

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONİ PENETRASYON ÇALIŞMALARINDA
SÖNÜMLENME DENEYİ İLE KONSOLİDASYON
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Mehmet Emin OKUR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ertan BOL

Mayıs 2010

ÖNSÖZ

Geoteknik mühendisliğinde gelişen teknoloji ile birlikte zemin özelliklerinin yerinde ve sürekli olarak belirlenmesini sağlayabilen yöntemler ağırlık kazanmaktadır. Çağdaş bir zemin inceleme yöntemi olan koni penetrasyon deneyi (CPTU) ile aluviyal kökenli yumuşak/gevşek zeminlerin özellikleri yerinde, hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçülmektedir. CPTU deneyi sırasında boşluk suyu basınçları kaydedilmekte, deney devam ederken istenilen derinlikte durularak artan dinamik boşluk suyu basıncı değerlerinin statik su seviyesi yüküne düşümünün gözlemlenmesiyle (sönümlenme deneyi) zeminin sıkışabilirliği ve geçirimsizliği tahmin edilebilmektedir.

CPTU deneyi ve sönümlenme deneyi; kısa zamanda istenilen sayıda tekrarlanabilmekte, zemin parametreleri numune alınmasına ve laboratuvar çalışmasına gerek duyulmadan elde edilmektedir. Deneylerin yapılmasının ve sonuçlarının yorumlanmasının diğer yöntemlere göre daha az zaman alması işgücü ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır.

Çalışma esnasında değerli bilgilerinden faydalandığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ertan BOL'a, laboratuvar deneyleri sırasında yardımlarını esirgemeyen Recep EYÜPLER'e, 106M042 projesindeki örselenmemiş sondaj numunelerini kullandığımız TÜBİTAK'a, çalışmamıza maddi destek veren Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon (BAPK) Başkanlığına (BAPK Proje No: 2010-50-01-047), bugüne kadar yetişmemde büyük emekleri olan anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. İnceleme Alanının Tanıtılması.....	1
1.2. Bölgenin Genel Jeolojisi.....	2
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Koni Penetrasyon Deneyi (CPTU) Literatür Bilgileri.....	3
2.1.1. Düzeltme faktörleri.....	3
2.1.2. CPTU’da ölçülen parametrelerin tanımları.....	5
2.1.3. CPTU ile zemin sınıfı tayini.....	7
2.2. Sönümlenme Deneyi Literatür Bilgileri.....	9
2.2.1. Sönümlenmeyi etkileyen durumlar.....	9
2.2.1.1. Başlangıç boşluk suyu basınçlarının dağılımı.....	9
2.2.1.2. Penetrasyon sırasında örselenmenin etkisi.....	10
2.2.1.3. Zemin anizotropisi.....	10
2.2.1.4. Fisürlerin penetrasyona etkisi.....	11
2.2.2. Sönümlenme eğri tipleri.....	11
2.2.2.1. Tekdüze sönümlenme (monotonic dissipation)	12

2.2.2.2. Genleşme (kabarma) sönümlenmesi (dilatory dissipation)	12
2.2.3. Sönümlenme verilerinin yorumlanmasında kullanılan temel bağıntılar.....	13
2.2.3.1. Sönümlenme Oranı.....	13
2.2.3.2. Zorlanma modülü.....	14
2.2.3.3. Rijitlik indisi.....	16
2.2.3.4. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR)	18
2.2.4. Boşluk genişleme teorisi.....	18
2.2.5. Penetrasyon sırasında oluşan ek boşluk suyu basınçları.....	20
2.2.6. Killi zeminlerde sönümlenme eğrileri.....	24
2.2.6.1. Normal konsolide ve düşük OCR'ye sahip killerde sönümlenme eğrileri.....	25
2.2.6.2. Yüksek OCR'ye sahip killerde sönümlenme eğrileri.....	26
2.2.7. Konsolidasyon katsayısı ve geçirimsizlik.....	27
2.2.7.1. Sönümlenme deneyi ile konsolidasyon katsayısının bulunması.....	27
2.2.7.2. Sönümlenme deneyi ile geçirimsizlik katsayısının bulunması.....	35
2.3. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi.....	37
2.3.1. Bir boyutlu konsolidasyon teorisi.....	37
2.3.2. Konsolidasyon olayının analogisi (benzetimi)	38
2.3.3. Konsolidasyon (ödometre) deneyinde kullanılan tanımlamalar.....	39
2.3.3.1. Sıkışma katsayısı	39
2.3.3.2. Hacimsel sıkışma katsayısı.....	39
2.3.3.3. Sıkışma indisi.....	40
2.3.3.4. Yeniden sıkışma indisi.....	40
2.3.3.5. Konsolidasyon katsayısı.....	40
2.4. Düşen Düzeyli Permeametre Deneyi Literatür Bilgileri.....	41

BÖLÜM 3.

KULLANILAN YÖNTEM ve DENEY ALETLERİ.....	43
3.1. Arazi Çalışmaları.....	44
3.1.1. Koni penetrasyon deneyi (CPTU)	44
3.1.2. Sönümlenme deneyi.....	47
3.1.3. Arazide uygulama.....	48
3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	50
3.2.1. İndeks deneyleri.....	50
3.2.2. Konsolidasyon (ödometre) deneyi.....	54
3.2.3. Düşen düzeyli permeametre deneyi.....	55

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI.....	57
4.1. Laboratuvar Deney Bulguları.....	57
4.1.1. İndeks deneylere ait bulgular.....	57
4.1.2. Konsolidasyon deneylerine ait bulgular.....	59
4.1.3. Düşen düzeyli permeametre deneylerine ait bulgular.....	60
4.2. Arazi Deneyi Bulguları.....	61
4.2.1. CPTU deneyi bulguları.....	61
4.2.2. Sönümlenme deneyi bulguları.....	64
4.3. Laboratuvar Deneyi ve Arazi Deneyi Bulgularının Karşılaştırılması.....	68

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
EK A.....	76
EK B.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Numune kesit alanı
A_L	: Sürtünme gömleğinin en alt kısmındaki kesit alanı
A_N	: Koni ucu net alanı
A_S	: Sürtünme gömleği yüzey alanı
A_T	: Koni ucunun toplam kesit alanı
A_U	: Sürtünme gömleğinin en üst kısmındaki kesit alanı
a	: Uc alan faktörü
a	: Permeametre deneyi tüp (hortum) kesit alanı
a_v	: Sıkışma katsayısı
α	: Zorlanma modülü alfa değerleri
α	: Henkel'in ampirik boşluk suyu basıncı parametresi
B_q	: Boşluk suyu basıncı parametresi
b	: Sürtünme alan faktörü
β	: Henkel'in ampirik boşluk suyu basıncı parametresi
c_c	: Sıkışma indisi
c_h	: Yatay konsolidasyon katsayısı
c_r	: Yeniden sıkışma indisi
c_s	: Şişme indisi
c_v	: Düşey konsolidasyon katsayısı
CPT	: Koni penetrasyon deneyi
CPTU	: Boşluk suyu basıncında ölçüldüğü koni penetrasyon deneyi
CR	: Sıkışma oranı
DPPR	: Boşluk suyu basıncı oranı
$\Delta\sigma_{oct}$: Oktahedral normal gerilme değişimi
$\Delta\tau_{oct}$: Oktahedral kayma gerilmesi değişimi
Δe	: Boşluk oranındaki değişim

Δu	: Boşluk suyu basıncındaki değişim
Δu_m	: Penetrasyon sırasında meydana gelen ek boşluk suyu basıncı
Δu_{oct}	: Oktahedral normal gerilmenin etkilediği boşluk suyu basıncındaki değişim
Δu_{shear}	: Oktahedral kayma gerilmesinin etkilediği boşluk suyu basıncındaki değişim
e	: Boşluk oranı
e_o	: Başlangıç boşluk oranı
E	: Elastisite modülü
f_s	: Sürtünme direnci
f_T	: Düzeltilmiş sürtünme direnci
F_r	: Normalize edilmiş sürtünme direnci
F_s	: Sürtünme gömleğinin karşılaştığı toplam eksenel yük
F_t	: Koni ucuna etkileyen kuvvet
ϕ'	: Zeminin efektif içsel sürtünme acısı
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Kayma modülü
G_s	: Özgül ağırlık
H	: Numune yüksekliği
h_1	: Başlangıç su yüksekliği
h_2	: t_2 zamanındaki su yüksekliği
I_r	: Rijitide indisi
I_p	: Plastisite indisi
k_h	: Yatay geçirimsizlik katsayısı
k_v	: Düşey geçirimsizlik katsayısı
L	: Numune boyu
m	: $\sqrt{\text{zaman}}$ grafiğinde doğrusal sönümlenme eğrisinin eğimi
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
M	: Zorlanma modülü
M	: Kritik durum doğrusunun eğimi ($M=6\sin\phi'/(3-\sin\phi')$)
M_G	: Filtrenin yerine ve sonda geometrisine göre teorik eğri eğimi
N	: Vuruş sayısı

NL	: Normal konsolide
OC	: Aşırı konsolide
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
r, r_o	: Penetrometre yarıçapı
r_p	: Plastik zonun yarıçapı
R_f	: Sürtünme oranı
RR	: Yeniden yükleme oranı
RCPT	: Rezistivitede ölçebilen koni penetrasyon deneyi
q_c	: Koni direnci
q_T	: Düzeltilmiş koni direnci
Q_t	: Normalleştirilmiş koni direnci
s_u	: Drenajsız kayma direnci
s_t	: Hassaslık derecesi
S_r	: Doygunluk derecesi
SCPT	: Sismik ölçü alabilen koni penetrasyon deneyi
SCPTU	: Sismik ölçü alan ve boşluk suyu basıncı ölçen koni penetrasyon deneyi
σ'_p	: Ön konsolidasyon basıncı
σ_{vo}	: Toplam gerilme
σ'_{vo}	: Toplam efektif gerilme
t_1	: Deney başlangıç zamanı
t_2	: Deney sonu zamanı
t_{50}	: %50 sönümlenme zamanı
t_{90}	: %90 sönümlenme zamanı
T_{50}	: Zaman faktörü
T^*_{50}	: Değiştirilmiş zaman faktörü
u	: Boşluk suyu basıncı
u_o	: Statik boşluk suyu basıncı
u_1	: Konik uc üzerinde ölçülen boşluk suyu basıncı
u_2	: Konik uc arkasında ölçülen boşluk suyu basıncı
u_3	: Sürtünme gömleği arkasında ölçülen boşluk suyu basıncı
u_i	: Sönümlenme deney başlangıcındaki boşluk suyu basıncı

u_t	: t zamanındaki boşluk suyu basıncı
U	: Sönümlenme oranı
UD	: Örselenmemiş numune
v_x	: x yönündeki suyun hızı
v_y	: y yönündeki suyun hızı
v_z	: z yönündeki suyun hızı
V	: Zemin hacmi
V_x	: x yönündeki zemin hacmi
V_y	: y yönündeki zemin hacmi
V_z	: z yönündeki zemin hacmi
$VisCPT$: Foto ve video çekilebilen koni penetrasyon deneyi
ν	: Poisson oranı
w	: Su muhtevası
w_L	: Likit limit
w_n	: Doğal su muhtevası
w_p	: Plastik limit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	İnceleme alanı ve çevresinin yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2.1.	Sonda ve konik ucun şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.2.	Zemin sınıfının belirlenmesi.....	7
Şekil 2.3.	TSE 1500/2000'e göre zemin sınıfının belirlenmesi.....	8
Şekil 2.4.	Doygun killerde başlangıç boşluk suyu basıncı dağılımı.....	9
Şekil 2.5.	Silt ve kumlarda koni etrafında oluşan boşluk suyu basıncı dağılımı.....	10
Şekil 2.6.	Fisürleşmenin ve derecelenme büyüklüğünün penetrasyon sırasındaki etkisi.....	11
Şekil 2.7.	Yumuşak kilde tipik tekdüze sönümlenme eğrisi.....	12
Şekil 2.8.	Aşırı konsolide kilde genleşme tipi sönümlenme eğrisi.....	13
Şekil 2.9.	Filtrenin yerine göre elde edilen sönümlenme deney sonuçları.....	14
Şekil 2.10	Filtrenin yerine göre elde edilen normalize edilmiş sönümlenme deney sonuçları.....	14
Şekil 2.11.	Penetrasyon esnasında koni etrafında oluşan plastik zon.....	19
Şekil 2.12.	Koninin penetrasyonu sırasında etkilenen bölgeler.....	20
Şekil 2.13.	Koni penetrasyon deneyi sırasında ölçülen boşluk suyu basınçlarının bileşenleri.....	21
Şekil 2.14.	Koni etrafında ek boşluk suyu basıncına neden olan oktahedral gerilme ve kayma gerilmelerinin yerleri.....	22
Şekil 2.15.	Oktahedral normal gerilmelerin tetiklediği boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi.....	23
Şekil 2.16.	Kayma gerilmelerin tetiklediği boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi.....	23
Şekil 2.17.	Hidrostatik boşluk suyu basıncının kararlı yapısı.....	24
Şekil 2.18.	Tüm bileşenleriyle boşluk suyu basınçlarının sönümlenme davranışı.....	24

Şekil 2.19.	Normal konsolide killerde sönümlenme eğrileri.....	25
Şekil 2.20.	Yüksek OCR'ye sahip killerde sönümlenme eğrileri.....	26
Şekil 2.21.	Zaman faktörünün tayini.....	30
Şekil 2.22.	a. Δu_1 'e göre normalize edilmiş boşluk suyu basıncı ve T^* faktörü teorik çözümü.....	
	b. Δu_2 'e göre normalize edilmiş boşluk suyu basıncı ve T^* faktörü teorik çözümü.....	31
Şekil 2.23.	t_{50} kullanılarak c_h bulma abağı.....	32
Şekil 2.24.	Normalleştirilmiş aşırı boşluk basıncı eğrisinin doğrusal kesiminin eğiminin hesaplanması.....	34
Şekil 2.25.	10cm ² kesitli piyezokonide k_h 'nin bulunması için abak.....	36
Şekil 2.26.	Tekdüze tipte sönümlenme eğrisinde t_{50} değerinden k' nın tayini	36
Şekil 2.27.	Zemin sıkışması için önerilen fiziksel modellere bir örnek.....	39
Şekil 3.1.	1940'lı yıllarda CPT sistemi.....	44
Şekil 3.2.	Piyezokoniler.....	45
Şekil 3.3.	CPTU sisteminin genel çalışma prensibi.....	46
Şekil 3.4.	a. Paletli sisteme monte edilmiş CPT ekipmanı	
	b. Kamyona monte edilmiş CPT ekipmanı.....	47
Şekil 3.5.	a. Platform üzerine monte edilmiş CPT ekipmanı	
	b. Tekne üzerine monte edilmiş CPT ekipmanı.....	47
Şekil 3.6.	Boşluk suyu basıncı ölçümü için filtrenin koni üzerinde farklı konumları.....	48
Şekil 3.7.	CPTU ekipmanının arazide önden ve yandan görünümü.....	49
Şekil 3.8.	Kablosuz CPT sistemi.....	50
Şekil 3.9.	Çalışma alanlarına ait fotoğraflar.....	50
Şekil 3.10.	Doğal su muhtevasının belirlenmesine ait resimler.....	51
Şekil 3.11.	Casagrande yöntemiyle likit limitin belirlenmesine ait resimler...	51
Şekil 3.12.	Koni düşürme (penetrasyon) yöntemi ile likit limit belirlenmesine ait resimler.....	52
Şekil 3.13.	Plastik limitin belirlenmesine ait resimler.....	52
Şekil 3.14.	Özgül ağırlık deneylerine ait resimler.....	53
Şekil 3.15.	Hidrometre deneyine ait resimler.....	53
Şekil 3.16.	Ödometre hücresinin kesit görünümü.....	54

Şekil 3.17.	Konsolidasyon (ödometre) deney düzeneği.....	55
Şekil 3.18.	Permeametre numunelerinin doymun hale getirilmesi	56
Şekil 4.2.	CPTU-1'e ait q_c , f_s , u_2 değerlerinin zemin profili boyunca değişimi.....	62
Şekil 4.3.	CPTU-2'e ait q_c , f_s , u_2 değerlerinin zemin profili boyunca değişimi.....	62
Şekil 4.4.	a. Robertson (1990)'a göre Q_t-F_r (%) abağında CPTU-1 ve CPTU-2 değerlerinin noktalanması.....	63
	b. Robertson (1990)'a göre Q_t-B_q abağında CPTU-1 ve CPTU-2 değerlerinin noktalanması.....	
Şekil 4.5.	Bol ve diğ. (2003)'e göre Q_t-F_r (%) abağında CPTU-1 ve CPTU-2 değerlerinin noktalanması.....	63
Şekil 4.6.	a. Normalleştirilmemiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (negatif boşluk suyu)	
	b. Normalleştirilmemiş kabarma tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)	
	c. Normalleştirilmemiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)	65
	d. Normalleştirilmemiş kabarma tip sönümlenme eğrisi	
Şekil 4.7.	a. Normalleştirilmiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (negatif boşluk suyu)	
	b. Normalleştirilmiş kabarma tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)	
	c. Normalleştirilmiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)	65
	d. Normalleştirilmiş kabarma tip sönümlenme eğrisi (negatif boşluk suyu)	

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Zemin tipine bağlı olarak boşluk suyu basınçlarının durumu.....	6
Tablo 2.2.	Robertson(1990)'da bölge numaralarına göre zemin cinsi.....	8
Tablo 2.3.	Zorlanma modülü için alfa(α) değerleri.....	15
Tablo 2.4.	Tipik efektif sürtünme açısı değerleri.....	17
Tablo 2.5.	Bazı araştırmacılara ait piyezokoni sönümlenme deney sonuçlarına bağlı olarak konsolidasyon katsayısının hesaplanmasında kabul edilebilir çözüm yolları.....	28
Tablo 2.6.	Değiştirilmiş zaman faktörü (T^*).....	31
Tablo 2.7.	$\sqrt{\text{zaman}}$ çiziminde sönümlenme eğrilerinin eğimi.....	33
Tablo 2.8.	Killerin anizotrop geçirimsizlik aralığı (k_h/k_v).....	35
Tablo 2.9.	CPT zemin sınıflandırma abağına bağlı olarak geçirimsizlik katsayıları.....	37
Tablo 3.1.	Koninin tasarımına bağlı olarak ölçülebilen parametrelerle, deney tasarım isimlendirmeleri.....	45
Tablo 3.2.	Çalışmada kullanılan CPTU ekipmanının özellikleri.....	49
Tablo 4.1.	Özgöl ağırlık deney sonuçları.....	57
Tablo 4.2.	Kıvam limit değerleri.....	58
Tablo 4.3.	Konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen bazı parametreler.....	59
Tablo 4.4.	Konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri.....	60
Tablo 4.5.	Konsolidasyon ve geçirimsizlik katsayıları.....	60
Tablo 4.6.	Düşen düzeyli permeametre deneyinden elde edilen geçirimsizlik katsayıları.....	61
Tablo 4.7.	Robertson (1990) ve Bol ve diğ. (2003) abaklarında CPTU-1 ve CPTU-2 değerleri için bölge numaraları ve zemin sınıfları.....	64

Tablo 4.8.	Sönümlenme eğrilerinden elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri.....	66
Tablo 4.9.	Farklı bağıntılardan hesaplanan I_r değerleri.....	67
Tablo 4.10.	Sönümlenme verileriyle hesaplanan c_h ve k_h değerleri.....	68
Tablo 4.11.	Sondaj nosu SYA01S1, CPTU-2 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen k_h değerleri ve permeametre deneyiyle elde edilen k_v değerleri.....	68
Tablo 4.12.	Sondaj nosu SYA02S1, CPTU-1 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen k_h değerleri ve konsolidasyon deneyi ile elde edilen k_v değerleri.....	69
Tablo 4.13.	Sondaj nosu SYA02S1, CPTU-1 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen c_h değerleri ve konsolidasyon deneyi ile elde edilen c_v değerleri.....	69
Tablo 4.14.	Sondaj nosu SYA02S1, CPTU-1 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri ile konsolidasyon deneyinden elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri.....	70

ÖZET

Anahtar kelimeler: Sönümlenme Deneyi, Konsolidasyon Katsayısı, Geçirimlilik Katsayısı

Bu çalışmada; koni penetrasyon deneyi (CPTU) sırasında yapılan sönümlenme deneyi ile zemin konsolidasyon karakteristiklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Adapazarı kent merkezinde birbirine yakın iki noktada CPTU deneyleri ve önceden belirlenmiş derinliklerde de sönümlenme deneyleri yapılmıştır.

Sönümlenme deneylerinin yapıldığı derinliklerden sondajla örselenmemiş numuneler alınmıştır. Bu numunelere laboratuvarında indeks deneyleri, konsolidasyon deneyleri ve düşen düzeyli permeametre deneyleri yapılmıştır.

Tezin ilk bölümünde inceleme alanı tanıtılmış, bölgenin özet bir jeolojisi sunulmuştur. Tezin ikinci bölümünde bu çalışmada kullanılan arazi ve laboratuvar deneyleriyle ilgili olan literatür çalışmaları özetlenmiştir. Bu kapsamda çeşitli araştırmacılara ait bağıntılar, hesap yöntemleri ve teoremler sunulmuştur. Tezin üçüncü bölümünde; arazi ve laboratuvar deneylerinde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiş, deney aletleri tanıtılmıştır. Yapılan deney çalışmalarına ait görüntüler sunulmuştur. Tezin dördüncü bölümünde; arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen bulgular sunulmuştur. Laboratuvar ve arazi deney bulguları karşılaştırılmıştır. Tezin son bölümünde de yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

EVALUATION OF CONSOLIDATION CHARACTERISTICS BY THE USE OF CONE PENETRATION DISSIPATION TEST

SUMMARY

Key Words: Dissipation Test, The Coefficient of Consolidation, The Coefficient of Hydraulic Conductivity

In this thesis, it is aimed to define the characteristics of the ground consolidation and the dissipation test carried out during the cone penetration test. In this framework, at two points that are close to each other in Adapazarı City Centre, the cone penetration tests and the dissipation tests, at the initially determined depths, have been carried out.

Some samples, crumpled by drilling, have been taken from the depths where the dissipation tests were carried out. Index Tests, Consolidation Tests and Decreasing Level Permeametre Tests have been carried out on these samples.

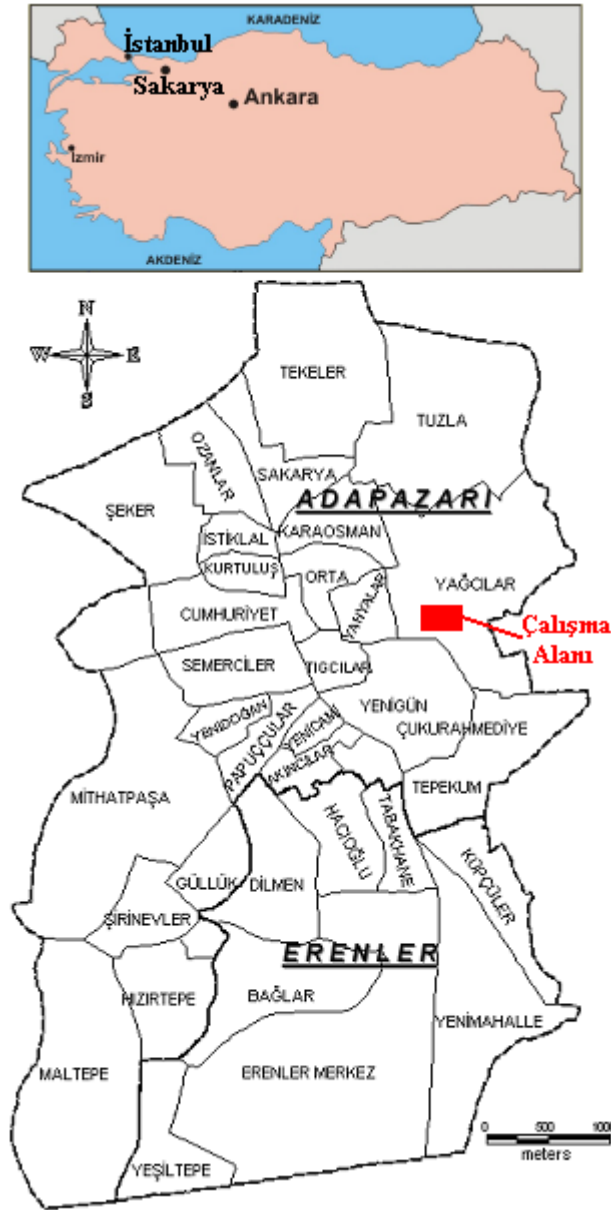
In the first part of the thesis, area of investigation has been introduced and the geologic characteristics of the area has been presented as a summary. In the second part of the thesis, literature reviews, which are used in this study and related to field and laboratory test, have been summarised. Within this framework, relations that belong to various researchers, calculation methods and theorems have been presented. In the third part of the thesis, the methods used in the field and laboratory tests have been mentioned and testing apparatus have been introduced. The images about the testing studies have been presented. In the fourth part of the thesis, some evidences acquired from field and laboratory tests have been presented. Findings of the laboratory and field tests have been compared. In the last part of the thesis, the results acquired from the conducted studies have been presented.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Koni penetrasyon çalışmalarında (CPTU) sönümlenme deneyi ile zemin konsolidasyon karakteristiklerinin belirlenmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu kapsamda Sakarya ili Adapazarı ilçesi Yağcılar mahallesi sınırları içerisinde kalan birbirine yakın iki alanda koni penetrasyon deneyi (CPTU) yapılmıştır. Bu iki alandan Tübitak 106M042 projesi kapsamında daha önce alınmış olan örselenmemiş sondaj numunelerine Sakarya Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarı'nda indeks deneyleri, konsolidasyon deneyleri ve düşen düzeyli permeametre deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar ve arazi deneyi bulguları birbirleriyle kıyaslanmıştır. Çeşitli araştırmacılara ait konuyla ilgili makaleler ve kitaplar incelenmiştir.

1.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanımız Sakarya ili Adapazarı ilçesi Yağcılar Mahallesi sınırları içerisinde kalmaktadır. Sakarya ili Marmara Bölgesi sınırları içerisinde yer alır. Sakarya Ankara'ya 305 km, İstanbul'a 148 km, Bilecik'e 102 km ve Eskişehir iline 182 km uzaklıktadır. Sakarya nehri bölgeden geçmekte olup çalışma alanına 2-3 km mesafededir. Yağcılar Mahallesinde; benzin istasyonu yanı ve halı saha yanı olarak adlandırılan iki bölgede çalışmalar yapılmış olup, bölgelerin birbirine uzaklığı 500-600 m dolayındadır (Bkz.Şekil 1.1).



Şekil 1.1. İnceleme alanı ve çevresinin yer bulduru haritası (MTA internet sitesi)

1.2. Bölgenin Genel Jeolojisi

Çalışma yapılan alan Kuvaterner yaşlı alüvyonla (Qy) kaplıdır. Bu birim Arifiye-Adapazarı arasında ve Sakarya Nehrinin her iki sahilinde geniş alanlara yayılım göstermektedir. Çakıl, kum, silt, kil ardalı olarak bulunur. Çalışma alanının kuzeyindeki alüvyon ise üst seviyelerde daha çok yüksek plastisiteli kil niteliği taşımaktadır [1].

BÖLÜM 2.LİTERATÜR ÖZETİ

Çalışma kapsamında çeşitli araştırmacılara ait konuyla ilgili makaleler, bildiriler ve kitaplar incelenmiştir. Çalışmamızın temelini oluşturan konsolidasyon karakteristikleri, bu karakteristiklerin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, araştırmacılara ait formüller ve deneysel araştırma sırasında etkilenilen durumlar hakkında literatür bilgileri toplanmıştır. Bu literatür bilgileri ışığında arazi ve laboratuvar deney sonuçları değerlendirilmiştir.

2.1. Koni Penetrasyon Deneyi (CPTU) Literatür Bilgileri

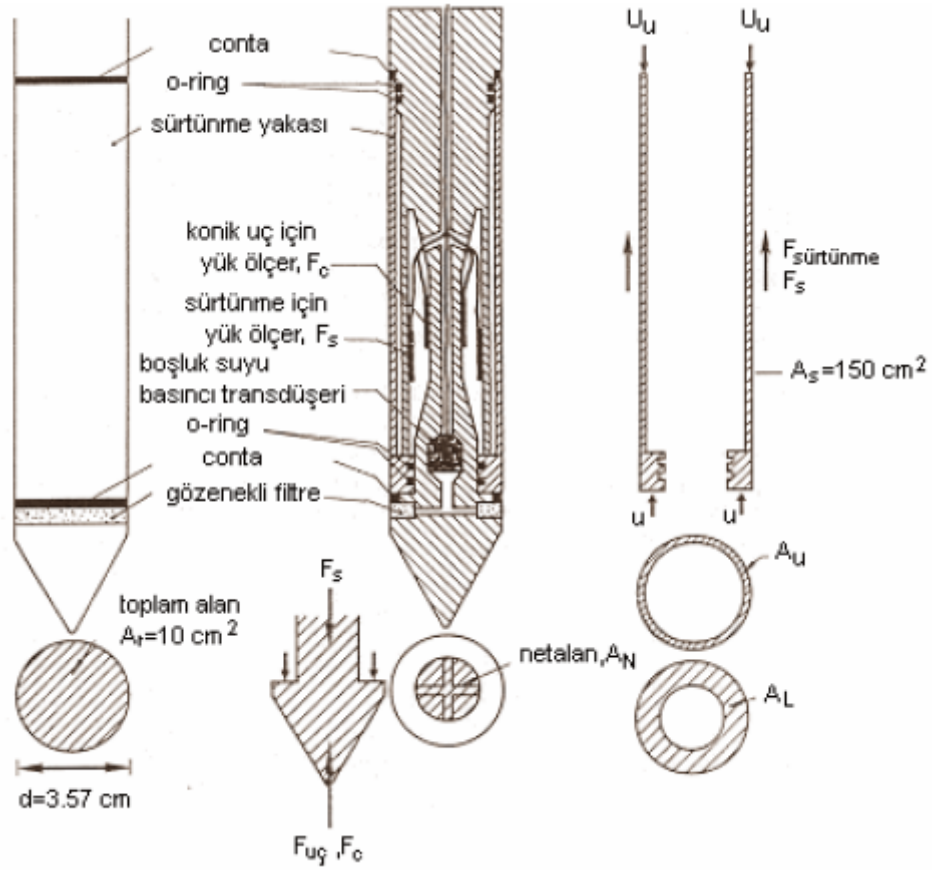
2.1.1. Düzeltme faktörleri

Penetrometrenin sahip olduğu içsel geometri farklılığından dolayı koni tipine bağlı olarak hesaplanan düzeltme değerleridir. Bu düzeltme değerler koni uç alanı ve sürtünme yüzey alanı (sürtünme ceketi yüzey alanı) için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Koninin hesaplamalarda kullanılan geometrik özellikleri aşağıda sıralanmıştır [2].

- A_N , koni ucu net alanıdır.
- A_T , koni ucunun toplam kesit alanıdır (1000 veya 1500 mm²).
- A_L , sürtünme gömleğinin en alt kısmında ki kesit alanıdır.
- A_U , sürtünme gömleğinin en üst kısmında ki kesit alanıdır.
- A_S , sürtünme gömleği yüzey alanıdır (150000 veya 225000 mm²).

Deneylerde kullanılan sonda ve konik ucun şematik gösterimi hesaplamalarda kullanılan geometrik isimlendirmelere bağlı olarak gösterilmiştir (Bkz.Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sonda ve konik ucun şematik gösterimi (Önalp ve diğ., 2007)

Uç alan faktörü (a); uc direncinin ölçülen değerlerinin düzeltilmesi için kullanılır. Aşağıdaki bağıntı (2.1) ile ifade edilir.

$$a = \frac{A_N}{A_T} = \frac{A_T - A_L}{A_T} \quad (2.1)$$

Sürtünme alan faktörü (b); yanakta uyanan sürtünme direncinin ölçülen değerlerinin düzeltilmesi için kullanılır. Aşağıdaki bağıntı (2.2) ile ifade edilir.

$$b = \frac{A_L - A_U}{A_S} \quad (2.2)$$

2.1.2. CPTU'da ölçülen parametrelerin tanımları

Koni direnci (q_c); birim alandaki kuvvettir. Bu da koni ucunun karşıladığı toplam aksenal yükün koni ucunun kesit alanına (1000 mm^2) bölünmesi ile elde edilir. Aşağıdaki bağıntı (2.3) ile ifade edilir.

$$q_c = \frac{F_T}{A_T} \quad (2.3)$$

Düzeltilmiş koni uc direnci (q_T); boşluksuyu basıncı (u) değerine ve uc alan faktörüne (a) göre aşağıdaki bağıntı (2.4) ile ifade edilir.

$$q_T = q_c + u(1-a) \quad (2.4)$$

Normalleştirilmiş koni uç direnci (Q_t); düzeltilmiş koni uc direncine, toplam gerilme ve efektif gerilmeye bağlı olarak aşağıdaki bağıntı (2.5) ile ifade edilir.

$$Q_t = \frac{(q_T - \sigma_{vo})}{\sigma'_{vo}} \quad (2.5)$$

Sürtünme direnci (f_s); sürtünme gömleğinin karşılaştığı toplam aksenal yükün sürtünme gömleğinin dış yüzey alanına (15000 mm^2) bölünmesi ile elde edilir. Aşağıdaki bağıntı (2.6) ile ifade edilir.

$$f_s = \frac{F_S}{A_S} \quad (2.6)$$

Düzeltilmiş sürtünme direnci (f_T); boşluk suyu basıncı (u), boşluk suyu basıncındaki değişime (Δu), uc alan faktörüne (a) ve sürtünme alan faktörüne (b) bağlı olarak aşağıdaki bağıntı (2.7) ile ifade edilir.

$$f_T = f_S - [u \cdot b + 0.3 \Delta u \left(\frac{1-a}{15} - b \right)] \quad (2.7)$$

Boşluk suyu basıncı (u); koni sabit hızla zemine itilirken kaydedilen boşluk suyu basınçları olup dinamik değerlerdir [3]. Bağntı (2.8) ile ifade edilmektedir. Burada u_0 değeri denge (statik) boşluk suyu basıncı değeridir.

$$u = u_0 + \Delta u \quad (2.8)$$

Boşluk suyu basıncındaki değişim (Δu) zemin tipine bağlı olarak negatif veya pozitif değerler alabilir (Tablo 2.1) [4].

Tablo 2.1. Zemin tipine bağlı olarak boşluk suyu basınçlarının durumu [4].

Zemin Tipi	Boşluk Suyu Basıncı
Kum	Ani Δu sönümlenmesi
Kil	Δu sönümlenmesi zaman alır
Yüksek OCR	Negatif boşluk suyu basıncı
Düşük OCR	Yüksek boşluk suyu basıncı
Yumuşak-Orta-Katı Killer	Yüksek boşluk suyu basıncı
Katı Killer	Düşük veya negatif boşluk suyu basıncı
Çok Sıkı İnce Sıkı Kum ve Siltli Kum	Düşük veya negatif boşluk suyu basıncı
Contractive Siltler	Yüksek boşluk suyu basıncı
Dilative Siltler	Düşük veya negatif boşluk suyu basıncı

Boşluk suyu basıncı oranı (DPPR); oluşan fazla boşluk suyu basıncının ölçüm seviyesinde koni uc direncine oranıdır. Aşağıdaki bağntı (2.9) ile ifade edilir.

$$DPPR = \frac{\Delta u}{q_r} \quad (2.9)$$

Alternatif olarak B_q parametreside kullanılabilir. B_q parametresi bağntı (2.10) ile ifade edilmektedir.

$$B_q = \frac{\Delta u}{q_T - \sigma_{vo}} \quad (2.10)$$

Sürtünme oranı (R_f); sürtünme direncinin koni uc direncine bölünmesiyle elde edilir. Bağlantı (2.11) ile ifade edilir.

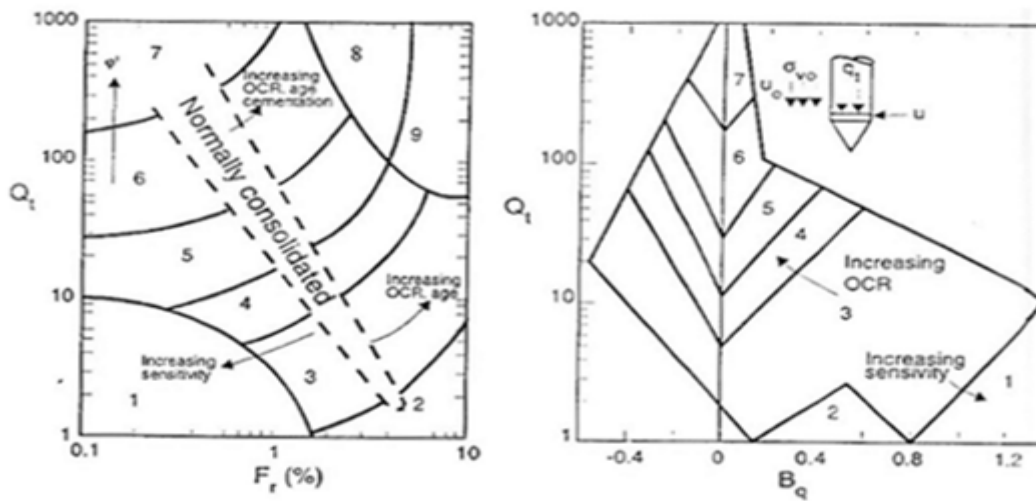
$$R_f = \frac{f_T}{q_T} 100 \quad (\%) \quad (2.11)$$

Normalize edilmiş sürtünme oranı (F_r); toplam gerilme değerine göre bağlantı (2.12) ile ifade edilmektedir.

$$F_r = \frac{f_s}{q_T - \sigma_{vo}} \quad (2.12)$$

2.1.3. CPTU ile zemin sınıfı tayini

CPT ölçümlerinden zemin sınıflandırması; normalize edilmiş sürtünme oranı (F_r), normalleştirilmiş koni uç direnci (Q_t) ve boşluk suyu basıncı oranı (B_q) değerleri kullanılarak yapılabilmektedir [5]. Robertson (1990) ; Q_t , F_r ve B_q değerlerini kullanarak zeminlerin sınıflandırılmasını kapsayan abaklar geliştirmiştir (Şekil 2.2).



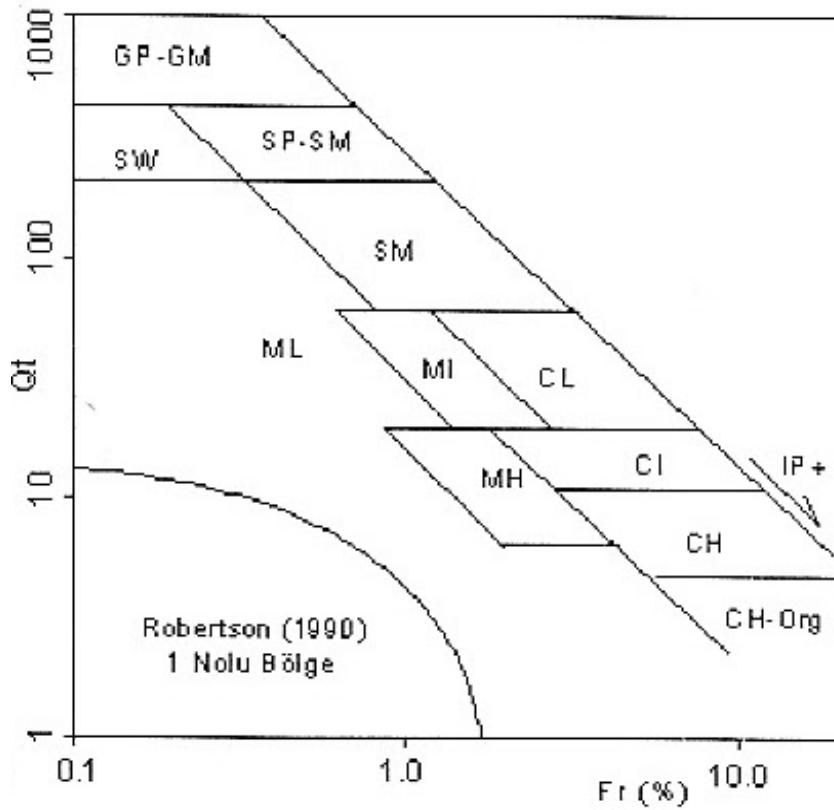
Şekil 2.2. Zemin sınıfının belirlenmesi (Robertson, 1990)

Şekil 2.2’de gösterilen bölge numaralarına göre Tablo 2.2’de zemin cinsleri verilmiştir.

