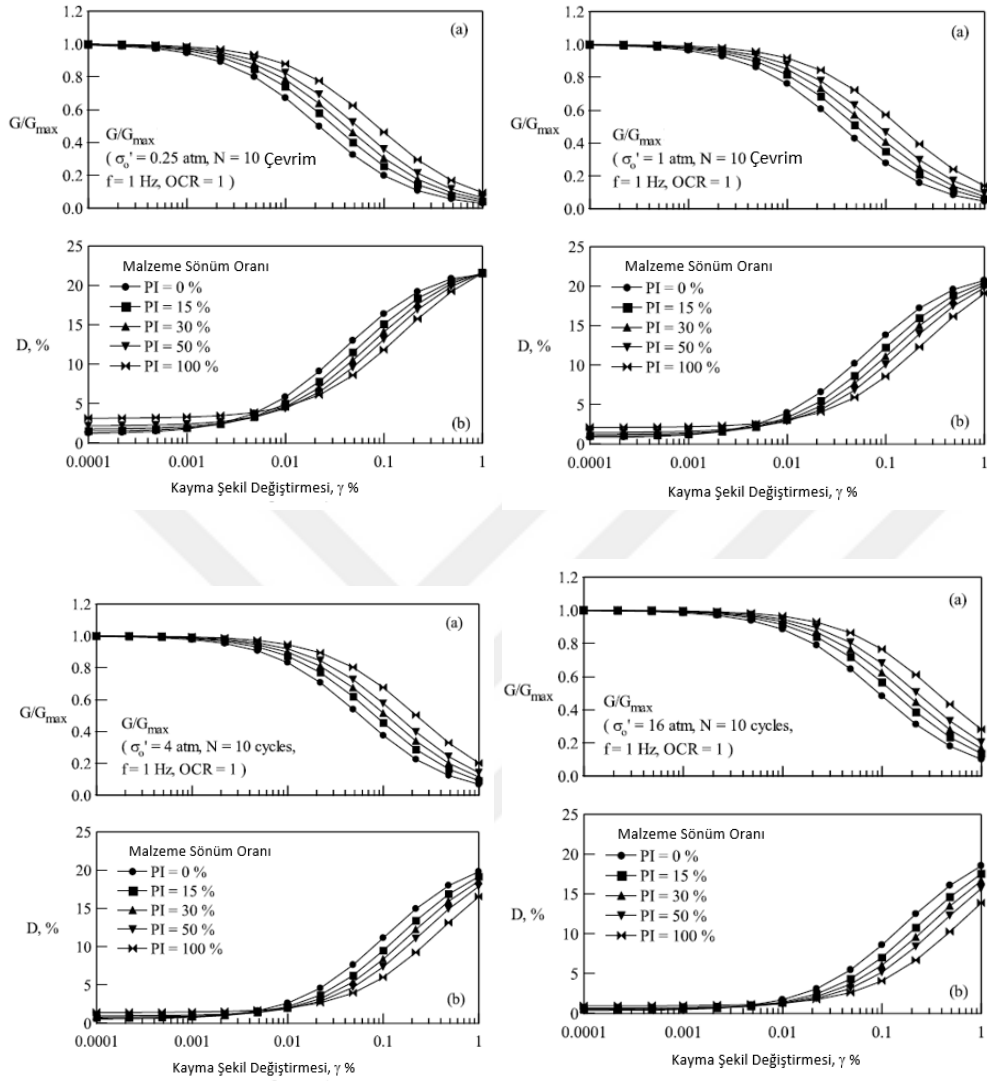
Çizelge 2.2 : Maksimum kayma modülü ve saha deneyleri parametreleri arasındaki ilişkiler [1]

Saha Deneyi	Bağıntı	Zemin Tipi	Referans
SPT	$G_{max} = 20000(N_1)_{60}^{0.333} \sigma'_m{}^{0.5}$	Kum	Ohta&Goto (1976), Seed vd. (1986)
	$G_{max} = 325(N)_{60}^{0.68}$	Kum	Imai and Tonouchi (1982)
CPT	$G_{max} = 1634q_c^{0.250} \sigma'_v{}^{0.375}$	Kuvars Kum	Rix and Stokoe (1991)
	$G_{max} = 406q_c^{0.695} e^{-1.130}$	Kil	Mayne ve Rix (1993)

Kayma modülü (G) ve sönüm oranı (D) parametrelerinin artan şekil değiştirmelere göre ilişkisi laboratuvar deneyleri ile tespit edilebilir. Modül azalım eğrileri ve omurga eğrilerinin ampirik olarak elde edilmesi üzerine çok sayıda araştırma mevcut olup pratik mühendislikte kullanılmaktadır.

Darendeli tarafından 2001 yılında gerçekleştirilen çalışmada farklı çevre basınçlarının modül oranı (G/G_{max}) ve sönüm oranının (D) şekil değiştirmelere göre değişimlerinin incelenmesine ek olarak zeminin plastik özelliğinin etkisi de incelenmiştir. Şekil

2.6’da dört farklı çevre basıncı altında plastisite indisinin modül oranı ve sönüm oranı üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Farklı çevre basınçları etkisi altında plastisite indisinin göre modül oranı (G/G_{max}) ve sönüm oranının (D) şekil değiştirmelere göre değişimi [2]

3. SIVILAŞMA

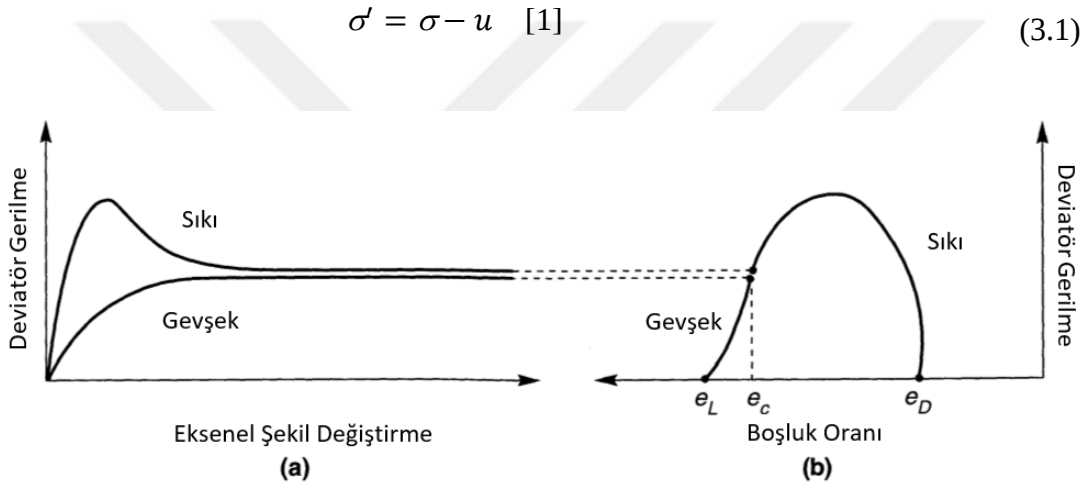
Depremelerin meydana geldiği esnada zemindeki mukavemet ve rijitlik kayıpları sebebiyle yapılarda hasara sebep olabilecek dengesiz hareketlenmeler, çatlakların oluşumu, oturmalar, yıkımlar ve zeminde kaymalar meydana gelebilmektedir. Basit olarak zemindeki boşluk suyu basıncının artışı ile efektif gerilmenin sıfıra yaklaşması sonucu zeminin mukavemet kaybı sıvılaşma olarak tanımlanabilir. Çok sayıda yapılan araştırmalar sonucunda sıvılaşmanın ince – orta dane büyüklüğünde kohezyonsuz zemin davranışı gösterme özelliği baskın birimlerde görülebildiği saptanmıştır. Türkiye’de ve yurt dışında sıvılaşmanın gözlenebildiği ve örnek teşkil eden çok sayıda deprem meydana gelmiştir. 16 Haziran 1964 Niigata, Japonya depremi, 27 Mart 1964 Alaska depremi ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli, Türkiye depremi örnek olarak verilebilir. [1]

3.1 Sıvılaşma Tanımı ve Mekanizması

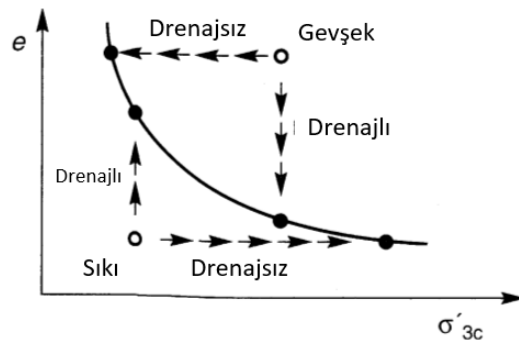
1953 yılında ilk olarak Mogami ve Kubo tarafından ortaya atılmış olan sıvılaşma terimine yönelik ilk çalışmalardan biri Casagrande tarafından 1936 yılında gerçekleştirilmiş, başlangıçta gevşek ve sıkı olacak şekilde iki farklı tipte kum numunesi üzerinde drenajlı koşullarda şekil değiştirme kontrollü üç eksenli basınç deneyleri yapılmış ve kritik boşluk oranı terimi ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada sismik yer hareketleri esnasında oluşması muhtemel kesme kuvvetleri etkisi altında sıkı kumun genleşme eğilimi gösterirken gevşek kumun ise hacimsel azalma eğilimi gösterdiği vurgulanmıştır. Gevşek kum ve sıkı kumun boşluk oranı değerinin dengeye ulaştığı değer kritik boşluk oranı olarak adlandırılmıştır. Drenajlı koşullarda eşit çevre basıncına sahip gevşek kum ve sıkı kumun artan deviator gerilme ($\sigma_1 - \sigma_3$) etkisi altında şekil değiştirme ve boşluk oranı değişimlerini gösteren grafik Şekil 3.1’de verilmiştir. [1]

Yeraltı suyu zemin daneleri arasından geçebilecek bir yol oluşturulamadığı durumda (drene olamadığı durumda) zeminde boşluk suyu basıncı (u) oluşur. Drenajsız koşullarda artan boşluk suyu basıncı zemin daneleri arasındaki sürtünme ilişkisinden kaynaklanan normal gerilmelere (σ) eşit olduğu anda söz konusu derinlikteki efektif gerilme (σ') tamamen kaybolmuş olur yani 0 değerine eşit olur (Denklem 3.1). Kayma mukavemetinin de kaybolduğu bu anda zemin sıvılaşmış olarak kabul edilir. Yalnızca

kritik boşluk oranının sıvılaşma davranışının tanımlanmasına yeterli olmamasının sebebi, kritik boşluk oranının çevre basıncı ile birlikte değişebilen bir değer olması ve dinamik yükler etkisi altında meydana gelen hacimsel değişimin tek doğrultuda statik yükleme koşullarının hakim olduğu laboratuvar deneylerinden farklı olmasıdır. Logaritmik kabul ile artan çevre basıncına göre azalan boşluk oranı eğrisi üzerinde gevşek kum ve sıkı kumun drenajlı ve drenajsız koşullarda gösterdikleri davranış Şekil 3.1’de verilmiştir. Grafikte drenajlı koşullarda kritik boşluk oranı eğrisine ulaşana dek gevşek kumun boşluk oranının azaldığı, sıkı kumun boşluk oranının ise arttığı, drenajsız koşullarda ise her iki sıkılıktaki kumun boşluk oranının değişmediği Şekil 3.2’de görülmektedir. [1]



Şekil 3.1 : Eşit çevre basıncı etkisi altında gevşek kum ve sıkı kumun şekil değiştirme (a) ve boşluk oranı (b) değişimi [1]



Şekil 3.2 : Çevre basıncı – boşluk oranı grafiğinde gevşek kum ve sıkı kumun drenajlı ve drenajsız koşullarda kritik boşluk oranı eğrisine göre davranışı [1]

3.2 Sıvılaşma Türleri

Sıvılaşma mekanizması, akma türü sıvılaşma ve tekrarlı yumuşama olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir. Tekrarlı yumuşama olayı ise tekrarlı hareketlilik ve tekrarlı sıvılaşma olarak iki alt başlıkta incelenebilir. Rölatif sıkılık (D_r %) ve başlangıç gerilme koşulları sıvılaşma türlerinin incelenmesinde önemli rol oynayan zemin parametreleridir. [1]

Akma türü sıvılaşma, yer hareketi başlangıç statik kayma gerilmelerinin zeminin drenajsız durumda rezidüel koşullarda sahip olduğu kayma mukavemetinden büyük olduğu durumda gerçekleşen sıvılaşma türüdür. Akma türü sıvılaşma sebebiyle oluşan büyük deformasyonları etkileyen en önemli faktör statik kayma gerilmeleridir. Bu tür sıvılaşmalarda zeminde yenilme efektif gerilmeler *sıfır* değerine ulaşmadan önce gerçekleşebilmektedir. Akma türü sıvılaşmanın gerçekleşmesi zeminde taşıma gücü kayıpları, heyelan tipi kaymalar ve eğimli arazi hareketlenmeleri gibi problemlere sebep olabilmektedir. [1]

Tekrarlı yumuşama ise yer hareketi başlangıç statik kayma gerilmelerinin zeminin drenajsız durumda rezidüel koşullarda sahip olduğu kayma mukavemetinden küçük olduğu durumda gerçekleşen sıvılaşma türüdür. Tekrarlı yumuşama olayı gevşek veya sıkı kumlarda görülebilmekte ve aşırı deformasyonlara sebep olabilmektedir. Tekrarlı yumuşama kayma gerilmelerin *sıfır* olmadığı durumda tekrarlı hareketlilik, *sıfır* olduğu durumda ise tekrarlı sıvılaşma olarak adlandırılabilir. Tekrarlı yumuşama sonucunda zeminde gözlenebilecek olan yenilme türleri yanal yayılma, geçici veya kalıcı oturmalar – farklı oturmalar ve yüzey deformasyonlarıdır. Yüzey deformasyonlarına örnek olarak kum kaynaması verilebilir. [1]

Akma türü sıvılaşma tekrarlı hareketliliğe göre daha az görülen bir sıvılaşma türü olmakla birlikte daha büyük hasarlara yol açabilecek bir olaydır. Tekrarlı hareketlilik ise akma türü sıvılaşmaya göre daha geniş bir ortamda gerçekleşebilir. Tekrarlı hareketliliğin sebep olabileceği hasarların boyutları az veya çok fazla olabilmektedir. [1]

3.3 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Sıvılaşmaya etki eden birçok faktör mevcuttur. Bu tespitler başta laboratuvar deneyleri olmak üzere yaygın saha deneyleri ile de desteklenmektedir. Aşağıda sıvılaşmaya etki eden başlıca faktörler listelenmiştir. [10]

- Deprem Büyüklüğü ve Süresi
- Zemin Tipi
- Dane Şekli
- Dane Dağılımı
- Yeraltı Suyu Seviyesi
- Drenaj Koşulları
- Çevre Basıncı
- Rölatif Sıkılık
- Çökelme Ortamı
- Yaş ve Çimentolaşma
- Gerilme Geçmişi

3.3.1 Deprem büyüklüğü ve süresi

Sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için zeminde bir yer hareketi meydana gelmesi gerekmektedir. Yer hareketinin ivme ve süre gibi karakteristik özellikleri zeminde sıvılaşma anında görülebilecek olan boşluk suyu basıncı artışını önemli ölçüde etkilemektedir. Zeminde yer hareketine sebep olabilecek patlama, çakma kazık imalatları ve trafik yükleri gibi birçok etkinin varlığına rağmen sıvılaşma olayı için gerekli koşullar çoğunlukla deprem anında oluşmaktadır. Deprem büyüklüğü ve depremin süresi arttıkça zeminin sıvılaşma potansiyeli artar. Geçmişte meydana gelen depremler büyüklüğün artması ile genellikle ivme ve sürenin de arttığını göstermiştir. Ulusal Araştırma Merkezi ve Ishiara tarafından 1985 yılında zeminde sıvılaşma

meydana gelebilmesi için bir yer hareketinin eşik değerleri geçmesi gerektiği öne sürülmüştür. Bu eşik değerleri maksimum yer ivmesi (a_{max}) parametresi için $0.10g$ değeri, deprem büyüklüğü (M_L) için ise 5.0 olarak verilmiştir. Bu eşik değerlerin altında özelliklere sahip koşullarda sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi genel olarak gerekli görülmemektedir. [10]

3.3.2 Zemin cinsi

Sıvılaşmaya duyarlı olan zemin tipleri genel olarak plastik olmayan özellik gösteren kohezyonsuz zeminler olarak tanımlanmaktadır. Sıvılaşabilir zemin tipleri potansiyellerinin büyüklüğüne göre genel olarak temiz kumlar, non plastik siltli kumlar ve non plastik siltler olarak sıralanabilir. Ishiara tarafından 1985 yılında sıvılaşma potansiyeli yüksek zeminler ince-orta dane büyüklüğüne sahip ve düşük ince daneli zemin içeriğine sahip kum zeminler ve yaygın olarak görülmeyecek şekilde çakıl zeminler olarak tanımlanmıştır. Ayrıca Seed ve diğerleri 1982 yılında kohezyonlu zemin davranışına sahip zeminlerin depremler esnasında sıvılaşmayacağını saha ve laboratuvar deneyleri ile destekleyerek öne sürmüştür. İlk olarak Seed ve Idriss tarafından 1982 yılında kohezyonlu zeminlerde sıvılaşma potansiyeli aranması için zemin özelliklerinin aşağıda verilen 3 kriteri sağlaması gerektiği ortaya atılmıştır. Bu kriterleri sağlamayan kohezyonlu zeminlerde sıvılaşma potansiyeli aranmaz fakat yer hareketi etkisi altında kayma mukavemeti kayıpları gözlenebilir. [10]

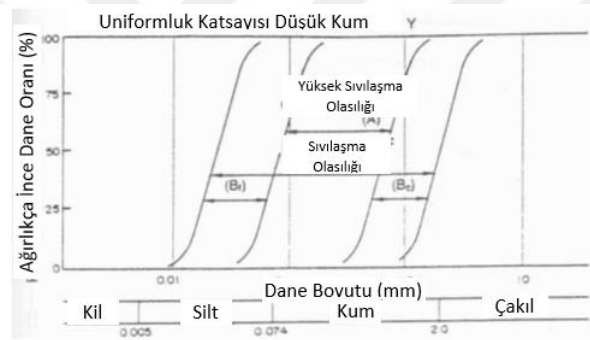
1. Zeminin kuru ağırlığına göre $0.005mm$ 'den küçük danelerin oranı 15% 'ten küçük olmalıdır.
2. Zeminin likit limiti (w_L) 35% 'ten küçük olmalıdır.
3. Zeminin su muhtevası (w) likit limit (w_L) değerinin 0.9 katından daha büyük olmalıdır.

3.3.3 Dane şekli

Zeminlerin dane şekilleri sıvılaşmayı etkileyen faktörlerden biridir. Dane şekli yuvarlak olan zemin türleri dane şekli köşeli olan zemin türlerine göre daha kolay sıkışabilme eğiliminde olduklarından sıvılaşma davranışını gösterebilmeye daha yatkındırlar. [10]

3.3.4 Dane dağılımı

İyi derecelenmiş zeminlerde danelerin arasındaki boşluklarda daha küçük zemin daneleri yer aldığından zemin büzülme davranışını daha az gösterebilecek ve daha az boşluk suyu basıncı oluşmasına sebep olacaktır. Bu sebeple kötü derecelenmiş kohezyonsuz zeminler düzensiz dane dizilişine ulaşma eğiliminde davranış göstermekte ve sıvılaşmaya karşı daha duyarlı özellikte olmaktadır. Kramer tarafından 1996 yılında saha deneylerine dayanarak kötü derecelenmiş zeminlerin sıvılaşmaya karşı daha duyarlı davranış sergilediği ortaya atılmıştır. Port and Harbour Research Institute tarafından 1997 yılında düşük ve yüksek uniformluluk katsayısına (C_u) sahip zemin türleri için ayrı ayrı olmak üzere granülometri eğrileri üzerinde yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip olabilecek aralıklar belirtilmiştir. İlgili eğriler Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te sunulmaktadır. [10]



Şekil 3.3 : Düşük uniformluluk katsayısına (c_u) sahip zemin türleri için sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu granülometri aralıkları [11]



Şekil 3.4 : Yüksek uniformluluk katsayısına (c_u) sahip zemin türleri için sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu granülometri aralıkları [11]

3.3.5 Yeraltı suyu seviyesi

Zeminde sıvılaşma meydana gelebilmesi için zeminin suya doygun olması gerekmektedir. Zeminde yeraltı suyu seviyesinin zemin yüzeyine yakın derinliklerde yer alması zemini sıvılaşmaya daha duyarlı yapacak bir etkiye sebep olmaktadır. Yeraltı suyu seviyesinin zaman içerisinde değişiklik gösterebilmesi zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığının da zamanla değişebileceğini göstermektedir. Bu sebeple sıvılaşma analizlerinde yeraltı suyu seviyesinin doğru tespiti ve değişebildiği aralığın belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. [10]

3.3.6 Drenaj koşulları

Sıvılaşma boşluk suyu basıncının artışına bağlı olarak gerçekleştiğinden zeminin permeabilitesi sıvılaşma potansiyelini etkileyen önemli bir endeks özelliğidir. Zeminin su tutma potansiyeli yeterince yüksek olmadığında ve boşluk suyu basıncı hızlıca sönmüldüğünde sıvılaşma potansiyeli de azalır. [10]

3.3.7 Çevre basıncı

Derinlik ve çevre basıncı arasında doğru orantı bulunduğundan çevre basıncının sıvılaşma potansiyeline etkisi aynı zamanda zeminin yüzeyden itibaren derinliğinin etkisi olarak da değerlendirilebilir. Bununla birlikte çevre basıncının artışına sebep olan yeraltı suyu seviyesinin daha derin seviyelerde yer alması ve zemin yüzeyinde sürşarj yükünün yer alması gibi diğer faktörler de vardır. Çevre basıncı arttıkça zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı azalır. Bunun sebebi çevre basıncının artması ile boşluk suyu basıncı ile arasındaki farkın da giderek artması ve sıvılaşma için gerekli koşulların ortaya çıkma ihtimali için daha büyük yer hareketleri gerekmesidir. Yapılan araştırmalara göre sıvılaşabilir zeminlerin genel olarak zemin yüzeyinden itibaren en fazla 15m – 20m derinliklerine kadar yer aldığı belirtilmekte olsa da bu derinliklerin altında yer alan tabakalar için de detaylı incelemelerin gerekli olduğu durumlar görülebilir. [10]

3.3.8 Rölatif sıklık

Sıvılaşma tanımının ortaya çıkışından günümüze dek yapılan çalışmalarda da görülebileceği gibi zeminin sıklığın az olması sıvılaşma potansiyelinin daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Düşük sıklığa sahip plastik olmayan özellik gösteren

suya doayun zeminlerde yer hareketi etkisi altında aşırı boşluk suyu basınçları oluşabildiğinden bu tür zeminler sıvılaşmaya karşı en duyarlı zeminlerdendir. Sıkılığı yüksek olan zeminler genleşme eğilimlerinden dolayı genel olarak sıvılaşmaya karşı duyarsız olarak düşünölmektedir. Poulos ve diğlerleri tarafından 1985 yılında sıkılığı yüksek olan zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin aranmasına gerek olmadığı ortaya atılmış ve sebep olarak sıvılaşmanın yer hareketi etkisi altında drenajsız koşullarda gerçekleşen bir olay olması ve sıkılığı yüksek zeminlerin drenajsız koşullarda daha yüksek kayma mukavemetine sahip olması gösterilmiştir. [10]

3.3.9 Çökelme ortamı

Yeraltı suyu seviyesinin altında bulunan dolgu zeminler ve göl, nehir, deniz gibi ortamlara yakın konumlarda yer alan doğal zeminler gevşek ve ayrıışmış yapıları nedeniyle sıvılaşmaya karşı daha duyarlı olabilmektedirler. Alüvyon, denizel çökeller ve benzer yapıda formasyonlara ait zeminler sıvılaşmaya karşı daha duyarlı olabilmektedirler. [10]

3.3.10 Yaş ve çimentolaşma

Sıvılaşma potansiyeli zeminin çevre basıncı etkisi altında yer alma süresi ile ters orantılı olarak kabul edilir. Zemin basınç etkisi ile gevşek konumdan ideal sıkı konumuna geçmeye yatkın davranış göstereceğinden jeolojik yaşı arttığında çevre basıncı etkisi ile sıvılaşma duyarlılığı da azalmaktadır. [10]

3.3.11 Gerilme geçmişı

Geçmişinde sismik yer hareketi etkisinde bulunan zeminlerin, daha önce bu etki ile karşılaşmamış olan zeminlere göre diğler tüm ayırt edici özellikleri özdeş olsa dahi daha büyük sıvılaşma direncine sahip oldukları Finn ve diğlerleri tarafından 1970 yılında ve Seed ve diğlerleri tarafından 1975 yılında ortaya atılmıştır. Ayrıca, erozyon gibi zeminde kompaksiyon etkisi yaratabilecek olayların etkisi altında kalan zeminler de daha sıkı konuma geçeceğinden sıvılaşma duyarlılığı azalmaktadır. [10]

3.4 Sıvılaşma analiz yöntemleri

Deprem etkisi altında zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Sıvılaşma potansiyeli irdelemeleri çeşitli dinamik laboratuvar

deneyleri yardımı ile yapılabilirmekte olsa da pratikte sıvılaşabilirlik değerlendirmeleri çoğunlukla saha deneyleri yardımı ile yapılmaktadır. Sıvılaşma analizlerinde en yaygın kullanılan saha deneyi temel çalışma prensibinin dinamik etki olduğu da düşünülebilecek olan Standart Penetrasyon Testidir (SPT). SPT deneyine ek olarak sıvılaşma analizlerinde koni penetrasyon testi (CPT) ve kayma dalgası hızı (V_s) ölçümüne imkan vermekte olan sismik saha deneyleri de kullanılabilir. [10]

Yaygın kullanımda olan sıvılaşma analizi yönteminin genel olarak Seed ve Idriss tarafından 1971 yılında önerilmiş olan basitleştirilmiş yöntemin temellerine dayandığı söylenebilir. Sıvılaşma analizlerinde genel olarak takip edilen prosedür aşağıda verilmektedir. [10]

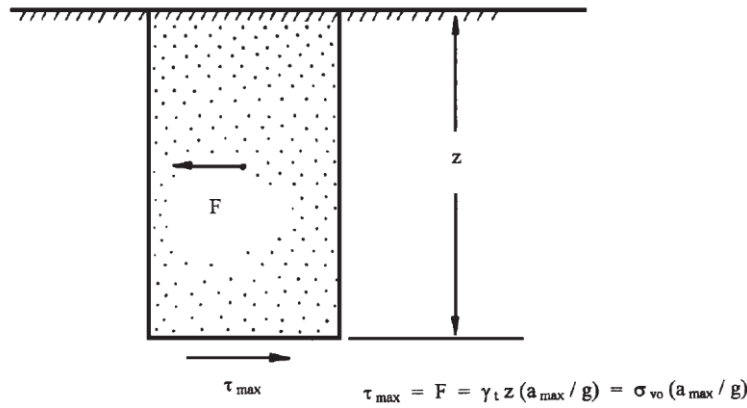
1. Zemin Cinsinin Uygunluğu: Sıvılaşma analizinin ilk adımı zeminde sıvılaşma potansiyelinin aranıp aranmayacağını tespit edilmesidir. Zemin tipinin sıvılaşabilirliğinin ön değerlendirmesi için bölüm 3.3. 'te *Zemin Cinsi* başlığı altında verilmiş olan kriterler baz alınabilir. [10]
2. Yeraltı Suyu Seviyesi: Bir zeminde sıvılaşma potansiyelinin hesaplanması için zeminin yeraltı suyu seviyesinin altında yer alıyor olması veya gelecekte yeraltı suyu seviyesinin altında yer alma ihtimalinin olması gerekmektedir. Zemin ortamında suyun bulunmaması durumunda zeminde sıvılaşma aranmaz. [10]
3. Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR): Eğer zemin yukarıdaki iki kriteri sağlıyorsa basitleştirilmiş yöntem uygulanabilir. Basitleştirilmiş yöntemin ilk adımı deprem kaynaklı tekrarlı gerilme oranının tespit edilmesidir. Tekrarlı gerilme oranına etki eden en önemli faktörlerden biri maksimum yatay yer ivmesidir (a_{max}). Bölüm 3.3.'te *Deprem Büyüklüğü ve Süresi* başlığı altında da bahsedildiği gibi maksimum yatay yer ivmesi (a_{max}) değerinin 0.10g'den ve deprem büyüklüğü (M_L) değerinin 5.0'ten küçük olduğu durumda sıvılaşma analizinin yapılmasına ihtiyaç yoktur. [10]
4. Tekrarlı Direnç Oranı (CRR): Arazide gerçekleştirilen deneylerden elde edilen parametreler kullanılarak zeminin tekrarlı direnç oranı belirlenir. Eğer bir önceki adımda belirlenmiş olan tekrarlı gerilme oranı tekrarlı direnç oranından

daha büyük ise analizde belirtilen deprem koşullarında zeminde sıvılaşma meydana geleceği görülür. [26]

5. Güvenlik Sayısı (FS): Analizin son adımında zeminin sahip olduğu sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı belirlenir. Güvenlik sayısı tekrarlı direnç oranının tekrarlı gerilme oranına bölünmesi ($FS = CRR / CSR$) ile elde edilir. [10]

3.4.1 Tekrarlı gerilme oranı (CSR)

Tekrarlı gerilme oranının hesabı birim genişlik ve uzunlukta eğimsiz yüzeye sahip bir zemin kolonunun yatay yük etkisi altında rijit cisim gibi yatay hareket yapacağı düşünülerek formülize edilmiştir. Zemin kolonunun ağırlığı W , zeminin birim hacim ağırlığı ve yüksekliğinin çarpımına ($W = \gamma_t \times z$) eşit kabul edilmiştir. Tekrarlı Gerilme Oranı hesap kabulleri Şekil 3.5'te gösterilmektedir. [10]



Şekil 3.5 : Tekrarlı gerilme oranı hesap kabulleri [10]

Zemin kolonuna etkiyen yatay kuvvet, F aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$F = ma = \left(\frac{W}{g}\right) a = \frac{\gamma_t z}{g} a_{max} = \sigma_{v0} \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \quad [10] \quad (3.2)$$

Burada F , birim genişlik ve uzunlukta zemin kolonuna etkiyen yatay deprem kuvveti, m , zemin kolonunun kütlesi, W , zemin kolonunun ağırlığı, γ_t , zeminin toplam birim hacim ağırlığı, z , zemin kolonunun yüzeyden itibaren derinliği, a , yatay deprem kuvveti etkisi ile oluşan ivme, a_{max} , yatay deprem kuvveti etkisi ile oluşan maksimum ivme, σ_{v0} , zemin kolonun alt noktasında oluşan toplam gerilme değeridir. [10]

Şekil 3.11’de gösterilen şekilde yatay kuvvetlerin dengesi göz önünde bulundurularak F kuvvetinin maksimum kayma gerilmesine eşit olduğu kabul edilebilir. Her iki tarafın efektif gerilmeye bölünmesi ile birlikte aşağıdaki denklem elde edilir. [10]

$$\tau_{max} = F = \sigma_{v0} \left(\frac{a_{max}}{g} \right); \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{v0}} = \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right) [10] \quad (3.3)$$

Saha koşullarında deprem yatay etkisinin zemin kolonuna etkimesi ile birlikte zemin kolonu rijit davranış göstermeyerek deforme olacağından Seed ve Idriss 1971 yılında derinlik azaltma faktörünü (r_d) önermiştir. Derinlik azaltma faktörü (r_d) ile ilgili detaylı bilgiler bölüm 3.4.2.’de verilmektedir. Bu doğrultuda yukarıda verilen denklem aşağıdaki şekle bürünmektedir.

$$\frac{\tau_{max}}{\sigma'_{v0}} = r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right) [10] \quad (3.4)$$

Basitleştirilmiş yöntemle göre Seed ve diğerleri 1975 yılında tipik düzensiz deprem kaydının maksimum kayma gerilmesinin 65% olacak şekilde uniform gerilme döngüsüne dönüştürülmesini önermişlerdir. Bu kabul ile birlikte tekrarlı kayma gerilmesi için aşağıdaki eşitlik oluşturulabilir. Burada τ_{cyc} , depremin uniform tekrarlı kayma gerilmesi genliği olarak ifade edilebilir. [10]

$$\tau_{cyc} = 0.65 \tau_{max} [26] \quad (3.5)$$

Sonuç olarak tekrarlı gerilme oranı aşağıdaki denklemde verilen şekilde ifade edilebilmektedir. Tekrarlı gerilme oranı (CSR), sismik gerilme oranı (SSR) olarak da ifade edilebilir. [10]

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right) [10] \quad (3.6)$$

3.4.2 Derinlik azaltma faktörü (r_d)

Derinlik azaltma faktörü (r_d) gerilme azaltma katsayısı olarak da bilinmekte olup boyutsuz bir büyüklüktür. Basitleştirilmiş yöntem teorisinin ortaya atılmasından itibaren zaman içerisinde derinlik azaltma faktörü ile ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiş ve farklı yaklaşık yöntemler önerilmiştir.

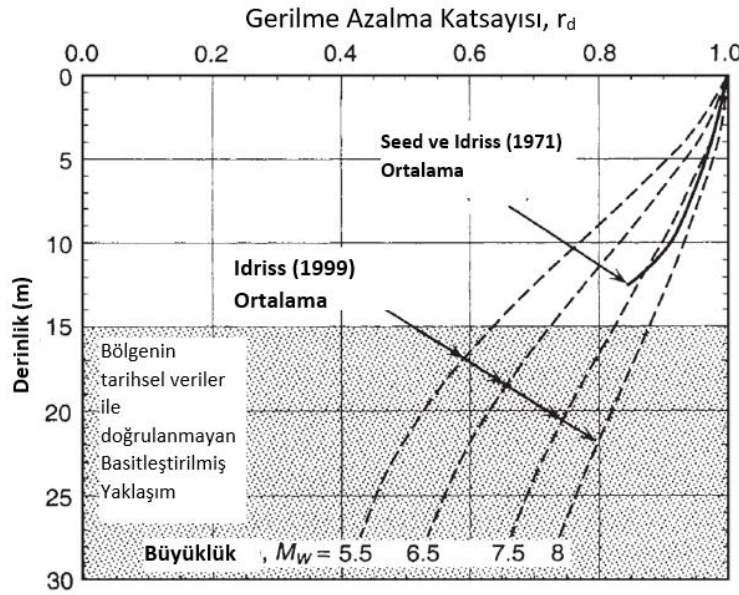
Idriss 1999 yılında Golesorkhi (1989) tarafından gerçekleştirilen çalışmayı genişleterek sıvılaşma değerlendirmeleri prosedürlerinin geliştirilmesi amacıyla derinlik azaltma faktörünün aşağıda verilen şekilde ifade edilebileceğini belirtmiştir.

$$r_d = \alpha(z) + \beta(z) \times M \quad [33] \quad (3.7)$$

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \quad [33] \quad (3.8)$$

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \quad [33] \quad (3.9)$$

Burada z, zemin yüzeyinden itibaren derinliği temsil etmekte olup metre cinsinden ifade edilmektedir. Bu denklemlerin oluşturulması için kullanılan zemin profilleri ve deprem kayıtları Idriss ve Boulanger (2010) tarafından düzenlenmiştir. Şekil 3.6'da derinlik azaltma faktörü değerleri Idriss ve Boulanger tarafından önerilen ve Seed ve Idriss tarafından 1971 yılında önerilen değerler birlikte ifade edilmektedir.



Şekil 3.6 : Derinlik azaltma faktörü (r_d) [13]

Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (NCEER) tarafından 1997 yılında önerilen derinlik azaltma faktörü eşitliği aşağıda verilmiştir. Bu yöntemin

derinlik değerinin 9.15m'den küçük olduğu durumda kullanılabilir olduğu belirtilmektedir.

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \quad ; \quad z \leq 9.15m \quad [14] \quad (3.11)$$

Liao ve Whitman tarafından 1986 yılında önerilen denklemler aşağıda verilmektedir. Burada derinlik azaltma faktörü (r_d) hesap yapılan derinliğin 9.15m'den büyük olması ve 9.15m'den büyük ve 23m'den küçük olması durumu için ayrı ayrı olarak verilmiştir.

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \quad ; \quad z \leq 9.15m \quad (3.16)$$

$$r_d = 1.174 - 0.00267z \quad ; \quad 9.15m < z \leq 23m \quad (3.17)$$

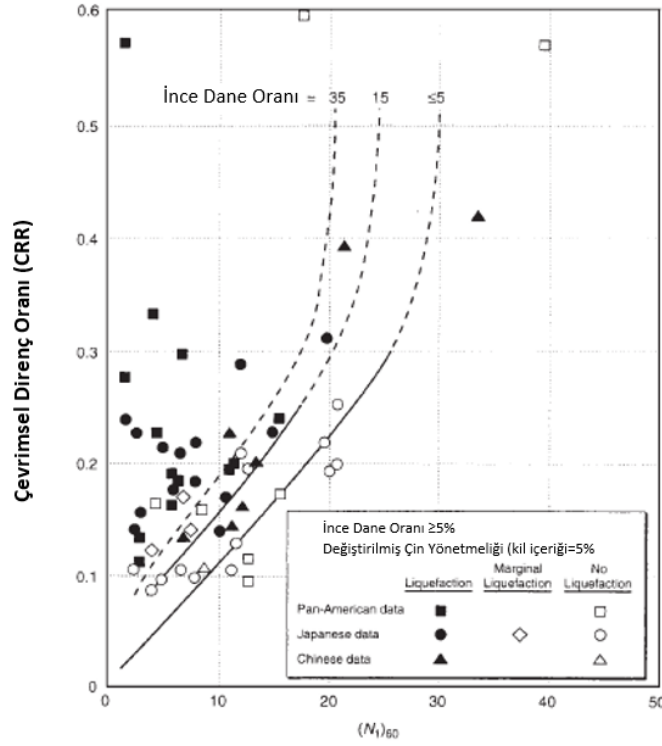
Burada z , derinliği ifade etmekte olup metre birimindedir.

3.4.3 Tekrarlı direnç oranı (CRR)

Tekrarlı direnç oranı (CRR) zeminin sıvılaşmaya karşı gösterdiği direnci temsil etmektedir. Tekrarlı direnç oranı değeri standart penetrasyon deneyi (SPT) ve koni penetrasyon deneyi (CPT) verileri ile ilişkilendirilebilmektedir. SPT ve CPT saha deneyleri ile ölçülen zemin direnci ile sıvılaşma direnci arasındaki ilişkinin genel olarak doğru orantılı olduğu söylenebilir. Sıvılaşmanın tanımında da bahsedildiği üzere iyi derecelenmiş düşey yüke maruz kalmış ve jeolojik geçmişi büyük olan sıkı kum birimler için daha yüksek, uniform dağılımlı gevşek kum birimlerin ise daha düşük SPT N darbe sayısına ulaşılması beklenmektedir.

Seed ve diğerleri 1985 yılında düzeltilmiş SPT (N_1)₆₀ darbe sayıları ve zeminin ince dane içeriğine bağlı olarak tekrarlı direnç oranı değerinin değişimini gösteren bir diyagram sunmuştur. Bu çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının büyük çoğunluğu $M_w=7.5$ büyüklüğündeki depremler olduğundan bu diyagramın $M_w=7.5$

büyükliğündeki tasarım depremi için yapılan analizlerde kullanılması önerilmektedir. İlgili diyagram Şekil 3.7’de verilmektedir. [15]



Şekil 3.7 : SPT $(N_1)_{60}$ ve tekrarlı direnç oranı ilişkisi [15]

Zeminin tekrarlı direnç oranı penetrasyon dirençlerine ek olarak yer hareketinin süresi ve efektif jeolojik gerilmeye de bağlıdır. Yer hareketinin süresi deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (MSF), efektif jeolojik gerilme ise K_σ faktörü ile ifade edilmektedir. Bu yöntemde tekrarlı direnç oranı (CRR) 7.5 büyüklüğündeki deprem ($M_w=7.5$) ve 1 atm büyüklüğündeki efektif jeolojik gerilme koşulları için hesaplanır ve söz konusu MSF ve K_σ faktörleri ile çarpılması sonucu elde edilmektedir. Ek olarak eğimli zemin yüzeyleri için kullanılan düzeltme faktörü de K_σ olarak sembolize edilmekte olup gerekli durumlarda kullanılmaktadır. [10]

$$CRR_{M,\sigma',v} = CRR_{M=7.5,\sigma',v=1atm} \times MSF \times K_\sigma \times K_\alpha \quad (3.18)$$

Büyüklüğü 7.5 olan deprem ($M_w=7.5$) ve 1 atm büyüklüğündeki efektif jeolojik gerilme koşulları için tekrarlı gerilme oranı ($CRR_{M=7.5,\sigma',v=1atm}$) ise zeminin

penetrasyon direnci ve zeminin ince dane içeriğine bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilebilmektedir.

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_{v1}} = f[q_{c1N}, FC] ; q_{c1NCS} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} ; CRR_{M=7.5, \sigma'_{v1}} = f[q_{c1NCS}] \quad (3.19)$$

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_{v1}} = f[(N_1)_{60}, FC]; (N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}; CRR_{M=7.5, \sigma'_{v1}} = f[(N_1)_{60CS}] \quad (3.20)$$

Sıvılaşma direncinin koni penetrasyon deneyi (CPT) karakteristikleri kullanılarak elde edilmesi için eşdeğer temiz kum koni penetrasyon direnci (q_{c1NCS}) kullanılabilir. Idriss ve Boulanger 2014 yılında tekrarlı direnç oranı (CRR) $M=7.5$ ve $\sigma'_v=1\text{atm}$ için aşağıda verilen korelasyon yardımı ile elde edilebileceğini öne sürmüştür.

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_{v1}} = \exp\left(\frac{q_{c1NCS}}{113} + \left(\frac{q_{c1NCS}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1NCS}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1NCS}}{137}\right)^4 - 2.80\right) \quad (3.21)$$

İnce dane içeriğine bağlı olarak penetrasyon direnci üzerinde yapılacak olan düzeltmeler Idriss ve Boulanger tarafından 2014 yılında aşağıdaki formüller ile verilmiştir.

$$\Delta q_{c1N} = \left(11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6}\right) \exp\left(1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left(\frac{15.7}{FC + 2}\right)^2\right) \quad (3.22)$$

$$\Delta(N)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right) \quad (3.23)$$

$M_w=7.5$ büyüklüğündeki deprem ve $100kPa$ büyüklüğündeki düşey efektif gerilme koşulları için verilen tekrarlı direnç oranı Idriss ve Boulanger tarafından 2014 yılında SPT ve CPT deney sonuçları için ayrı ayrı kullanılabilir olarak verilen aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanabilir.

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1\text{atm}} = \exp\left(\frac{q_{c1NCS}}{113} + \left(\frac{q_{c1NCS}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1NCS}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1NCS}}{137}\right)^4 - 2.80\right) \quad (3.24)$$

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1\text{atm}} = \exp\left(\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4}\right)^4 - 2.80\right) \quad (3.25)$$

3.4.4 Deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (MSF)

Büyüklik ölçekleme faktörü, sıvılaşma analizi için kullanılan deprem büyüklüğü $M_w=7.5$ değil ise tekrarlı direnç oranı hesaplanırken deprem büyüklüğü için kullanılan bir düzeltme faktörüdür.

Maksimum deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı eşdeğer temiz kum koni penetrasyon direnci (q_{c1Ncs}) değerine bağlı olarak aşağıda verilen formül ile elde edilebileceği Idriss ve Boulanger tarafından 2014 yılında önerilmiştir.

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{180}\right)^3 \leq 2.2 \quad (3.26)$$

Deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı ise maksimum düzeltme katsayısı ve söz konusu depremin büyüklüğüne bağlı olarak Idriss ve Boulanger tarafından 2014 yılında önerilen aşağıda verilen formül yardımı ile elde edilebilir.

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \left(8.64 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 1.325\right) \quad (3.27)$$

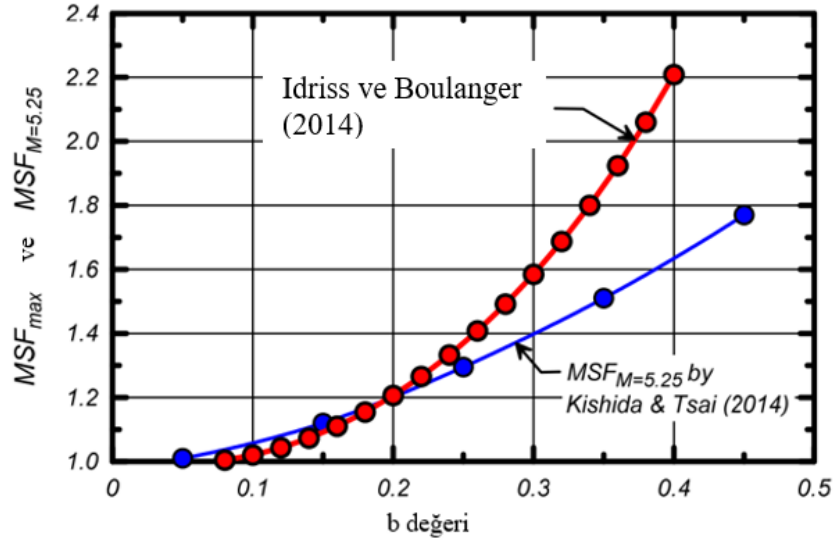
Deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısına kullanılarak $M=7.5$ 'ten farklı deprem büyüklükleri için tekrarlı gerilme oranı değeri düzeltilebilir.

$$CSR_{N_c, \sigma'v=100} = CRR_{M=7.5, \sigma'v=100} MSF \quad (3.28)$$

$N_{M=7.5}$, $M=7.5$ büyüklüğündeki deprem için standart çevrim sayısı, deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı ve b değerine bağlı olarak Idriss ve Boulanger tarafından 2014 yılında önerilen aşağıdaki formül yardımı ile düzeltilebilir.

$$MSF = \frac{CSR_M}{CSR_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M}\right)^b \quad (3.29)$$

Idriss ve Boulanger 2014 yılında “ b ” değerinin Şekil 3.8’de verilen ilişki yardımı ile belirlenebileceğini belirtmiştir.



Şekil 3.8 : MSF_{max} – b değeri ilişkisi [31]

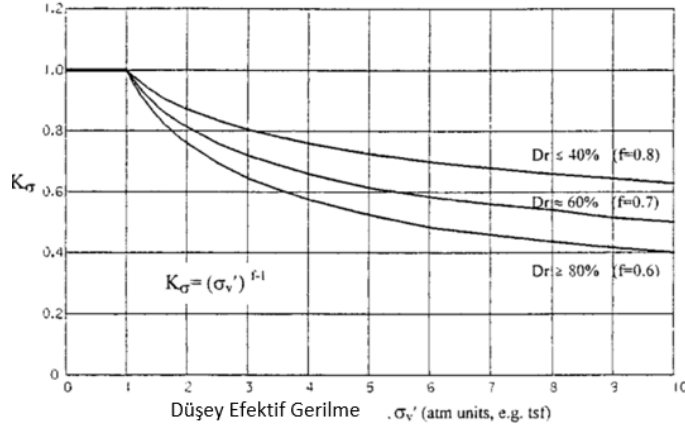
3.4.5 Jeolojik gerilme düzeltme faktörü (K_σ)

Zeminin sıvılaşma direnci ve zemine etkiyen çevre basıncı arasındaki doğru orantı tekrarlı direnç oranı hesaplanırken jeolojik gerilme düzeltme faktörü (K_σ) yardımı ile dikkate alınabilmektedir. Bu kapsamda jeolojik gerilme düzeltme faktörünün belirlenmesi konusunda farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

K_σ parametresi Hynes ve Olsen tarafından 1999 yılında çevre basıncına ek olarak atmosferik basınç (p_a) ve rölatif sıklık (Dr %) ile de ilişkilendirilerek aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right)^{(f-1)}; f = 0.7 - 0.8, 40\% \leq Dr\% \leq 60\%; f = 0.6 - 0.7, 60\% \leq Dr\% \leq 80\% \quad (3.30)$$

Burada f zeminin mevcut koşullarına bağlı olarak değişen bir parametre olup aşağıda Şekil 3.9'da verilen grafik yardımı ile temiz kum, siltli kum ve çakıl birimler için seçilebilir.



