

**AŞIRI KONSOLİDE ORTAMLARDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN
PRESİYOMETRE KULLANIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Başhan

0709071017

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.06.2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 30.06.2010

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Akın ÖNALP
Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN
Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Hocam Prof. Dr. Akın Önalp'a Yüksek Lisans programı boyunca bize vermiş olduğu mesleki temel bilgilerin yanı sıra, bir bilim adamında olması gereken mesleki hassasiyeti göstermiş olmasından dolayı çok teşekkür ederim. Ayrıca bu yüksek lisans programı ile, mühendisliğin fikir değil, bilgi sahibi olduktan sonra yapılması gerektiğini bize öğretmiştir.

Bu tez süresince çalıştığım Anadolu Yerbilimleri Ltd. Şti'ndeki hocalarıma, arazi çalışmalarında presiyometre aletini kullanmamı sağlayan Zemin Teknolojileri Merkezi Ltd. Şti'ne ve çalışmalarımda bana daima destek olan aileme çok teşekkür ederim. Ayrıca, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ile İstanbul'daki üniversiteler arasında yürütülmekte olan "İstanbul Büyükşehir Belediyesi Görev ve Sorumluluk Alanlarına Giren Konularda Araştırma Projeleri, Yüksek Lisans ve Doktora Tezlerine Destek Verilmesine Dair Ortak Hizmet Projesi" kapsamında, yüksek lisans çalışmama destek veren İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SİMGE LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Zemin Özellikleri.....	2
2. PRESİYOMETRE DENEYİ (PMT).....	9
2.1. Presiyometre Deneyinin Teorisi.....	15
2.2. Presiyometre Deneyinde Genleşme Eğrileri	18
2.3. Presiyometre Sondaları ve Test Techizatı	20
2.3.1. Deliği Önceden Hazırlanan Presiyometre (PBP).....	20
2.3.1.1. Menard Presiyometresi (MPM)	21
2.3.2. Deliğini Kendi Açan Presiyometreler (SBP/PAF).....	28
2.3.3. Zemine İtilen Presiyometre (PIP)	30
3. MENARD PRESİYOMETRE DENEYİ	31
3.1. Menard Presiyometre Probenun Yerleştirilmesi.....	38
3.2. Teknik Donanım ile İlgili Deney Kalitesini Etkileyen Sorunlar.....	39
3.3. Deney Ekipmanının Kalibrasyonu.....	46
3.3.1. Proben Havasını Alma (<i>Probe Bleeding</i>)	47
3.3.2. Basınç Kaybı Testi (Pressure Loss Test).....	47
3.3.3. Hacim Kaybı Testi (Volume Loss Test).....	49
3.3.4. Basınç Farkı	55
3.3.4.1. Prob kotunda basınç farkı	55
3.3.4.2. İzleme Ünitesi Yüksekliğinde Geri Basınç-Basınç gecikme ayarı..	57
3.4. Menard Metodu	59
3.5. Testi Sonlandırma	62
3.5.1. Maksimum Basınç Kapasitesi	65
3.5.2. Maksimum yağ/gaz kapasitesi	68
3.5.1. Membranın patlaması	69
3.5.2. Maksimum Deplasman	69
4. MENARD PRESİYOMETRE DENEYİNİN YORUMLANMASI	72
4.1. Presiyometre Eğrisi	77
4.2. Presiyometre Modülü ve Değişen Net Limit Basıncı	79
4.2.1. Limit Basıncın (PL) Tespit Edilmesi	84
4.3. MPM Parametreleri ve Diğer Parametreler Arası Korelasyonlar	89
5. PRESİYOMETRE İLE GEOTEKNİK TASARIM KURALLARI	91
5.1. Taşıma Gücü Analizi	91
5.2. Oturma Analizi.....	93
6. ARAZİ UYGULAMALARI	97
6.1. Ölçülen Arazi Verilerinin Değerlendirilmesi	99
6.2. Ataköy Otel Projesi.....	108
6.3. Gümüşyaka-Çanta Atıksu Tüneli	113
6.4. B. Çekmece - Karaağaç Köyü	117
6.5. Kurtköy – Sancaktepe Proje Sahası	123
6.6. Ümraniye Proje Sahası.....	130
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	135
8. KAYNAKLAR	137
9. İNGİLİZCE PRESİYOMETRE DENEYİ TERİMLERİ	140

KISALTMALAR

OCR	: Aşırı Konsolidasyon Oranı
NL	: Normal Yüklenmiş Kil
OC	: Aşırı Konsolide Olmuş Kil veya Önceden Yüklenmiş Kil
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği topluluğu
PMT	: Presiyometre Deneyi
ISSMFE	: Uluslararası Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği topluluğu
MPT	: Menard Presiyometresi
PBP	: Deliği önceden Delinmiş (Pre-Bored) presiyometre
SBP /PAF	: Kuyusunu kendi açan (<i>Self-Bored</i>) presiyometre
PIP	: Zemine doğrudan itilen (<i>Pushed-in</i>) presiyometre
HPD	: Yüksek Basıncılı Dilatometre
GC	: Zemin ortamlar için Menard presiyometre probu (4 MPa)
GB	: Kaya ortamlar için Menard presiyometre probu (20 MPa)
ASTM	: Amerikan Malzeme Deneyleri Birliği
GOST	: Rusya'nın standart katologu

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Killerin serbest basma dayanımına göre tanımı.....	6
Tablo 1.2. Tek eksenli basma dayanımına göre sınıflandırma (Palicki, 1997).....	7
Tablo 1.3. Zemin ve kaya dayanımları sınıflandırması (ISRM 1981b).	8
Tablo 1.4. İstanbul ve yakın çevresindeki aşırı konsolide zemin-yumuşak kaya ve arena olarak tanımlanan formasyonlar.	8
Tablo 2.1. Presiyometre testi için uluslararası standartlar	12
Tablo 2.2. Zemin koşullarına göre presiyometrelerin uygulanabilirliği.....	13
Tablo 2.3. Zemin ve kaya ortamlarında presiyometre deneyi uygulaması	14
Tablo 2.4. Presiyometre deneyinde elde edilen parametreler	19
Tablo 2.5. Presiyometre Çapları	21
Tablo 2.6. Presiyometre sondası türüne göre Hacim V_c değerleri (Gambin and Rousseau, 1988)	21
Tablo 2.7. Menard presiyometrelerin teknik özellikleri	21
Tablo 3.1. Hücre merkezinin veya probun ilk hacmi V_s (APAGEO-çalıştırma talimatları, 2006).....	52
Tablo 3.2. Düz Yarık Tüp içindeki probun ilk hacmi V_s	52
Tablo 3.3. Koruyucu hücrelerdeki test derinliğine esas basınç dengeleme.	56
Tablo 3.4. Prob derinliğine göre geri basınç P_{diff} değerleri (standart membran)	58
Tablo 3.5. Derinliğe göre hesaplanan P_{diff} geri basınç değerleri ve gösterge üzerindeki basınçlar.	59
Tablo 3.6. SPT- N_{30} ile drenajsız kayma direnci değerlerine göre zeminler içinolasi Limit Basınç, PL değerleri (Briaud,1992).	60
Tablo 3.7. Menard Presiyometresinde zemin türüne göre limit basınç (PL) değerleri.	61
Tablo 3.8. Limit basınç (PL) ve Menard Modülü (E_m) değerleri (Gambin and Rousseau,1980).	61
Tablo 4.1. Menard presiyometre deneyinde(MPM)verilerin dönüşüm ve düzeltmeleri	74
Tablo 4.2. PBP tipi presiyometrede K_r katsayıları (GOST 20276-85).	81
Tablo 4.3. Menard Faktörleri (Briaud, 1992).....	84
Tablo 4.4. Kaya türlerine göre E_m/ PL oranları.	84
Tablo 4.5. Kaya türlerine göre E_m/ PL oranları.	89
Tablo 4.6. Limit basınç PL ve drenajsız kayma c_u direnci arasındaki bağıntı.....	89
Tablo 4.7. P_f ve σ_c arasında korelasyonlar	91
Tablo 5.1. Presiyometre ölçümlerinde kritik derinlik.	92
Tablo 5.2. Temel Biçimleri için N_{PR}^*	93
Tablo 5.3. Yüzeysel temellerin oturmasında presiyometre katsayıları	94
Tablo 5.4. Yüzeysel temeller için α değerleri.....	95
Tablo 6.1. Tez projesi kapsamındaki uygulama arazileri	97
Tablo 6.2. Arazi verileri	103
Tablo 6.3. Düzeltilmiş verileri	103
Tablo 6.4. Menard Modülü, E_m hesaplanması	105
Tablo 6.5. DE-16 sondajı 12 m için limit basıncı, PL ve Menard modülü E_m değerleri.	106
Tablo 6.6. SK-16 sondajı 5 m konsolide kil-çamurtaşı için limit basıncı, PL ve Menard modülü E_m değerleri.....	108
Tablo 6.7. Presiyometre deney sonuçları	109
Tablo 6.8. Bakırköy Formasyonu'nun kireçtaşlarına ait mekanik deney sonuçları.	111
Tablo 6.9. Gümüşyaka - Çanta Tüneli presiyometre deney sonuçları	113
Tablo 6.10. Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killere ait tipik Menard Modülü, E_m ve Net Limit basıncına (PL*) değerleri.	116
Tablo 6.11. Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killere ait Laboratuvar deney sonuçları.....	116