Tablo 2.2.Robertson(1990)’da bölge numaralarına göre zemin cinsi

Bölge	Zemin Cinsi	Bölge	Zemin Cinsi
1	Hassas ince daneli	6	Kumlar; temiz kum-siltli kum
2	Organik zemin-turba	7	Çakıllı kum-kum
3	Killer; kil-siltli kil	8	Çok sıkı kum- killi kum
4	Siltli karışımlar; killi silt-siltli kil	9	Çok sert ince daneli
5	Kumlu karışımlar; siltli kum-kumlu silt		

Zemin sınıfının TS 1500/2000’de tanımlanan simgeler cinsinden tayini Bol ve diğ. (2003) tarafından önerilen Şekil 2.3’deki ayırıma göre yapılabilmektedir.



Şekil 2.3. TSE 1500/2000’e göre zemin sınıfının belirlenmesi (Bol ve diğ., 2003)

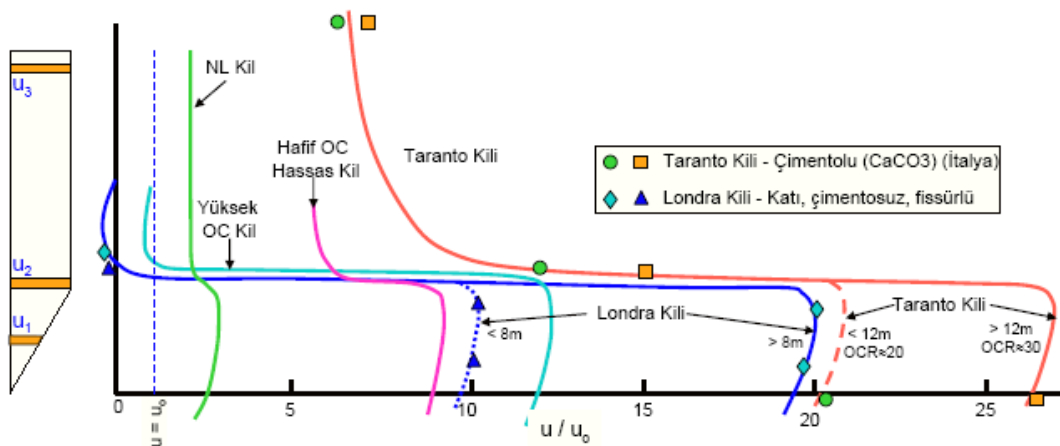
2.2. Sönümlenme Deneyi Literatür Bilgileri

2.2.1. Sönümlenmeyi etkileyen durumlar

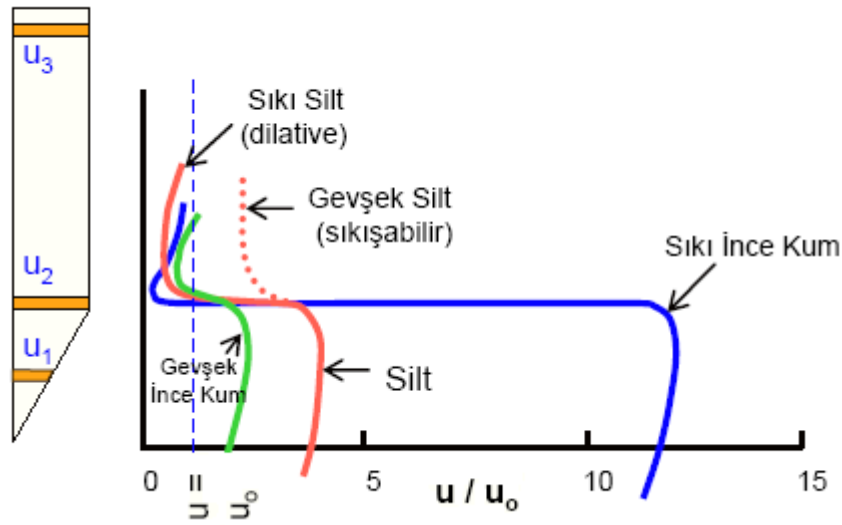
Bir çok araştırmacıya göre (Soares ve diğ.,1987; Sandven, 1990; Robertson ve diğ.,1992) bazı olağan üstü durumların teorik hesaplamaları ve anlamlı sonuçların ortaya konulmasını güçleştirmektedir. Bu durum başlangıçtaki boşluk suyu basınçlarının dağılımından, penetrasyon sırasındaki örselenmeden, yatay ve düşey sönümlenmelerin etkisinden ve zeminin anizotropisinden kaynaklandığı düşünülmektedir [5].

2.2.1.1. Başlangıç boşluk suyu basınçlarının dağılımı

Deneyimler, koni çevresindeki başlangıç boşluk suyu basınçlarının koniden uzaklaştıkça ve koni shaftı boyunca Şekil 2.4'de gösterildiği gibi değiştiğini göstermiştir (Sully vd., 1988). Katı, aşırı konsolide killerde koniden shaftta doğru gittikçe boşluk suyu basıncı eğrilerindeki çok büyük eğimler bu tür zeminlerde negatif boşluk suyu basınçları oluşturur. Sıkı kumlarda ve siltlerde oluşabilecek genişmeden dolayı koni arkasında ölçülen (u_2) boşluk suyu basınçlarında negatif okumalar alınabilir (Bkz.Şekil 2.5).



Şekil 2.4.Doygun killerde başlangıç boşluk suyu basıncı dağılımı (Sully vd., 1988)



Şekil 2.5.Silt ve kumlarda koni etrafında oluşan boşluk suyu basıncı dağılımı (Sully vd., 1988)

2.2.1.2. Penetrasyon sırasında örselenmenin etkisi

Penetrasyon sırasında koninin etrafında örselenmiş olan zeminin geçirimsizliği örselenmemiş olan zeminin geçirimsizliğinden daha düşük olabilir [5]. Bu durumda gerçekte daha yüksek olan geçirimsizlik değeri daha düşük ölçülmüş olur.

2.2.1.3. Zemin anizotropisi

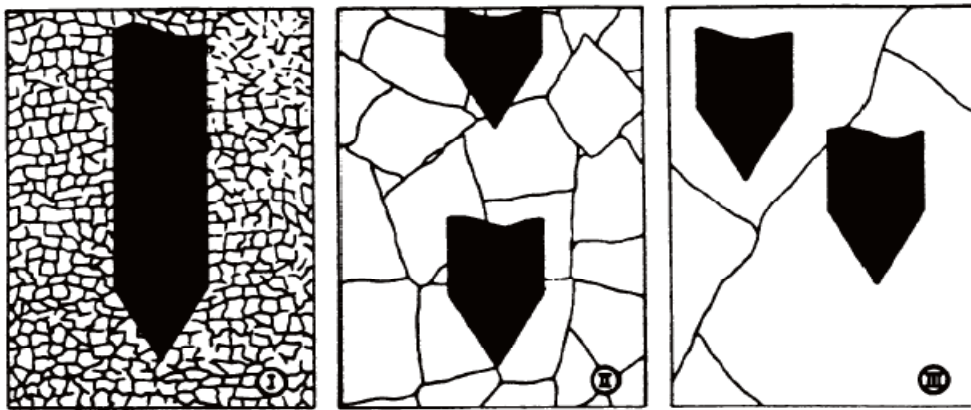
Sönümlenmenin çoğunlukla radyal konsolidasyon katsayısı tarafından yönetildiğine inanılır (Levadoux ve Baligh, 1986). Bu durumda bazı belirsizlikler düşey konsolidasyon katsayısı ve yatay konsolidasyon katsayısı ilişkisinin önemiyle bağdaştırılabilir. Bu durumun önemi zemin anizotropisiyle ele alınmalıdır [5].

Çoğu zeminde yatay durumdaki geçirimsizlik ve konsolidasyon katsayısı yüksektir. Fakat bu durum zemin cinsine göre değişebilir. Prosedürde konsolidasyon katsayıları hesaplanacak olan sönümlenme datalarını konik ucun arkasında bulunan boşluk suyu basınç ölçer (u_2) tarafından alınması önerilmektedir. Çünkü diğer boşluk suyu basıncı ölçerlerin (u_1 , u_3) aldığı sönümlenme datalarından elde edilen konsolidasyon katsayıları daha az tutarlıdır [5].

2.2.1.4. Fisürlerin penetrasyona etkisi

Fisürlü kil, aşırı konsolidasyon oranı yüksek olan OC killerin bazı nedenlerle belirgin ve sistematik süreksizlikler içermesi durumunda kullanılan bir terimdir [6].

Fisürlenme killerde arazi deneyleri ve laboratuvar deney sonuçlarını etkilemektedir. Fisürlenme derecesinin penetrasyona olan etkisi Marsland ve Quarterman tarafından gösterilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Fisürlenmenin ve derecelenme büyüklüğünün penetrasyon sırasındaki etkisi (Marsland ve Quarterman, 1982).

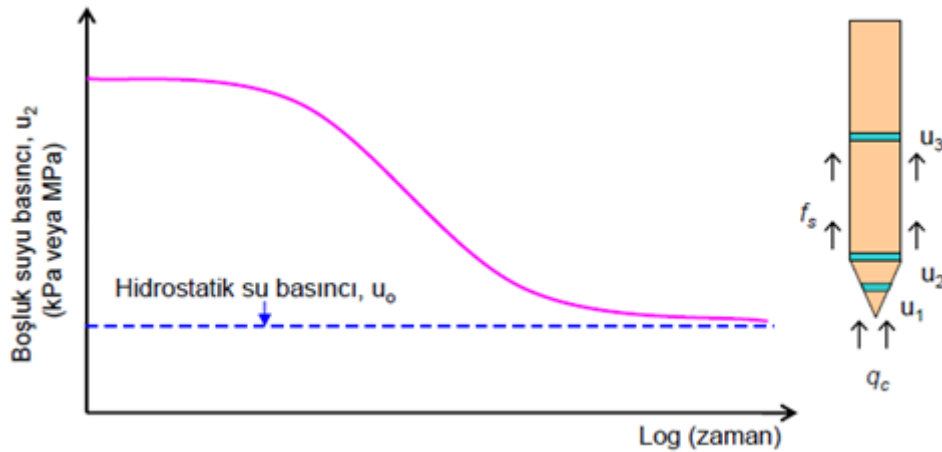
Drenajsız kayma gerilmesi bu durumdan en çok etkilenen parametredir (Marsland ve Quarterman, 1982). Bu nedenle; normalize edilmiş drenajsız gerilmeler, OCR v.b. fisürlenmemiş örneklerin vermiş olduğundan daha düşük bir ilişki vermektedir [7].

2.2.2. Sönümlenme eğri tipleri

Sönümlenme eğrisinin zamana bağlı değişimini dikkate alırsak; eğri zamana bağlı olarak devamlı bir azalma gösteriyorsa tekdüze sönümlenme (monotonic dissipation), eğri zamanla bir miktar artıp bir pik değere ulaştıktan sonra tekrar azalma gösteriyorsa genişleme (kabarma) sönümlenmesi (dilatory dissipation) olarak adlandırılmaktadır.

2.2.2.1. Tekdüze sönümlenme (monotonic dissipation)

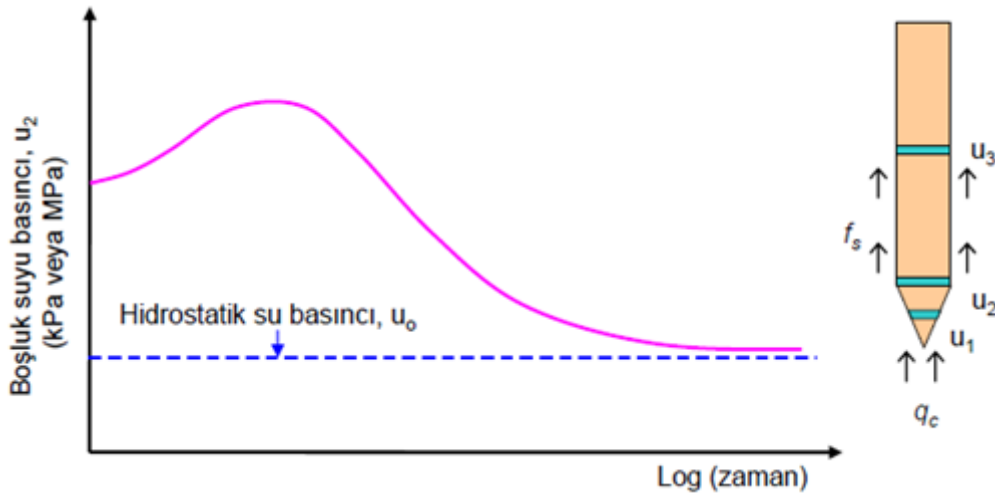
Killerde yapılan sönümlenme deneyinde, boşluk suyu basınçlarının koni ucunda ölçüldüğü konilerinde u_1 her zaman için zamanla azalım gösterir. Buna karşın, boşluk suyu basınçlarının koninin hemen arkasında sürtünme gömleğinin altına ölçülen konilerde u_2 zamanla azalırken aşırı konsolide killerde önce artmakta, bir maksimum değere ulaşmakta ve tekrar hidrostatik su basıncı seviyesine doğru yönelmektedir. Temsili bir tekdüze sönümlenme deney sonucu Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Bu tip sönümlenmede eğri zamana bağlı olarak devamlı bir azalma sunmakta ve hidrostatik su basıncı seviyesine kararlı olarak yönelmektedir [8].



Şekil 2.7. Yumuşak kilde tipik tekdüze sönümlenme eğrisi (Önalp ve diğ., 2008)

2.2.2.2. Genleşme (kabarma) sönümlenmesi (dilatory dissipation)

Birçok aşırı konsolide kil ve fisürlü ortamda yapılan sönümlenme deneyinde $\Delta u'$ da başlangıçta zamanla bir artış olmakta ve bir doruk değere ulaşılmaktadır, ancak sönümlenmenin ileri aşamalarında u zamanla düşerek statik su seviyesine yönelmektedir. Bu davranış kabarmanın bir sonucu olduğundan bu tip sönümlenmeye kabarma sönümlenmesi denmektedir (Bkz.Şekil 2.8). Bu durumda t_{50} tayini kesin yapılamadığından konsolidasyon katsayısının hesaplanması pek mümkün olamamaktadır [8].



Şekil 2.8. Aşırı konsolide kilde genişleme tipi sönümlenme eğrisi (Önalp ve diğ., 2008)

2.2.3. Sönümlenme verilerinin yorumlanmasında kullanılan temel bağıntılar

2.2.3.1. Sönümlenme Oranı

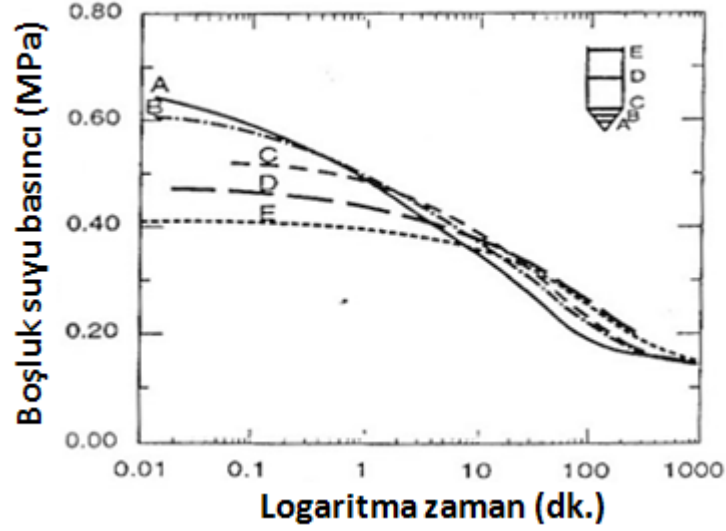
Sönümlemede tüm zeminler için deneye sönümlenmenin belirli sabit bir periyoduna, bazen de önceden belirlenmiş bir sönümlenme oranına (U) ulaşıncaya kadar devam edilir. Deney genellikle boşluk sönümlenme oranının en az yüzde elliye düştüğü zamana kadar sürdürülür (U=%50). Denge boşluk suyu basıncını elde etmek gerekiyorsa deneye boşluk suyu basınçlarında herhangi bir değişim gözlenmediği ana kadar devam etmek gerekir. Bu, kumlarda çok hızlıdır, ancak yüksek plastisiteli killerde sönümlenme birkaç gün sürebilir [8]. Sönümlenme oranı (U) bağıntı (2.13)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$U = \frac{u_t - u_0}{u_i - u_0} \quad (2.13)$$

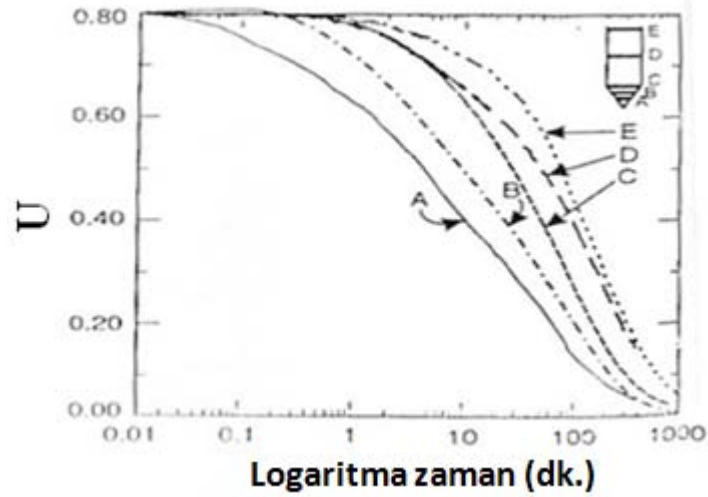
Burada u_t t zamanındaki boşluk suyu basıncı, u_i sönümlenme deneyi başlangıcındaki boşluksuyu basıncı değeri, u_0 statik boşluk suyu basıncı değeridir.

Şekil 2.9'da gösterilen yumuşak kile (Bothkennar kili) ait tipik sönümlenme eğrisi logaritmik zaman ölçeğinde çizilmiştir. Bu eğriler koninin farklı bölgelerinde olan

boşluk suyu basıncı ölçerlerden elde edilen sönümlenme eğrileridir. Şekil 2.10'da bu eğrilerin normalize edilmiş halleri görülmektedir [5].



Şekil 2.9.Filtrenin yerine göre elde edilen sönümlenme deney sonuçları (Robertson ve diğ., 1997)



Şekil 2.10.Filtrenin yerine göre elde edilen normalize edilmiş sönümlenme deney sonuçları (Robertson ve diğ., 1997)

2.2.3.2. Zorlanma modülü

Ödometre deneyinden elde edilen zorlanma modülü (M) ile koni uç direncinden elde edilen değeri arasında literatürde birkaç bağıntı bulunmaktadır. Genel ilişki bağıntı (2.14)'deki gibidir.

$$M = \alpha q_c = 1/m_v \quad (2.14)$$

Bağıntı (2.14)'de m_v hacimsel sıkışma katsayısıdır. q_c koni uç direncidir. Alfa (α) değerleri; Sanglerat, 1972, Lunne ve diğ., 1997 tarafından zemin türleri ve q_c değerlerine göre aşağıdaki Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Zorlanma modülü için alfa(α) değerleri (Sanglerat,1972; Lunne ve diğ., 1997)

Zemin türü	q_c (MPa)	α
CL	≤ 0.7	3-8
	0.7-2	2-5
	≥ 2	1-2.5
ML	< 2	3-6
	≥ 2	1-3
CH ve MH	< 2	2-6
	> 2	1-2
OL	< 1.2	2-8
OH ve Turba	< 0.7 için;	
	$50 < w_n < 100$	1.5-4
	$100 < w_n < 200$	1-1.5
	$w_n \geq 300$	< 0.4
Kum	< 5	2
	> 10	1.5

Senneset ve diğ. (1988) siltli zeminler için M ile düzeltilmiş koni uç direnci (q_t) arasında bağıntı (2.15)'i elde etmiştir.

$$\begin{aligned} q_t < 2.5 \text{ MPa} &\rightarrow M = 2q_t \\ 2.5 \text{ MPa} < q_t < 5 \text{ MPa} &\rightarrow M = 4q_t - 5 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Senneset ve diğ. (1988) aşırı konsolide durum için zorlanma modülünü (M) net koni direnci ile (q_n) doğrusal bir enterpolasyonla ilişkilendirmişlerdir. Bu ilişki bağıntı (2.16) ile verilmektedir.

$$M_p = \alpha_p q_n = \alpha_p (q_t - \sigma_{v0}) \quad (2.16)$$

Bağıntı (2.16)'da α_p 5 ile 15 arasında değişir. σ_{vo} toplam eşdeğer örtü yükü, q_t düzeltilmiş koni uç direncidir.

Senneset ve diğ. (1988) normal konsolide durum için zorlanma modülünü (M) bağıntı (2.17) ile önermişlerdir.

$$M_n = \alpha_n q_n = \alpha_n (q_t - \sigma_{vo}) \quad (2.17)$$

Bağıntı 2.17'de α_n değeri bir çok kil için $\alpha_n = 6 \pm 2$ dir.

Kulhavy ve Mayne (1990) zorlanma modülü (M) ve net koni uç direnci ($q_t - \sigma_{vo}$) arasındaki ilişki üzerinde çalışmışlar, farklı zemin tipleri için bağıntı (2.18)'i önermişlerdir [2].

$$M = 8.25 (q_t - \sigma_{vo}) \quad (2.18)$$

2.2.3.3. Rijitlik indisi

Rijitlik indisi; plastik zonun büyüklüğüne ve ek boşluk basınçlarındaki beklenen değişmelerle oktahedral normal gerilmelerin artması olmak üzere bu iki duruma etki etmektedir. Sonuç olarak; rijitlik indisi verilmiş bir parametre ve bir çok sönümlenme eğrisinde sunulmuş olan seçilmiş rijitlik indisi değerleri olarak alınır. Alternatif olarak; başlangıç boşluk suyu basıncı oluşumu ölçülmüş ise rijitlik indisi değeri diğer parametrelerin (σ'_{vo} , ϕ' , OCR ve u_0) bilinmesiyle hesaplanabilir [9].

Drenajsız koşullarda yapılan üç eksenli deneyde rijitlik indisi bağıntı (2.19)'dan hesaplanabilir.

$$I_r = \frac{E}{2(1+\nu)S_u} = \frac{G}{S_u} \quad (2.19)$$

Bağıntı (2.19)'da; G kayma modülü, S_u drenajsız kayma direnci, ν poisson oranı, E elastisite modülüdür.

Keaveny ve Mitchell (1986) anizotrop-konsolidasyonlu üç eksenli sıkışma deney verisine dayanan bir bağıntı bulmuşlar ve I_r ' yi OCR ile I_p terimleriyle birlikte irdeleyerek grafik olarak göstermişlerdir. Programlamada kullanım açısından ampirik eğilim yaklaşık olarak bağıntı (2.20) gibi verilebilir [8].

$$I_r \approx \exp \left[\frac{137 - I_p}{23} \right] / \left[1 + \ln \left\{ 1 + \frac{(OCR - 1)^{3.2}}{26} \right\} \right]^{0.8} \quad (2.20)$$

Konsolidasyon katsayısının tahmini için önerilen yöntemde koni arkasına takılan piyezometreden (u_2) elde edilen sönümlenme verilerinin kullanılması uygundur. Bununla birlikte, her ne kadar veriler daha az tutarlı olsa da diğer filtre yerleri de kullanılabilir. Bazı araştırmacılar rijitlik indisinin ($I_r = G/s_u$) CPTU verilerinden doğrudan tayini için bağıntı (2.21)'in kullanabileceğini bildirmişlerdir (Mayne, 2001).

$$I_r = \exp \left[\left(\frac{1.5}{M} + 2.925 \right) \left(\frac{q_t - \sigma_{vo}}{q_t - u_2} \right) - 2.925 \right] \quad (2.21)$$

M kritik durum doğrusunun eğimidir ($M = 6 \cdot \sin \phi' / (3 - \sin \phi')$), ϕ' : efektif sürtünme açısıdır). Efektif sürtünme açısı $17^\circ \leq \phi' \leq 43^\circ$ arasında değişmektedir (Diaz Rodriquez ve diğ., 1992). Zemin tiplerine bağlı olarak efektif sürtünme açıları Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Tipik efektif sürtünme açısı değerleri (Senneset ve diğ., 1989)

Zemin tipi	$\tan \phi'$	ϕ' (derece)
Kil, yumuşak	0.35-0.45	19-24
Kil, orta	0.40-0.551	19-29
Kil, sert	0.50-0.60	27-31
Silt, yumuşak	0.50-0.60	27-31
Silt, orta	0.55-0.65	29-33
Silt, sert	0.60-0.70	31-35

Baldi ve diğ., (1981-1988) CPT ile I_r 'nin hesabı için elektrik koni tipinde geçerli olan aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$I_r = \frac{170}{F_r} \quad (2.22)$$

Burada F_r normalize edilmiş sürtünme oranıdır.

Rivea I. (2004) düzeltilmiş koni uc direncine bağlı olarak I_r 'nin hesabı için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$I_r = 15 \ln(q_T) + 39 \quad (2.23)$$

2.2.3.4. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR)

Mayne ve Kemper (1988), OCR ile q_c arasında bağıntı (2.24)'yi önermişlerdir.

$$OCR = 0.37 \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right)^{1.01} \quad (2.24)$$

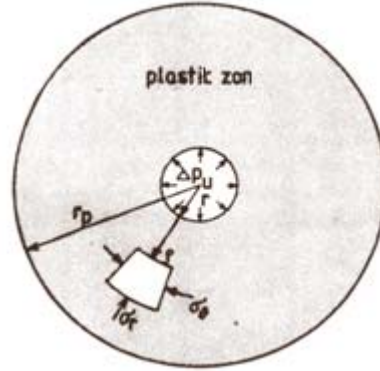
Chang(1991), $s_t < 8$ killer için bağıntı (2.25)'i önermiştir. Burada s_t hassaslık derecesini ifade etmektedir. Robertson ve Campanella (1983b), normalize edilmiş sürtünme oranı ile hassaslık arasında $s_t \approx 10/F_r$ eşitliğini önermişlerdir [10].

$$OCR = \frac{2.3B_q}{3.7B_q - 1} \quad (2.25)$$

2.2.4. Boşluk genişleme teorisi

Bu teori metallerdeki çentik boşluklarındaki silindirik ve küresel boşluk büyümesini açıklamak için geliştirilmiştir (Bishop ve diğ.,1945). Vesic (1972), silindirik ve küresel boşluk genişlemesi teorisini zeminlerde Mohr-Coulomb sürtünme

parametrelerinin çözümünde kullanmıştır. Torstensson (1977)'de bu çözümleri koni penetrasyon deneyine uygulamıştır. Büyük gerilmelerin etkisiyle oluşan boşluk suyu basınçları zemin çevresinde drenajsız boşluk genişlemesi haline dönüşür. Bu durum koni penetrasyon deneyinde sıklıkla kullanılan bir modeldir. Zemin çevresinde boşluk genişlemesi sırasında plastik bir zon meydana gelir (Şekil 2.11) [9].



Şekil 2.11. Penetrasyon esnasında koni etrafında oluşan plastik zon (Torstensson, 1977)

Torstensson (1977) kullandığı çözümlerde; zemini ideal bir elasto-plastik malzeme varsaymış ve plastik zonda hacim değişmesi olmadığını varsaymıştır. Silindirik ve küresel genişleme olmak üzere bu durumu bağıntı (2.26) ile ifade etmiştir [9].

$$\frac{r_p}{r_0} = 3 \sqrt{\frac{E}{2(1+\nu)s_u}} \quad (\text{Küresel genişleme})$$

$$\frac{r_p}{r_0} = \sqrt{\frac{E}{2(1+\nu)s_u}} \quad (\text{Silindirik genişleme})$$
(2.26)

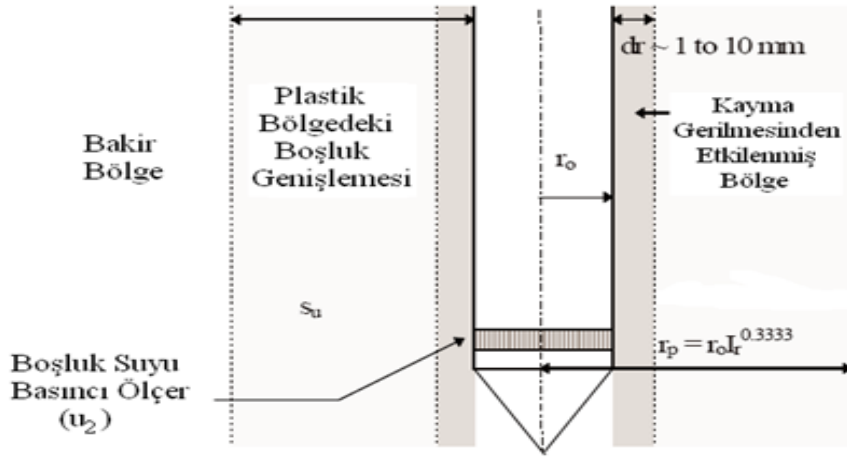
Bağıntı (2.26)'da s_u drenajsız kayma direnci, ν poisson oranı, E elastisite modülüdür, r_p plastik zonun yarı çapı, r_0 koni yarı çapıdır.

Son olarak; hesaplamalarda ortalama gerilme değişimi yerine boşluk suyu basıncı değerlerindeki değişim varsayılırsa, boşluk suyu basınçları için bağıntı (2.27) ile elde edilir [9].

$$\Delta u = \frac{4}{3} s_u \ln \frac{E}{2s_u(1+\nu)} \quad (\text{Küresel genişleme})$$

$$\Delta u = s_u \ln \frac{E}{2s_u(1+\nu)} \quad (\text{Silindirik genişleme})$$
(2.27)

Penetrasyon sırasında koni çevresinde etkilenen bölgeler Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Koni penetrasyonu sırasında etkilenen bölgeler (Mayne ve Burns, 1998)

2.2.5. Penetrasyon sırasında oluşan ek boşluk suyu basınçları

Koni penetrasyonu, özellikle düşük geçirimsizliğe sahip killi zeminlerde, penetrometre etrafındaki boşluk suyu durumunun değişmesine neden olur. Drenajsız durumlarda vuku bulan sondalamalarda; boşluk basıncındaki değişim, oktahedral normal gerilme ($\Delta\sigma_{oct}$) ve oktahedral kayma gerilmesi ($\Delta\tau_{oct}$) kombinasyonlarındaki bir değişimdir. Koni penetrasyonu ile zemin ötelenmesi ve suyun hareketi, boşluk basıncındaki değişimle meydana gelen oktahedral normal gerilmelerde değişime neden olur. Boşluk basıncındaki değişimle oktahedral kayma gerilmesindeki değişim koni yakınındaki zeminde meydana gelen kayma deformasyonunu oluşturur. Boşluk basıncındaki değişimin büyüklüğünü hesaplamak için ilk girişim Henkel (1959) tarafından ortaya çıkarılan bağıntı (2.28)’e dayandırılır [9].

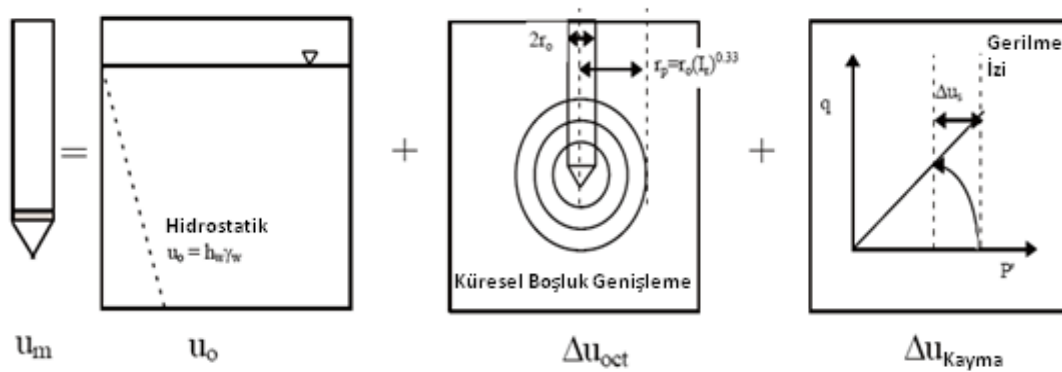
$$\Delta u = \beta \Delta \sigma_{\text{oct}} + \alpha \Delta \tau_{\text{oct}} \quad (2.28)$$

Bağıntı (2.28)'de; Δu boşluk suyu basıncındaki değişim, $\Delta \sigma_{\text{oct}}$ oktahedral normal gerilmedeki değişim, $\Delta \tau_{\text{oct}}$ oktahedral kayma gerilmesindeki değişim, α ve β Henkel'in ampirik boşluk basıncı parametreleridir.

Doygun killerde β parametresi yaklaşık olarak 1 alınabilir (Roy ve diğ., 1981). Piyezokonide ölçülen toplam boşluk suyu basıncı büyüklüğü sadece oktahedral normal gerilme ve oktahedral kayma gerilmelerinin meydana getirdiği ek boşluk suyu basıncını içermez bunun yanında zemin profilindeki statik boşluk suyu basıncını da içerir (Şekil 2.13). Bu durum bağıntı (2.29) ile ifade edilir [9].

$$u_m = u_o + \Delta u_{\text{oct}} + \Delta u_{\text{shear}} \quad (2.29)$$

Bağıntı (2.29)'da; u_m koni penetrasyon deneyinde ölçülen boşluk basıncı değeri, u_o statik boşluk basıncı değeri, Δu_{oct} oktahedral normal gerilmedeki değişimle meydana gelen ek boşluksuyu basıncındaki değişim, Δu_{shear} oktahedral kayma gerilmesindeki değişimle meydana gelen ek boşluksuyu basıncındaki değişimdir.

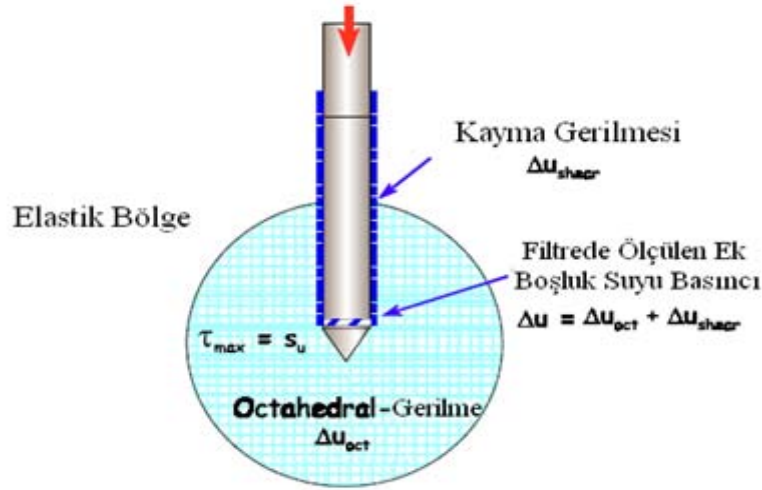


Şekil 2.13. Koni penetrasyon deneyi sırasında ölçülen boşluk suyu basınçlarının bileşenleri (Mayne ve Burns, 1998)

Eğer statik boşluk suyu basıncı (u_o) biliniyorsa, penetrasyon sırasında meydana gelen ek boşluksuyu basıncı (Δu_m) bağıntı (2.30) ile hesaplanır [9]

$$\Delta u_m = \Delta u_{oct} + \Delta u_{shear} \quad (2.30)$$

Penetrasyon sırasında Δu_{oct} ve Δu_{shear} 'nun koni etrafındaki etkinliği Şekil 2.14'de görülmektedir.



Şekil 2.14.Koni etrafında ek boşluk suyu basıncına neden olan oktahedral gerilme ve kayma gerilmelerinin yerleri (Mayne, 2001)

Ek boşluk basıncını meydana getiren Δu_{oct} ve Δu_{shear} parametreleri ayrı ayrı ölçülemezler [9] . Fakat; ampirik bağıntılarla Δu_{oct} ve Δu_{shear} hesaplanabilirler. Bağıntı (2.31) ile bu değerler ayrı ayrı hesaplanabilirler [11].

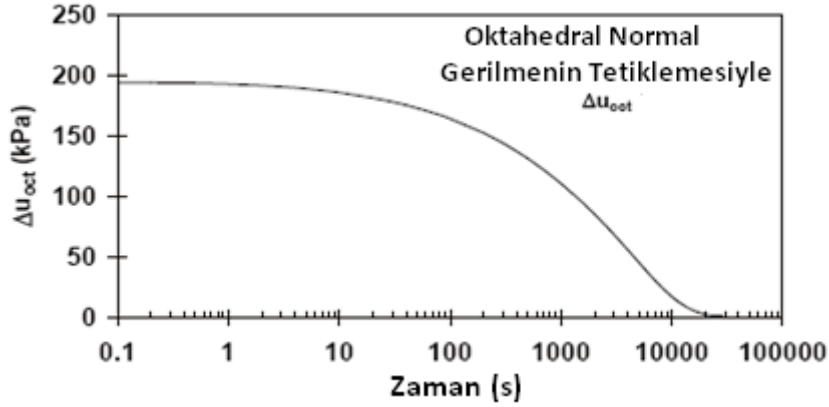
$$\Delta u_{oct} = (2/3)M\sigma'_{vo}(OCR/2)^\Lambda \quad (2.31)$$

$$\Delta u_{shear} = \sigma'_{vo}[1-(OCR/2)^\Lambda]$$

Bağıntı (2.31)'de; $\Lambda \approx 1 - c_s/c_c$ dir. c_s şişme indisi, c_c sıkışma indisi dir. M zorlanma modülü, σ'_{vo} efektif gerilme, OCR aşırı konsolidasyon oranıdır.

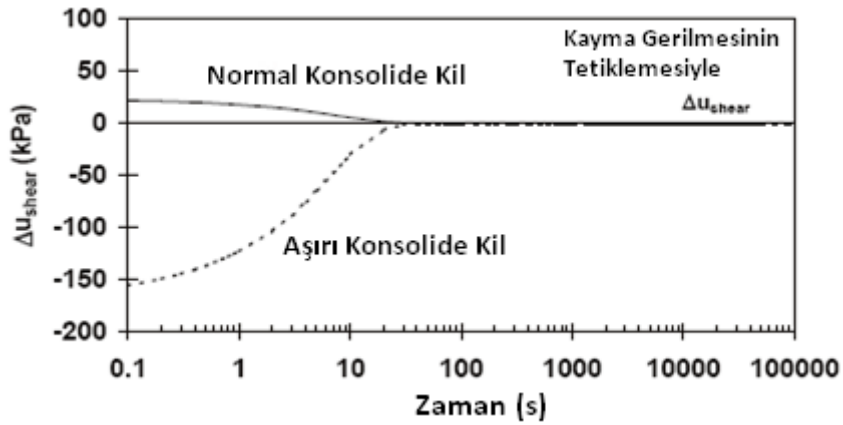
CPTU'da ölçülen boşluk basıncı (u_m); oktahedral normal gerilme ve kayma gerilmesi bileşenleri verilen herhangi bir zamanda statik boşluk suyu basıncı değerlerinin üzerindedir. Boşluk suyu basıncının özel bileşenlerinin davranışı kavramsal olarak aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir. Birinci grafikte oktahedral normal gerilme

boşluk basınçları büyük değerler alır. Bu değerler uzun bir zaman aralığında azalır (Bkz. Şekil 2.15).



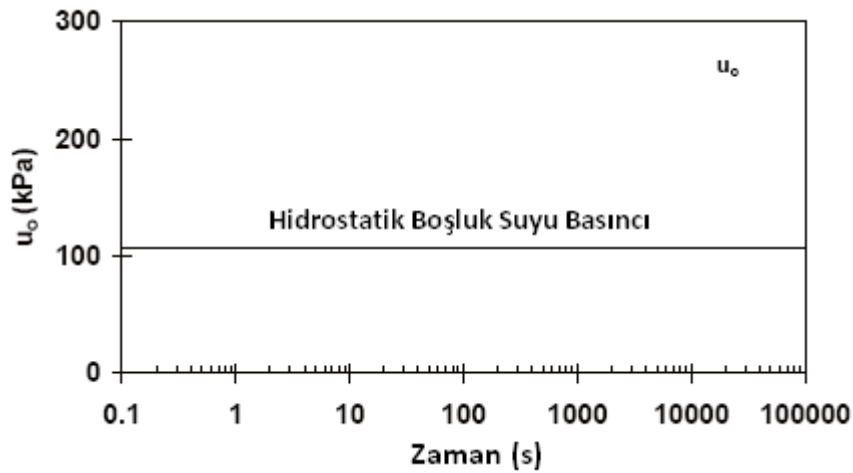
Şekil 2.15. Oktahedral normal gerilmelerin tetiklediği boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi (Mayne ve Burns, 1998)

İkinci grafikte kayma gerilmelerinin tetiklediği boşluk suyu basınçları daha küçük değerler alırlar ve hızlı bir şekilde sönümlenirler. Aşırı konsolidasyona uğramış killerde negatif boşluk suyu basıncı değerleri verirken, normal konsolide killerde pozitif boşluk suyu basıncı değeri verirler (Şekil 2.16).