Şekil 3.9 : K_{σ} parametresi hesabı için önerilen f eğrileri [13]

Jeolojik gerilme düzeltme faktörü (K_{σ}) hesabı için Idriss ve Boulanger tarafından 2008 yılında aşağıda verilen yöntem önerilmiştir. Bu yöntem daha önce 2004 yılında verilen yöntem ile aynı olup maksimum K_{σ} değeri artırılmıştır.

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \ln \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) \leq 1.1 ; C_{\sigma} = \frac{1}{(37.3 - 8.27(q_{c1Ncs})^{0.264})} \leq 0.3 \quad (3.31)$$

3.4.6 Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı

Sıvılaşma analizinin son adımı zeminin sıvılaşmaya karşı güvenliğinin belirlenmesidir. Eğer tekrarlı gerilme oranı (CSR) tekrarlı direnç oranı (CRR) değerinden daha büyük ise zeminde sıvılaşma potansiyelinin mevcut olduğu söylenebilir. Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı aşağıda verilen formül yardımı ile elde edilebilir.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (3.32)$$

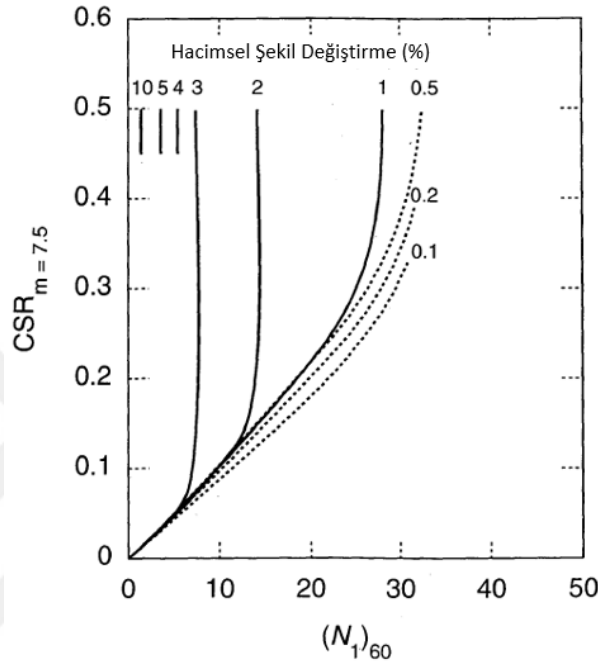
Hesaplanan sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı ne kadar büyükse zeminin sıvılaşmaya karşı göstereceği direnç o kadar büyük olur. Güvenlik sayısının 1.0 den az farkla büyük olduğu durumlarda da zeminde sıvılaşma görülebilir. [10]

3.4.7 Sıvılaşmaya bağlı oturmalar

Yer hareketi sonrasında zeminde görülen sıkılaşma eğiliminden kaynaklanan sıvılaşma oturmalarında zeminin sıkılığı, zemine etkiyen maksimum kayma gerilmesi ve yer hareketi etkisiyle oluşan aşırı boşluk suyu basınçları etkilidir. Laboratuvar

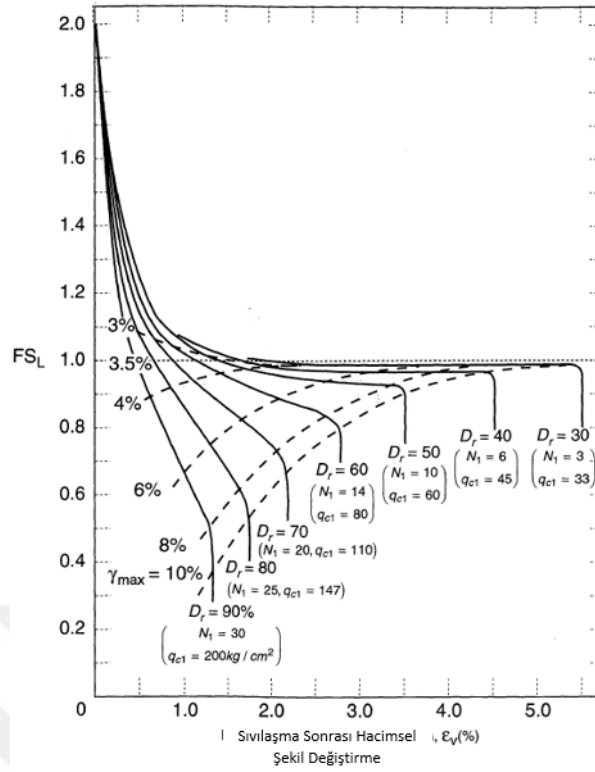
deneyleri sıvılaşma sonrası hacimsel şekil değiştirme değerlerinin rölatif sıkılık ve maksimum kayma gerilmelerine bağlı olduğunu göstermektedir [1]

Tokimatsu ve Seed 1987 yılında aşağıda Şekil 3.21’de sunulan düzeltilmiş SPT darbe sayısı ve $M=7.5$ büyüklüğündeki deprem için hesaplanan tekrarlı kayma gerilmeleri arasındaki ilişki ile hacimsel şekil değiştirmelerin değişimini göstermiştir.



Şekil 3.10 : Hacimsel şekil değiştirme değerlerinin $CSR_m=7.5$ ve $(N_1)_{60}$ değişimlerine göre ilişkisi [19]

Ishihara ve Yoshimine 1992 yılında sıvılaşma güvenlik sayısı ile rölatif sıkılık, SPT darbe sayısı, CPT uç mukavemeti (kg/cm^2) arasındaki ilişki yardımı ile hacimsel şekil değiştirmelerin elde edilebileceği bir yöntem önermişlerdir. İlgili yöntem Şekil 3.11’de sunulmaktadır.



Şekil 3.11 : Hacimsel şekil değiştirme değerlerinin FS ve $Dr(\%)$, N ve q_{c1} değişimlerine göre ilişkisi [18]

Elde edilen hacimsel şekil değiştirmelerin integrasyonu ile sıvılaşma sonrası oturma miktarı tahmini olarak elde edilebilir.

$$\int_0^z \epsilon_v(\%) dz \quad (3.33)$$

4. SIVILAŞMANIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İRDELENMESİ

Sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method, FEM) geoteknik mühendisliğinde temeller, derin kazılar, şevler, dolgular, barajlar, dayanma yapıları, tüneller gibi farklı mühendislik yapıların zemin ile aralarındaki gerilme-şekil değiştirme ilişkileri, stabilite durumları, yeraltı suyu hareketi problemleri ve dinamik durum davranışlarının incelenebilmesi için kullanılan çok sayıda mevcut olan nümerik analiz yöntemlerinden biridir. Sonlu elemanlar yöntemi haricindeki diğer nümerik analiz yöntemlerine sonlu farklar, ayırık elemanlar ve nokta metotları örnek gösterilebilir. Sonlu elemanlar yöntemi mühendislik tasarım prosedürlerinde özellikle karmaşık ilişkilerin mevcut olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. [20]

Sonlu elemanlar yönteminde;

- Ortam/Malzeme sürekli olarak kabul edilir.
- Diferansiyel denklemlerle ifade edilen mühendislik problemlerinin çözümü nümerik olarak gerçekleştirilir.
- Sürekli ortam küçük elemanlara bölünür, elemanların düğüm noktaları vardır.
- Diferansiyel denklemler bir eleman için yazılır ve integrasyon ile sistem denklemleri elde edilir.
- Her bir düğüm noktasında belli sayıda serbestlik derecesi vardır.

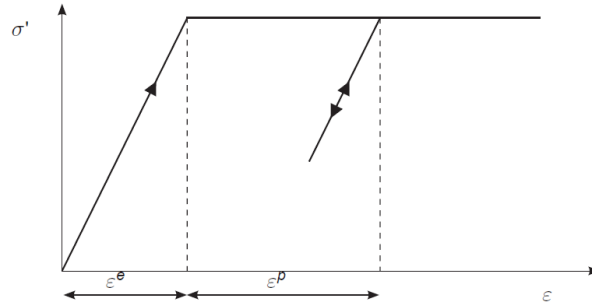
4.1 Malzeme Modellerinin Tanımı

Zemin veya kaya ortamlarının mekanik olarak modellenmesi farklı doğruluk derecelerinde gerçekleştirilebilir. Örneğin Hooke kanunu gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin modellenmesi için kullanılabilecek en basit yöntemlerden biri olarak düşünülebilir. Bu yöntemde malzemenin elastisite modülü (E) ve poisson oranı (ν) girdileri kullanılır. Zemin/kaya ortamların heterojen, üç fazlı (hava, su ve dane), anizotrop, elastik olmayan (elasto-plastik), kısa ve uzun dönem davranış farkları (drenajlı-drenajsız) göz önüne alındığında modellemenin malzemeye ait daha fazla özelliğin göz önüne alınması ile gerçekleştirilmesi doğruluk derecesini arttıracaktır.

Bu bölümde PLAXIS sonlu elemanlar yazılımı içerisinde bulunan farklı malzeme modellerinden bazıları tanıtılacaktır.

4.1.1 Mohr-Coulomb modeli

Mohr Coulomb modelinde malzeme lineer elastik – mükemmel plastik olarak tanımlanır. Bu modelde malzemenin mükemmel plastik davranışı Mohr Coulomb yenilme kriterlerine uygun olarak davranış göstermektedir. Elde edilen şekil değiştirmeler genel olarak elastik ve plastik şekil değiştirmelerin toplamı olarak ifade edilmektedir. Mohr Coulomb modeli gerilme şekil değiştirme ilişkisi aşağıda Şekil 4.1’de verilmektedir. [20]

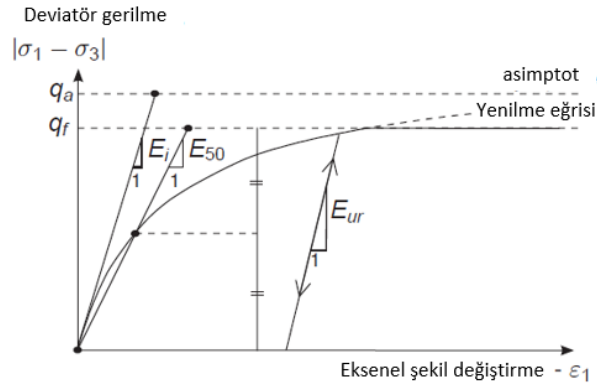


Şekil 4.1 : Lineer elastik mükemmel plastik (MC) malzeme gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [20]

Mohr Coulomb zemin modelinde kullanılan beş adet zemin parametresi mevcuttur. Bunlar, elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), kohezyon (c), kayma mukavemeti açısı (φ) ve dilatasyon açısıdır (ψ). [20]

4.1.2 Pekleşen zemin modeli (Hardening soil model)

Pekleşen zemin Mohr Coulomb yenilme kriterleri ile birlikte zeminin deformasyon etkisi ile değişen rijitliğinin göz önüne alınabildiği gelişmiş bir zemin modelidir. Pekleşen zemin modelinde elastisite teorisi yerine plastisite teorisi kullanılmaktadır. Elastik mükemmel plastik modele göre en önemli farkı akma yüzeyinin meydana gelen plastik deformasyonlar dikkate alınarak değişebilmesidir. Aşağıda Şekil 4.2’de pekleşen zemin modelinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi gösterilmektedir. [20]

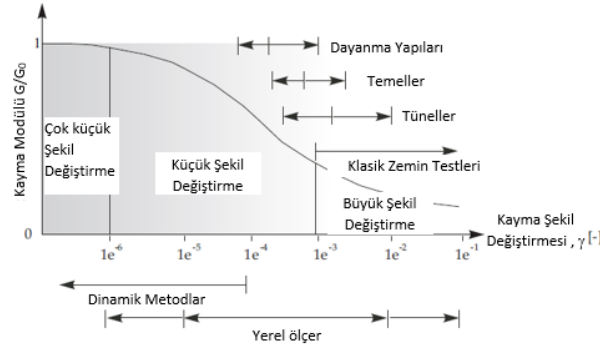


Şekil 4.2 : Pekleşen zemin (HS) gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [20]

Pekleşen zemin modelinde rijitlik tanımlaması haricinde Mohr Coulomb zemin modeli ile aynı parametreler kullanılmaktadır. Zemin rijitliği için üç farklı durumu temsil eden elastisite modülleri ve gerilme-rijitlik katsayısı kullanılmaktadır. Elastisite modülleri, plastik şekil değiştirmelere göre deviator gerilme etkisi altında zemin rijitliği (E_{50}), plastik şekil değiştirmelere göre sıkışma etkisi altında zemin rijitliği (E_{oed}) ve elastik kabul edilen tekrar yükleme / boşaltma etkisi altında zemin rijitliğidir (E_{ur}). [20]

4.1.3 Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modeli (The Hardening soil model with small-strain stiffness)

Pekleşen zemin modeli Şekil 4.2’de de gösterildiği gibi yük boşaltma ve tekrar yükleme esnasında zemini elastik davranış gösteren bir malzeme olarak kabul etmektedir. Ancak kayma modülü oranı şekil değiştirme ilişkisi incelendiğinde zeminin elastik malzemeye yakın davranış gösterdiği durum yalnızca şekil değiştirmelerin çok düşük olduğu durumdur. Şekil değiştirmeler arttıkça non-lineer davranış gösterme eğilimi de artmaktadır. Aşağıda şekil 4.3’te zeminin rijitlik-şekil değiştirme davranışı gösterilmektedir. [20]



Şekil 4.3 : Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin (HSsmall) rijitlik-şekil değiştirme ilişkisi [20]

Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modelinde (HSsmall) pekleşen zemin modeli parametrelerine ek olarak 2 parametre daha kullanılmaktadır. Bu iki parametre başlangıç veya çok küçük şekil değiştirmeler için verilen kayma modülü (G_0) ve sekant modülünün (G_{sec}) başlangıç kayma modülünün (G_0) 70%'ine eşit olduğu durumdaki şekil değiştirme değeridir ($\gamma_{0.7}$). [20]

4.1.4 PM4SAND zemin modeli

PM4SAND kum birimlerin dinamik yükler etkisi altındaki davranışının boşluk suyu basıncı oluşumu, sıvılaşma durumu ve sıvılaşma sonrası durumu da dâhil olmak üzere modellenmesi için kullanılan bir zemin modelidir. Sahada gerçekleştirilen zemin araştırma yöntemleri yardımı ile elde edilen parametreler (D_R , SPT, CPT, V_s) kullanılarak bu zemin modelini oluşturmak için gerekli tanımlamalar yapılabilmektedir. Bu model ile ilgili yapılan ilk çalışmalar Dafalias ve Manzari'ye ait olup 2004 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma baz alınarak araştırmalar devam ettirilmiş olup geoteknik deprem mühendisliği uygulamalarına uyumlu olarak çalışabilecek gerilme – şekil değiştirme ilişkisinin gerçeğe yakın olarak modellenebileceği bir zemin modeli oluşturulmuştur. PM4SAND zemin modeli geliştirmeleri Boulanger tarafından 2010 yılında başlamış olup Boulanger ve Ziotopoulou tarafından 2017 yılına kadar uzanmaktadır. [21]

PM4SAND zemin modelinde zemin tanımlaması için kullanılan 13 adet parametre bulunmaktadır. Bu parametreler model doğrulaması için önem derecelerine göre 4'ü birincil parametre, 9'u ikincil parametre olacak şekilde iki ayrı gruba ayrılmıştır. İlgili parametreler açıklamaları ile birlikte aşağıda listelenmiştir. [21]

Birincil Parametreler

- D_R , Rölatif Sıklık (-)

Rölatif Sıklık parametresi dilatasyon ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanmasında önemli rol oynar. Rölatif sıklık değeri doğrudan deneyler yardımı ile elde edilebileceği gibi yaklaşık olarak arazi deney sonuçları kullanılarak da seçilebilir. Bu konuda geoteknik literatürde yapılan çok sayıda araştırma mevcut olup sıklıkla kullanılan ve sıvılaşma tabanlı analizler için PM4SAND zemin modeli ile birlikte kullanılması önerilen korelasyonlar aşağıda standart penetrasyon deneyi (SPT) ve koni penetrasyon deneyi (CPT) için verilmiştir. [22]

$$D_R = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{c_d}} \quad D_R = 0.465 x \left(\frac{q_{c1N}}{c_{dq}}\right)^{0.264} - 1.063 \quad (4.11)$$

Yukarıda verilen denklemlerde yer alan c_d ve c_{dq} katsayıları Idriss ve Boulanger tarafından 2008 yılında sırası ile 46 ve 0.9 olarak önerilmiştir. Bu yaklaşık yöntemler 2017 yılında Boulanger ve Ziotopoulou tarafından da önerilmekte olup laboratuvar deneylerine kıyasla yerinde alınan direnç değerleri yardımı ile elde edildiğinden tercih sebebi olması gerektiği vurgulanmıştır. [22]

- G_0 , Başlangıç Kayma Modülü (-)

Kayma modülü katsayısı elastik durumda küçük şekil değiştirmeleri için tanımlanan kayma modülünün tanımlanmasında rol oynar. Kayma modülü katsayısı ve kayma modülü arasındaki ilişki aşağıda verilmektedir.

$$G = G_0 x p_A x \sqrt{\frac{p}{p_A}} \quad (4.12)$$

$$G = \rho(V_s)^2 \quad (4.13)$$

Sahada gerçekleştirilen ölçümler veya arazi deneyi korelasyonları yardımı ile elde edilen S dalgası hızı değeri (V_s) ve zeminin birim hacim kütlesi ($\rho=\gamma/g$) kullanılarak kayma modülü katsayısı (G_0) değeri kalibre edilir. Boulanger ve Ziotopoulou tarafından 2017 yılında kayma dalgası hızı (V_s) ve düzeltilmiş SPT darbe sayıları arasındaki ilişkinin aşağıda verilen Andrus ve Stokoe tarafından 2000 yılında sunulan korelasyon kullanılarak ifade edilmesi önerilmiştir. [22]

$$V_{s1} = 85[(N_1)_{60} + 2.5]^{0.25} \quad (4.14)$$

Bu yaklaşım ile birlikte ortalama baz alınan sıklıklar göz önüne alınarak kayma modülü katsayısı için aşağıdaki ilişki sunulmuştur.

$$G_0 = 167\sqrt{(N_1)_{60} + 2.5} \quad (4.15)$$

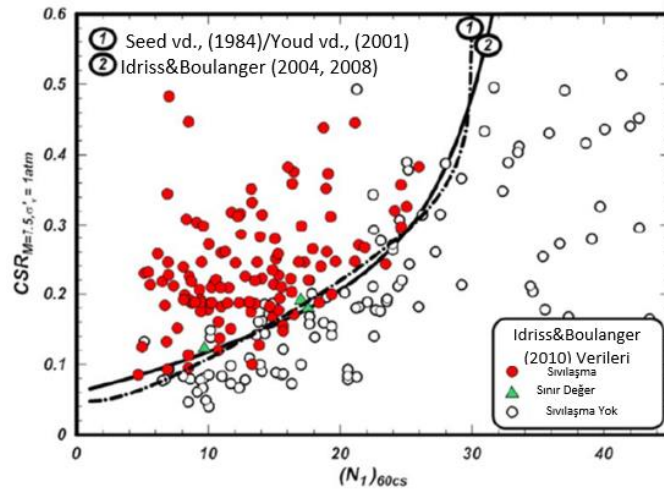
- *hp₀, Büzülme Oranı (-)*

Büzülme oranı parametresi zeminin boşluk oranı değişiminin simgelenmesinde ve tekrarlı kayma direnci (CRR) değerinin belirlenmesinde rol oynar. Büzülme oranı parametresinin doğrulaması için tekrarlı yüklemeli kesme deneyi (cyclic direct shear test) gerçekleştirilebilir veya yardımcı yazılımlar kullanılarak (Örn: Plaxis Soil Test) simüle edilebilir. [22]

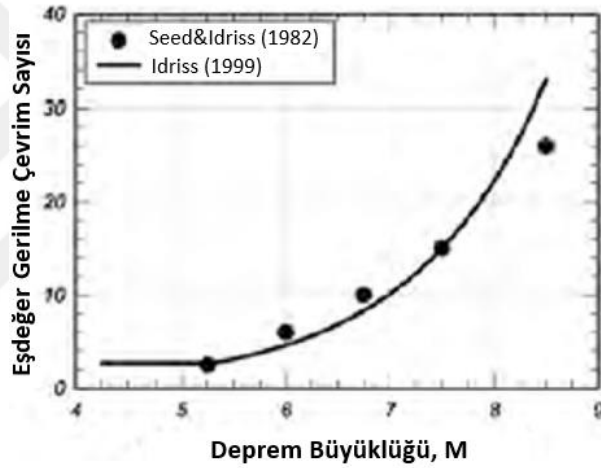
Laboratuvar deneyi kullanılmadan büzülme oranı parametresinin kalibre edilmesi için Boulanger ve Ziotopoulou 2017 yılında Idriss ve Boulanger tarafından 2010 yılında verilen (Şekil 4.4) düzeltilmiş SPT darbe sayısı ve $\sigma_v=100 \text{ kPa}$ çevre basıncı ve $M=7.5$ büyüklüğündeki deprem koşullarındaki tekrarlı direnç oranı ($\text{CRR}_{\sigma_v=1\text{atm}, M=7.5}$) ilişkisinin kullanılabileceğini önermiştir. Bu tekrarlı direnç oranına karşılık gelen çevrim sayısı değerine ulaşabilmek için Idriss ve Boulanger tarafından 2008 yılında verilen farklı deprem büyüklükleri için pik gerilmenin 65%'ine denk gelen uniform çevrim sayısı ilişkisi (Şekil 4.5) kullanılabilir. Bu yaklaşımda $M=7.5$ büyüklüğündeki deprem için uniform çevrim sayısı değeri $N=15$ olarak kabul edilebilmekte olup pik kayma gerilmesinin 3%'üne denk gelmektedir. $M=7.5$ tan farklı büyüklüğe sahip diğer tasarım depremleri için yine Şekil 4.5'te verilen yaklaşım kullanılabilir veya aşağıda verilen formül uygulanabilir. [22]

$$MSF = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M}\right)^b \quad (4.16)$$

Burada MSF, deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı, $N_{M=7.5}$, $M=7.5$ büyüklüğündeki deprem için uniform çevrim sayısı, N_M , tasarım depremi için uniform çevrim sayısı, b , tekrarlı gerilme oranı-çevrim sayısı (CRR-N) eğrisinin eğimini simgelemektedir. b değeri kumlar için 0.34 olarak verilmektedir. [22]



Şekil 4.4 : Düzeltilmiş SPT darbe sayısı $(N_1)_{60cs}$ ve $\sigma_v=100$ kPa çevre basıncı ve $M=7.5$ büyüklüğündeki deprem koşullarındaki tekrarlı direnç oranı ($CRR_{\sigma_v=1 \text{ atm}, M=7.5}$) ilişkisi [23]



Şekil 4.5 : Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin (hssmall) rijitlik-şekil değiştirme ilişkisi [24]

Büzülme oranı parametresi (hp_0) diğerlerinin seçimine göre farklı değerler alabileceğinden PM4SAND parametreleri arasında en son kalibre edilmesi gereken parametre olarak belirtilmektedir. [22]

- p_A , Atmosferik Basınç (kPa)

Atmosferik basınç (p_A) parametresi çevre koşullarının tanımlanmasında rol oynamakta olup önerilen değeri ile 101.3 kPa olarak belirlenebilir.

İkincil Parametreler

- e_{max} ve e_{min} , *Maksimum ve Minimum Boşluk Oranı (-)*

Maksimum ve minimum boşluk oranı değerleri kritik durum rölatif sıkılık ($D_{R,cs}$) ve mevcut durum rölatif sıkılığın (D_R) farkı olarak tanımlanan rölatif durum indeksinin hesaplanmasında rol oynamaktadır. Bu parametrelerin bilinmediği durumlar için Boulanger ve Ziotopoulou 2017 yılında maksimum ve minimum boşluk oranının sırası ile $e_{max}=0.8$ ve $e_{min}=0.5$ olarak kabul edilebileceğini önermiştir. [22]

- n^b , *Sınır Yüzey Parametresi (-)*

Sınır yüzey parametresi rölatif durum indeksine bağlı olarak kritik durumdaki sınır yüzeyinin belirlenmesinde rol oynar. Ek olarak bu parametre ile zemindeki dilatasyon ve pik sürtünme açısı tanımlanır. Sınır yüzey parametresi (n^b) için önerilen değer 0.5 tir. Sınır gerilme oranının (M_b) kritik durumun altında olduğu durumlarda sınır yüzey parametresi $n_b/4$ olarak kullanılır. [22]

- n^d , *Dilatasyon Yüzey Parametresi (-)*

Dilatasyon yüzey parametresi zeminin büzülme davranışından dilatasyon davranışına geçişindeki gerilme oranının belirlenmesinde rol oynar. Bu geçiş faz dönüşümü olarak tanımlanır. Dilatasyon yüzey parametresi (n^d) için önerilen değer 0.1 dir. Bu değer geçiş aşamasında kritik durum sürtünme açısının az miktarda az kabul edilmesine sebep olur. Dilatasyon gerilme oranının (M_d) kritik durumun altında olduğu durumlarda dilatasyon yüzey parametresi $4n_d$ olarak kullanılır. [22]

- ϕ_{cv} , *Kritik Durum Sürtünme Açısı (°)*

Kritik durum sürtünme açısı kritik durum yüzeyinin M (gerilme oranı) belirlenmesinde rol oynar. ϕ_{cv} parametresi için önerilen değer 33° dir. [22]

- ν , *Poisson Oranı (-)*

Poisson oranı zeminin şekil değiştirme davranışının tanımlanması için önemlidir. ν için önerilen değer 0.3 tür. [22]

- *q ve r, Kritik Durum Çizgi Parametreleri (-)*

q ve *r* parametreleri kritik durum çizgisinin belirlenmesinde rol oynar. Bu parametreler Bolton tarafından 1986 yılında sırası ile 10 ve 1 olarak önerilmiştir. Boulanger ve Ziotopoulou 2017 yılında daha doğru yaklaşım için *q* ve *r* parametrelerinin basit kesme deneyi ile belirlenebileceğini önermiştir. [22]

- *PostShake, Sıvılaşma Sonrası Konsolidasyon Katsayısı (-)*

PostShake parametresi kumun sıvılaşma sonrası oturma davranışının zemin rijitliğinin düşürülerek simüle edilmesinde rol oynar. Bu davranışın en uygun modellenmesinin *PostShake* parametresinin 0 a ve 1 e eşit olduğu iki farklı PM4SAND zemin modeli oluşturulması önerilmektedir. Depremin güçlü etki gösterdiği bölümde *PostShake*=0 modelin kullanılması, deprem kaydının geri kalan daha zayıf etkili bölümünde ise *PostShake*=1 modelin kullanılması oturmaların sıvılaşma sonrasında gerçekleşmesini sağlayacaktır. [22]



5. BİR SAHAYA ÖZEL SIVILAŞMA DEĞERLENDİRME ANALİZİNİN İRDELENMESİ

1. Derece deprem bölgesinde bulunan bir sahasında mevcut yapıların güncel performanslarının tespitine yönelik sivilaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonlu elemanlar yöntemi tabanlı PLAXIS 2D ile PM4SAND ve küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modelleri (the hardening soil model with small-strain stiffness) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanı yaklaşık 88.000 m² alana sahip olarak bilinmektedir ve proje sahası genel olarak düz bir topografyaya sahiptir. Proje alanında faaliyette olan binalar bulunmaktadır. Mevcut yapıların temelleri, tekil, sürekli ve radye olarak değişmektedir. Yapı gerilmeleri ise yaklaşık 10kPa ile 140 kPa aralığında değişmektedir.

5.1 Sahada Yapılan Çalışmalar

Mevcut yapıların dışında saha etrafında gerçekleştirilen zemin etüd çalışmaları dikkate alınarak ortalama mevcut arazi kotunun +7.80 civarında olduğu görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi ise mevcut arazi kotundan yaklaşık 2.2m derinlikte, yaklaşık +5.50 kotundadır.

Sondajlarda farklı kalınlıklarda tabakalar halinde ince daneli ve iri daneli zemin birimler ile karşılaşmıştır. Zemin yüzeyinden itibaren en üstte yaklaşık 12m kalınlığında kumlu siltli kil tabakası ile karşılaşmıştır. Kil tabakası devamında yaklaşık 7m kalınlığında sürekli bir kum tabakası mevcuttur. Sürekli kum tabakasını takiben ortalama 20m kalınlığında yumuşak-orta katı aralığında kil tabakası mevcuttur. Bu kil tabakasının devamında ise SPT vuruş sayıları 50'den büyük çakıl tabakası mevcuttur. Yüzeyden itibaren en üstte karşılaşılan 12m kalınlığındaki kil tabakası arasında, zemin yüzeyinden itibaren yaklaşık 3m derinlikte bazı sondajlarda yaklaşık 3m kalınlığa ulaşabilen killi siltli kum tabakaları görülmektedir.

Sahada karşılaşılan kil birimler genel itibariyle açık kahverengi-kahverengi- gri-haki yeşil-siyah renkli, nemli-ıslak, yer yer kum bantları ve muhtelif kökenli çakıl içeren, düşük-yüksek plastisiteli, yumuşak-çok katı özelliktedir. Kum birimler ise genellikle

gri haki yeşil-kahverengi-koyu kahverengi renkli, nemli-ıslak, ince-orta daneli, killi, siltli, gevşek-sıkı özelliktedir. Sürekli kum tabakasının devamında karşılaşılan çakıl birimler ise yeşil-kahverengi-gri-beyaz-kızıl kahverengi-bej renkli, az bloklu, ince-iri daneli kumlu, ince orta taneli, yuvarlak-yarı köşeli, farklı orijinli orta sıkı-çok sıkı özelliktedir.

5.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

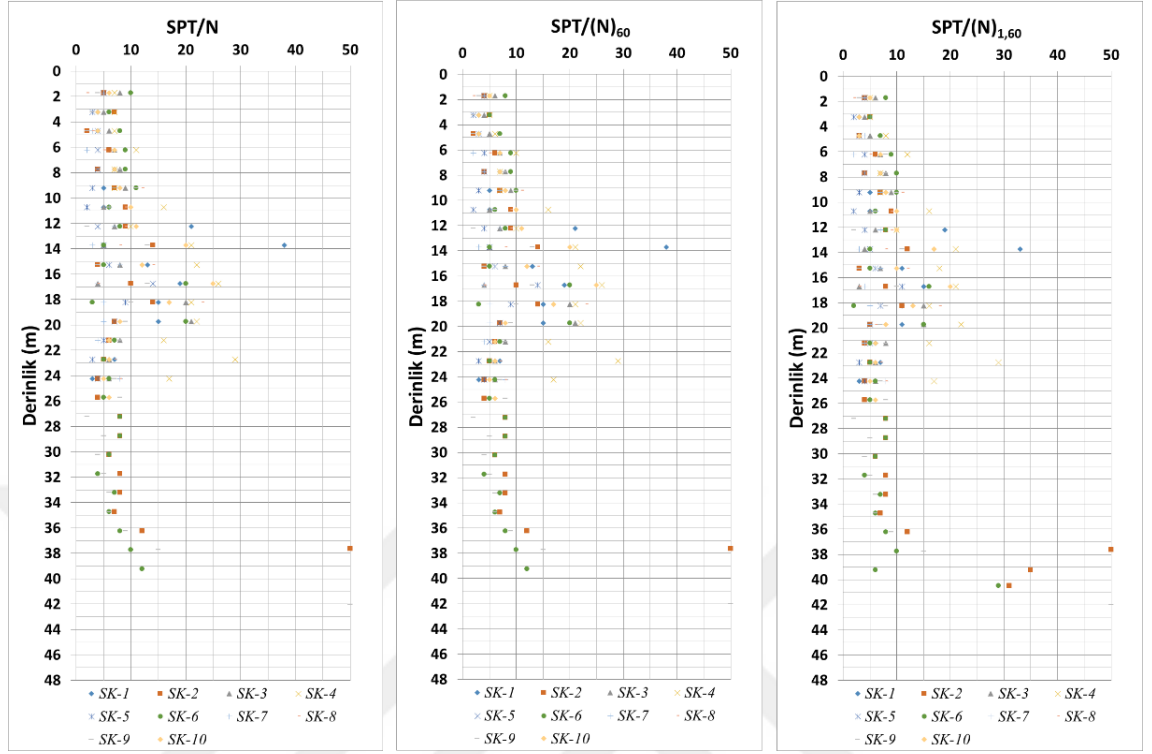
Zemin etüdü çalışmaları kapsamında her 1.5m derinlikte bir olmak üzere standart penetrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen değerler (N değerleri) kullanılarak deneyin gerçekleştirildiği derinlikteki jeolojik etkiler, numune alıcıya iletilen enerji oranı, sondaj delgisi çapı, tij boyu ve numune alıcı tipi faktörleri göz önüne alınarak düzeltilmiş standart penetrasyon deneyi darbe sayıları hesaplanmıştır. SPT düzeltme faktörleri için literatürde yer alan değer aralıkları referansları ile birlikte olmak üzere Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : SPT düzeltme faktörleri

Düzeltilme Faktörü	İndis	Tanım	Önerilen Düzeltme Değeri	Kaynak
Örtü Yüğü	C _N	-	$(P_a/\sigma'_{vo})^{0.5}$; C _N ≤1.70	Liao ve Whitman (1986)
Enerji	C _E	Halka Sistem Emniyetli Sistem Otomatik Sistem	0.70 - 1.20 0.50 - 1.40 0.80 - 1.40	NCEER (1997)
Delgi Çapı	C _B	60 - 120mm 150mm 200mm >30m 10 - 30m	1.00 1.05 1.15 1.00 1.00	Skempton (1986) Robertson ve Wride (1997) Bowles (1996)
Tij Boyu	C _R	6 - 10m 4 - 6m 3 - 4m 0 - 3m	0.95 0.85 0.75 0.75	Skempton (1986) Bowles (1996)
Numune Alıcı	C _S	Standart Numune Alıcı İç Tüpü Olmayan Numune Alıcı	1.10 - 1.30 1.00	Robertson ve Wride (1997)

SPT düzeltmeleri için kullanılan faktörler deney ekipmanları ve uygulama biçimi dikkate alınarak çizelge 5.1’de belirtilen araştırmacılar tarafından önerilen aralıklar gözetilerek belirlenmiş ve düzeltilmiş SPT darbe sayıları yukarıdaki formüller

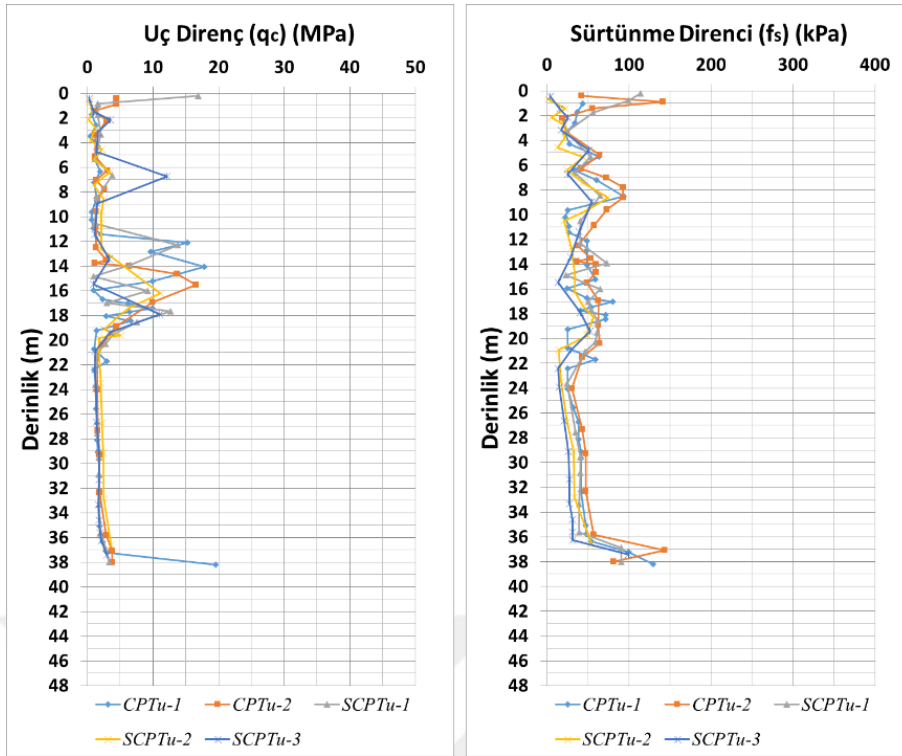
kullanılarak elde edilmiştir. Düzeltilmemiş ve düzeltilmiş SPT darbe sayıları şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 : SPT/N, SPT/(N)60 ve SPT/(N)1,60 değerlerinin derinlik (m) ile değişimi

5.3 Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)

Zemin etüdü çalışmaları kapsamında Koni Penetrasyon Deneyleri (CPT) gerçekleştirilmiştir. CPT deneyleri ile elde edilen uç direnci ve sürtünme direnci verilerinin derinlik ile değişimi şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 : İdealize uç direnç ve idealize sürtünme direnci verilerinin derinlik (m) ile değişimi

5.4 Presiyometre Deneyi

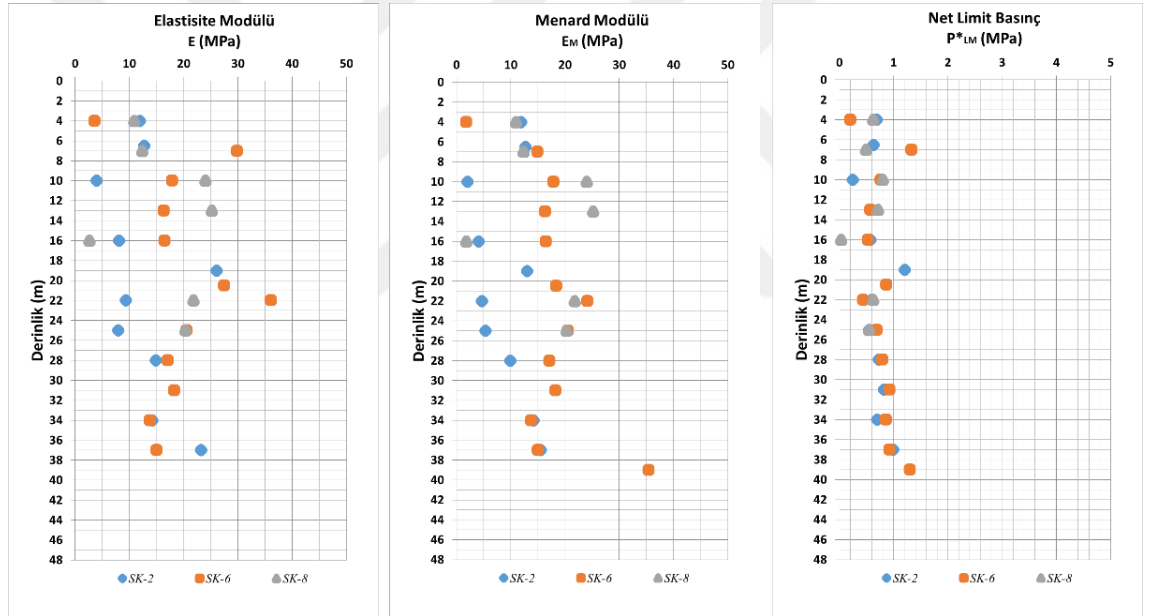
Zemin etüdü çalışmaları kapsamında bazı sondajlarda Menard tipi presiyometre deneyleri yapılmıştır. Presiyometre deneyleri esnasında deney probunun sondaj kuyusuna indirilerek şişirilmesi ile birlikte her bir test kotunda zeminin basınç-hacim cinsinden yük/deformasyon davranışı incelenmiştir.

Presiyometre deneyi verileri kullanılarak düşey yükleme koşullarına göre deformasyon modülünün elde edilebilmesi için Briaud tarafından 1992 yılında önerilen α_M faktörleri kullanılmıştır. Elastisite modülü değerleri Menard modüllerinin α_M faktörlerine oranı ile (E_M/α_M) elde edilmiştir. Zemin cinsine ve önyüklemeye koşullarına göre farklılık gösteren α_M faktörleri aşağıda çizelge 5.2’de verilmektedir. Bu yöntem yardımı ile her bir test kotundaki zemin cinsi ve deney verileri kullanılarak elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

Presiyometre deneylerinden elde edilen ve Briaud tarafından 1992 yılında önerilen korelasyon yardımı ile hesaplanan elastisite modülü değerlerinin derinlik ile değişimleri Şekil 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Menard α_M faktörleri

Zemin Cinsi	Turba		Kil		Silt		Kum		Kum ve Çakıl	
	E_M/P^*_{LM}	α_M	E_M/P^*_{LM}	α_M	E_M/P^*_{LM}	α_M	E_M/P^*_{LM}	α_M	E_M/P^*_{LM}	α_M
Aşırı Konsolide		1.00	>16	1.00	>14	0.67	>12	0.50	>10	0.33
Normal Konsolide	Tüm Değerler	1.00	9 - 16	0.67	8 - 14	0.50	7 - 12	0.33	6 - 10	0.25
Ayrışmış ve/veya Yoğurulmuş		1.00	7 - 9	0.50		0.50		0.33		0.25
Kaya	Çok Çatlaklı		Diğer Koşullar				Az Çatlaklı veya Aşırı Ayrışmış			
	$\alpha_M=0.33$		$\alpha_M=0.50$				$\alpha_M=0.67$			



Şekil 5.3 : Presiyometre deneyleri menard modülü (E_M), net limit basınç (P^*_{LM}) değerleri ve elastisite modülü (E) değerlerinin derinlik (m) ile değişimleri

5.5 Laboratuvar Deneyleri

Zemin etüdü çalışmaları kapsamında sondaj çalışmaları esnasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde zeminlerin indeks ve mekanik özelliklerini belirlemek ve geoteknik davranışlarını tespit etmek için laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri kapsamında su muhtevası deneyleri, Atterberg limitleri deneyleri, elek analizleri, hidrometre deneyleri, özgül ağırlık

deneyleri, doğal birim hacim ağırlık deneyleri, serbest basınç deneyleri, üç eksenli basınç deneyleri ve ödometre (konsolidasyon) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deney sonuçları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Zemin sınıflandırma laboratuvar deneyleri

Tabaka	Su Muhtevası, w (%)	Atterberg Limitleri			İnce Dane Oranı -No.230 (%)	Kil Yüzdesi (Hidro metre) (%)	USCS Sınıflandırma
		Likit Limit, LL (%)	Plastik Limit, PL (%)	Plastisite İndisi (PI (%))			
Kil-1	25-40	33-50	17-24	11-28	50-87	29-37	CI-CL
Kum-1	22-37	NP	NP	NP	20-70	9-23	SC-SM
Kil-2	30-48	33-84	17-27	16-64	40-98	17-67	CL-CI-CH
Kum-2	19-65	NP	NP	NP	4-37	5-8	SP-SM
Kil-3	27-75	29-84	19-35	8-49	47-100	18-64	CI-CH

Çizelge 5.4 : Zemin mukavemet laboratuvar deneyleri

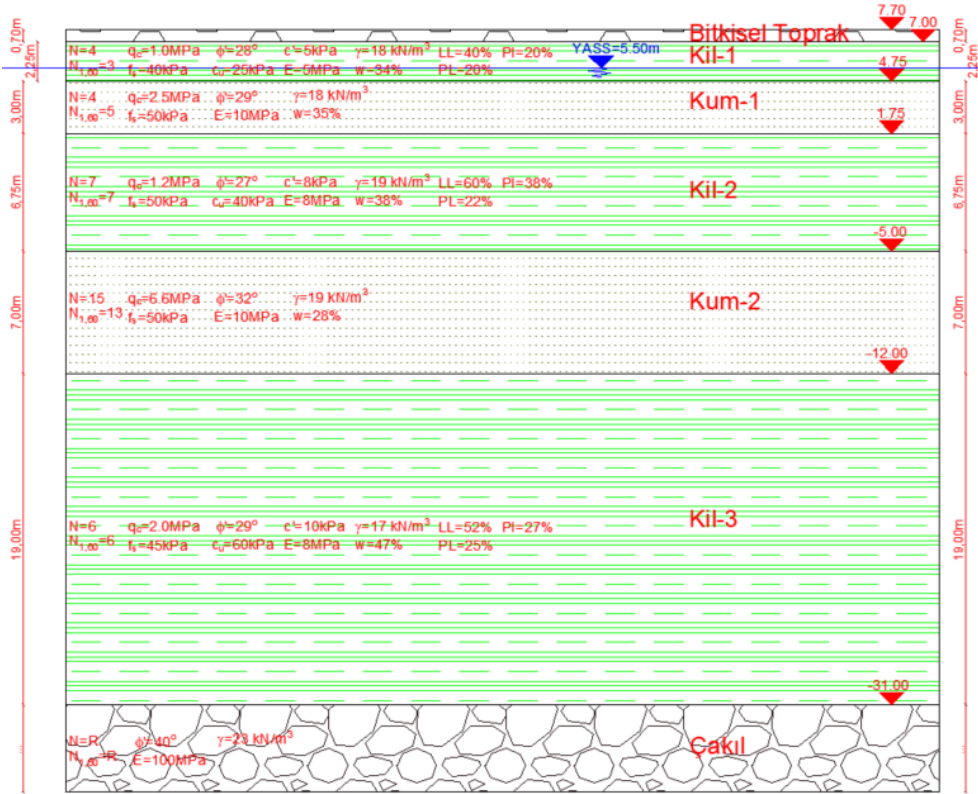
Tabaka	Özgül Ağırlık, G_s	Doğal Birim Hacim Ağırlık, γ_n (kN/m ³)	Serbest Basınç Deneyi		Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU), c_u (kPa)	Ödometre Deneyi			
			q_u (kPa)	c_u (kPa)		c_c	c_r	e_0	P_0 (kPa)
Kil-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kum-1	2.65-2.72	-	-	-	-	-	-	-	-
Kil-2	2.56-2.74	18.9	54	27	52	0.27-0.31	0.01-0.03	0.89-1.05	100-130
Kum-2	2.48-2.63	-	-	-	-	-	-	-	-
Kil-3	2.61-2.79	16.6-17.2	28-32	14-16	15-25	-	-	-	-

5.6 Zemin Etüdü Verilerinin İrdelenmesi ve İdealize Zemin Profilinin Elde Edilmesi

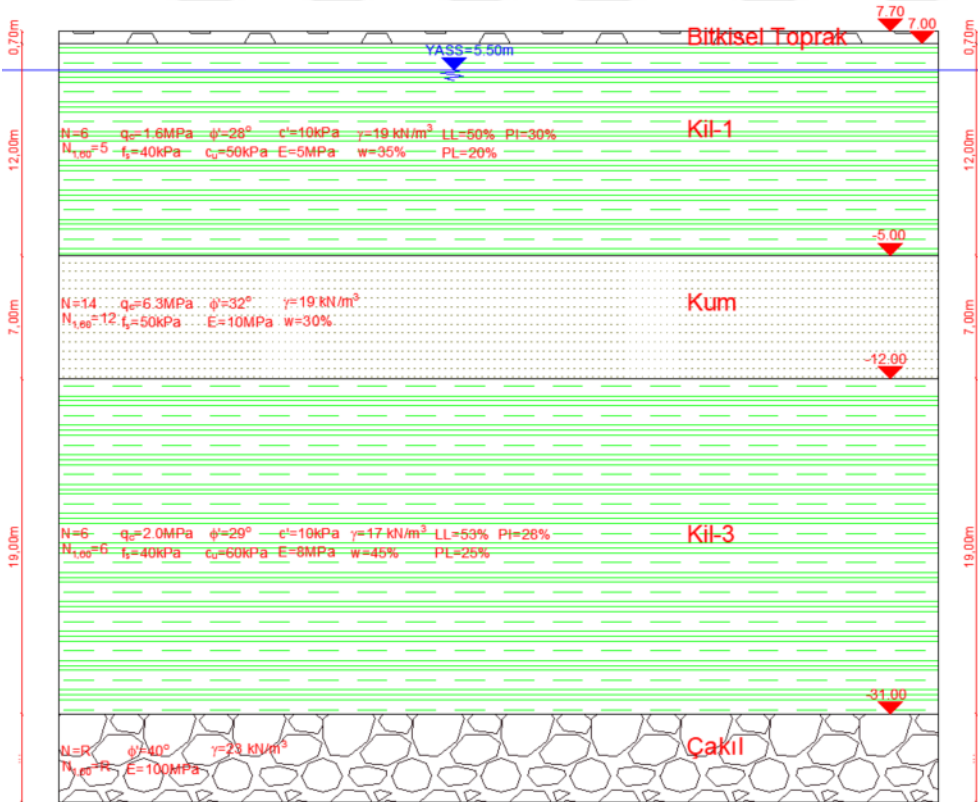
Proje sahasında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları esnasında karşılaşılan birimler, arazi deney sonuçları ve laboratuvar deneyleri kullanılarak zemin profili idealize edilmiştir. Benzer karakteristik ve mukavemet özellikleri gösteren birimler ortak isimlendirilmiş, tabaka genelini temsil eden deney sonuçları tespit edilmiştir. Proje sahasını temsilen iki farklı kritik kesit oluşturulmuş ve Kesit 1 ve Kesit 2 olarak isimlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen değerlendirmelerde proje sahasını Doğu-Batı doğrultusunda kesen kritik kesitler kullanılmıştır. Üst kil tabakası arasında karşılaşılan kum bandının dikkate alınması ve dikkate alınmaması durumlarını temsil etmesi amacıyla Kesit 1 ve Kesit 2 olarak iki farklı tip kritik kesit kullanılmıştır.