Tablo 6.12. Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killere, laboratuvarda ölçülen tipik mekanik deney sonuçlarının min, max. ve ortalama değerleri.....	117
Tablo 6.13. Laboratuvar ve presiyometre deney sonuçlarına göre Menard modülü, E_m ve Elastisite modülünün E karşılaştırılması.....	117
Tablo 6.14. Aşırı Konsolide kil-çamurtaşlarına ait presiyometre deney sonuçları. .	118
Tablo 6.15. Aşırı Konsolide kil-çamurtaşlarına min., max. ve ortalama Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL^*) değerleri	118
Tablo 6.16. Aşırı Konsolide kil - çamurtaşı seviyelerine ait mekanik deney sonuçlarının maksimum ve ortalama değerleri.....	122
Tablo 6.17. Laboratuvar ve presiyometre deney sonuçlarına göre Menard modülü, E_m ve Elastisite modülünün E karşılaştırılması (Anadolu Yerbilimleri, Rapor No : 2010-926).	123
Tablo 6.18. Ayrışmış granit ve arena ya ait presiyometre deney sonuçları.....	126
Tablo 6.19. Arena ve Ayrışmış Granit için min., max. ve ortalama Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL^*) değerleri.....	126
Tablo 6.20. Havza dolgusuna ait presiyometre deney sonuçları	130
Tablo 6.21. Havza Dolgusu için min., max. ve ortalama Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL^*) değerleri.	130
Tablo 6.22. Havza dolgusuna ait üç eksenli basit kesme deney sonuçlarına	132

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Proje özelliğine göre yürütülecek arazi ve laboratuvar deney türleri .	2
Şekil 1.2. Zeminden Kayaya Geçiş	3
Şekil 1.3. Normal ve Aşırı Konsolidasyon için Terzaghi Modeli.	4
Şekil 1.4. Aşırı konsolidasyon oranının (OCR) sıkışmaya etkisi ⁰	5
Şekil 1.5. Aşırı konsolide kilde yaşlanmanın sıkışabilirliğe etkisi	6
Şekil 2.1. Louis Menard (sağda) ve ilk presiyometre probu	9
Şekil 2.2. (a) Presiyometre tanımı, (b) şematik gösterimi	10
Şekil 2.3. Orijinal MPM Menard presiyometresi ve 5 yeni presiyometre probu .	11
Şekil 2.4. Tipik gerilme ve birim deformasyon eğrileri	12
Şekil 2.5. Presiyometrenin tarihsel gelişiminin deformasyon ölçüm yöntemi ve yüklemeye yöntemine göre gösterimi	13
Şekil 2.6. Deney sırasında silindirik boşlukta oluşan gerilme – birim yerdeğiştirme.	15
Şekil 2.7. Silindirik halkada oluşan denge kuralları.....	16
Şekil 2.8. Boşluğun genişlemesinin Mohr gerilme dağılımı ile gösterimi.....	17
Şekil 2.9. Elastik ortam koşullarında silindirik genişleme.....	17
Şekil 2.10. a) PBP, b) SBP, c) PIP türü presiyometre eğrileri.....	18
Şekil 2.11. Deliği önceden hazırlanan presiyometreler.....	20
Şekil 2.12. Zeminler için kullanılan GC tipi prob'un özellikleri.....	22
Şekil 2.13. Ölçüm hücresinde radyal - şekil değiştirme (Δr).....	23
Şekil 2.14. Menard tipi presiyometre takımı.	23
Şekil 2.15. Kayada deney tipi GB probunun özellikleri	25
Şekil 2.16. GC Probonun kontrol ünitesi (şematik diyagramı).....	26
Şekil 2.17. Kontrol ünitesi verilerine otomatik olarak giriş izni verir.....	27
Şekil 2.18. GB Probonun kontrol ünitesi (Şematik görünüm).....	27
Şekil 2.19. (a) Kendi delen presiyometre (<i>Self Boring Pressuremeter</i> , SBP), (b) Deneyinin Yapılışı.....	29
Şekil 2.20. (a) Zemine itilen presiyometre (PIP), (b ₁) koni presiyometre, (b ₂) Cambridge koni-presiyometresi.	30
Şekil 3.1. Menard Presiyometre Deneyi	31
Şekil 3.2. Deneyin önceden hazırlanmış kuyu içinde yapılışı.	31
Şekil 3.3. Devre diyagramı (APAGEO).....	32
Şekil 3.4. Ménard Presiyometre ve şematik eskizi (Gibson ve Anderson 1961).	33
Şekil 3.5. Su ve Gaz Basıncı altında probun şematik görünümü.	34
Şekil 3.6. Ölçüm yapmak için hazırlanan prob.	34
Şekil 3.7. Probon doğal durumda, gaz basıncı ve su basıncı altında şematik görünümü.	35
Şekil 3.8. Presiyometre probu, kauçuk kaplama, kelepçeler, koni koruma ve montaj aksesuarları.	35
Şekil 3.9. Probon genel hazırlanışı (1, 2, 3, 4).	36
Şekil 3.10-a. Farklı türlerde prob kaplamaları (kılıf) (1, 2, 3, 4).....	37
Şekil 3.11-b). Yarıklı (oluklu) muhafaza tüpü (5).	37
Şekil 3.12. Numune alma esnasında deneyin yapılacağı kuyu cebine sürülen örnekleyici tüpün iç yivli veya dış yivli olması durumunda, kuyu içinde oluşan deformasyon farkı.	41
Şekil 3.13. Presiyometre deneyi esnasında deney seviyesindeki kuyu cebi etrafında oluşan bozulma zonları.	43
Şekil 3.14. PBP testlerinde ayak çeşitlerinin prob konumuna etkileri.....	44
Şekil 3.15. Presiyometre (PBP) çalışma düzeni.	45
Şekil 3.16. Presiyometre kalibrasyon grafikleri ve veri düzeltme (Mair ve Wood 1987).	46
Şekil 3.17. Basınç Kaybı Testi.	47
Şekil 3.18. Basınç kaybı testi.	48
Şekil 3.19. Prob hacim kaybı testi.	49

Şekil 3.20. Hacim kalibrasyonu (Muhafaza tüpü içindeki presiyometre probu için genişleme eğrisi, diferansiyel basınç 100 kPa – 1bar).	50
Şekil 3.21. Hacim Kaybı testi (<i>Volume Loss test</i>)	53
Şekil 3.22. Prob kotunda ölçüm hücresi ile koruyucu hücreler arasındaki basınç farkları (APAGEO, 1997)	55
Şekil 3.23. (a) Su basıncı, (b) Prob ve ölçüm kutusu arasındaki yükseklik	57
Şekil 3.24. Test başlandığı ve farklı derinliklerdeki, ölçüm kutusu üzerindeki manometrelerdeki göstergeler üzerindeki el pozisyonları (okumalar bar)	58
Şekil 3.25. İptal edilmiş test eğrilerinin olası şekilleri	62
Şekil 3.26 (a) Tipik Menard eğrisi, (b) sondaj kuyusu çok küçük olduğunda ölçülen eğri modeli ve bir uygulama örneği.	63
Şekil 3.27. Sondaj kuyusu çok büyük olduğunda ölçülen eğri modeli ve uygulamadaki örnekleri.	64
Şekil 3.28. SK-4 Sondajı 26 m, Bakırköy Fm; kil ve kireçtaşı ardışımı	65
Şekil 3.29. IO-2 Sondajı - 18 m, Kırac Gürpınar Formasyonu (Aşırı konsolide kil) ...	66
Şekil 3.30. Kurtköy-Sancaktepe, SK-1 Sondajı, 12 m; ileri derecede ayrılmış granit.	66
Şekil 3.31. İSKİ Gümüşyaka sahil tüneli, Gürpınar Fm., OC kil	67
Şekil 3.32. Çatlaklı kireçtaşında MPM deneyi	67
Şekil 3.33. Gebze Dilovası Tepeköy Fm. kireçtaşları (Menard G tipi ekipman, prob çapı 60 mm+Yarıklı (oluklu) muhafaza tüpü)	68
Şekil 3.34. Presiyometrenin genişlemesine zemin tabakalarının etkisi.	70
Şekil 3.35. Probun patlaması sonucunda oluşan genişleme.	70
Şekil 3.36. Deney sırasında katmanlar arası farklı dirençler nedeniyle zarar gören prob.	70
Şekil 3.37. 74 mm'lik (gc3) 3mm kauçuk membran ile kaplı prob; İSKİ Çatalca Tüneli, yumuşak kilde yapılan deney sonrası probun görünüşü.	71
Şekil 3.38. 74 mm'lik (gc3) 3mm kauçuk kaplı prob; Bakırköy Fm. Kireçtaşı - kil ardışımı, deney sonrası hem yüksek basınç hem de farklı tabakaların proba etkisi (Ataköy SK-3 Sondajı).	71
Şekil 3.39. 60 mm'lik (gct-75) çelik şeritli kanvas kılıf ile kaplı prob; deney öncesi (Sancaktepe SK-2 Sondajı)	71
Şekil 3.40. 60 mm'lik (gct-75) çelik şeritli kanvas kılıf ile kaplı prob; Deney sonrası (Sancaktepe SK-2 Sondajı) çok ayrılmış granit (arena) dayk geçişli farklı istifleri içinde düşük basınçta bile düzensiz basınç dağılımı.	71
Şekil 4.1. Presiyometre deneyin gerilme – birim yer değiştirme eğrisini bulmakta izlenen yol.	72
Şekil 4.2. Gerilme kontrollü MPM testi (a) gerilme ve şekil değiştirme oranları ve (b) test eğrisi.	73
Şekil 4.3. Tablo 4.1 deki datalardan üretilen Menard testi eğrisi	75
Şekil 4.4. Menard deneyinde sünme limitinin bulunması	75
Şekil 4.5. Presiyometre deney sırasında verilen basınca karşı, 0,15,30,60 s deki hacim değişimleri kaydeden dijital elektronik okuyucu	76
Şekil 4.6. Çamurtaşı için Menard Tipi presiyometre eğrisi (Meigh and Greenland, 1965).	77
Şekil 4.7. Ham veri (p-V) presiyometre eğrisi (Sancaktepe-Kurtköy, SK-1).	78
Şekil 4.8. Menard Deneyi (a) Kaydedilen veri; (b) gerilme - birim deformasyon eğrisi; (c) sünme/ikincil sıkışmalar eğrisi	80
Şekil 4.9. Menard Presiyometre test parametrelerinin değerlendirilmesi.	81
Şekil 4.10. Presiyometre eğrisi	82
Şekil 4.11. Kayada yapılan MPM testlerinde yenilme basıncı ve net limit basıncı arasındaki korelasyon (Walker ve Jewell, 1979).	83
Şekil 4.12. Tipik presiyometre eğrileri.	85
Şekil 4.13. Limit Basınç İlkeleri	86