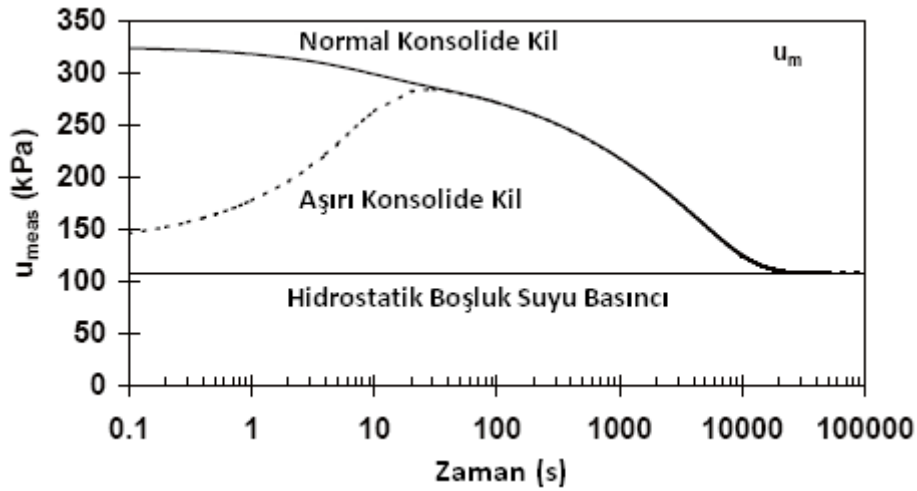
Şekil 2.16. Kayma gerilmelerin tetiklediği boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi (Mayne ve Burns, 1998)

Üçüncü grafikte statik boşluk suyu basıncının kararlı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Önemli istisnalar dışında bu durum tüm alanlarda etkili olmaktadır (Bkz. Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Hidrostatik boşluk suyu basıncının kararlı yapısı (Mayne ve Burns, 1998)

Son grafikte de CPTU da ölçülen boşluk suyu basıncının tüm bileşenleri bir arada verilmiştir (Şekil.2.18).



Şekil 2.18. Tüm bileşenleriyle boşluk suyu basınçlarının sönümlenme davranışı (Mayne ve Burns, 1998)

2.2.6. Killi zeminlerde sönümlenme eğrileri

Killer doğada normal konsolide olmuş (NL), aşırı konsolide olmuş (OC) ve konsolide olmamış killer olarak bulunurlar. Normal yüklenmiş killer; oluşumundan bu yana bugün almakta olduğu efektif gerilmeden fazla gerilme almamış killere

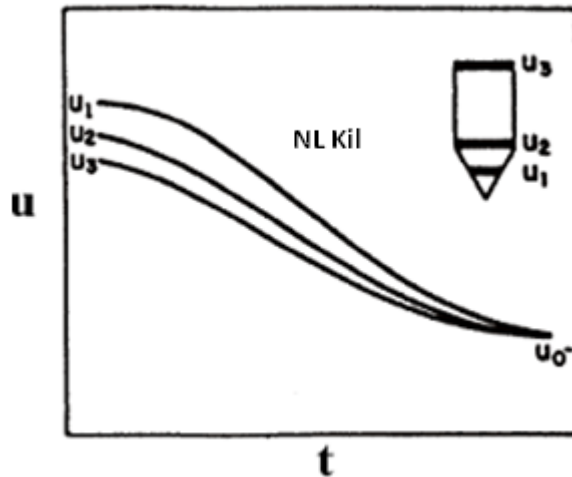
denir. Bu tür killerin doğal su muhtevası çoğunlukla likit limit dolayında bulunur. Aşırı konsolide killer; oluşumu sırasında veya daha sonra bugün almakta olduğu gerilmeden daha yüksek gerilmeler almış killerdir. Konsolide olmamış killer; oluşumundan bu yana dengeye gelmemiş, özkütlesi altında dahi konsolidasyonunu tamamlamamış killerdir [6].

Aşırı konsolide olmuş killer için OCR kavramı geliştirilmiştir. OCR; zeminin geçmişte maruz kaldığı konsolidasyon basıncının (σ'_c) zeminin şu anda maruz kaldığı efektif gerilmeye (σ'_{vo}) oranı olarak bilinir. Aşırı konsolide killerde $OCR > 1$ dir. Kilitaşları gibi tortul kayalarda ise aşırı konsolidasyon oranının $OCR \gg 1$ olduğu bilinir [6].

Normal konsolide killerde, düşük OCR'ye veya yüksek OCR'ye sahip aşırı konsolide killerde sönümlenme eğrilerinin davranış biçimleri farklı olmaktadır.

2.2.6.1. Normal konsolide ve düşük OCR'ye sahip killerde sönümlenme eğrileri

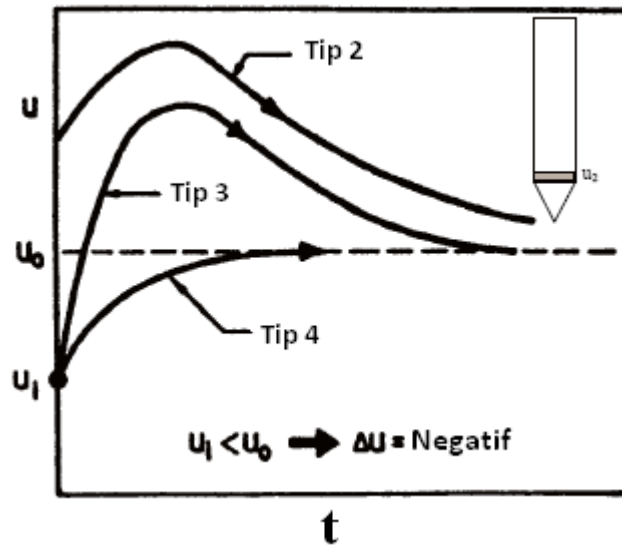
CPTU'da boşluk suyu basınç ölçer filtreleri gereği gibi doymun hale getirilip deneye başlanırsa; normal konsolide olmuş ve düşük OCR'ye sahip killerin sönümlenme eğrileri tekdüze (monotonic) sönümlenme davranışı gösterir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Normal konsolide killerde sönümlenme eğrileri (Sully ve Campanella, 1994)

2.2.6.2. Yüksek OCR'ye sahip killerde sönümlenme eğrileri

Yüksek OCR'ye sahip killerde sönümlenme eğrileri boşluk suyu basınç ölçer filtrelerin konumuna bağlı olarak tekdüze (monotonic) veya kabarma (dilatory) sönümlenme eğrileri oluşturabilir. u_1 olarak adlandırılan konik uç üzerindeki filtre ile elde edilen sönümlenme eğrileri tekdüze (monotonic) davranışı gösterir. Koni üzerindeki filtre konumu u_2 olduğunda ise; sönümlenme eğrileri kabarma (dilatory) sönümlenme eğrisi davranışı gösterebilir [9]. Sully ve Campanella (1994) tip 2, tip 3 ve tip 4 olarak adlandırılan eğri tipleri tanımlamışlardır. Tip 2 eğrisi ilk başta statik su seviyesinin üzerinde yükselmekte daha sonra statik su seviyesine doğru azalmaktadır. Tip 3 eğrisi ilk başta statik su seviyesinin altında olup statik su seviyesinin üzerine yükseliyor daha sonrada statik su seviyesine doğru azalıyor. Tip 4 eğrisi statik su seviyesinin altında olup daha sonra statik su seviyesine doğru artıyor (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Yüksek OCR'ye sahip killerde sönümlenme eğrileri (Sully ve Campanella, 1994)

Davidson (1985) Florida'da yüksek OCR'ye sahip killerde 9 adet CPTU yapmıştır. Tüm profillerde penetrasyonla beraber boşluk suyu basınçlarında artış daha sonrada zamanla bir azalış hareketi tespit etmiştir. Davidson bu olayı penetrasyon sırasındaki büyük normal gerilme ve büyük kayma gerilmelerdeki artışa bağlamaktadır. Büyük kayma gerilmelerindeki artış penetrasyon sırasında ek boşluk

suyu basınçlarının negatife doğru gitmesine neden olur. Penetrasyon durdurulduğunda ise; negatif bu değeri yüksek basınç zonundan akmada harcamaktadır. Sully ve Campanella (1994); katı aşırı konsolide olmuş killerdeki sönümlenme deneyi sonuçları standart olmayan sönümlenme hareketine sahip olduğunu rapor etmiştir. Yazarlar aşırı konsolidasyona uğramış zeminlerde büyük eğimlerden dolayı boşluk suyu basınçları kabarma (dilatatory) davranışı gösterdiğini ifade etmişlerdir. Sönümlenme deneyindeki eğrileri (önce artan daha sonra azalan eğri tipi) için, maksimum boşluk suyu basıncı değeri noktasından eğri alınarak grafikte sıfır zamanına götürülür. Ortaya çıkan tekdüze (monotonic) sönümleme eğrisinde Teh (1987)'in önerdiği yöntem kullanılarak (c_h , c_v , k_v , k_h vb.) gibi parametreler bulunabilir.

2.2.7. Konsolidasyon katsayısı ve geçirimsizlik

Konsolidasyon katsayısı (c) ve geçirimsizlik (k) parametreleri bir çok değişkene bağlı olmakla beraber geoteknik mühendisliğinde hesaplanması güç parametrelerdendir. Yine de c ve k parametreleri bazı geoteknik hesaplamalar için gereklidir. Zemin anizotropisine bağlı olarak c ve k parametreleri yatay yönde (c_h , k_h) ve düşey yönde (c_v , k_v) farklı değerler alabilmektedir [5].

2.2.7.1. Sönümlenme deneyi ile konsolidasyon katsayısının bulunması

Konsolidasyon parametrelerinin oranına, piyezokoni deneyinde ilerlemenin durdurulmasıyla, sönümlenmenin ölçümü veya boşluk suyu basınçlarının zamana bağlı olarak azalmasının izlenmesiyle değer biçilebilir [8].

Bazı araştırmacılar piyezokoni sönümlenme deney sonuçlarına bağlı olarak konsolidasyon katsayısının hesaplanmasında kabul edilebilir çözüm yolları önermişlerdir (Bkz. Tablo 2.5).

Tablo 2.5. Bazı araştırmacılara ait piyezokoni sönümlenme deney sonuçlarına bağlı olarak konsolidasyon katsayısının hesaplanmasında kabul edilebilir çözüm yolları

Yazar	Boşluk tipi	Zemin modeli	Başlangıç boşluk suyu basıncı, Δu_1	Konsolidasyon	Not
Soderberg, 1962	Silindirik, yarıçap R	Elastoplastik	$\frac{\Delta u}{\Delta u_1} = \frac{R}{r}$	1-D	Kullanımda değil dir.
Torstensson, 1975; 1977	Silindirik/ küresel	Elastoplastik	$\Delta u_1 = 2s_u \ln(r_p / r)$ $\Delta u_1 = 4s_u \ln(r_p / r)$	1-D	Kayma gerilmesi içermez
Randolph & Worth, 1979	Silindirik	Elastoplastik	Torstensson ile aynı	1-D	
Battaglio ve diğ., 1981	Silindirik/ küresel	Elastoplastik	Torstensson ile aynı	1-D	
Senneset ve diğ., 1982	Silindirik	Elastoplastik	Torstensson ile aynı	1-D	Torstenson'a eşdeğer
Levadoux & Baligh, 1985	Piyezo koni modeli	Nonliner Ir=500	Gerilme izi metodu	2-D	Geniş kullanımı var
Gupta & Davidson, 1986	Piyezo koni modeli	Elastoplastik	Modifiye edilmiş boşluk genişlemesi	Liner	asime
Soares ve diğ., 1987	Piyezo koni modeli	Nonliner	Düzeltilmiş görsel sına ve regrasyon analizi	2-D	
Houlsby & Teh, 1988	Piyezo koni modeli	Nonliner değişken Ir	Büyük deformasyonlu sonlu eleman analizi ve gerilme izi metodu	2-D	Levadoux & Baligh'in genişletilmiş hali
Burns & Mayne, 1995a	Küresel	Elastoplastik	$\Delta u_{oct} = 4s_u \ln(r_p / r)$ $\Delta u_{shear} = \sigma_{vo}' [1 - (OCR/2)^{0.8}]$	1-D	Birleştirilmiş kayma gerilmeleri; OC sönümlenme modelleri; sonlu farklar

Tablo 2.5.(Devam).Bazı araştırmacılara ait piyezokoni sönümlenme deney sonuçlarına bağlı olarak konsolidasyon katsayısının hesaplanmasında kabul edilebilir çözüm yolları

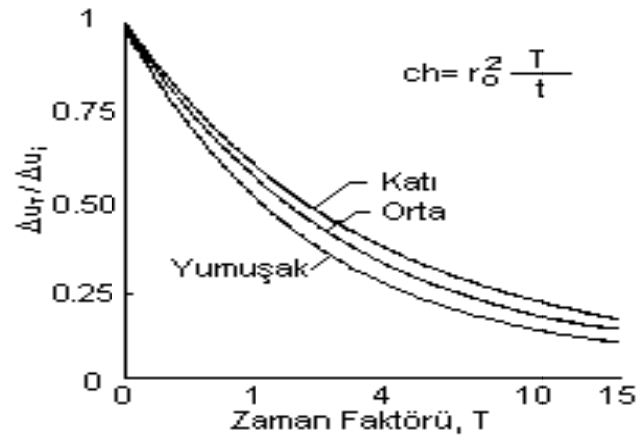
Yazar	Boşluk tipi	Zemin modeli	Başlangıç boşluk suyu basıncı, Δu_1	Konsolidasyon	Not
Burns,1997	Küresel	Elastoplastik	$\Delta u_{oct} = 4s_u \ln(r_p / r)$ $\Delta u_{shear} = \sigma_{vo}' [1 - (OCR/2)^{0.8}]$	1-D	Birleştirilmiş kayma gerilmeleri; OC sönümlenme modelleri; analitik

Torstensson (1975, 1977) sönümlenme için boşluk büyümesi teorisine dayanan bir model geliştirmiştir. Torstensson boşluk suyu basıncı sönümlenmesi hesaplamalarında bir boyutlu konsolidasyon modelini kullanmıştır. Konsolidasyon katsayısının %50 sönümlenme ile açıklanabileceğini belirtmiş, bağıntı (2.32)'yi önermiştir [5].

$$c = \frac{T_{50}}{t_{50}} r_0^2 \quad (2.32)$$

Bağıntı 2.32'de; T_{50} zaman faktörü, t_{50} %50 sönümlenme zamanı, r_0 penetrometrenin yarıçapıdır.

Senneset ve diğ., (1982) Torstenson' un yaklaşımına benzer bir denklem önermişlerdir ve zaman faktörünün tahmini için bir grafik önermişlerdir (Bkz. Şekil 2.21). Zaman faktörü zemin özelliklerinin ve boşluk basıncı dağılım oranının ($\Delta u_t / \Delta u_i$) bir fonksiyonudur. Burada $\Delta u_t = u_t - u_0$ dir ve u_t verilen bir zamanda (t) boşluk basıncıdır.



Şekil 2.21. Zaman faktörünün tayini (Senneset vd, 1982)

Levadoux ve Baligh (1980, 1986) boşluk suyu basınçlarının sönümlenmeleriyle ilgili olarak ayrıntılı bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bu iki araştırmacı Boston Blue Clay (BBC) üzerinde gerçekleştirilen sönümlenme deneyi değerlendirmelerinden sonra bir yorum metodu önermişlerdir. Başlangıç boşluk suyu basıncının dağılımını önceden bildirmek için gerilme izi yöntemini (Baligh, 1985) kullanmışlardır. Bu çalışma içinde rijitite indeksi $I_r = 500$ olan normal konsolide BBC kili kullanmışlardır [5].

Levadoux ve Baligh (1980, 1986)'in yapmış oldukları çalışmalarının bazı önemli sonuçlarını sıralayacak olursak; sönümlenmenin %50'sinden az bir kısmında konsolidasyon baskın olmaktadır, fazla boşluk suyu basınçlarının prob etrafındaki yayılımının sönümlenme deneyinde önemli bir etkisi vardır, sönümlenme yatay yönde baskındır [5].

Teh ve Houlsby (1988) birim deformasyon izi metodu ve büyük deformasyonlu sonlu eleman analizini birleştirerek CPTU' da aşırı boşluk suyu basınçlarının başlangıç dağılımını hesaplamak için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem ideal elastik-tam plastik yaklaşımını kullanmaktadır. Zemin rijitliğinin (I_r) etkisini hesaba katarak, Teh ve Houlsby (1988) değiştirilmiş zaman faktörünü (T^*) Tablo 2.6' da verildiği gibi açıklamışlardır. Teh ve Houlsby (1988) yatay konsolidasyon katsayısının (c_h) tahmini için de aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir [5].

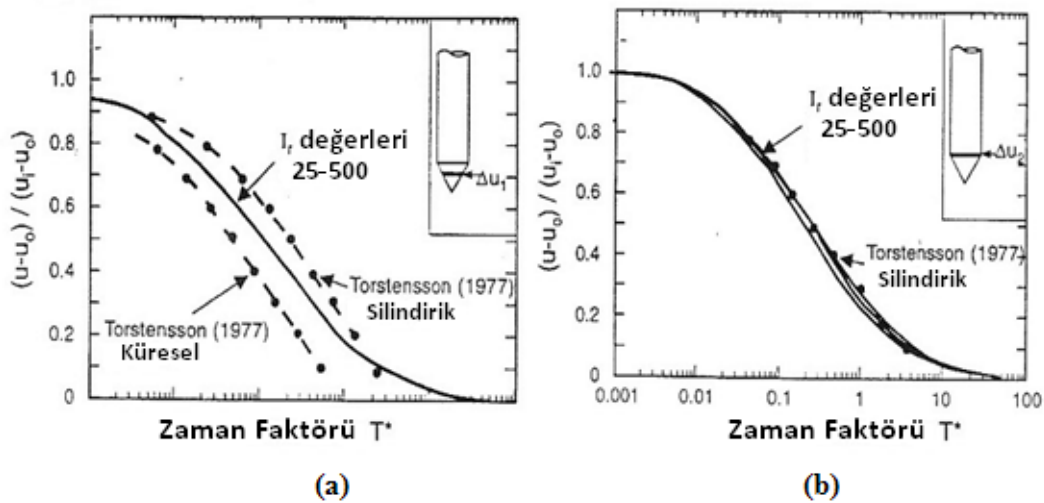
$$c_h = \frac{T_{50}^* r_0^2}{t_{50}} \sqrt{I_r} \quad (2.33)$$

Bağıntı (2.33)'da; I_r rijitlik indisi, T_{50}^* değiştirilmiş zaman faktörü, t_{50} %50 sönümlenme zamanı, r_0 penetrometrenin yarı çapıdır.

Tablo 2.6. Değiştirilmiş zaman faktörü (T^*) (Teh ve Houlsby, 1991)

Konsolidasyon Yüzdesi	Filtrenin Yerine Göre Zaman Faktörleri (T^*)			
	u_1	u_2	Koni tabanından 5 çap yukarıda	Koni tabanından 10 çap yukarıda
20	0.014	0.038	0.294	0.378
30	0.032	0.078	0.503	0.662
40	0.063	0.142	0.756	0.995
50	0.118	0.245	1.110	1.458
60	0.226	0.439	1.650	2.139
70	0.463	0.804	2.430	3.283
80	1.040	1.600	4.100	5.240

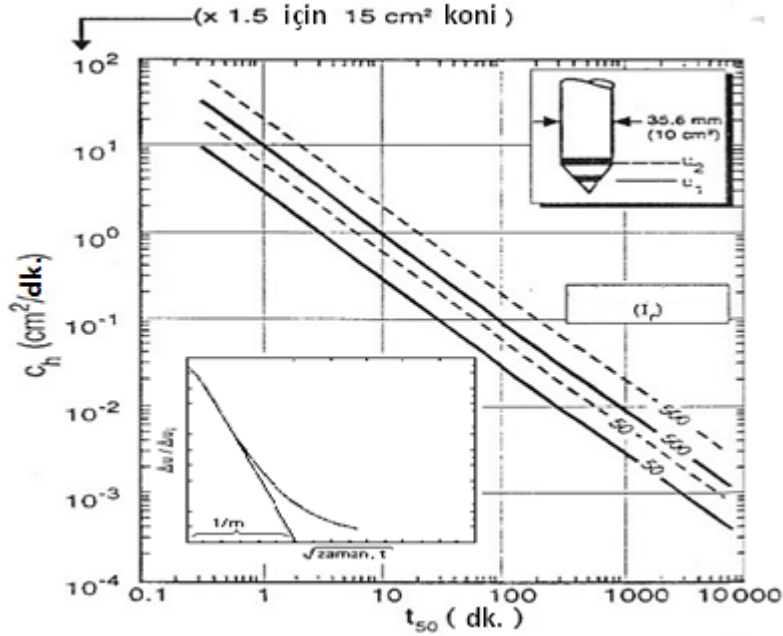
Şekil 2.22'de Houlsby ve Teh (1988)'in elde ettiği T^* değerleri gösterilmekte ve Torstensson (1977)'in boşluk suyu basınç ölçerlerin konik ucun üzerinde olduğu (u_1), konik ucun arkasında olduğu (u_2) durumlarda elde ettiği değerlerin karşılaştırması yapılmaktadır. Houlsby ve Teh (1988); Torstensson (1977)'in çözümlerini kolaylaştırmakta, aynı değerleri sağlamakta ve ayrıntılı çözümler sunmaktadır [5].



Şekil 2.22 .a. Δu_1 'e göre normalize edilmiş boşluk suyu basıncı ve T^* faktörü teorik çözümü (Teh ve Houlsby, 1991)

.b. Δu_2 'e göre normalize edilmiş boşluk suyu basıncı ve T^* faktörü teorik çözümü (Teh ve Houlsby, 1991)

Şekil 2.23’de gösterilen basitleştirilmiş diyagramla Houlsby ve Teh (1988)’in çözümü kullanılarak c_h ’in hesaplanması yapılabilmektedir [5].



Şekil 2.23. t_{50} kullanılarak c_h bulma abağı (Robertson ve diğ., 1992b)

Robertson ve diğ. (1992b) piyezokoni deneylerinden elde edilmiş sönümlenme dataları ışığında Houlsby ve Teh (1988)’in çözümleri; laboratuvar ve arazi gözlemlerinden elde edilen referans değerleri kullanılarak konsolidasyon katsayısının önceden belirlenmesini gözden geçirilmişlerdir. Yapılan çalışma şunu göstermiştir; Houlsby ve Teh’in çözümleri kabul edilebilir c_h değerlerini sağlamaktadır. Sonuçlar; farklı filtre lokasyonlarından elde edilen boşluk suyu basınçlarına göre değerlendirilmiş ve en az saçılım koni arkasında bulunan boşluk suyu basınç ölçer (u_2) tarafından sağlanmıştır.

Teh (1987) Şekil 2.24’ de gösterildiği gibi karekök zaman ölçeğinde çizilmiş boşluk basıncı dağılım eğrisinin başlangıçta doğrusal olan kısmındaki eğimi (m) kullanarak konsolidasyon katsayısını tahmin eden bir yöntem geliştirmiştir. Karakök zaman yöntemi kısa sönümlenme deneylerinde ve/veya başlangıç boşluk suyu basıncının (u_i) kestirilemediği durumlarda kullanışlıdır. Buna göre yatay konsolidasyon katsayısı (c_h) bağıntı (2.34) ile tayin edilebilir [8].

$$C_{h(\text{piez})} = \left(\frac{m}{M_G} \right)^2 \times \sqrt{I_r} \times r_0^2 \quad (2.34)$$

Bağıntı (2.34)'de; $m\sqrt{\text{zaman}}$ grafiğinde başlangıçta ölçülen doğrusal sönümlenme eğrisinin eğimi, M_G : filtrenin yerine ve sonda geometrisine göre elde edilen teorik eğrinin eğimidir ve değerleri Tablo 2.7'da verilmiştir.

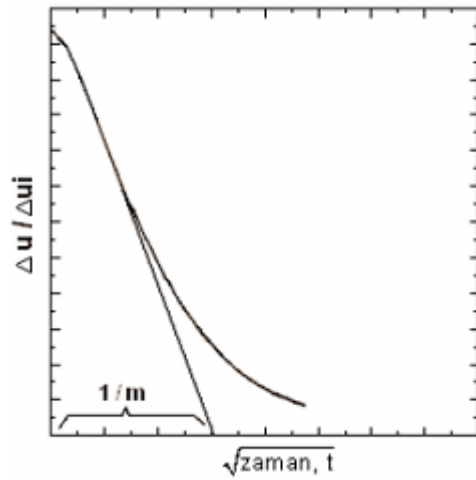
Tablo 2.7. $\sqrt{\text{zaman}}$ çiziminde sönümlenme eğrilerinin eğimi (M_G), (Teh, 1987)

Filtre Yeri \Rightarrow	u_1	u_2	Koniden 5 çap yukarıda u_3
Sönümlenme eğrisinin eğimi (M_G)	1.63	1.15	0.62

Baligh ve Levadoux (1986) boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi ile ilgili araştırma sonunda tahmin edilen $c_{h(\text{piezo})}$ 'nun $c_{h(\text{OCR})}$ 'ye eşit olduğunu ve aşağıdaki ilişkide $c_{h(\text{piezo})}$ 'nun normal konsolide durumdaki $c_{h(\text{NC})}$ 'ye transferini aşağıdaki bağıntıyla önermiştir.

$$C_{h(\text{NC})} = \frac{RR}{CR} C_{h(\text{piezo})} \quad (2.35)$$

Bağıntı (2.35)'de $RR = \frac{C_r}{1+e_0}$ ve $CR = \frac{C_c}{1+e_0}$ dir. RR ve CR sırasıyla yeniden yükleme ve sıkışma oranlarını; C_r şişme (yeniden yükleme) indisini, C_c sıkışma indisini ve e_0 zeminin başlangıçtaki boşluk oranını göstermektedir.



Şekil 2.24. Normalleştirilmiş aşırı boşluk basıncı eğrisinin doğrusal kesiminin eğiminin hesaplanması (Teh, 1987).

Düşey yöndeki konsolidasyon katsayısı (c_v) ve yatay yöndeki konsolidasyon katsayısı (c_h) düşey ve yatay geçirimsizlik katsayıları kullanılarak aşağıdaki bağıntılarla bulunabilir.

$$c_v = k_v \frac{M}{\rho_w} \quad (2.36)$$

$$c_h = k_h \frac{M}{\rho_w} \quad (2.37)$$

Eğer zeminin sıkışabilirliği izotrop kabul edilirse ($m_h = m_v$) yatay ve düşey yöndeki konsolidasyon katsayısı ilişkisini Levadoux ve Baligh (1986) tarafından önerilen aşağıdaki denklem kullanılarak ifade edebiliriz.

$$c_v = c_h \frac{k_v}{k_h} \quad (2.38)$$

İnce daneli zeminlerin arazi anizotropisinin, numune boyutu etkisi, numune örselenmesi, fisür ve çatlakların varlığı nedeniyle düşey konsolidasyon katsayısının laboratuvarında belirlenmesi zordur. Bu nedenle c_v 'yi belirlemek için k_h/k_v 'nin Tablo 2.8'de önerilen değerlerinin kullanımı yararlı olabilir.

Tablo 2.8. Killerin anizotrop geçirimsizlik aralığı (k_h/k_v) (Jamiolkowski vd., 1985)

Kilin doğası	k_h/k_v
Tabakalanma yok	1-1.5
Hafif tabakalanma, arada sırada devamsız mercerler ve yüksek geçirimli malzeme tabakaları içeren çökel killer	2-4
Tabakalı killer ile gömülü ve çok veya az süreklili geçirimli tabakalar içeren diğer birikintiler	3-15

Anizotropiye dolaylı zemin birikintileri düşey geçirimsizlikten (k_v) daha büyük bir yatay geçirimsizliğe (k_h) sahiptir ve bundan dolayı bir çok durumda yatay konsolidasyon katsayısı genellikle düşey konsolidasyon katsayısından daha yüksektir ($c_h > c_v$). Piyezonon çevresinde konsolidasyonu c_h 'nin yönettiği belirtilmiştir [8].

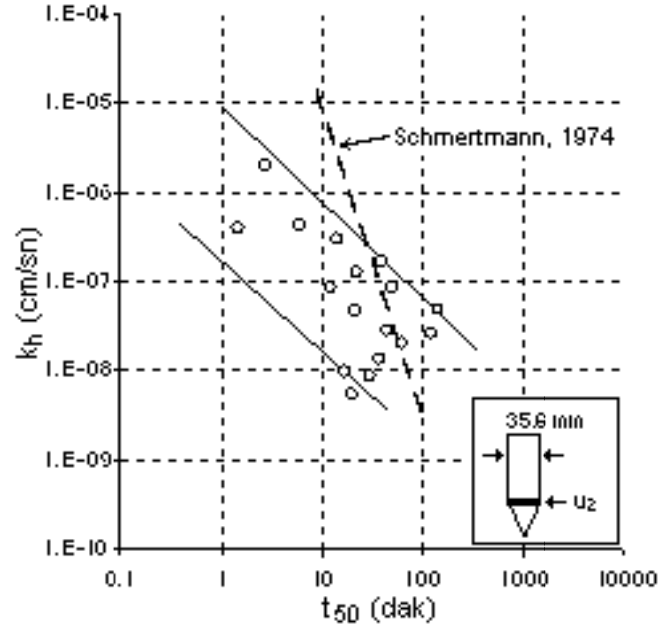
2.2.7.2. Sönümlenme deneyi ile geçirimsizlik katsayısının bulunması

Balig ve Levadoux (1980) yatay geçirimsizlik katsayısının hesabı için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$k_h = c_h \frac{\rho_w}{2.3\sigma'_{v0}} RR \quad (2.39)$$

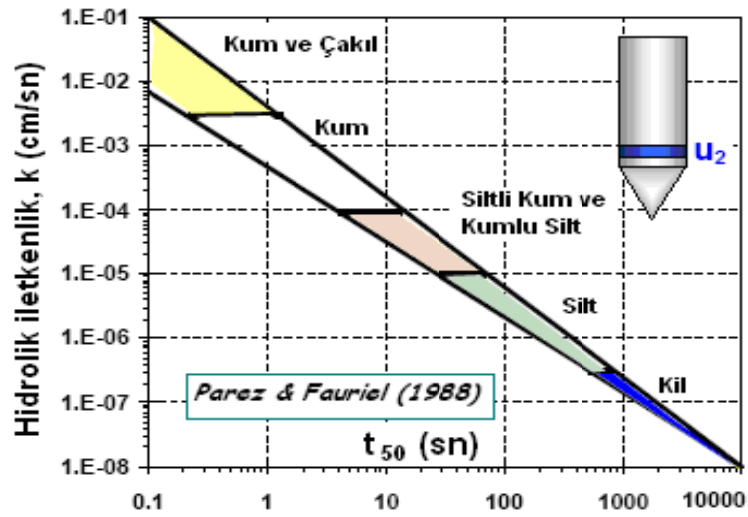
Bağıntı (2.39)'da; RR aşırı konsolide aralıktaki sıkışma oranıdır ve $0.5 \times 10^{-2} < RR < 2 \times 10^{-2}$ değerleri olağandır.

Robertson ve diğ. (1992) CPTU deneyinden konsolidasyon katsayısının tahmini için, Teh ve Houlsby (1991)'in çözümünü laboratuvar deneyleri ve arazi gözlemlerinin sonuçları ile birlikte değerlendirerek, sönümlenme verilerini tekrar gözden geçirmişlerdir. Ayrıca, Şekil 2.25'de gösterildiği gibi, sönümlenme verileri ile laboratuvarda elde edilen yatay geçirimsizlik katsayıları (k_h) arasındaki ilişkiyi özetlemişlerdir [8].



Şekil 2.25. 10cm² kesitli piyezokonide k_h 'nın bulunması için abak (Robertson ve diğ., 1992)

Tip-2 piyezokoni (u_2) için tekdüze (monotonik) sönümlenme eğrisinden t_{50} (saniye) okuması ile Şekil 2.26'de sunulan karta göre geçirimsizliği değerlendirmek mümkündür.



Şekil 2.26. Tekdüze tipte sönümlenme eğrisinde t_{50} değerinden k' nın tayini (Parez ve Fauriel, 1988)

Parez ve Fauriel (1988) k ve t_{50} arasındaki ortalama ilişkiyi yaklaşık olarak bağıntı (2.40) ile ifade etmişlerdir.

$$k = \frac{1}{(251 \cdot t_{50})^{1.25}} \text{ (cm / s)} \quad (2.40)$$

Zeminlerin geçirirliiği; CPT sınıflandırma kartlarından elde edilen zemin tiplerine bağı olarakta hesaplanabilirler. Tablo 2.9’de Robertson (1990) zemin sınıflandırma abağına bağı olarak geçirirliik katsayıları verilmiştir [5].

Tablo 2.9.CPT zemin sınıflandırma abağına bağı olarak geçirirliik katsayıları (Robertson, 1990).

Bölge	Zemin cinsi	Geçirirliik katsayısı, k (m/sn)
1	Hassas ince daneli	$3 \times 10^{-9} - 3 \times 10^{-8}$
2	Organik zemin-turba	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-6}$
3	Killer; kil-siltli kil	$1 \times 10^{-10} - 1 \times 10^{-9}$
4	Siltli karışımlar; killi silt-siltli kil	$3 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-7}$
5	Kumlu karışımlar; siltli kum-kumlu silt	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$
6	Kumlar; temiz kum-siltli kum	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$
7	Çakıllı kum-kum	$1 \times 10^{-3} - 1$
8	*Çok sıkı kum- killi kum	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-6}$
9	*Çok sert ince daneli	$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-7}$

*Çimentolanmış veya aşırı konsolidasyona uğramış

2.3. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi

Standart ödometre deneyi, Terzaghi tarafından doygun killerin bir boyutlu konsolidasyonu için geliştirilmiş bir deneydir. Ödometrede konsolidasyon deneyi, düşük geçirimli zeminlerin sıkışma özelliklerini belirlemek için kullanılır. Deneyde sıkışma miktarı (sıkışma katsayısı, sıkışma indisi, zorlanma modülü) ve sıkışma hızı (konsolidasyon katsayısı) gibi iki özellik aranır.

2.3.1. Bir boyutlu konsolidasyon teorisi

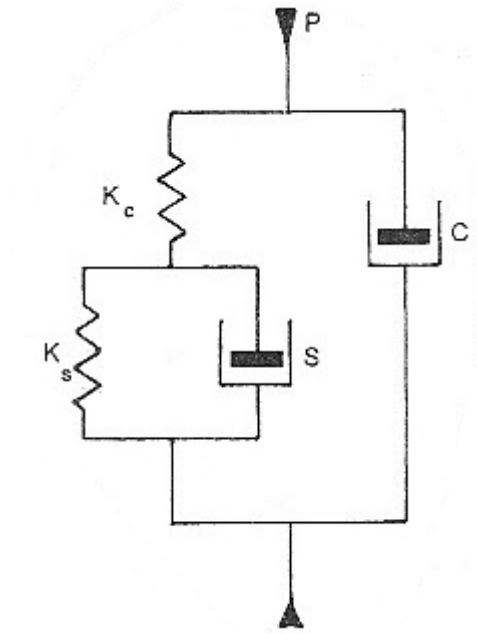
Terzaghi İstanbul’da yaptığı gözlemlerde killerin sıkışmasında en önemli etkenin oluşan fazla boşluk suyu basınçlarının zaman içinde sistem dışına atılması sonucu boşluk hacminde azalma olduğunu farketmiş ve Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon teorisini geliştirmiştir. Bu teoride yapılan temel varsayım tüm killerin %100 doygun

olduğudur. Böylece sıkışmanın, sistemdeki havadan kaynaklanmadığı gerçeği çözüme önemli kolaylık getirmektedir. Teorinin yaptığı onbir kabul aşağıda sıralanmıştır.

- Zemin homojendir.
- Tüm boşluklar sıkışmaz sıvıyla doludur ($S_r = 100\%$), ancak su eriyik gaz içerebilir.
- Danelerin sıkışabilirliği suyunkine oranla ihmal edilebilir.
- Suyun sıkışabilirliği ise zemin iskeletine göre ihmal edilebilir.
- Darcy yasası geçerlidir ($v = k \cdot i$).
- Sıkışmalar ve suyun zeminde hareketi tek yönde oluşur ($k_x = k_y = 0$).
- Sıkışabilirlik ve geçirimsizlik zeminin aldığı gerilme kademesinden bağımsızdır.
- Boşluk oranı efektif gerilmenin fonksiyonu olup zamanla değişmez $e = f(\Delta \sigma_{vo})$.
- Oluşan sıkışmalar kilin ilk kalınlığına oranla küçük olduğundan ortalama özellikler ve ortalama boyutlar kullanılabilir ($\Delta H \ll H_0$).
- Gerilme artışları ani olarak uygulanır.
- Zemin iskeleti hacim değişimine viskoz direnç göstermez (sünme yok).

2.3.2. Konsolidasyon olayının benzetimi (analojisi)

Konsolidasyon olayı çeşitli araştırmacılar tarafından bir reolojik modelle gösterilmeye çalışılmış ve Şekil 2.27’de verilene benzer modeller önerilmiştir. Birinci modelde P yükü uygulandığında S den daha yavaş ilerleyen C amortisörü bu yükün tümünü geçici olarak taşımaktadır. Bu sırada S nin hareketi çok düşük düzeyde kalmakta, sıkışma ancak üsteki yay tümüyle sıkışıp birincil hareket tamamlandıktan sonra devreye girmektedir. İkinci sıkışma bu nedenle birincil hareketin bitimine yakın devreye girmekte ve bundan sonra hız kazanmaktadır [6].



Şekil 2.27. Zemin sıkışması için önerilen fiziksel modellere bir örnek (Önalp, 2007)

2.3.3. Konsolidasyon (ödometre) deneyinde kullanılan tanımlamalar

2.3.3.1. Sıkışma katsayısı

Basınç değişimi sonucu gelişen konsolidasyona bağlı olarak her birim basınca karşı oluşan boşluk oranı değişimi sıkışma katsayısı olarak tanımlanır [12]. Bağıntı (2.41) ile hesaplanır.

$$a_v = -\frac{\Delta e}{\Delta \sigma} \text{ (m}^2/\text{kN)} \quad (2.41)$$

2.3.3.2. Hacimsel sıkışma katsayısı

Bazı durumlarda hacim değişim modülü olarak ta tanımlanır. Basınç değişimi ile gelişen konsolidasyona bağlı olarak, her birim basınç için oluşan birim hacim değişimi hacimsel sıkışma katsayısı olarak tanımlanır [12]. Bağıntı (2.42) ile hesaplanır.

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0} = - \left(\frac{1}{1+e} \right) \frac{\Delta e}{\Delta \sigma} \quad (\text{m}^2/\text{kN}) \quad (2.42)$$

2.3.3.3. Sıkışma indisi

Sıkışma indisi bakir sıkışma eğrisinin eğimi olarak tanımlanır [12]. Bağntı (2.43) ile hesaplanır.

$$C_c = \frac{(e_2 - e_1)}{\log(\sigma_2 / \sigma_1)} \quad (2.43)$$

2.3.3.4. Yeniden sıkışma indisi

Yeniden sıkışma indisi boşaltma-yeniden yükleme doğrusunun eğimi olarak tanımlanır. Kabarma veya şişme indisi olarak tanımlanan C_s yaklaşık olarak yeniden sıkışma indisi (C_r)'ye eşittir [12]. C_r bağıntı (2.44) ile hesaplanır.

$$C_r = \frac{(e_2 - e_1)}{\log(\sigma_2 / \sigma_1)} \quad (2.44)$$

2.3.3.5. Konsolidasyon katsayısı

Konsolidasyon sürecinde fazla boşluk suyu basıncının sönümlenmesini yansıtır. Fazla boşluk suyu basıncının numune boyunca eşit dağılımı varsayılarak çift yönlü drenajla konsolidasyon bağıntı (2.45) ile hesaplanabilir.

$$c_v = 0.197 \frac{(H/2)^2}{t_{50}} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2.45)$$

$$c_v = 0.848 \frac{(H/2)^2}{t_{90}} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

Tek yönlü drenaj koşullarında ise bağıntı (2.46) kullanılarak konsolidasyon katsayısı hesaplanabilir.

$$c_v = 0.104 \frac{(H)^2}{t_{50}} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$c_v = 0.720 \frac{(H)^2}{t_{90}} \text{ (m}^2/\text{s)}$$
(2.46)

Bağıntı (2.45) ve (2.46)'de; H numune yüksekliği, t_{50} sıkışma-log zaman eğrisi üzerinde %50 konsolidasyonun tamamlandığı süre, t_{90} sıkışma-karakök zaman eğrisi üzerinde %90 konsolidasyonun tamamlandığı süre olarak alınır.