Zemin etüdü çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen saha ve laboratuvar deneylerinden hareketle geoteknik tasarım parametreleri tüm kritik kesitler için ayrı olarak belirlenmiştir. Geoteknik tasarım parametrelerinin belirlenmesi için zemin etüdü çalışmaları geoteknik literatürde yaygın olarak mevcut olan korelasyonlar ile desteklenmiştir. İdealize kesitler belirlenirken sahada yapılan etüt çalışmalarının tamamında karşılaşılan yaklaşık 7m kalınlığındaki ortalama -5.00 kotunun altında bulunan kum tabakası ana kum tabakası olarak seçilmiş, zemin yüzeyine yakın kotlarda bazı etütlerde karşılaşılan yaklaşık 3m kalınlığındaki kum tabakası ise ara kum tabakası olarak seçilmiştir. Şekil 5.4'te Kesit 1, Şekil 5.5'te Kesit 2 için seçilen arazi deneyleri parametreleri, laboratuvar deneyleri parametreleri ve mukavemet parametreleri idealize zemin profili üzerinde verilmiştir.



Şekil 5.4 : Kesit 1 idealize zemin profili



Şekil 5.5 : Kesit 2 idealize zemin profili

5.7 Malzeme ve Yöntem

Geoteknik modelleme çalışmalarında Deepsoil, Plaxis 2D Dynamic ve Plaxis Soil Test programları kullanılmıştır.

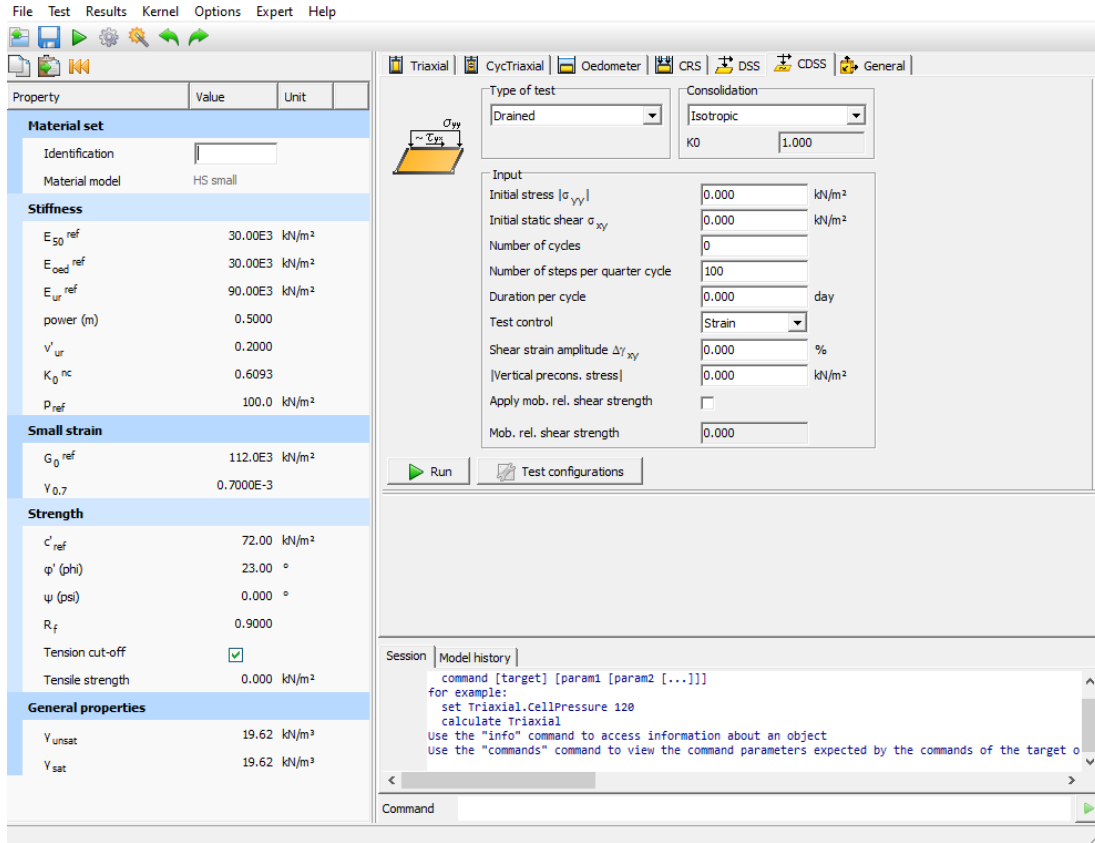
5.7.1 Deepsoil

Deepsoil, tek doğrultulu, zaman veya frekans tabanlı, lineer, eşdeğer lineer ve lineer olmayan (nonlinear) dinamik etkiler ile sismik tepki analizlerinin gerçekleştirilebildiği bir yazılım olarak tanımlanmaktadır. Bu program Prof. Youssef M. A. Hashash yönetiminde Illinois Üniversitesinde geliştirilmiştir. [25]

Bu çalışmada Deepsoil programı yalnızca Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilen zeminlerin özelliklerine göre farklılaşan Darendeli tarafından 2001 yılında önerilen Modül oranı (G/G_{max}) şekil değiştirme ilişkilerinin elde edilmesi için kullanılmış olup analiz gerçekleştirilmemiştir. Kritik kesit zemin profilleri DEEPSOIL programında kayma dalgası hızı (V_s) ve efektif gerilme özellikleri göz önüne alınarak tanımlanmış ve karşılık gelen Darendeli, 2001 grafikleri elde edilmiştir.

5.7.2 Soil Test (Plaxis)

Soil Test programı Plaxis programı içerisinde yer alan bir opsiyon olarak sunulmaktadır. Soil Test, zemin mekaniği laboratuvar deneylerinin herhangi bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmasına gerek olmadan, hızlı ve kullanışlı bir şekilde simüle edilebilmesini sağlayan bir opsiyon olarak tanımlanmaktadır. Soil Test ile birlikte farklı zemin modelleri ile temsil edilen tabakaların geoteknik davranışlarının klasik laboratuvar deneyleri ile kıyaslanması için kullanılabilir. [26]



Şekil 5.6 : Soil Test arayüzü

Plaxis Soil Test opsiyonu içerisinde Üç Eksenli Basınç Deneyi (Triaxial), Tekrarlı Yükleme Üç Eksenli Basınç Deneyi (CycTriaxial), Ödometre (Konsolidasyon) Deneyi (Oedometer), Sabit Şekil Değiştirme Oranlı Sıkışma Deneyi (CRS), Direk Kesme Deneyi (DSS) ve Tekrarlı Yükleme Direk Kesme Deneyi (CDSS) simülasyonları gerçekleştirilebilir. [26]

PM4Sand büzülme oranı (hp_0) parametresinin doğrulaması için kullanılan laboratuvar deney simülasyonu Tekrarlı Yükleme Direk Kesme Deneyi (CDSS)'dir.

Tekrarlı Yükleme Direk Kesme Deneyi (CDSS) girdileri aşağıda açıklanmaktadır; [26]

- Test tipi (Type of Test): Deneyin drenaj koşulları *Drenajlı* ve *Drenajsız* olarak seçilebilir.
- Konsolidasyon (Consolidation): Numunenin konsolidasyon durumu *İzotropik* ve K_0 olarak seçilebilir. K_0 seçilmesi durumunda girilen toprak basıncı değeri yardımı ile düşey ve yatay gerilme ilişkisi oluşturulur.

- Başlangıç Gerilmesi (Initial Stress): Deney başlangıcında numuneye etkiyen gerilmelerin tanımlandığı girdi başlangıç gerilmesidir. Seçimi yapılan konsolidasyon durumuna göre yatay ve düşey gerilmeler birbirine eşit (izotropik) veya oransal (K_0) olarak tanımlanabilir.
- Başlangıç Statik Kayma Gerilmesi (Initial Static Shear): Test tipinden bağımsız olarak ilk deney fazında drenajlı olarak uygulanan bir kayma gerilmesi bileşeni tanımlanabilir.
- Çevrim Sayısı (Number of Cycle): Deneydeki çevrim sayısı belirlenir.
- Çeyrek Çevrim için Adım Sayısı (Number of Steps per Quarter Cycle): Deneydeki her bir çeyrek çevrim için adım sayısı tanımlanabilir.
- Çevrim Süresi (Duration per Cycle): Deneydeki her bir çevrimin süresi gün biriminde tanımlanır.
- Test Kontrol Tipi (Test Control): Simüle edilecek olan deney bu seçenek yardımı ile basınç kontrollü veya şekil değiştirme kontrollü olarak tanımlanabilir.
- Kayma Gerilmesi Genliği (Shear Strain Amplitude): Seçilen test kontrol tipine bağlı olarak kayma gerilmesi veya kayma şekil değiştirmesi genliği belirtilmesi için kullanılır.
- Düşey Ön Konsolidasyon Basıncı (Vertical Precons. Stress): Zeminin önkonsolidasyon derecesinin belirlenmesi için gereklidir. Normal konsolide zeminler için bu değer başlangıç gerilmesi değerine eşit veya 0 olarak girilebilir.
- Mobilize göreceli kayma mukavemeti (Apply Mob. Rel. Shear Strength): Sadece pekleşen zemin (Hardening Soil) ve Küçük Şekil Değiştirmeler ile Pekleşen Zemin (The Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness) modelleri kullanıldığında geçerli olacak şekilde başlangıç pekleşme derecesinin tanımlanmasını sağlar. İzotropik gerilme dağılımı için 0, yenilme durumu için ise 1 olarak veya aralığında alınır.

SOILTEST yardımı ile hedeflenen laboratuvar deneyi modelleme ortamında simüle edilerek bünye modelinin geoteknik davranışı tespit edilebilir. Bu tez kapsamında tekrarlı direk kesme deneyi (CDSS) modellenmiş, seçilen model girdileri dikkate

alınarak deneylerden şekil değiştirme – kayma gerilmesi grafikleri elde edilmiştir. Kritik sıvılaşma şekil değiştirme oranının 3% olarak kabul edilmesi ile birlikte doğrulama için hedeflenen şekil değiştirme – kayma gerilmesi grafiklerinde yenilme davranışı başlangıcının kritik değere yakın olması dikkate alınarak deneme yanılma metodu ile çalışılmıştır.

5.8 Geoteknik Modelleme

Kritik kesitler kullanılarak kaba daneli zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin irdelenmesi için sonlu elemanlar yöntemi tabanlı PLAXIS 2D Dynamic yazılımı kullanılmıştır.

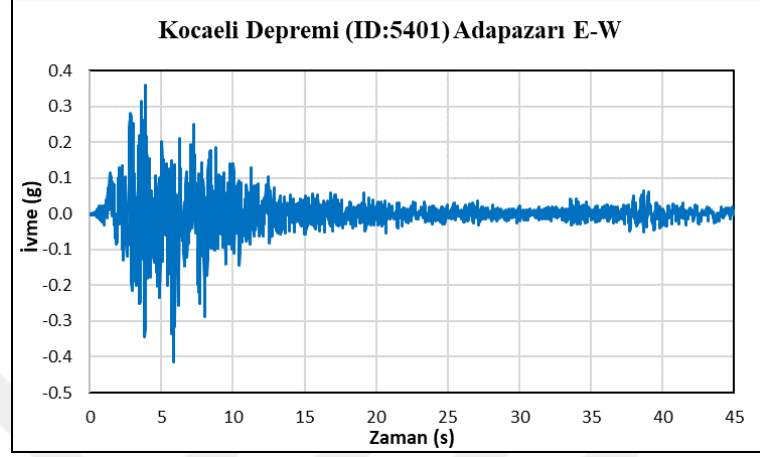
Dinamik etkilerin göz önünde bulundurulduğu geoteknik modelleme çalışması için her bir zemin tabakasının ortalama kayma dalgası hızı (V_s), çizelge 2.1’de kil ve siltler için verilen, literatürde kaba ve ince daneli zeminler için ayrı ayrı verilen korelasyonlar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Dinamik durumda dikkate alınacak olan sonlu elemanlar modelinin kütle ve rijitlik matrisinin çarpanları olarak kullanılan Rayleigh sönüm katsayıları modeldeki toplam zemin tabakası kalınlığı, ortalama kayma dalgası hızı (V_{sort}) ve deprem dalgasının Fourier spektrumu üzerindeki maksimum genliğe karşılık gelen frekans değeri dikkate alınarak belirlenmiştir. Elde edilen Rayleigh sönüm katsayıları her bir zemin tabakasına tanımlanmıştır. [27]

Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken kullanılan ağ boyutları için ortalama değer belirlenmiştir. Bu değerlendirme Kuhlmeier ve Lysmer tarafından 1973 yılında önerilen formülizasyon yardımı ile yapılmıştır. Bu korelasyona göre ortalama ağ boyutu minimum kayma dalgası hızının maksimum genliğe karşılık gelen frekans değerine oranının 1/8’ine karşılık gelmektedir. [27]

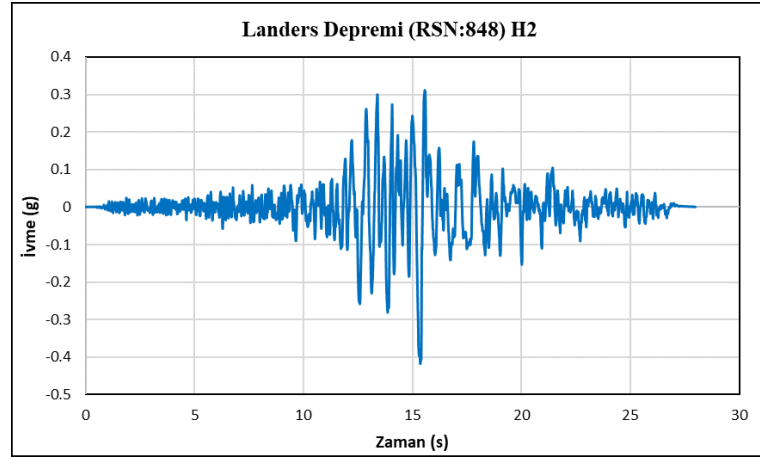
Sonlu elemanlar modeli genişliği zemin tabakaları için önem taşımayacak minimum boyutlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Düşey boyutları ise zemin yüzeyinden sıvılaşmanın incelenmeyeceği çakıl tabakasına kadar olmak üzere ilgili derinlikler gözetilerek seçilmiştir. İdealize zemin profillerinde en altta bulunan çakıl tabakasının modellerde yer almaması, depremin modelin tabanından uygulanması ile birlikte sistemin gerçeğe en yakın olacak şekilde kurulmasına ve olası zemin büyütmelerinin de dikkate alınabilmesine olanak sağlamaktadır.

Kullanılan deprem kaydı AFAD “Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi”nde yer alan 17 Ağustos 1999 tarihli Gölçük (İzmit) depremine aittir. Deprem Kodu 5401’dir. Kaya kaydına çevrilmiş deprem kaydının ivme zaman grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7 : Kocaeli (Adapazarı-5401) deprem kaydı ivme zaman grafiği

Kullanılan diğer deprem kaydı ise “The Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER”da yer alan gerçek kuvvetli yer hareketi kayıtlarından seçilmiştir. Landers depremine ait olan deprem kaydının PEER RSN numarası 848’dir. Kaya kaydına çevrilmiş deprem kaydının ivme zaman grafiği Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Landers (RSN:848) deprem kaydı ivme zaman grafiği

5.8.1 Zemin parametrelerinin tespiti

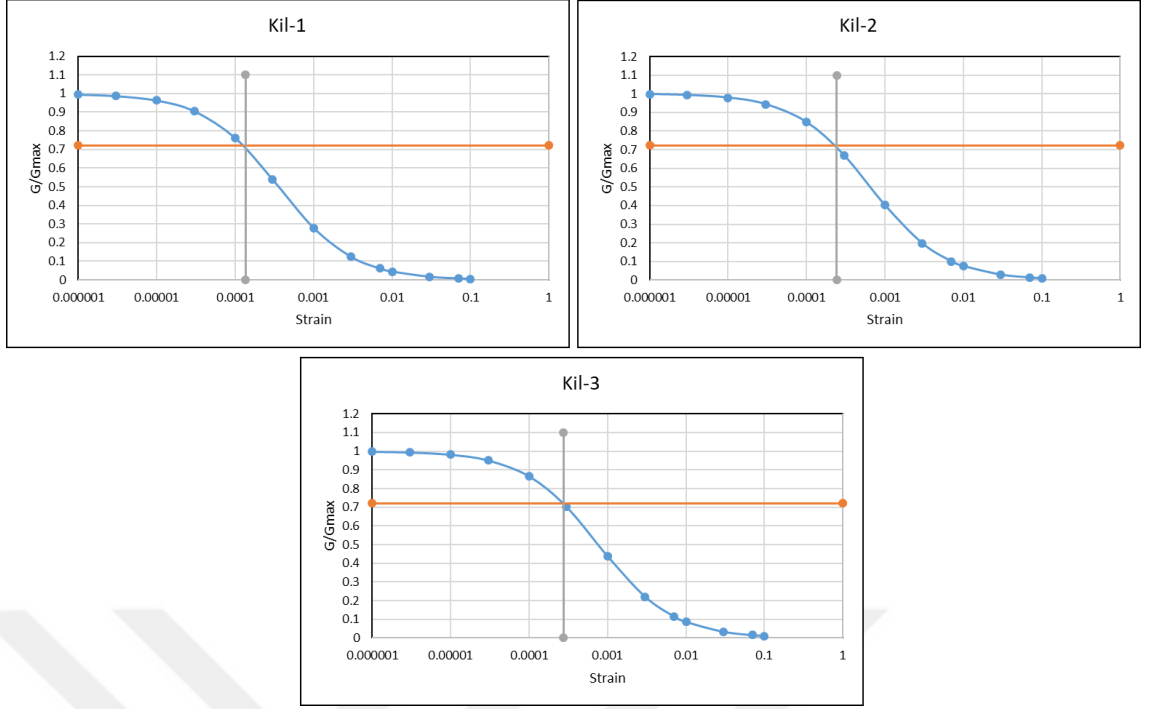
HSsmall Model Parametrelerinin Belirlenmesi:

HSsmall zemin modeli kullanılırken seçilen parametreler klasik zemin mekaniği değerlendirmeleri sonucunda elde edilen Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilen karakteristik ve mukavemet davranış özellikleri ve zemin parametrelerine ek olarak başlangıç veya çok küçük şekil değiştirme durumundaki kayma modülü (G_0) ve sekant modülünün (G_{sec}) başlangıç kayma modülünün (G_0) 70%'ine eşit olduğu durumdaki şekil değiştirme değeri ($\gamma_{0.7}$) parametreleridir. Başlangıç kayma modülü (G_0) değerleri çizelge 2.2'de verilen kum ve kil zeminler için ayrı ayrı sırasıyla Imai ve Tonouchi tarafından 1982 yılında ve Mayne ve Rix tarafından 1993 yılında önerilen korelasyonlar yardımı ile belirlenmiştir. 70% şekil değiştirme değerinin ($\gamma_{0.7}$) belirlenmesi için şekil 2.6'da verilen zeminlerin özelliklerine göre farklılaşan Darendeli tarafından 2001 yılında önerilen Modül oranı (G/G_{max}) şekil değiştirme ilişkileri kullanılmıştır. Zemin özelliklerine bağlı olarak ilgili eğrinin seçilmesi için DEEPSOIL programından yardım alınmıştır. Kritik kesit zemin profilleri DEEPSOIL programında kayma dalgası hızı (V_s) ve efektif gerilme özellikleri göz önüne alınarak tanımlanmış ve Darendeli tarafından 2001 yılında önerilen yaklaşık değerler dikkate alınarak kayma gerilmesi modül oranı - şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen modül oranı - şekil değiştirme grafikleri üzerinde modül oranının 70% değerine tekabül eden şekil değiştirme değerleri işaretlenmiştir.

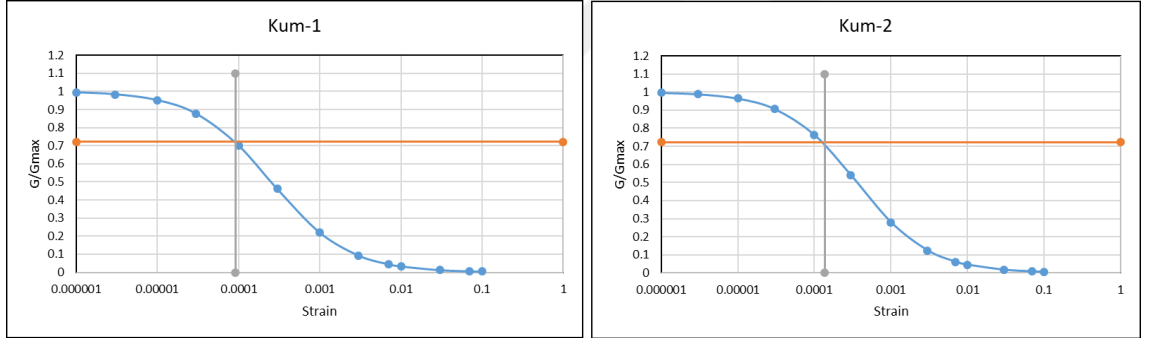
Her bir kritik kesit için tüm zemin tabakalarında belirlenen HSsmall zemin modeli modül oranının 70% değerine tekabül eden şekil değiştirme değerleri ve grafik girdileri aşağıda Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da, modül oranı - şekil değiştirme grafikleri ise Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Kesit 1 70% şekil değiştirme değerleri ($\gamma_{0.7}$) ve Darendeli, 2001 yaklaşımı için zemin parametreleri

Tabaka	Tabaka Kalınlığı (m)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)	V_s (m/s)	PI (%)	ϕ°	K_0	AKO	$\gamma_{0.7}$
Kil-1	0.75	18	160	19	28	0.53	1.0	1.36E-04
Kum-1	3	18	140	-	29	0.52	1.0	9.17E-05
Kil-2	6.75	19	180	38	27	0.55	1.0	2.42E-04
Kum-2	7	19	210	-	32	0.47	1.0	1.37E-04
Kil-3	19	17	180	27	29	0.52	1.0	2.76E-04



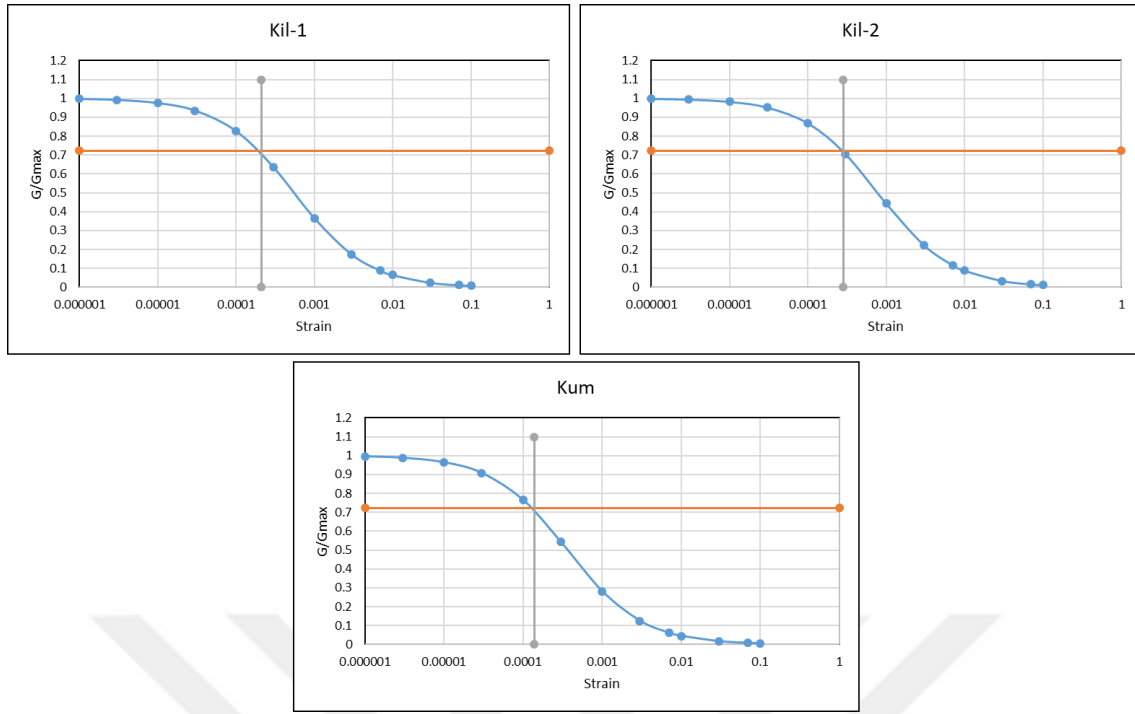
Şekil 5.9 : Kesit 1 modül oranı ($G/G_{\max}$) – şekil değiştirme grafikleri ile birlikte 70% şekil değiştirme değerleri – kil birimler ($\gamma_{0.7}$)



Şekil 5.10 : Kesit 1 modül oranı ($G/G_{\max}$) – şekil değiştirme grafikleri ile birlikte 70% şekil değiştirme değerleri – kum birimler ($\gamma_{0.7}$)

Çizelge 5.6 : Kesit 2 70% şekil değiştirme değerleri ($\gamma_{0.7}$) ve Darendeli, 2001 yaklaşımı için zemin parametreleri

Tabaka	Tabaka Kalınlığı (m)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)	V_s (m/s)	PI (%)	ϕ°	K_0	AKO	$\gamma_{0.7}$
Kil-1	10.5	19	180	30	28	0.53	1.0	2.10E-04
Kum	7	19	210	-	32	0.47	1.0	1.39E-04
Kil-2	19	17	180	28	29	0.52	1.0	2.81E-04



Şekil 5.11 : Kesit 2 modül oranı (G/G_{max}) – şekil değiştirme grafikleri ile birlikte 70% şekil değiştirme değerleri ($\gamma_{0.7}$)

PM4Sand Doğrulaması:

PM4Sand zemin modeli kullanılırken seçilen parametreler, rölatif sıkılık (D_R) ve kayma modülü katsayısı (G_0) sırasıyla denklem 4.11 ve 4.15'te verilen SPT deneylerine bağlı korelasyonlar yardımı ile, maksimum ve minimum boşluk oranı (e_{max} ve e_{min}), sınır ve dilatasyon yüzey parametreleri (n_b ve n_d), kritik durum sürtünme açısı (ϕ_{cv}), poisson oranı (ν) ve kritik durum parametreleri (q ve r) için Boulanger ve Ziotopoulou tarafından 2017 yılında önerilen parametreler ile belirlenmiştir. Atmosferik basınç (p_A) 101.3kPa olarak alınmıştır. Büzülme oranı (h_{p0}) doğrulama ile belirlenmiştir.

PM4Sand zemin modeli kullanılırken her bir kritik kesitteki kum tabakaları ayrı ayrı kalibre edilmiş, zemin modeline uygun parametreleri tekrarlı yüklemeli kesme deneyleri (cyclic direct shear test – cdss) simülasyonları oluşturularak elde edilmiştir.

Deney simülasyonları Plaxis 2D programı içerisinde yer alan Soil Test modülü yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Büzülme oranı (h_{p0}) parametresinin belirlenmesi için CPT deney sonuçları kullanılmıştır. Deneme yanılma yöntemiyle oluşturulan PM4Sand zemin modelleri

için CDSS deney simülasyonlarında sükunetteki toprak basıncı katsayıları (K_0) başlangıç gerilme (efektif gerilme), çevrim sayısı ve kayma gerilmesi genliği ($\Delta\sigma_{xy}$) girdileri kullanılmıştır. Bu parametreler Cubrinovski ve diğerleri tarafından 2018 yılında yayınlanan “System Response of Liquefiable Deposits” makalesinde verilen yöntemine uygun olarak belirlenmiştir. Söz konusu yöntem kullanılarak Kesit 1/Kum-1, Kesit 1/Kum-2 ve Kesit 2/Kum tabakaları iki deprem kaydı (Adapazarı ve Landers) için ayrı ayrı elde edilmiştir. Prosedür aşağıda açıklanmaktadır [32].

1. Tabakaların eşdeğer temiz kum koni penetrasyon direnci (q_{c1Ncs}) değerleri belirlenmiştir [33].

$$q_{c1Ncs} = K_c Q_{tn} \quad (5.1)$$

Burada, K_c dane karakteristiği düzeltme katsayısı, Q_{tn} normalize edilmiş CPT uç direnci olarak tanımlanmaktadır.

Dane karakteristiği düzeltme katsayıları (K_c), zemin davranış tipi (I_c)’ye bağlı olarak Robertson ve Cabal tarafından 2010 yılında önerilen şekilde belirlenmiştir.

$$K_c = 1.0 \quad (I_c \leq 1.64),$$

$$K_c = 5.581I_c^3 - 0.403I_c^4 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 \quad (5.2)$$

Zemin davranış tipi (I_c) Robertson tarafından 1990 yılında önerilen zemin davranış tipi grafiği kullanılarak aşağıdaki formül ile belirlenmiştir. [33]

$$I_c = [(3.47 - \log Q_{tn})^2 + (\log F + 1.22)^2]^{0.5} \quad (5.3)$$

$$Q_{tn} = \left(\frac{q_t - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad (5.4)$$

$$F = \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{v0})} \times 100\% \quad (5.5)$$

Burada, Q_{tn} normalize CPT uç direnci, F normalize sürtünme direnci ve n gerilme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Gerilme katsayısı, n ise aşağıda verilen formül yardımı ile Q_{tn} parametresi ile karşılıklı olarak çözüm ile elde edilebilir.

$$n = 0.381(I_c) + 0.05 \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) - 0.15 \quad (5.6)$$

2. Tabakalar için belirlenen eşdeğer temiz kum koni penetrasyon direnci (q_{c1Ncs}) değerleri kullanılarak çevrim sayısı $N_c=15$ ve efektif gerilme $\sigma'_v=100\text{kPa}$ için tekrarlı gerilme oranı ($CSR_M=7.5$, $\sigma'_v=100$ ya da $CRR_M=7.5$, $\sigma'_v=1$) değeri denklem (3.21) kullanılarak belirlenmiştir.
3. Maksimum deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (MSF_{max}) değeri eşdeğer temiz kum koni penetrasyon direncine (q_{c1Ncs}) bağlı olarak denklem (3.26) ile 3 farklı tabaka için belirlenmiştir.
4. Deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (MSF) değerleri 3 farklı tabaka için ve 2 deprem kaydı için ayrı ayrı denklem (3.27)'ye göre belirlenmiştir.
5. Tekrarlı gerilme oranının kullanılan deprem kaydına ait büyüklük değerine düzeltilmesi için denklem (3.28) kullanılmıştır.
6. Farklı deprem moment büyüklük düzeltme katsayıları (MSF) için çevrim sayısı değeri denklem (3.29) kullanılarak düzeltilmiştir.
7. Son olarak $\sigma'_v=100\text{kPa}$ için elde edilen tekrarlı gerilme oranı değerlerinde efektif gerilme düzeltmesi denklem (3.31) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
8. Doğrulama sonucunda 2 farklı deprem kaydı (Landers ve Adapazarı) dikkate alınarak 3 farklı kum tabakası (Kesit 1/Kum-1, Kesit 1/Kum-2 ve Kesit 2/Kum) için spesifik çevrim sayıları ve efektif gerilmelerine göre elde edilmiş tekrarlı gerilme oranı değerleri elde edilmiştir.

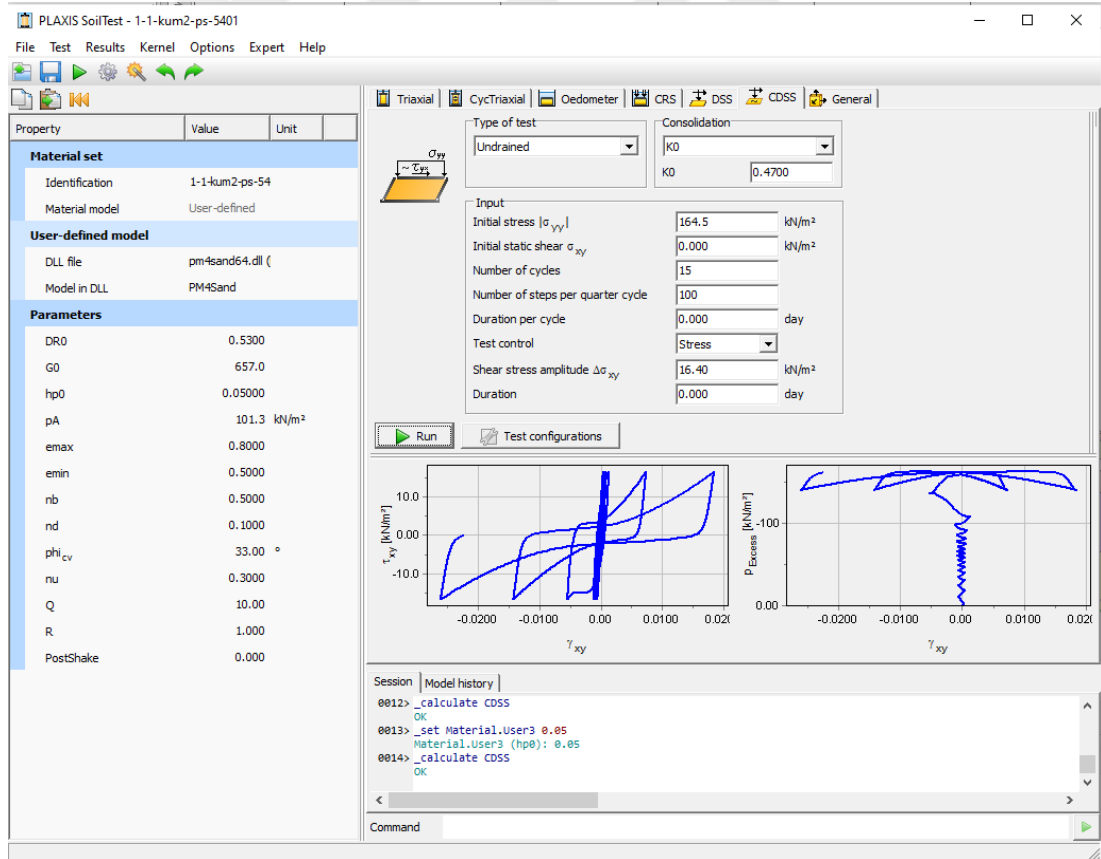
Cubrinovski ve diğerleri tarafından 2018 yılında yayınlanan “System Response of Liquefiable Deposits” makalesinde verilen yönteme uygun olarak gerçekleştirilen büzülme oranı (hp_0) doğrulaması prosedüründe gerçekleştirilen hesaplardan elde edilen parametreler Çizelge 5.7’de, büzülme oranı doğrulaması için gerçekleştirilen simülasyon deneyi örneği (Kesit 1/Kum-2 Kocaeli Depremi) ise Şekil 5.12’de verilmektedir. Büzülme oranı (hp_0) doğrulaması için gerçekleştirilen tüm simülasyon deneyleri EK-C’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Büzülme oranı (hp_0) doğrulaması

Tabaka	q_c (MPa)	f_s (kPa)	σ_{v0} (kN/m ²)	σ'_{v0} (kN/m ²)	Q_{tn}	F	I_c	K_C	q_{c1Ncs}	$CRR_{M=7.5, \sigma'v=100}$
Kesit 1 Kum-1	2.5	50	80.1	58.0	37.3	2.1	2.4	2.5	92.9	0.13
Kesit 1 Kum-2	6.6	50	301.9	164.5	42.2	0.8	2.2	1.6	66.2	0.10
Kesit 2 Kum	6.3	50	307.1	169.8	39.1	0.8	2.2	1.7	65.0	0.10

Tabaka	MSF_{max}	$MSF_{landers}$	MSF_{5401}	$CSR_{Nc, \sigma'v=100}$ (landers)	$CSR_{Nc, \sigma'v=100}$ (5401)	b	$N_{c,landers}$	$N_{c,5401}$	C_σ	K_σ
Kesit 1 Kum-1	1.2	1.02	0.99	0.13	0.13	0.2	14	16	0.10	1.06
Kesit 1 Kum-2	1.1	1.01	1.00	0.11	0.10	0.16	14	15	0.08	0.96
Kesit 2 Kum	1.1	1.01	1.00	0.10	0.10	0.16	14	15	0.08	0.96

Tabaka	$CSR_{Nc, \sigma'v}$ (landers)	$CSR_{Nc, \sigma'v}$ (5401)	$\Delta\sigma_{xy}$ (kN/m ²) _{landers}	$\Delta\sigma_{xy}$ (kN/m ²) ₅₄₀₁	ϕ (°)	K_0
Kesit 1 Kum-1	0.14	0.13	8.0	7.8	29	0.515
Kesit 1 Kum-2	0.10	0.10	16.6	16.4	32	0.470
Kesit 2 Kum	0.10	0.10	17.0	16.7	32	0.470



Şekil 5.12 : Örnek büzülme oranı doğrulaması cdss deney simülasyonu (Kesit 1/Kum-2 Adapazarı)

5.8.2 Sonlu elemanlar modellerinin oluşturulması

Sonlu elemanlar modelleri seçilen kritik kesitler (Kesit 1 ve Kesit 2) için oluşturulmuştur. Prosedür sırasıyla zemin parametrelerinin tanımlanması, sınır şartlarının belirlenmesi, yapısal elemanların özelliklerinin belirlenmesi, sonlu elemanlar ağı oluşturulması, deprem kaydının girilmesi ve analiz aşamalarının oluşturulması şeklinde ilerlemektedir.

Analizlerde serbest saha durumları için oluşturulan modellere ek olarak mevcut yapı yüklerinin sınılaşmaya etkisinin gözlemlenebilmesi amacıyla Kesit 1, ara kum tabakasının etkisinin gözlemlenebilmesi amacıyla ise Kesit 2 kullanılmıştır. Aşağıda oluşturulan modeller açıklanmaktadır.

- *Kesit 1 – Serbest saha durumu (Landers)*

Ara Kum tabakası $H=3\text{m}$ kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sınılaşma durumu dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 1 – Serbest saha durumu (Kocaeli)*

Ara Kum tabakası $H=3\text{m}$ kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sınılaşma durumu dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 1 – Serbest saha durumu 2H Kum (Landers)*

Ara Kum tabakası $H=6\text{m}$ kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sınılaşma durumu dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 1 – Serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli)*

Ara Kum tabakası $H=6\text{m}$ kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sınılaşma durumu dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 2 – Serbest saha durumu (Landers)*

Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Serbest saha sınılaşma durumu dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 2 – Serbest saha durumu (Kocaeli)*

Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Serbest saha sınılaşma durumu dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 1 – Yapı – (Landers)*

Ara Kum tabakası H=3m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli)*

Ara Kum tabakası H=3m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 1 – Yapı – 2H Kum (Landers)*

Ara Kum tabakası H=6m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 1 – Yapı – 2H Kum (Kocaeli)*

Ara Kum tabakası H=6m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 2 – Yapı (Landers)*

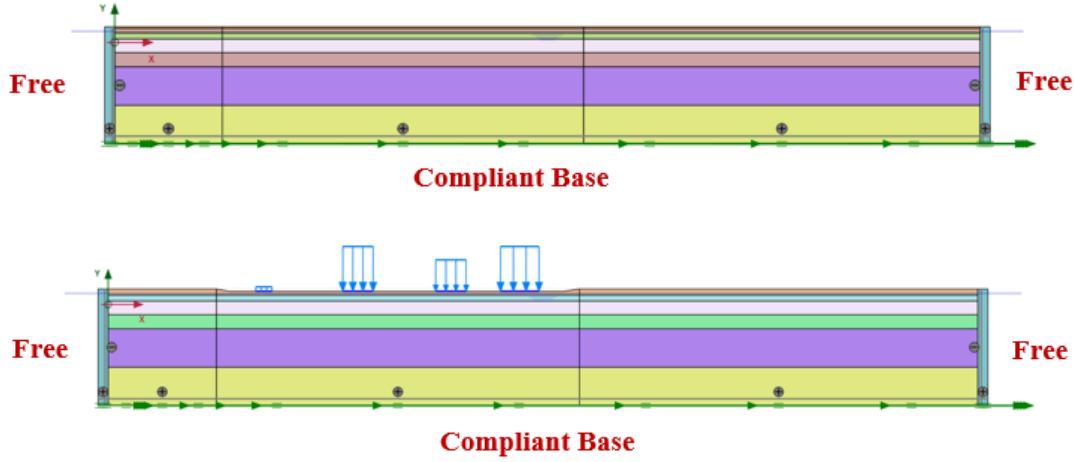
Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

- *Kesit 2 – Yapı (Kocaeli)*

Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

Oluşturulan sonlu elemanlar modelleri yan yüzeyleri serbest, taban ise “Compliant Base” olarak tanımlanmıştır. Modellerin yanal boyutu gerçek saha sınırları dikkate alınarak 430m, düşey boyutları ise zemin profili dikkate alınarak 57.70m olarak alınmıştır.

Oluşturulan sonlu elemanlar modellerinde kullanılan sınır koşulları Şekil 5.13'te belirtilmiştir.



Şekil 5.13 : Sonlu elemanlar modelleri sınır koşulları

Model tabanı “Compliant Base” olarak tanımlandığından ivme kaydının yarısı “Prescribed Displacement, $u_{x,start,ref}=0.5m$ ” olarak tanımlanmıştır [28].

Depremler sonlu elemanlar modellerinde 2 aşamalı olarak etkililmiş, ilk aşamada PM4Sand zemin modelinin PostShake katsayısı “0” olarak alınmış, ikinci aşamada “reset time” opsiyonu kullanılmadan ivme kaydının kaldığı yerden devam edecek şekilde PostShake katsayısı “1” olarak alınmıştır [21].

Sonlu elemanlar modellerinin hesaplama adımları yapı yüklerinin etkidiği ve etkimeydiği durumlar için ayrı olarak aşağıda açıklanmaktadır.

Yapı yüklerinin etkimeydiği modeller için;

1. Başlangıç Fazı (K0 Procedure)

Tüm zemin tabakaları HSsmall zemin modeli seçilerek başlangıç fazında aktif edildi.

2. Gerilme Eşitleme Fazı

Başlangıç fazının hemen ardından “Plastic” hesap tipinde boş faz eklendi. Sahadaki mevcut durumun deprem öncesinde modelde tanımlanmış olması sağlandı.

3. Yüksek İvme Deprem Fazı

Efektif gerilmelerin mevcut durum ile eşitlendiği plastik fazın ardından deprem aktif edildi. İvme kaydının yüksek olduğu kısım için PostShake katsayısının “0” olarak

alındığı PM4Sand zemin modelleri kum tabakaları için aktif edildi. “Reset time” opsiyonu kapalı olarak Landers depremi için 20s (Toplam Kayıt=27.9s), Kocaeli depremi için 15s (Toplam Kayıt=45s) dinamik süre tanımlandı.

4. Düşük İvme Deprem Fazı

Yüksek ivme deprem fazının ardından kum tabakaları için zemin modelleri PostShake katsayısının “1” olarak alındığı modeller ile değiştirilir, dinamik süre kaldığı yerden devam edecek şekilde Landers depremi için 7.9s (Toplam Kayıt=27.9s), Kocaeli depremi için 30s (Toplam Kayıt=45s) dinamik süre tanımlandı.

Yapı yüklerinin etkidiği modeller için;

1. Başlangıç Fazı (K0 Procedure)

Tüm zemin tabakaları HSsmall zemin modeli seçilerek başlangıç fazında aktif edildi.

2. Gerilme Eşitleme Fazı

Başlangıç fazının hemen ardından “Plastic” hesap tipinde boş faz eklendi. Sahadaki mevcut durumun deprem öncesinde modelde tanımlanmış olması sağlandı.

3. Temel Kazısı Aşaması

Gerilme eşitleme fazının ardından temel kazısı için ilgili derinlikte zemin tabakası aktifliği kaldırıldı.

4. Yapı Yüklerinin Etkitilmesi Aşaması

Yapı Yükleri gerçek sahadaki ara açıklıklar ve ortalama gerilmeleri uygun olacak şekilde aktif edildi.

5. Yüksek İvme Deprem Fazı

Deprem aktif edildi. İvme kaydının yüksek olduğu kısım için PostShake katsayısının “0” olarak alındığı PM4Sand zemin modelleri kum tabakaları için aktif edildi. Deprem aşamalarında elde edilecek oturmaların sadece deprem fazında oluştuğuna emin olmak adına deplasmanların sıfırlanması opsiyonu kullanıldı. “Reset time” opsiyonu kapalı olarak Landers depremi için 20s (Toplam Kayıt=27.9s), Kocaeli depremi için 15s (Toplam Kayıt=45s) dinamik süre tanımlandı.

6. Düşük İvme Deprem Fazı

Yüksek ivme deprem fazının ardından kum tabakaları için zemin modelleri PostShake katsayısının “1” olarak alındığı modeller ile değiştirildi, dinamik süre kaldığı yerden devam edecek şekilde Landers depremi için 7.9s (Toplam Kayıt=27.9s), Kocaeli depremi için 30s (Toplam Kayıt=45s) dinamik süre tanımlandı.