Şekil 4.14. Log-log yöntemi ve bağıl hacim yöntemi ile Limit Basıncın belirlenmesi.	87
Şekil 4.15. Ters çevrilmiş hacimler (data) metodu ile PI tayini.	88
Şekil 4.16. Ters çevrilmiş hacimler metodu ile PI tayini (datalar Şekil 4.15 den alınmıştır).	88
Şekil 4.17. MPM limit basınç ve kayma direnci açısı arasındaki bağıntı (Amar, S. v.d.,1991).	90
Şekil 5.1. Yüzeysel Temeller için Presiyometre Taşıma Gücü Katsayısı.	93
Şekil 5.2. Ed ve Ev hesaplanması için Model.	94
Şekil 6.1. Ataköy Otel Projesi.	97
Şekil 6.2. (a) Ümraniye ve (b) maslak proje sahaları.	98
Şekil 6.3. B.Çekmece Karaağaç	98
Şekil 6.4. Kurtköy Sancaktepe ve farklı bir proje sahasın presiyometre deneyi ölçümleri.	98
Şekil 6.5. DE-16 Sondaj logu ve presiyometre deney sonuçları.	100
Şekil 6.6. Hacim kalibrasyon testi değerlendirmesi	101
Şekil 6.7. Basınç kalibrasyon testi değerlendirmesi.	102
Şekil 6.8. Menard Eğrisi	104
Şekil 6.9. Menard Elastisite Modülü, E_m	104
Şekil 6.10. Limit Basıncın tespitinde, normal eğrinin asimptotunun apsisinin elle tamamlanması	106
Şekil 6.11. Karaağaç Köyü, SK-16 sondajı, 5.0 m seviyedeki konsolide kil-çamurtaşı ardışımına ait Menard Eğrisi.	107
Şekil 6.12. Limit basıncın (PL), log-log yöntemi ile tespiti.	107
Şekil 6.13. Limit basıncın (PL), bağıl hacim yöntemi ile tespiti.	108
Şekil 6.14. SK-4 sondajı 24 m deki presiyometre deneyi.	110
Şekil 6.15. Elastisite Modülünün (E_m) derinlikle değişimi.	111
Şekil 6.16. Foxta programında taşıma gücü ve deplasmanların derinlikle değişimi.	112
Şekil 6.17. Aşırı konsolide kile ait Menard eğrisi	114
Şekil 6.18. Kumtaşı-Aşırı konsolide kil ardışımına ait Menard eğrisi	114
Şekil 6.19. Aşırı Konsolide kile ait Menard Eğrisi	115
Şekil 6.20. Aşırı Konsolide kile ait Menard Eğrisi	115
Şekil 6.21. SK-16 sondajına ait karot numuneleri.	119
Şekil 6.22. SK-16 kuyuna ait sondaj logu.	120
Şekil 6.23. SK-16 sondajına geçilen aşırı konsolide kil-çamurtaşları için Menard eğrileri.	121
Şekil 6.24. 7.0 m ye ait Menard Eğrisi	121
Şekil 6.25. 17.0 m ye ait Menard Eğrisi	122
Şekil 6.26. SK-16 Sondajı, B.Çekmece–Karaağaç Köyü, Konsolide kil-çamurtaşı olarak tanımlanan istife ait Menard presiyometresi arazi kayıtları	124
Şekil 6.27. SK-16 Sondajı, B.Çekmece–Karaağaç Köyü, Aşırı konsolide kil-çamurtaşı olarak tanımlanan istife ait Menard presiyometresi arazi kayıtlarının devamı.	125
Şekil 6.28. SK-1 Sondaj Logu	127
Şekil 6.29. SK-2 Sondaj Logu	128
Şekil 6.30. SK-2 sondajı, 2.0 m (arena)	129
Şekil 6.31. SK-2 sondajı, 6.0 m (ayrışmış granit)	129
Şekil 6.32. AK-1 Sondaj Logu	131
Şekil 6.33. Havza dolgusu mostrası.	132
Şekil 6.34. AK-1 Sondajı 2 m (havza dolgusu kili)	133
Şekil 6.35. AK-2 Sondajı 22m (çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı seviyesine geçiş seviyesi)	133
Şekil 6.36. Ümraniye Projesinde Foxta programı ile taşıma gücü ve deplasmanların derinlikle değişimi.	134

SİMGE LİSTESİ

σ_c	: Ön Konsolidasyon Basıncı
σ_0'	: Eşdeğer Katman Yükü
C_c	: Sıkışma İndisi
C_r	: Yeniden Yükleme İndisi
q_u	: Serbest Basma Dayanımı (zemin ortamlar için)
E_m	: Menard Presiyometre Modülü
PL	: Limit Basınç
PL^*	: Net Limit Basıncı
ν	: Poisson Oranı
ΔP	: Basınç Farkı
ΔV	: Hacim Farkı
G	: Kayma Modülü
$V_{c,0,s}$: Proben Başlangıçtaki Hacmi
P_c	: Basınç Kaybı Düzeltmesi
P_R	: Kontrol Birimii Üzerindeki Basınç Okuması
P_δ	: Kontrol Ünitesi İle Prob Arasındaki Hidrostatik Basınç, kPa
$P_c (P_{el})$: Membran Sertliği için Basınç Kaybı Düzeltmesi, kPa
D_i	: Ağır Çelik Muhafaza veya Borunun İç Çapı
L	: İki Membran Halkası Arasındaki Mesafe (~ 210 mm)
$V_{(cor)}$: Düzeltilmiş Hacim Verileri
$P_{(cor)}$: Düzeltilmiş Basınç Verileri
a	: Ekipman Genleşme veya Sıkışabilirlik Katsayısı.
P_G	: Koruyucu Hücrelerin Basıncı, kPa.
P_d	: Ölçüm Hücresi ve Koruma Hücreleri Arasındaki Basınç Farkı, kPa
P_δ	: Kontrol Ünitesi ve Prob Arasındaki Hidrostatik Basınç, kPa
z	: Derinlik
P_f	: Sünme Basıncı
R_0	: Sönmüş Proben Yarıçapı
ΔR	: Yarıçap Artışı
E_{uo}	: Boşaltma Eğrisinin Maksimum Modülü
α	: Düzeltme Faktörü
σ_{ho}	: Yatay Toprak Basıncı
c_u	: Kayma Direnci
ϕ	: Kayma Direnci Açısı
N_{PR}	: Presiyometre Taşıma Gücü Katsayısı
B_e	: Kritik Derinlik
A	: Temelin Alanı
ξ	: Temelin Çevresi
H_e	: Temelin Bağlı Gömme Derinliği
S	: Temelin Oturması
σ_z	: Toplam Düşey Gerilme
E_v	: İzotrop Koşuldaki Elastisite Modül
E_d	: Deviatorik Koşuldaki Elastisite Modül

Enstitü : Fen Bilimleri
Dalı : Geoteknik
Programı : İnşaat Mühendisliği
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Akın ÖNALP
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans - Haziran 2010

ÖZET

AŞIRI KONSOLİDE ORTAMLARDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN PRESİYOMETRE KULLANIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif Başkan

Bu tezde ilk aşamada presiyometre türlerinden Türkiye’de en yaygın kullanılan Menard presiyometresi ve metodu incelenmiştir. Çalışma ortamı olarak aşırı konsolide ortamlar ile yumuşak/zayıf kaya olarak tanımlanan zemin ve kaya ortamlar arasındaki geçiş bölgesinin seçilmesinin nedeni genelde sondajlı çalışmalar esnasında örselenmemiş numune alınamamasıdır. Bu tür zeminlerden alınabilen örselenmiş numunelerde yaptırılan zemin ve kaya mekaniği deneylerinde yeterince doğru sonuçlar vermemesidir. Bu çalışma ile presiyometre deneyinden, aşırı konsolide ortamlar ile çok yumuşak kayalar için mekanik parametrelerin doğrudan tespit edilmesini sağlamaktır.

Ayrıca, presiyometre deneyinde arazi çalışmasında dikkate edilmesi gereken delgi takımı seçimi, zemin türüne uygun kuyu açma teknikleri, kuyunun göçmemesi için yapılması gerekenler irdelenmiştir. İkinci aşamada, mevcut presiyometre eğrilerine bakıldığında, eğrilerdeki yönelime göre, arazideki ölçüm esnasında kuyuda oluşan deformasyonlardan kaynaklanan olası hataların tespitleri yapılmıştır. Üçüncü aşamada presiyometre eğrisinden Menard Modülünün ve limit basınç’ın tespit edilmesi için önerilen doğrudan veya uzatımlı yöntemler incelenmiştir. Ayrıca, Menard parametreleri ile diğer geoteknik parametreler arasındaki korelasyonlar verilmiştir. Menard parametrelerinden temel mühendisliğine geçiş bağıntılarına da değinilmiştir. Son olarak aşırı konsolide ortamlarda yapılan presiyometre deney uygulamalarından örnekler sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Menard Presiyometresi, Menard Metodu, Operatör Hataları, Menard Modülü, Limit Basınç, Uygulama Hataları.

EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF OVERCONSOLIDATED SOILS BY THE USE OF THE PRESSUREMETER

The features of the Menard pressuremeters (MPM) widely used in Turkey in soil investigations is the subject of this thesis. It is observed that the test intended to improve over laboratory testing methods on allegedly undisturbed samples is performed with serious technical errors in the process. These include improper borehole size and erroneous interpretation of the test results, mainly by wrong determination of the limit pressure. Examples from actual projects are also discussed, to explain the shortcomings.

Key Words: Menard Pressuremeter, Menard Method, Operator Errors, Menard Modulus, Limit Pressure, Errors In Execution

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

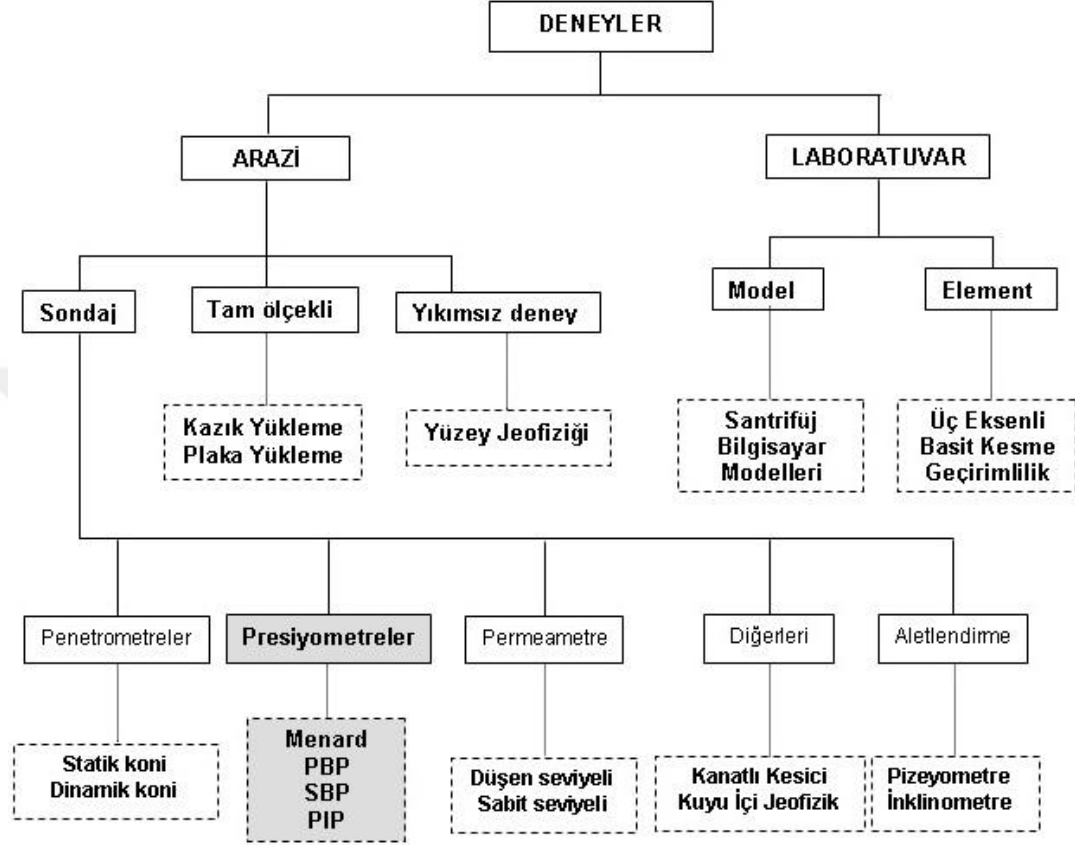
Zemin mekaniği problemlerinin çözümünde arazi ve laboratuvar deney bulgularına göre farklı çözüm yolları sunulmaktadır. Genel olarak laboratuvar verilerine dayalı deneylerde numune alma sırasında oluşan örselenme, numunenin zeminin genel özelliğini yansıtmaması, yeterli numune alınamaması gibi birçok etken ölçülmüş olan geoteknik parametrelerinin doğruluğunu azaltmaktadır. Bu nedenle, arazide doğal ortama yakın şartlarda yapılan deneylerden doğrudan ölçülecek verilere göre belirlenen geoteknik parametrelerin daha gerçekçi sonuçlar verdiği kabul edilmektedir. Uygulanan arazi ve laboratuvar deneyleri Şekil 1.1 de gösterilmiştir. Bu çalışmada arazi deneyleri kapsamında presiyometre deneyleri değerlendirilmiştir.

Presiyometre deneyi yapılışı kolay olmamakla birlikte tek deneyde birçok parametrenin doğrudan ölçülebilmesi, denenen zemin veya kaya hacminin neredeyse 1000 küçük boyutlu üç eksenli kesme deneyi boyutuna eşdeğer olması, deney sırasında doğal gerilmelerin gerçek değerinde kalması gibi olumlu yanları bulunmaktadır. Buna karşın, deney sonuçlarının yanlış yorumlanması durumunda büyük hataların belirmesi olasılığı ve deneyin özel eğitilmiş personelce yapılabilmesi sorunlu yanlarıdır.

Ülkemizde yaygın olarak sondaj sırasında eş zamanlı olarak yapılan Menard türü presiyometre kullanılmaktadır. Bu çalışmada, örselenmemiş numune almanın zor olduğu aşırı konsolide ($OCR > 3$) ve yumuşak kaya ortamlarda ve diğer zemin gruplarında, presiyometre yöntemiyle sondaj kuyu derinliği boyunca net limit basıncı, PL ve Menard presiyometre (elastisite) modülü, E_m değerleri arazi koşullarına yakın gerilmeler altında tespit edilmektedir. Bu tez çalışmasında aşırı konsolide killer ile farklı zemin ortamlarındaki presiyometre deneyinden elde edilen tipik basınç-birim deformasyon eğrilerinin, hem de bu deney sonuçlarındaki personel hatasından kaynaklanan yanlış eğri modellerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Araziden doğrudan alınan presiyometre verilerinden, bina türü yapılarda sığ-derin temeller için taşıma gücü ve oturma analizleri yapılmıştır. Taşıma gücü analizlerinde temel özellikleri önemli bir faktör olup, projeye göre, presiyometre deney derinliğinin ve sıklığının belirlenmesi gereklidir. Ancak taşıma gücü ve oturma analizlerinin

hesaplanmasında formüller ile oldukça karmaşık hale gelebilmektedir. Bu nedenle, presiyometre yöntemin uygulaması olarak hazırlanmış FOXTA yazılımının FONDSUP modülü kullanılarak, hesaplamaların hızlı ve doğru bir şekilde yapılması sağlanmıştır.



Şekil 1.1. Proje özelliğine göre yürütülecek arazi ve laboratuvar deney türleri ¹.

1.2. Zemin Özellikleri

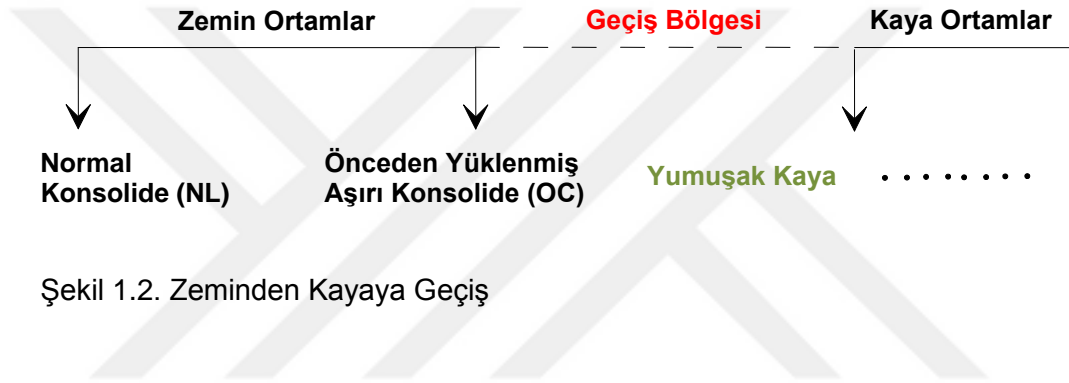
Zemin ortamların fiziksel ve mekanik özellikleri iki grup altında incelenir. Birinci grup normal yüklenmiş veya öz kütlesi altında tamamen konsolide olmuş zeminler, ikinci grup önceden yüklenmiş veya aşırı konsolide olmuş zeminlerdir.

Birinci guruptaki normal konsolide zeminler oluşumundan bu yana bugün almakta olduğu efektif gerilmeden fazla gerilme almamış zeminler olarak tanımlanır ve “NL” simgesi ile gösterilir.

¹ B.G. Clarke, Pressuremeters in Geotechnical Design. (Cambridge, Chapman&Hall, 1995) 1.

İkinci gruptaki zeminler; “Aşırı Konsolide Olmuş” veya “Önceden yüklenmiş” olarak tanımlanır ve bunlar için kullanılan simge “OC” dir. Bu tür zeminler; oluşumu sırasında veya daha sonra, bugün almakta olduğu gerilmeden daha yüksek gerilmeler almış olmakla tanımlanır.

Aşırı konsolide olmuş zeminlerden kaya ortamlarına geçiş bölgesinde, genelde yumuşak-çok yumuşak kaya olarak sınıflandırılan litolojik birimler yer almaktadır. Bu litolojik birimlere, aşırı konsolide kil ve/veya kiltası, marn, çamurtaşı vb. kayalar örnek gösterilebilir, ayrıca sağlam kayaların ileri derecede ayrışma zonları da bu geçiş bölgesinde kalmaktadır. Zemin ortamından kaya ortamına geçiş, şematik olarak Şekil 1.2. de gösterilmiştir.