Konsolidasyon katsayısına bağlı olarak düşey yönde geçirimsizlik katsayısı bağıntı (2.47) ile hesaplanır [6].

$$k_v = c_v m_v \rho_w g$$
(2.47)

2.4. Düşen Düzeyli Permeametre Deneyi Literatür Bilgileri

Düşen düzeyli permeametre deneyi tüm killer ve killerin siltlerle karışımlarında uygulanır. Kararlı akım koşulu sağlandığında debiler aşağıdaki gibi eşitlenebilir.

$$dQ = -a \cdot dh = Ak \frac{h}{l} dt$$
(2.48)

Bağıntı (2.49)'de taraf değiştirilip entegrasyon yapılırsa aşağıdaki bağıntıya ulaşılır.

$$\int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} = -\frac{k}{L} \frac{A}{a} \int_{t_1}^{t_2} dt$$
(2.49)

Bağıntı (2.50)'ten de aşağıdaki bağıntıya ulaşılır.

$$\ln h_1 - \ln h_2 = -\frac{kA}{La} (t_2 - t_1)$$
(2.50)

Buradan da geçirimsizlik katsayısı bağıntı (2.51) ile bulunur.

$$k=L \frac{a}{A} \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (2.51)$$

Bağıntı (2.51)'de; A zeminin enkesit alanı (akış yönüne dik) dir, a cam boru (hortum) enkesit alanı, L örnek uzunluğu, h_1 başlangıçtaki su yüksekliği, h_2 t_2 zamanı sonundaki su yüksekliği, t_1 deney başlangıç zamanı, t_2 deney sonu zamanıdır [6].

BÖLÜM 3. KULLANILAN YÖNTEM VE DENEY ALETLERİ

Bu çalışma; arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri olmak üzere iki yönlü olarak sürdürülmüştür. Bu kapsamda inceleme alanı olan Sakarya İli Adapazarı ilçesi Yağcılar Mahallesinde benzin istasyonu yanı ve halısaha yanı olarak tariflenen birbirine yakın iki noktada 10 m derinlikli CPTU deneyleri yapılmıştır. Benzin istasyonu yanı olarak adlandırılan alanda yapılan CPTU deneyi CPTU-1, halısaha yanı olarak adlandırılan alanda yapılan CPTU deneyi CPTU-2 deneyi olarak isimlendirilmiştir.

Tübitak 106M042 projesi kapsamında çalışma alanlarımızda daha önceden sondaj yapılmıştır. Tübitak 106M042 projesinde benzin istasyonu yanı olarak adlandırılan alanda yapılan sondaj kuyusuna SYA02S1, halısaha yanı olarak adlandırılan alanda yapılan sondaj kuyusuna SYA01S1 isimleri verilmiştir. SYA02S1 sondaj kuyusundan 1.5-2.0 m, 2-2.5 m, 2.5-3.0 m derinliklerinde, SYA01S1 sondaj kuyusundan 1.5-2.0 m, 2.70-3.25 m, 5.0-5.5 m derinliklerinde örselenmemiş numuneler alınmıştır. Tüm numunelere laboratuvarında indeks deneyleri (özgül ağırlık, doğal su muhtevası, kıvam limitleri, hidrometre deneyi) yapılmıştır. SYA02S1 numaralı sondaj kuyusundan alınan örselenmemiş numunelere konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. SYA01S1 numaralı sondaj kuyusundan alınan örselenmemiş numunelere düşen düzeyli permeametre deneyleri yapılmıştır.

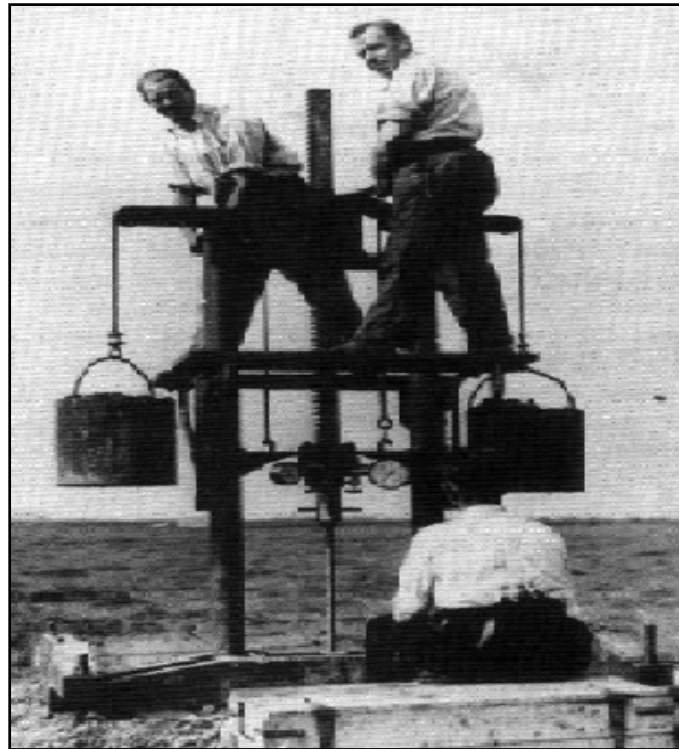
CPTU deneyi esnasında örselenmemiş numunelerin alındığı aynı derinliklerde sönümlenme deneyleri yapılmıştır.

Sönümlenme deneylerinden elde edilen konsolidasyon karakteristikleri ile laboratuvar deneylerinden elde edilen konsolidasyon karakteristikleri karşılaştırılmıştır.

3.1. Arazi Çalışmaları

3.1.1. Koni penetrasyon deneyi (CPTU)

Konik bir penetrometrenin tijler aracılığı ile zemine sokulması prensibine dayanan ilk deney yöntemleri 20. yüzyılın başlarında kullanılmıştır. Bugünkü anlamda CPT ise İsveç Demiryolları İşletmesi tarafından 1917 de geliştirilmiştir. CPT, 1927 de Danimarka'da, 1934 den sonra da Hollanda'da geliştirilerek kullanılmıştır (Şekil 3.1). Hollanda'daki yumuşak delta çökelleri için uygunluğu nedeni ile bu ülkede gelişme olanağı bulmuş ve kuma çakma kazıkların kazık kapasitesinin dolaysız hesaplanmasında kullanılmıştır. 1950'li yıllardan sonra kıta Avrupa'sından İngiltere, ABD ve dünyanın diğer bölgelerine yayılmıştır. Türkiye'de 1970'li yıllarda kullanılmaya başlanmış ve 1990'lı yıllarda yaygınlaşmıştır [13].



Şekil 3.1.1940'lı yıllarda CPT sistemi (Delft Geotechnics)

CPT'ler konik kısmın tasarımına bağlı olarak; mekanik CPT, elektrik-elektronik CPT, boşluk suyu basıncı ölçen CPTU, sismik ölçü alan SCPT çeşitleri vardır. Tablo

3.1’de koninin tasarımına bağı olarak ölçülebilen parametrelerle, deney tasarım isimlendirmeleri verilmiştir [14].

Tablo 3.1 Koninin tasarımına bağı olarak ölçülebilen parametrelerle, deney tasarım isimlendirmeleri (Mayne, 2000).

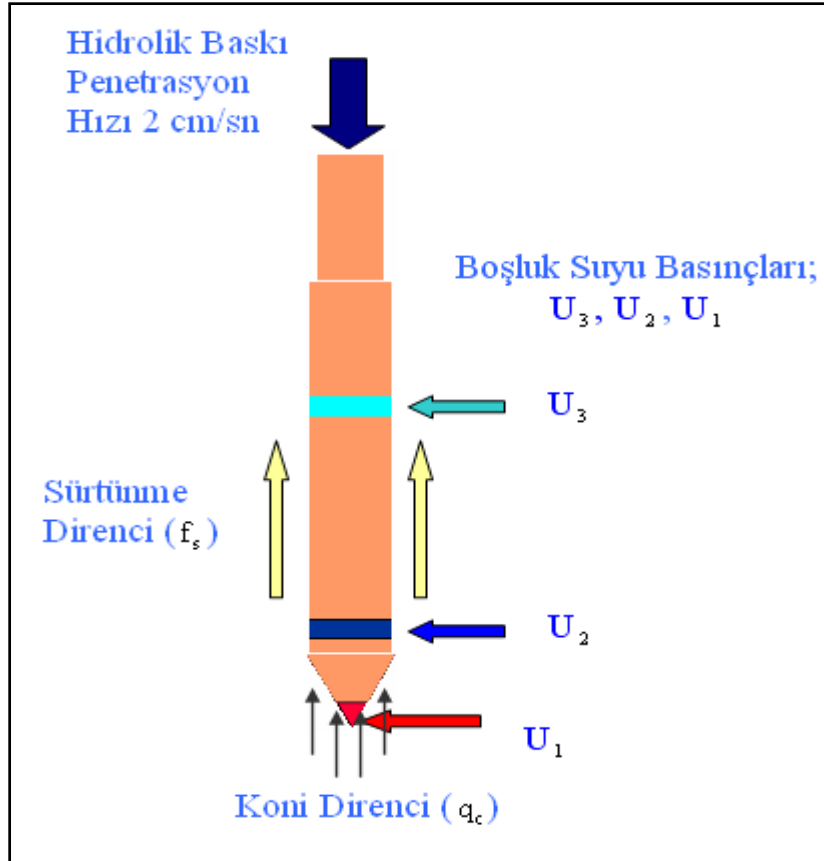
Deney Tasarımı	Ölçülebilen Parametre Sayısı	Ölçülen Parametreler
CPT	2	q_c, f_s
SCPT	4	q_c, f_s, v_p, v_s
CPTU (PCPT)	3	q_c, f_s, u
CPTU (PCPT/d) Sönümlenme	3	$q_c, f_s, u, \text{zaman etkisi}$
SCPTU (SPCPT)	5	q_c, f_s, u, v_p, v_s
RCPT	3	$q_c, f_s,$ rezistivite(konduktivite)
VisCPT	4	$q_c, f_s, \text{foto, video}$

Günümüzde elektronik CPT'lere boşluk suyu basıncı ölçme aygıtları ilave edilmesi ile geliştirilen ölçüm sistemine piyezokoni (CPTU) adı verilmektedir. Piyezokoni uygulamalarında deneye başlamadan önce suya doygunluk sağlanmalıdır. Bunun için konik uç içindeki havanın alınması ve montajın su içersinde yapılması gerekmektedir. Boşluk suyu basıncı ölçerler tasarıma bağı olarak koninin farklı yerlerinde olabilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Piyezokoniler (Mayne vd., 1995)

Koni Penetrasyon deneyinde hidrolik baskı, tijlerle birlikte konik ucu zemine iter. Konik uc zemin içersinde 20 mm/sn gibi değişmez bir hızda itilirken ucunun ve çevre yüzeyinin gördüğü dirençler ve karşılaşılan boşluk suyu basınçlarının ölçülmesine dayanan bir deney yöntemidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. CPTU sisteminin genel çalışma prensibi

CPTU, özellikle yumuşak/gevşek ince daneli zeminlerden çakıl boyutundaki iri daneli zeminlere kadar kesit boyunca karşılaşılan zemin tabakalarında zemin özelliklerinin örselenme olmaksızın yerinde belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Deneyin temel amacı zemin profilinin tanımlanması, zemin tabakalarının geoteknik özelliklerinin ve tasarıma yönelik parametrelerin ölçüm sonuçlarından belirlenmesidir [15].

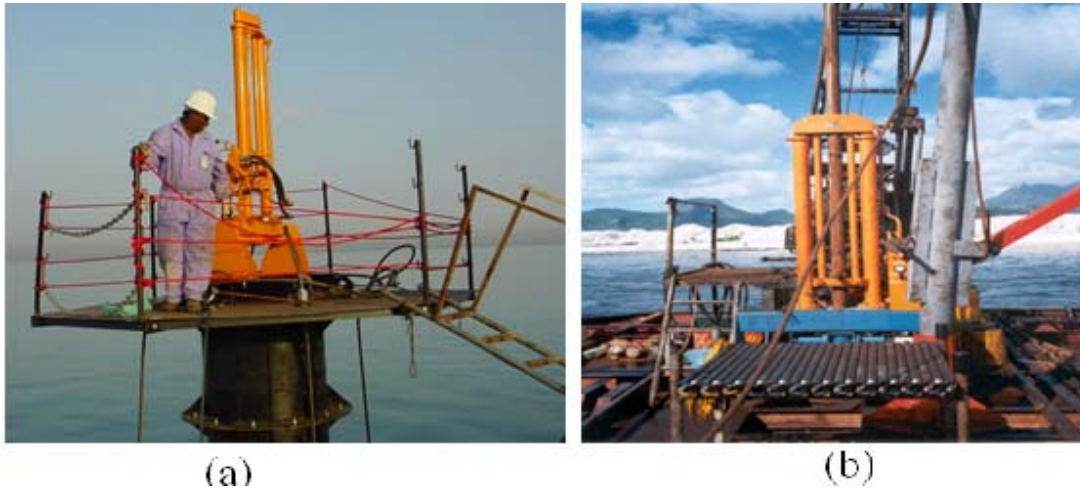
Koni penetrasyon deneyi ekipmanlarının karada ve su altında çalışmaya uygun sistemleri mevcuttur. Karada arazi şartlarının uygunluğuna göre; CPT ekipmanı kamyonu monte edilmiş veya paletli bir sisteme monte edilmiş olarak

kullanılmaktadır (Şekil 3.4.a,b).



Şekil 3.4.a. Paletli sisteme monte edilmiş CPT ekipmanı (Van Der Berg Track Rig.)
b. Kamyona monte edilmiş CPT ekipmanı (Fugro Geosciences)

Su altında (deniz, göl, nehir v.b.) CPT ekipmanları bir tekne veya platform üzerine monte edilerek kullanılabilir (Şekil 3.5.a,b).



Şekil 3.5. a. Platform üzerine monte edilmiş CPT ekipmanı (Caspian Geoservices Ltd.)
b. Tekne üzerine monte edilmiş CPT ekipmanı (Caspian Geoservices Ltd.)

3.1.2. Sönümlenme deneyi

CPTU’da penetrasyonun herhangi bir aşamasında penetrasyon durdurulduğunda koni etrafında oluşmuş fazla boşluk suyu basınçları sönümlenmeye başlayacaktır. Bir

sönümlenme deneyi, istenen derinlikte, penetrasyonun durdurulmasının ardından boşluk suyu basınçlarının (u) zamana bağlı olarak ölçümüyle yapılır. CPTU deneyinde kullanılan filtrenin yerine göre u değişkeni 1, 2 veya 3 indislerinden birini alarak “ u_1 , u_2 veya u_3 ” şeklinde ifade edilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Boşluk suyu basıncı ölçümü için filtrenin koni üzerinde farklı konumları (Önalp ve diğ., 2008)

Boşluk suyu basınçlarının sönümlenme oranı koni tijlerinin kilitlenip kilitlenmediğine ve penetrasyonun durup durmadığına bağlı olabilir. Tijler sabit tutturulsalar bile, bunların içinde gelişen elastik deformasyon enerjisinden ve koni yükünün azalmasından dolayı çok yavaş da olsa hareket halinde olabilir. Söz konusu hareket konik ucun etrafındaki zeminde toplam gerilmeyi değiştirebilir. Buda boşluk suyu basıncının zamana bağlı olan dağılımını etkiler. Bu olumsuz durumun daha çok koni üzerine takılan (u_1) filtrelerde önemli boyutlarda olabileceği düşünülmektedir. Sönümlenmede tüm zeminler için deneye, sönümlenmenin belirli bir periyoduna, bazen de önceden belirlenmiş bir sönümlenme oranına ulaşıncaya kadar devam edilir [8].

3.1.3. Arazide uygulama

CPTU çalışmalarında Sakarya Üniversitesi'ne ait 200 kN kapasiteli CPT aleti kullanılmıştır. Bu ekipman Geotech firması tarafından İsveç'te üretilmiştir. Tablo 3.2'de kullanılan ekipmanın özellikleri özetlenmektedir.

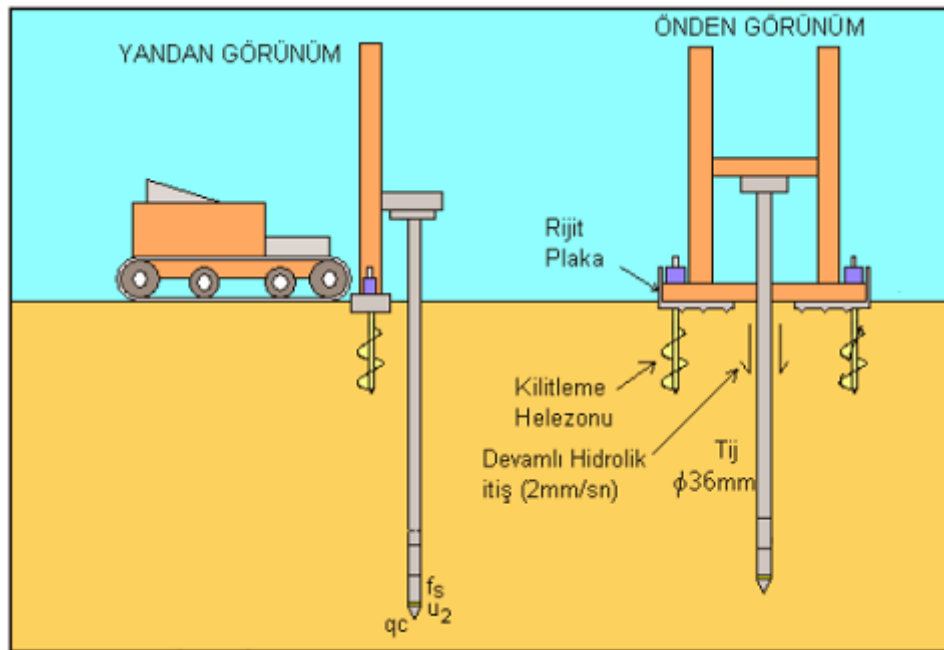
Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan CPTU ekipmanının özellikleri

Koni uc alanı	10 cm ²	Tij değiştirme uzunluğu	100 cm
Koni tepe açısı	60°	Güç kaynağı	6 alkalin pil (19 saat)
Sürtünme alanı	150 cm ²	q_c	50 MPa
Koni alan oranı, a	0.58	f_s	0.5 MPa

Tablo 3.2.(Devam). Çalışmada kullanılan CPTU ekipmanının özellikleri

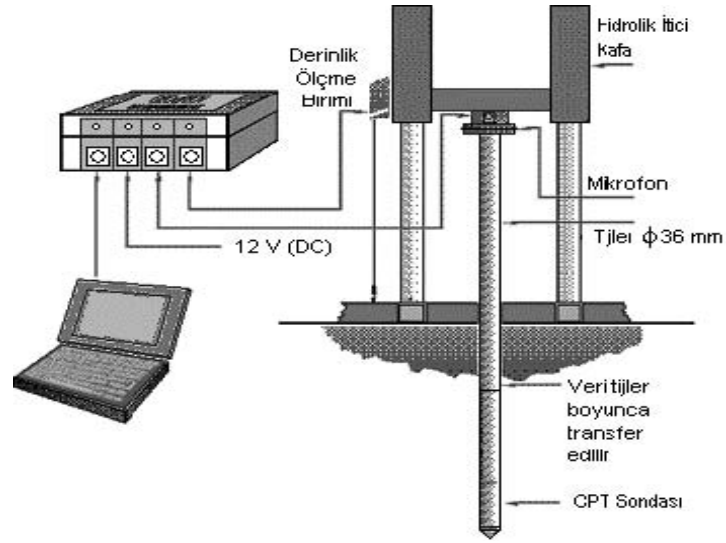
Sürtünme göm. alan oranı, b	0.014	u	2.5 MPa
Penetrasyon hızı	2 cm/s	$q_c + f_s + u$	Ses dalgası ile veri transferi
Ölçüm aralığı	Her 2 cm	$q_c + f_s + u + V_s$	Kablo ile veri transferi

Kullanılan koni penetrasyon aleti paletli bir sistem üzerine monte edilmiştir. Deneyin yapılacağı alana getirilen araç, helezon şeklindeki ankrajlar vasıtasıyla zemine sabitlendikten sonra sonda zemine itilmeye başlanır (Şekil 3.7). Kullanılan tijlerin boyları 1 m olup, inilecek derinlik zeminin göstereceği dirence göre 0-30 m arasında değişebilir [2].



Şekil 3.7. CPTU ekipmanının arazide önden ve yandan görünümü (Önalp ve diğ., 2007)

Son yıllarda geliştirilen kablosuz (akustik) CPT sisteminde, ölçülen değerler bir mikro işlemci tarafından ses sinyaline çevrilerek yüzeye yollanmaktadır. Bu sinyal sondanın bağlandığı mikrofondan algılanarak ara bağlantısı yapılmış veri toplayıcıya aktarılmaktadır (Bkz.Şekil 3.8). Veri toplayıcıda aynı zamanda sinyallerin gönderildiği derinliğin kaydı yapılmaktadır [3]. Çalışma kapsamında kullanılan CPTU'da kablosuz (akustik) CPTU sistemidir.



Şekil 3.8. Kablosuz CPT sistemi (Önalp ve diğ., 2006)

Çalışma alanı olan Sakarya İli Adapazarı ilçesi Yağcılar Mahallesi'nde CPTU çalışmalarına ait görüntüler Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9. Çalışma alanlarına ait fotoğraflar

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

3.2.1. İndeks deneyleri

Çalışma alanından alınan örselenmemiş numunelerin doğal su muhtevası değerlerini bulabilmek için 100-150 gram kadar numune alınıp yaş ağırlıkları tartılmıştır. Bu numuneler 24 saat 105°C sıcaklıklı etüvde bekletilerek kurutulmuştur. Etüvden

Çıkarılan numunelerin kuru ağırlıkları tartılmıştır. Doğal su muhtevası değerleri kuru ve yaş ağırlıkları kullanılarak hesaplanmıştır (şekil 3.10).



şekil 3.10. Doğal su muhtevasının belirlenmesine ait resimler

Likit limitin belirlenmesinde birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri, Casagrande yöntemidir. Bu yöntemde Casagrande tarafından önerilen standart likit limit aleti kullanılır. Sondaj numunelerinden örnekler alınıp Casagrande yöntemiyle likit limit değerleri belirlenmiştir (şekil 3.11).



şekil 3.11. Casagrande yöntemiyle likit limitin belirlenmesine ait resimler

Likit limit koni düşürme (penetrasyon) yöntemiyle de belirlenir. Sondaj numunelerinin bir kısmının likit limit değeri de koni düşürme yöntemiyle belirlenmiştir (Bkz. şekil 3.12).



Şekil 3.12. Koni düşürme (penetrasyon) yöntemi ile likit limit belirlenmesine ait resimler

Sondaj numunelerinden bir miktar alınarak tüm örneklerin plastik limit değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Plastik limitin belirlenmesine ait resimler

İnce daneli olan zeminlerimizin özgül ağırlıklarını belirlemek için piknometre denen damla biçimli hacim şişeleri kullanılmaktadır. Özgül ağırlık deneyi çalışmalarına ait görüntüler Şekil 3.14'de görülmektedir.



Şekil 3.14. Özgül ağırlık deneylerine ait resimler

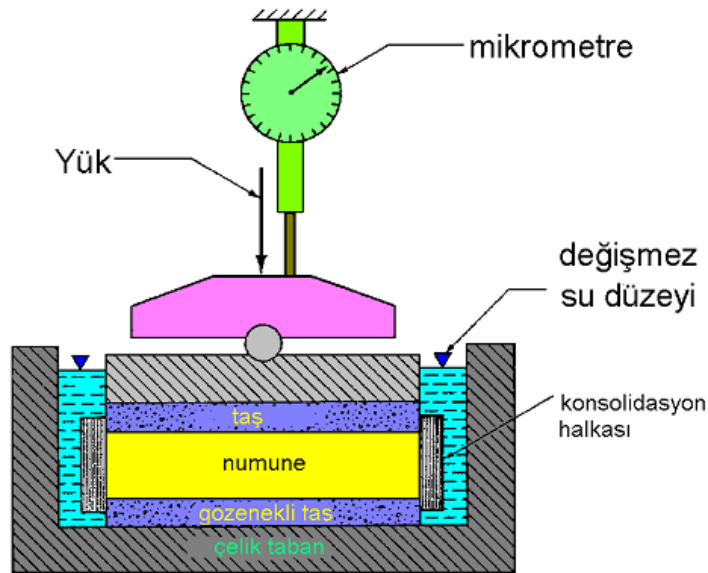
Silt ve kil boyutlu daneler çok küçük olduklarından eşdeğer çapları ancak dolaylı olarak ölçülebilir. Dolaylı ölçüm yöntemlerinden biri de hidrometre deneyidir. Hidrometre deneyinde en önemli husus numunelerin deneye gereken şekilde hazırlanmasıdır. Hidrometre deneyi çalışmalarına ait resimler Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15. Hidrometre deneyine ait resimler

3.2.2. Konsolidasyon (ödometre) deneyi

Bir zeminin konsolidasyon özelliklerini (m_v , c_v , a_v , C_c , C_r , C_s vb.) belirlemek için yapılan deneylere konsolidasyon (ödometre) deneyleri denir. Konsolidasyon deneyi için ucu keskin çelik halka içersine örselenmemiş zemin numunesi yerleştirilir. Ucu keskin çelik bir halka içindeki zemin örneği konsolidasyon aletine yerleştirilir. Çelik halkanın çapı 50-100 mm, yüksekliğide 18-50 mm vb. olabilir. Çelik halka zemin örneğinin yanal deformasyonunu önler, sıkışma (oturma) sadece düşey doğrultuda olur. Buna bir boyutlu konsolidasyon denir. Zemin örneğinin alt ve üst yüzlerine suyun çıkmasına olanak sağlamak üzere gözenekli taşlar yerleştirilir. Deney süresince numunenin suya doygun kalmasına dikkat edilmelidir [12] (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Ödometre hücresinin kesit görünümü (Önalp, 1997)

Yükleme değişik yük kademelerinde yapılır. Uygulanan kademe değerleri; 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 vb. kPa olarak seçilir. Her kademede, kademe başlangıcından itibaren belli süreler sonunda (0, 6 sn, 12 sn, 30 sn, 1 dk, 2 dk, 4 dk, ...) oturma değerleri deformasyon saatleri ile gözlenerek kaydedilir. Her kademede oturmalar sona erene kadar (24 saat vb.) beklenir. Yüklemeye bittikten sonra boşaltma yapılır ve benzer işlemler uygulanır [16].

Konsolidasyon deneyinde elle not alınan standart 15, 30, 60 s okumaları t_{50} ve t_{90} değerlerini hesaplamak için yeterli olmamıştır. Her saniye için okuma alan data logger (autonomous data acquisition unit) kullanılmıştır. Şekil 3.17' de konsolidasyon deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Konsolidasyon (ödometre) deney düzeneği

3.2.3. Düşen düzeyli permeametre deneyi

Örselenmemiş numune tüplerinden (UD tüp) çıkartılan zemin silindirik metal kap (iç çapı 4-20 cm vb., boyu 8-30 cm vb.) içersine örselenmeden yerleştirilir. Numuneler deneye başlamadan önce doygun hale getirilmelidir. Zemin danelerinin akan suyla sürüklenip gitmesini engellemek için zemin örneğinin alt ve üst yüzeylerine filtre yerleştirilir. Zemin numunelerinin doygun hale geldiğini anlamak için; numunelerin içinde bulunduğu plaka ters çevrilerek plaka üzerindeki deliklerden suyun gelmesi beklenir. Numunelerin içinde bulunduğu plaka ters çevrildiğinde silindirik metal kaplar içinden numunenin düşmesini önlemek için aradaki boşluklara küçük yaylar yerleştirilmektedir (Bkz.Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Permeametre numunelerinin doygun hale getirilmesi

Doygun haldeki numuneler; permeametre düzeneğinde yer alan içersi su dolu kaba yerleştirilir. Zemin cinsine göre seçilen uygun enkesitteki saydam bir boru veya hortum zemin örneği üzerine takılır. Permeametre sistemi içerisinde en tepede yer alan su haznesi doldurulur. Saydam borunun bir ucu zemin numunesine diğer ucu su haznesine bağlanır. Borular içerisinde hava boşluklarının olmamasına dikkat edilmeli, kararlı akış elde edilmelidir. Borunun tepedeki su haznesiyle bağlantısı kesildiğinde kronometre çalıştırılır. Belirli zaman aralıklarında borulardaki su düşüşü permeametre sistemindeki metreden okunarak kaydedilir. Deney başında ve sonundaki su yükseklikleri ile arada geçen zaman ve enkesit alanlarından zeminin geçirimsizlik katsayısı hesaplanır.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde; laboratuvar ve arazi deney sonuçları sunulmuş, laboratuvar deney sonuçlarıyla arazi deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda literatürde var olan bağıntılar ve çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Bazı değerlerin bulunuşunda farklı araştırmacılara ait farklı formüllerin kullanımı tercih edilmiştir. Bu da bazı hesaplamaların farklı veya bir birine yakın sonuçlar elde edilmesine sebep olmuştur. Örneğin rijidite indisinin hesaplanmasında literatürde var olan dört ayrı formül kullanılmış, her biri farklı sonuçlar vermiştir.

4.1. Laboratuvar Deney Bulguları

4.1.1. İndeks deneylere ait bulgular

Numunelere ait özgül ağırlık deney sonuçları Tablo 4.1’de görülmektedir. Özgül ağırlık deneyine ait hesaplamalar EK A’da Tablo A.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Özgül ağırlık deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	G _{s1}	G _{s2}	G _s ortalama
SYA01S1	1.5-2.0	2.674	2.671	2.67
	2.70-3.25	2.685	2.690	2.69
	5.0-5.5	2.661	2.641	2.65
SYA02S1	1.5-2.0	2.629	2.633	2.63
	2.0-2.5	2.659	2.658	2.66
	2.5-3.0	2.635	2.637	2.64

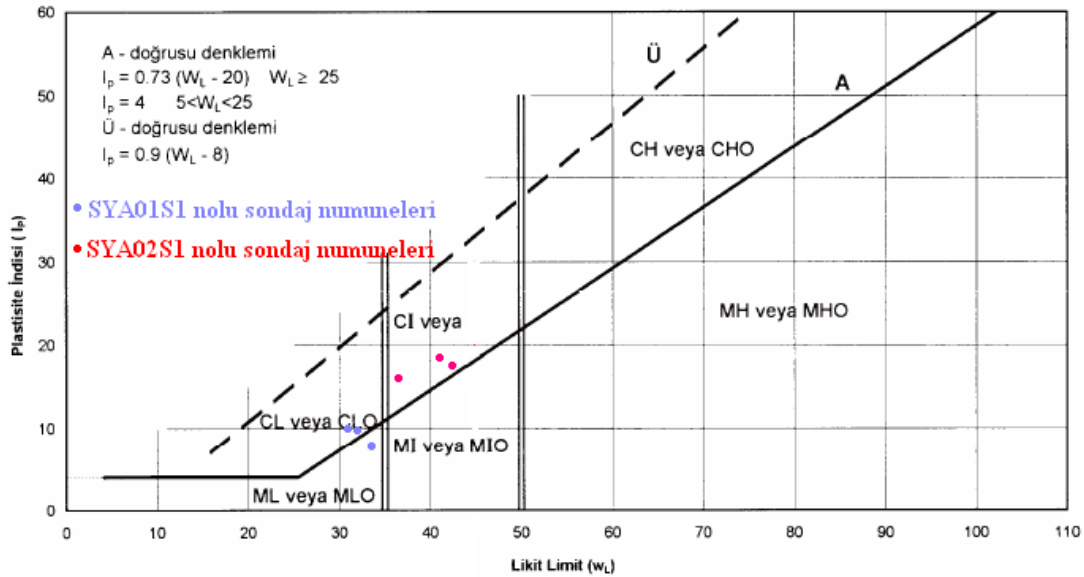
Numunelerin doğal su muhtevaları, likit limit değerleri, plastik limit değerleri ve plastisite indisi değerleri Tablo 4.2’de görülmektedir. Sondaj kuyu numarası SYA02S1 olan numunelerin likit limit değerleri Casagrande ve düşen koni yöntemine göre iki farklı yoldan bulunmuştur. Bu deneylere ait hesaplamalar EK A’da Tablo A.2’de verilmiştir. Casagrande ve düşen koni yönteminde likit limit

değerinin bulunuşu için çizilen grafikler Ek A'da Şekil A.1 ile Şekil A.8 arasında verilmiştir.

Tablo 4.2. Kıvam limit değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	w_n	w_L		w_p	I_p
			Casagrande	Düş. koni		
SYA01S1	1.5-2.0	26%	32.5%	-	23%	0.10
	2.70-3.25	27%	34%	-	26%	0.08
	5.0-5.5	28%	32%	-	22%	0.10
SYA02S1	1.5-2.0	27%	38%	38.5%	20%	0.18
	2.0-2.5	36%	41%	42%	22%	0.19
	2.5-3.0	39%	40%	44%	25%	0.15

Plastisite kartı; ince daneli zeminlerin tanımlanması için deneysel olarak geliştirilmiştir [17]. Plastisite indisi ve likit limit değerleri kullanılarak TSE 1500/2000'de plastisite kartına göre numunelerimizin düştüğü bölgeler noktalanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. TSE 1500/2000 plastisite kartına göre numunelerin zemin grubu

Hidrometre deneyi ile numunelerin dane dağılım grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler EK A'da Şekil A.3'de verilmiştir. Hidrometre deneyine ait hesaplamalarda EK A'da Tablo A.3'de verilmiştir. Buna göre TSE 1500/2000'e göre zemin sınıfı; SYA02S1 kuyusundan alınan 1.5-2.0 m derinlikteki numune için CI, orta plastisiteli kil ve az

kum, 2.0-2.5 m ile 2.5-3.0 m derinliklerden alınan numuneler CI, orta plastisiteli kil sınıfına girmektedir. SYA01S1 kuyusundan alınan 1.5-2.0 m numune CL, düşük plastisiteli kil ve az kum, 5.0-5.5 m derinliklerdeki numuneler CL, düşük plastisiteli kil, 2.70-3.25 m derinlikteki numune ML, düşük plastisiteli silt ve az kum sınıfına girmektedir.

4.1.2. Konsolidasyon deneylerine ait bulgular

Sondaj nosu SYA02S1 olan kuyudan alınan üç adet örselenmemiş numunede konsolidasyon (ödometre) deneyi yapılmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon hesaplamaları EK A'da Tablo A.4'de verilmiştir. Konsolidasyon verileri kullanılarak; e - $\log \sigma'$ grafikleri ve arazi sıkışma eğrileri çizdirilmiştir. Bu grafikler EK A'da Şekil A.15 ile Şekil A.20 arasında verilmiştir. Bu grafiklerde kullanılarak Tablo 4.3'deki değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 4.3. Konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen bazı parametreler

Sondaj No	Derinlik (m)	e_0	σ_c' (kPa)	OCR	100-200 kPa		200-400 kPa		C_r	C_c
					a_v (m^2/kN)	m_v (m^2/kN)	a_v (m^2/kN)	m_v (m^2/kN)		
SYA02S1	1.5-2.0	0.781	160	10	4.11E-04	2.42E-04	2.75E-04	1.66E-04	0.040	0.286
	2.0-2.5	1.001	175	10	3.90E-04	2.05E-04	2.29E-04	1.23E-04	0.031	0.301
	2.5-3.0	1.021	160	7	6.13E-04	3.22E-04	3.70E-04	2.02E-04	0.024	0.376

200 ve 400 kPa gerilme artışları için; karekök zaman-oturma değerleri ve logaritma zaman-oturma değerleri grafik olarak çizdirilmiştir. Bu grafikler EK A'da Şekil A.21 ile Şekil A.32 arasında verilmiştir. Karekök zaman-oturma grafiklerinden 200 ve 400 kPa gerilme artışları için t_{90} değerleri elde edilmiştir. Logaritma zaman-oturma

grafiklerinden 200 ve 400 kPa gerilme artışları için t_{50} değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	200 kPa		400 kPa	
		t_{50} (s)	t_{90} (s)	t_{50} (s)	t_{90} (s)
SYA02S1	1.5-2.0	270	1500	480	960
	2.0-2.5	240	406	300	540
	2.5-3.0	264	960	240	735

200 ve 400 kPa’lık gerilme artışları için karekök zaman yöntemi ve logaritma zaman yönteminden elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri kullanılarak düşey konsolidasyon katsayıları ve yine bu deney sonuçlarından elde edilen geçirimsizlik katsayıları Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Konsolidasyon ve geçirimsizlik katsayıları

Sondaj No: SYA02S1								
Derinlik (m)	200 kPa				400 kPa			
	t_{50} ile		t_{90} ile		t_{50} ile		t_{90} ile	
	c_v (cm ² /s)	k (cm/s) Bağıntı 2.66’dan	c_v (cm ² /s)	k (cm/s) Bağıntı 2.66’dan	c_v (cm ² /s)	k (cm/s) Bağıntı 2.66’dan	c_v (cm ² /s)	k (cm/s) Bağıntı 2.66’dan
1.5-2.0	6.58E-04	1.56E-08	5.10E-04	1.21E-08	3.70E-04	6.03E-09	7.97E-04	1.30E-08
2.0-2.5	8.21E-04	1.65E-08	2.09E-03	4.20E-08	6.57E-04	7.92E-09	1.57E-03	1.89E-08
2.5-3.0	6.73E-04	2.13E-08	7.97E-04	2.52E-08	7.41E-04	1.47E-08	1.04E-03	2.06E-08

4.1.3. Düşen düzeyli permeametre deneylerine ait bulgular

Sondaj nosu SYA01S1 olan kuyudan alınan üç adet örselenmemiş numunede düşen düzeyli permeametre deneyi yapılmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan hesaplamalar EK A’da Tablo A.5’de verilmiştir. Geçirimsizliğin deney esnasında

zamanla gösterdiği değişimi görmek için deney numarası-geçirimsizlik grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler EK A'da Şekil A.33 ile Şekil A.35 arasında verilmiştir. Deney sonucunda elde edilen; numunelere ait geçirimsizlik katsayıları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Düşen düzeyli permeametre deneyinden elde edilen geçirimsizlik katsayıları

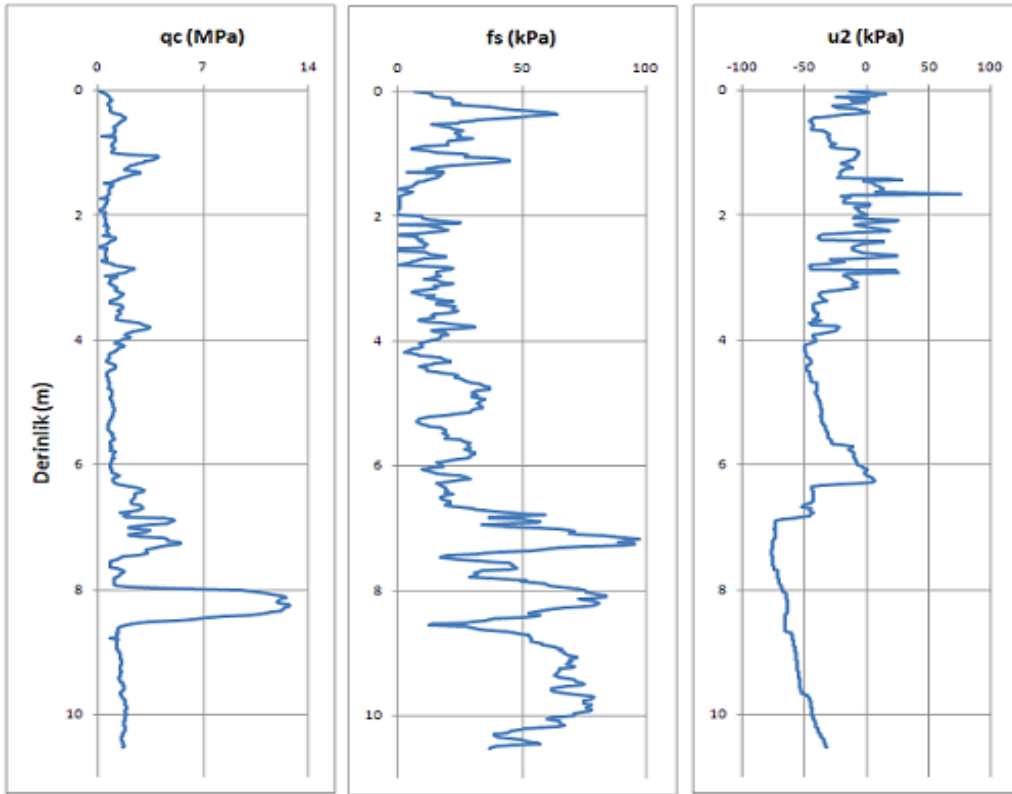
Sondaj No	Derinlik (m)	k (cm/s)
SYA01S1	1.5-2.0	1.93E-07
	2.70-3.25	7.60E-06
	5.0-5.5	2.09E-06

4.2. Arazi Deneyi Bulguları

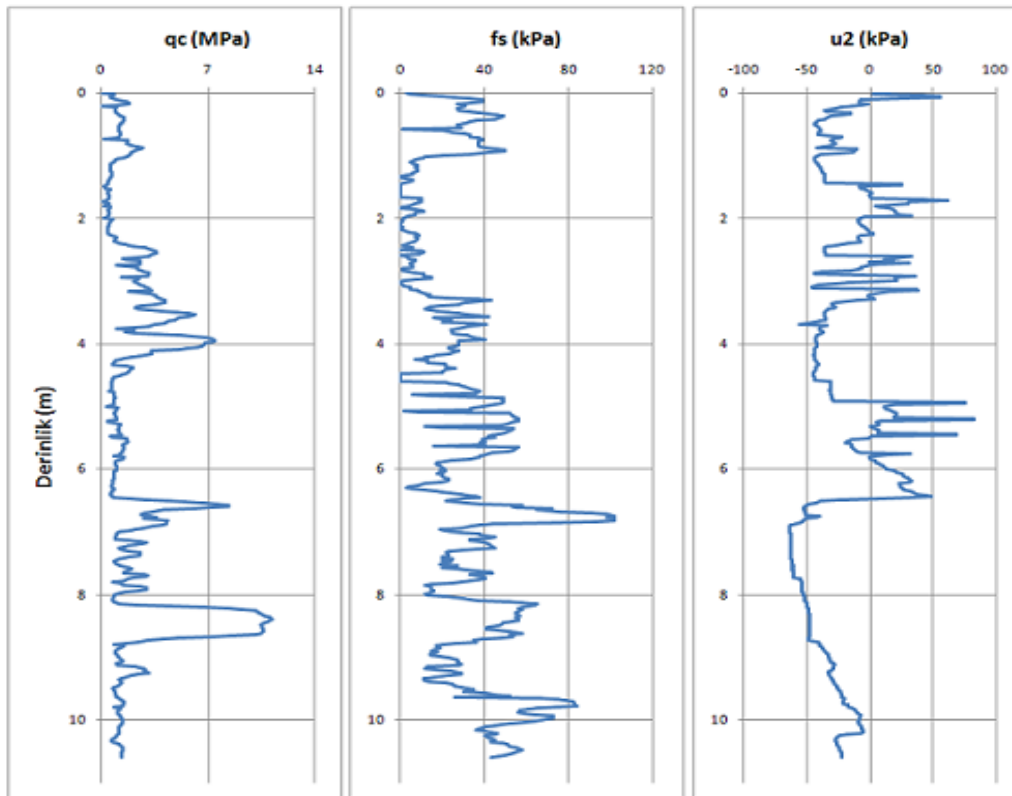
4.2.1. CPTU deneyi bulguları

CPTU-1 ve CPTU-2 olarak isimlendirilen koni penetrasyon deneylerinden elde edilen; inceleme derinliklerine ait u_2 , q_c , f_s değerleri ve bu değerlerden hesaplanan parametreler EK B'de Tablo B.1'de verilmiştir.