5.8.3 Zemin parametrelerinin tanımlanması

Modelleme için HSSmall (Küçük Şekil Değiştirmeler ile Pekleşen Zemin (The Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness) Modeli) ve PM4SAND zemin modelleri kullanılmıştır. Dinamik analizler öncesinde modelin gerçek gerilme durumunu yansıtabilmesi için tüm zemin tanımlamaları HSSmall zemin modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik durumda ise kaba daneli zeminlerin sıvılaşma davranışının modellenmesi için PM4SAND zemin modeli kullanılmıştır. Dinamik analizler öncesinde HSSmall ile tanımlanan kaba daneli zeminlerin zemin modeli dinamik etkiler ile birlikte PM4SAND’e çevrilmiştir. Sonlu elemanlar modellerinde kullanılan zemin parametreleri HSSmall zemin modelleri için Çizelge 5.9’da PM4SAND zemin modelleri için ise Çizelge 5.8’de verilmektedir.

PM4Sand zemin modellerinde PostShake parametresi 0 ve 1 için ayrı zemin modelleri tanımlanmış, deprem kaydının yüksek ivme değerlerinin baskın olduğu kısımda PostShake=0, kaydın geri kalan kısmında ise PostShake=1 olarak kullanılmıştır [21].

Çizelge 5.8 : PM4Sand zemin modelinde kullanılan parametreler

Parametre	Kesit 1				Kesit 2	
	Kum-1 Landers	Kum-1 Kocaeli	Kum-2 Landers	Kum-2 Kocaeli	Kum Landers	Kum Kocaeli
SPT N _{1,60}	5	5	13	13	12	12
DR (%)	0.33	0.33	0.53	0.53	0.51	0.51
G ₀	457	457	657	657	636	636
h _{p0}	0.30	0.30	0.045	0.050	0.060	0.060
p _A (kN/m ²)	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3
e _{max}	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
e _{max}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
n ^b	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
n ^d	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
phi _{cv}	33	33	33	33	33	33
v	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Critical Line Q	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Critical Line R	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
PostShake	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1

Çizelge 5.9 : HSSmall zemin modelinde kullanılan parametreler

Parametre	Sembol	Kil-1	Kil-2	Kil-3	Kum-1	Kum-2
Drenaj Tipi	-	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Birim Hacim Ağırlığı	γ (kN/m ³)	18	19	17	18	19
Rayleigh Sönüm Katsayısı	α (Landers)	-0.03007	-0.03007	-0.03007	-0.03007	-0.03007
Rayleigh Sönüm Katsayısı	β (Landers)	0.0002207	0.0002207	0.0002207	0.0002207	0.0002207
Rayleigh Sönüm Katsayısı	α (Kocaeli)	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
Rayleigh Sönüm Katsayısı	β (Kocaeli)	8.96E-04	8.96E-04	8.96E-04	8.96E-04	8.96E-04
Elastisite Modülü	E ₅₀ ^{ref} (MPa)	5	8	8	10	10
Ödometre Modülü	E _{oed} ^{ref} (MPa)	5	8	8	10	10
Yük Boşaltma Modülü	E _{ur} ^{ref} (MPa)	15	24	24	30	30
Kohezyon	c' _{ref} (kPa)	5	8	10	0	0
Kayma Mukavemeti Açısı	ϕ' (°)	28	27	29	29	32
G _s =0.722G ₀ karşılık gelen Şekil Değiştirme	$\gamma_{0.7}$	1.40E-04	2.40E-04	2.80E-04	9.20E-05	1.40E-04
Kayma Modülü	G ₀ ^{ref} (MPa)	50	55	80	45	90

5.8.4 Sonlu elemanlar analizlerinin irdelenmesi

Sonlu elemanlar analizleri sonucunda sıvılaşma potansiyeli, ilgili derinlikteki aşırı boşluk suyu basıncı ve başlangıç efektif gerilme değeri ile bağlantılı olarak boşluk suyu basıncı oranı (r_u) ile ifade edilmektedir. Boşluk suyu basıncı oranı (r_u) denklem (5.2) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$r_u = 1 - \frac{\sigma'_v}{\sigma'_{v0}} \quad (5.2)$$

Burada, σ'_v , dinamik etkiler sonrasındaki düşey efektif gerilmeyi, σ'_{v0} ise dinamik etkiler öncesindeki düşey efektif gerilmeyi ifade etmektedir. Boşluk suyu basıncı oranı (r_u) 1 e eşit olduğunda ilgili derinlikte tam sıvılaşma durumunun mevcut olduğu yorumu yapılabilir. Bunun sebebi ise dinamik etkiler ile birlikte boşluk suyu basıncının aşırı artışı ile birlikte dinamik etkiler sonrasındaki düşey efektif gerilmenin *sıfıra* eşit hale gelmesidir.

Beaty ve Perlea tarafından 2011 yılında maksimum boşluk suyu basıncı oranı (r_u) değerinin 70% değerini aştığı noktada sıvılaşmanın gerçekleştiği kabulü yapılmıştır. [28]

6. ANALİZ SONUÇLARI

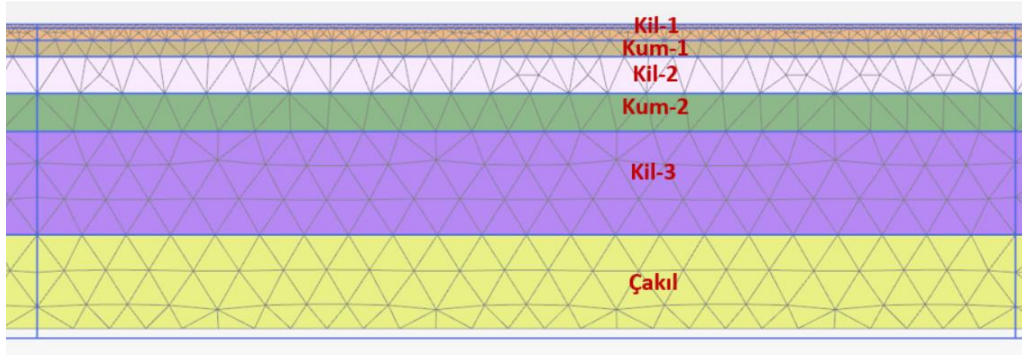
Gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinin model görünümüleri, maksimum boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramları, oturma diyagramları ve tabakaların orta noktalarında seçilen düğüm noktaları için oturma grafikleri bu bölümde verilmektedir.

- *Kesit 1 – Serbest saha durumu (Landers)*

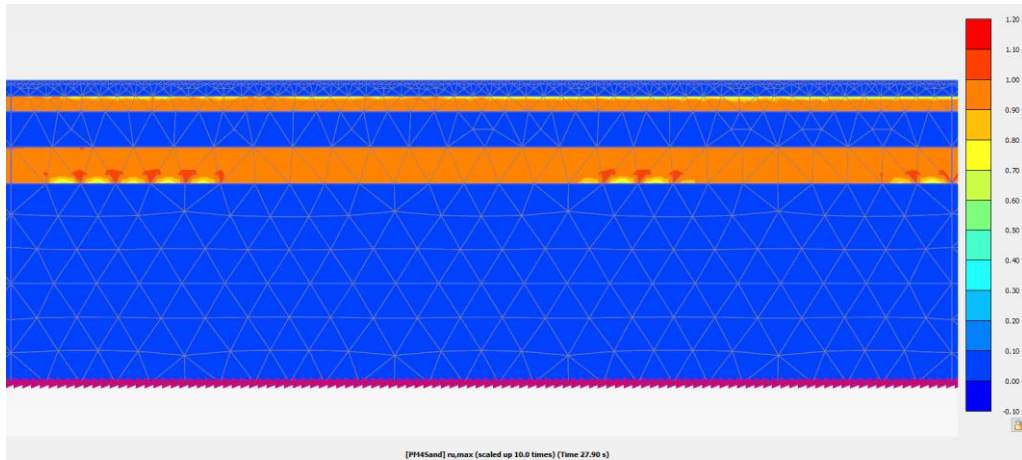
Ara Kum tabakası H=3m kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sıvılaşma durumu dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

“Kesit 1 – Serbest Saha Durumu (Landers)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.1’de, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.2’de, oturma diyagramı Şekil 6.3’te, oturma grafiği ise Şekil 6.4’te verilmektedir.

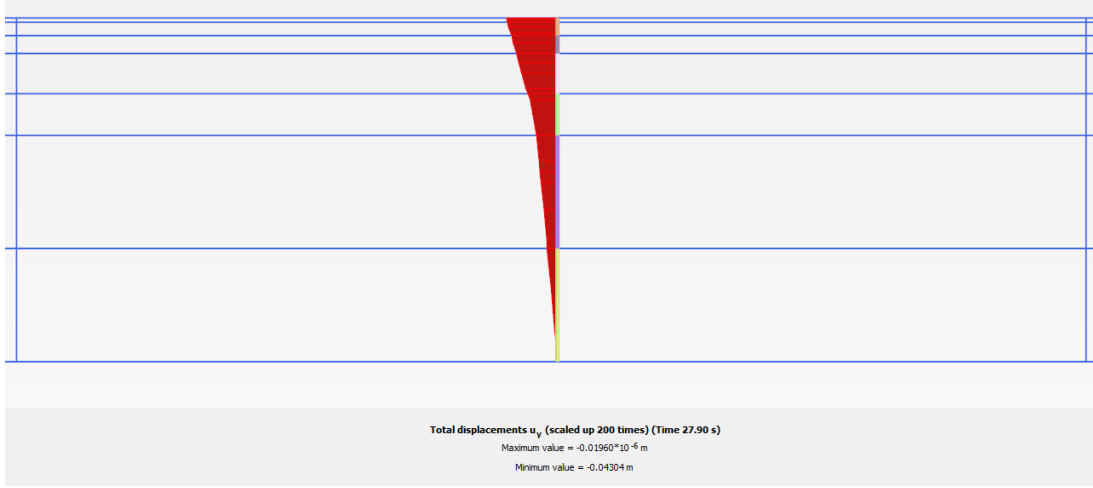
Her iki kum tabakası için de tam sıvılaşma durumuna yakın bir davranış görülmektedir. Serbest saha oturması yaklaşık 4.3cm olarak elde edilmiştir.



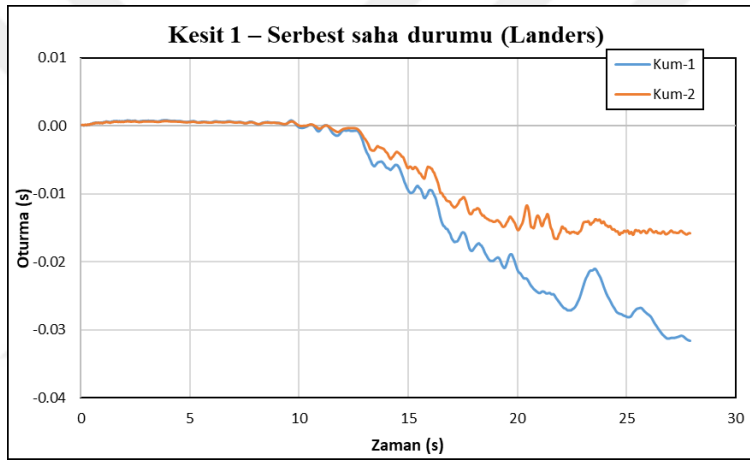
Şekil 6.1 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – model görünümü



Şekil 6.2 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.3 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – oturma diyagramı



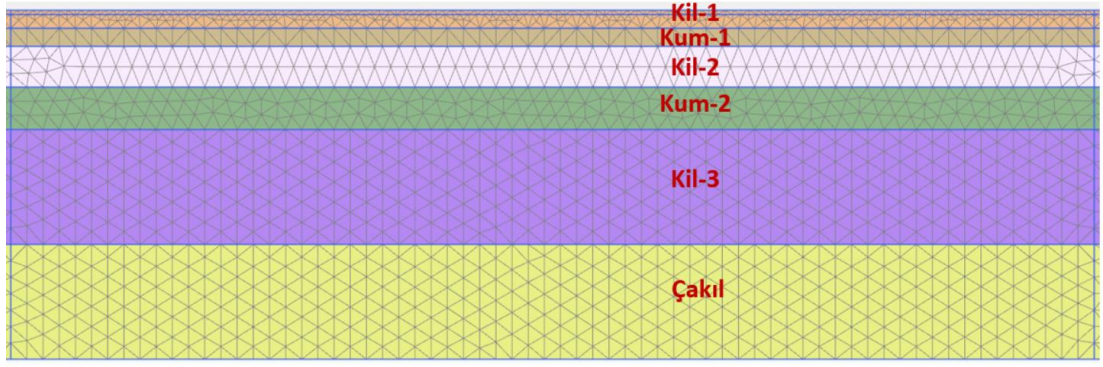
Şekil 6.4 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Landers) – oturma grafiği

- *Kesit 1 – Serbest saha durumu (Kocaeli)*

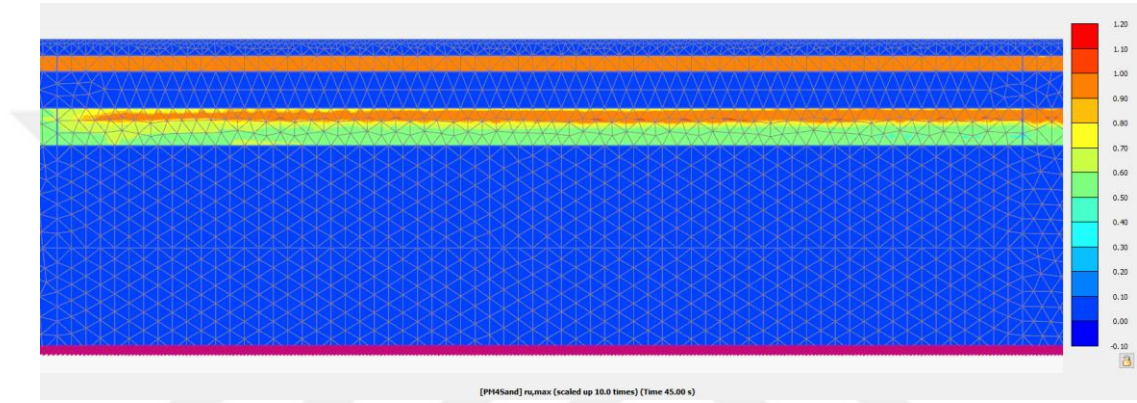
Ara Kum tabakası $H=3\text{m}$ kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sıvılaşma durumu dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

“Kesit 1 – Serbest Saha Durumu (Kocaeli)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.5’te, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.6’da, oturma diyagramı Şekil 6.7’de, oturma grafiği ise Şekil 6.8’de verilmektedir.

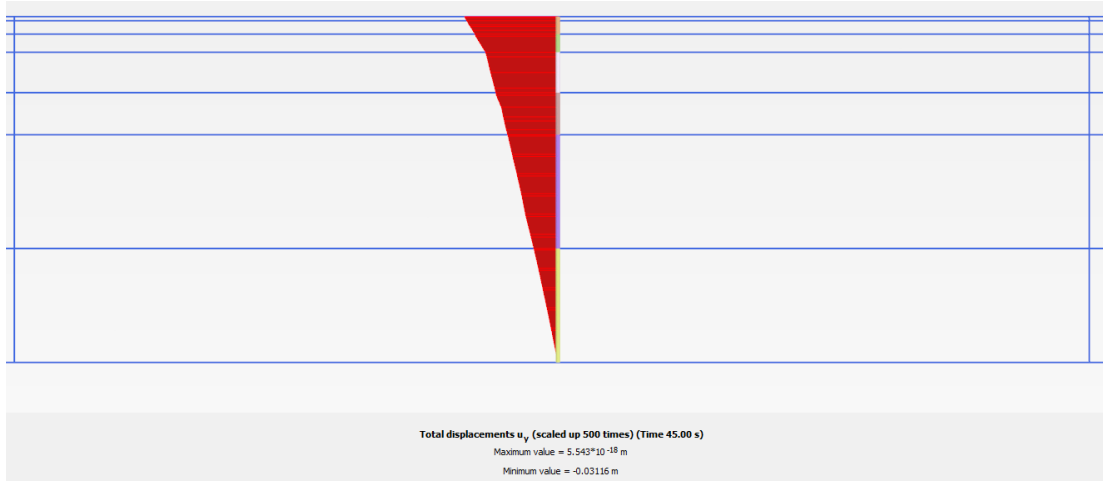
Üst kum için tam sıvılaşmaya yakın davranış görülmektedir. Alt kum’un ilk 2m kalınlıktaki kısmı tam sıvılaşma, geri kalan kısmı ise $r_{u,max}=50-60\%$ aralığında olarak görülmektedir. Serbest saha oturması yaklaşık 3.1cm olarak elde edilmiştir.



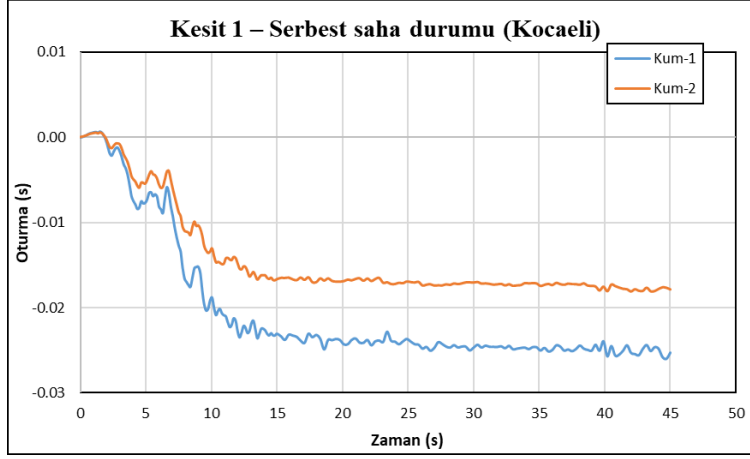
Şekil 6.5 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – model görünümü



Şekil 6.6 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.7 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma diyagramı



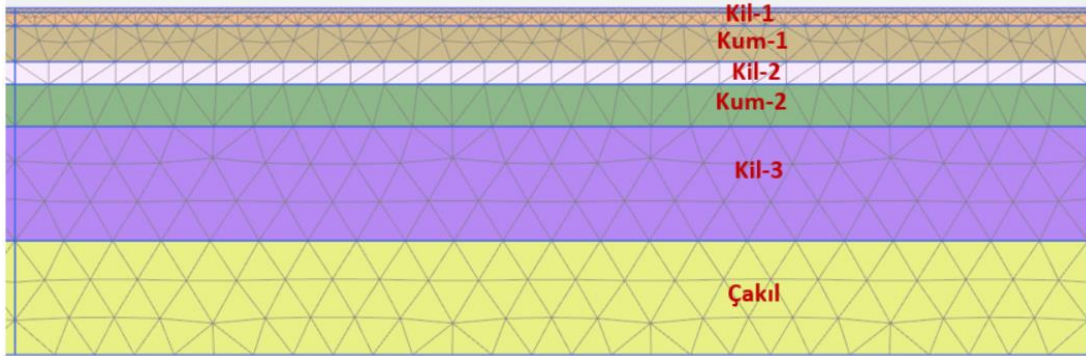
Şekil 6.8 : Kesit 1 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma grafiği

- *Kesit 1 – Serbest saha durumu 2H Kum (Landers)*

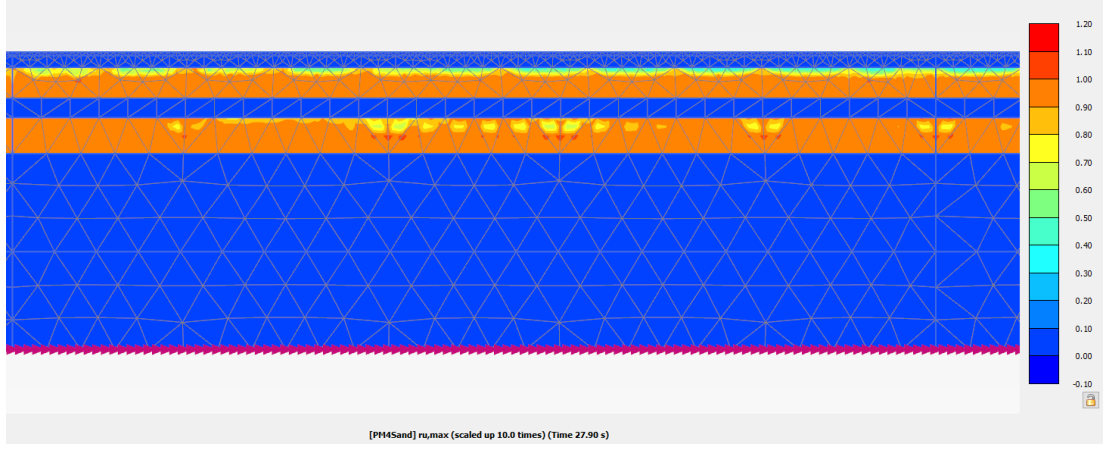
Ara Kum tabakası H=6m kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sıvılaşma durumu dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

“Kesit 1 – Serbest Saha Durumu 2H Kum (Landers)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.9’da, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.10’da, oturma diyagramı Şekil 6.11’de, oturma grafiği ise Şekil 6.12’de verilmektedir.

Her iki kum tabakası için de tam sıvılaşma durumuna yakın bir davranış görülmektedir. Serbest saha oturması yaklaşık 4.0cm olarak elde edilmiştir.



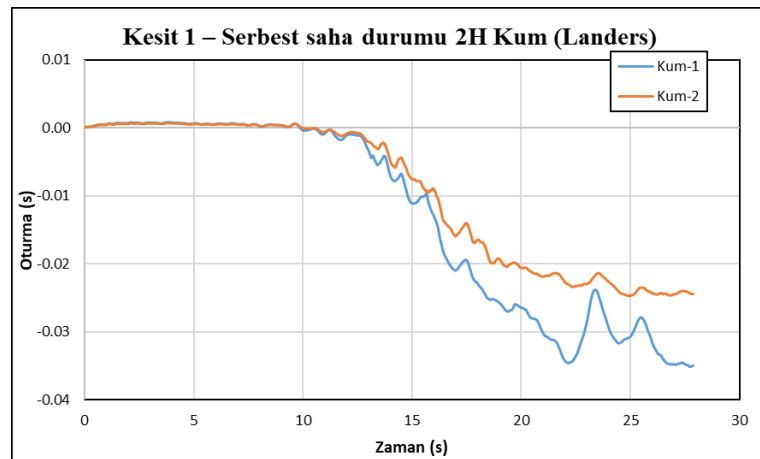
Şekil 6.9 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – model görünümü



Şekil 6.10 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.11 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – oturma diyagramı



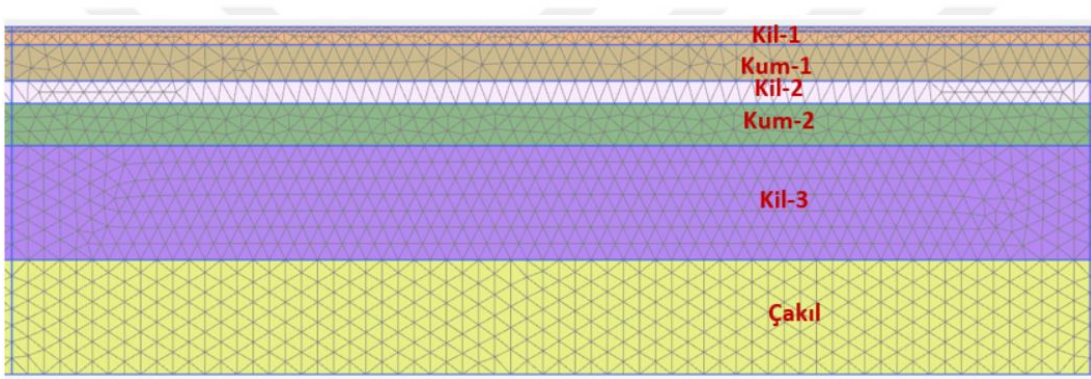
Şekil 6.12 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Landers) – oturma grafiği

- Kesit 1 – Serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli)

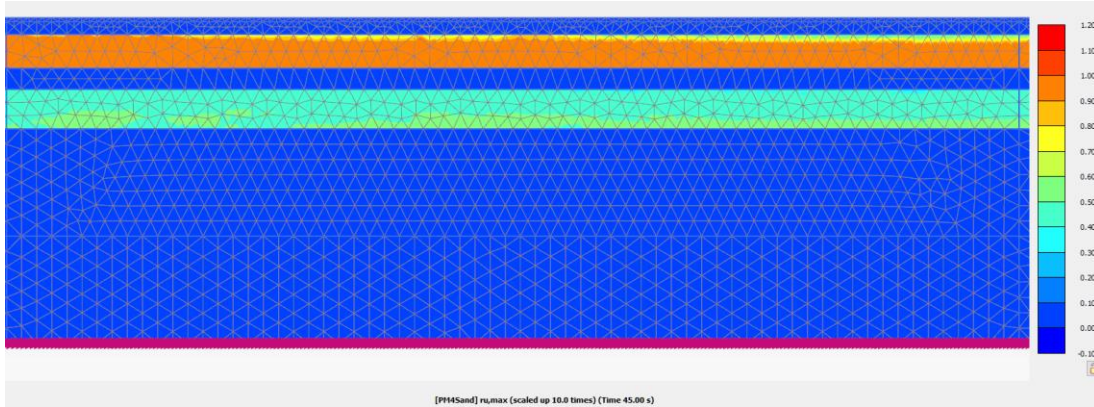
Ara Kum tabakası H=6m kalınlığında dikkate alınmıştır. Serbest saha sıvılaşma durumu dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

“Kesit 1 – Serbest Saha Durumu 2H Kum (Kocaeli)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.13’te, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.14’te, oturma diyagramı Şekil 6.15’te, oturma grafiği ise Şekil 6.16’da verilmektedir.

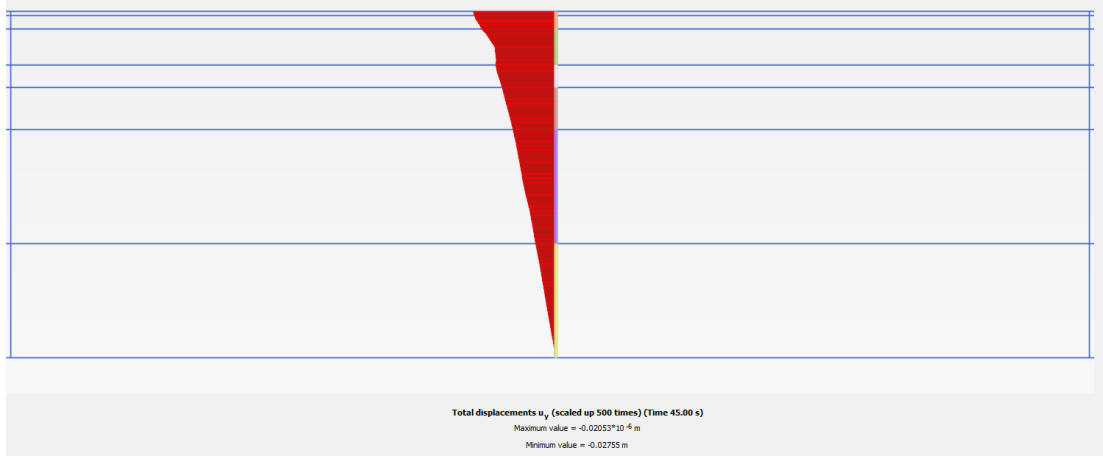
Üst kum için tam sıvılaşmaya yakın davranış görülmektedir. Alt kum için ise $r_{u,max}=30-40\%$ aralığında olarak görülmektedir. Serbest saha oturması yaklaşık 2.7cm olarak elde edilmiştir.



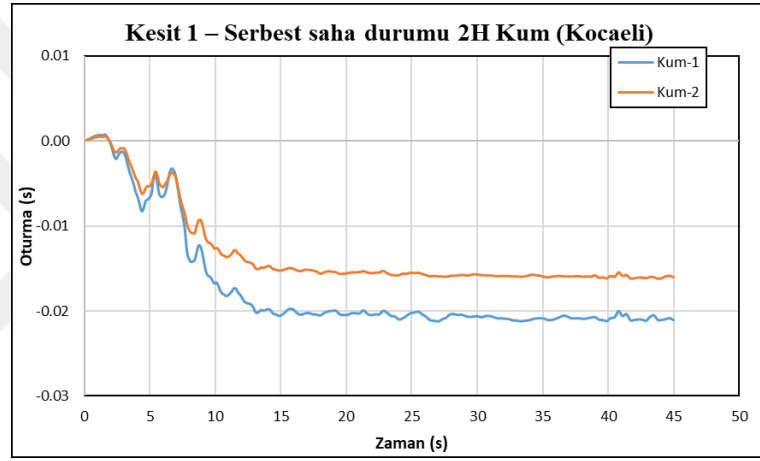
Şekil 6.13 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – model görünümü



Şekil 6.14 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.15 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – oturma diyagramı



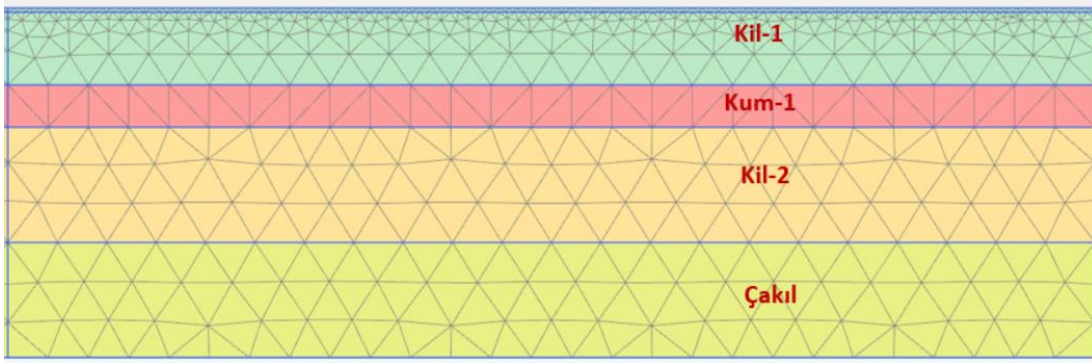
Şekil 6.16 : Kesit 1 – serbest saha durumu 2H Kum (Kocaeli) – oturma grafiği

- *Kesit 2 – Serbest saha durumu (Landers)*

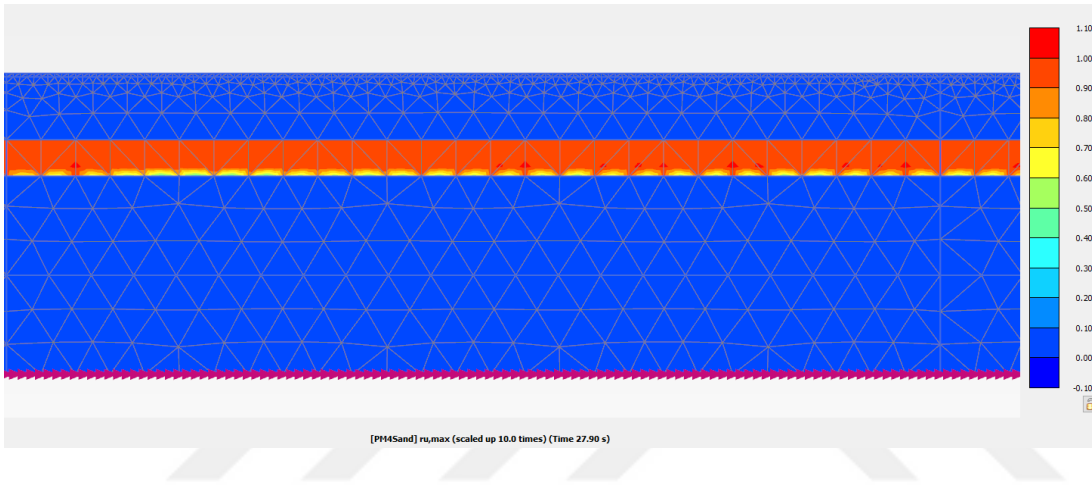
Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Serbest saha sıvılaşma durumu dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

“Kesit 2 – Serbest Saha Durumu (Landers)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.17’de, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.18’de, oturma diyagramı Şekil 6.19’da, oturma grafiği ise Şekil 6.20’de verilmektedir.

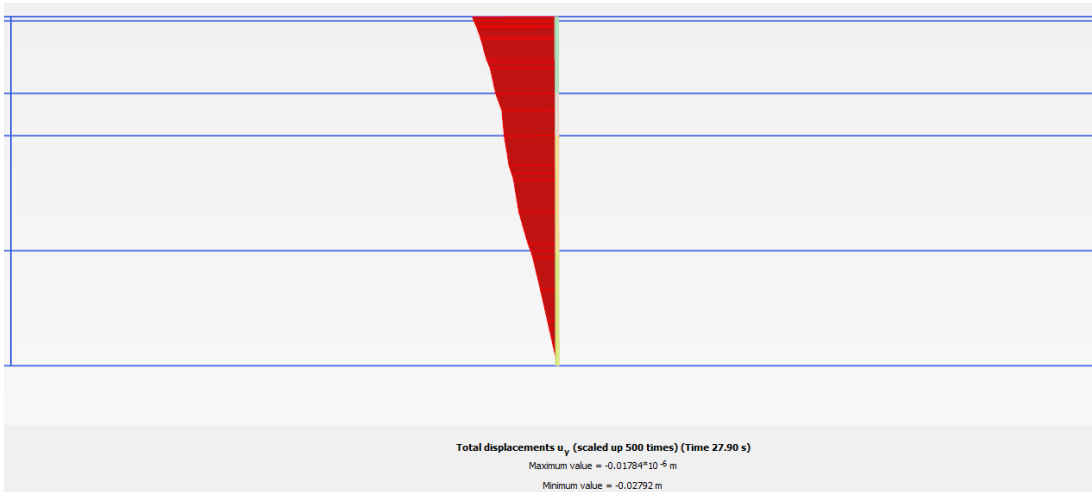
Kum tabakası için de tam sıvılaşma durumuna yakın bir davranış görülmektedir. Serbest saha oturması yaklaşık 2.8cm olarak elde edilmiştir.



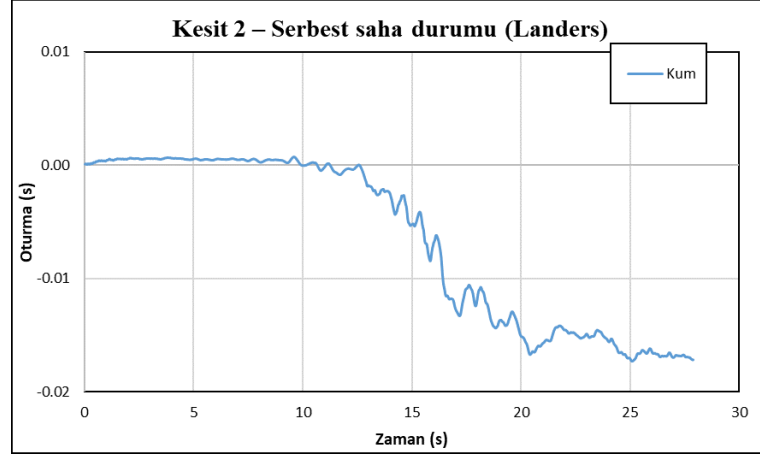
Şekil 6.17 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – model görünümü



Şekil 6.18 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.19 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – oturma diyagramı



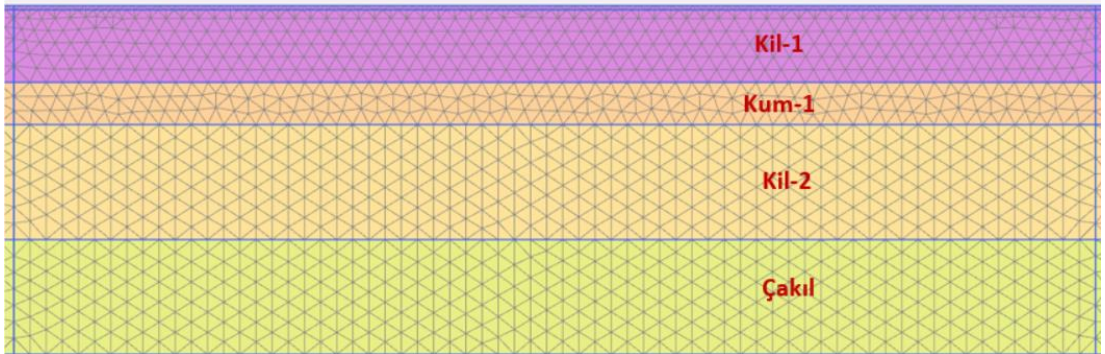
Şekil 6.20 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Landers) – oturma grafiği

- *Kesit 2 – Serbest saha durumu (Kocaeli)*

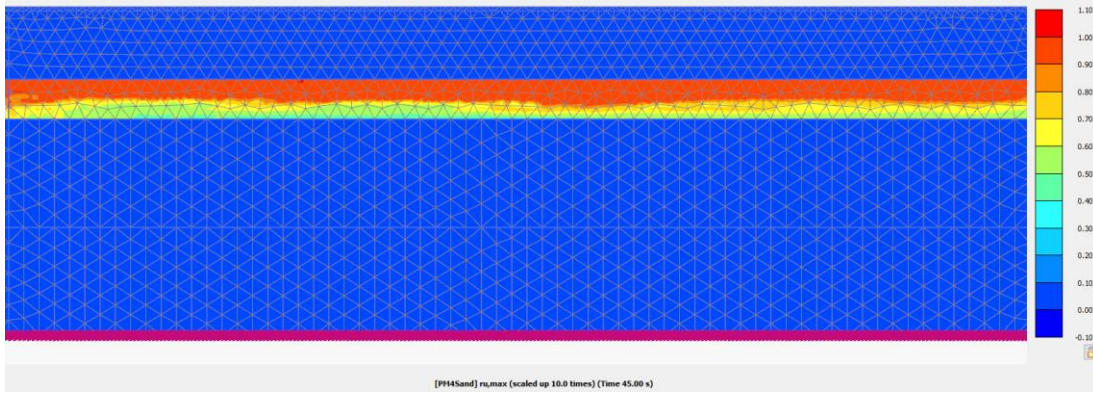
Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Serbest saha sıvılaşma durumu dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

“Kesit 2 – Serbest Saha Durumu (Kocaeli)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.21’de, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.22’de, oturma diyagramı Şekil 6.23’te, oturma grafiği ise Şekil 6.24’te verilmektedir.

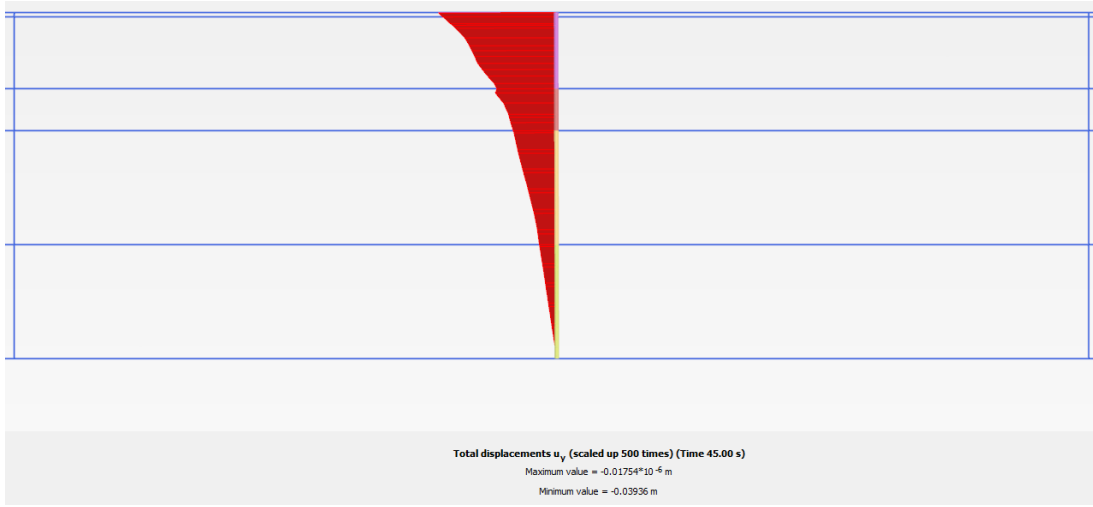
Üst kum için tam sıvılaşmaya yakın davranış görülmektedir. Alt kum’un ilk 5m kalınlıktaki kısmı tam sıvılaşma, geri kalan kısmı ise $r_{u,max}=30-70\%$ aralığında olarak görülmektedir. Serbest saha oturması yaklaşık 3.9cm olarak elde edilmiştir.



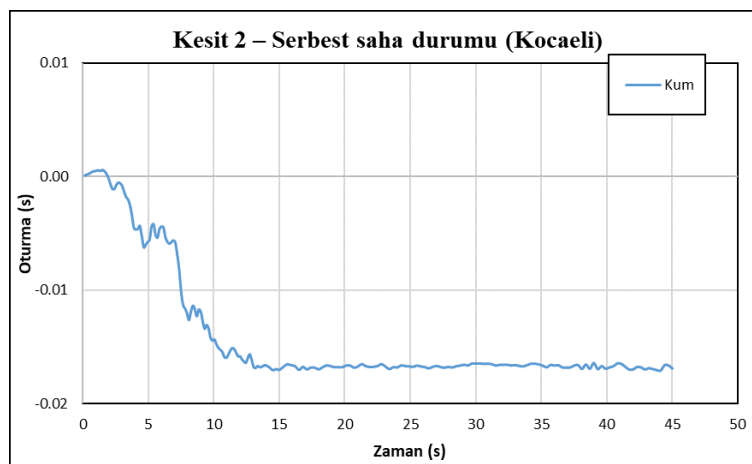
Şekil 6.21 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – model görünümü



Şekil 6.22 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.23 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma diyagramı

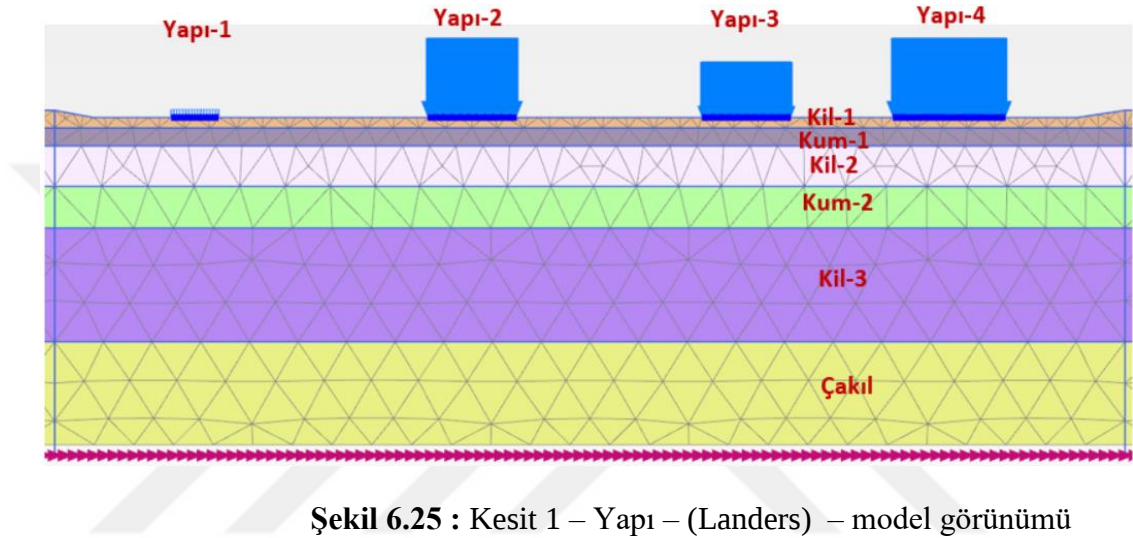


Şekil 6.24 : Kesit 2 – serbest saha durumu (Kocaeli) – oturma grafiği

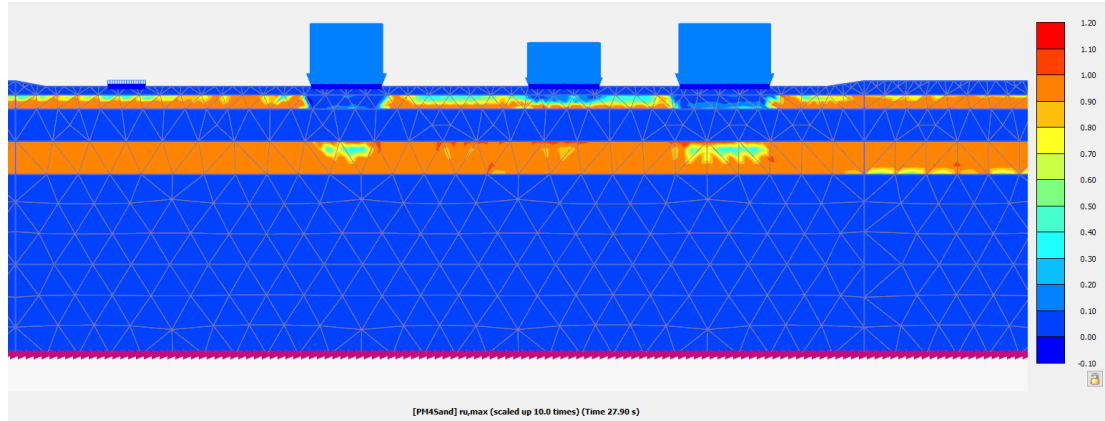
- Kesit 1 – Yapı – (Landers)

Ara Kum tabakası H=3m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

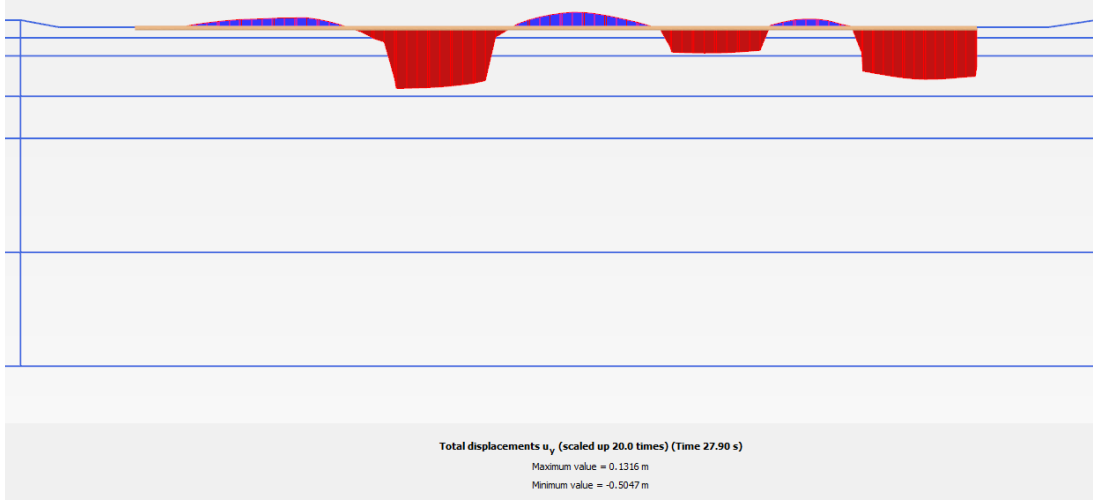
“Kesit 1 – Yapı - (Landers)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.25’te, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.26’da, oturma diyagramı Şekil 6.27’de, oturma grafiği ise Şekil 6.28 ve Şekil 6.29’da verilmektedir.