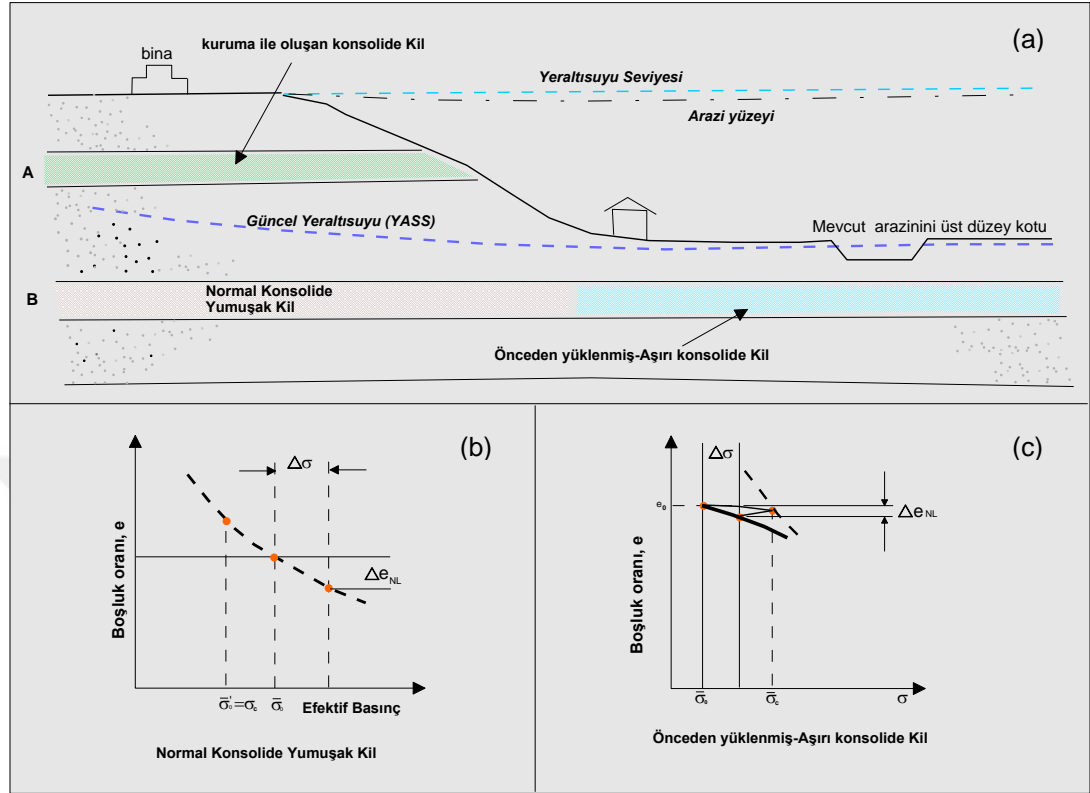


Aşırı konsolide zeminler genelde çok katı-sert killer olarak tanımlansa da, sıkı kumlar da aşırı konsolide zemin niteliği taşıyabilir. Türkiye’de karşılaşılan killerin, önemli bölümü aşağıda sıralanan nedenlerden sonucu aşırı konsolide olmuştur. Bunlar, ortamda toplam basınç veya boşluk suyu basınçlarında meydana gelen değişimler sonucu efektif gerilmenin düşmesini sağlayan doğal ve yapay olaylardır:

- Üsteki katmanın aşınma, faylanma ile ortadan kalkması; eskiden mevcut olup şimdi bulunmayan yapıların etkisiyle toplam gerilme değişimleri ($\Delta\sigma$).
- Yeraltısuyu seviyesindeki değişimler, etkimiş artezyen basınçları, yüzeyden kuruma, bitki kökleri etkisiyle su kaybı ve kılcallık nedeniyle boşluk suyu basıncında değişimler (Δu_w)
- Yaşlanma sonucu kil yapısında beliren değişme

Normal ve Aşırı konsolidasyon süreçleri için Terzaghi modeli Şekil 1.3 de verilmektedir. Şekil 1.3’a da eski su seviyesi altında çökeldiği gösterilen yumuşak killerin bulunduğu alanın üzerindeki katman yükü herhangi bir nedenle kalktığında, B tabakasının sağ tarafta kalan çift taranmış bölümü aşırı konsolide zemin özelliği

kazanacaktır. Ayrıca, ilk su seviyesinin güncel su seviyesine düşmesiyle A tabakasının da kuruma etkisiyle aşırı konsolide olacağı söylenebilmektedir.



Şekil 1.3. Normal ve Aşırı Konsolidasyon için Terzaghi Modeli.

Normal yüklenmiş killer gerilme artışı aldıklarında ortam bakir durumda olduğundan Şekil 1.3 (b) de gösterilen sıkışma eğrisini verecektir. Şekil 1.3 (c) de aritmetik eksende gösterilmiş sıkışma eğrisi de, jeolojik geçmişinde σ_c gerilmesinde dengeye gelmişken bugün σ_0 eşdeğer katman yükü altında bulunan kil, σ_c/σ_0 oranında aşırı konsolide olmuş kabul edilir. Şimdi, bu kil bir yapı yükü ile gerilme artışı alacak olursa sıkışma, kırık çizgi ile gösterilmiş bakir eğri boyunca değil (C_c), çok daha yatık olan yeniden yükleme eğrisi (kalın çizgi) boyunca (C_r) oluşacaktır. Bunun anlamı, önceden yüklenmiş kilin ön konsolidasyon basıncına ulaşılan kadar alacağı yükler altında normal yüklenmiş kile göre çok daha düşük sıkışmalar göstereceği, bu nedenle gerilme artışlarının dikkatlice ayarlanmasıyla üzerine oturacak temelin oturmasının ihmal edilecek düzeyde tutulabileceğidir.

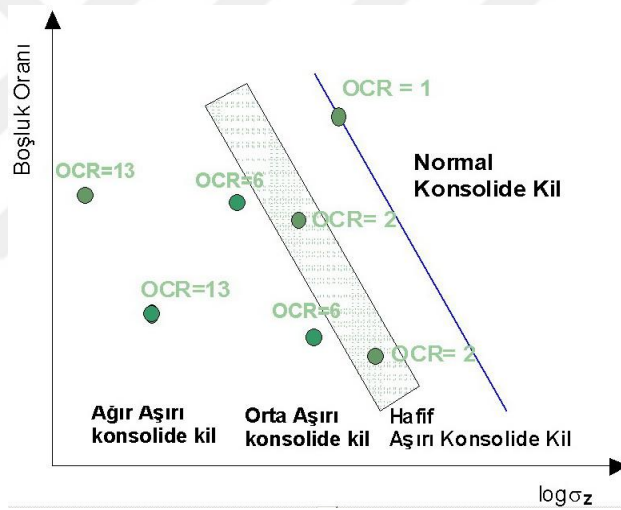
Aşırı konsolidasyon oranı OCR, ön konsolidasyon basıncının (σ'_c), zeminin güncel eşdeğer katman yüküne (σ_0) oranından belirlenir.

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma_0} \quad (1.1)$$

Bu tarifle, normal yüklenmiş (NL) killerde OCR=1, aşırı konsolide killerde bir'den büyük, kiltası, marn gibi tortul kayalarda ise aşırı konsolidasyon oranının çok daha yüksek değerlere ulaşması beklenir.

Aşırı konsolidasyonun oranının (OCR), e - $\log \sigma_z$ eğrisine üzerinde değişimi Şekil 1.4 deki grafik ile gösterilmiştir. Bu aşırı konsolide kil ile yumuşak kaya niteliği taşıyan kayalara ait tipik OCR oranları aşağıda verilmiştir.

- OCR > 1, Aşırı Konsolide Kil (OC)
- OCR >>1, Son derece aşırı konsolide kil, kiltaları ve tortul kayalardan oluşan yumuşak kayalarda

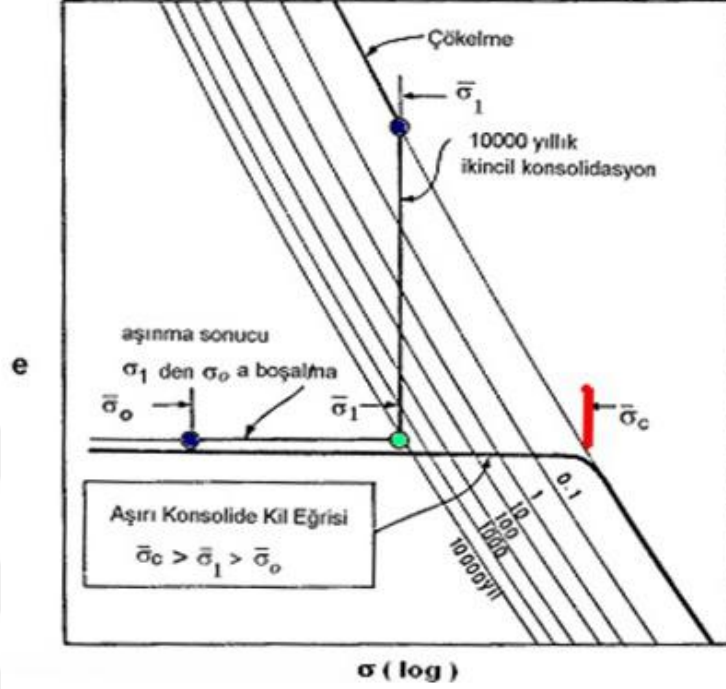


Şekil 1.4. Aşırı konsolidasyon oranının (OCR) sıkışmaya etkisi ⁽¹⁾.