CPTU-1 ve CPTU-2 deneylerinde zemin profili boyunca; q_c , f_s , u_2 değerlerinin değişimi Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.

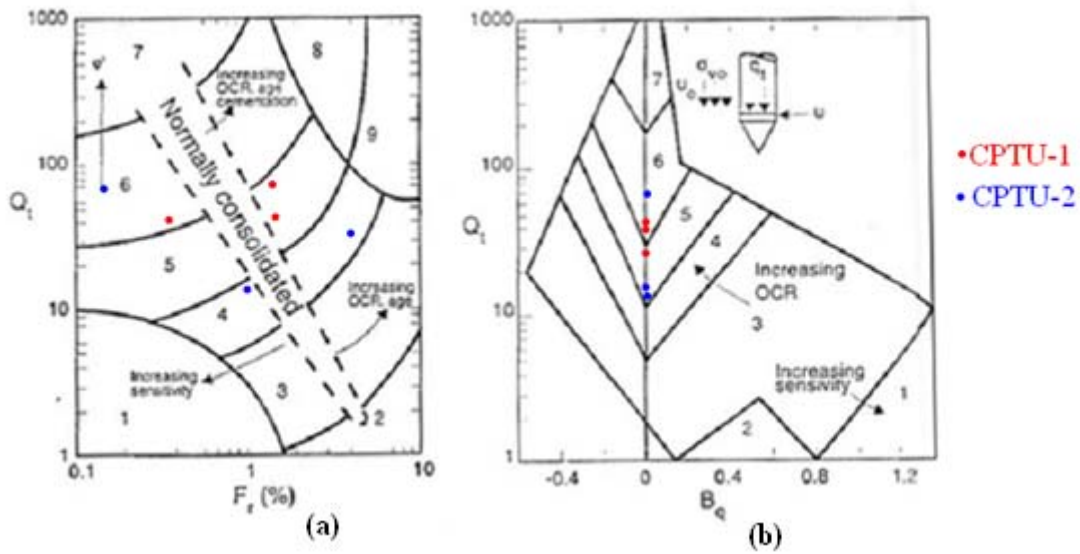


Şekil 4.2. CPTU-1'e ait q_c , f_s , u_2 değerlerinin zemin profili boyunca değişimi

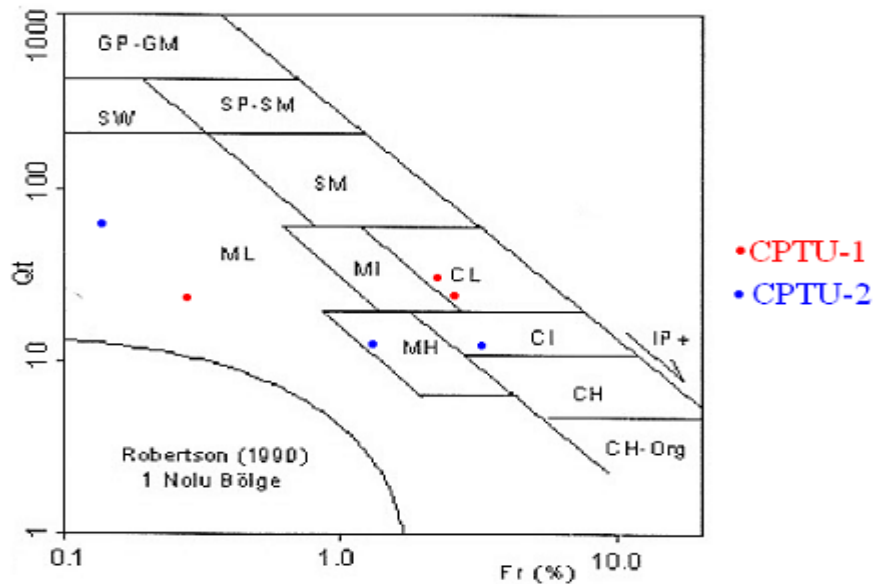


Şekil 4.3. CPTU-2'e ait q_c , f_s , u_2 değerlerinin zemin profili boyunca değişimi

Robertson (1990)'a göre zemin sınıfını belirlemek için Q_t - B_q ve Q_t - F_r (%) abaklarında CPTU-1 ve CPTU-2 değerleri noktalanmıştır (Şekil 4.4a, b) Bol ve diğ. (2003)'e göre TS1500/2000 zemin sınıflandırma kartında Q_t - F_r (%)'e göre CPTU-1 ve CPTU-2 değerleri noktalanarak zemin sınıfları belirlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4.a. Robertson (1990)'a göre Q_t - F_r (%) abağında CPTU-1 ve CPTU-2 değerlerinin noktalanması
 b. Robertson (1990)'a göre Q_t - B_q abağında CPTU-1 ve CPTU-2 değerlerinin noktalanması



Şekil 4.5. Bol ve diğ. (2003)'e göre Q_t - F_r (%) abağında CPTU-1 ve CPTU-2 değerlerinin noktalanması

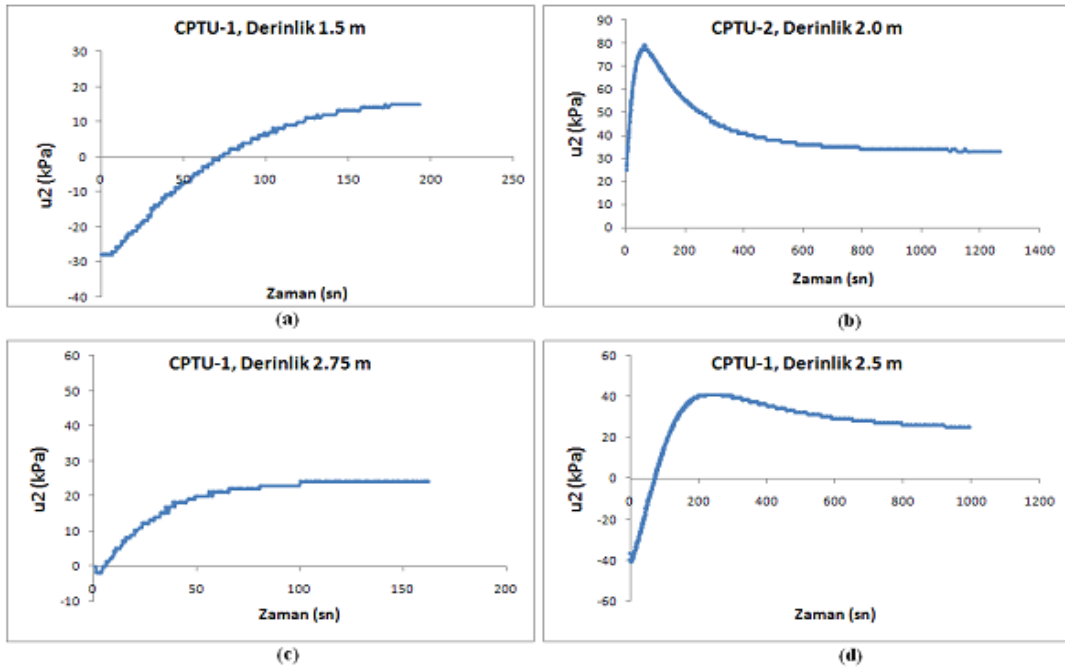
Robertson (1990)'a göre Q_t-B_q ve Q_t-F_r (%) abaklarında noktalan CPTU-1 ve CPTU-2 değerleri için bölge numaraları ve zemin sınıfları ile Bol ve diğ. (2003)'e göre Q_t-F_r (%) abaklarında noktalan CPTU-1 ve CPTU-2 değerleri için bölge numaraları ve zemin sınıfları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Robertson (1990) ve Bol ve diğ. (2003) abaklarında CPTU-1 ve CPTU-2 değerleri için bölge numaraları ve zemin sınıfları

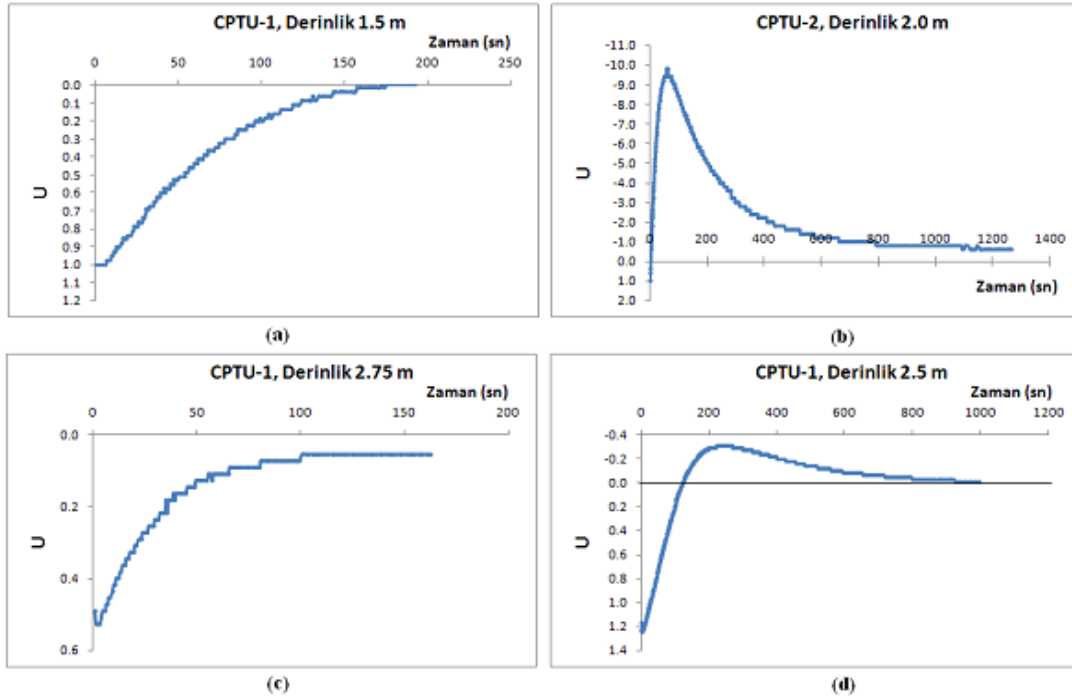
CPTU	Derinlik (m)	Robertson (1990)		Bol ve diğ. (2003)'e göre zemin sınıfı
		Q_t-B_q 'e göre bölge no	Q_t-F_r (%)'e göre bölge no	
CPTU-1	1.5-2.0	6	6	ML
	2.0-2.5	5	5	CL
	2.5-3.0	6	5	CL
CPTU-2	1.5-2.0	5	4	MH
	2.70-3.25	6	6	ML
	5.0-5.5	5	4	CI

4.2.2. Sönümlenme deneyi bulguları

Bu çalışmada; CPTU-1 deneyi sırasında 1.5 m, 1.9 m, 2.2 m, 2.5 m, 2.75 m, 3.0 m derinliklerinde, CPTU-2 deneyi sırasında ise 1.5 m, 1.8 m, 2.0 m, 2.7 m, 3.0 m, 3.2 m, 5.0 m, 5.25 m, 5.5 m derinliklerinde sönümlenme deneyi yapılmıştır. Sönümlenme deneylerinden elde edilen eğri tiplerinden; 9 tanesi tekdüze (monotonik) tip, 6 tanesi kabarma (dilatatory) tip eğrilerdir. Sönümlenme deneylerinden elde edilen örnek eğri tiplerinden; normalleştirilmemiş eğri tipleri Şekil 4.6'de, normalleştirilmiş eğri tipleri Şekil 4.7'da gösterilmiştir. Sönümlenme deneylerinden elde edilen tüm normalleştirilmemiş ve normalleştirilmiş eğri tipleri EK B'de Şekil B.1 ile Şekil B.15 arasında verilmiştir.



Şekil 4.6.a. Normalleştirilmemiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (negatif boşluk suyu)
 b. Normalleştirilmemiş kabarma tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)
 c. Normalleştirilmemiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)
 d. Normalleştirilmemiş kabarma tip sönümlenme eğrisi (negatif boşluk suyu)



Şekil 4.7.a. Normalleştirilmiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (negatif boşluk suyu)
 b. Normalleştirilmiş kabarma tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)
 c. Normalleştirilmiş tekdüze tip sönümlenme eğrisi (pozitif boşluk suyu)
 d. Normalleştirilmiş kabarma tip sönümlenme eğrisi (negatif boşluk suyu)

Sönümlenme eğrileri, U-logt eksenlerinde ve $U-\sqrt{\text{zaman}}$ eksenlerinde çizilerek t_{50} ve t_{90} sönümlenme zamanları tespit edilmiştir (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Sönümlenme eğrilerinden elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri

CPTU No	Sönümlenme Derinliği (m)	t_{50} (s)	t_{90} (s)
CPTU-1	1.5	53	121
	1.9	40	529
	2.2	270	900
	2.5	200	625
	2.75	4	64
	3.0	180	625
CPTU-2	1.5	180	1225
	1.8	100	361
	2.0	160	676
	2.7	70	196
	3.0	100	256
	3.2	80	225
	5.0	500	1089
	5.25	400	1444
	5.5	150	576

Sönümlenme eğrileri U-logt ve $U-\sqrt{\text{zaman}}$ eksenlerinde Ek B'de; Şekil B.16 ile Şekil B.30 arasında verilmiştir.

Tekdüze sönümlenme eğri tiplerinde U-logt ve $U-\sqrt{\text{zaman}}$ eksenlerinde %50 ve %90 sönümlenmeye karşılık gelen zaman olan t_{50} ve t_{90} direkt bulunurken, kabarma tipi sönümlenme eğrilerinde ise kabarmanın pik yaptığı noktadan eğri kesilerek orjin noktasına taşınır ve eğri tekdüze sönümlenme eğrisi benzerliği gösterdiğinden U-logt ve $U-\sqrt{\text{zaman}}$ eksenlerinde t_{50} ve t_{90} bulunur. Kabarma sönümlenme eğrilerinin tekdüze sönümlenme eğrilerine dönüştürülmüş halleri EK B'de; Şekil B.31 ile Şekil B.36'da gösterilmiştir.

Konsolidasyon katsayısı (c_h) hesabında kullanılmak üzere dört ayrı bağıntıdan I_r değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu I_r değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9. Farklı bağıntılardan hesaplanan I_r değerleri

CPTU No	Derinlik (m)	I_r Değerleri			
		$(I_r)_1$	$(I_r)_2$	$(I_r)_3$	$(I_r)_4$
		Bağıntı 2.20'den	Bağıntı 2.21'den	Bağıntı 2.22'den	Bağıntı 2.23'den
CPTU-1	1.5	50.17	3.10	261.68	43.05
	1.9	50.17	2.32	215.23	27.02
	2.2	48.03	3.76	57.67	30.80
	2.5	48.03	3.33	70.41	30.91
	2.75	65.13	3.59	89.00	38.36
	3.0	65.13	3.87	92.29	40.73
CPTU-2	1.5	-	2.22	435.61	27.61
	1.8	-	2.90	67.11	25.64
	2.0	-	2.38	207.12	28.75
	2.7	-	3.34	786.46	53.75
	3.0	-	3.32	566.91	52.39
	3.2	-	3.39	493.80	56.37
	5.0	-	3.35	28.50	36.74
	5.25	-	3.46	26.08	38.47
	5.5	-	3.59	40.53	43.01

Yatay konsolidasyon katsayısı (c_h) bağıntı 2.33'e göre hesaplanmıştır. Bu hesaplamada Tablo 4.9'daki I_r değerleri kullanılmıştır. Yatay geçirimsizlik katsayısı (k_h) bağıntı 2.40'a göre hesaplanmıştır. Hesaplanan c_h ve k_h değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Sönümlenme verileriyle hesaplanan c_h ve k_h değerleri

CPTU-1					
Derinlik (m)	c_h Bağıntı 2.33'den				Bağıntı 2.40'tan k_h (cm/s)
	$(I_r)_1$ 'e göre	$(I_r)_2$ 'e göre	$(I_r)_3$ 'e göre	$(I_r)_4$ 'e göre	
	$(c_h)_1$ (cm ² /s)	$(c_h)_2$ (cm ² /s)	$(c_h)_3$ (cm ² /s)	$(c_h)_4$ (cm ² /s)	
1.5	1.04E-01	2.58E-02	2.37E-01	9.61E-02	7.00E-06
1.9	1.37E-01	2.96E-02	2.85E-01	1.01E-01	9.95E-06
2.2	1.99E-02	5.57E-03	2.18E-02	1.60E-02	9.15E-07
2.5	2.69E-02	7.08E-03	3.26E-02	2.16E-02	1.33E-06
2.75	1.57E+00	3.68E-01	1.83E+00	1.20E+00	1.77E-04
3.0	3.48E-02	8.48E-03	4.14E-02	2.75E-02	1.52E-06

Tablo 4.10.(Devam). Sönümlenme verileriyle hesaplanan c_h ve k_h değerleri

CPTU-2					
Derinlik (m)	c_h Bağını 2.33'den				Bağını 2.40'tan k_h (cm/s)
	(I_r) ₁ 'e göre	(I_r) ₂ 'e göre	(I_r) ₃ 'e göre	(I_r) ₄ 'e göre	
	(c_h) ₁ (cm ² /s)	(c_h) ₂ (cm ² /s)	(c_h) ₃ (cm ² /s)	(c_h) ₄ (cm ² /s)	
1.5	-	6.42E-03	9.00E-02	2.27E-02	1.52E-06
1.8	-	1.32E-02	6.36E-02	3.93E-02	3.17E-06
2.0	-	7.49E-03	6.98E-02	2.60E-02	1.76E-06
2.7	-	2.03E-02	3.11E-01	8.13E-02	4.94E-06
3.0	-	1.41E-02	1.85E-01	5.62E-02	3.17E-06
3.2	-	1.79E-02	2.16E-01	7.29E-02	4.18E-06
5.0	-	2.84E-03	8.29E-03	9.41E-03	4.23E-07
5.25	-	3.61E-03	9.91E-03	1.20E-02	5.60E-07
5.5	-	9.80E-03	3.29E-02	3.39E-02	1.91E-06

4.3. Laboratuvar Deneyi ve Arazi Deneyi Bulgularının Karşılaştırılması

Sondaj numarası SYA01S1 olan kuyudan alınmış numunelerde yapılan permeametre deneyi sonuçlarından elde edilen k_v değerleriyle, CPTU-2 deneyi sırasında yapılan sönümlenme deneyi verilerinden elde edilen k_h değerleri Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Sondaj nosu SYA01S1, CPTU-2 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen k_h değerleri ve permeametre deneyiyle elde edilen k_v değerleri

CPTU No	Sondaj No	Sondaj Derinliği (m)	k_v (cm/s)	Sönümlenme Derinliği (m)	k_h (cm/s)
CPTU-2	SYA01S1	1.5-2.0	1.93E-07	1.5	1.52E-06
				1.8	3.17E-06
				2.0	1.76E-06
		2.70-3.25	7.60E-06	2.7	4.94E-06
				3.0	3.17E-06
				3.2	4.18E-06
		5.0-5.5	2.09E-06	5.0	4.23E-07
				5.25	5.60E-07
				5.5	1.91E-06

Sondaj numarası SYA02S1 olan kuyudan alınmış numunelerde yapılan konsolidasyon deneyi sonuçlarından elde edilen k_v değerleriyle, CPTU-1 deneyi sırasında yapılan sönümlenme deneyi verilerinden elde edilen k_h değerleri Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12. Sondaj nosu SYA02S1, CPTU-1 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen k_h değerleri ve konsolidasyon deneyi ile elde edilen k_v değerleri

Sondaj No SYA02S1, CPTU-1						
Sondaj Derinliği (m)	200 kPa		400 kPa		Sönümlenme Derinliği (m)	k_h (cm/s)
	$t_{50}'e$ göre	$t_{90}'e$ göre	$t_{50}'e$ göre	$t_{90}'e$ göre		
	k_v (cm/s)	k_v (cm/s)	k_v (cm/s)	k_v (cm/s)		
1.5-2.0	1.56E-08	1.21E-08	6.03E-09	1.30E-08	1.5	7.00E-06
					1.9	9.95E-06
2.0-2.5	1.65E-08	4.20E-08	7.92E-09	1.89E-08	2.2	9.15E-07
					2.5	1.33E-06
2.5-3.0	2.13E-08	2.52E-08	1.47E-08	2.06E-08	2.75	1.77E-04
					3.0	1.52E-06

Sondaj numarası SYA02S1 olan kuyudan alınmış numunelerde yapılan konsolidasyon deneyi sonuçlarından elde edilen c_v değerleriyle, CPTU-1 deneyi sırasında yapılan sönümlenme deneyi verilerinden elde edilen c_h değerleri Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13. Sondaj nosu SYA02S1, CPTU-1 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen c_h değerleri ve konsolidasyon deneyi ile elde edilen c_v değerleri

Sondaj No SYA02S1, CPTU-1									
Sondaj Derinliği (m)	200 kPa		400 kPa		Sönüm. Derinliği (m)	$(I_r)_1'e$ göre	$(I_r)_2'e$ göre	$(I_r)_3'e$ göre	$(I_r)_4'e$ göre
	$t_{50}'e$ göre	$t_{90}'e$ göre	$t_{50}'e$ göre	$t_{90}'e$ göre		c_h (cm ² /s)	c_h (cm ² /s)	c_h (cm ² /s)	c_h (cm ² /s)
	c_v (cm ² /s)	c_v (cm ² /s)	c_v (cm ² /s)	c_v (cm ² /s)					
1.5-2.0	6.58E-04	5.10E-04	3.70E-04	7.97E-04	1.5	1.04E-01	2.58E-02	2.37E-01	9.61E-02
					1.9	1.37E-01	2.96E-02	2.85E-01	1.01E-01
2.0-2.5	8.21E-04	2.09E-03	6.57E-04	1.57E-03	2.2	1.99E-02	5.57E-03	2.18E-02	1.60E-02
					2.5	2.69E-02	7.08E-03	3.26E-02	2.16E-02
2.5-3.0	6.73E-04	7.97E-04	7.41E-04	1.04E-03	2.75	1.57E+00	3.68E-01	1.83E+00	1.20E+00
					3.0	3.48E-02	8.48E-03	4.14E-02	2.75E-02

Sondaj numarası SYA02S1 olan kuyudan alınmış numunelerde yapılan konsolidasyon deneyi sonuçlarından elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleriyle, CPTU-1

deneyi sırasında yapılan sönümlenme deneyi verilerinden elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri Tablo 4.14’de verilmiştir.

Tablo 4.14. Sondaj nosu SYA02S1, CPTU-1 için; sönümlenme deneyiyle elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri ile konsolidasyon deneyinden elde edilen t_{50} ve t_{90} değerleri

Sondaj No SYA02S1, CPTU-1							
Sondaj Derinliği (m)	200 kPa		400 kPa		Sönüm. Derinliği (m)	t_{50} (s)	t_{90} (s)
	t_{50} (s)	t_{90} (s)	t_{50} (s)	t_{90} (s)			
1.5-2.0	270	1500	480	960	1.5	53	121
					1.9	40	529
2.0-2.5	240	406	300	540	2.2	270	900
					2.5	200	625
2.5-3.0	264	960	240	735	2.75	4	64
					3.0	180	625

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; çağdaş bir zemin inceleme yöntemi olan koni penetrasyon deneyi (CPTU) sırasında yapılan sönümlenme deneyinden ve ödometre deneyinden elde edilen zemin konsolidasyon karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca laboratuvarında yapılan; indeks deneyleri ve düşen düzeyli permeametre deneylerinden elde edilen sonuçlar ile CPTU deneyleri ve sönümlenme deneylerinden elde edilen sonuçlar da karşılaştırılmıştır.

Sondaj numuneleri TS 1500/2000'e göre sınıflandırıldığında 3 adeti CI, 2 adeti CL, 1 adeti ML olarak simgelenmiştir. CPTU dataları ışığında aynı derinliklerde TS 1500/2000'e göre sınıflandırıldığında ise 1 adeti CI, 2 adeti CL, 2 adeti ML, 1 adeti MH olarak simgelenmiştir.

Sönümlenme deneylerinden elde edilen yatay konsolidasyon katsayıları (c_h) ve yatay geçirimsizlik katsayıları (k_h), konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen düşey konsolidasyon katsayıları (c_v) ve düşey geçirimsizlik katsayılarından (k_h) daha büyüktür ($c_h > c_v$ ve $k_h > k_v$). Sönümlenme deneylerinden elde edilen yatay konsolidasyon katsayısı (c_h) değerleri konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen düşey konsolidasyon katsayısı (c_v) değerlerinden 3 ile 297 kat arasında değişen bir oranda daha büyüktür. Sönümlenme deneylerinden elde edilen yatay geçirimsizlik katsayısı (k_h) değerleri konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen düşey geçirimsizlik katsayısı (k_v) değerlerinden 55 ile 800 kat arasında değişen bir oranda daha büyüktür Bunun sebebi olarak zeminin anizotropisi ve örselenme etkisi olabilir. Arazide sönümlenme deneyi ile gerçekleştirilen ölçümlerde zemin örselenmemekte, ancak bir numunenin araziden alınıp ödometre cihazının içine yerleştirilmesi sürecinde, deneyi yapılacak örnek defalarca örselenmektedir. Buna ek olarak, ödometre ile ölçümde yapılan kabuller ve cihazın sınır koşulları düşünüldüğünde

araziden elde edilen konsolidasyon katsayısının daha güvenilir olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Ödometre deneyinde 200 kPa gerilme kademesinde ve t_{90} 'a göre hesaplanan c_v değerleriyle sönümlenme deneyinde $(I_r)_2$ 'e göre hesaplanan c_h değerleri birbirlerine daha yakın çıkmaktadır.

Sönümlenme deneyinden elde edilen k_h değerleri, düşen düzeyli permeametre deneyinden elde edilen k_v değerlerinden 1.2 ile 8 kat arasında değişen bir oranda daha büyük olabildiğinin yanı sıra, 3.5 kat daha düşük değerler aldığıda tespit edilmiştir.

Sönümlenme deneylerinden elde edilen geçirimsizlik değerleri ile ödometre deneylerinden ve düşen düzeyli permeametre deneylerinden elde edilen geçirimsizlik değerleri karşılaştırıldığında; sönümlenme deneyiyle bulunan değerlerle permeametre deneylerinden bulunan değerler birbirlerine daha yakın çıkmakta, ödometre deneyinden bulunan değerler ise daha uzak çıkmaktadır. Bu durum; ödometre deneyinde, fazla boşluk suyu basıncının zamana karşı sönümlenmesini ödometre hücresindeki boy kısalmasından dolayı olarak bulunmasından, sönümlenme deneyi ve düşen düzeyli permeametre deneyinde ise suyun zeminden geçişinin doğrudan ölçülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Laboratuvar sönümlenme zamanlarının arazideki değerlerinden 2 ile 66 kat arasında değişen bir oranda daha büyük olabildiğinin yanı sıra, 1.1 ile 2 kat arasında değişen bir oranda da daha düşük değerler aldığıda tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] BOL, E., “Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri”, Doktora Tezi, SAÜ FBE, 195 sayfa, Adapazarı, 2003.
- [2] ÖNALP, A., AREL, E., BOL, E., ÖZOCAK, A., SERT, S., “Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesinde Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) Sönümlenme Yönteminin Uygulanması”, TÜBİTAK MAG, proje no 104M387 , sf. 24-92, Adapazarı, 2007.
- [3] ÖNALP, A., ÖZOCAK, A., SERT, S., “Zemin İncelemelerinde Çağdaş Yaklaşım: Koni Penetrasyon Deneyi”, GAP V. Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, sf. 1-8, 2006.
- [4] BOL, E., Arazi Deneyleri ve Değerlendirilmesi Ders Notları, SAÜ FBE İnşaat Müh. Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı, Sakarya, 2008.
- [5] ROBERTSON, P.K., POWELL, J.M., LUNNE, T., Cone Penetration Testing In Geotechnical Practice, Blackie Academic&Professional, pp. 15-150, London, 1997.
- [6] ÖNALP, A., Geoteknik Bilgisi-1 Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekanığı, Birsen Yayınevi, sf. 61-234, İstanbul, 2007.
- [7] MAYNE, P.W., CHEN, S.B., “Profiling The Overconsolidation Ratio of Clays by Piezocone Tests”, National Science Foundation, Atlanta, pp. 53-118, 1994.
- [8] ÖNALP, A., BOL, E., ÖZOCAK, A., “Zemin Özelliklerinin Piyezokonide Sönümlenme ile Bulunması”, Zemin Mekanığı ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Konya, sf.1-10, 2008.
- [9] MAYNE, P.W., BURNS S.E., “Penetrometers for Soil Permeability and Chemical Detection”, National Science Foundation and U.S. Army Reserch Office, Virginia, pp. 22-90, 1998.
- [10] TOĞROL, E., SİVRİKAYA, O., Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, sf.35-85, İstanbul, 2009.
- [11] MAYNE, P.W., “Stress-Strain-Strength-Flow Parameters From Enhanced In-Situ Tests”, International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties&Case Histories, Bali, pp. 27-48, 2001.

- [12] UZUNER, B.A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, sf. 396-423, Trabzon, 2005.
- [13] DİPOVA, N., CANGİR, B., “Antalya Zeminlerinde CPT (Konik Penetrasyon Deneyi) Uygulamaları”, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya, sf. 2-10, 2005.
- [14] MAYNE, P.W., “Enhanced Geotechnical Site Characterization by Seismic Piezocone Tests”, Fourth International Geotechnical Conference, Cairo, pp. 15-25, 2000.
- [15] ÖNALP, A., AREL, E., ÖZOCAK, A., “Koni Penetrasyon Deneyiyle Yüzeysel Temel Taşıma Gücünün Belirlenmesi”, İkinci Geoteknik Sempozyumu, Adana, sf. 206-215, 2007.
- [16] TS 1900-2, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, sf. 15-27, Ankara, 2006
- [17] TS 1500, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Türk Standartları Enstitüsü, sf. 1-3, Ankara, 2000.

EKLER

EK A

Laboratuvar Deneilerine Ait Tablo ve Grafikler

Tablo A.1. Özgül ağırlık deneilerine ait hesaplamalar

Sondaj No: SYA02S1	Piknometre Numarası	
Derinlik: 1.5-2.0	Piknometre No: 1	Piknometre No: 11
W ₁ = Boş Piknometre Ağırlığı	37.337	37.746
W ₂ = Piknometre+Numune Ağırlığı	51.403	49.996
W ₃ = Piknometre+Su +Numune Ağırlığı	146.861	146.686
W ₄ = Piknometre+Su Ağırlığı	138.145	139.089
Özgül Ağırlık (Gs)	2.629	2.633
Ortalama Özgül Ağırlık (Gs)	2.63	
Sondaj No: SYA02S1	Piknometre Numarası	
Derinlik: 2.0-2.5	Piknometre No: 3	Piknometre No: 9
W ₁ = Boş Piknometre Ağırlığı	37.915	36.232
W ₂ = Piknometre+Numune Ağırlığı	48.513	50.658
W ₃ = Piknometre+Su +Numune Ağırlığı	144.938	144.649
W ₄ = Piknometre+Su Ağırlığı	138.325	135.651
Özgül Ağırlık (Gs)	2.659	2.658
Ortalama Özgül Ağırlık (Gs)	2.66	
Sondaj No: SYA02S1	Piknometre Numarası	
Derinlik: 2.5-3.0 m	Piknometre No: 7	Piknometre No: VII
W ₁ = Boş Piknometre Ağırlığı	37.944	36.303
W ₂ = Piknometre+Numune Ağırlığı	54.005	51.177
W ₃ = Piknometre+Su +Numune Ağırlığı	146.857	145.035
W ₄ = Piknometre+Su Ağırlığı	136.892	135.801
Özgül Ağırlık (Gs)	2.635	2.637
Ortalama Özgül Ağırlık (Gs)	2.64	
Sondaj No: SYA01S1	Piknometre Numarası	
Derinlik: 1.5-2.0 m	Piknometre No: VII	Piknometre No: V
W ₁ = Boş Piknometre Ağırlığı	36.298	40.912
W ₂ = Piknometre+Numune Ağırlığı	60.511	66.423
W ₃ = Piknometre+Su +Numune Ağırlığı	150.978	156.644
W ₄ = Piknometre+Su Ağırlığı	135.822	140.683
Özgül Ağırlık (Gs)	2.674	2.671
Ortalama Özgül Ağırlık (Gs)	2.67	
Sondaj No: SYA01S1	Piknometre Numarası	
Derinlik: 2.70-3.25 m	Piknometre No: 3	Piknometre No: 11
W ₁ = Boş Piknometre Ağırlığı	37.899	37.745
W ₂ = Piknometre+Numune Ağırlığı	59.349	62.011
W ₃ = Piknometre+Su +Numune Ağırlığı	151.860	154.433
W ₄ = Piknometre+Su Ağırlığı	138.401	139.181
Özgül Ağırlık (Gs)	2.685	2.690
Ortalama Özgül Ağırlık (Gs)	2.69	

Tablo A.1.(Devam). Özgül ağırlık deneyine ait hesaplamalar

Sondaj No: SYA01S1	Piknometre Numarası	
Derinlik: 5.0-5.5 m	Piknometre No: 10	Piknometre No: III
W ₁ = Boş Piknometre Ağırlığı	43.177	44.238
W ₂ = Piknometre+Numune Ağırlığı	67.773	61.638
W ₃ = Piknometre+Su +Numune Ağırlığı	159.537	155.955
W ₄ = Piknometre+Su Ağırlığı	144.173	145.152
Özgül Ağırlık (Gs)	2.661	2.64.
Ortalama Özgül Ağırlık (Gs)	2.65	

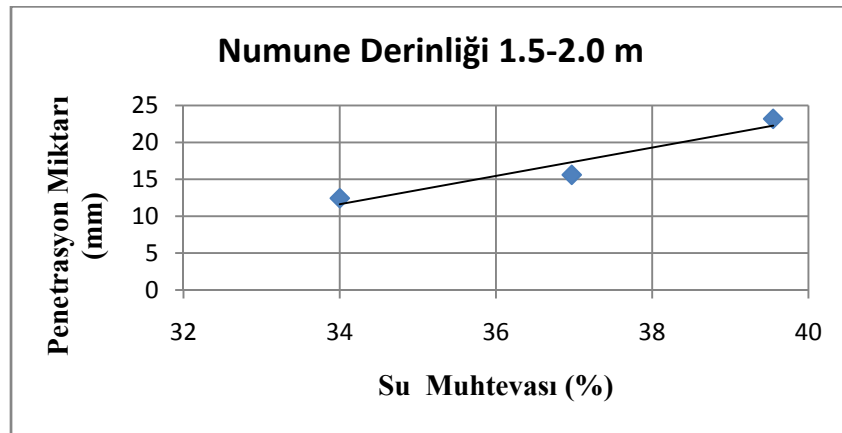
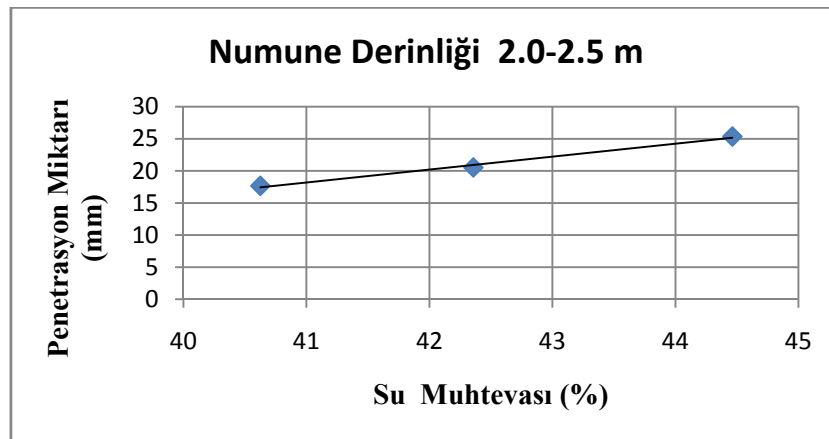
Tablo A.2. Kıvam limitleri deneylerine ait hesaplamalar