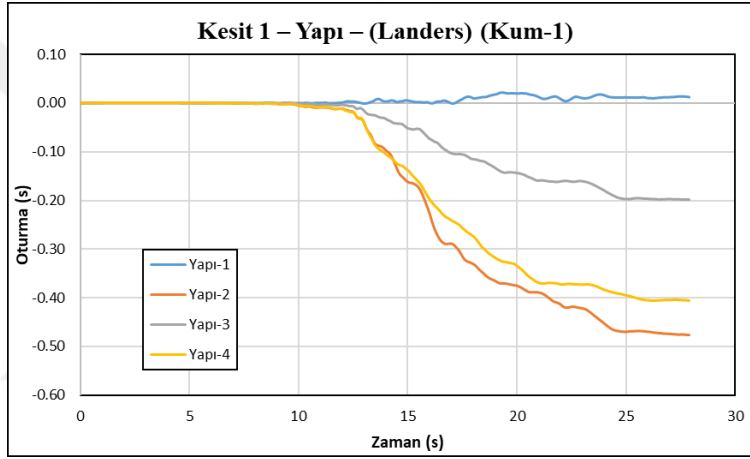
Şekil 6.25 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – model görünümü



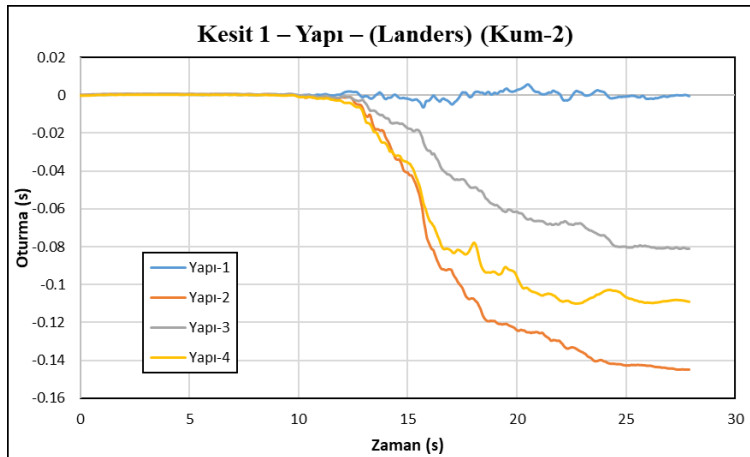
Şekil 6.26 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.27 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – oturma diyagramı



Şekil 6.28 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – oturma grafiği (Kum-1)



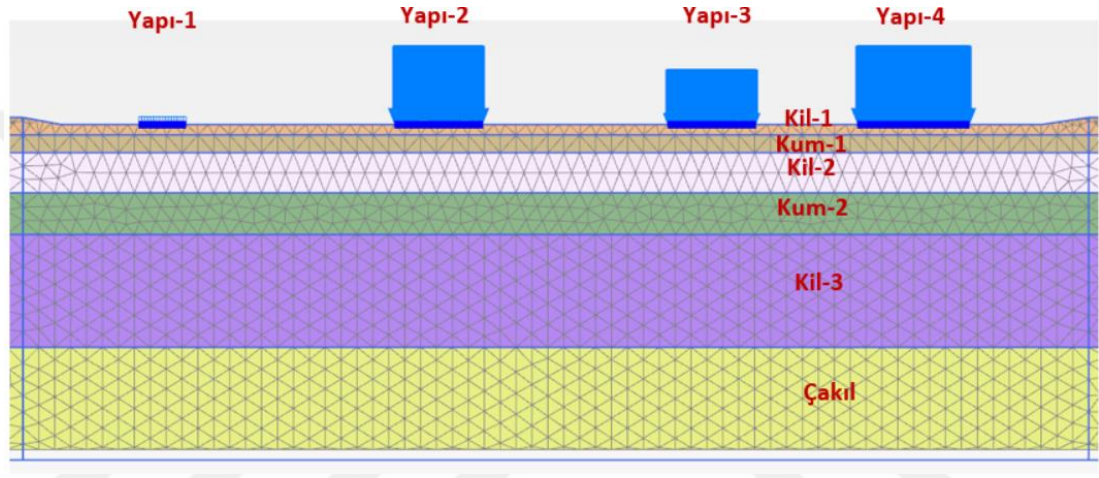
Şekil 6.29 : Kesit 1 – Yapı – (Landers) – oturma grafiği (Kum-2)

- *Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli)*

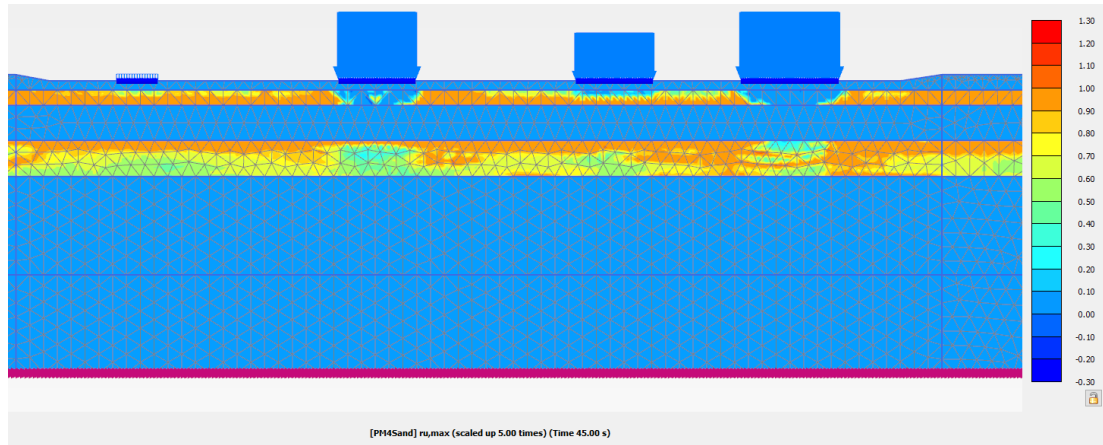
Ara Kum tabakası H=3m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

“Kesit 1 – Yapı - (Kocaeli)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.30’da, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.31’de, oturma diyagramı Şekil 6.32’de, oturma grafiği ise Şekil 6.33 ve Şekil 6.34’te verilmektedir.

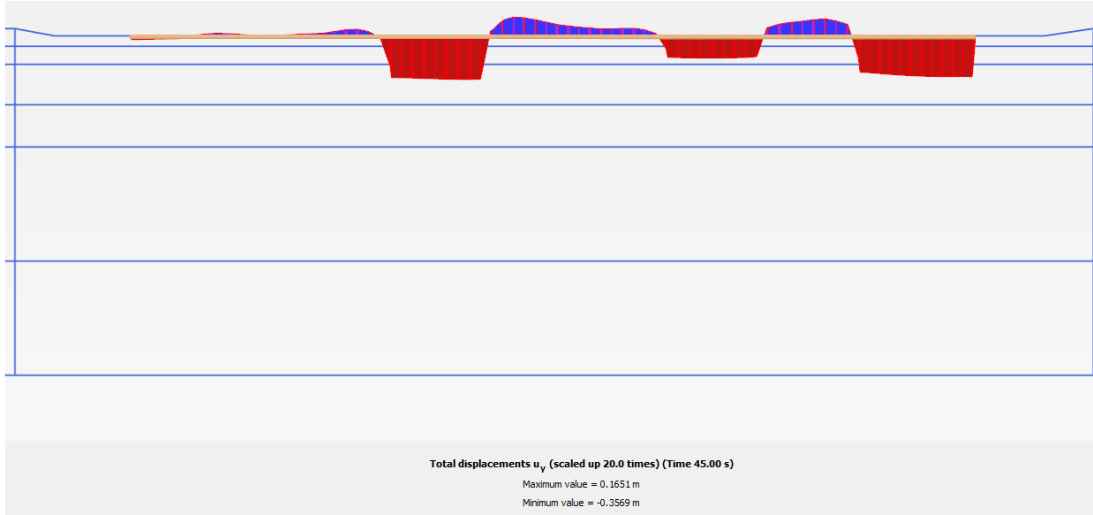
Yapı yüklerinin yaklaşık etki derinlikleri boyunca sıvılaşma potansiyelini azalttığı görülmektedir. Yapı altındaki oturma değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.



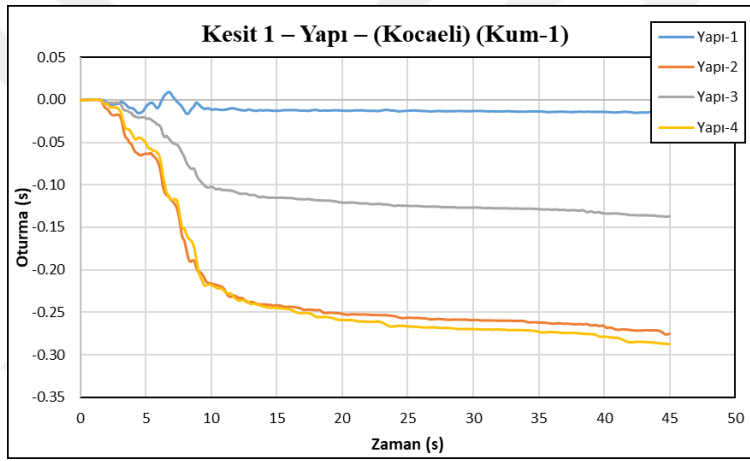
Şekil 6.30 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – model görünümü



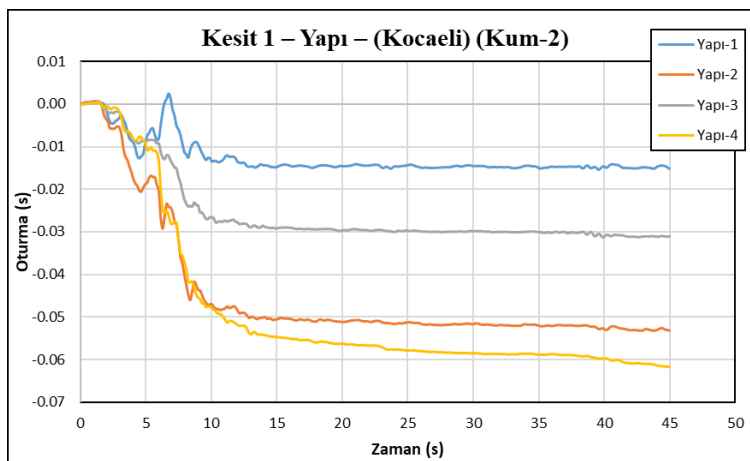
Şekil 6.31 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.32 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – oturma diyagramı



Şekil 6.33 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-1)



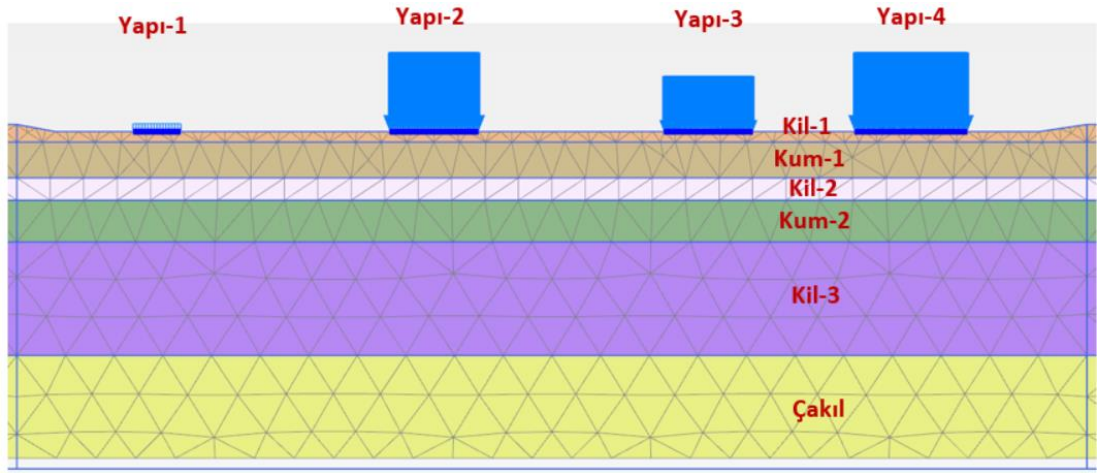
Şekil 6.34 : Kesit 1 – Yapı – (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-2)

- Kesit 1 – Yapı – 2H Kum (Landers)

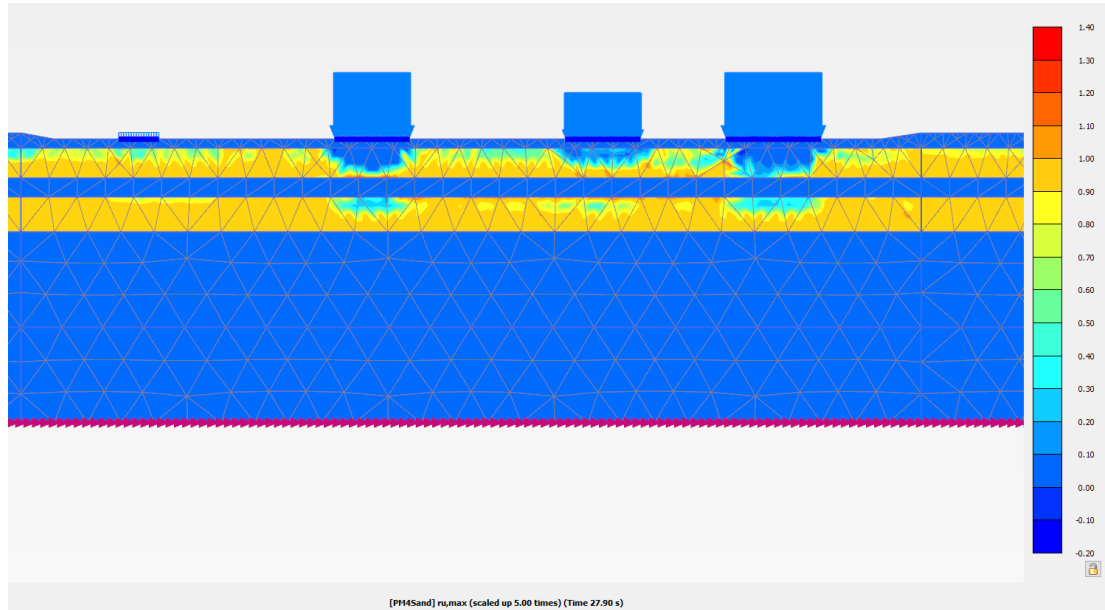
Ara Kum tabakası H=6m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

“Kesit 1 – Yapı – 2H Kum (Landers)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.35’te, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.36’da, oturma diyagramı Şekil 6.37’de, oturma grafiği ise Şekil 6.38 ve Şekil 6.39’da verilmektedir.

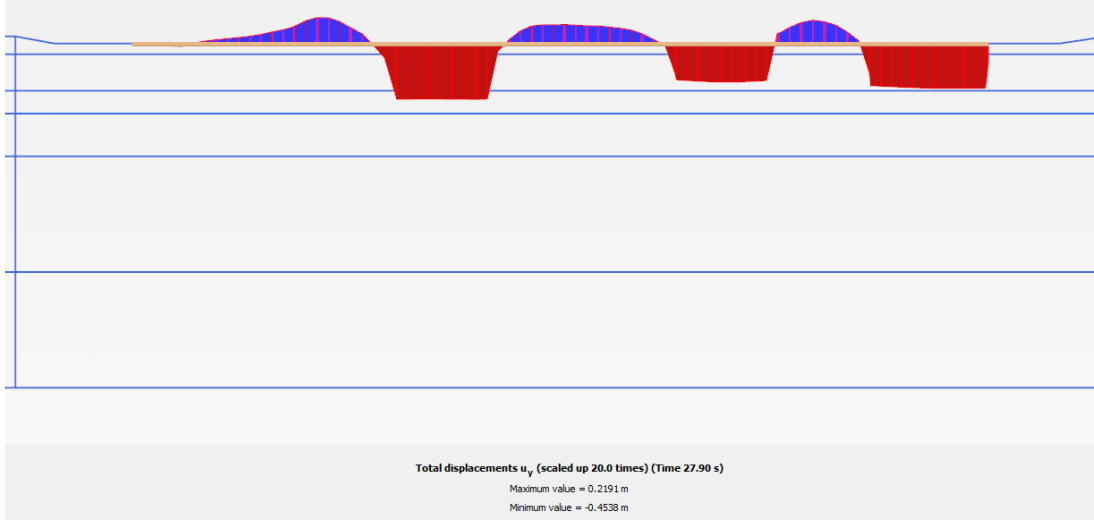
Yapı yüklerinin yaklaşık etki derinlikleri boyunca sıvılaşma potansiyelini azalttığı görülmektedir. Yapı altındaki oturma değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.



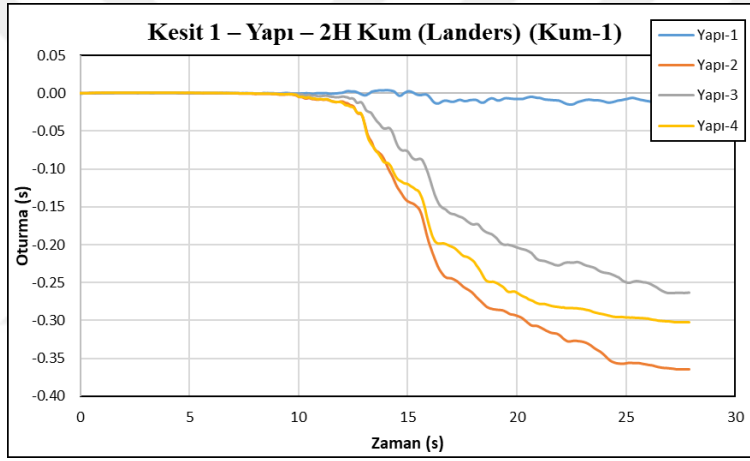
Şekil 6.35 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – model görünümü



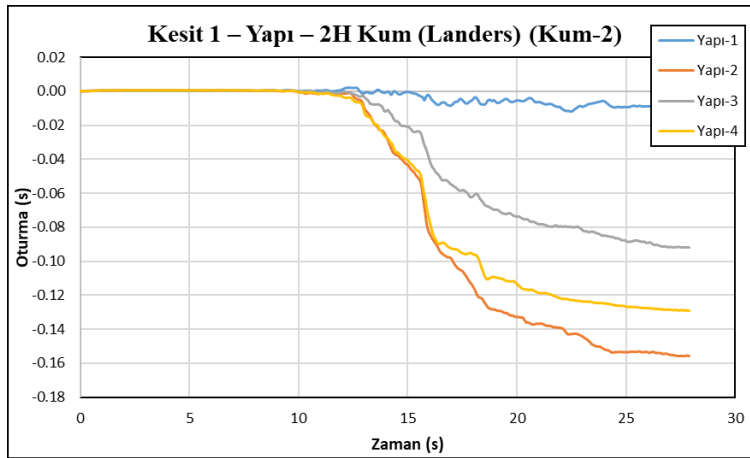
Şekil 6.36 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.37 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – oturma diyagramı



Şekil 6.38 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – oturma grafiği (Kum-1)



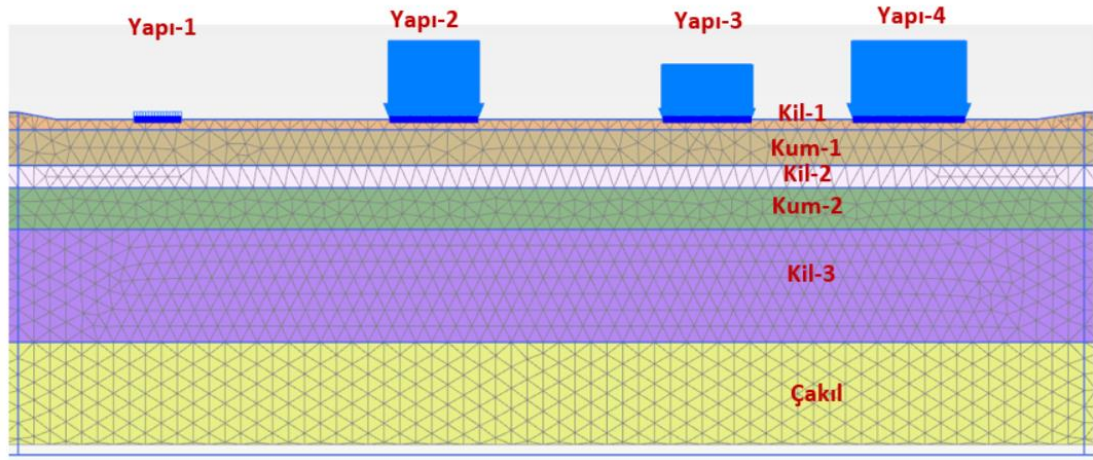
Şekil 6.39 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Landers) – oturma grafiği (Kum-2)

- Kesit 1 – Yapı – 2H Kum (Kocaeli)

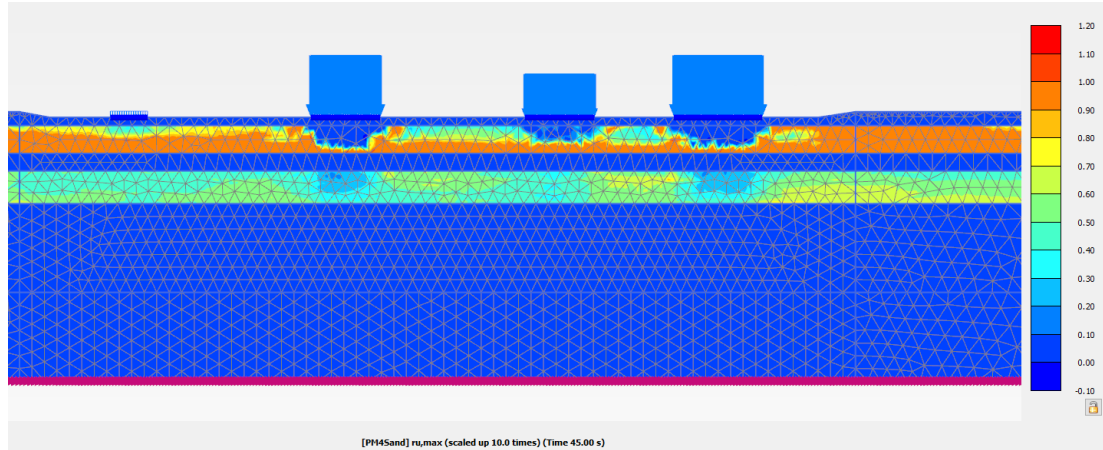
Ara Kum tabakası H=6m kalınlığında dikkate alınmıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

“Kesit 1 – Yapı – 2H Kum (Kocaeli)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.40’ta, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.41’de, oturma diyagramı Şekil 6.42’de, oturma grafiği ise Şekil 6.43 ve Şekil 6.44’te verilmektedir.

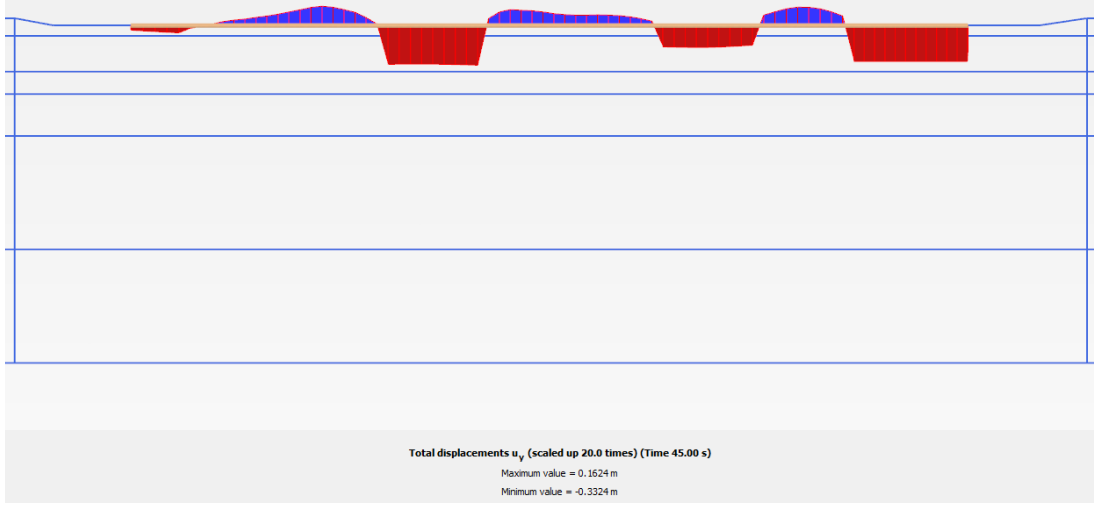
Yapı yüklerinin yaklaşık etki derinlikleri boyunca sıvılaşma potansiyelini azalttığı görülmektedir. Yapı altındaki oturma değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.



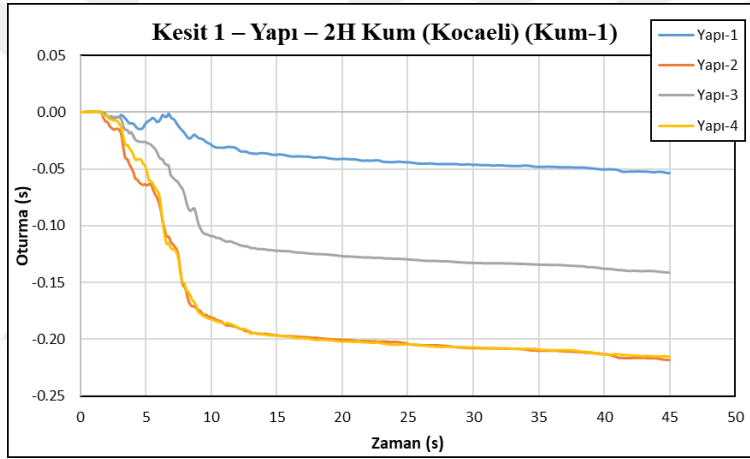
Şekil 6.40 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – model görünümü



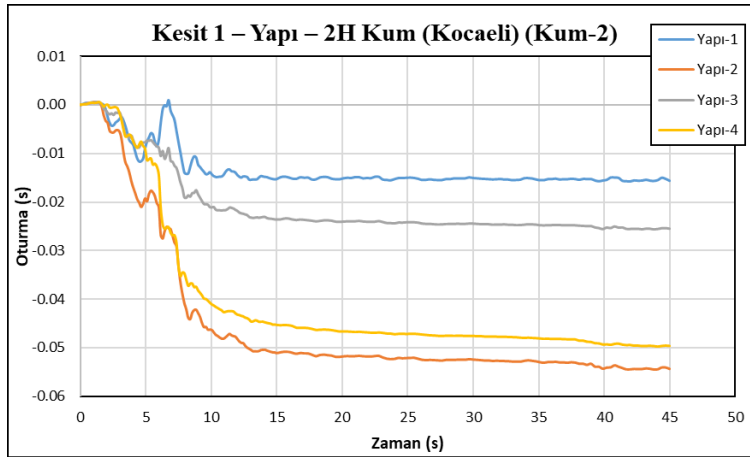
Şekil 6.41 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.42 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – oturma diyagramı



Şekil 6.43 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-1)



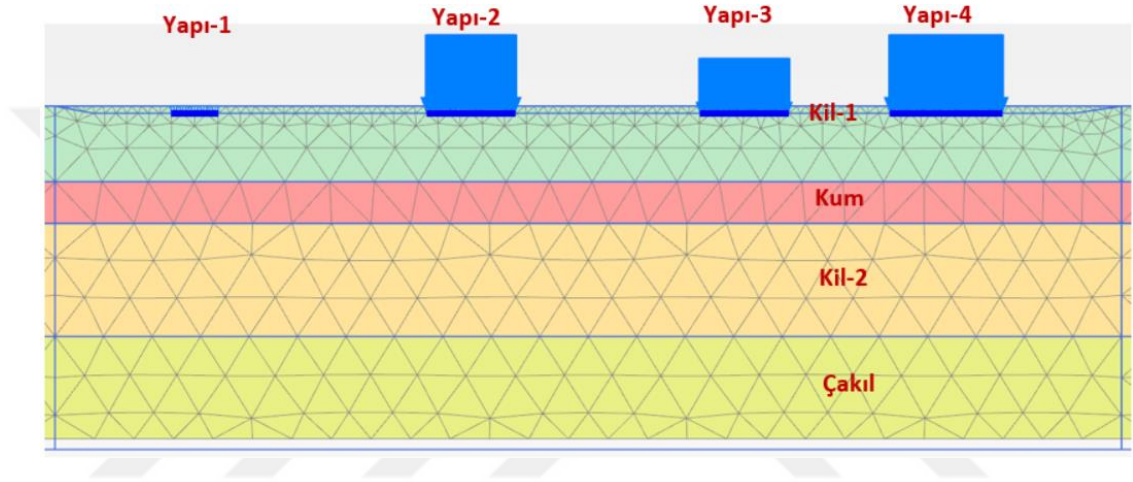
Şekil 6.44 : Kesit 1 – Yapı – 2H Kum - (Kocaeli) – oturma grafiği (Kum-2)

- Kesit 2 – Yapı (Landers)

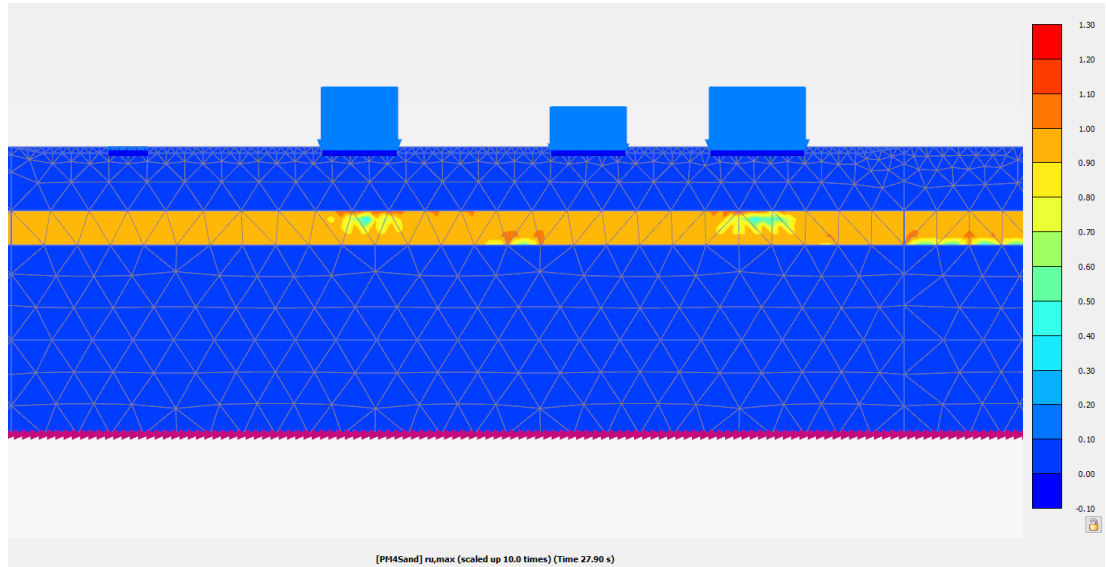
Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Landers depremi kullanılmıştır.

“Kesit 2 – Yapı (Landers)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.45’te, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.46’da, oturma diyagramı Şekil 6.47’de, oturma grafiği ise Şekil 6.48’de verilmektedir.

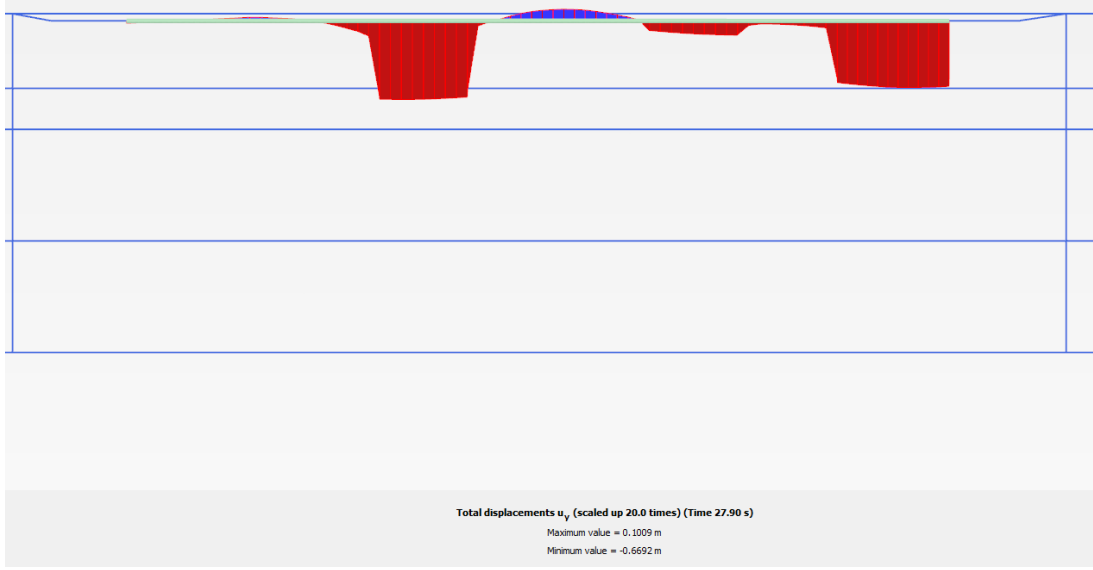
Yapı yüklerinin yaklaşık etki derinlikleri boyunca sıvılaşma potansiyelini azalttığı görülmektedir. Yapı altındaki oturma değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.



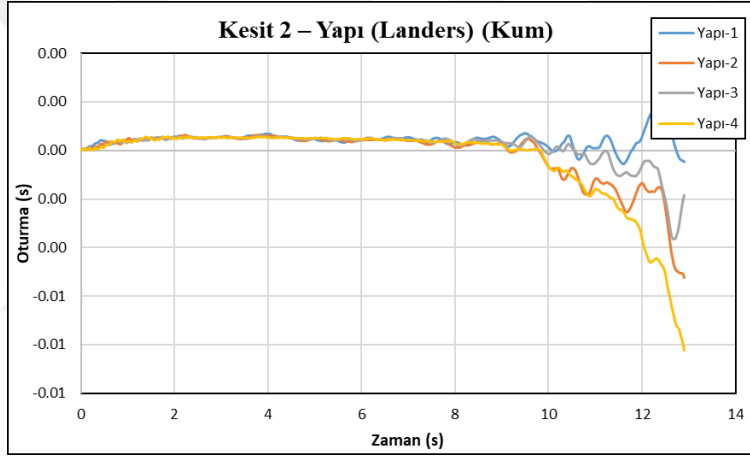
Şekil 6.45 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – model görünümü



Şekil 6.46 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı



Şekil 6.47 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – oturma diyagramı



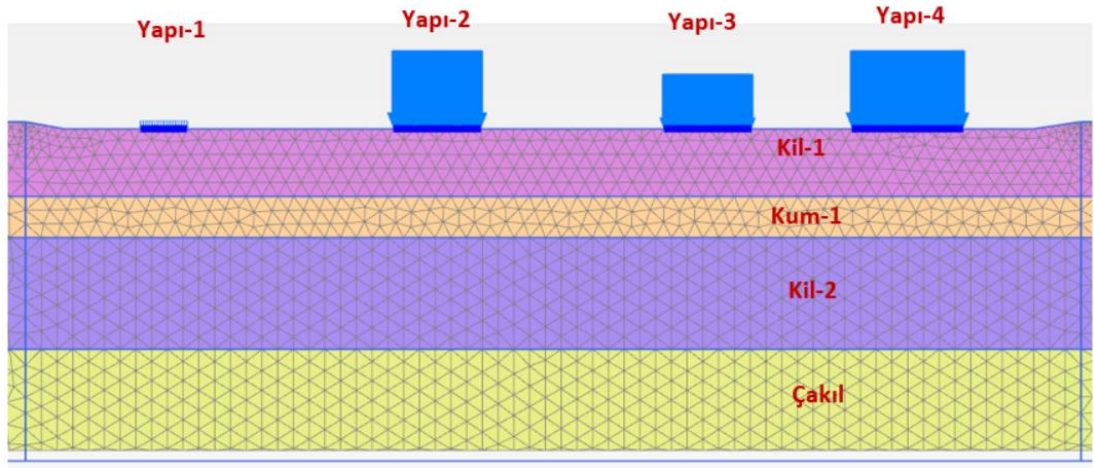
Şekil 6.48 : Kesit 2 – Yapı – (Landers) – oturma grafiği

- *Kesit 2 – Yapı (Kocaeli)*

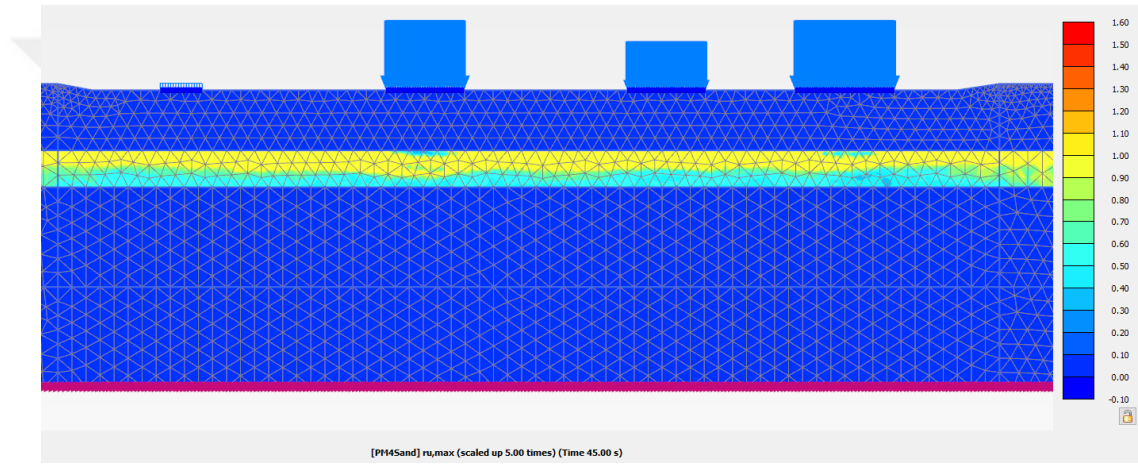
Ara Kum tabakası dikkate alınmamıştır. Yapı yüklerinin etkisi dikkate alınmıştır. Kocaeli depremi kullanılmıştır.

“Kesit 2 – Yapı (Kocaeli)” sonlu elemanlar modeli için model görünümü Şekil 6.49’da, boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı Şekil 6.50’de, oturma diyagramı Şekil 6.51’de, oturma grafiği ise Şekil 6.52’de verilmektedir.

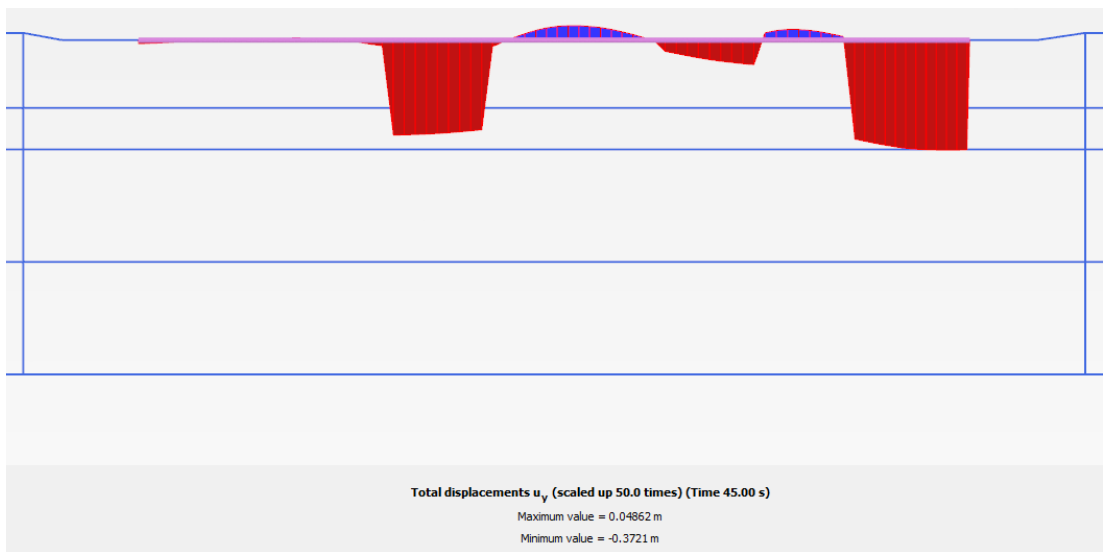
Yapı yüklerinin yaklaşık etki derinlikleri boyunca sıvılaşma potansiyelini azalttığı görülmektedir. Yapı altındaki oturma değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.



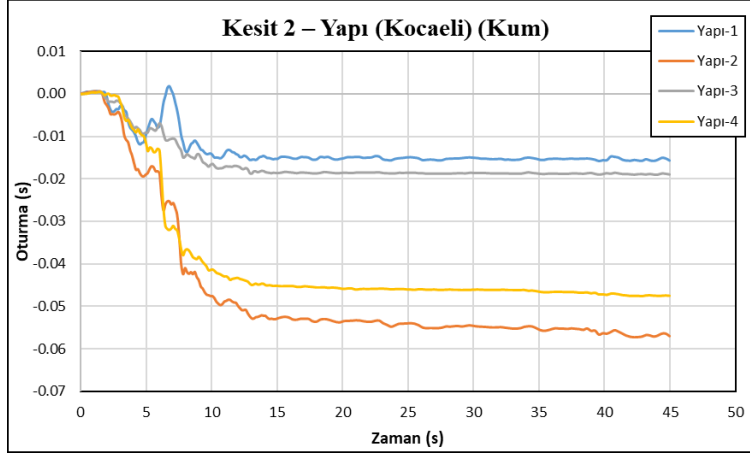
Şekil 6.49 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – model görünümü



Şekil 6.50 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) diyagramı

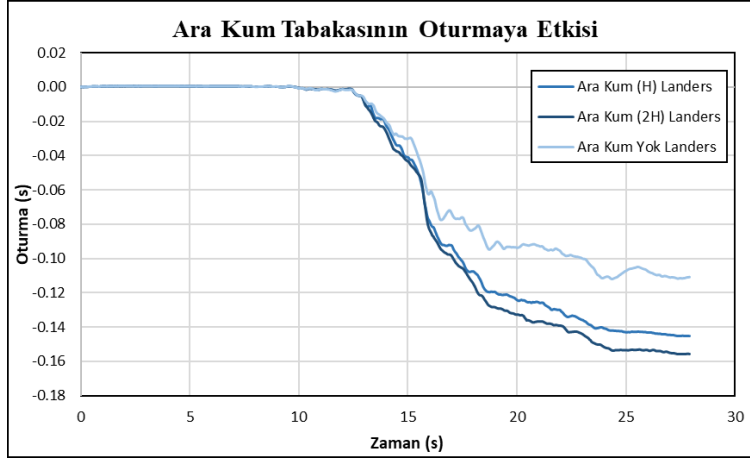


Şekil 6.51 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – oturma diyagramı

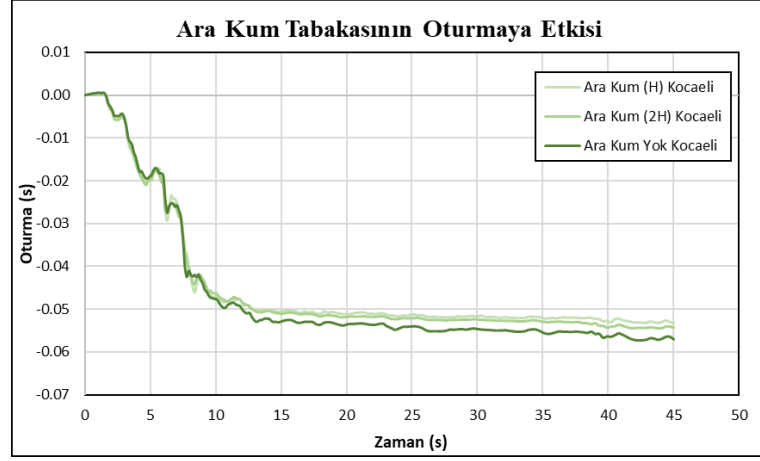


Şekil 6.52 : Kesit 2 – Yapı – (Kocaeli) – oturma grafiği

Yapılan hesaplar dikkate alınarak ara kum tabakasının etkisinin gözlemlenebilmesi için ara kumun hesaba katılmadığı Kesit 2 modelleri (Ara Kum Yok), ara kumun gerçek kalınlığında hesaba katıldığı Kesit 1 modelleri (Ara Kum H) ve ara kumun gerçek kalınlığının 2 katı olarak hesaba katıldığı Kesit 1 2H Kum modellerinden elde edilen an akum tabakası oturmaları Şekil 6.53'te landers depremi için Şekil 6.54'te ise Kocaeli depremi için tek grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.53 : Yapı yükleri etkisi altında landers depremi dikkate alınarak ara kum tabakasının oturmaya etkisi



Şekil 6.54 : Yapı yükleri etkisi altında kocaeli depremi dikkate alınarak ara kum tabakasının oturmaya etkisi

Yapı yüklerinin dikkate alınmadığı serbest saha analizleri sonucunda Landers ve Kocaeli depremleri için ayrı ayrı olarak elde edilen ana kum boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) değerleri ve serbest saha toplam oturmaları Çizelge 6.1’de özet olarak verilmektedir.

Çizelge 6.1 : Serbest saha analizleri boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) ve toplam oturma özet tablosu

Sonlu Elemanlar Modeli	Açıklama	Landers		Kocaeli	
		Ana Kum Tabakası Boşluk Suyu Basıncı Oranı ($r_{u,max}$)	Toplam Oturma (cm)	Ana Kum Tabakası Boşluk Suyu Basıncı Oranı ($r_{u,max}$)	Toplam Oturma (cm)
Kesit 1 – Serbest saha durumu	Ara Kum (H) Kalınlığında	80-100%	4.3	50-90%	3.1
Kesit 1 – Serbest saha durumu 2H Kum	Ara Kum (2H) Kalınlığında	70-100%	4.0	40-60%	2.8
Kesit 2 – Serbest saha durumu	Ara Kum Yok	100%	2.8	50-100%	3.9

Yapı yüklerinin dikkate alındığı hesaplarda Landers ve Kocaeli depremleri için ayrı ayrı olacak şekilde elde edilen ana kum tabakası oturma değerleri Çizelge 6.2’de ve Çizelge 6.3’te özet olarak verilmektedir.

Çizelge 6.2 : Yapı yükleri etkisinde ana kum tabakası oturma özet tablosu (Landers Depremi)

Sonlu Elemanlar Modeli	Açıklama	Landers			
		Ana Kum Tabakası Oturma (cm)			
		Yapı-1	Yapı-2	Yapı-3	Yapı-4
Kesit 1 – Yapı	Ara Kum (H) Kalınlığında	-	14.5	8.1	11.0
Kesit 1 – Yapı 2H Kum	Ara Kum (2H) Kalınlığında	-	16.0	9.0	13.0
Kesit 2 – Yapı	Ara Kum Yok	-	1.0	-	1.0

Çizelge 6.3 : Yapı yükleri etkisinde ana kum tabakası oturma özet tablosu (Kocaeli Depremi)

Sonlu Elemanlar Modeli	Açıklama	Landers			
		Ana Kum Tabakası Oturma (cm)			
		Yapı-1	Yapı-2	Yapı-3	Yapı-4
Kesit 1 – Yapı	Ara Kum (H) Kalınlığında	2.0	5.0	3.0	6.0
Kesit 1 – Yapı 2H Kum	Ara Kum (2H) Kalınlığında	2.0	5.5	3.0	5.0
Kesit 2 – Yapı	Ara Kum Yok	1.5	6.0	2.0	5.0

*Yapı-1: B=8m, $\sigma=10\text{kPa}$

*Yapı-2: B=15m, $\sigma=100\text{kPa}$

*Yapı-3: B=15m, $\sigma=70\text{kPa}$

*Yapı-4: B=20m, $\sigma=100\text{kPa}$

7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Son yıllarda meydana gelen depremler ve bu depremlerle birlikte gözlemlenen hasar, göçme, çökme, oturma ve benzeri problemler arasında sıvılaşmanın önemli bir yerinin olduğunun literatürde birçok kanıtı mevcuttur. Sonlu elemanlar yöntemi yardımı ile sıvılaşma analizlerinin gerçekleştirilmesi son yıllarda akademik çalışmalarda ve özel araştırmalar ile desteklenen projelerde kullanılabilmektedir. Bu hesap yönteminde kullanılan zemin modelleri gelişme aşamasında olup ilgili çalışmaları sürmektedir. Dinamik etkiler etkisi altında zeminde gerçekleşen sıvılaşma durumu için zemin davranışının doğruya daha yakın modellenebilmesi için halihazırda kullanılan statik durum tabanlı zemin modelleri yerine özel bünye modellerinin tercih edilmesi gereklidir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme çalışmalarının gerçekleştirilebildiği PLAXIS programı ile birlikte deprem anında sıvılaşan zeminler PM4SAND zemin modeli ile birlikte ifade edilebilmektedir.