Yaşlanmanın aşırı konsolide killeri üzerindeki etkisi Şekil 1.5 deki grafik ile gösterilmektedir. Kil oluşumundan sonra dengeye gelip bir başka aşamada, örneğin aşınma (erozyon) etkisi ile, denge gerilmesi 10.000 yıl boyunca σ_1 iken bugün σ_0 'a düşmüşse, aşırı konsolide zemin özelliği kazanmıştır. Bu kil güncel bir ek gerilme ($\Delta\sigma$) alırsa, sıkışmalar σ_c ye kadar ihmal edilir düzeyde kalacak, σ_c yi aştıktan sonra, sıkışma eğrisi aşağıya bükülerek sıkışmalar normal yüklenmiş bir kile benzer biçimde gelişecektir.

¹ N. Sivakugan, 2001 < www.geoengineer.org/files/consol-Sivakugan.pps >.

Kilin ön konsolidasyon basıncının sadece basit bir katman kaybından değil, yaşlanmadan da önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir.



Şekil 1.5. Aşırı konsolide kilde yaşlanmanın sıkışabilirliğe etkisi ¹

Normal konsolide, aşırı konsolide killerin serbest basma dayanımı (q_u) değerine göre basit sınıflandırılması Tablo 1.1 de gösterilmiştir. Bu sınıflamada ilk 3 grup normal yüklenmiş (NL), diğerleri ise aşırı konsolide (OC) killeri göstermektedir. Bir diğer deyişle, normal konsolide ve aşırı konsolide kil sınırı 100 kPa'da tanımlanmıştır.

Tablo 1.1. Killerin serbest basma dayanımına göre tanımı

Kıvam		q_u (kPa)
NL kil	Çok Yumuşak	0-25
	Yumuşak	25-50
	Orta katı	50-100
OC Kil	Katı	100-200
	Çok katı	200-400
	Sert	>400
OC kil-çok yumuşak kaya geçişi		<1000

¹ Önalp, Geoteknik Bilgisi I (İstanbul, Birsen, 2007) 200.

Palicki'nin (1997) çok yumuşak zeminden çok sert kayaya kadar aralıktaki ortamların arazi görünüşleri ve serbest basma dayanımına göre sınıflandırması Tablo 1.2 de verilmiştir. Bu sınıflandırmada, yumuşak kayaların serbest basma dayanımı 1.25 - 50.0 MPa arasında değişen geniş bir aralıkta belirmektedir. $\sigma_c=50$ MPa düzeyinde dayanım, ISRM ye göre orta dayanımlı kaya olarak tanımlanır. Palicki yumuşak kaya ile şeyl, kil taşı, kalkeranit, marn, tebeşir gibi.... kaya ortamları tanımlamaktadır.

Tablo 1.3 verilen ISRM (1981b)'nin zemin ve kaya dayanımları sınıflandırmasında, 1.0 - 5.0 MPa aralığında çok zayıf kaya sınıfı olarak tanımlanan grup, Palicki nin sınıflandırmasında 1.25 - 5.0 MPa aralığındaki çok yumuşak kayalar olarak tanımlanmıştır.

Tablo 1.2. Tek eksenli basma dayanımına göre sınıflandırma (Palicki, 1997)

Tanım	Arazi Görüşleri	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)
Çok yumuşak zemin	zeminden elle numune alınabilir	<0.04
Yumuşak zemin	zemine kolaylıkla parmak ile şekil verilebilir	0.04 - 0.08
Katı zemin	parmakla güçlü bir şekilde bastırıldığında zemin şekil değiştirir	0.08 - 0.15
Sert	zemine parmak ile bastırılıp iz bırakılamaz.	0.15 - 0.30
Çok sert	zemine ancak tırnak ile çizilebilir	0.30 - 0.60
Çok zayıf kaya-sert zemin	elle güç kırılabilen gevrek veya dayanıklı	0.60 - 1.25
Zayıf Kaya	çok yumuşak kaya	1.25 - 5.0
Orta-Zayıf kaya	daha sert ve elle kopartılabilir, üç eksenliye uygun	5.0 - 12.5
Orta Derecede Dayanımlı kaya	yumuşak kaya	12.5 - 50.0
Yüksek Dayanımlı kaya	sert kaya	50 - 100
Çok Yüksek Dayanımlı kaya	çok sert kaya	>100

Tablo 1.3. Zemin ve kaya dayanımları sınıflandırması (ISRM 1981b).

Tanım	Tek eksenli Basınç dayanımı (MPa)
Aşırı Sağlam Kaya	>250
Çok sağlam Kaya	100-250
Sağlam kaya	50-100
Orta sağlam kaya	25-50
Zayıf kaya	5-25
Çok zayıf kaya	1-5
Aşırı zayıf kaya	0.25-1
Sert kil	>0.5
Çok katı kil	0.25-0.5
Katı kil	0.1-0.25
Orta katı kil	0.05-0.1
Yumuşak kil	0.025-0.05
Çok yumuşak kil	<0.025

Bu çalışma kapsamında, özellikle İstanbul civarında yapılmış sondajlı etütlerde örselenmemiş zemin numunesinin alınamadığı sert zemin-aşırı konsolide kil ve yumuşak kaya niteliği taşıyan çamurtaşı, kiltası ile, ayrılmış kaya gibi yine örselenmemiş numune almanın çok zor olduğu birimlerde, presiyometre deneyi uygulamaları yapılmıştır. Bu tez kapsamında ele alınan sert zemin-aşırı konsolide kil ve yumuşak kaya ile ileri derecede ayrılmış kaya olarak tanımlanan formasyon isimleri Tablo 1.4 de verilmiştir.

Tablo 1.4. İstanbul ve yakın çevresindeki aşırı konsolide zemin-yumuşak kaya ve arena olarak tanımlanan formasyonlar.

Sistem	Seri	Kat	Yaş (Myö)	Formasyon
Senezoyik	Miyosen	Üst Miyosen	23.8-5.32	Bakırköy Fm: kil-marn-kireçtaşı ardışımı
	Miyosen-Oligosen	Alt Miyosen	33.7-23.8	Karaburun Fm: Aşırı konsolide olmuş killer-marn seviyeleri
	Oligosen	Alt Oligosen	33.7-23.8	Gürpınar Fm: Çamurtaşı ve aşırı konsolide olmuş killeri.
	Eosen	Üst Eosen	55.0-33.7	Ceylan Fm: Kırıntılı kireçtaşı marn seviyeleri.
Paleozoyik	Permien	Saksoniyen	255 ±5	Sancaktepe Graniti (arena)
	Karbonifer	Alt Karbonifer	354-292	Trakya Fm: Feldispatları killeşir ve çevresindeki şeyller ayrılmıştır. Ayrıca doleritik - mikrodiyorit stoklarda da ileri derecede ayrışma gözlenir.

2. PRESİYOMETRE DENEYİ (PMT)

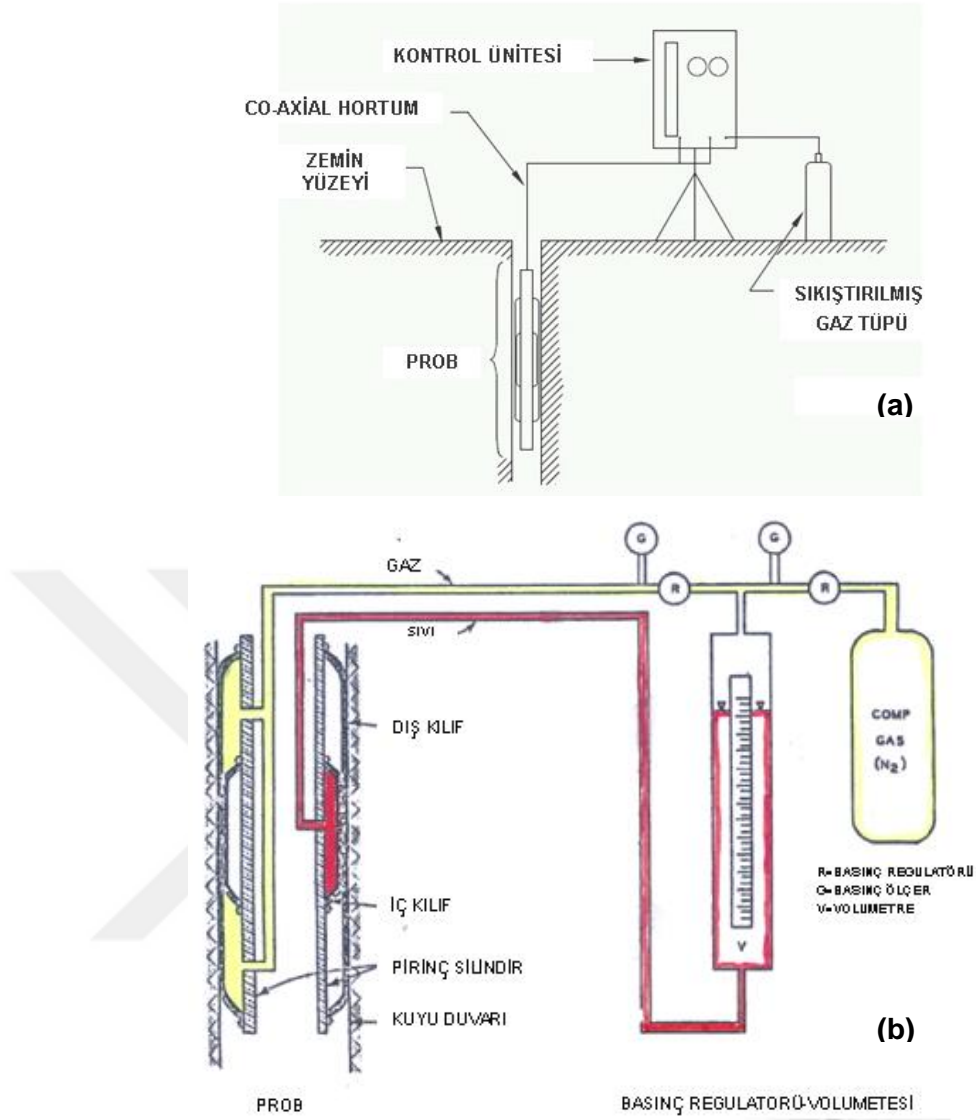
Presiyometre aleti 1954 yılında Louis Menard tarafından Ecole Nationale des Ponts et Chaussées'de bir öğrenci projesi olarak geliştirilmiştir. Aletin ilk uygulaması aynı yıl içinde yapılmış ve geliştirilmesi için Menard, Illinois Üniversitesi'ne gönderilmiştir. Louis Menard'ın ilk presiyometre probu Şekil 2.1 de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Louis Menard (sağda) ve ilk presiyometre probu

Presiyometre terimi ilk olarak 1954-55 yıllarında Menard tarafından geliştirilen deney donanımları için tanımlanmıştır. Presiyometre sondası Baguelin (1978) tarafından, kuyu duvarlarına esnek bir membran ile hidrolik basınç uygulayan bir cihazdır. Aletin tanımı, Mair ve Wood (1987) ve ISSMFE (Amar v.d., 1991) tarafından “silindirik bir sonda” olarak yapılmıştır.