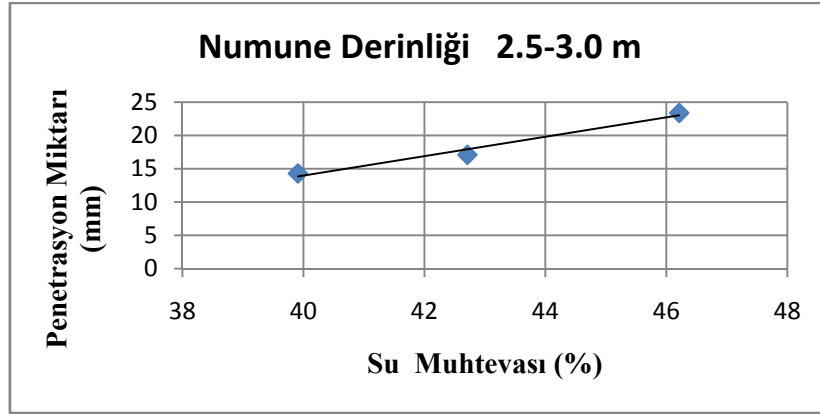
Sondaj no: SYA02S1 Derinlik: 1.5-2.0 m									
Deney	w_n	w_L (Casagrande)				w_L (düşen koni)			w_p
Kap No	324	320	308	352	364	370			316
Vuruş Sayısı, N Penetrasyon Mik.	-	47	30	21	10	12.43	15.60	23.20	-
Kap+Örnek Ağ.	76.64	46.26	40.24	40.53	39.50	32.68	30.80	39.79	29.57
Kap+ Kur. Ör. Ağ.	64.83	40.74	35.54	34.89	34.07	29.45	27.75	35.56	27.96
Kap Ağ.	21.51	25.45	23.12	20.34	21.18	19.95	19.50	24.94	20.06
Su Muhtevası	27%	36%	38%	39%	42%	34%	37%	39%	20%
Sondaj no: SYA02S1 Derinlik: 2.0-2.5 m									
Deney	w_n	w_L (Casagrande)				w_L (düşen koni)			w_p
Kap No	318	343	329	332	373	303	338	368	345
Vuruş Sayısı, N Penetrasyon Mik.	-	41	31	22	18	17.65	20.52	25.35	-
Kap+Örnek Ağ.	72.21	33.53	33.25	34.97	38.76	35.17	32.52	41.50	36.23
Kap+ Kur. Ör. Ağ.	58.48	29.91	29.48	30.76	35.24	31.79	28.89	36.28	34.07
Kap Ağ.	20.22	20.33	16.76	20.47	26.93	23.47	20.32	24.54	24.36
Su Muhtevası	36%	38%	39%	41%	42%	41%	42%	44%	22%
Sondaj no: SYA02S1 Derinlik: 2.5-3.0 m									
Deney	w_n	w_L (Casagrande)				w_L (düşen koni)			w_p
Kap No	33	320	342	345	352	314	327	307	312
Vuruş Sayısı, N Penetrasyon Mik.	-	44	35	25	14	14.30	17.10	23.38	-
Kap+Örnek Ağ.	120.4	41.89	38.43	41.07	35.90	34.35	32.87	31.86	31,91
Kap+ Kur. Ör. Ağ.	92.37	37.39	33.20	36.11	31.17	31.74	29.15	28.14	30.03
Kap Ağ.	21.17	25.45	20.29	24.36	20.34	25.20	20.44	20.09	22.36
Su Muhtevası	39%	38%	40%	42%	44%	40%	43%	46%	24%
Sondaj no: SYA01S1 Derinlik: 1.5-2.0 m									
Deney	w_n	w_L (Casagrande)				w_L (düşen koni)			w_p
Kap No	245	314	368	359	309	-	-	-	376
Vuruş Sayısı, N Penetrasyon Mik.	-	32	26	14	11	-	-	-	-
Kap+Örnek Ağ.	163.1	38.75	38.32	38.92	39.10	-	-	-	34.10
Kap+ Kur. Ör. Ağ.	142.1	35.53	34.93	35.71	35.15	-	-	-	32.65
Kap Ağ.	60.85	25.20	24.54	26.72	24.23	-	-	-	26.22
Su Muhtevası	26%	31%	33%	35%	36%	-	-	-	23%

Tablo A.2.(Devam). Kıvam limitleri deneylerine ait hesaplamalar

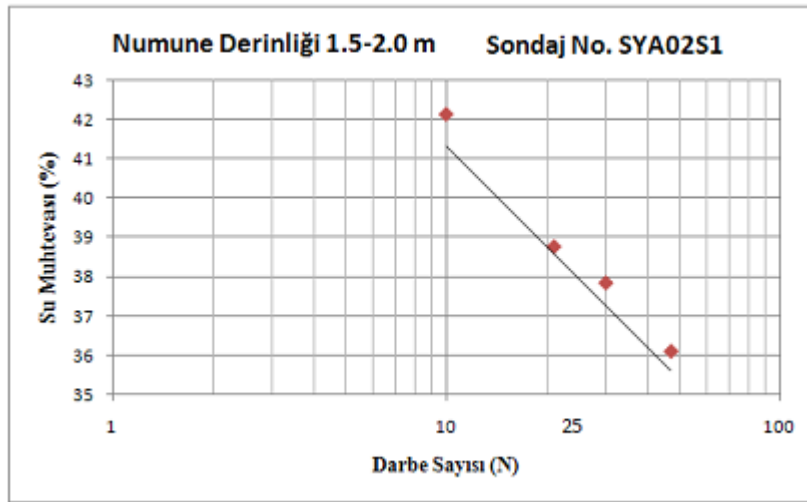
Sondaj no: SYA01S1 Derinlik: 2.70-3.25 m									
Deney	w_n	w_L (Casagrande)				w_L (düşen koni)			w_p
Kap No	455	382	313	332	356	-	-	-	320
Vuruş Sayısı, N	-	29	19	16	13	-	-	-	-
Penetrasyon Mik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kap+Örnek Ağ.	202.1	39.29	40.78	31.15	36.42	-	-	-	34.26
Kap+ Kur. Ör. Ağ.	173.5	35.55	36.54	28.28	32.28	-	-	-	32.43
Kap Ağ.	66.25	24.27	24.56	20.47	21.12	-	-	-	25.45
Su Muhtevası	27%	35%	36%	37%	37%	-	-	-	26%

Sondaj no: SYA01S1 Derinlik: 5.0-5.0 m									
Deney	w_n	w_L (Casagrande)				w_L (düşen koni)			w_p
Kap No	572	367	306	335	357	-	-	-	310
Vuruş Sayısı, N	-	38	29	20	16	-	-	-	-
Penetrasyon Mik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kap+Örnek Ağ.	177.7	31.07	40.49	35.82	37.41	-	-	-	28.96
Kap+ Kur. Ör. Ağ.	151.0	28.36	36.46	32.24	34.05	-	-	-	27.47
Kap Ağ.	54.33	19.02	23.64	21.15	23.83	-	-	-	20.84
Su Muhtevası	27%	29%	31%	32%	33%	-	-	-	22%

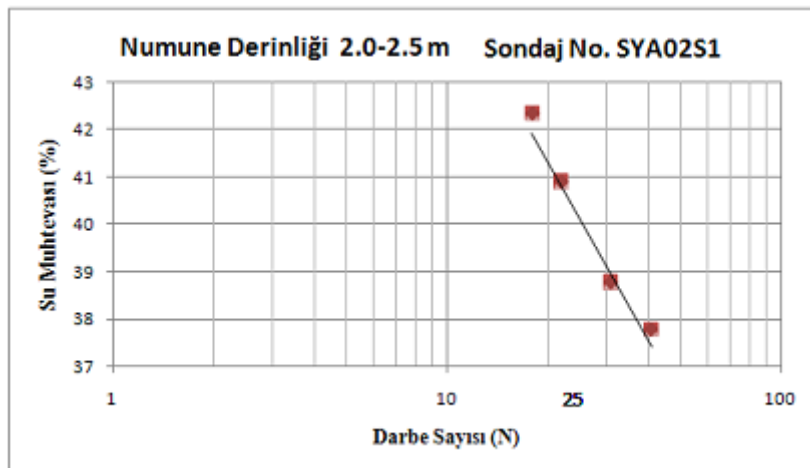
Şekil A.1. Düşen koni yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA02S1, 1.5-2.0 m)Şekil A.2. Düşen koni yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



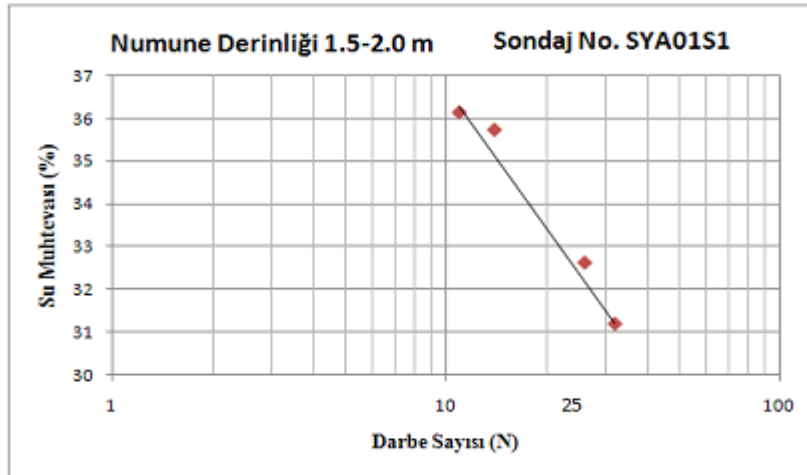
Şekil A.3. Düşen koni yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA02S1, 2.5-3.0 m)



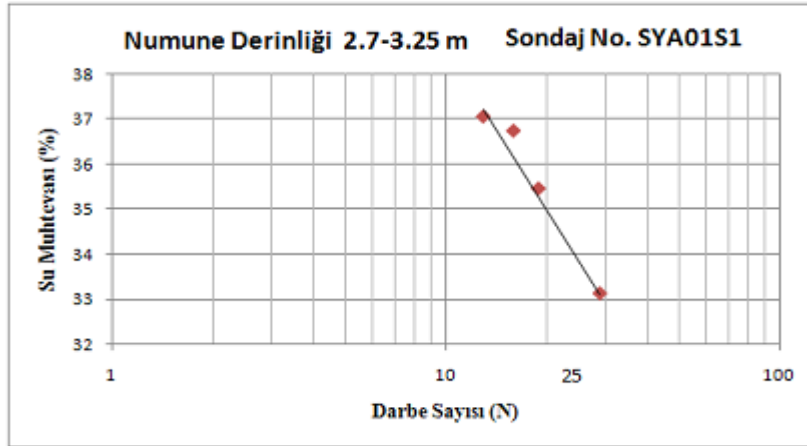
Şekil A.4. Casagrande yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



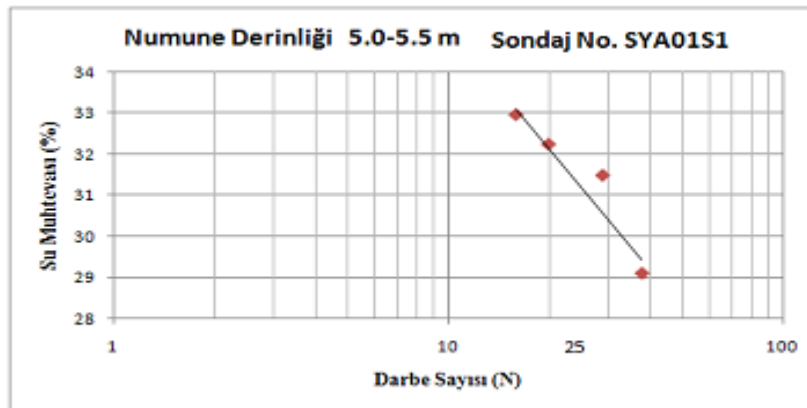
Şekil A.5. Casagrande yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



Şekil A.6. Casagrande yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA01S1,1.5-2.0 m)



Şekil A.7. Casagrande yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA01S1,2.70-3.25 m)



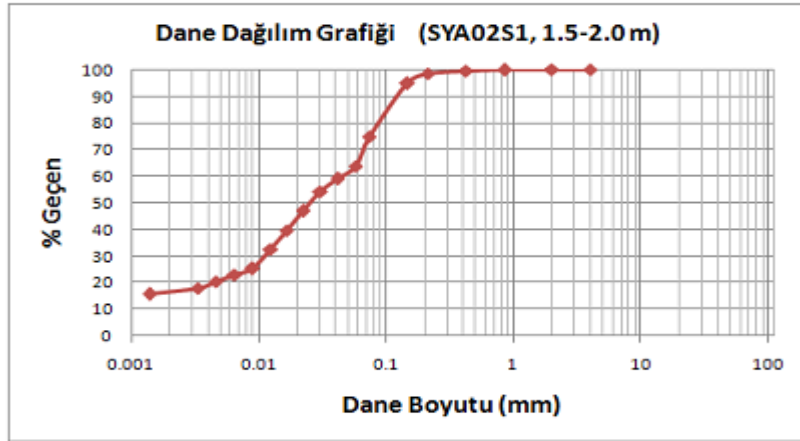
Şekil A.8. Casagrande yöntemiyle w_L 'nin bulunuşuna ait grafik (SYA01S1,5.0-5.5 m)

Tablo.A.3.Hidrometre hesaplamaları

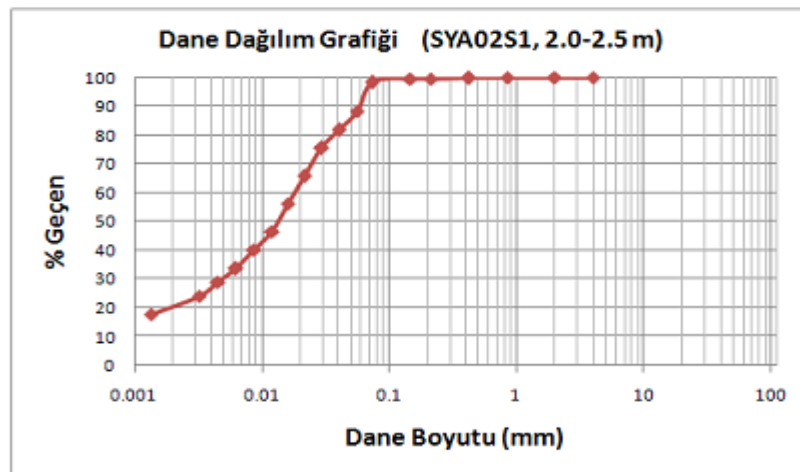
Sondaj Numarası: SYA02S1 Derinlik: 1.5-2.0 m									
Tarih	Saat	Süre (Dak.)	Hid. Okuması	Sıcaklık (°C)	Düz. Hid. Okuması	Efektif Derinlik (L)	Eşdeğer Çap (mm) (D)	% P	% K
25.02.2010	11:40	0.5	1.0290	20	1.0285	8.7566	0.0575	86.30	63.8
	11:41	1	1.0270	20	1.0265	9.2860	0.0419	79.78	59.0
	11:42	2	1.0250	20	1.0245	9.8153	0.0305	73.27	54.2
	11:44	4	1.0220	20	1.0215	10.6094	0.0224	63.50	47.0
	11:48	8	1.0190	20	1.0185	11.4034	0.0164	53.73	39.7
	11:55	16	1.0160	20	1.0155	12.1975	0.0124	43.96	32.5
	12:10	30	1.0130	20	1.0125	12.9915	0.0090	34.19	25.3
	12:40	60	1.0120	20	1.0115	13.2562	0.0065	30.94	22.9
	13:40	120	1.0110	20	1.0105	13.5209	0.0046	27.68	20.5
15:40	240	1.0100	20	1.0095	13.7855	0.0033	24.42	18.1	
26.02	11:40	1440	1.0090	20	1.0085	14.0502	0.0014	21.17	15.7
Sondaj Numarası: SYA02S1 Derinlik: 2.0-2.5 m									
Tarih	Saat	Süre (Dak.)	Hid. Okuması	Sıcaklık (°C)	Düz. Hid. Okuması	Efektif Derinlik (L)	Eşdeğer Çap (mm) (D)	% P	% K
25.02.2010	12:00	0.5	1.03	20	1.0295	8.3596	0.05581	89.93	88.3
	12:01	1	1.028	20	1.0275	8.8890	0.04070	83.39	81.9
	12:02	2	1.026	20	1.0255	9.4183	0.02962	76.85	75.5
	12:04	4	1.023	20	1.0225	10.2124	0.02181	67.04	65.8
	12:08	8	1.02	20	1.0195	11.0064	0.01601	57.23	56.2
	12:15	16	1.017	20	1.0165	11.8004	0.01211	47.42	46.6
	12.3	30	1.015	20	1.0145	12.3298	0.00875	40.88	40.1
	13:00	60	1.013	20	1.0125	12.8592	0.00632	34.34	33.7
	14:00	120	1.0115	20	1.011	13.2562	0.00454	29.43	28.9
16:00	240	1.01	20	1.0095	13.6532	0.00326	24.53	24.1	
26.02	12:00	1440	1.008	20	1.0075	14.1826	0.00135	17.99	17.7
Sondaj Numarası: SYA02S1 Derinlik: 2.5-3.0 m									
Tarih	Saat	Süre (Dak.)	Hid. Okuması	Sıcaklık (°C)	Düz. Hid. Okuması	Efektif Derinlik (L)	Eşdeğer Çap (mm) (D)	% P	% K
25.02.2010	12:10	0.5	1.031	20	1.0305	8.0949	0.0549	92.24	91.19
	12:11	1	1.03	20	1.0295	8.3596	0.0395	89.00	87.99
	12:12	2	1.027	20	1.0265	9.1536	0.0292	79.29	78.39
	12:14	4	1.023	20	1.0225	10.2124	0.0218	66.35	65.59
	12:18	8	1.021	20	1.0205	10.7417	0.0158	59.87	59.19
	12:15	16	1.018	20	1.0175	11.5358	0.0120	50.16	49.59
	12:30	30	1.015	20	1.0145	12.3298	0.0088	40.45	39.99
	13:10	60	1.013	20	1.0125	12.8592	0.0063	33.98	33.59
	14:10	120	1.012	20	1.0115	13.1238	0.0045	30.75	30.40
14:10	240	1.011	20	1.0105	13.3885	0.0032	27.51	27.20	
26.02	12:00	1440	1.009	20	1.0085	13.9179	0.0013	21.04	20.80

Tablo.A.3.(Devam). Hidrometre hesaplamaları

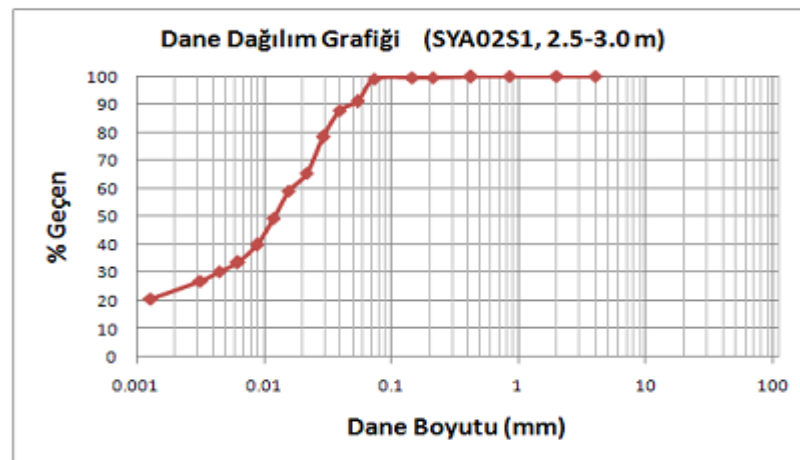
Sondaj Numarası: SYA01S1 Derinlik: 1.5-2.0 m									
Tarih	Saat	Süre (Dak.)	Hid. Okuması	Sıcaklık (°C)	Düz. Hid. Okuması	Efektif Derinlik (L)	Eşdeğer Çap (mm) (D)	% P	% K
16.04.2010	09:00	0.5	1.024	20	1.024	9.9477	0.0609	70.3	69.0
	09:01	1	1.020	20	1.020	11.0064	0.0453	57.2	56.2
	09:02	2	1.017	20	1.017	11.8004	0.0332	47.4	46.6
	09:04	4	1.015	20	1.015	12.3298	0.0240	40.9	40.1
	09:08	8	1.014	20	1.014	12.5945	0.0171	37.6	36.9
	09:16	16	1.012	20	1.012	13.1238	0.0128	31.1	30.5
	09:30	30	1.010	20	1.010	13.6532	0.0092	24.5	24.1
	10:00	60	1.010	20	1.009	13.7855	0.0065	22.9	22.5
	11:00	120	1.009	20	1.009	13.9179	0.0046	21.3	20.9
13:00	240	1.008	20	1.008	14.1826	0.0033	18.0	17.7	
17.04	09:00	1440	1.006	20	1.005	14.8443	0.0014	9.8	9.6
Sondaj Numarası: SYA01S1 Derinlik: 2.70-3.25 m									
Tarih	Saat	Süre (Dak.)	Hid. Okuması	Sıcaklık (°C)	Düz. Hid. Okuması	Efektif Derinlik (L)	Eşdeğer Çap (mm) (D)	% P	% K
16.04.2010	09:10	0.5	1.023	20	1.023	10.3447	0.0625	66.8	49.4
	09:11	1	1.017	20	1.017	11.9328	0.0475	47.2	34.9
	09:12	2	1.014	20	1.014	12.7268	0.0347	37.4	27.7
	09:14	4	1.012	20	1.012	13.2562	0.0250	30.9	22.9
	09:18	8	1.010	20	1.010	13.7855	0.0180	24.4	18.1
	09:26	16	1.008	20	1.008	14.3149	0.0134	17.9	13.2
	09:40	30	1.007	20	1.007	14.5796	0.0096	14.7	10.8
	10:10	60	1.007	20	1.006	14.7119	0.0068	13.0	9.6
	11:10	120	1.006	20	1.006	14.8443	0.0048	11.4	8.4
13:10	240	1.005	20	1.005	15.1089	0.0034	8.1	6.0	
17.04	09:10	1440	1.004	20	1.004	15.3736	0.0014	4.9	3.6
Sondaj Numarası: SYA01S1 Derinlik: 5.0-5.5 m									
Tarih	Saat	Süre (Dak.)	Hid. Okuması	Sıcaklık (°C)	Düz. Hid. Okuması	Efektif Derinlik (L)	Eşdeğer Çap (mm) (D)	% P	% K
16.04.2010	09:30	0.5	1.025	20	1.0245	9.683	0.0601	72.8	72.0
	09:31	1	1.022	20	1.0215	10.477	0.0442	63.1	62.4
	09:32	2	1.021	20	1.0205	10.742	0.0316	59.9	59.2
	09:34	4	1.017	20	1.0165	11.800	0.0234	46.9	46.4
	09:38	8	1.015	20	1.0145	12.330	0.0169	40.5	40.0
	09:46	16	1.013	20	1.0125	12.859	0.0126	34.0	33.6
	10:00	30	1.011	20	1.0105	13.389	0.0091	27.5	27.2
	10:30	60	1.011	20	1.0100	13.521	0.0065	25.9	25.6
	11:30	120	1.010	20	1.0095	13.653	0.0046	24.3	24.0
13:30	240	1.009	20	1.0080	14.050	0.0033	19.4	19.2	
17.04	09:30	1440	1.007	20	1.0065	14.447	0.0014	14.6	14.4



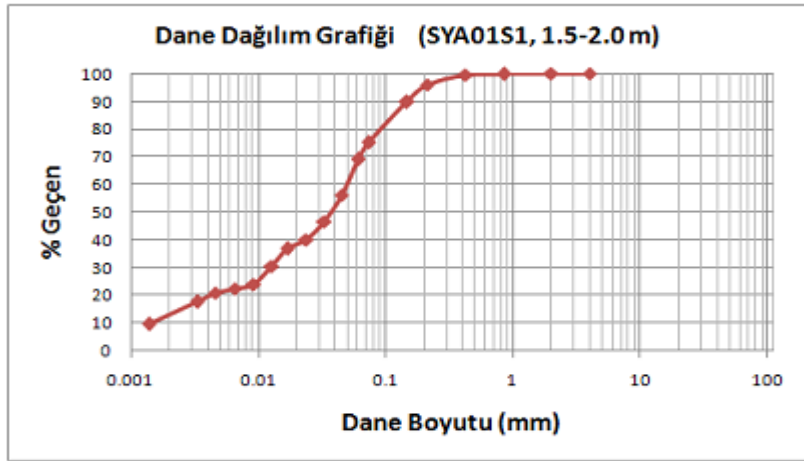
Şekil A.9. Dane dağılım grafiği (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



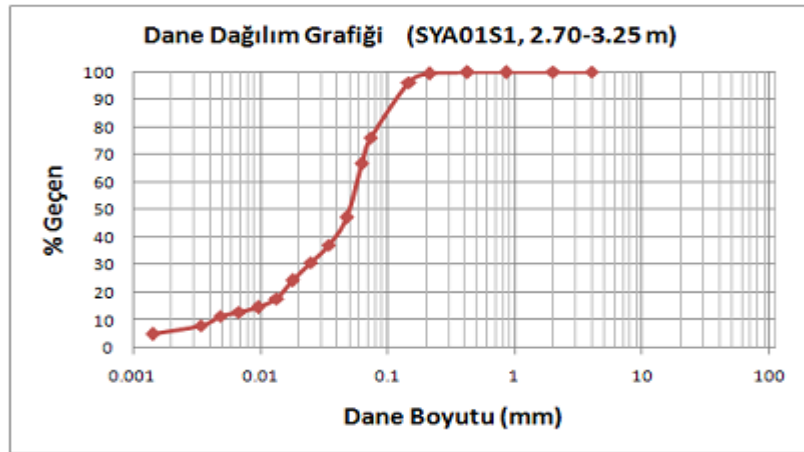
Şekil A.10. Dane dağılım grafiği (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



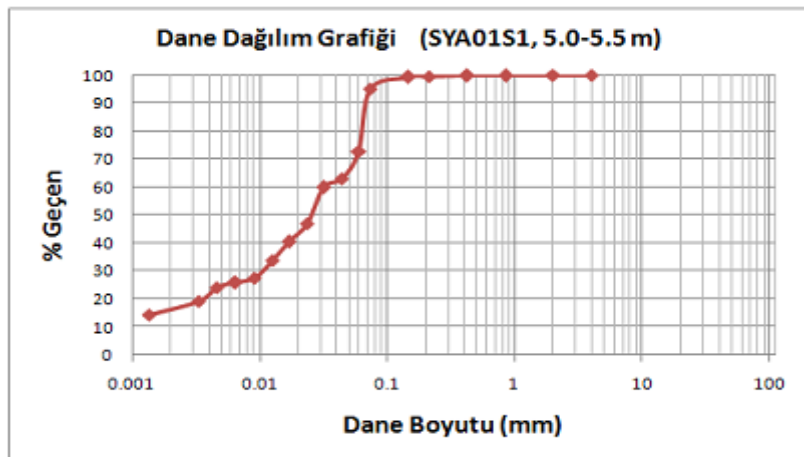
Şekil A.11. Dane dağılım grafiği (SYA02S1, 2.5-3.0 m)



Şekil A.12. Dane dağılım grafiği (SYA01S1, 1.5-2.0 m)



Şekil A.13. Dane dağılım grafiği (SYA01S1, 2.70-3.25 m)



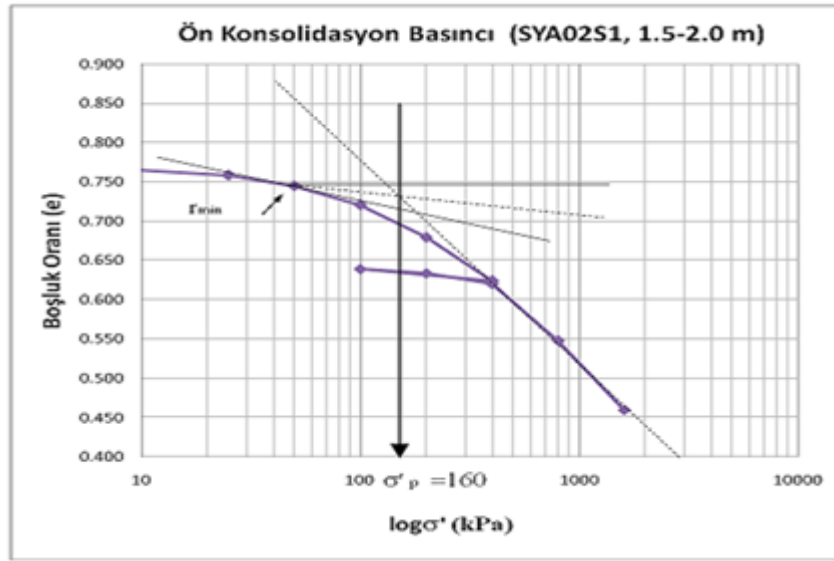
Şekil A.14. Dane dağılım grafiği (SYA01S1, 5.0-5.5 m)

Tablo A.4.Konsolidasyon deneyi hesapları

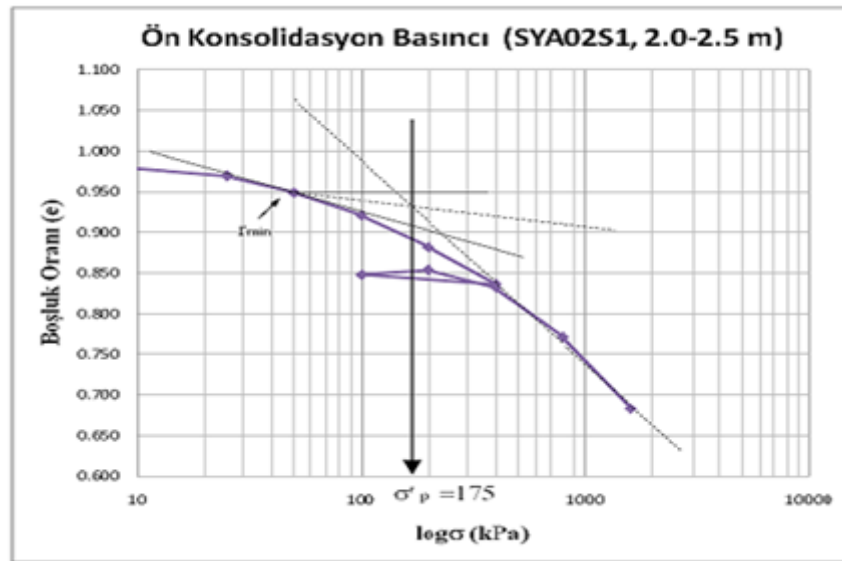
Sondaj Numarası: SYA02S1 Derinlik: 1.5-2.0 m			
Tarih	16.02.2010	Halka Ağırlığı (gr)	120
Halka No	IV	Halka Yüksekliği (gr)	19
Sıfır Okuması	0	Halka Çapı (mm)	75
Son Okuma	1714	Örnek Alanı (cm ²)	44.18
Özgül Ağırlık	2.63	Örnek İlk Hacmi (cm ³)	83.94
		Örnek Son Hacmi (cm ³)	82.42
		Deney Öncesi	Deney Sonrası
Halka + Numune Ağırlığı (gr)		279.82	270.4
Numune Ağırlığı (gr)		159.82	150.24
Su Ağırlığı (gr)		35.89	26.31
Kuru Numune Ağırlığı (gr)		123.93	123.93
Su Muhtevası (%)		29	21
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)		18.68	17.88
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)		14.48	14.75
Doygunluk Derecesi (%)		97	100
Örnek Yüksekliği (mm)		19	15.57
Eşdeğer Dane Yüksekliği (mm)		10.67	10.67
Eşdeğer Boşluk Yüksekliği (mm)		8.33	4.91
Eşdeğer Su Yüksekliği (mm)		8.12	5.96
Boşluk Oranı		0.781	0.46
Boşluk Yüksekliği Değişimi (mm)		3.43	
Sondaj Numarası: SYA02S1 Derinlik: 2.0-2.5 m			
Tarih	16.02.2010	Halka Ağırlığı (gr)	99.53
Halka No	3	Halka Yüksekliği (gr)	20
Sıfır Okuması	1000	Halka Çapı (mm)	60
Son Okuma	2587	Örnek Alanı (cm ²)	28.27
Özgül Ağırlık	2.66	Örnek İlk Hacmi (cm ³)	56.55
		Örnek Son Hacmi (cm ³)	55.65
		Deney Öncesi	Deney Sonrası
Halka + Numune Ağırlığı (gr)		203.19	196.05
Numune Ağırlığı (gr)		103.66	96.52
Su Ağırlığı (gr)		28.49	21.35
Kuru Numune Ağırlığı (gr)		75.17	75.17
Su Muhtevası (%)		38	28
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)		17.98	17.01
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)		13.04	13.25
Doygunluk Derecesi (%)		100	100
Örnek Yüksekliği (mm)		20	16.83
Eşdeğer Dane Yüksekliği (mm)		9.99	9.99

Tablo A.4.(Devam). Konsolidasyon deneyi hesapları

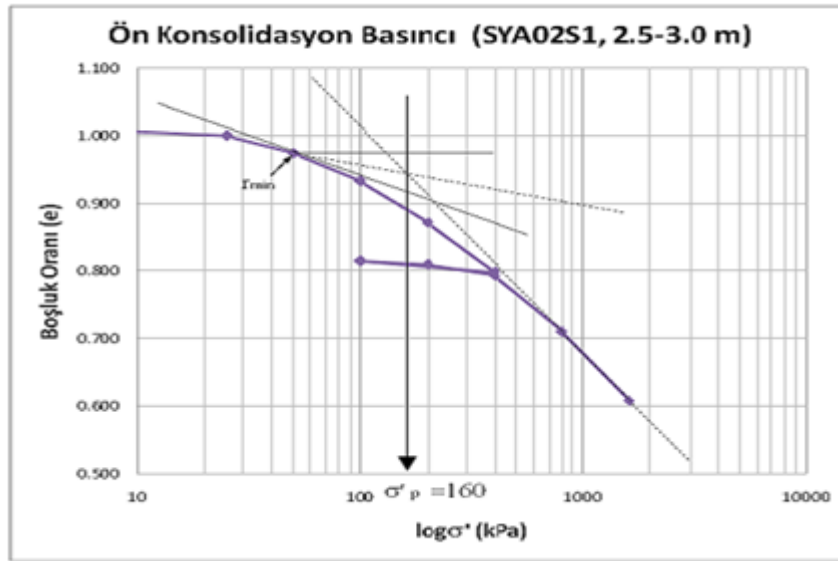
		Deney Öncesi	Deney Sonrası
Eşdeğer Boşluk Yüksekliği (mm)		10.01	6.83
Eşdeğer Su Yüksekliği (mm)		10.08	7.55
Boşluk Oranı		1.001	0.68
Boşluk Yüksekliği Değişimi (mm)		3.17	
Sondaj Numarası: SYA02S1 Derinlik: 2.5-3.0 m			
Tarih	16.02.2010	Halka Ağırlığı (gr)	69.94
Halka No	k.halka	Halka Yüksekliği (gr)	19
Sıfır Okuması	0	Halka Çapı (mm)	50
Son Okuma	1938	Örnek Alanı (cm ²)	19.63
Özgül Ağırlık	2.64	Örnek İlk Hacmi (cm ³)	37.31
		Örnek Son Hacmi (cm ³)	36.54
		Deney Öncesi	Deney Sonrası
Halka + Numune Ağırlığı (gr)		137.6	132.43
Numune Ağırlığı (gr)		67.66	62.49
Su Ağırlığı (gr)		18.92	13.75
Kuru Numune Ağırlığı (gr)		48.74	48.74
Su Muhtevası (%)		39	28
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)		17.79	16.77
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)		12.82	13.08
Doygunluk Derecesi (%)		100	100
Örnek Yüksekliği (mm)		19	15.12
Eşdeğer Dane Yüksekliği (mm)		9.4	9.4
Eşdeğer Boşluk Yüksekliği (mm)		9.6	5.72
Eşdeğer Su Yüksekliği (mm)		9.64	7
Boşluk Oranı		1.021	0.61
Boşluk Yüksekliği Değişimi (mm)		3.88	



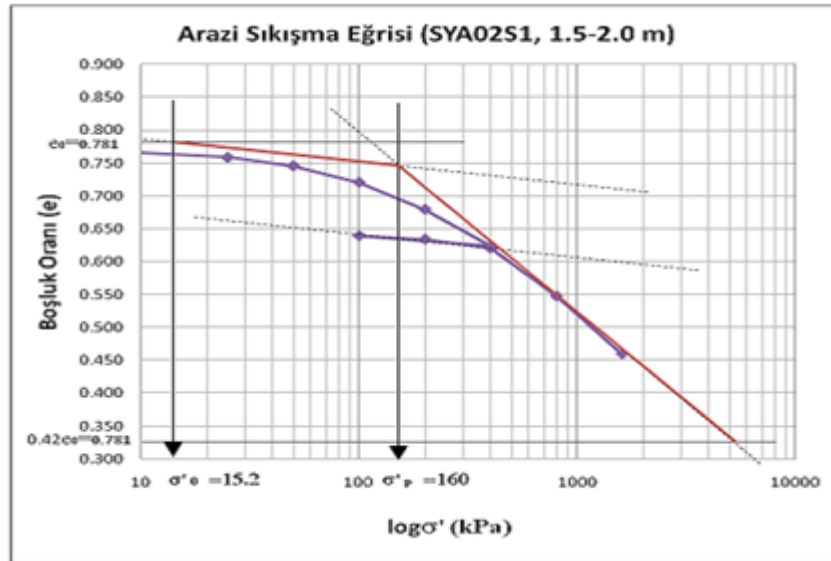
Şekil A.15. e- $\log \sigma'$ grafiği ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



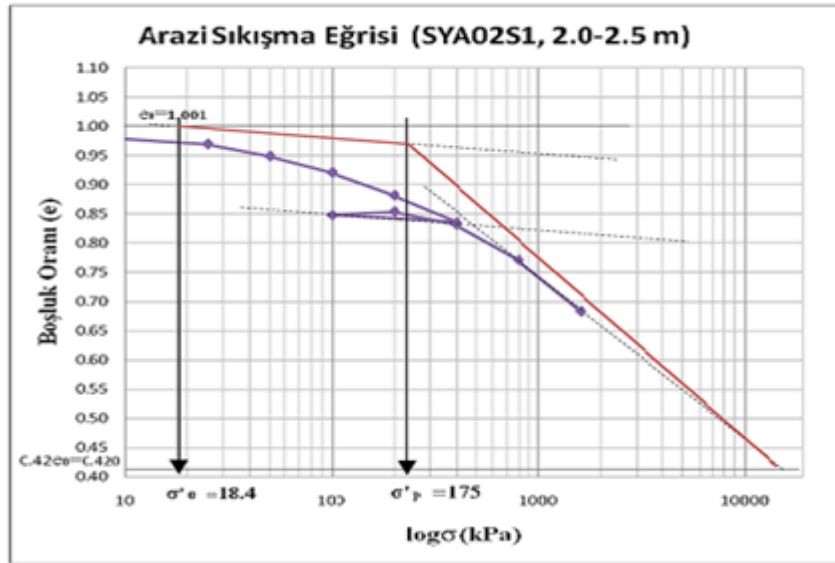
Şekil A.16. e- $\log \sigma'$ grafiği ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



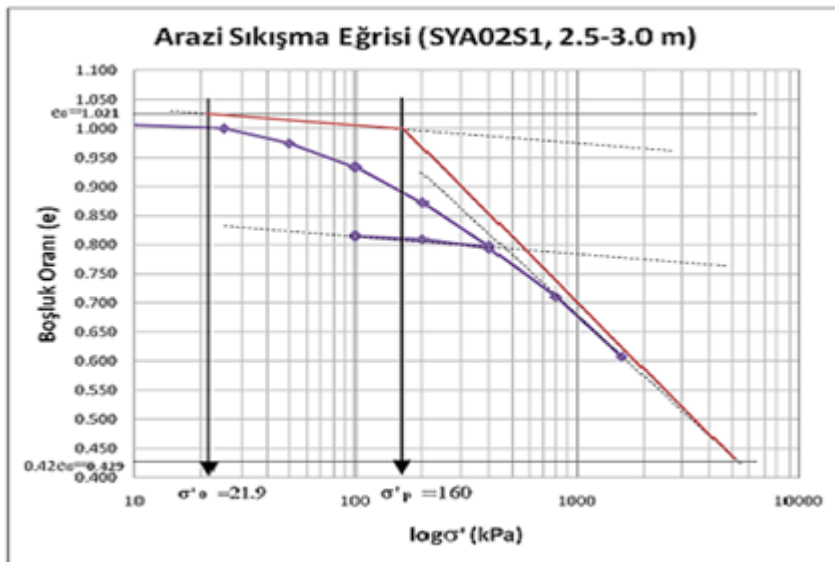
Şekil A.17. e- $\log \sigma'$ grafiği ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (SYA02S1, 2.5-3.0 m)