PM4SAND kum birimlerin dinamik yükler etkisi altındaki davranışının boşluk suyu basıncı oluşumu, sıvılaşma durumu ve sıvılaşma sonrası durumu da dâhil olmak üzere modellenmesi için kullanılan bir zemin modelidir. Sonlu elemanlar modelinde PM4SAND zemin modelinin kullanılması için parametre tayini ve doğrulama çalışmalarının hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi ve doğrulama çalışmaları için gerekli statik ve dinamik saha ve laboratuvar deneylerinin ilgili standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmeleri gerekmektedir. Araştırmacının / Proje Mühendisinin gerçekleştirilen sahaya özel zemin etüdü çalışmalarına ek olarak parametre tayininin yapılacağı proje sahasında yeterli tecrübeye sahip olması gereklidir.

PM4SAND zemin modelinde zemin tanımlaması için kullanılan 13 adet parametre bulunmaktadır. Bu parametreler model doğrulaması için önem derecelerine göre 4'ü birincil parametre, 9'u ikincil parametre olacak şekilde iki ayrı gruba ayrılmıştır. Rölatif sıklık (D_R), kayma modülü katsayısı (G_0), büzülme oranı (h_{p0}), ve atmosferik basınç (p_A) parametreleri, zemin modelinin birincil parametreleri olarak ifade edilmektedir. Maksimum ve minimum boşluk oranı (e_{max} ve e_{min}), sınır yüzey parametresi (n^b), dilatasyon yüzey parametresi (n^d), kritik durum sürtünme açısı (ϕ_{cv}), poisson oranı (ν), kritik durum çizgi parametreleri (q ve r) ve sıvılaşma sonrası

konsolidasyon katsayısı (PostShake) ise zemin modelinin ikincil parametreleri olarak ifade edilmektedir.

PM4SAND zemin modeli için gerekli girdiler içerisinde etkisi en belirgin olan parametre büzülme oranı (hp_0) parametresidir. PM4SAND parametrelerinin tayini yapılmadan önce bir tekrarlı yüklemeli laboratuvar deneyi gerçekleştirilmesi gereklidir. Büzülme oranı (hp_0) parametresi zeminin boşluk oranı değişiminin simgelenmesinde rol oynadığı için zeminin sıvılaşma davranışının tanımlanmasında önemli rol oynar. Bu parametrenin tayinin yapılabilmesi için tekrarlı yüklemeli laboratuvar deneyleri gerçekleştirilebilir ve yardımcı yazılımlar kullanılarak (rn: Plaxis Soil Test) simüle edilebilir.

PM4SAND zemin modeli yalnızca düzlemsel gerilme tipinde 2 boyutlu model tipinde kullanılabilen bir bünye modelidir. Oluşturulan 2 boyutlu sonlu elemanlar modellerinde sınır yüzeyler (sol ve sağ) için rijitliği, mühendislik özellikleri önemsiz olacak ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisine etkisi olmayacak drenajlı malzemelerin tanımlanması depremlı durum analizi esnasında gerilme yığılmalarını ortadan kaldıracaktır.

Oluşturulan sonlu elemanlar modellerinde ağ boyutları analiz edilen zemin tabakalarının dinamik özellikleri ve depremin karakteristik parametreleri dikkate alınarak uygun ölçüde belirlenmelidir.

Dinamik analizler için kullanılacak olan sonlu elemanlar modellerinde hesaplama adımları esnasında depremlı durum öncesinde küçük şekil değiştirme değerlerinin dikkate alınabildiği bünye modelleri ile efektif gerilmelerin hesaplanması ve sonrasında depremlı durumda sıvılaşmanın modellendiği bünye modellerine geçiş yapılması gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin daha doğru olarak modellenmesine katkı sağlamaktadır.

Yapı yüklerinin dikkate alındığı analizlerde yapı yükleri etki alanları dışında kalan kısımlardaki boşluk suyu basıncı oranı değerlerinin serbest saha analizleri ile örtüştüğü görülmektedir. Yapı yüklerinin etki alanı dışında sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu, etki alanları içinde ise sıvılaşma potansiyelinin azaldığı görülmektedir. Sıvılaşma potansiyelinin yzeeye yakın ara kum tabakasında tamamen yok olduğu, daha derin seviyelerde bulunan tabakada ise azaldığı görülmektedir. Buradan yola çıkılarak yapı yüklerinin sıvılaşmaya olumlu katkılarının sadece etki alanları içinde

derinlikle azalan şekilde mevcut olduğu sonucuna varılabilir. Buna ek olarak farklı gerilme ve temel boyutlarına sahip üst yapı etkileri dikkate alınmış olan nümerik analizlerde gerilme artışı ile birlikte sıvılaşma potansiyelindeki azalmanın etkisinin daha derin seviyelere ulaşabildiği görülmektedir. Artan temel boyutları ile birlikte ise sıvılaşmaya karşı olumlu katkının görüldüğü genişlik artmaktadır.

Serbest saha analizleri dikkate alınarak zemin yüzeyine yakın derinlikte bulunan ara kum bandının dikkate alındığı nümerik analizlerde ana kum tabakası için elde edilen boşluk suyu basıncı oranı değerleri ana kum tabakasının tek başına dikkate alındığı nümerik analizlere kıyasla daha düşük olarak elde edilmektedir. Bu durumda ana kum tabakasının tek başına dikkate alındığı durumda yeraltı suyunun drenaj yolunun kısılması ve ana kum tabakası içerisinde sıkışması sebebiyle boşluk suyu basıncı daha yüksek olarak elde edilmekte ve buna bağlı olarak sıvılaşma potansiyeli daha yüksek olarak yorumlanmaktadır. Ara kum bandının dikkate alınmasına ek olarak, dikkate alınan ara kum bandının kalınlığının ana kum tabakasının sıvılaşma potansiyeline etkisinin de mevcut olduğu görülmektedir. Zemin yüzeyine yakın derinlikte bulunan ara kum bandının kalınlığının artışı, bir başka deyişle sıvılaşan zeminin tabaka kalınlığının artışı, ana kum tabakasında elde edilen boşluk suyu basıncı oranı değerlerinin azalmasına sebep olmaktadır.

Yapı yükleri etkisi altında gerçekleşen oturmalar Landers depremi kullanılarak gerçekleştirilen analizlere göre Ara Kum Tabakasının kalınlığının artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Kocaeli depreminde ise ana kum tabakasında görülen oturma değeri düşük olduğundan farkın çok az olduğu görülmektedir.

Gerçekleştirilen serbest saha analizleri dikkate alındığında sıvılaşma potansiyelinin yükselmesi ile birlikte elde edilen sıvılaşma kaynaklı düşey deplasmanların arttığı görülmektedir. Ek olarak sıvılaşan tabaka kalınlığının artışının sıvılaşma kaynaklı düşey deplasmanların artışına sebep olduğu görülmektedir. Genel olarak yapılan analizler sonucunda kullanılan Landers depremi kaydının Kocaeli depremi kaydına göre sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma oturması anlamında daha riskli olduğu görülmektedir.

2021 yılında O. Subaşı ve R. İyisan tarafından yayınlanan “Sıvılaşma nedeniyle meydana gelen oturmaların PM4Sand bünye modeli ile incelenmesi” başlıklı makalede, %35, 55, 75 üç farklı rölatif sıklığa sahip kohezyonsuz zemin özellikleri

kullanılarak ve farklı yer hareketleri etkililerek doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Zeminin sıvılaşma davranışının modellenmesi için PM4Sand zemin mdoeli kullanılmıştır. Farklı deprem etkileri etkisi altında nümerik analizler ile elde edilen sıvılaşma oturmaları literatürde yer alan yarı-ampirik yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığı belirtilmektedir. İnceleme kapsamında elde edilen sıvılaşma potansiyelleri nümerik ve ampirik yöntemler ile benzer olarak elde edilebilmişken, sıvılaşma oturmalarının farklı mertebelerde elde edildiği, ampirik yöntemler ile elde edilen değerlerin nümerik yöntemlere kıyasla çok büyük olduğu vurgulanmıştır. Ek olarak nümerik analizler ile elde edilen oturmaların çoğunlukla deprem hareketi sonrasında aşırı boşluk suyu basıncının dağılmasıyla oluştuğu vurgulanmıştır. [29]

2018 yılında Mostafa Luay Mohmed Yahya Almasraf tarafından yazılan “Numerical and Analytical Modelling of Liquefaction Induced Settlements for Buildings During Earthquakes” başlıklı tez kapsamında Plaxis 2D programı kullanılarak farklı zemin profilleri için sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşmaya bağlı oturmalar değerlendirilmiştir. C3 sahası olarak adlandırılan saha için gerçekleştirilen yapı yüklerinin etkilildiği model dikkate alınarak yapı yüklerinin siltli kum üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapı etki derinliği dışında kalan bölgeler için yaklaşık 100% olarak görülen boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) değerlerinin yapı yükleri etkisiyle 23%-39% aralığına kadar düştüğü görülmektedir. Elde edilen bu sonuç, bu tez kapsamında ulaşılan yapı etki derinliği içerisinde yapı yüklerinin sıvılaşmaya karşı iyileştirme katkısı yapmakta olduğu sonucu ile uyum göstermektedir. Ek olarak, F sahası olarak adlandırılan saha için sıvılaşmayan tabakaların sıvılaşan tabakalar üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği analizlerde sık ve derin kum olmak üzere iki farklı sıvılaşan zemin dikkate alınmıştır. Bu analizlerde kıyaslama yapabilmek adına derin sıvılaşan kumun dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için modeller oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, derin sıvılaşan kumun dikkate alınmadığı durumda elde edilen boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u,max}$) değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç, bu tez kapsamında ulaşılan ara kum dikkate alınmasının sıvılaşma potansiyelini azalttığı sonucu ile uyum göstermektedir. [30]

KAYNAKLAR

- [1] **Kramer, S. L.** (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall Inc., 1-50/348-423
- [2] **Darendeli, M. B.** (2001). Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves, The University of Texas at Austin, 249-272
- [3] **Wair, B. R., DeJong, J. T. ve Shantz, T** (2012). Guidelines for Estimation of Shear Wave Velocity Profiles, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 15-40
- [4] **Dobry, R. ve Vucetic, M** (1987). Dynamic Properties and Seismic Response of Soft Clay Deposits, In Proc. Of the Int. Symp. On Geotech. Engrg. Of Soft Soils (Vol. 2, pp. 51-86), Sociedad Mexicana de Mecanica de suelos.
- [5] **Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.**
- [6] **Youd, T. L.** (1972). Compaction of Sands by Repeated Shear Straining, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 98(7), 709-725
- [7] **Ishihara, K.** (1996). Soil behaviour in earthquake geotechnics, Oxford University Press
- [8] **Lee, K.L. ve Seed, H.B.** (1967). Cyclic Stress Conditions Causing Liquefaction of Sand. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 93(1), 47-70
- [9] **Castro, G. ve Poulos, S. J.** (1977). Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 501-516.
- [10] **Day, R. W.** (2002). Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, McGraw-Hill, 6.1-6.22
- [11] **Ichii, K., Iai, S., ve Morita, T.** (1997). Effective stress analyses on the performance of caisson type quay walls during 1995 Hyogokne-Nanbu earthquake, Report of the Port and Harbour Research Institute, 41-86
- [12] **Seed, H. B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., Riemer, M. F., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E., Faris A.** (2003). Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: a Unified and Consistent Framework. In Proceedings of the 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar: Long Beach, CA.
- [13] **Youd, T. L., Idriss, I. M.** (1997). Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, National Center for Earthquake Engineering Research
- [14] **Andrus, R. D., Piratheepan, P., Ellis, B. S. ve Zhang, J.** (2004). Comparing Liquefaction Evaluation Methods Using Penetration-VS Relationships. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24 (9-10), 713-721.

- [15] **Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. ve Chung, R. M.** (1985). Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 1425-1445
- [16] **Aki, K.** (1988). Local Site Effects on Strong Ground Motion, *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II – Recent Advances in Ground Motion Evaluation* (J.L. Von Thun, ed.), 103-155.
- [18] **Ishihara, K. ve Yoshimine, M.** (1992). Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes. *Soils and Foundations*, 32(1), 173-188.
- [19] **Tokimatsu, K. ve Seed, H. B.** (1987). Evaluation of Settlements in Sands Due to Earthquake Shaking, *Journal of Geotechnical Engineering*, 113(8), 861-878
- [20] **Plaxis Materials Manual.** (2022). Delft University of Technology & Plaxis bv, Delft, Netherlands.
- [21] **Vilhar, G., Brinkgreve, R. ve Zampich L.** (2018) **The PM4Sand Model 2018**, Plaxis BV, Delft.
- [22] **Boulanger, R. W. ve Ziotopoulou, K.** (2017). PM4Sand (Version 3.1): A Sand Plasticity Model for Earthquake Engineering Applications. Center for Geotechnical Modelling Report No. UCD/CGM-17/01, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, Calif.
- [23] **Idriss, I. M. ve Boulanger, R. W.** (2010). SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures. Rep. UCD/CGM-10, 2, 4-13
- [24] **Idriss, I. M. ve Boulanger, R. W.** (2008). Soil Liquefaction during Earthquake, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland.
- [25] **Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Okan, I., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D.** (2020) “DEEPSOIL 7.0, User Manual”. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [26] **Plaxis Reference Manual.** (2019). Delft University of Technology & Plaxis bv, Delft, Netherlands.
- [27] **Ground Response Analysis in Plaxis 2D** (2015). Delft University of Technology & Plaxis bv, Delft, Netherlands.
- [28] **Site Response Analysis and Liquefaction Evaluation** (2015). Delft University of Technology & Plaxis bv, Delft, Netherlands.
- [29] **Subaşı, O., İyisan, R.** 2021. Sıvılaşma Nedeniyle Meydana Gelen Oturmaların PM4SAND Bünye Modeli İle İncelenmesi, 28(3), 378-388.
- [30] **Almasraf, M.L.M.Y.** (2018). Numerical and Analytical Modelling of Liquefaction-Induced Settlements for Buildings During Earthquakes (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Boulanger RW, Idriss IM.** (2014) CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report No. UCD/CGM-14/01. Davis: Center for

- [32] **Cubrinovski, M.**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering (2018), <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.05.013>
- [33] **Robertson, P. K. and Cabal K. L.** (2010). Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, 4TH Edition ,Signal Hill, California
- [34] **J. Quintero Et Al.** , "Investigation into the Settlement of a Case Study Building on Liquefiable Soil in Adapazari, Turkey," 5th Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics Conference (GEESD) , Texas, United States Of America, pp.321-336, 2018
- [35] **Arias, A.** (1970). Seismic Design for Nuclear Power Plants. /Hansen, Robert J. (ed.). Cambridge, Mass. Massachusetts Inst. of Tech. Press, 438-83
- [36] **Ang, A.H.S.** (1990). Reliability bases for seismic safety assessment and design. Proceedings, Fourth National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Palm Springs, 1, 29-45
- [37] **Benjamin, J.R.** Associates, Inc. A Criterion for Determining Exceedances of the Operating Basis Earthquake; EPRI Report NP-5930; Electric Power Research Institute: Palo Alto, CA, USA, 1988
- [38] **Housner, G.** (1959) Behavior of Structures during Earthquakes. Journal of the Engineering Mechanics Division, American Society of Civil Engineers, 85, 109-129

EKLER

EK A: Sondaj Logları

EK B: CPT Logları

EK C: PM4Sand Doğrulama Grafikleri



EK A: Sondaj Logları



İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-1										
SAYFA/PAGES: 1 / 2						SONDÖR DRILLER												
PROJE ADI/PROJECT NAME:																		
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																		
KİLOMETRE/KILOMETER:																		
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																		
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.49																		
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.32																		
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)		
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH													
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40	
1	C-1	1.50						ÖN KAZI El kazısı										
2	SPT-1	1.50	2	2	3	5	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi, kumtaşı kökenli çakıllı, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak-orta katı kil.	1.25m	6.2m		0						
3	C-2	1.95										16						
4	SPT-2	3.00	1	2	2	4	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, yumuşak-orta katı, düşük-orta plastisiteli, kil.	3.5m	4.0m		98						
5	C-3	3.45																
6	SPT-3	4.50	1	2	2	4	●					100						
7	C-4	4.95																
8	UD-1	5.50																
9	SPT-4	6.00	2	2	4	6	●											
10	C-5	6.45										85						
11	SPT-5	7.50	3	3	4	7	●											
12	C-6	7.95										98						
13	SPT-6	9.00	3	3	2	5	●											
14	C-7	9.45										100						
15	SPT-7	10.50	2	2	3	5	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-Haki yeşil, killi, siltli, ince-orta daneli, orta sıkı-sıkı (10.5-10.95m arası gevşek), kum.	10.5m	3.0m		96						
16	C-8	10.95																
17	UD-2	11.50																
18	SPT-8	12.00	7	9	12	21	●											
19	C-9	12.45										74						
20	SPT-9	13.50	10	17	21	38	●											
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil										
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard										
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample		C: Karot Numunesi / Core Sample						
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE								

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-1											
SAYFA/PAGES: 2 / 2						SONDÖR DRILLER													
PROJE ADI/PROJECT NAME:																			
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																			
KİLOMETRE/KILOMETER:																			
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																			
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.49																			
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.32																			
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)			
			DARBE SAYISI No. of BLOWS														GRAFİK GRAPH		
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N													
			SPT N VALUE																
15	C-10	13.95						KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-Haki yeşil, killi, siltli, ince-orta daneli, orta sıkı-sıkı (10.5-10.95m arası gevşek), kum.(continued)			76								
	SPT-10	15.00	5	6	7	13													
		15.45																	
16	C-11	16.50									57								
	SPT-11	16.50	5	10	9	19													
		16.95																	
17	C-12	18.00									77								
	SPT-12	18.00	5	7	8	15													
		18.45																	
18	C-13	19.50									90								
	SPT-13	19.50	4	6	9	15													
		19.95																	
19	C-14	21.00						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengimsi gri, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta katı kil.	20m	12.5m	97								
	SPT-14	21.00	2	2	4	6													
		21.45																	
20	C-15	22.50									100								
	SPT-15	22.50	2	4	3	7													
		22.95																	
21	C-16	24.00						KUMLU SİLTİLİ KİL Koyu gri-Haki yeşil, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak, kil.	23.5m	16.0m	92								
	SPT-16	24.00	2	2	1	3													
		24.45																	
22	C-17	25.00							25m	17.5m	100								
							KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00												
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent				Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil												
Kırıklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense				İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=2-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard												
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample									
C: Karot Numunesi / Core Sample																			
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-2											
SAYFA/PAGES: 1 / 4						SONDÖR DRILLER													
PROJE ADI/PROJECT NAME:																			
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																			
KİLOMETRE/KILOMETER:																			
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00																			
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.91																			
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.10																			
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)			
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH														
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40		
1	C-1	1.50						ÖN KAZI El Kazısı											
2	SPT-1	1.50	2	2	3	5	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta katı kil.	1.5m	6.4m									
3	C-2	1.95																	
4	SPT-2	3.00	3	3	4	7	●												
5	C-3	3.45																	
6	SPT-3	4.50	1	1	1	2	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-Kahverengi, killi, siltli, ince-orta daneli, çok gevşek kum.	4.5m	3.4m									
7	C-4	4.95																	
8	SPT-4	6.00	3	3	3	6	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta katı kil.	5.7m	2.2m									
9	C-5	6.45																	
10	SPT-5	7.50	3	2	2	4	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-Kahverengi, killi, siltli, ince-orta daneli, çok gevşek kum.	6.7m	1.2m									
11	C-6	7.95																	
12	SPT-6	9.00	3	3	4	7	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta katı-katı kil.	7.2m	0.7m									
13	C-7	9.45																	
14	SPT-7	10.50	2	4	5	9	●												
15	C-8	10.95																	
16	SPT-8	12.00	4	4	5	9	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-Kahverengi, killi, siltli, ince-orta daneli, gevşek-orta sıkı, kum.	11m	3.1m									
17	C-9	12.45																	
18	SPT-9	13.50	3	6	8	14	●	*15.50-18.50m derinlikleri arasında kil içeriği artmaktadır.											
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM)			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD)					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM)											
R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil											
Kırklar / Spacing - 30 cm			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930)					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930)											
1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard											
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample									
C: Karot Numunesi / Core Sample																			
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-2																					
SAYFA/PAGES: 2 / 4						SONDÖR DRILLER																							
PROJE ADI/PROJECT NAME:																													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																													
KİLOMETRE/KILOMETER:																													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00																													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.91																													
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.10																													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)													
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																								
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40												
15	C-10	13.95						KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-Kahverengi, killi, siltli, ince-orta daneli, gevşek-orta sıkı, kum. *15.50-18.50m derinlikleri arasında kil içeriği artmaktadır.(continued)																					
	SPT-10	15.00	2	2	2	4																							
16	C-11	15.45																											
	SPT-11	16.50	4	4	6	10																							
17	C-12	16.95																											
	UD-1	17.50																											
18	SPT-12	18.00	3	6	8	14																							
	C-13	18.45																											
19	SPT-13	19.50	2	3	4	7																							
20	C-14	19.95																											
	SPT-14	21.00	1	3	3	6																							
21	C-15	21.45																											
22	SPT-15	22.50	2	2	3	5																							
23	C-16	22.95																											
24	UD-2	23.50																											
	SPT-16	24.00	1	2	2	4																							
25	C-17	24.45																											
26	SPT-17	25.50	2	2	2	4																							
27	C-18	25.95																											
	SPT-18	27.00	3	4	4	8																							
		27.45																											
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent				Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																						
Kırıklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense				İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																						
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample										C: Karot Numunesi / Core Sample									
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE																			

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-2										
SAYFA/PAGES: 3 / 4						SONDÖR DRILLER												
PROJE ADI/PROJECT NAME:																		
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																		
KİLOMETRE/KILOMETER:																		
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00																		
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.91																		
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.10																		
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)		
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH													
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40	
29	C-19	28.50	2	4	4	8		Kumlu SİLTİLİ KİL Gri-siyah-koyu gri, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil. (continued)		29.6m	96							
	SPT-19	28.95																
30	C-20	30.00																
	SPT-20	30.45	2	3	3	6												
31	C-21	31.50																
	SPT-21	31.95	3	4	4	8												
32	C-22	33.00																
	SPT-22	33.45	4	4	4	8												
33	C-23	34.50																
	SPT-23	34.95	3	3	4	7												
34	C-24	36.00																
	SPT-24	36.45	3	6	6	12												
35	C-25	37.50																
	SPT-25	37.95	27	50	12	R												
36	C-26	39.00																
	SPT-26	39.45	27	30	35	65												
37	C-27	40.50																
	SPT-27	40.95	16	27	31	58												
38	C-28																	
39																		
40																		
41																		
42																		
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent			KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00				Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil								
Kırıklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense			İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard												
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test			UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample			C: Karot Numunesi / Core Sample												
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE										

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-2									
SAYFA/PAGES: 4 / 4						SONDÖR DRILLER											
PROJE ADI/PROJECT NAME:																	
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																	
KİLOMETRE/KILOMETER:																	
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00																	
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.91																	
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.10																	
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)	
		DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH													
		0-15cm 15-30cm 30-45cm N		SPT N VALUE 10 20 30 40													
		42.00						42m	34.1m								
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil									
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=2-3 Yumuşak / Soft N=3-4 Orta / Firm N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard									
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample		C: Karot Numunesi / Core Sample					
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE							

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-3										
SAYFA/PAGES: 1 / 2						SONDÖR DRILLER												
PROJE ADI/PROJECT NAME:																		
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																		
KİLOMETRE/KILOMETER:																		
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																		
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.81																		
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.27																		
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)		
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH													
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40	
1	C-1	1.50						ÖN KAZI El Kazısı										
2	SPT-1	1.50	2	3	5	8		KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi-gri, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta katı-katı kil.	1.25m	6.6m		17						
3	C-2	1.95																
4	SPT-2	3.00	2	2	3	5						97						
5	C-3	3.45																
6	SPT-3	4.50	2	3	3	6												
7	C-4	4.95																
8	UD-1	5.50																
9	SPT-4	6.00	2	3	4	7												
10	C-5	6.45																
11	SPT-5	7.50	3	4	4	8												
12	C-6	7.95																
13	SPT-6	9.00	2	4	5	9												
14	C-7	9.45																
15	SPT-7	10.50	2	2	3	5												
16	C-8	10.95																
17	SPT-8	12.00	2	3	4	7		KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri, killi siltli, ince-orta daneli, gevşek-orta sıkı, kum.	12m	4.2m								
18	C-9	12.45																
19	SPT-9	13.50	2	3	2	5												
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil										
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard										
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample		C: Karot Numunesi / Core Sample						
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE								

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-3																	
SAYFA/PAGES: 2 / 2						SONDÖR DRILLER																			
PROJE ADI/PROJECT NAME:																									
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																									
KİLOMETRE/KILOMETER:																									
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																									
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.81																									
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.27																									
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)									
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																				
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40								
15	C-10	13.95						KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri, killi siltli, ince-orta daneli, gevşek-orta sıkı, kum.(continued)		12.7m															
	SPT-10	15.00	2	4	4	8												84							
16	C-11	15.45																							
	SPT-11	16.50	2	2	2	4												82							
17	C-12	16.95																							
	SPT-12	18.00	7	10	10	20												0							
18	C-13	18.45																							
	SPT-13	19.50	8	9	12	21												39							
19	C-14	19.95																							
	SPT-14	21.00	2	3	5	8												70							
20	C-15	21.45																							
	SPT-15	22.50	2	2	4	6												69							
21	C-16	22.95																							
	SPT-16	24.00	1	3	3	6			48																
22	C-17	24.45																							
23		25.00							91																
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																									
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent			Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																			
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense			İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=2-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																			
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample		C: Karot Numunesi / Core Sample													
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE															

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-4										
SAYFA/PAGES: 1 / 2						SONDÖR DRILLER												
PROJE ADI/PROJECT NAME:																		
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																		
KİLOMETRE/KILOMETER:																		
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																		
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 8.05																		
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.21																		
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)		
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH													
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40	
1	C-1	1.50						ÖN KAZI El kazısı										
2	SPT-1	1.50	2	3	4	7	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi-gri, kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, orta katı kil.	1.25m	6.8m		17						
3	C-2	1.95																
4	UD-1	2.50																
5	SPT-2	2.50	3	3	4	7	●											
6	C-3	3.00																
7	SPT-3	3.45	4	4	3	7	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Kahverengi-gri, killi, siltli, ince daneli, gevşek-orta sıkı, kum.	4.5m	3.6m		95						
8	C-4	4.50																
9	SPT-4	4.95	6	6	5	11	●											
10	C-5	6.00																
11	SPT-5	6.45	4	3	4	7	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengimsi gri, kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta-çok katı kil.	7.5m	0.6m		95						
12	C-6	7.50																
13	SPT-6	7.95	3	3	4	7	●											
14	C-7	9.00																
15	SPT-7	9.45	4	7	9	16	●											
16	C-8	10.50																
17	SPT-8	10.95	3	5	5	10	●											
18	C-9	12.00																
19	SPT-9	12.45	7	9	12	21	●											
20		13.50																
21		13.50																
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil										
Kırıklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard										
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample		C: Karot Numunesi / Core Sample						
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE								

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-4											
SAYFA/PAGES: 2 / 2						SONDÖR DRILLER													
PROJE ADI/PROJECT NAME:																			
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																			
KİLOMETRE/KILOMETER:																			
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																			
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 8.05																			
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.21																			
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)			
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH														
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40		
15	C-10	13.95																	
	SPT-10	15.00	9	10	12	22	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-haki yeşil, killi, siltli, ince daneli, orta sıkı, kum.	15m	-7.0m	95								
16	C-11	15.45									51								
17	SPT-11	16.50	10	12	14	26	●				86								
18	C-12	16.95																	
	SPT-12	18.00	10	10	11	21	●												
19	C-13	18.45																	
20	SPT-13	19.50	14	10	12	22	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengimsi gri, az kumlu, siltli, orta plastisiteli, çok katı, kil.	19.3m	-11.3m	74								
21	C-14	19.95									100								
22	SPT-14	21.00	7	8	8	16	●				71								
23	C-15	21.45																	
	SPT-15	22.50	11	14	15	29	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Kızılımsı kahverengi, az kumlu siltli, orta-yüksek plastisiteli, çok katı, kil.	22.5m	-14.5m	95								
24	C-16	22.95									62								
25	SPT-16	24.00	7	8	9	17	●												
	C-17	24.45																	
25		25.00							25m	-17.0m									
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																			
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong						Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent						Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil							
Kırıklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close						İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense						İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=2-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard							
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test												UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample				C: Karot Numunesi / Core Sample			
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-5																					
SAYFA/PAGES: 1 / 2						SONDÖR DRILLER																							
PROJE ADI/PROJECT NAME:																													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																													
KİLOMETRE/KILOMETER:																													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.79																													
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.36																													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)													
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																								
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40												
1	C-1	1.50						ÖN KAZI El kazısı																					
2	SPT-1	1.50	3	3	2	5	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık-kızılımsı kahverengi, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil.	1.25m	6.5m		17																	
3	C-2	1.95											86																
4	SPT-2	3.00	2	1	2	3	●																						
5	C-3	3.45						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengimsi gri-koyu gri, kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil. *7.0-9.5m arasında kum içeriği daha fazladır.	3.8m	4.0m		75																	
6	SPT-3	4.50	1	2	2	4	●																						
7	C-4	4.95											100																
8	SPT-4	6.00	2	2	2	4	●																						
9	C-5	6.45											95																
10	SPT-5	7.50	1	2	2	4	●																						
11	C-6	7.95											67																
12	UD-1	8.50																											
13	SPT-6	9.00	1	2	1	3	●																						
14	C-7	9.45											76																
	SPT-7	10.50	2	1	1	2	●																						
	C-8	10.95											65																
	SPT-8	12.00	1	2	2	4	●																						
	C-9	12.45											75																
	SPT-9	13.50	3	3	2	5	●																						
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																					
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																					
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample										C: Karot Numunesi / Core Sample									
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE																			

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-5										
SAYFA/PAGES: 2 / 2						SONDÖR DRILLER												
PROJE ADI/PROJECT NAME:																		
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																		
KİLOMETRE/KILOMETER:																		
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																		
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.79																		
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.36																		
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)		
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH													
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40	
15	C-10	13.95						Kumlu SİLTİLİ KİL Kahverengimsi gri-koyu gri, kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil. *7.0-9.5m arasında kum içeriği daha fazladır.(continued)	16.5m	-8.7m	87							
	SPT-10	15.00	2	3	3	6												
16	C-11	15.45																
17	SPT-11	16.50	5	7	7	14		KİLLİ SİLTİLİ KUM Kahverengimsi gri, killi, siltli, ince daneli, gevşek-orta sıkı, kum.			100							
	C-12	16.95																
18	SPT-12	18.00	4	4	5	9												
19	C-13	18.45						Kumlu SİLTİLİ KİL Koyu gri-haki yeşil, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil.	20.4m	-12.6m	91							
20	SPT-13	19.50	5	4	3	7												
	C-14	19.95																
21	SPT-14	21.00	2	2	3	5					84							
22	C-15	22.00																
	UD-2	22.50																
23	SPT-15	22.95	1	2	1	3					95							
	C-16	24.00																
24	SPT-16	24.45	2	2	2	4												
25	C-17	25.00							25m	-17.2m	100							
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																		
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong						Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent						Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil						
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close						İri Daneli Zemin / Coarse Soil. (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense						İnce Daneli Zemin / Fine Soil. (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard						
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample				C: Karot Numunesi / Core Sample				
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE								

İŞVEREN CLIENT	SONDAJ BOREHOLE	SK-6
SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG		
SONDÖR DRILLER		

PROJE ADI/PROJECT NAME:	
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:	
KİLOMETRE/KILOMETER:	
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00	
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.53	
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.66	

Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH											
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N										
1	C-1						ÖN KAZI El kazısı				15					
2	SPT-1	1.50	2	4	6	10	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi-kızılımsı kahverengi, az kumlu, siltli, orta-düşük plastisiteli, orta katı-katı kil. *4.5-4.95m derinlikleri arasında kum içeriği daha fazladır.	1.25m	6.3m		64					
3	UD-1	2.50														
4	SPT-2	3.00	2	3	3	6										
5	C-3	3.45									42					
6	SPT-3	4.50	2	3	5	8										
7	C-4	4.95									85					
8	SPT-4	6.00	2	4	5	9	KİLLİ SİLTİLİ KUM Kahverengi-gri, killi, siltli, ince-orta daneli, gevşek-orta sıkı, kum.	6m	1.5m		50					
9	C-5	6.45														
10	SPT-5	7.50	8	4	5	9					31					
11	C-6	7.95														
12	SPT-6	9.00	3	5	6	11	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi-kızılımsı kahverengi, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta katı kil.	9m	-1.5m		95					
13	C-7	9.45														
14	SPT-7	10.50	2	2	4	6					100					
15	C-8	10.95														
16	UD-2	11.50														
17	SPT-8	12.00	3	3	5	8	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi-kızılımsı kahverengi, kumlu, siltli, orta plastisiteli, orta katı, kil.	11.5m	-4.0m		84					
18	C-9	12.45														
19	SPT-9	13.50	2	2	3	5										
20		13.50														

Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM)

R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak
R1 Çok Zayıf / Very Weak
R2 Zayıf / Weak
R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong
R4 Dayanımlı / Strong
R5 Çok Dayanımlı / Very Strong
R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong

Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD)

0-25 Çok Zayıf / Very Poor
25-50 Zayıf / Weak
50-75 Orta / Fair
75-90 İyi / Good
90-100 Mükemmel / Excellent

Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM)

I Taze / Fresh
II Az Ayrışmış / Slightly Weathered
III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered
IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered
V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered
VI Rezidüel Toprak / Residual Soil

Kırklar / Spacing - 30 cm

1 Seyrek / Wide
1-2 Orta / Moderate
3-16 Sık / Close
16-20 Çok Sık / Very Close
>20 Parçalı / Extremely Close

İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930)

N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose
N=4-10 Gevşek / Loose
N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense
N=30-50 Sıkı / Dense
N=> Çok Sıkı / Very Dense

İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930)

N<2 Çok Yumuşak / Very Soft
N=2-3 Yumuşak / Soft
N=3-8 Orta / Firm
N=8-15 Katı / Stiff
N=15-30 Çok Katı / Very Stiff
N>30 Sert / Hard

SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test

UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample

C: Karot Numunesi / Core Sample

İŞİ/JOB	ÜNVANI/TITLE	ADI-SOYADI NAME-SURNAME	İMZA SIGNATURE	TARİH DATE

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-6									
SAYFA/PAGES: 2 / 4						SONDÖR DRILLER											
PROJE ADI/PROJECT NAME:																	
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																	
KİLOMETRE/KILOMETER:																	
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00																	
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.53																	
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.66																	
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH												
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40
15	C-10	13.95						KUMLU SİLTİLİ KİL									
	SPT-10	15.00	1	2	3	5	●	Açık kahverengi-kızılsımsı kahverengi, kumlu, siltli, orta plastisiteli, orta katı, kil.(continued)			97						
16	C-11	15.45															
	SPT-11	16.50	9	10	10	20	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM	16.5m	-9.0m	95						
17	C-12	16.95						Gri, killi, siltli, ince-orta daneli, çok gevşek-orta sıkı, kum.			50						
18	SPT-12	18.00	3	1	2	3	●	*16.5-16.95m derinlikleri arasında silt içeriği daha fazla.									
19	C-13	18.45									53						
20	SPT-13	19.50	7	10	10	20	●										
21	C-14	19.95									42						
	SPT-14	21.00	4	3	4	7	●										
22	C-15	21.45									98						
23	SPT-15	22.50	1	2	3	5	●	KUMLU SİLTİLİ KİL	22.5m	-15.0m							
24	C-16	22.95						Kahverengi-koyu gri, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, yumuşak-katı, kil.			94						
25	SPT-16	24.00	1	3	3	6	●										
26	C-17	24.45									95						
	SPT-17	25.50	2	2	3	5	●										
27	C-18	25.95									100						
	SPT-18	27.00	3	4	4	8	●										
		27.45															
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM)			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD)					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM)									
R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil									
Kırklar / Spacing - 30 cm			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930)					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930)									
1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard									
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample		C: Karot Numunesi / Core Sample					
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE							

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-6											
SAYFA/PAGES: 3 / 4						SONDÖR DRILLER													
PROJE ADI/PROJECT NAME:																			
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																			
KİLOMETRE/KILOMETER:																			
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00																			
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.53																			
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.66																			
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)			
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH														
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40		
29	C-19	28.50	4	4	4	8	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-koyu gri, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, yumuşak-katı, kil.(continued)		30.4m	100								
	SPT-19	28.50																	
	C-20	28.95																	
30	SPT-20	30.00	4	3	3	6	●							98					
		30.00																	
	C-21	30.45																	
31		31.50																	
	SPT-21	31.50	3	2	2	4	●												
		31.95																	
32	C-22	33.00																	
	SPT-22	33.00	2	3	4	7	●												
		33.45																	
34	C-23	34.00																	
	UD-3	34.00																	
	SPT-23	34.50	2	3	3	6	●												
35		34.95																	
36	C-24	36.00																	
	SPT-24	36.00	3	4	4	8	●												
		36.45																	
37	C-25	37.50																	
	SPT-25	37.50	4	4	6	10	●												
38		37.95																	
39	C-26	39.00																	
	SPT-26	39.00	3	3	9	12	●												
		39.45																	
40	C-27	40.50																	
	SPT-27	40.50	18	25	30	55	●												
		40.95																	
41	C-28																		
42																			
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM)			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD)					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM)											
R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					I Taze / Fresh II Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil											
Kırıklar / Spacing - 30 cm			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930)					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930)											
1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sık / Medium Dense N=30-50 Sık / Dense N=> Çok Sık / Very Dense					N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard											
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample									
C: Karot Numunesi / Core Sample																			
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-6																					
SAYFA/PAGES: 4 / 4						SONDÖR DRILLER																							
PROJE ADI/PROJECT NAME:																													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																													
KİLOMETRE/KILOMETER:																													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 42.00																													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.53																													
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.66																													
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)													
		DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																									
		0-15cm 15-30cm 30-45cm N		SPT N VALUE 10 20 30 40																									
		42.00					42m		34.5m																				
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent				Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																						
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense				İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=2-3 Yumuşak / Soft N=3-4 Orta / Firm N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																						
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample										C: Karot Numunesi / Core Sample									
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE																			

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-7																					
SAYFA/PAGES: 1 / 2						SONDÖR DRILLER																							
PROJE ADI/PROJECT NAME:																													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																													
KİLOMETRE/KILOMETER:																													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.76																													
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 1.69																													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)													
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																								
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40												
1	C-1	1.50						ÖN KAZI El kazısı																					
2	SPT-1	1.50	2	2	3	5	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi, az kumlu, siltli, orta plastisiteli, orta katı, kil.	1.2m	6.6m	20																		
3	C-2	1.95								6.1m																			
4	SPT-2	3.00	1	1	3	4	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Açık kahverengi, killi siltli ince daneli, çok gevşek kum.	3m	4.8m	67																		
5	C-3	3.45																											
6	SPT-3	4.50	1	1	2	3	●				61																		
7	C-4	4.50																											
8	SPT-4	4.95	1	1	1	2	●	KUMLU SİLTİLİ KİL Gri-yeşil, az kumlu, siltli, orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *7.5-7.95m arasında kum içeriği daha fazladır.	5m	2.8m	90																		
9	C-5	6.00																											
10	SPT-5	6.00	1	2	2	4	●				100																		
11	C-6	7.50																											
12	UD-1	7.50																											
13	SPT-6	8.50	2	3	4	7	●				100																		
14	C-7	9.00																											
15	SPT-7	9.45	2	3	3	6	●																						
16	C-8	10.50																											
17	SPT-8	10.50	3	3	4	7	●				100																		
18	C-9	12.00																											
19	UD-2	12.45																											
20	SPT-9	13.00	1	2	1	3	●																						
21		13.50																											
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																					
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																					
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample										C: Karot Numunesi / Core Sample									
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE																			

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG										SONDAJ BOREHOLE		SK-7							
SAYFA/PAGES: 2 / 2												SONDÖR DRILLER									
PROJE ADI/PROJECT NAME:																					
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																					
KİLOMETRE/KILOMETER:																					
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																					
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.76																					
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 1.69																					
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION				Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)		
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N	SPT N VALUE 10 20 30 40														
15	C-10	13.95								KİLLİ SİLTİLİ KUM	14m	-6.2m		78							
	SPT-10	15.00	3	3	5	8				Gri-yeşil, killi, siltli, ince daneli, çok gevşek-gevşek, kum.											
16	C-11	15.45								KUMLU SİLTİLİ KİL	15.5m	-7.7m		98							
	SPT-11	16.50	1	2	2	4				Kahverengimsi gri, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil.											
17	C-12	16.95												100							
18	SPT-12	18.00	2	2	3	5															
19	C-13	18.45												100							
20	SPT-13	19.50	2	2	3	5															
21	C-14	19.95												100							
	SPT-14	21.00	1	1	3	4				KUMLU SİLTİLİ KİL	21m	-13.2m									
22	C-15	21.45								Koyu gri-haki yeşil, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil.				52							
23	SPT-15	22.50	2	3	3	6															
24	C-16	22.95												182							
	UD-3	23.50																			
24	SPT-16	24.00	3	4	4	8															
25	C-17	24.45												82							
		25.00									25m	-17.2m									
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																					
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong						Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent						Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil									
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close						İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense						İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard									
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test														UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample				C: Karot Numunesi / Core Sample			
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME						İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-8																					
SAYFA/PAGES: 1 / 2						SONDÖR DRILLER																							
PROJE ADI/PROJECT NAME:																													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																													
KİLOMETRE/KILOMETER:																													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.90																													
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.23																													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)													
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																								
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40												
1	C-1	1.50						ÖN KAZI El Kazısı																					
2	SPT-1	1.50	1	1	1	2		KUMLU SİLTİLİ KİL Açık kahverengi, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak, kil.	1.5m	6.4m																			
3	C-2	1.95																											
4	SPT-2	3.00	2	1	3	4																							
5	C-3	3.45																											
6	SPT-3	4.50	1	1	2	3		KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengimsi gri-gri, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, yumuşak-katı, kil. *4.5-4.95m derinlikleri arasında kum içeriği daha fazladır	4.3m	3.6m																			
7	C-4	4.95																											
8	SPT-4	6.00	1	2	3	5																							
9	C-5	6.45																											
10	SPT-5	7.50	2	3	5	8																							
11	C-6	7.95																											
12	UD-1	8.50																											
13	SPT-6	9.00	4	5	7	12																							
14	C-7	9.45																											
15	SPT-7	10.50	2	4	5	9																							
16	C-8	10.95																											
17	SPT-8	12.00	3	4	5	9																							
18	C-9	12.45																											
19	SPT-9	13.50	3	4	4	8																							
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																					
Kırıklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																					
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample										C: Karot Numunesi / Core Sample									
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE				TARİH DATE																	

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-8																					
SAYFA/PAGES: 2 / 2						SONDÖR DRILLER																							
PROJE ADI/PROJECT NAME:																													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																													
KİLOMETRE/KILOMETER:																													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.90																													
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.23																													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)													
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																								
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40												
15	C-10 UD-2 SPT-10	13.95 14.50 14.50 15.00 15.45	5	7	7	14	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-kahverengi, killi, siltli, ince-orta daneli, gevşek-orta sıkı, kum.	14m	-6.1m	91																		
16	C-11	15.45																											
17	SPT-11	16.50 16.50	1	2	2	4	●																						
18	C-12	16.95																											
19	SPT-12	18.00 18.00 18.45	4	8	15	23	●																						
20	C-13	18.45																											
21	SPT-13	19.50 19.50	3	4	4	8	●				KUMLU SİLTİLİ KİL Haki yeşil-siyahımsı koyu gri, az kumlu, siltli, orta plastisiteli, orta katı, kil.	20m	-12.1m	75															
22	C-14	19.95																											
23	SPT-14	21.00 21.00 21.45	2	3	3	6	●																						
24	C-15	21.45																											
25	SPT-15	22.50 22.50	2	3	4	7	●																						
26	C-16	22.95																											
27	UD-3	23.50																											
28	SPT-16	24.00 24.00	3	3	5	8	●																						
29	C-17	24.45																											
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 25.00																													
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong						Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent				Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																			
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close						İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense				İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=2-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																			
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample										C: Karot Numunesi / Core Sample									
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE																			

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-9																					
SAYFA/PAGES: 1 / 4						SONDÖR DRILLER																							
PROJE ADI/PROJECT NAME:																													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																													
KİLOMETRE/KILOMETER:																													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 43.50																													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.67																													
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.51																													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)													
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH																								
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40												
1	C-1	1.50																											
2	SPT-1	1.50	1	2	2	4																							
3	C-2	1.95																											
4	SPT-2	3.00	1	1	2	3																							
5	C-3	3.45																											
6	SPT-3	4.50	1	1	1	2																							
7	C-4	4.95																											
8	SPT-4	6.00	4	3	4	7																							
9	C-5	6.45																											
10	SPT-5	7.50	3	4	4	8																							
11	C-6	7.95																											
12	SPT-6	9.00	3	5	6	11																							
13	C-7	9.45																											
14	SPT-7	10.00	2	3	3	6																							
15	C-8	10.50																											
16	SPT-8	10.95	1	1	1	2																							
17	C-9	12.00																											
18	SPT-9	12.45	3	5	8	13																							
19		13.50																											
20		13.50																											
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM)			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD)						Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM)																				
R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent						I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil																				
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense						İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard																				
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample										C: Karot Numunesi / Core Sample									
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE				TARİH DATE																	