Presiyometre, aslında silindirik bir sondadır ve bu sonda genişleyebilen esnek bir membran ile kuyu duvarlarına üniform basınç uygulamak için tasarlanmıştır. Presiyometre prensip şeması Şekil 2.2 (a)' da gösterilmektedir. Bir sonda (prob), basıncı ileten plastik borular ve yerüstü kayıt düzeninden oluşur. Kontrol ünitesi ve prob arasındaki gaz ve sıvı akışı, Şekil 2.2 (b) de şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 2.2. (a) Presiyometre tanımı, (b) şematik gösterimi

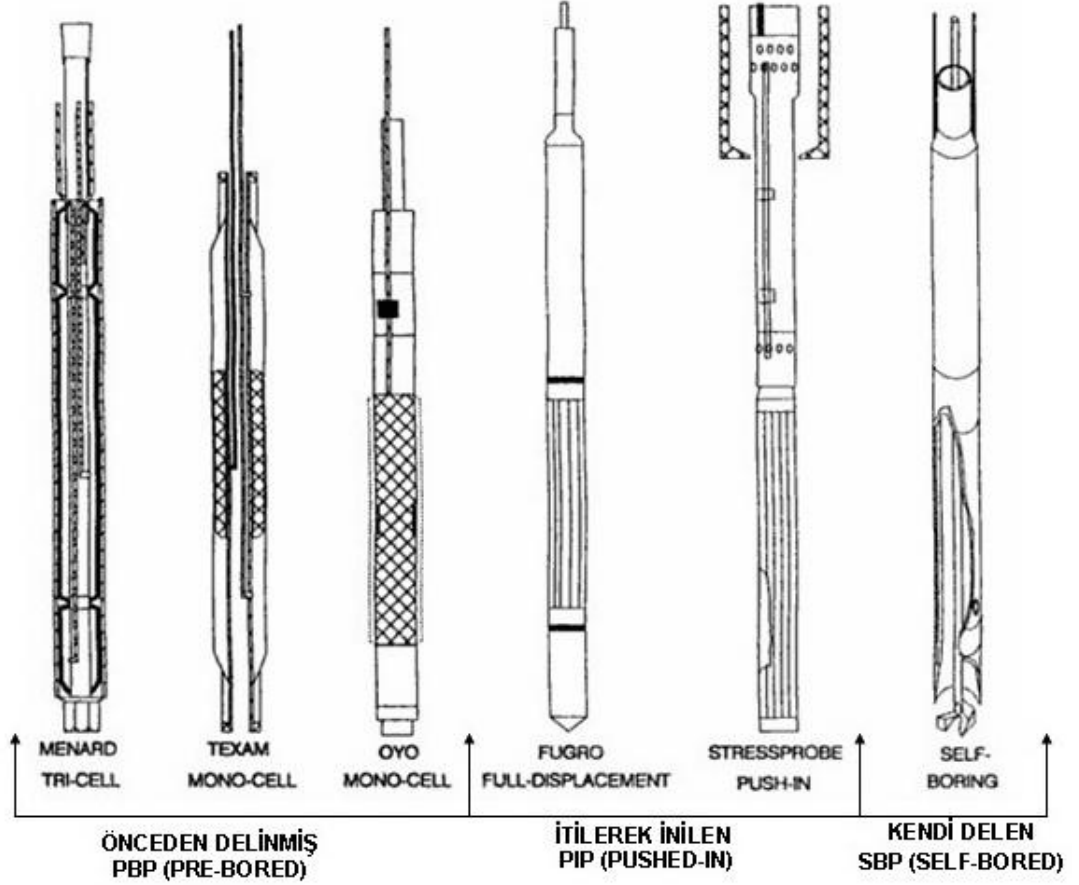
Deneyde zemin ve zayıf kayaçların son taşıma gücü ve elastik modülünün derinliğe bağlı olarak değişimi sağlıklı biçimde ölçülür. Bu deney ile yüzeysel ve derin temellerin taşıma gücü ve temellerdeki oturmalar da hesaplanır (Menard, 1956).

Günümüzde bu tür ölçüm aletleri, ölçüm kuyusu önceden hazırlanan (PBP, MPT), zemini kendi delerek inen (SBP) ve zemine oldukça yüksek bir kuvvetle itilerek yerleştirilen (PIP) olmak üzere, 3 grupta toplanır.

1. Ölçüm (sondaj) kuyusu önceden ve/veya eş zamanlı olarak hazırlanan (*Pre-Bored*) presiyometreler (PBP)
 - Menard Presiyometresi (MPT)

2. Kuyuyu kendi açan (*Self-Boring*) presiyometreler (SBP)
3. Zemine doğrudan itilen (*Pushed-in*) presiyometreler (PIP)

Orijinal MPM Menard presiyometresine alternatif olarak geliştirilen 5 farklı presiyometre probu Şekil 2.3 de gösterilmiştir.

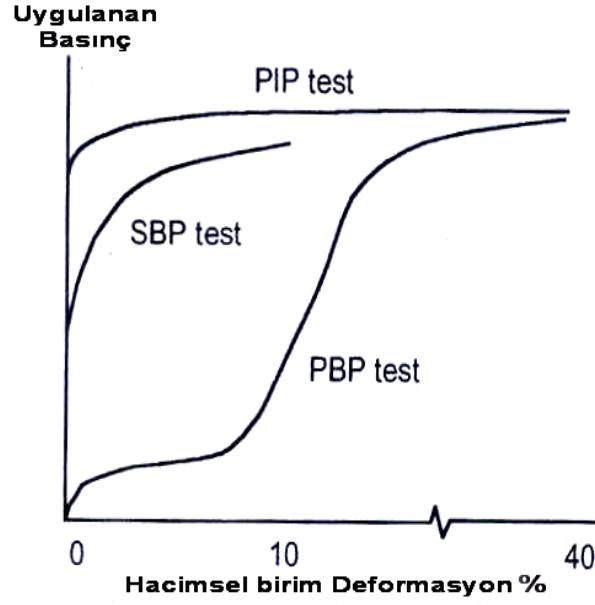


Şekil 2.3. Orijinal MPM Menard presiyometresi ve 5 yeni presiyometre probu ¹.

Bu grupların özelliği deney sonuçlarının presiyometrenin zemine yerleştirilmesine bağlı olarak farklı biçimlerde belirmesidir. Doğal olarak, deliği önceden hazırlanmış presiyometre (PBP) zemin yüzeyi ile tam uyum sağlayamadığı için deney kalitesi kendi delen tipten (SBP) daha düşük olmaktadır.

Presiyometre türlerine göre tipik gerilme ve birim deformasyon eğrileri Şekil 2.4 de gösterilmiştir.

¹ G.W.CLOUGH, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va, USA, J.L. BRIAUD, Texas A&M University, Texas A&M University, Texas, USA and J.M.O. HUGHES, Hughes Insitu Engineering, Vancouver, BC, Canada. 1990