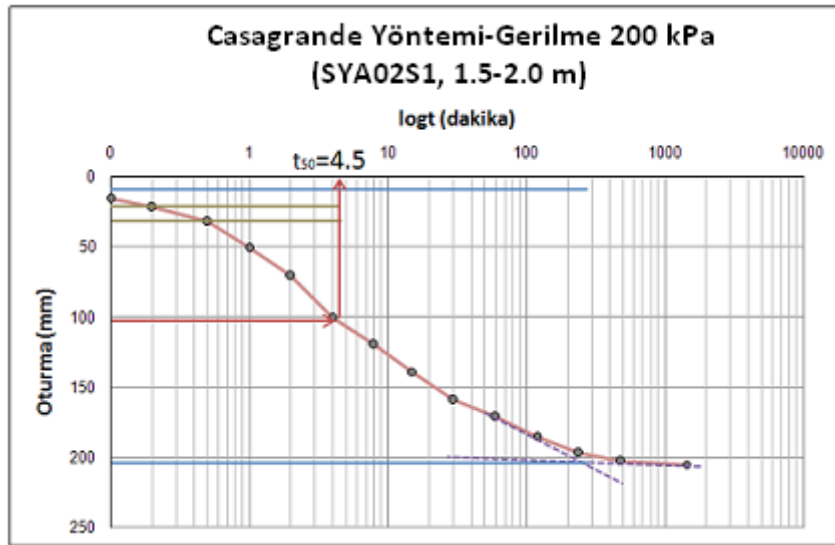
Şekil A.18. Arazi sıkışma eğrisi (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



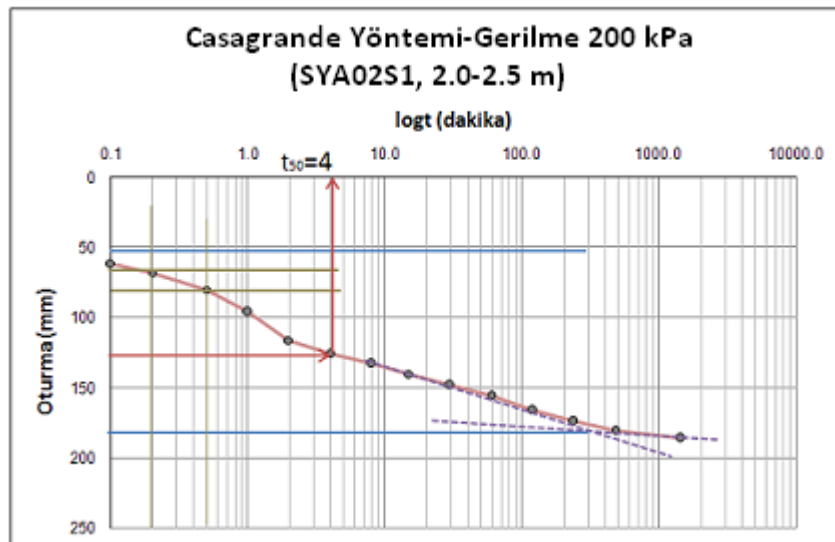
Şekil A.19. Arazi sıkışma eğrisi (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



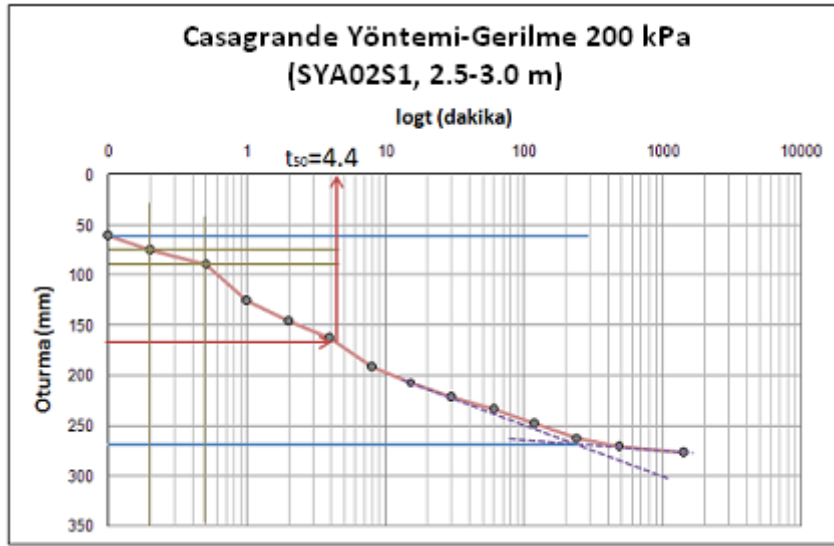
Şekil A.20. Arazi sıkışma eğrisi (SYA02S1, 2.5-3.0 m)



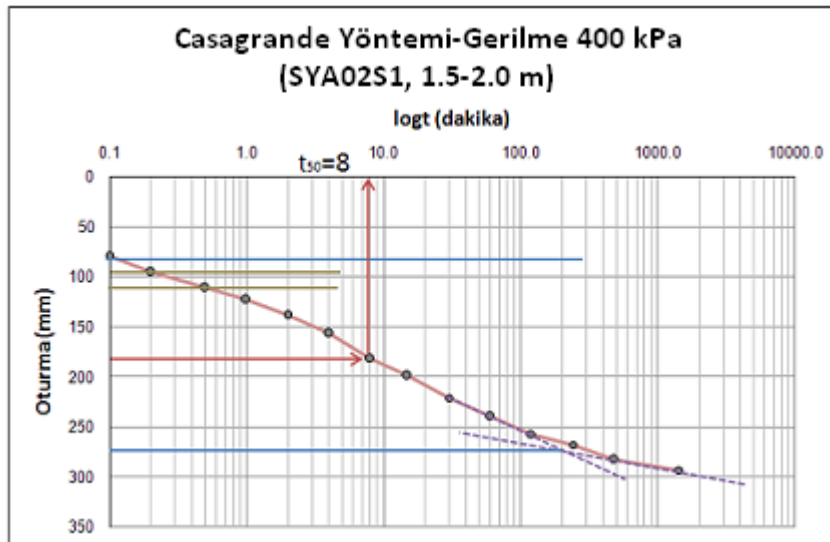
Şekil A.21. 200 kPa gerilme kademesinde Casagrande yöntemiyle t_{50} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



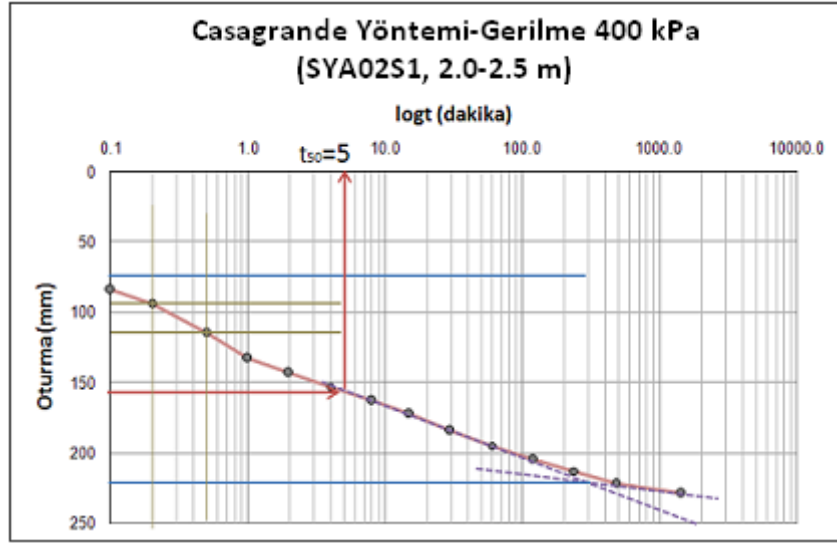
Şekil A.22. 200 kPa gerilme kademesinde Casagrande yöntemiyle t_{50} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



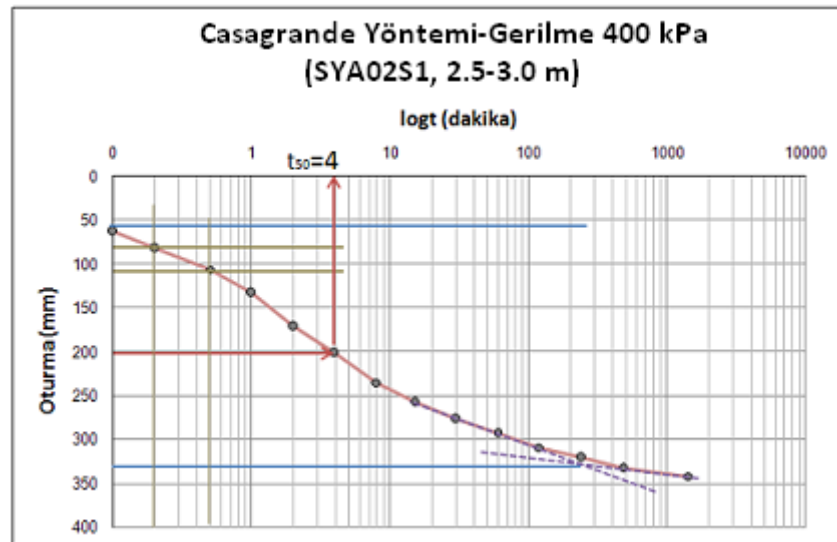
Şekil A.23. 200 kPa gerilme kademesinde Casagrande yöntemiyle t_{50} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.5-3.0 m)



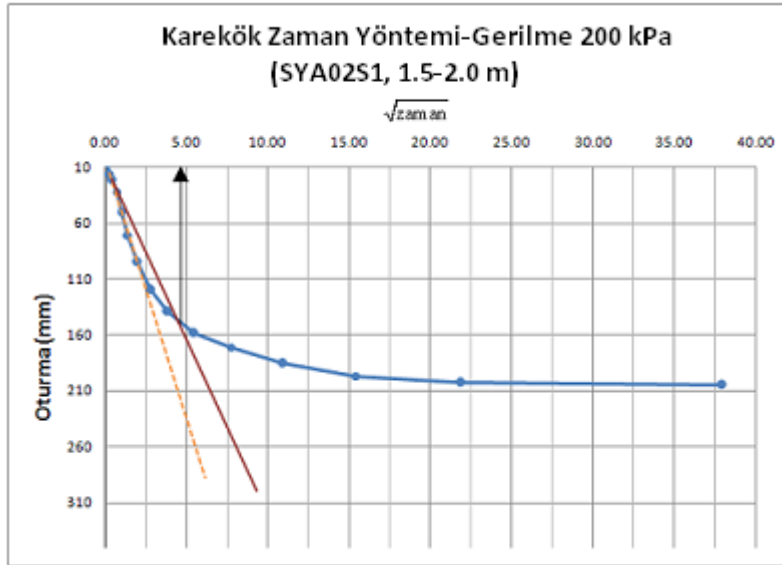
Şekil A.24. 400 kPa gerilme kademesinde Casagrande yöntemiyle t_{50} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



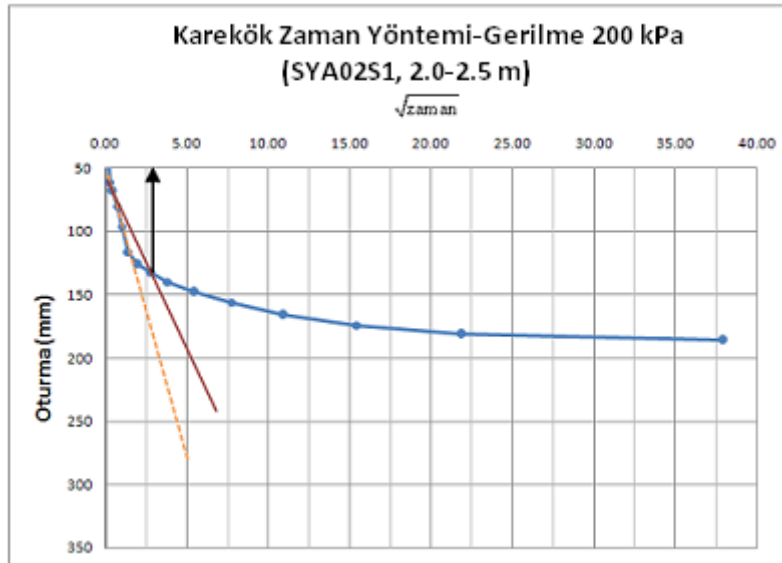
Şekil A.25. 400 kPa gerilme kademesinde Casagrande yöntemiyle t_{50} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



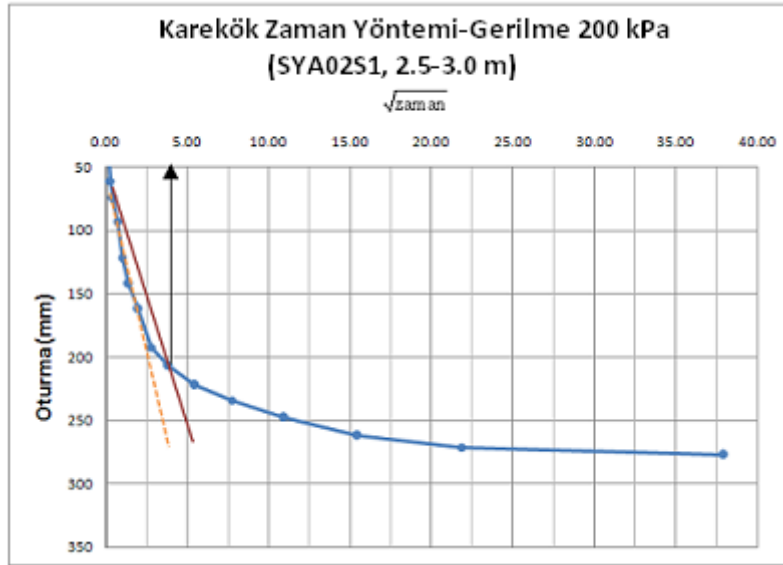
Şekil A.26. 400 kPa gerilme kademesinde Casagrande yöntemiyle t_{50} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.5-3.0 m)



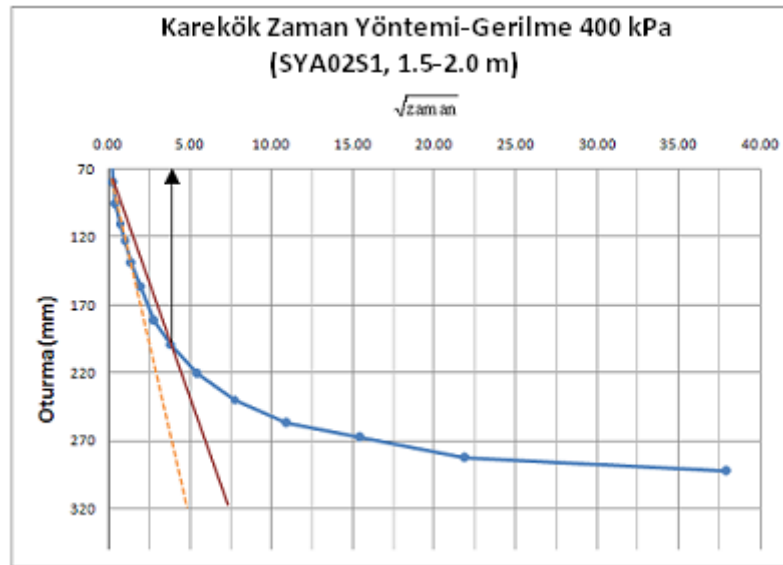
Şekil A.27. 200 kPa gerilme kademesinde karekök zaman yöntemiyle t_{90} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



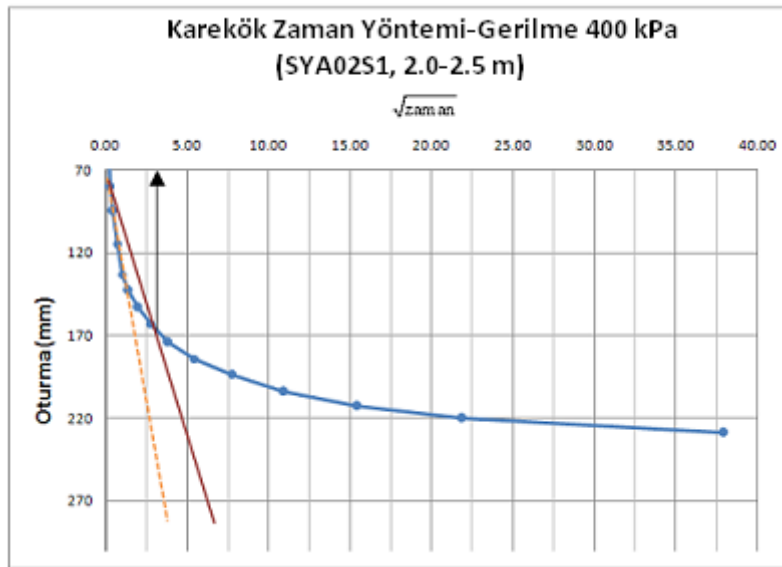
Şekil A.28. 200 kPa gerilme kademesinde karekök zaman yöntemiyle t_{90} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



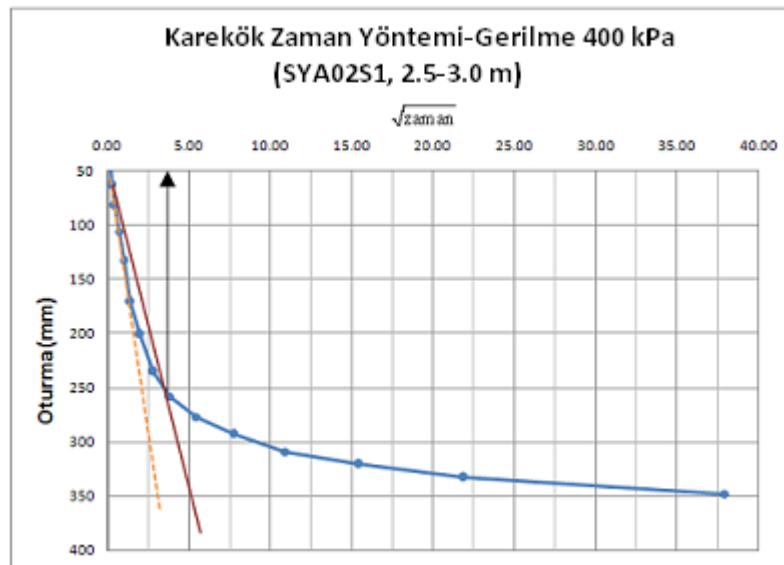
Şekil A.29. 200 kPa gerilme kademesinde karekök zaman yöntemiyle t_{90} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.5-3.0 m)



Şekil A.30. 400 kPa gerilme kademesinde karekök zaman yöntemiyle t_{90} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 1.5-2.0 m)



Şekil A.31. 400 kPa gerilme kademesinde karekök zaman yöntemiyle t_{90} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.0-2.5 m)



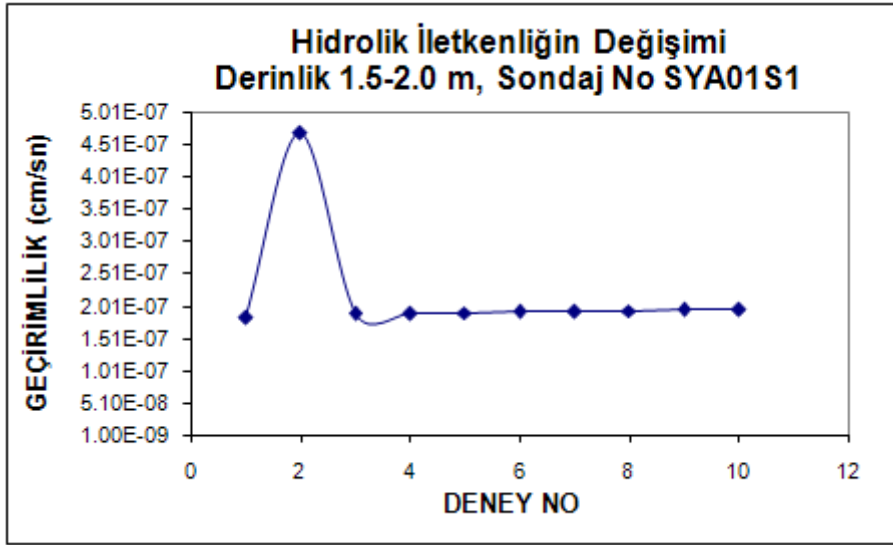
Şekil A.32. 400 kPa gerilme kademesinde karekök zaman yöntemiyle t_{90} 'nin bulunuşu (SYA02S1, 2.5-3.0 m)

Tablo A.5.Düşen düzeyli permeametre deneyine ait hesaplamalar

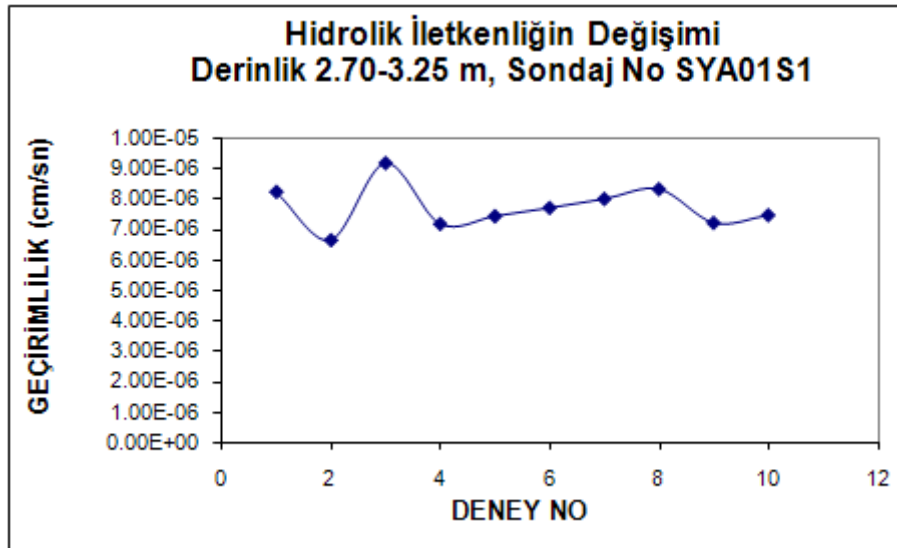
Sondaj Numarası: SYA01S1 Derinlik: 1.5-2.0 m					
Tüp Boy (cm)	9	Tüp Ağırlığı (g)	290.01		
Üst Mesafe (cm)	1.95	Tüp+ Yaş Num. Ağ. (g)	503.572		
Alt Mesafe (cm)	0.15	Tüp+ Kuru Num. Ağ. (g)	457.91		
Num. Boy, L (cm)	6.9	Yaş Num. Ağ. (g)	213.56		
Num. Çap (cm)	4.5	Kuru Num. Ağ. (g)	167.90		
Boru Çap (cm)	0.18	Doğal B.H.A, ρ_n (g/cm ³)	1.95		
Num. Kesit Alanı (cm ²)	15.89	Kuru B.H.A, ρ_K (g/cm ³)	1.53		
Boru Kesit Alanı (cm ²)	0.0254	G _s	2.67		
Num. Hacmi (cm ³)	109.68	Su Muhtevası (%)	28		
e _o (Su Muhtevasından)	0.77	e _o (G _s 'den)	0.74		
t ₁ (dk)	t ₂ (dk)	Düşüm (cm)	H ₁	H ₂	k (cm/s)
0	25	5	202.6	197.6	1.84E-07
25	30	7.5	197.6	195.1	4.69E-07
30	35	8.5	195.1	194.1	1.89E-07
35	40	9.5	194.1	193.1	1.90E-07
40	45	10.5	193.1	192.1	1.91E-07
45	50	11.5	192.1	191.1	1.92E-07
50	55	12.5	191.1	190.1	1.93E-07
55	60	13.5	190.1	189.1	1.94E-07
60	65	14.5	189.1	188.1	1.95E-07
65	70	15.5	188.1	187.1	1.96E-07
Sondaj Numarası: SYA01S1 Derinlik: 2.70-3.25 m					
Tüp Boy (cm)	9.03	Tüp Ağırlığı (g)	290.5		
Üst Mesafe (cm)	1.13	Tüp+ Yaş Num. Ağ. (g)	534.98		
Alt Mesafe (cm)	0.15	Tüp+ Kuru Num. Ağ. (g)	477.68		
Num. Boy, L (cm)	7.75	Yaş Num. Ağ. (g)	244.48		
Num. Çap (cm)	4.5	Kuru Num. Ağ. (g)	187.18		
Boru Çap (cm)	0.18	Doğal B.H.A, ρ_n (g/cm ³)	1.98		
Num. Kesit Alanı (cm ²)	15.89	Kuru B.H.A, ρ_K (g/cm ³)	1.52		
Boru Kesit Alanı (cm ²)	0.0254	G _s	2.69		
Num. Hacmi (cm ³)	123.19	Su Muhtevası (%)	30		
e _o (Su Muhtevasından)	0.86	e _o (G _s 'den)	0.77		
t ₁ (dk)	t ₂ (dk)	Düşüm (cm)	H ₁	H ₂	k (cm/s)
0	19	107.5	202.6	95.1	8.2E-06
19	20	110.5	95.1	92.1	6.6E-06
20	21	114.5	92.1	88.1	9.2E-06
21	22	117.5	88.1	85.1	7.2E-06
22	23	120.5	85.1	82.1	7.4E-06
23	24	123.5	82.1	79.1	7.7E-06

Tablo A.5.(Devam). Düşen düzeyli permeametre deneyine ait hesaplamalar

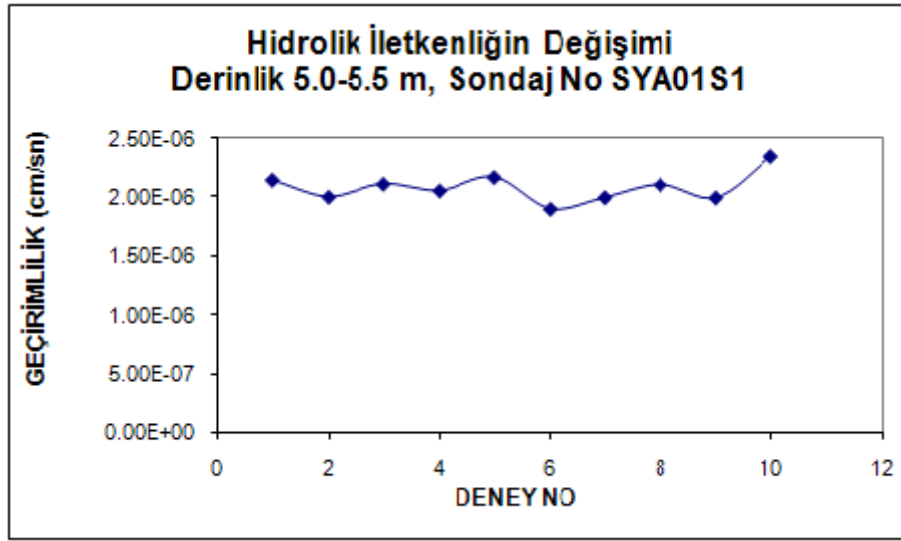
t1 (dk)	t2(dk)	Düşüm (cm)	H1	H2	k (cm/s)
24	25	126.5	79.1	76.1	8.0E-06
25	26	129.5	76.1	73.1	8.3E-06
26	27	132	73.1	70.6	7.2E-06
27	28	134.5	70.6	68.1	7.5E-06
Sondaj Numarası: SYA01S1 Derinlik: 5.0-5.5 m					
Tüp Boy (cm)		9	Tüp Ağırlığı (g)		289.02
Üst Mesafe (cm)		1.43	Tüp+ Yaş Num. Ağ. (g)		510.61
Alt Mesafe (cm)		0.17	Tüp+ Kuru Num. Ağ. (g)		459.77
Num. Boy, L (cm)		7.4	Yaş Num. Ağ. (g)		221.59
Num. Çap (cm)		4.5	Kuru Num. Ağ. (g)		170.75
Boru Çap (cm)		0.18	Doğal B.H.A, ρ_n (g/cm ³)		1.88
Num. Kesit Alanı (cm ²)		15.89	Kuru B.H.A, ρ_K (g/cm ³)		1.45
Boru Kesit Alanı (cm ²)		0.0254	Gs		2.65
Num. Hacmi (cm ³)		117.63	Su Muhtevası (%)		31
e _o (Su Muhtevasından)		0.81	e _o (Gs'den)		0.83
t₁ (dk)	t₂(dk)	Düşüm (cm)	H₁	H₂	k (cm/s)
0	40	71.5	202.6	131.1	2.15E-06
40	45	78	131.1	124.6	2.01E-06
45	50	84.5	124.6	118.1	2.11E-06
50	55	90.5	118.1	112.1	2.06E-06
55	60	96.5	112.1	106.1	2.17E-06
60	65	101.5	106.1	101.1	1.91E-06
65	70	106.5	101.1	96.1	2.00E-06
70	75	111.5	96.1	91.1	2.11E-06
75	80	116	91.1	86.6	2.00E-06
80	85	121	86.6	81.6	2.35E-06



Şekil A.33. Geçirimsizliğin deney esnasında zamanla gösterdiği değişim (SYA01S1, 1.5-2.0 m)



Şekil A.34. Geçirimsizliğin deney esnasında zamanla gösterdiği değişim (SYA01S1, 2.7-3.25 m)



Şekil A.35. Geçirimsizliğin deney esnasında zamanla gösterdiği değişim (SYA01S1, 5.0-5.5 m)

EK B

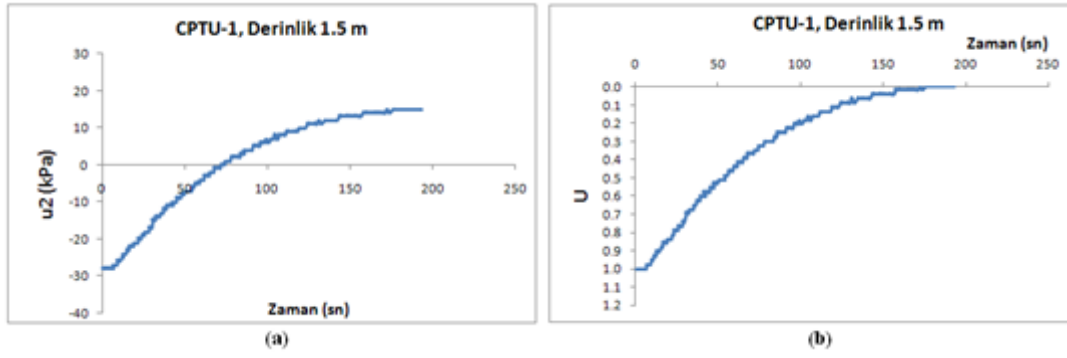
Arazi Deneşlerine Ait Tablo ve Grafikler

Tablo B.1. CPTU'dan elde edilen u_2 , q_c , f_s değerleri ve bu değerlerden hesaplanan parametreler

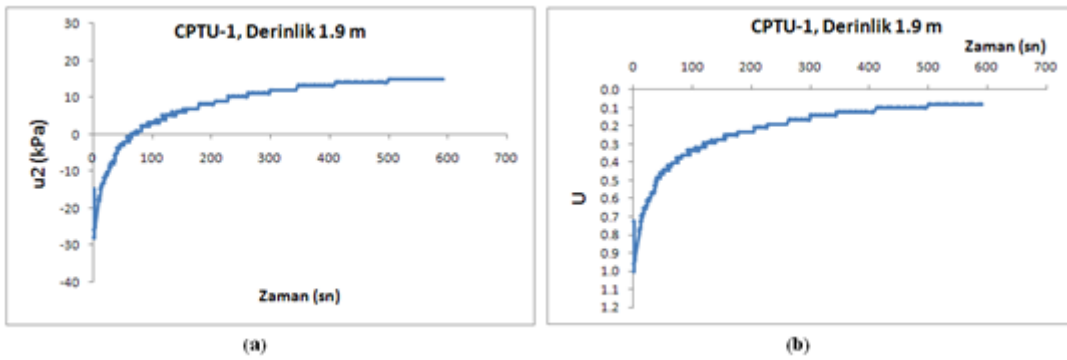
CPTU No	Derinlik (m)	Parametre İsmi	Parametre Değeri
CPTU-1	1.5-2.0	q_c (MPa)	0.564
		f_s (kPa)	1.80
		u_2 (kPa)	0.56
		σ_{v_0} (kPa)	31.32
		u_0 (kPa)	17.07
		σ'_{v_0} (kPa)	14.25
		qt (MPa)	0.56
		Δu (kPa)	-16.51
		ft (kPa)	-3.57
		Bq	-0.0546
		Rf	23.67
		Qt	38.56
		Fr	0.0032
		2.0-2.5	q_c (MPa)
	f_s (kPa)		11.96
	u_2 (kPa)		-5.24
	σ_{v_0} (kPa)		40.32
	u_0 (kPa)		21.97
	σ'_{v_0} (kPa)		18.35
	qt (MPa)		0.64
	Δu (kPa)		-27.21
	ft (kPa)		9.26
	Bq		-0.0480
	Rf		-29.68
	Qt		32.44
	Fr		0.0222
	2.5-3.0		q_c (MPa)
		f_s (kPa)	11.88
		u_2 (kPa)	-13.62
		σ_{v_0} (kPa)	49.50
		u_0 (kPa)	26.98
		σ'_{v_0} (kPa)	22.52
		qt (MPa)	0.94
		Δu (kPa)	-40.59
		ft (kPa)	13.66
		Bq	-0.0911
Rf		-70.26	

Tablo B.1.(Devam). CPTU'dan elde edilen u_2 , q_c , f_s değerleri ve bu değerlerden hesaplanan parametreler

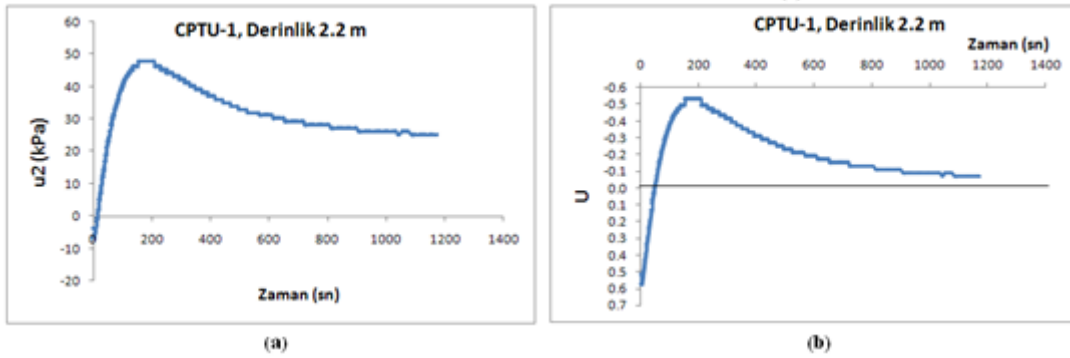
CPTU No	Derinlik (m)	Parametre İsmi	Parametre Değeri
CPTU-1	2.5-3.0	Qt	38.45
		Fr	0.0208
CPTU-2	1.5-2.0	q_c (MPa)	0.4288
		f_s (kPa)	4.36
		u_2 (kPa)	13.72
		σ_{vo} (kPa)	31.32
		u_o (kPa)	5.29
		σ'_{vo} (kPa)	26.02
		qt (MPa)	0.4346
		Δu (kPa)	8.42
		ft (kPa)	-6.90
		Bq	0.0251
		Rf	4.71
		Qt	15.48
		Fr	0.0138
		2.70-3.25	q_c (MPa)
	f_s (kPa)		6.35
	u_2 (kPa)		-3.64
	σ_{vo} (kPa)		53.46
	u_o (kPa)		17.36
	σ'_{vo} (kPa)		36.10
	qt (MPa)		2.62
	Δu (kPa)		-21.01
	ft (kPa)		3.87
	Bq		-0.0081
	Rf		254.40
	Qt		70.82
	Fr	0.0027	
	5.0-5.5	q_c (MPa)	0.952
		f_s (kPa)	42.50
		u_2 (kPa)	20.50
		σ_{vo} (kPa)	94.50
		u_o (kPa)	39.73
		σ'_{vo} (kPa)	54.77
		qt (MPa)	0.96
		Δu (kPa)	-19.23
		ft (kPa)	16.39
		Bq	-0.0320
Rf		-74.79	
Qt		15.79	
Fr		0.0615	



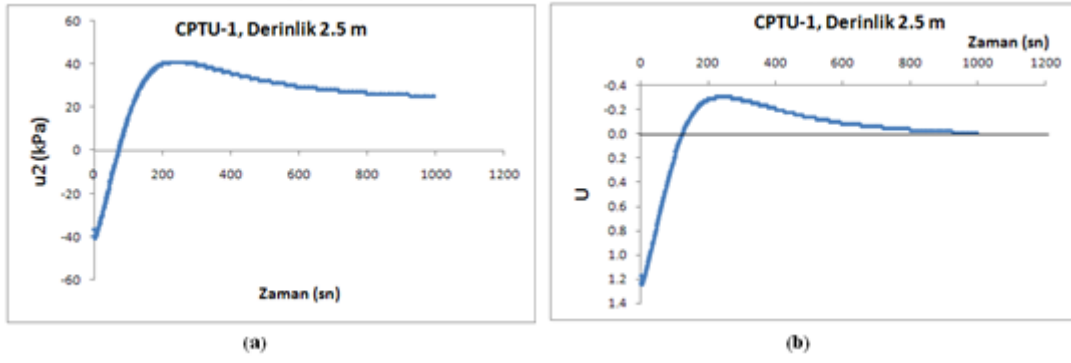
Şekil B.1.a. CPTU-1, 1.5 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-1, 1.5 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



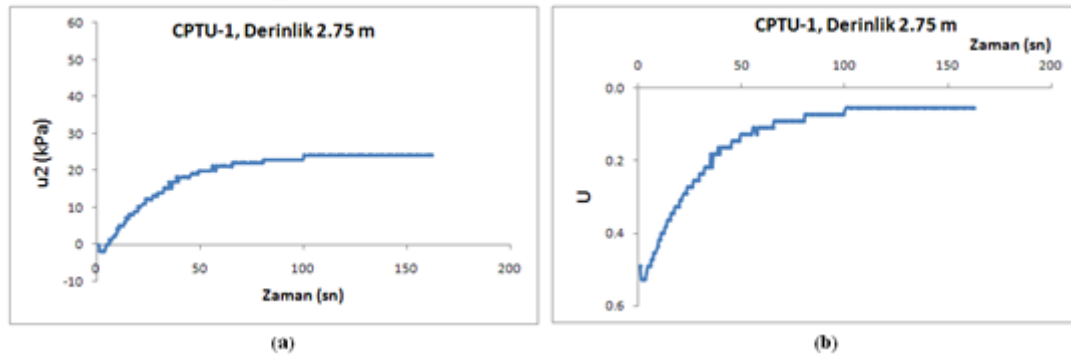
Şekil B.2.a. CPTU-1, 1.9 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-1, 1.9 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



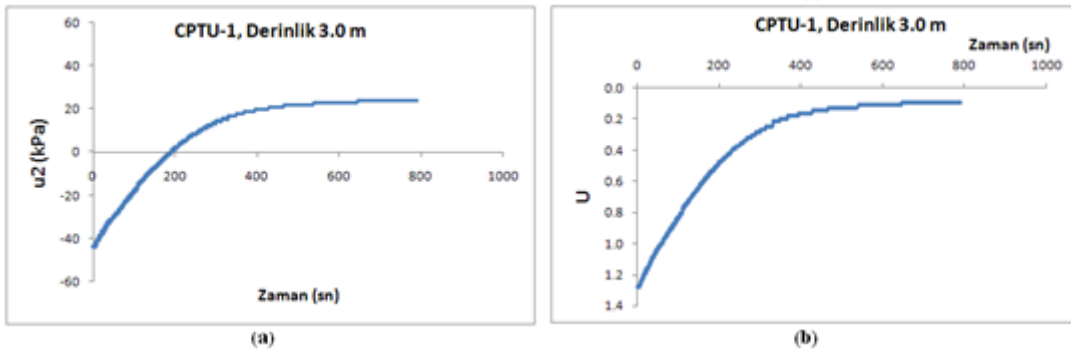
Şekil B.3.a. CPTU-1, 2.2 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-1, 2.2 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