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-9								
SAYFA/PAGES: 2 / 4						SONDÖR DRILLER										
PROJE ADI/PROJECT NAME:																
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																
KİLOMETRE/KILOMETER:																
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 43.50																
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.67																
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.51																
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH											
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N										
15	C-10	13.95						KİLLİ SİLTİLİ KUM Gri-Kahverengi, killi, siltli, ince-kaba daneli, gevşek-orta sıkı, kum.(continued)			97					
	SPT-10	15.00	2	2	2	4										
16	C-11	15.45						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			40					
	SPT-11	16.50	3	5	8	13										
17	C-12	16.95						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			49					
	SPT-12	18.00	3	5	5	10										
18	C-13	18.45						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			92					
	SPT-13	19.50	4	4	5	9										
19	C-14	19.95						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			97					
	SPT-14	21.00	5	4	4	8										
20	C-15	21.45						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			100					
	SPT-15	22.50	2	3	3	6										
21	C-16	22.95						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			99					
	SPT-16	24.00	2	3	4	7										
22	C-17	24.45						KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			98					
	UD-2	25.00														
23	SPT-17	25.50	3	4	4	8		KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.			96					
	C-18	25.95														
24	SPT-18	27.00	1	1	1	2		KUMLU SİLTİLİ KİL Kahverengi-gri-yeşil, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, çok yumuşak-orta katı, kil. *32,20m-32,50m arası bej-krem renkli, orta katı, orta plastisiteli seviye.								
		27.45														
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil								
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			İri Daneli Zemin / Coarse Soil. (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense					İnce Daneli Zemin / Fine Soil. (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard								
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample		C: Karot Numunesi / Core Sample				
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE						

İŞVEREN CLIENT	SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG	SONDAJ BOREHOLE	SK-9
SAYFA/PAGES: 3 / 4		SONDÖR DRILLER	

PROJE ADI/PROJECT NAME:

SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:

KİLOMETRE/KILOMETER:

SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 43.50

SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.67

YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.51

Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH											
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N										
29	C-19 SPT-19	28.50	2	2	3	5	</									

Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM)

R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak
R1 Çok Zayıf / Very Weak
R2 Zayıf / Weak
R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong
R4 Dayanımlı / Strong
R5 Çok Dayanımlı / Very Strong
R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong

Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD)

0-25 Çok Zayıf / Very Poor
25-50 Zayıf / Weak
50-75 Orta / Fair
75-90 İyi / Good
90-100 Mükemmel / Excellent

Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM)

I Taze / Fresh
II Az Ayrışmış / Slightly Weathered
III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered
IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered
V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered
VI Rezidüel Toprak / Residual Soil

Kırıklar / Spacing - 30 cm

1 Seyrek / Wide
1-2 Orta / Moderate
3-16 Sık / Close
16-20 Çok Sık / Very Close
>20 Parçalı / Extremely Close

İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930)

N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose
N=4-10 Gevşek / Loose
N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense
N=30-50 Sıkı / Dense
N=> Çok Sıkı / Very Dense

İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930)

N<2 Çok Yumuşak / Very Soft
N=3-4 Yumuşak / Soft
N=5-8 Orta / Firm
N=9-15 Katı / Stiff
N=16-30 Çok Katı / Very Stiff
N>30 Sert / Hard

SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test

UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample

C: Karot Numunesi / Core Sample

İŞİ/JOB	ÜNVANI/TITLE	ADI-SOYADI NAME-SURNAME	İMZA SIGNATURE	TARİH DATE
---------	--------------	----------------------------	-------------------	---------------

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-9											
SAYFA/PAGES: 4 / 4						SONDÖR DRILLER													
PROJE ADI/PROJECT NAME:																			
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																			
KİLOMETRE/KILOMETER:																			
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 43.50																			
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.67																			
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.51																			
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)			
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH														
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40		
43	SPT-26 C-29	42.00 42.45	50/6			R					100								
		43.50							43.5m	35.8m									
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 43.50																			
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong						Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent						Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil							
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close						İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense						İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard							
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample				C: Karot Numunesi / Core Sample					
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

İŞVEREN CLIENT		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG				SONDAJ BOREHOLE		SK-10											
SAYFA/PAGES: 1 / 2						SONDÖR DRILLER													
PROJE ADI/PROJECT NAME:																			
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:																			
KİLOMETRE/KILOMETER:																			
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.95																			
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.57																			
YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.34																			
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)			
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFİK GRAPH														
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40		
1	C-1	1.50						BETON DOLGU	0.25m	7.3m									
2	SPT-1	1.50	2	3	3	6	●	Bej-Krem rengi, kumtaşı kökenli çakıl ve bloklar içeren, yuvarlak-yarı yuvarlak köşeli, micir ve plastik malzeme içerikli kontrolsüz dolgu.	1m	6.6m	55								
3	C-2	1.95						KUMLU SİLTİLİ KİL											
4	UD-1	2.50						Koyu kahverengi-açık kahverengi, az kumlu, siltli, düşük-orta plastisiteli, yumuşak-orta katı, kil.		5.2m	85								
5	SPT-2	2.50	1	2	2	4	●												
6	C-3	3.00																	
7	SPT-3	3.45																	
8	C-4	4.50	1	2	2	4	●	KUMLU SİLTİLİ KİL	4.9m	2.7m	86								
9	UD-2	4.50						Koyu kahverengi-haki yeşil, az kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli, orta katı-katı, kil.			100								
10	SPT-4	4.95	2	3	4	7	●												
11	C-5	5.50																	
12	SPT-5	5.50																	
13	C-6	6.00	2	3	4	7	●												
14	UD-3	6.45																	
15	SPT-6	7.50																	
16	C-7	7.50	2	3	4	7	●												
17	SPT-7	7.95																	
18	C-8	8.50																	
19	UD-4	8.50																	
20	SPT-8	9.00	3	4	4	8	●												
21	C-9	9.45																	
22	SPT-9	10.50																	
23	C-10	10.50	3	5	5	10	●												
24	UD-5	10.95																	
25	SPT-10	12.00																	
26	C-11	12.00	3	5	6	11	●	KİLLİ SİLTİLİ KUM	11.7m	4.1m	85								
27	UD-6	12.45						Gri-Koyu gri, az miktarda kavkı içerikli, az killi, siltli, orta-kaba daneli, orta sıkı kum.											
28	SPT-11	13.50																	
29	C-12	13.50	7	9	11	20	●												
30	SPT-12																		
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM)			Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD)					Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM)											
R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong			0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent					I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil											
Kırklar / Spacing - 30 cm			İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930)					İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930)											
1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close			N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> 50 Çok Sıkı / Very Dense					N<2 Çok Yumuşak / Very Soft N=2-4 Yumuşak / Soft N=4-8 Orta / Firm N=8-15 Katı / Stiff N=15-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard											
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test										UD: Örselememiş Numune / Undisturbed Sample									
C: Karot Numunesi / Core Sample																			
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

İŞVEREN
CLIENT

SONDAJ
BOREHOLE

SK-10

SAYFA/PAGES: 2 / 2

SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG

SONDÖR
DRILLER

PROJE ADI/PROJECT NAME:

SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:

KİLOMETRE/KILOMETER:

SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 25.95

SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 7.57

YERALTISUYU/GROUNDWATER (m): 2.34

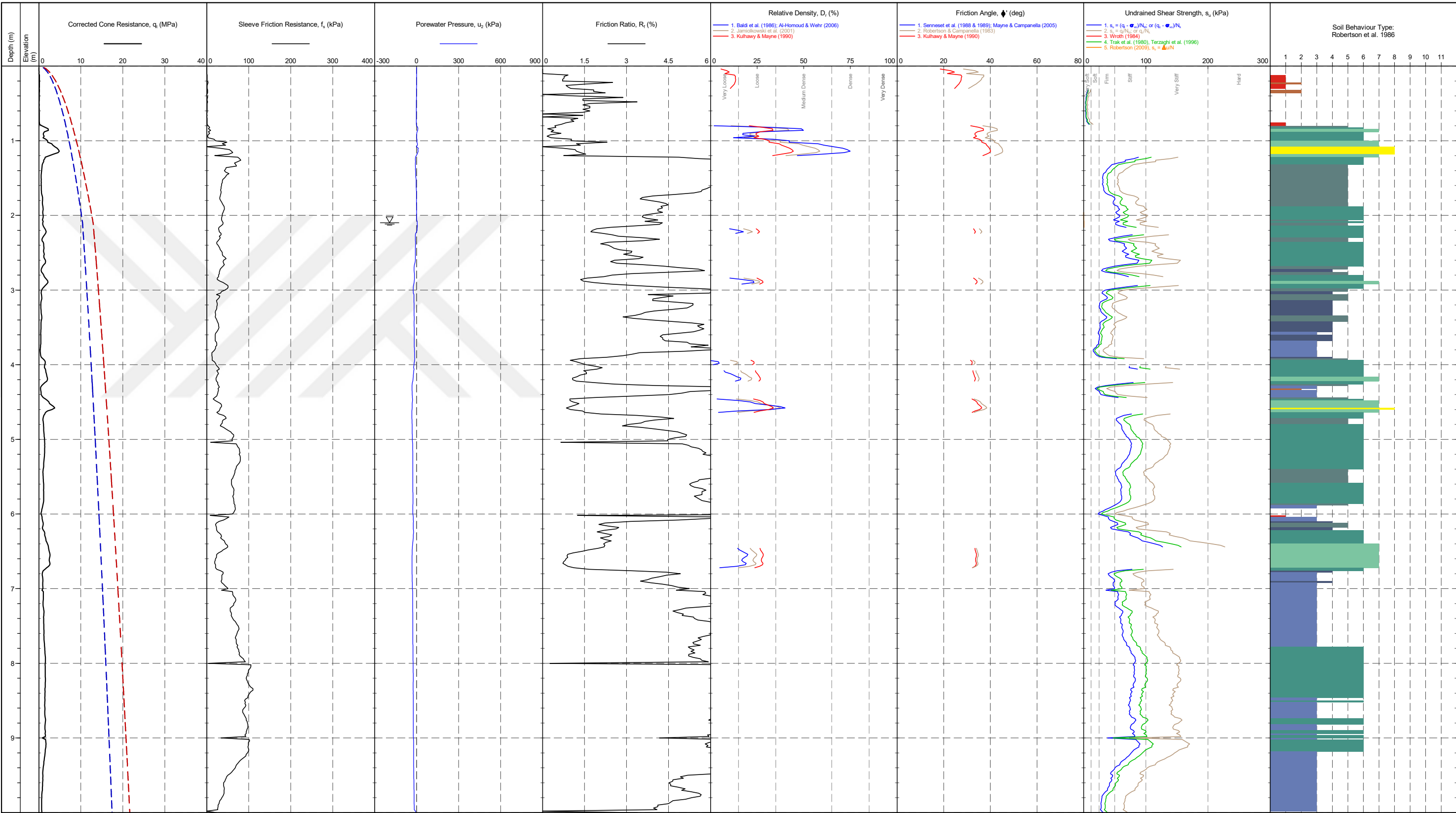
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Lugeon / Permeabilite (cm/sec)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)	
			DARBE SAYISI No.of BLOWS		GRAFİK GRAPH												
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N											SPT N VALUE 10 20 30 40
15	C-10	13.95						KİLLİ SİLTİLİ KUM									
	SPT-10	15.00	9	7	5	12		Gri-Koyu gri, az miktarda kavkı içerikli, az killi, siltli, orta-kaba daneli, orta sıkı kum.(continued)			75						
16	C-11	15.45															
	SPT-11	16.50	10	12	13	25						62					
17	C-12	16.95															
	SPT-12	18.00	5	7	10	17											
18	C-13	18.45															
	SPT-13	19.50	4	3	5	8											
19	C-14	19.95															
	SPT-14	21.00	3	3	3	6											
20	C-15	21.45															
	UD-4	22.00															
	SPT-15	22.50	2	3	3	6											
21	C-16	22.95															
	SPT-16	24.00	3	3	2	5											
22	C-17	24.45															
	SPT-17	25.50	4	3	3	6											
23		25.95															
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m): 25.95																	
Kaya Mukavemeti / Rock Strength (ISRM) R0 Aşırı Zayıf / Extremely Weak R1 Çok Zayıf / Very Weak R2 Zayıf / Weak R3 Orta Dayanımlı / Medium Strong R4 Dayanımlı / Strong R5 Çok Dayanımlı / Very Strong R6 Aşırı Dayanımlı / Extremely Strong							Kaya Kalite Değeri / Rock Quality Designation (%RQD) 0-25 Çok Zayıf / Very Poor 25-50 Zayıf / Weak 50-75 Orta / Fair 75-90 İyi / Good 90-100 Mükemmel / Excellent							Kaya Ayrışması / Rock Weathering (ISRM) I Taze / Fresh II Az Ayrışmış / Slightly Weathered III Orta Derecede Ayrışmış / Moderately Weathered IV Çok Ayrışmış / Highly Weathered V Tamamen Ayrışmış / Completely Weathered VI Rezidüel Toprak / Residual Soil			
Kırklar / Spacing - 30 cm 1 Seyrek / Wide 1-2 Orta / Moderate 3-16 Sık / Close 16-20 Çok Sık / Very Close >20 Parçalı / Extremely Close							İri Daneli Zemin / Coarse Soil (BS 5930) N=0-4 Çok Gevşek / Very Loose N=4-10 Gevşek / Loose N=10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N=30-50 Sıkı / Dense N=> Çok Sıkı / Very Dense							İnce Daneli Zemin / Fine Soil (BS 5930) N=2 Çok Yumuşak / Very Soft N=3-4 Yumuşak / Soft N=5-8 Orta / Firm N=9-15 Katı / Stiff N=16-30 Çok Katı / Very Stiff N>30 Sert / Hard			
SPT: Standart Penetrasyon Testi / Standart Penetration Test							UD: Örselelenmemiş Numune / Undisturbed Sample							C: Karot Numunesi / Core Sample			
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE									

EK B: CPT Logları



PointID

CPTu-1

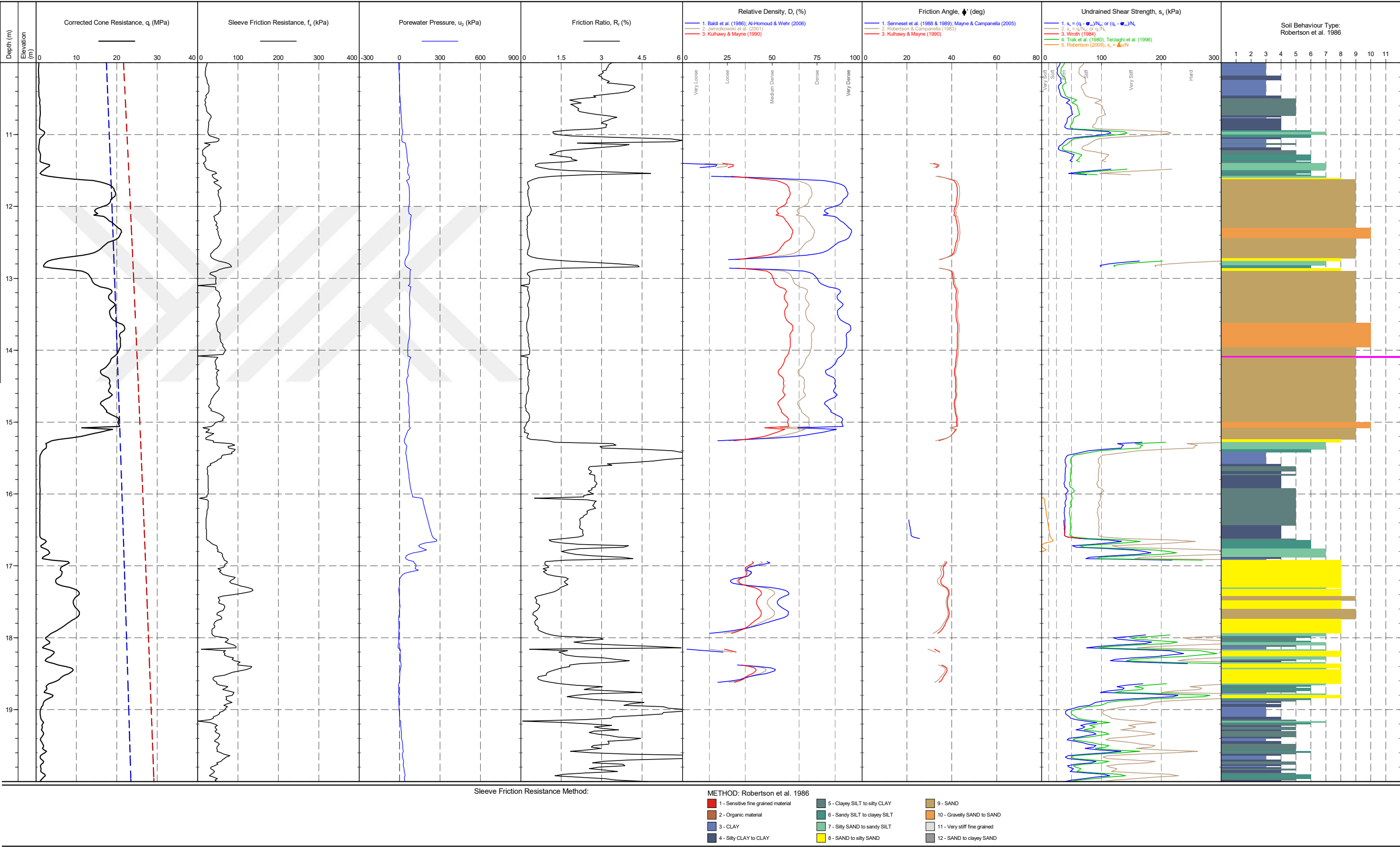


Sleeve Friction Resistance Method:

- METHOD: Robertson et al. 1986
- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

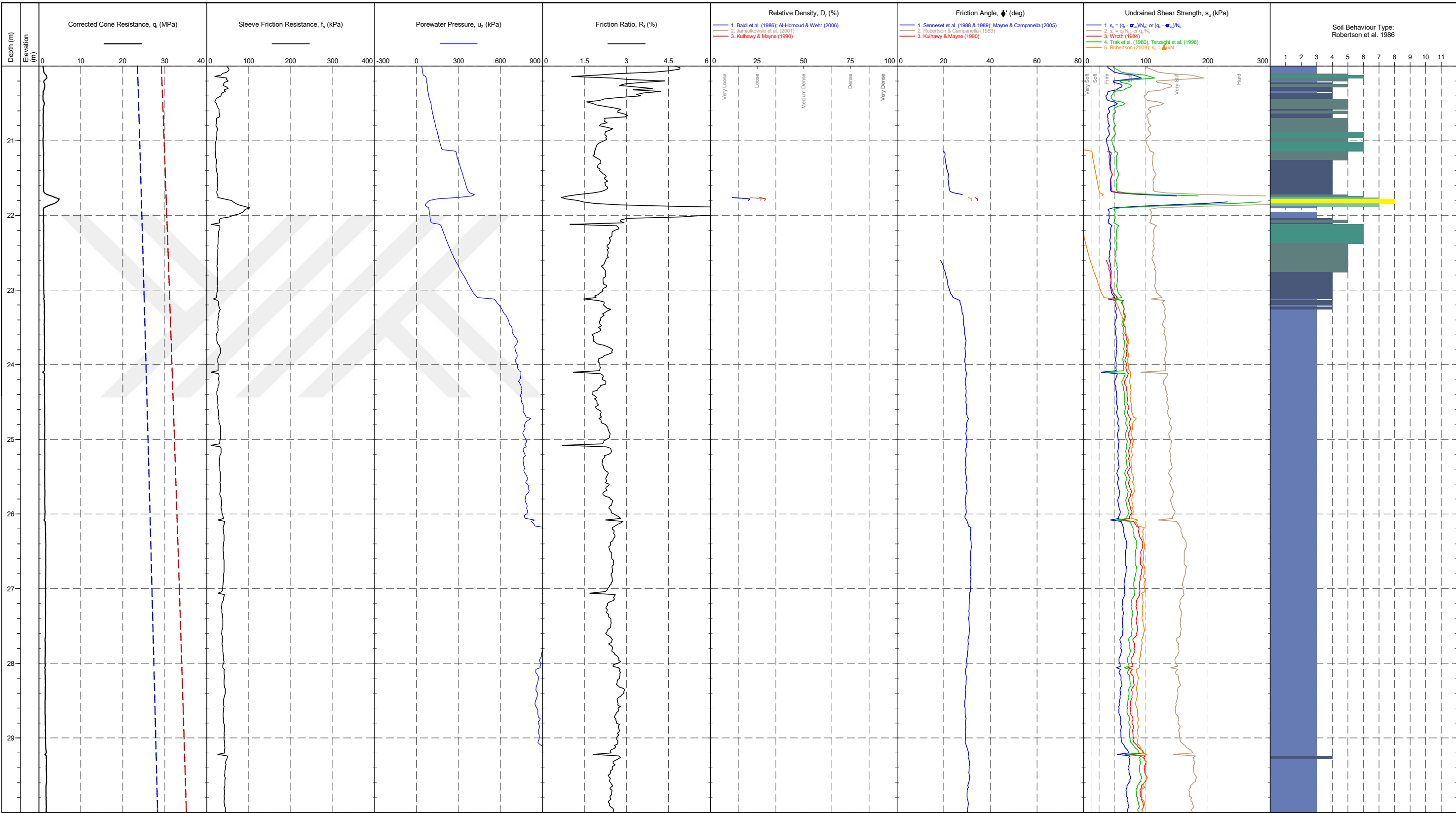
PointID

CPTu-1



PointID

CPTu-1



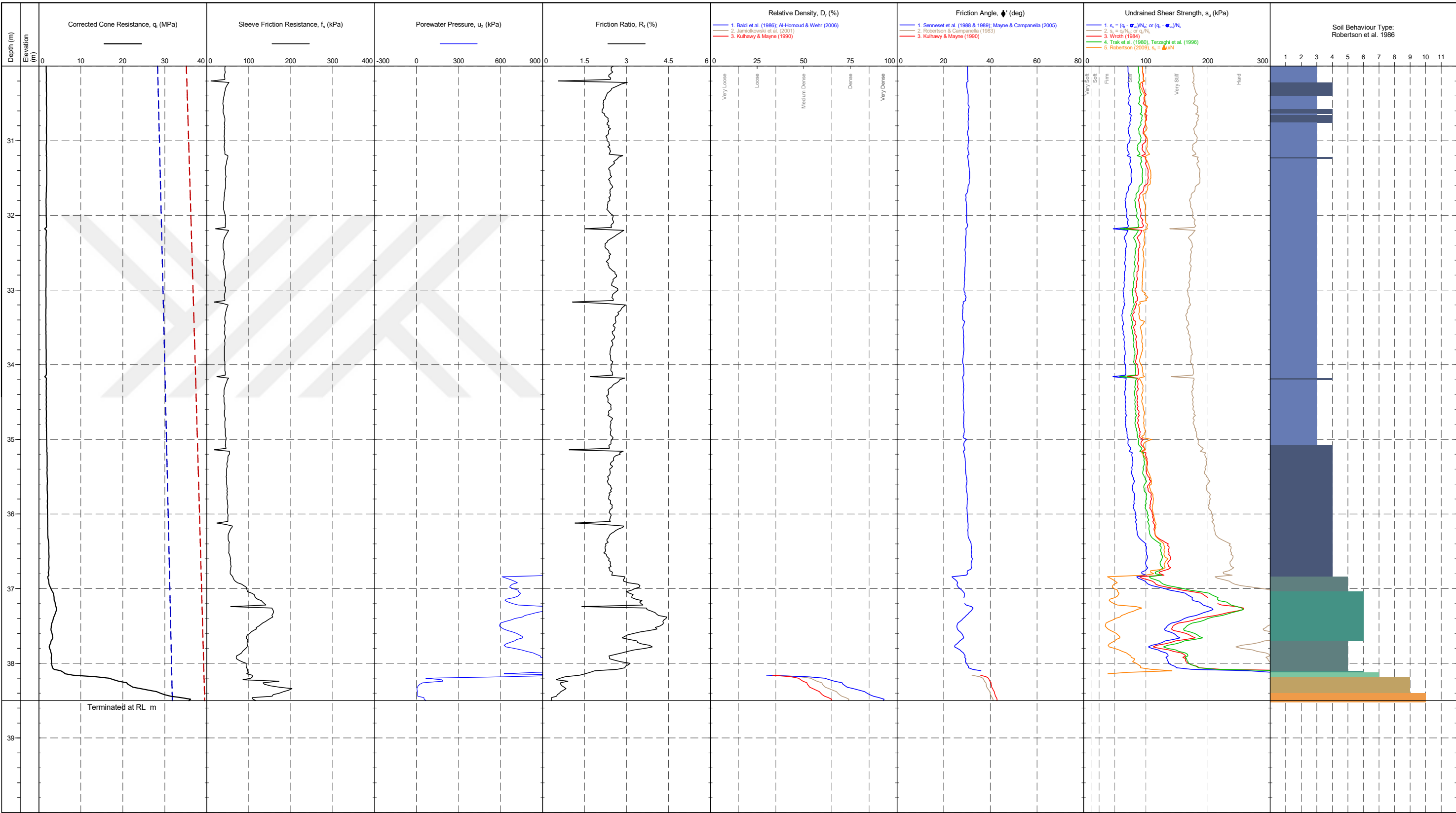
Sleeve Friction Resistance Method:

METHOD: Robertson et al. 1986

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

PointID

CPTu-1

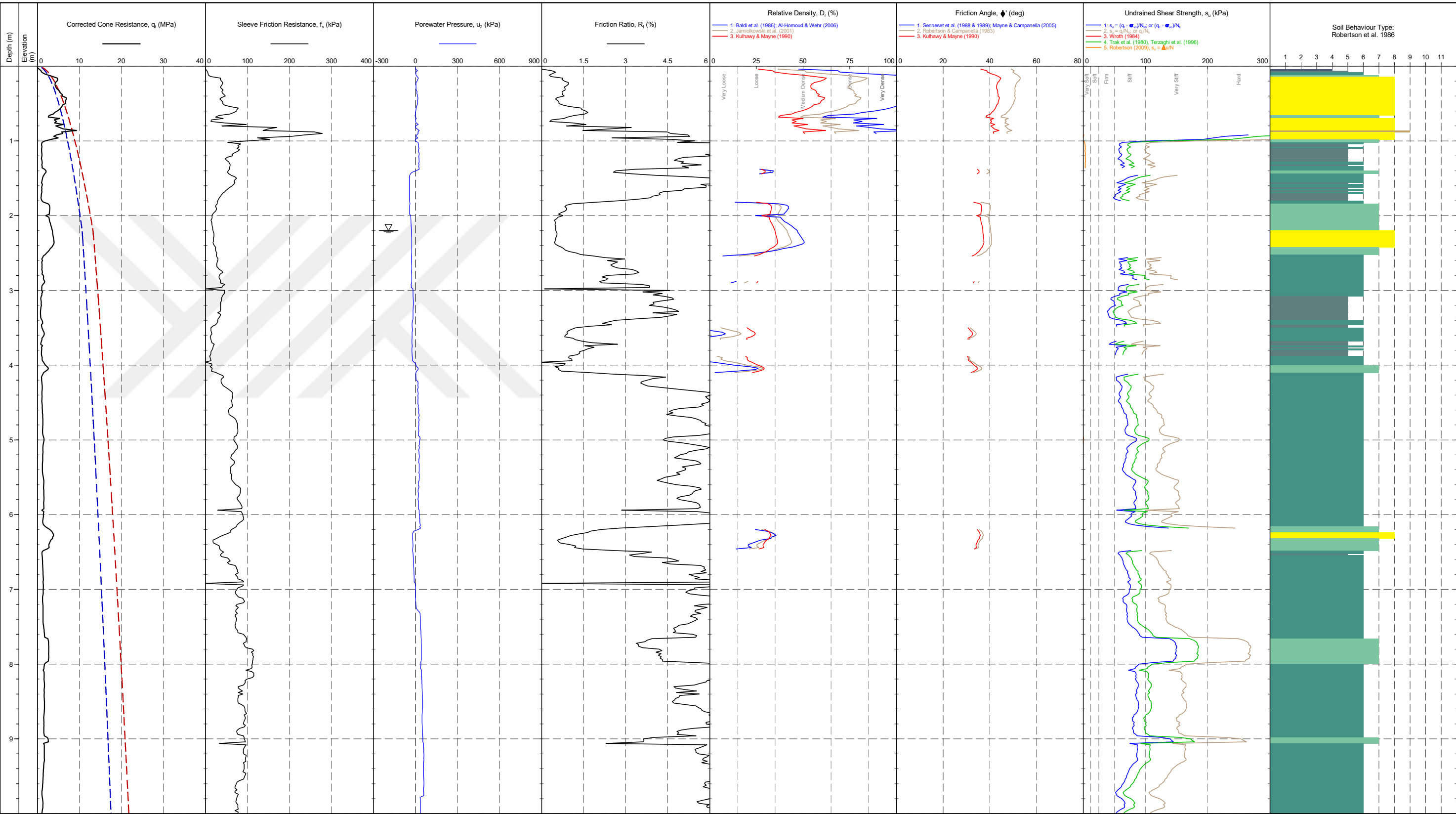


Sleeve Friction Resistance Method:

- METHOD: Robertson et al. 1986
- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

PointID

CPTu-2



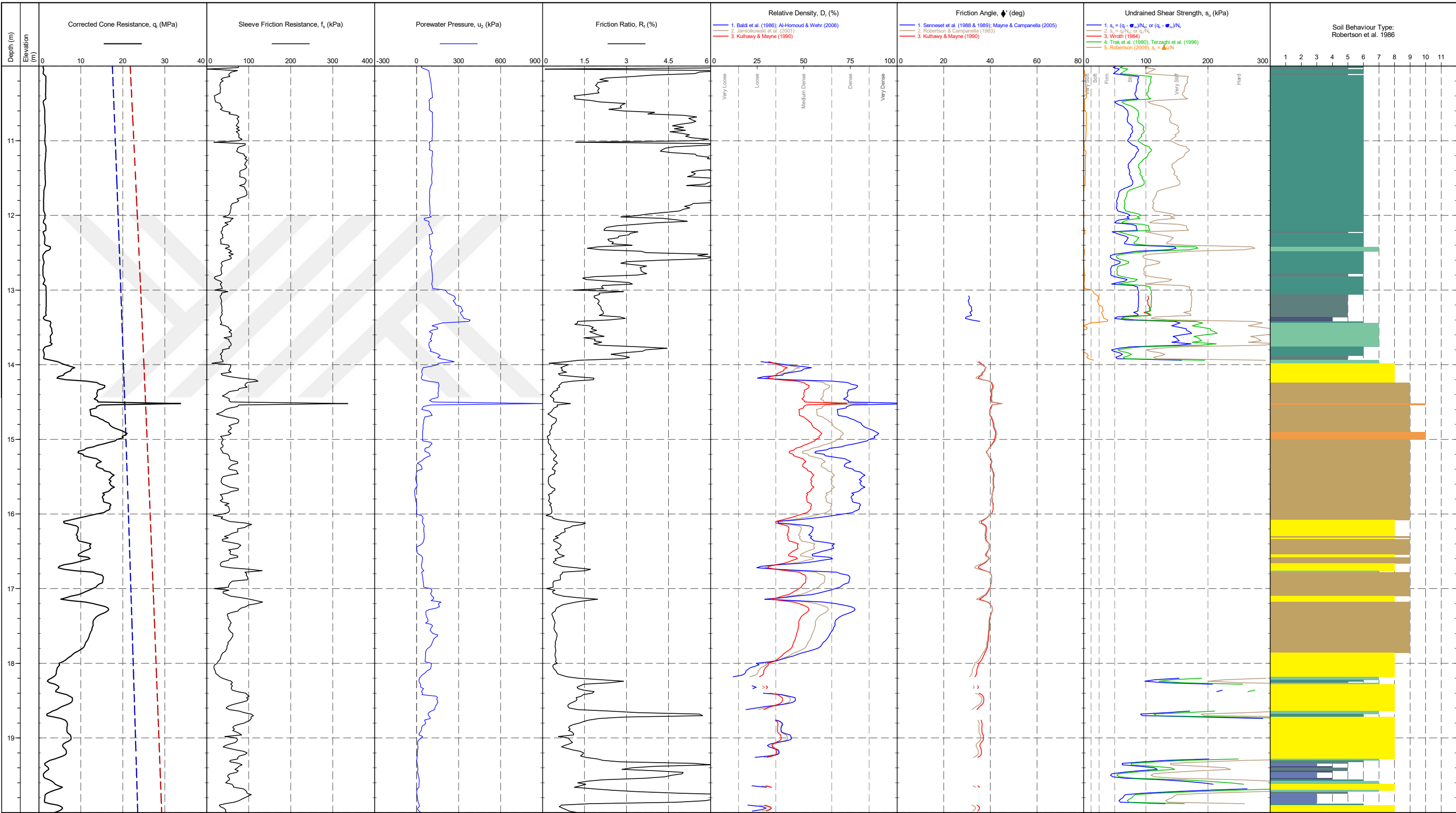
Sleeve Friction Resistance Method:

METHOD: Robertson et al. 1986

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

PointID

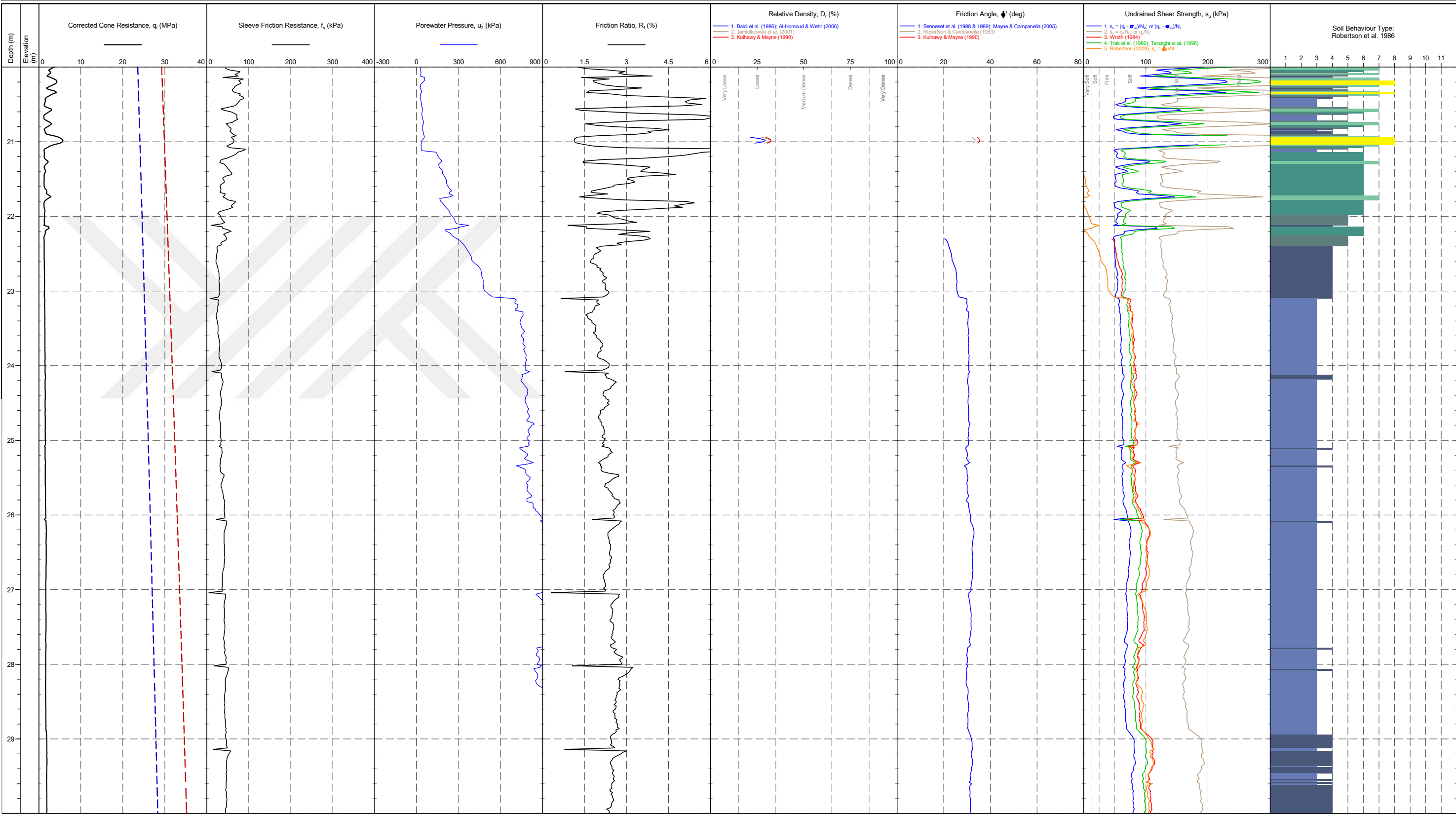
CPTu-2



Sleeve Friction Resistance Method:

METHOD: Robertson et al. 1986

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |



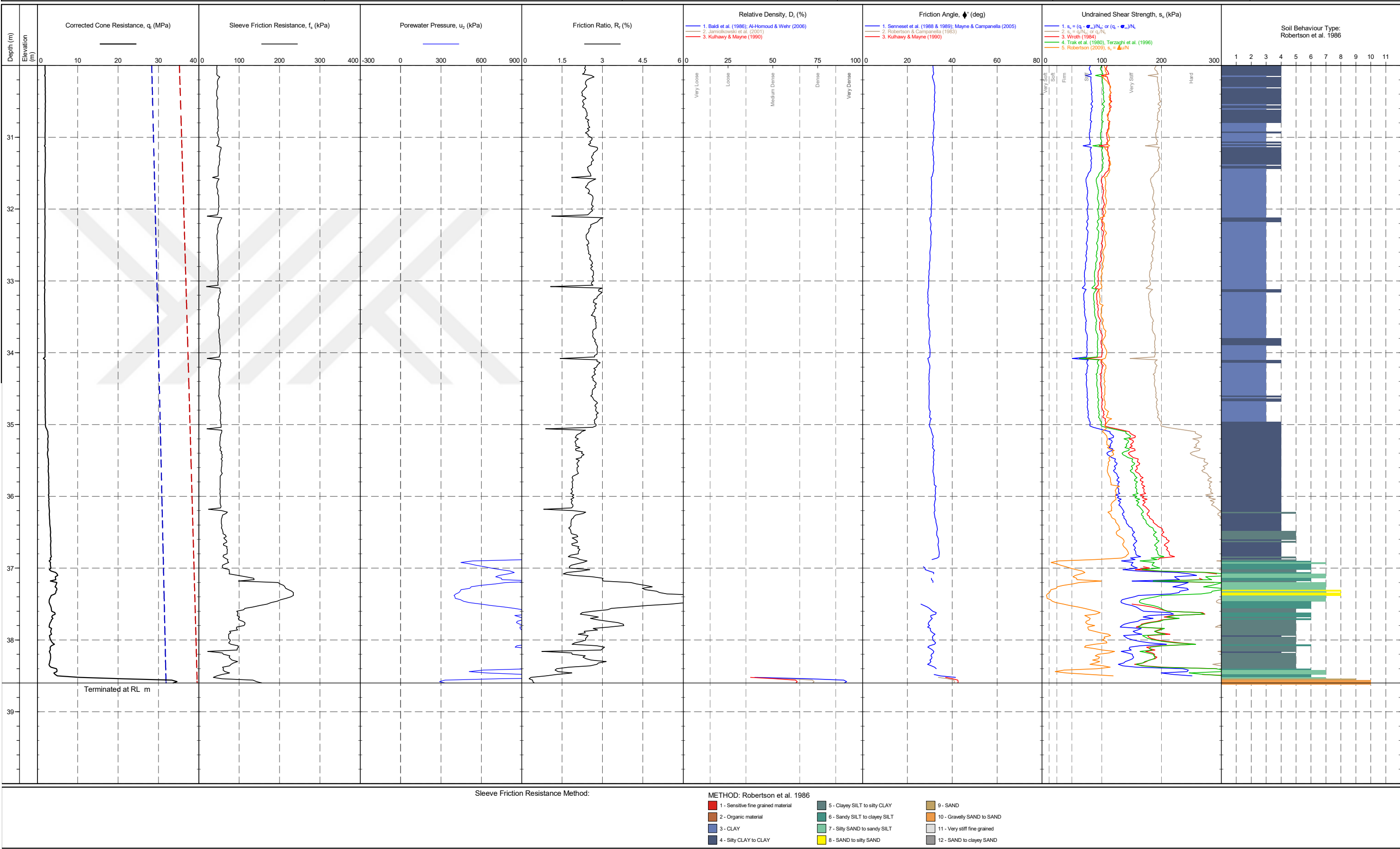
Sleeve Friction Resistance Method:

METHOD: Robertson et al. 1986

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

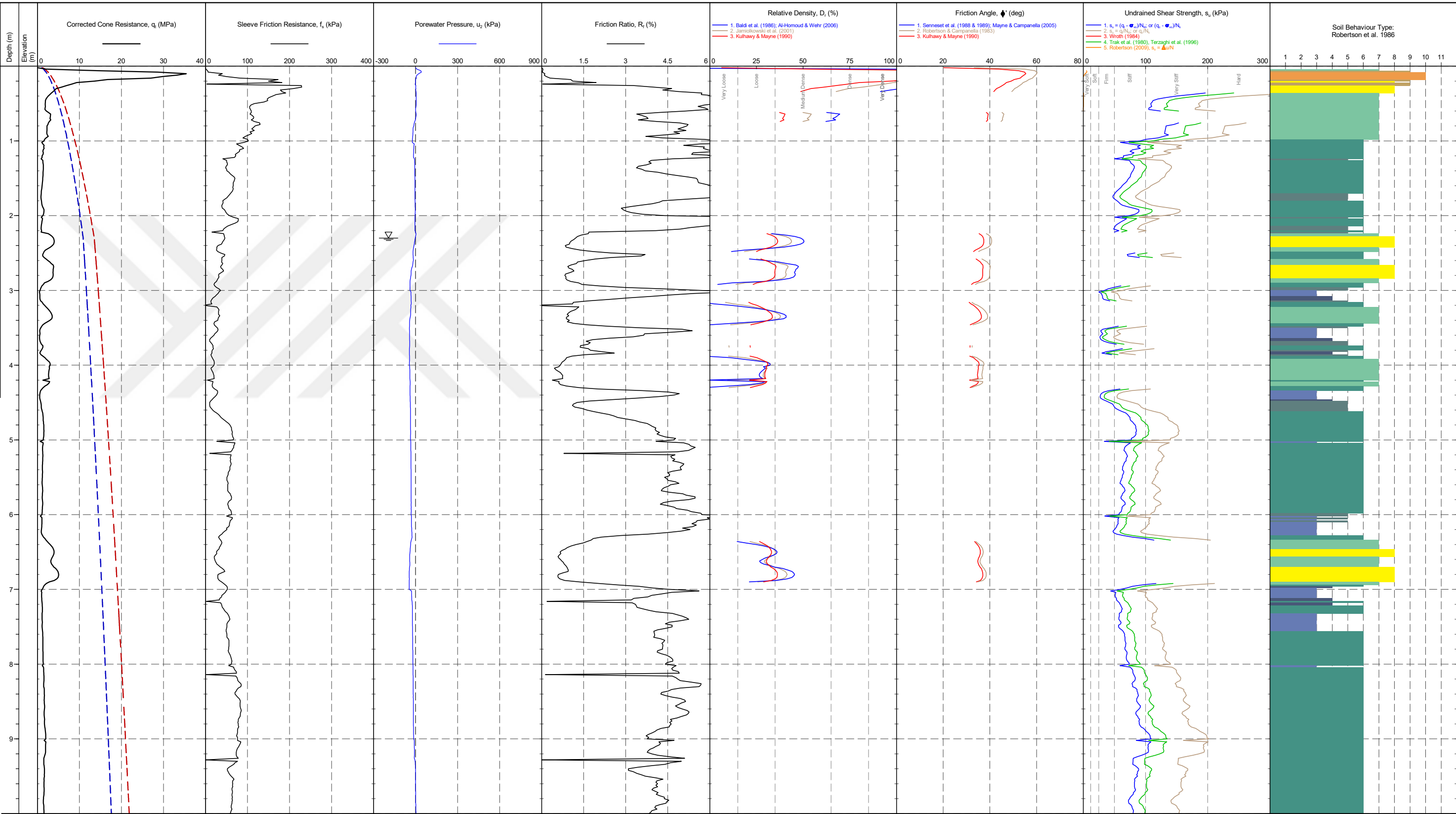
PointID

CPTu-2



PointID

SCPTu-1

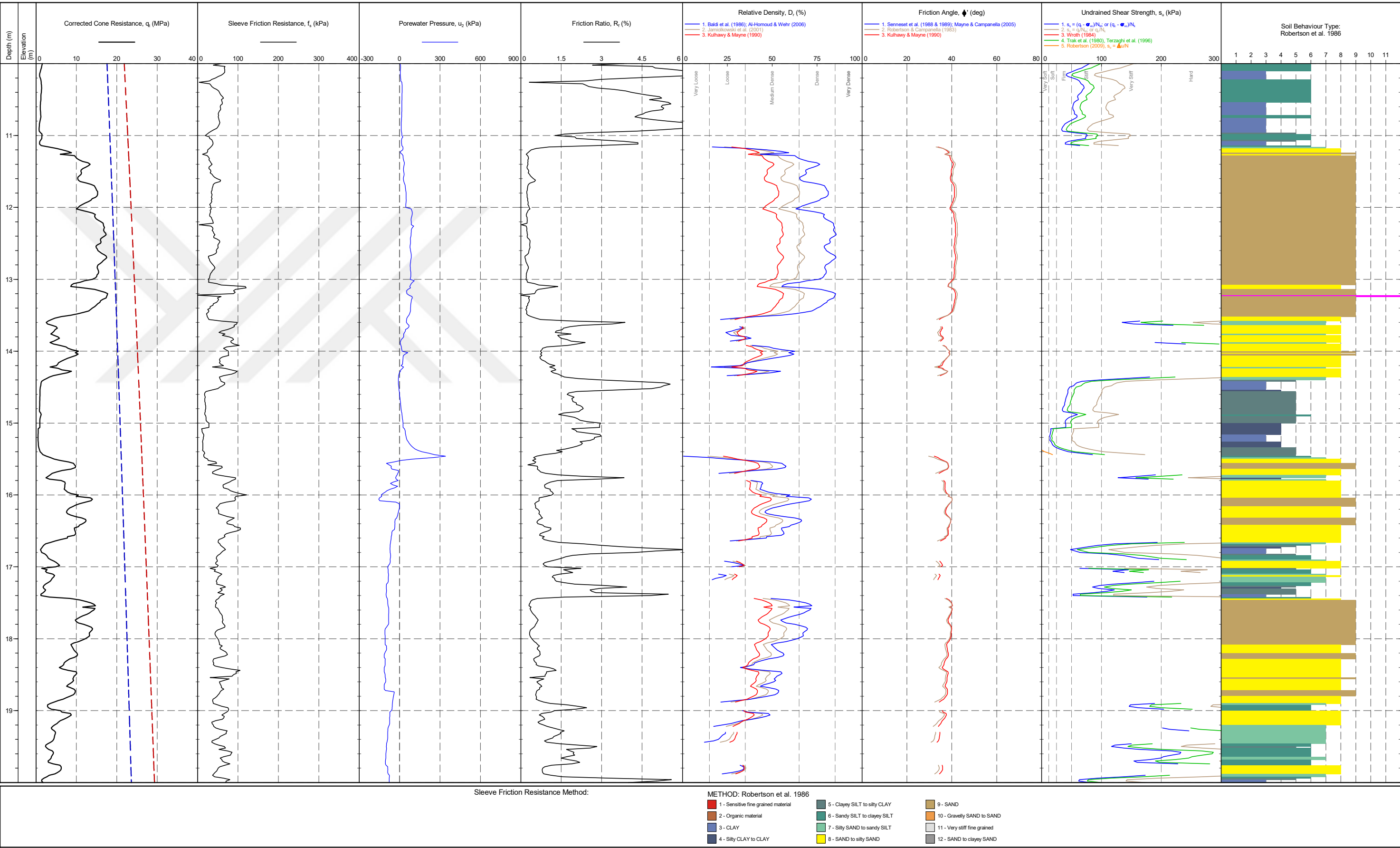


Sleeve Friction Resistance Method:

- METHOD: Robertson et al. 1986
- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

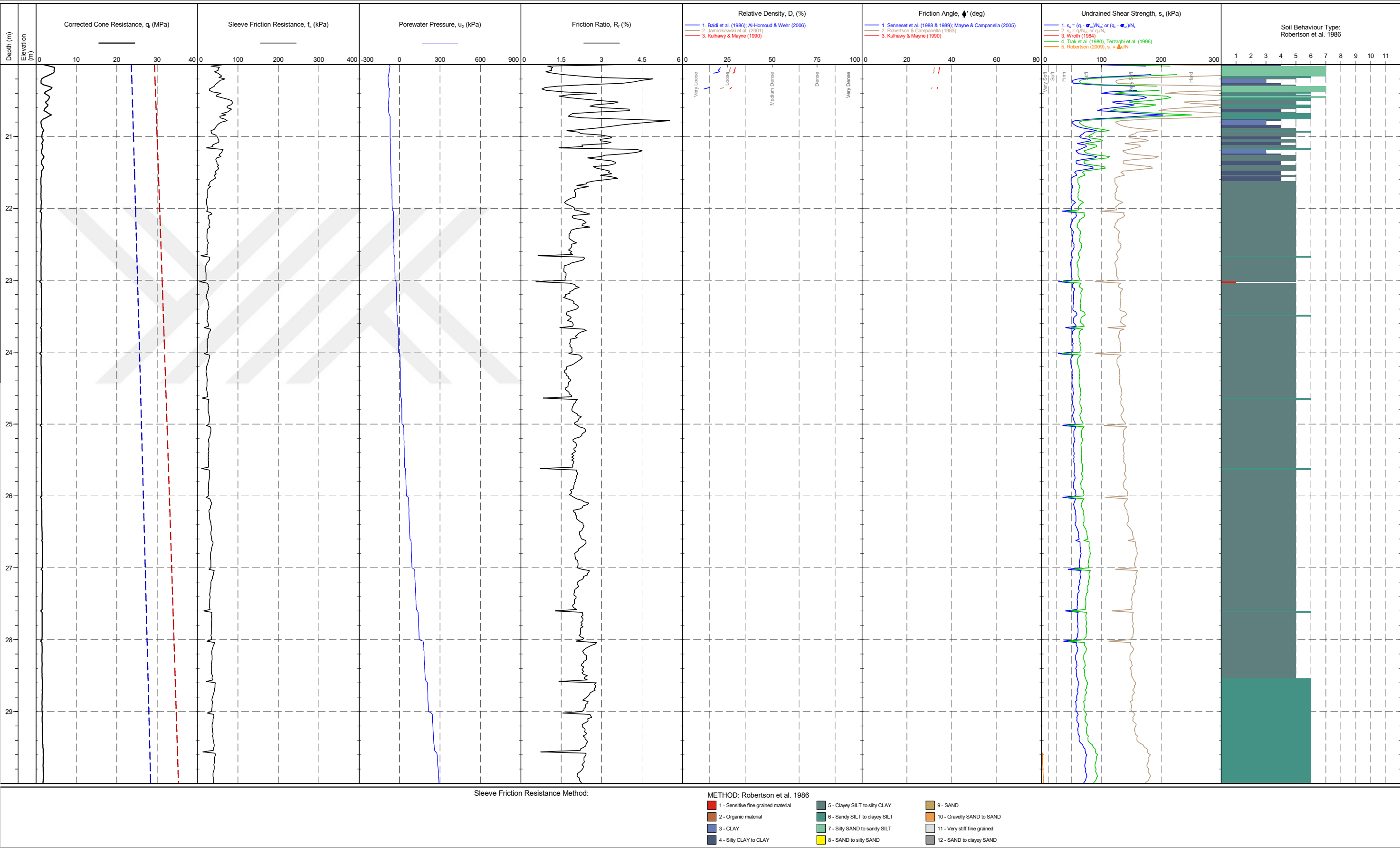
PointID

SCPTu-1

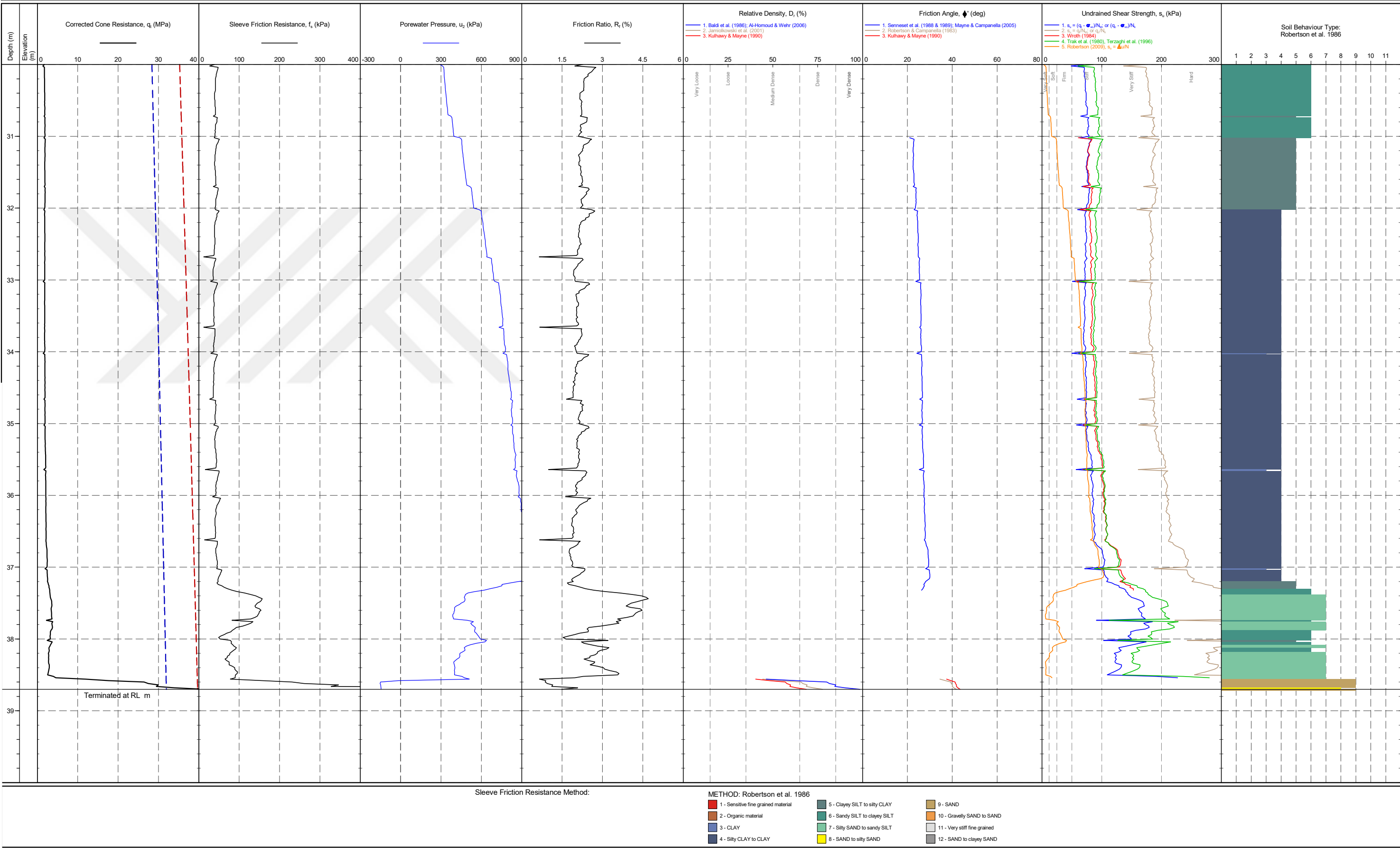


PointID

SCPTu-1

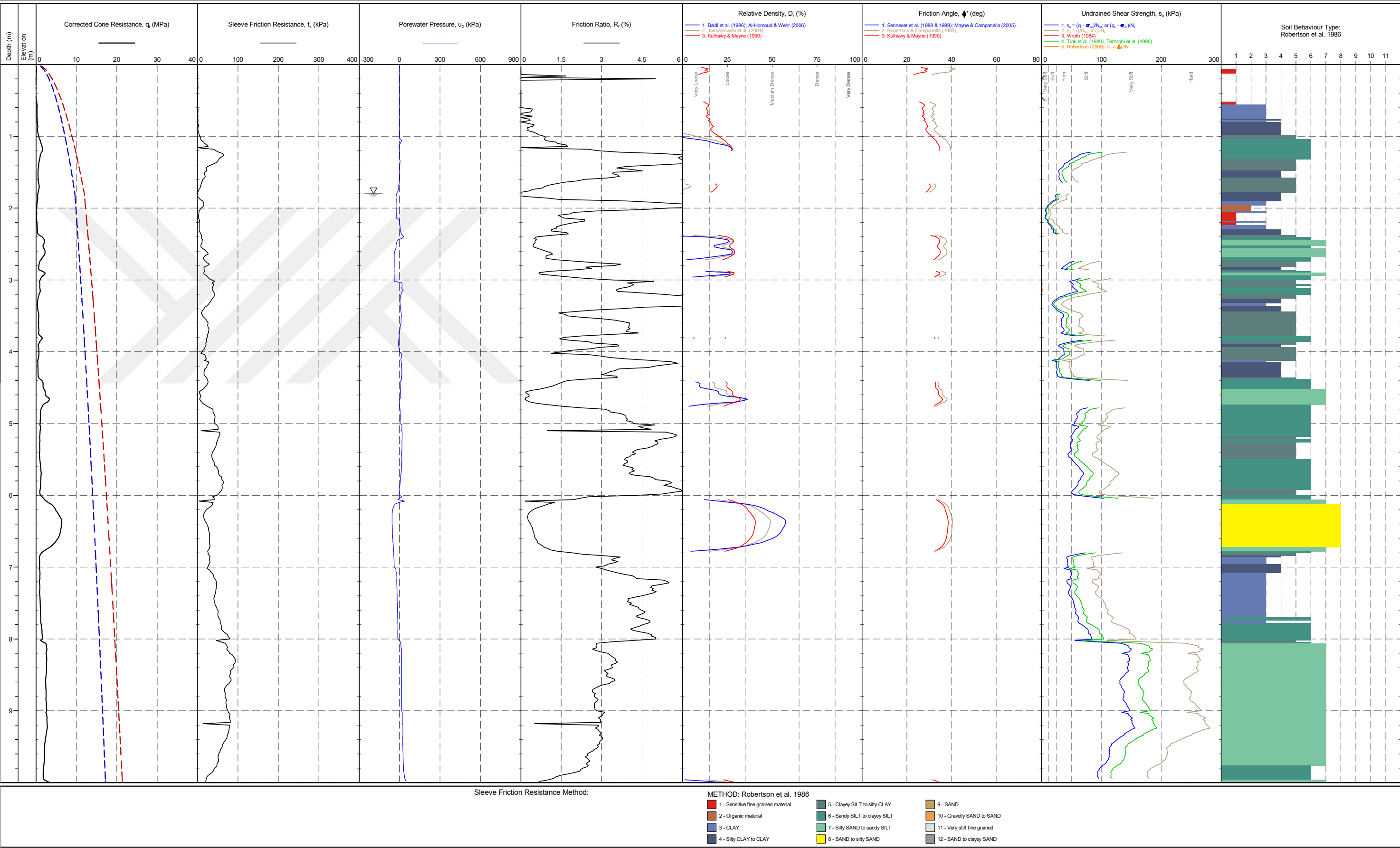


PointID
SCPTu-1

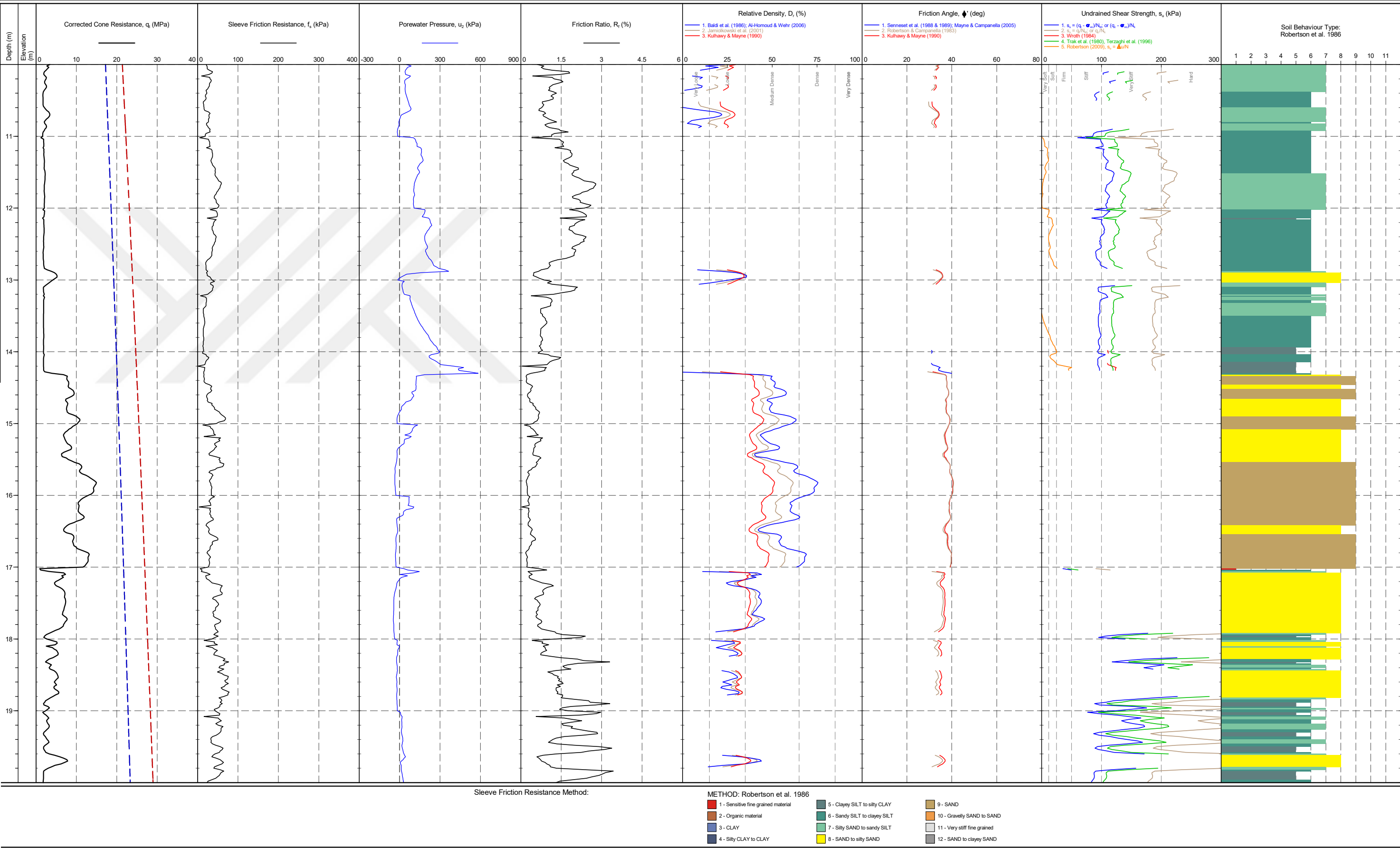


PointID

SCPTu-2

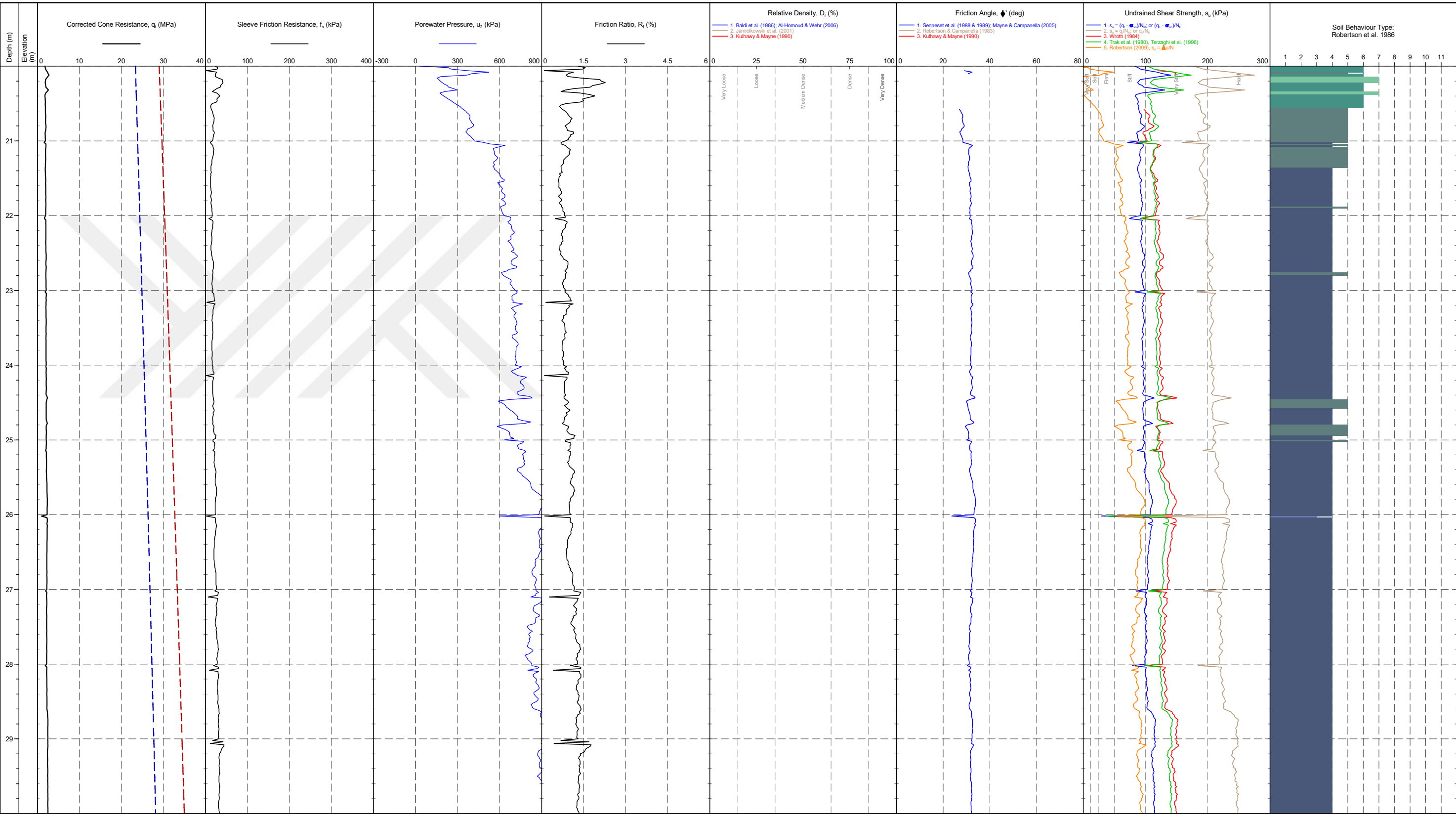


PointID
SCPTu-2



PointID

SCPTu-2



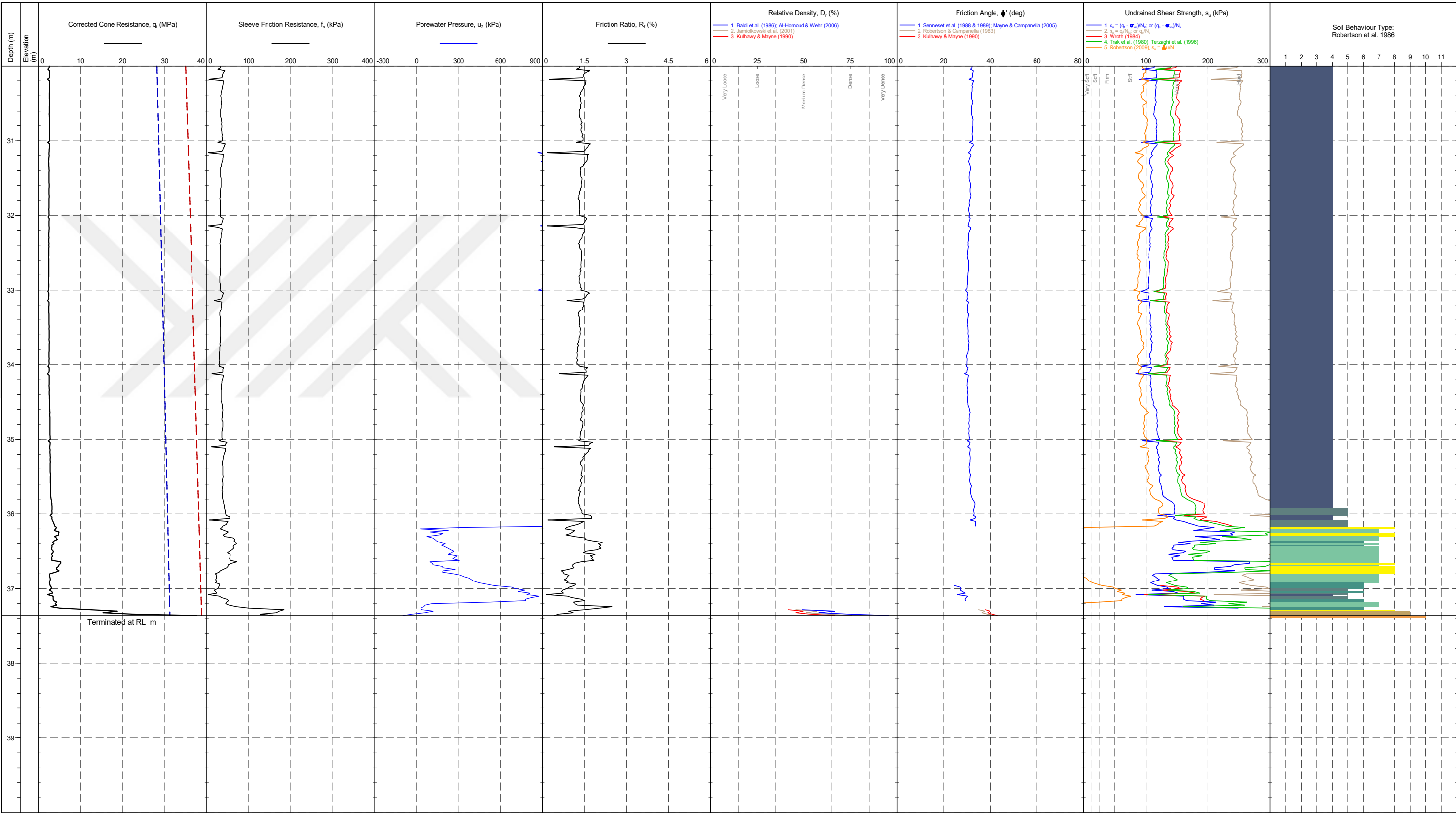
Sleeve Friction Resistance Method:

METHOD: Robertson et al. 1986

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

PointID

SCPTu-2



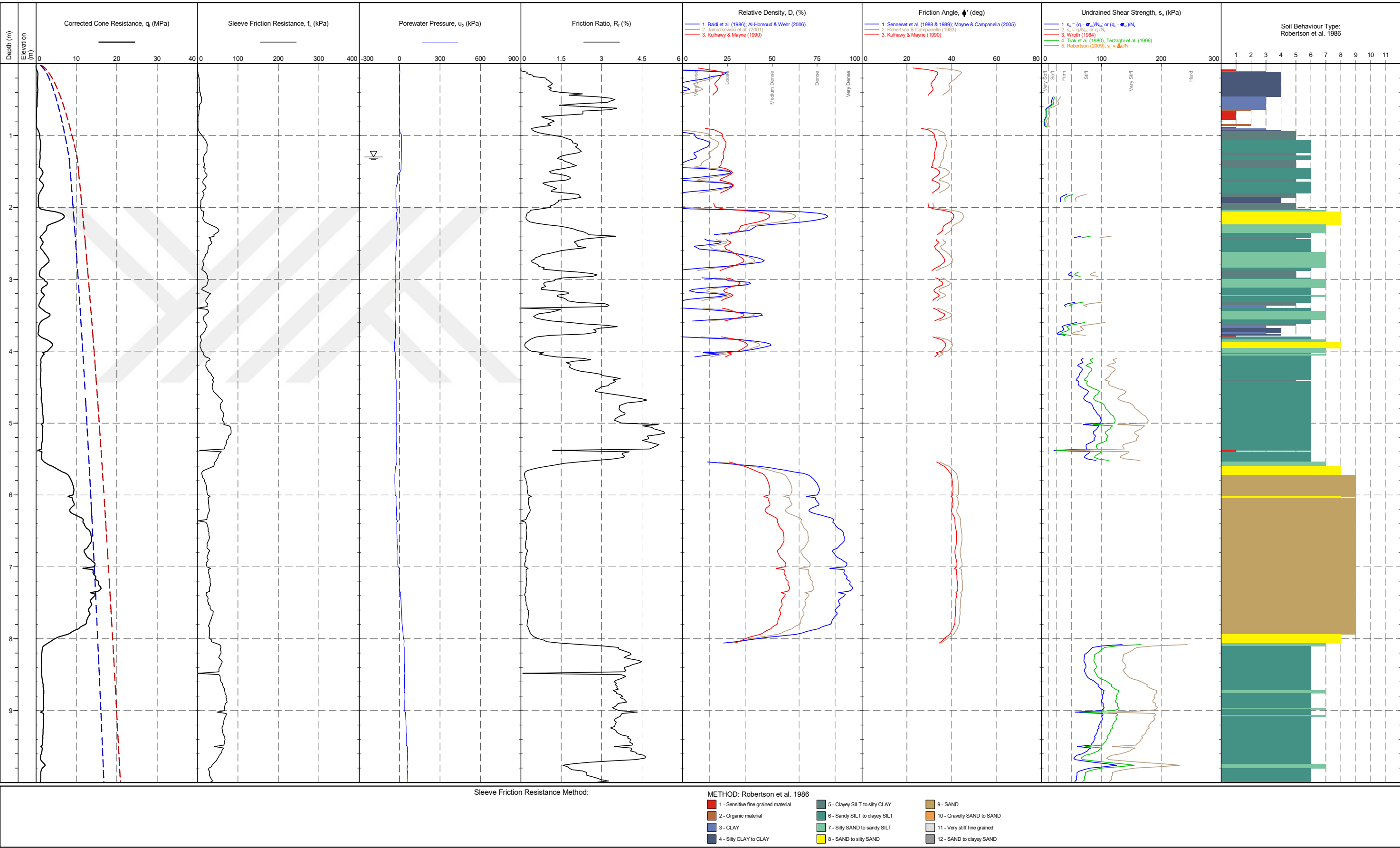
Sleeve Friction Resistance Method:

METHOD: Robertson et al. 1986

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 - Sensitive fine grained material | 5 - Clayey SILT to silty CLAY | 9 - SAND |
| 2 - Organic material | 6 - Sandy SILT to clayey SILT | 10 - Gravelly SAND to SAND |
| 3 - CLAY | 7 - Silty SAND to sandy SILT | 11 - Very stiff fine grained |
| 4 - Silty CLAY to CLAY | 8 - SAND to silty SAND | 12 - SAND to clayey SAND |

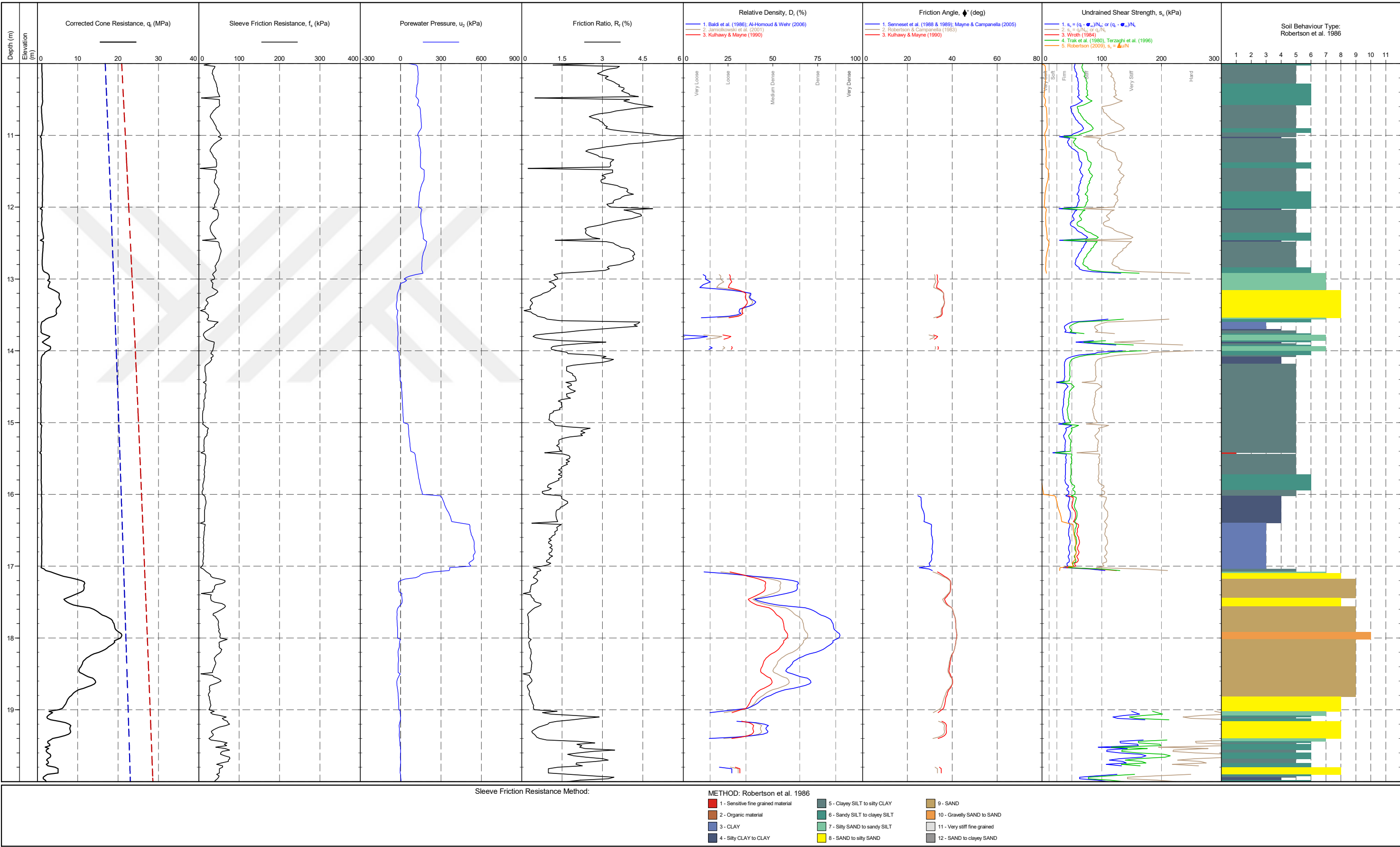
PointID

SCPTu-3



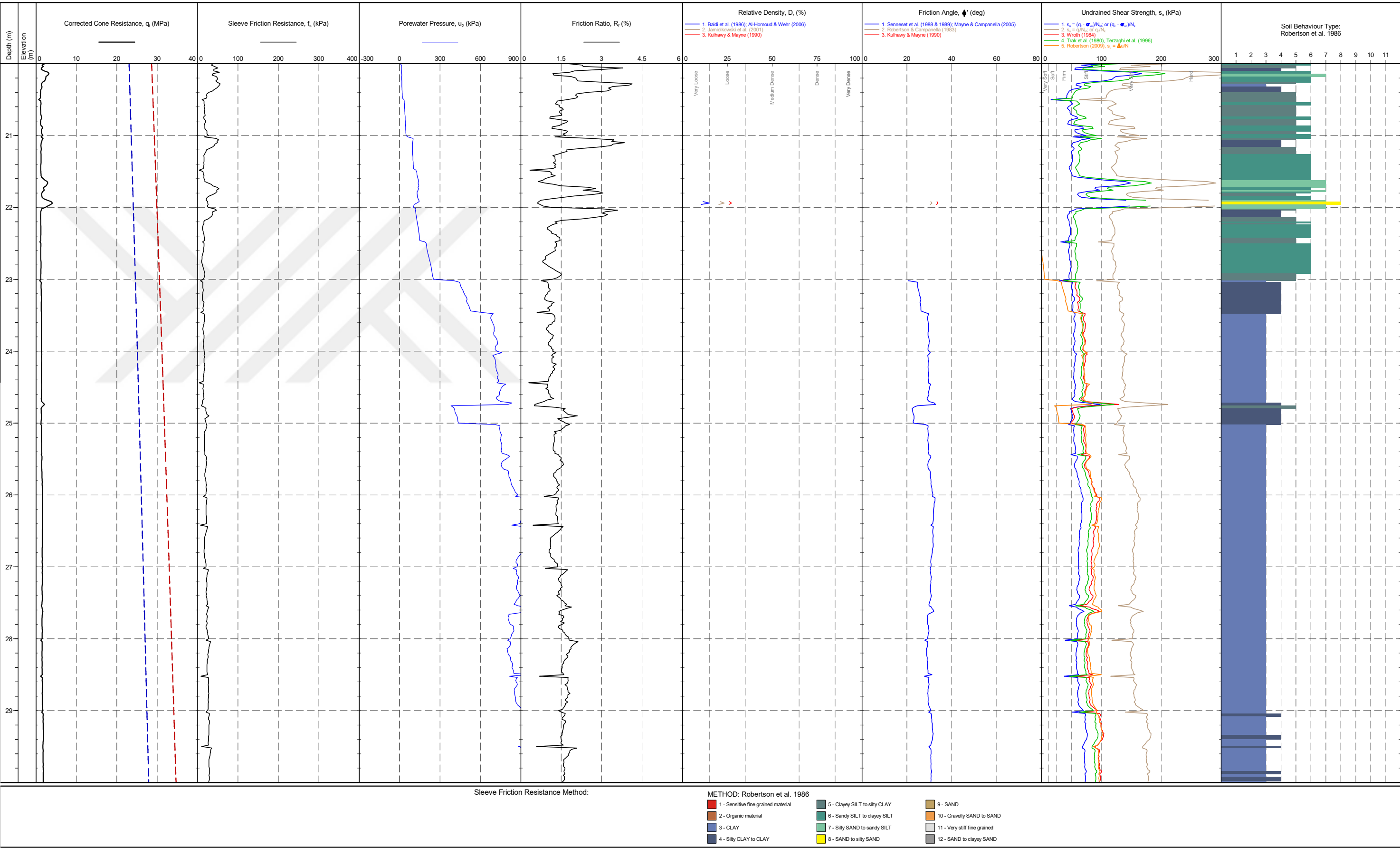
PointID

SCPTu-3

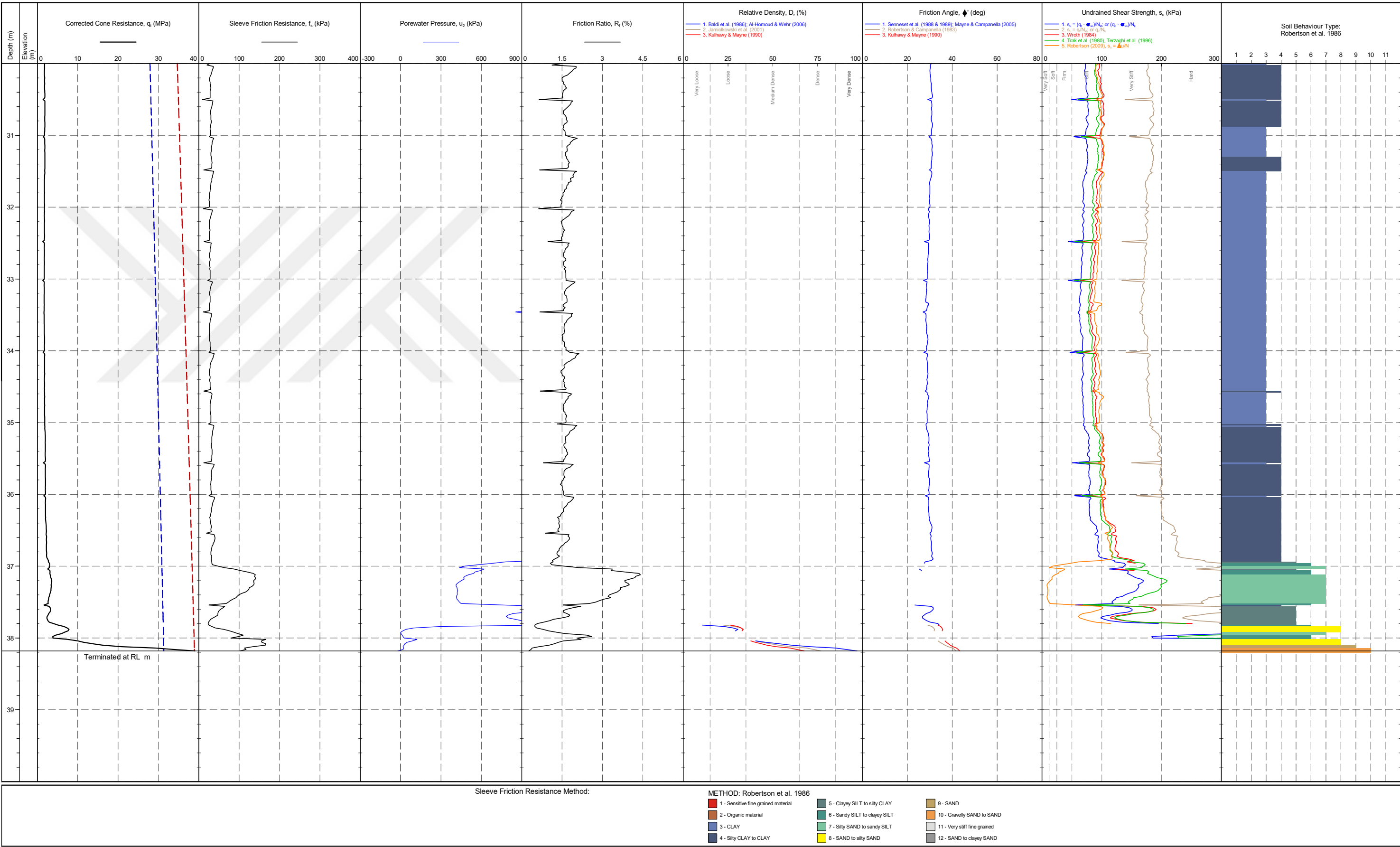


PointID

SCPTu-3



PointID
SCPTu-3



EK C: PM4Sand Doğrulama Grafikleri



Kesit 1 – Kum 1 (Landers)

PLAXIS SoilTest - 1-1-kum1-ps-5401

File Test Results Kernel Options Expert Help

Triaxial CycTriaxial Oedometer CRS DSS CDSS General

Property Value Unit

Material set

Identification 1-1-kum1-ps-54

Material model User-defined

User-defined model

DLL file pm4sand64.dll (

Model in DLL PM4Sand

Parameters

DR0	0.3300
G0	457.0
hp0	0.3000
pA	101.3 kN/m ²
emax	0.8000
emin	0.5000
nb	0.5000
nd	0.1000
phi _{cv}	33.00 °
nu	0.3000
Q	10.00
R	1.000
PostShake	0.000

Type of test Undrained

Consolidation K0 0.5150

Input

Initial stress $|\sigma_{yy}|$ 100.0 kN/m²

Initial static shear σ_{xy} 0.000 kN/m²

Number of cycles 14

Number of steps per quarter cycle 100

Duration per cycle 0.000 day

Test control Stress

Shear stress amplitude $\Delta\sigma_{xy}$ 14.00 kN/m²

Duration 1.000 day

Run Test configurations

τ_{xy} [kN/m²]

γ_{xy}

P Excess [kN/m²]

γ_{xy}

Session Model history

```
0018> _set Material.Users5 0.8
Material.Users5 (emax): 0.8
0019> _set Material.Users3 0.3
Material.Users3 (hp0): 0.3
0020> _calculate CDSS
OK
```

Command

Kesit 1 – Kum 1 (Kocaeli)

PLAXIS SoilTest - 1-1-kum1-ps-5401

File Test Results Kernel Options Expert Help

Triaxial CycTriaxial Oedometer CRS DSS CDSS General

Property Value Unit

Material set

Identification	1-1-kum1-ps-54
Material model	User-defined

User-defined model

DLL file	pm4sand64.dll (
Model in DLL	PM4Sand

Parameters

DR0	0.3300
G0	457.0
hp0	0.3000
pA	101.3 kN/m ²
emax	0.8000
emin	0.5000
nb	0.5000
nd	0.1000
phi _{cv}	33.00 °
nu	0.3000
Q	10.00
R	1.000
PostShake	0.000

Type of test: Undrained

Consolidation: K0: 0.5150

Input:

Initial stress $ \sigma_{yy} $	100.0	kN/m ²
Initial static shear σ_{xy}	0.000	kN/m ²
Number of cycles	16	
Number of steps per quarter cycle	100	
Duration per cycle	0.000	day
Test control	Stress	
Shear stress amplitude $\Delta\sigma_{xy}$	13.00	kN/m ²
Duration	1.000	day

Run Test configurations

τ_{xy} [kN/m²] vs γ_{xy}

P_{Excess} [kN/m²] vs γ_{xy}

Session | Model history |

```
0021> _set CDSS.NumberOfCycles 16
OK
0022> _set CDSS.SheerStressAmplitude 13
OK
0023> _calculate CDSS
OK
```

Command

Kesit 1 – Kum 2 (Landers)

PLAXIS SoilTest - 1-1-kum2-ps-landers

File Test Results Kernel Options Expert Help

Triaxial CycTriaxial Oedometer CRS DSS CDSS General

Property Value Unit

Material set

Identification 1-1-kum2-ps-landers

Material model User-defined

User-defined model

DLL file pm4sand64.dll (

Model in DLL PM4Sand

Parameters

Property	Value	Unit
DR0	0.5300	
G0	657.0	
hp0	0.04500	
pA	101.3	kN/m ²
emax	0.8000	
emin	0.5000	
nb	0.5000	
nd	0.1000	
phi _{cv}	33.00	°
nu	0.3000	
Q	10.00	
R	1.000	
PostShake	0.000	

Type of test Undrained

Consolidation K0 0.4700

Input

Initial stress $|\sigma_{yy}|$ 164.5 kN/m²

Initial static shear σ_{xy} 0.000 kN/m²

Number of cycles 14

Number of steps per quarter cycle 100

Duration per cycle 0.000 day

Test control Stress

Shear stress amplitude $\Delta\sigma_{xy}$ 16.60 kN/m²

Duration 0.000 day

Run Test configurations

τ_{xy} [kN/m²]

γ_{xy}

P Excess [kN/m²]

γ_{xy}

Session Model history

```

0016> .calculate CDSS
OK
0017> .set Material.User3 0.045
Material.User3 (hp0): 0.045
0018> .calculate CDSS
OK

```

Command

Kesit 1 – Kum 2 (Kocaeli)

PLAXIS SoilTest - 1-1-kum2-ps-5401

File Test Results Kernel Options Expert Help

Triaxial CycTriaxial Oedometer CRS DSS CDSS General

Property Value Unit

Material set

Identification 1-1-kum2-ps-54

Material model User-defined

User-defined model

DLL file pm4sand64.dll (

Model in DLL PM4Sand

Parameters

Property	Value	Unit
DR0	0.5300	
G0	657.0	
hp0	0.05000	
pA	101.3	kN/m ²
emax	0.8000	
emin	0.5000	
nb	0.5000	
nd	0.1000	
phi _{cv}	33.00	°
nu	0.3000	
Q	10.00	
R	1.000	
PostShake	0.000	

Type of test Undrained

Consolidation K0 0.4700

Input

Initial stress $|\sigma_{yy}|$ 164.5 kN/m²

Initial static shear σ_{xy} 0.000 kN/m²

Number of cycles 15

Number of steps per quarter cycle 100

Duration per cycle 0.000 day

Test control Stress

Shear stress amplitude $\Delta\sigma_{xy}$ 16.40 kN/m²

Duration 0.000 day

Run Test configurations

τ_{xy} [kN/m²]

γ_{xy}

P Excess [kN/m²]

γ_{xy}

Session Model history

```

0012> _calculate CDSS
OK
0013> _set Material.User3 0.05
Material.User3 (hp0): 0.05
0014> _calculate CDSS
OK

```

Command

Kesit 2 – Kum (Landers)

PLAXIS SoilTest - 2-2-kum-ps-landers

File Test Results Kernel Options Expert Help

Triaxial CycTriaxial Oedometer CRS DSS CDSS General

Property Value Unit

Material set

Identification 2-2-kum-ps-lander

Material model User-defined

User-defined model

DLL file pm4sand64.dll (

Model in DLL PM4Sand

Parameters

Property	Value	Unit
DR0	0.5100	
G0	636.0	
hp0	0.06000	
pA	101.3	kN/m ²
emax	0.8000	
emin	0.5000	
nb	0.5000	
nd	0.1000	
phi _{cv}	33.00	°
nu	0.3000	
Q	10.00	
R	1.000	
PostShake	0.000	

Type of test Undrained

Consolidation K0 0.4700

Input

Initial stress $|\sigma_{yy}|$ 169.8 kN/m²

Initial static shear σ_{xy} 0.000 kN/m²

Number of cycles 14

Number of steps per quarter cycle 100

Duration per cycle 0.000 day

Test control Stress

Shear stress amplitude $\Delta\sigma_{xy}$ 17.00 kN/m²

Duration 1.000 day

Run Test configurations

τ_{xy} [kN/m²]

γ_{xy}

P Excess [kN/m²]

γ_{xy}

Session Model history

```

0010> _calculate CDSS
OK
0011> _set Material.User3 0.06
Material.User3 (hp0): 0.06
0012> _calculate CDSS

```

Command

Kesit 2 – Kum (Kocaeli)

PLAXIS SoilTest - 2-2-kum-ps-5401

File Test Results Kernel Options Expert Help

Triaxial CycTriaxial Oedometer CRS DSS CDSS General

Property	Value	Unit
Material set		
Identification	2-2-kum-ps-540	
Material model	User-defined	
User-defined model		
DLL file	pm4sand64.dll (	
Model in DLL	PM4Sand	
Parameters		
DR0	0.5100	
G0	636.0	
hp0	0.06000	
pA	101.3	kN/m ²
emax	0.8000	
emin	0.5000	
nb	0.5000	
nd	0.1000	
phi _{cv}	33.00	°
nu	0.3000	
Q	10.00	
R	1.000	
PostShake	0.000	

Type of test: Undrained

Consolidation: K0: 0.4700

Input:

Initial stress $|\sigma_{yy}|$: 169.8 kN/m²

Initial static shear σ_{xy} : 0.000 kN/m²

Number of cycles: 15

Number of steps per quarter cycle: 100

Duration per cycle: 0.000 day

Test control: Stress

Shear stress amplitude $\Delta\sigma_{xy}$: 16.70 kN/m²

Duration: 1.000 day

Run Test configurations

Session | Model history

```

0012> _calculate CDSS
OK
0013> _set Material.User3 0.06
Material.User3 (hp0): 0.06
0014> _calculate CDSS

```

Command

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Sarper Doğa Öngen

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019-2020 yılları arasında Altınok Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş.'de İnşaat Mühendisi olarak çalıştı.
- 2020 yılında Volkan Peker Zemin Mühendislik'te Geoteknik Mühendisi olarak çalıştı.
- 2020-2021 yılları arasında Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş.'de Geoteknik Tasarım Mühendisi olarak çalıştı.
- 2021-Halen ENKA İnşaat ve Sanayi A.Ş.'de Geoteknik Mühendisi olarak çalışmaktadır.