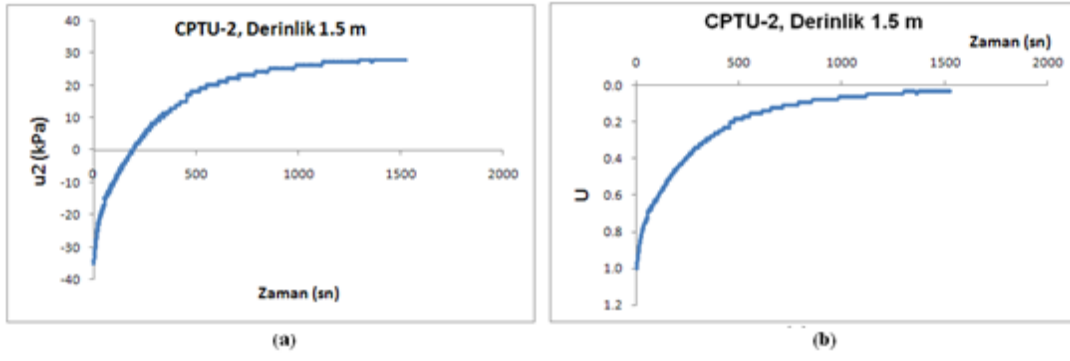
Şekil B.4.a. CPTU-1, 2.5 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-1, 2.5 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



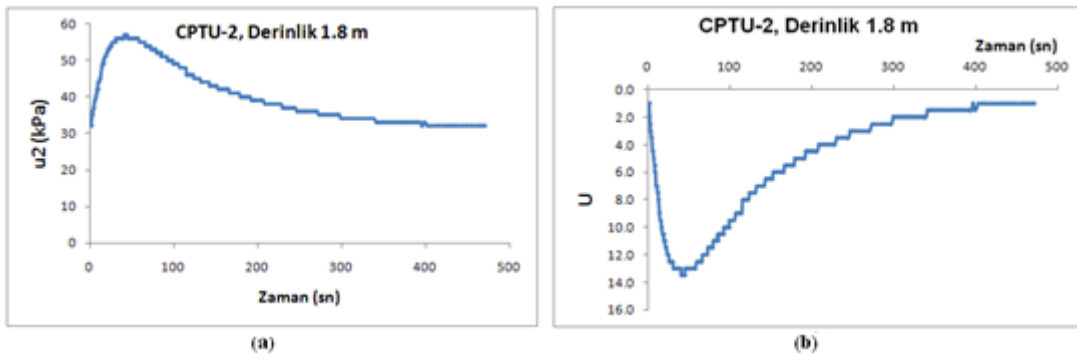
Şekil B.5.a. CPTU-1, 2.75 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-1, 2.75 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



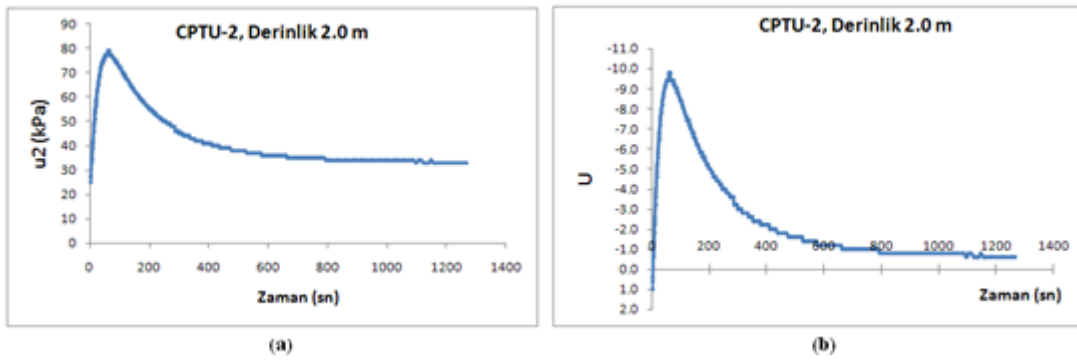
Şekil B.6.a. CPTU-1, 3.0 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-1, 3.0 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



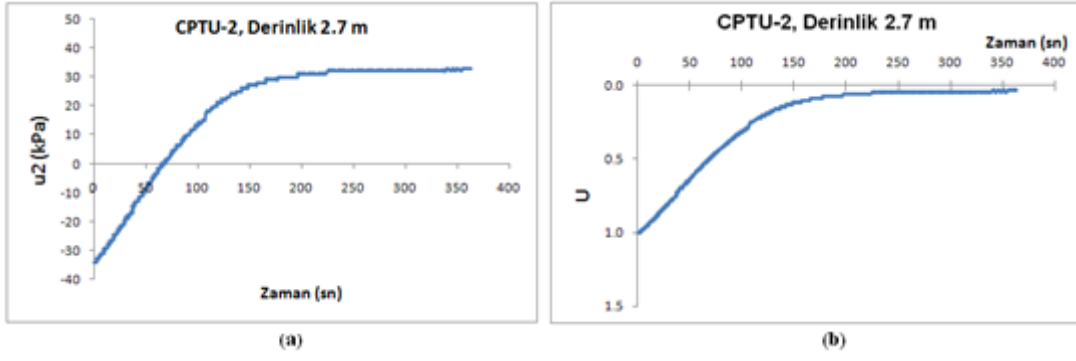
Şekil B.7.a. CPTU-2, 1.5 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 1.5 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



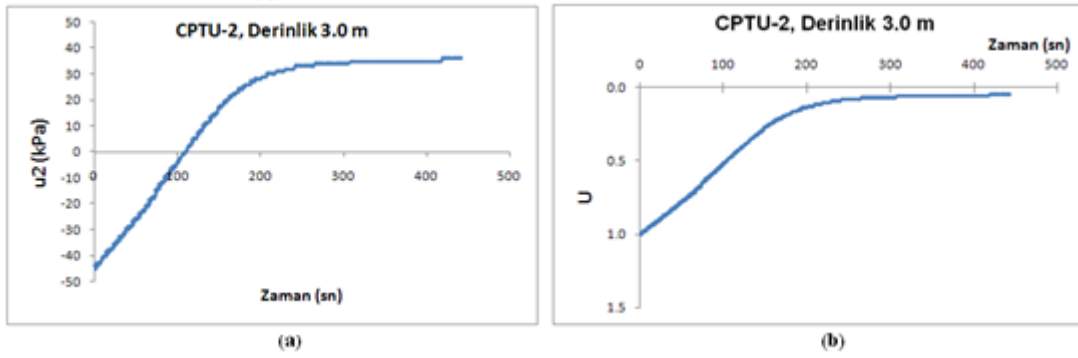
Şekil B.8.a. CPTU-2, 1.8 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 1.8 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



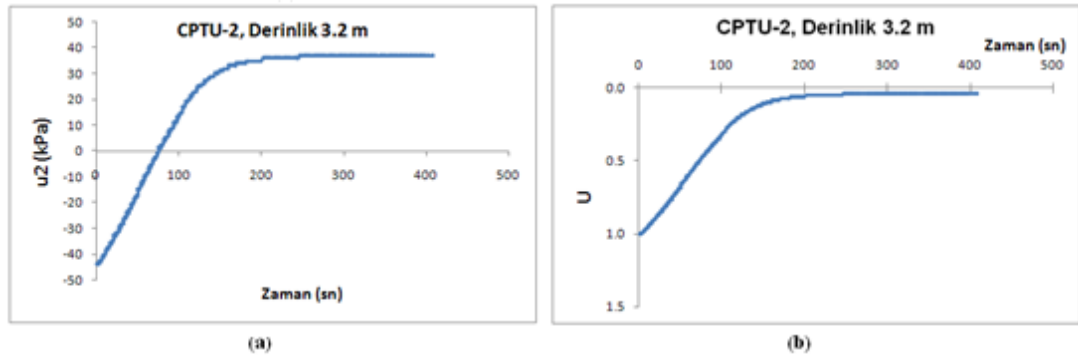
Şekil B.9.a. CPTU-2, 2.0 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 2.0 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



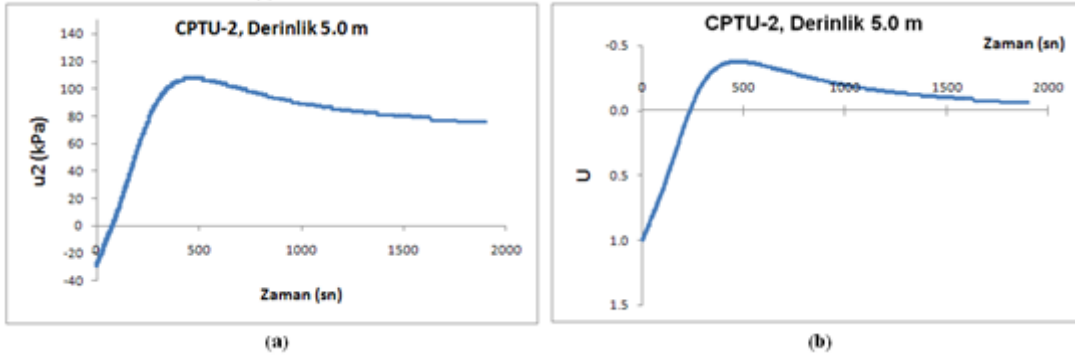
Şekil B.10.a. CPTU-2, 2.7 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 2.7 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



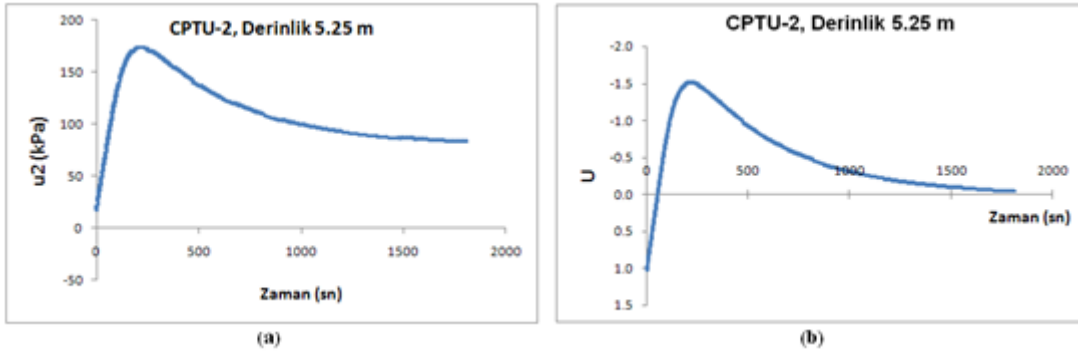
Şekil B.11.a. CPTU-2, 3.0 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 3.0 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



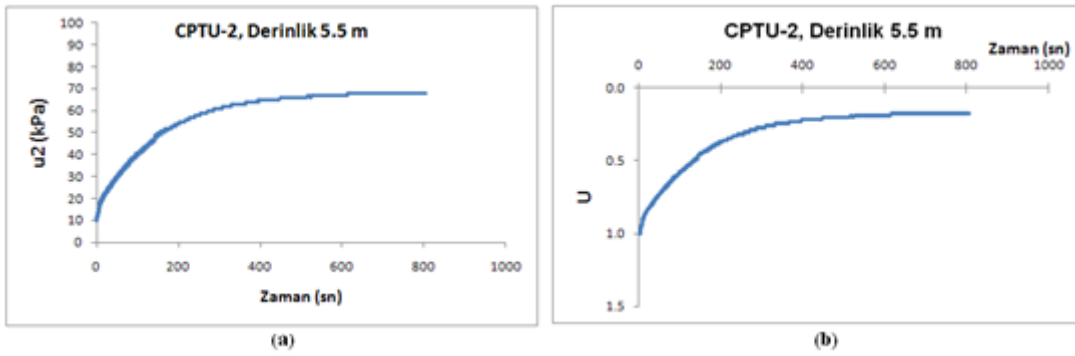
Şekil B.12.a. CPTU-2, 3.2 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 3.2 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



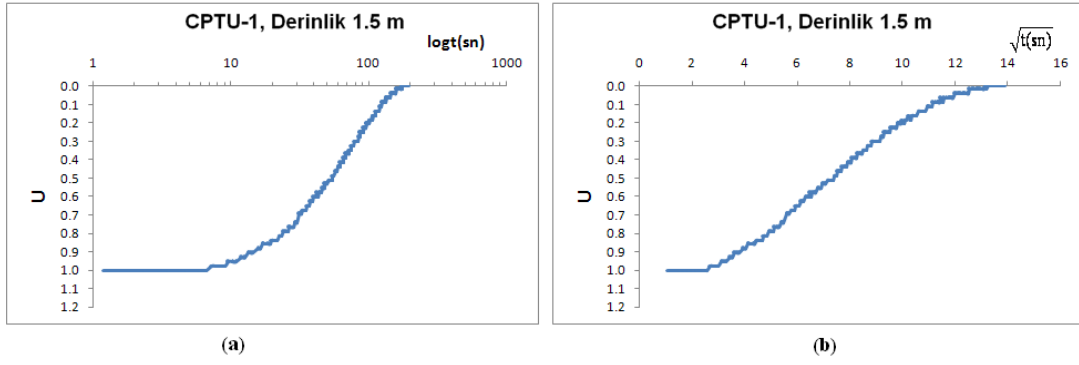
Şekil B.13.a. CPTU-2, 5.0 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 5.0 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



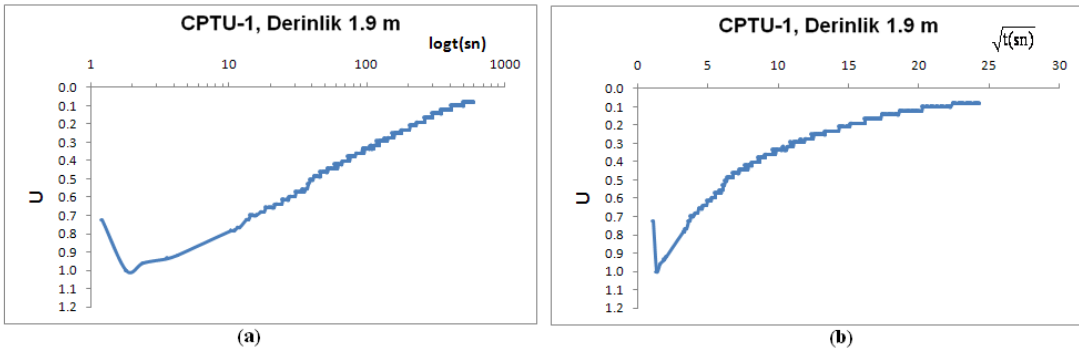
Şekil B.14.a. CPTU-2, 5.25 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 5.25 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



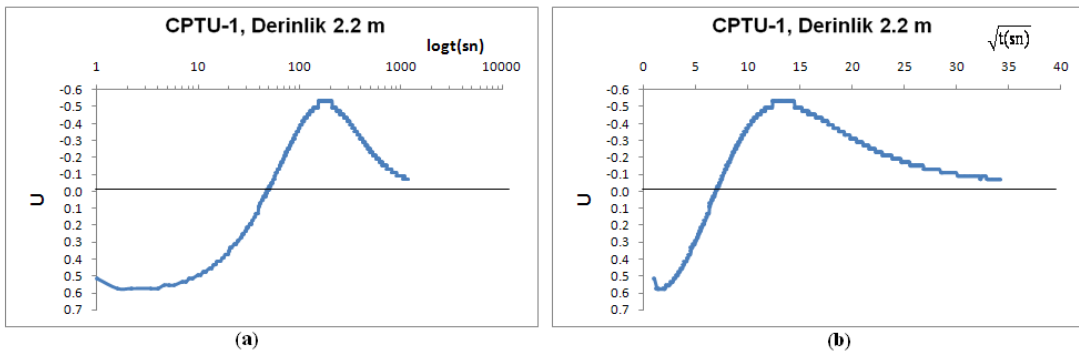
Şekil B.15.a. CPTU-2, 5.5 m derinlikte normalleştirilmemiş sönümlenme eğrisi
b. CPTU-2, 5.5 m derinlikte normalleştirilmiş sönümlenme eğrisi



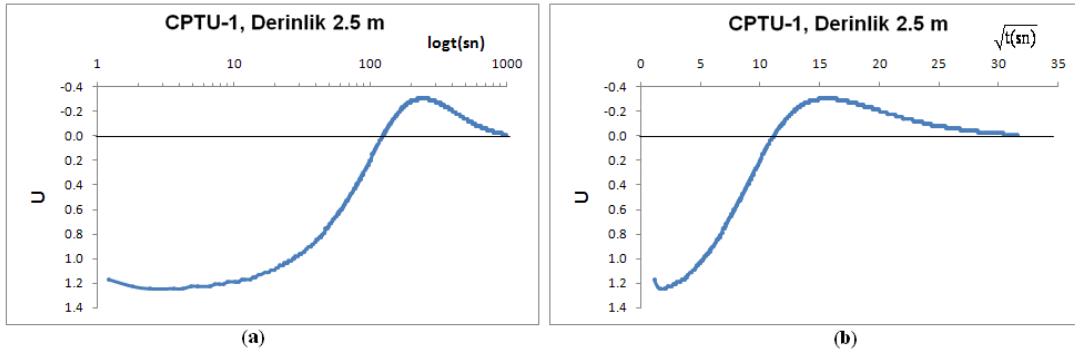
Şekil B.16.a. CPTU-1, 1.5 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-1, 1.5 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



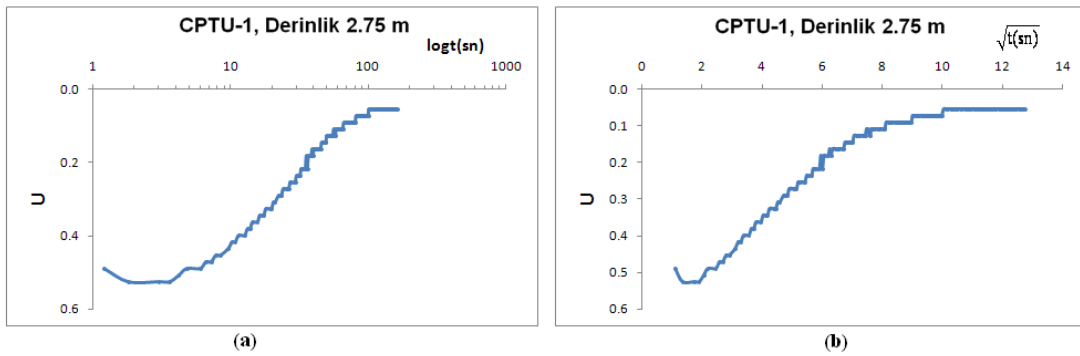
Şekil B.17.a. CPTU-1, 1.9 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-1, 1.9 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



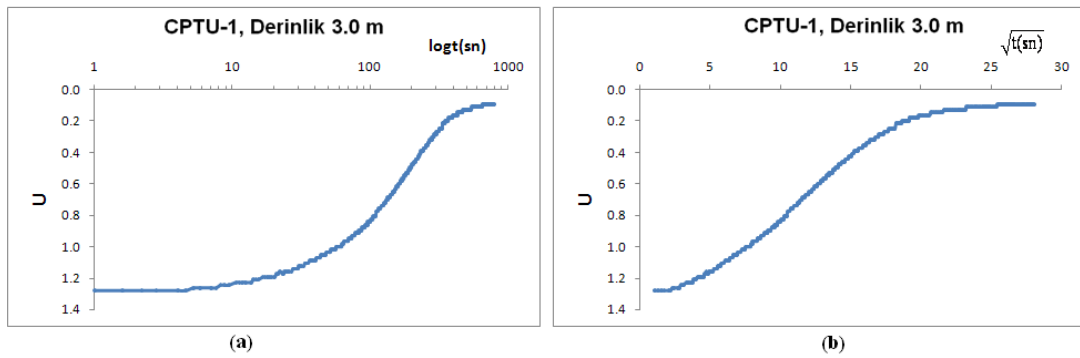
Şekil B.18.a. CPTU-1, 2.2 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-1, 2.2 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



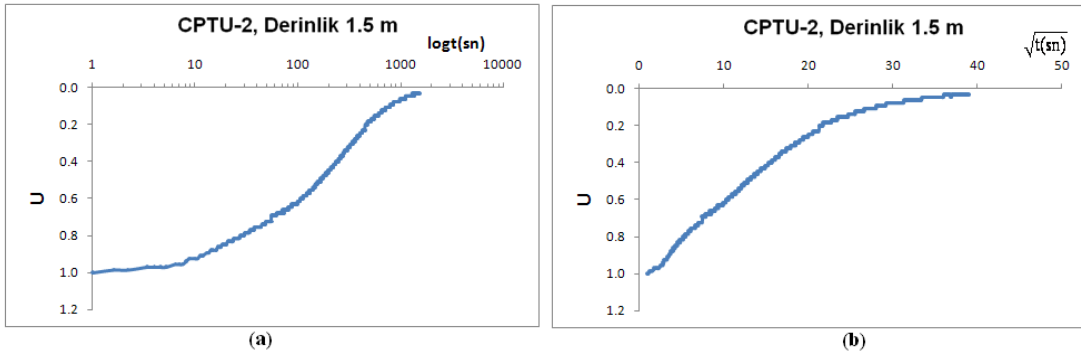
Şekil B.19.a. CPTU-1, 2.5 m derinlikte logt ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-1, 2.5 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



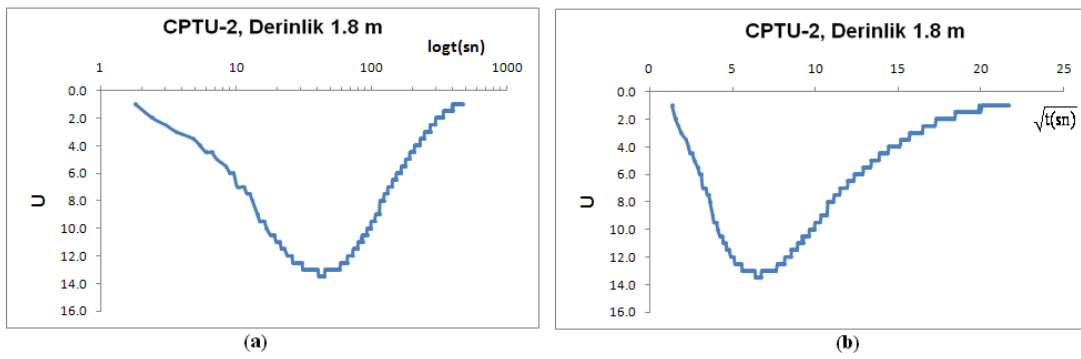
Şekil B.20.a. CPTU-1, 2.75 m derinlikte logt ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-1, 2.75 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



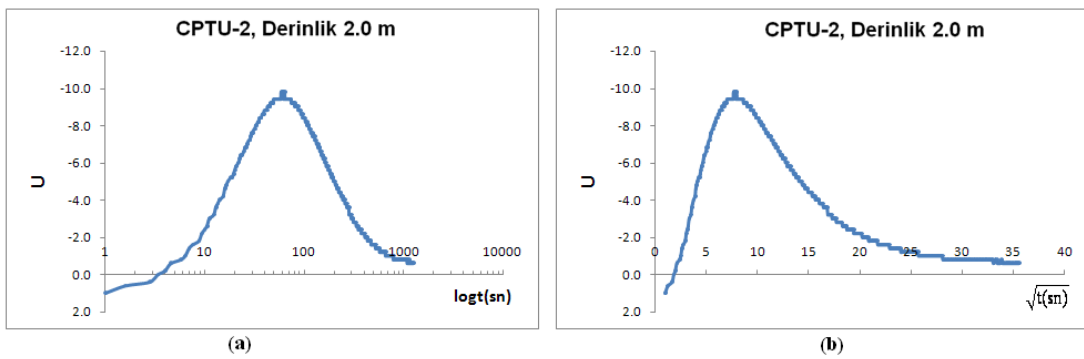
Şekil B.21.a. CPTU-1, 3.0 m derinlikte logt ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-1, 3.0 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



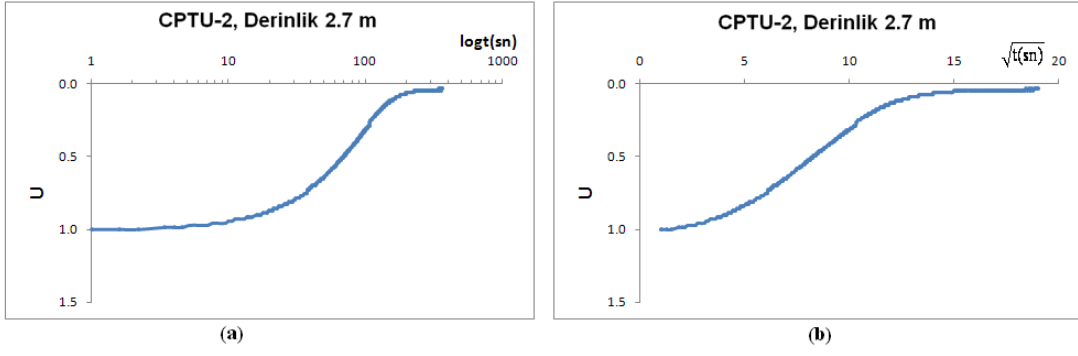
Şekil B.22.a. CPTU-2, 1.5 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 1.5 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



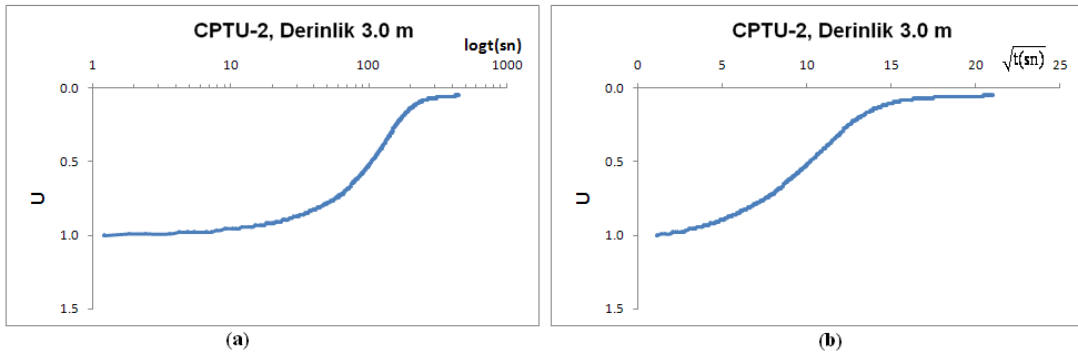
Şekil B.23.a. CPTU-2, 1.8 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 1.8 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



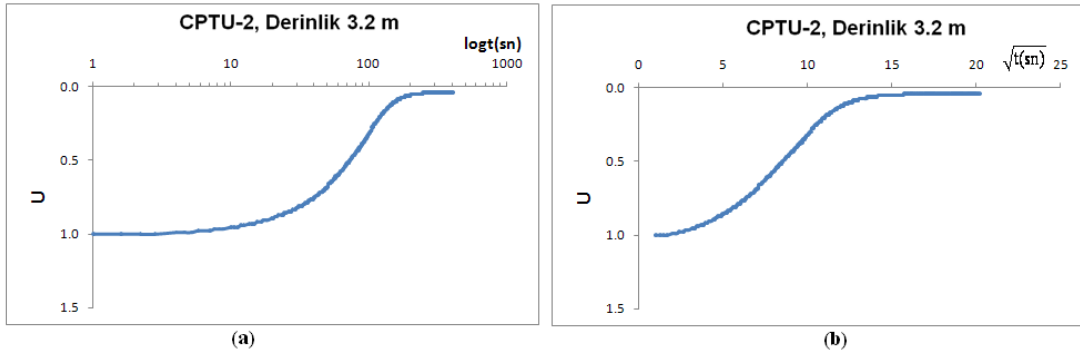
Şekil B.24.a. CPTU-2, 2.0 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 2.0 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



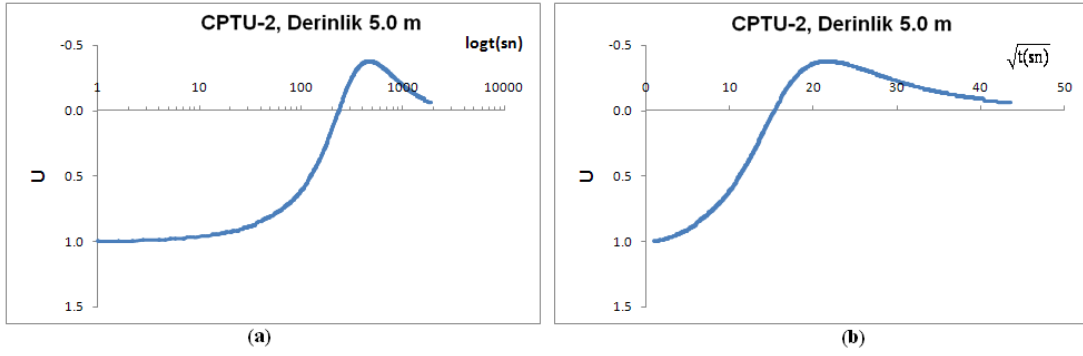
Şekil B.25.a. CPTU-2, 2.7 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 2.7 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



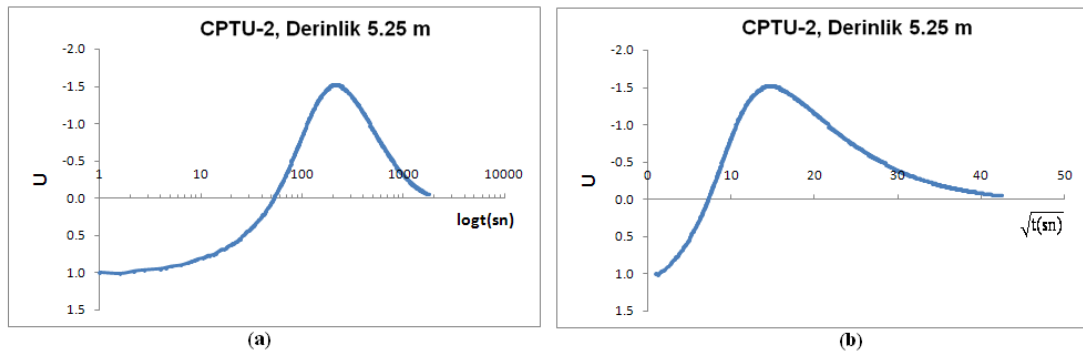
Şekil B.26.a. CPTU-2, 3.0 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 3.0 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



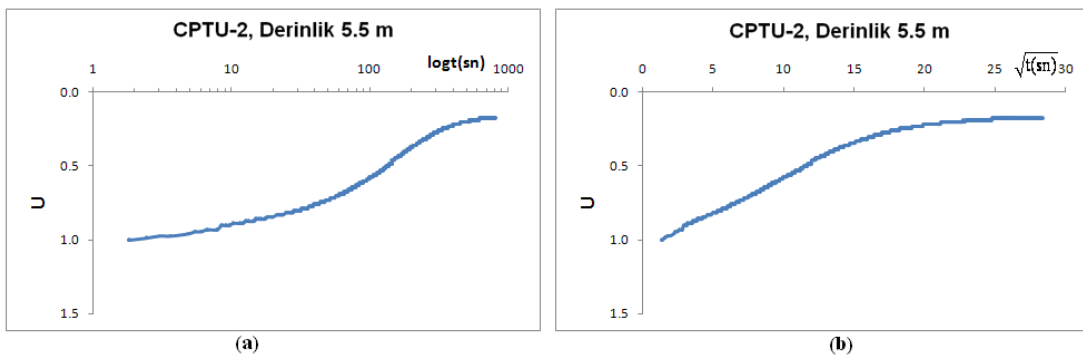
Şekil B.27.a. CPTU-2, 3.2 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 3.2 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



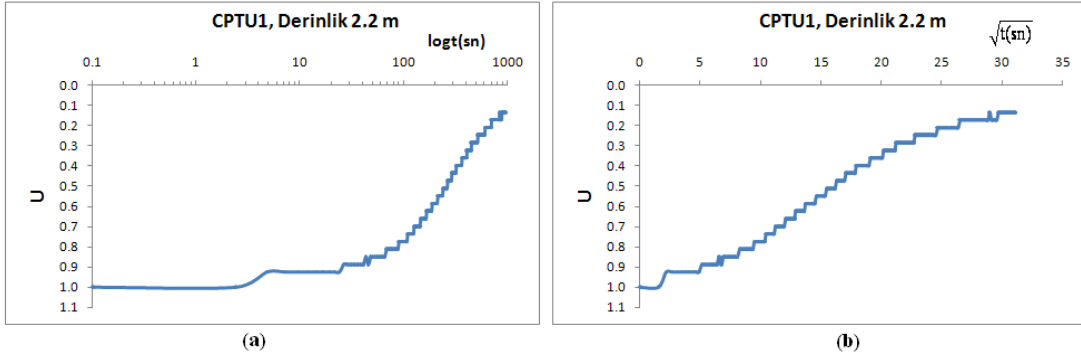
Şekil B.28.a. CPTU-2, 5.0 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 5.0 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



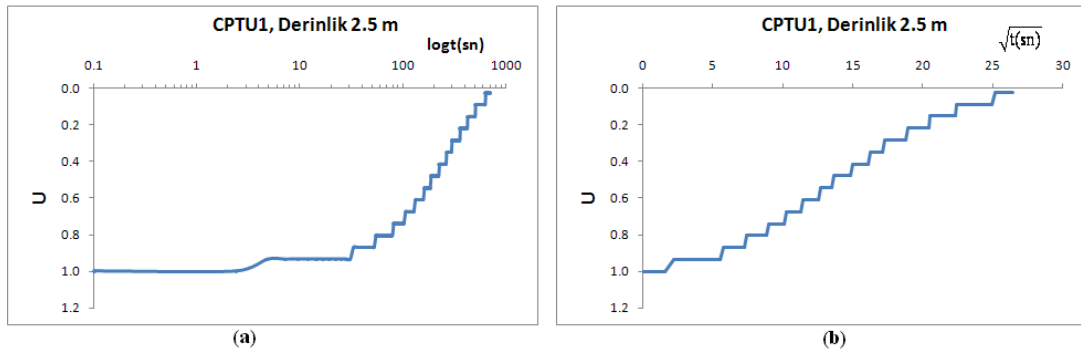
Şekil B.29.a. CPTU-2, 5.25 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 5.25 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



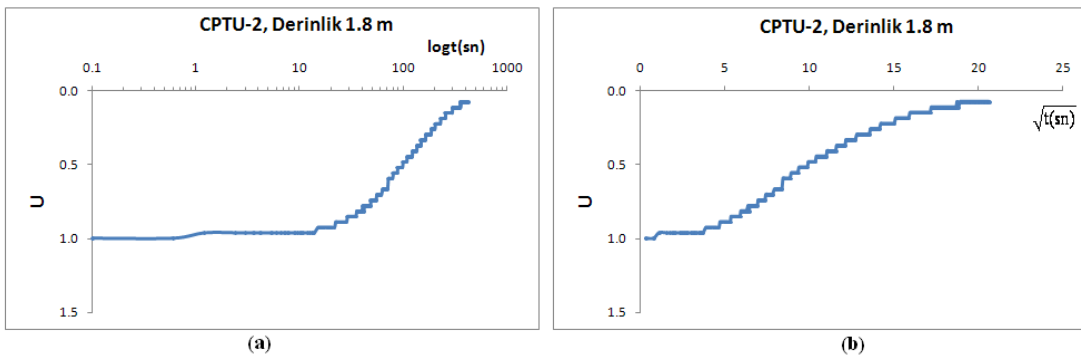
Şekil B.30.a. CPTU-2, 5.5 m derinlikte $\log t$ ekseninde sönümlenme eğrisi
b CPTU-2, 5.5 m derinlikte \sqrt{t} ekseninde sönümlenme eğrisi



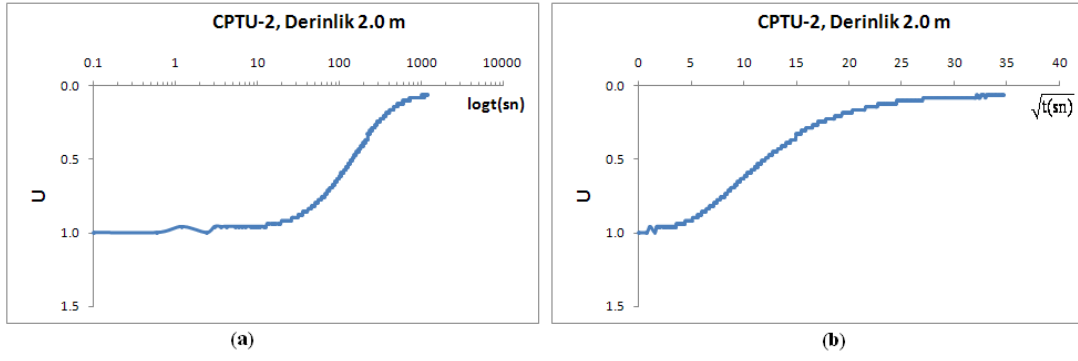
Şekil B.31.a. CPTU-1, 2.2 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek $\log t$ ekseninde gösterilmesi
 b. CPTU-1, 2.2 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek \sqrt{t} ekseninde gösterilmesi



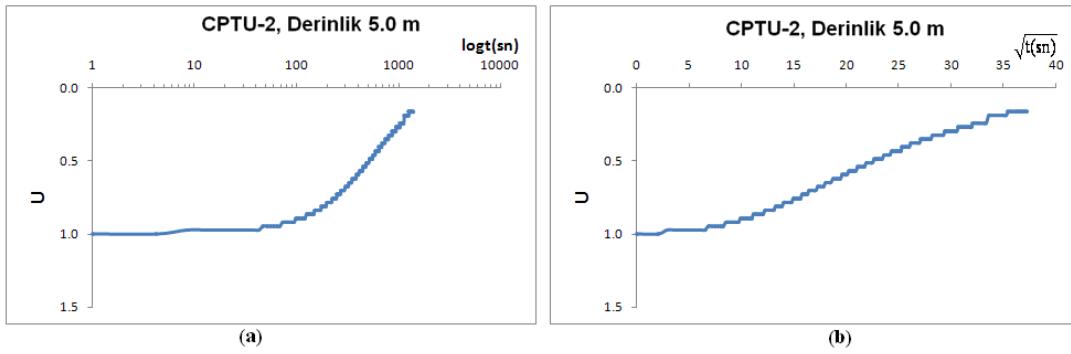
Şekil B.32.a. CPTU-1, 2.5 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek $\log t$ ekseninde gösterilmesi
 b. CPTU-1, 2.5 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek \sqrt{t} ekseninde gösterilmesi



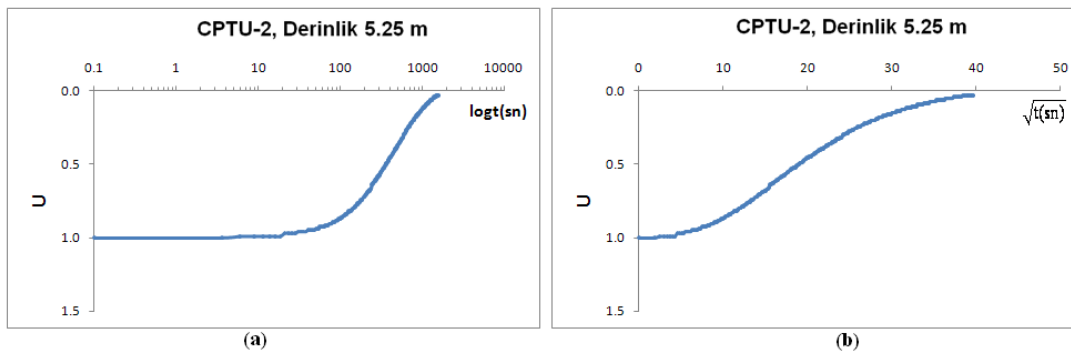
Şekil B.33.a. CPTU-2, 1.8 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek $\log t$ ekseninde gösterilmesi
 b. CPTU-2, 1.8 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek \sqrt{t} ekseninde gösterilmesi



Şekil B.34.a. CPTU-2, 2.0 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek $\log t$ ekseninde gösterilmesi
 b. CPTU-2, 2.0 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek \sqrt{t} ekseninde gösterilmesi



Şekil B.35.a. CPTU-2, 5.0 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek $\log t$ ekseninde gösterilmesi
 b. CPTU-2, 5.0 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek \sqrt{t} ekseninde gösterilmesi



Şekil B.36.a. CPTU-2, 5.25 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek $\log t$ ekseninde gösterilmesi
 b. CPTU-2, 5.25 m derinlikte kabarma tipi sönümlenme eğrisinin tekdüze tipe çevrilerek \sqrt{t} ekseninde gösterilmesi

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Emin OKUR, 1986 yılında RİZE'nin Çayeli ilçesinde doğdu. İlköğretimini Rize İstiklal İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2004 yılında Rize Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim hayatına başladı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi'ndeki Çift Anadal Programı'ndan yararlanarak aynı üniversitenin Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdı. 2008 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2008 yılı güz döneminde Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Geoteknik Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2008 ile 2010 yılları arasında sırasıyla; Adapazarı'nda Adadetay Yapı Denetim Ltd. Şti'de, İstanbul'da Geogrup İnşaat A.Ş.'de çalışmıştır.