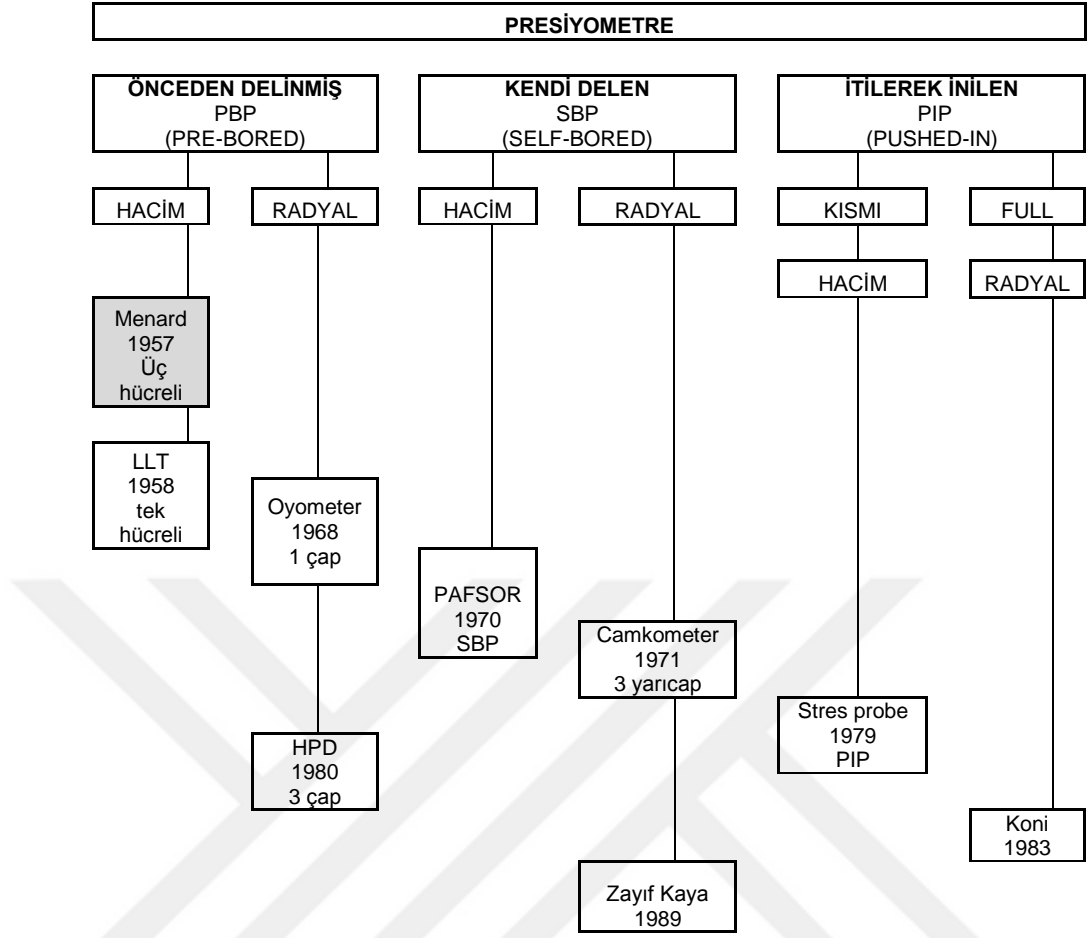


Şekil 2.4. Tipik gerilme ve birim deformasyon eğrileri

Presiyometre deneyi için uluslararası standartlarda gösterilen yöntemler ve prosedürleri Tablo 2.1 de verilmiştir. Presiyometrenin deformasyon ölçüm yöntemi ve yükleme yöntemine göre tarihsel gelişimi ise Şekil 2.5 de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Presiyometre testi için uluslararası standartlar

Standartlar	Ülke	Presiyometre Tipi	Zemin Koşulları	Test Tipi
Menard Method (LCPC)	Fransa	Menard (PBP)	Tüm	Basınç
ISRM	Uluslararası	PBP	Kaya	Basınç/gerilme
GOST 20276-85	Rusya	PBP	Zeminler	Basınç
ASTM D4719-00	USA	PBP	Tüm	Basınç/gerilme
Mair and Wood (1987)	UK	PBP, SBP	Tüm	Basınç/gerilme
Clarke and Smith (1992a)	UK	PBP, SBP	Tüm	Basınç/gerilme



Şekil 2.5. Presiyometrenin tarihsel gelişiminin deformasyon ölçüm yöntemi ve yükleme yöntemine göre gösterimi ¹.

Presiyometrelerin farklı zemin ortamlarda uygulanabilirliği hakkında özet bilgiler Tablo 2.2 verilmiştir.

Tablo 2.2. Zemin koşullarına göre presiyometrelerin uygulanabilirliği.

Zemin Tipi		PBP	SBP	PIP
Yumuşak killer	İnce daneli	A	A	A
Sert Killer		A	A	A
Gevşek kum	İri daneli	B (destek ile)	A	A
Sıkı Kum		B (destek ile)	B	C
Çakıllar		C (sürüş ile)	N	N
Zayıf Kaya		A	B	N
Güçlü Kaya		A	N	N

A: Çok İyi; B: İyi; C: Orta; N: Uygulanmaz.

¹ B.G. Clarke, Pressuremeters in Geotechnical Design. (Cambridge, Chapman&Hall, 1995) 15.

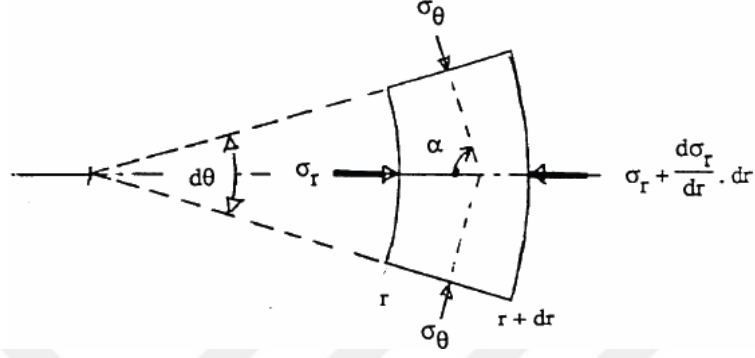
Ölçüm (sondaj) kuyusu önceden ve/veya eş zamanlı olarak hazırlanan presiyometrenin (PBP, MPT) killi zeminler ile kaya ortamlarda, uygulanabilirliği “çok iyi” olarak tanımlanırken, iri daneli ortamlarda, derinlik artıkça ölçüm alanının üst kesimleri desteklenerek (muhafaza borusu ile) iyi-orta kalitede tanımlama ile uygulanabilmektedir.

Bu zemin koşullarına göre presiyometre tipinin seçimi ve deneyden elde edilecek parametreler Tablo 2.3 de verilmiştir.

Tablo 2.3. Zemin ve kaya ortamlarında presiyometre deneyi uygulaması

PRESİYOMETRE TEST TÜRLERİ						
Sonda	ÖNCEDEN DELİNİMİŞ PRE-BORED (PBP)		KENDİ DELEN SELF-BORING (SBP)		İTİLEREK İNİLEN PUSHED IN (PIP)	
Presiyometre kapasitesi	Düşük-orta	yüksek	Düşük-orta	yüksek	Düşük-orta	
Zemin Koşulları	Tüm zeminler	kaya	Çakıl içermeyen zemin	Zayıf kaya	koninin içine ittirilebileceği zemin	
Test Tipi	Menard	basınç/ deformasyon	basınç/ deformasyon		basınç/ deformasyon	
Parametreler	Tasarım parametreleri, E_m , PL		basınç/deformasyon eğrileri			
	yükleme eğrisinden iterasyon ile σ_h	Limit basınç dayanımı ve boşaltma eğrisi	Yüklenen eğrinin dayanımı	Doğrudan ölçülen σ_h	Boşaltma eğrisi ve korelasyonları	σ_h ve boşaltma eğrisi korelasyonları
			Yeniden yükleme ve boşaltma döngüsü			

Ayrıca presiometre testi sırasında prob etrafındaki silindirik halkada oluşan denge kuralları Şekil 2.7 de modellenmiştir (Cassan, 1978). Şekil 2.7 de ki silindirik halkanın, denge denklemlerinin çözümü standarttır ve aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir. Bu parametreler presiometre eğrisinin yarı-linear bir doğru olarak gösterilen yarı (pseudo)-elastik faz safhasından elde edilir.



$$\sigma_r = p_0 + (p - p_0) \frac{r_0^2}{r^2}, \quad \sigma_\theta = p_0 - (p - p_0) \frac{r_0^2}{r^2}, \quad \sigma_z = p_0$$

$$u = \frac{1+\nu}{E} (p - p_0) \frac{r_0^2}{r^2}, \quad E = (1+\nu)r \frac{d\sigma_r}{du}, \quad V_m = V_s + \frac{V_f + V_i}{2}$$

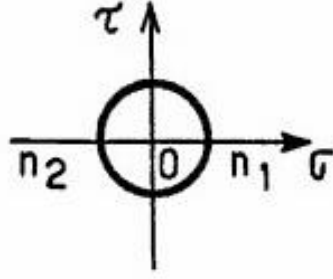
$$\frac{du}{r} = \frac{dV}{2V_m} = \frac{V_f - V_i}{2(V_s + \frac{V_f + V_i}{2})}, \quad E = 2(1+\nu)(V_s + \frac{V_f + V_i}{2}) \frac{Pf - Pi}{V_f - V_i}$$

Şekil 2.7. Silindirik halkada oluşan denge kuralları.

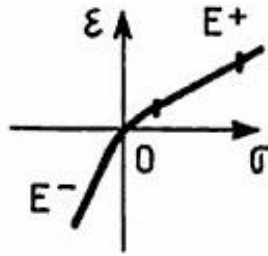
Gerçek bir zemin içinde boşluğun genişlemesi, Mohr gerilme dağılımının merkez dairenin orijiniinde baş ve teğet gerilme eksenleri ile Şekil 2.8 de gösterilmiştir. Probun oluşturduğu alan gerilmesi ile, elastik ortam koşullarından özellikle rezerbilite, varsayılan silindirik bir genişleme ile tahmin edilir (Şekil 2.9) Buna rağmen, sınır deformasyon alanı üzerinde bir durumda, yine benzer koşullarda tahmin edilir, ve böylece bu alana Elasto-plastik denir.

$$E_m = 2(1+\nu)G \quad (2.4)$$

Young Modülü ve Presiometre Modülü nicelik olarak farklı olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 2.8. Boşluğun genişlemesinin Mohr gerilme dağılımı ile gösterimi.



Şekil 2.9. Elastik ortam koşullarında silindirik genişleme.

Böylece denklemler birleştirilerek, Menard Elastisite Modülü aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_m = (1 + \nu) \frac{r}{\Delta r} \Delta p \quad (2.5)$$

Silindirik prob

$$V = 2\pi r^2 \Delta r \quad (2.6)$$

$$\frac{\Delta V}{V} = 2\pi \frac{\Delta r}{r}$$

$$E_m = 2(1 + \nu) V \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (2.7)$$

Poisson oranı, ν 0.33 alınır.

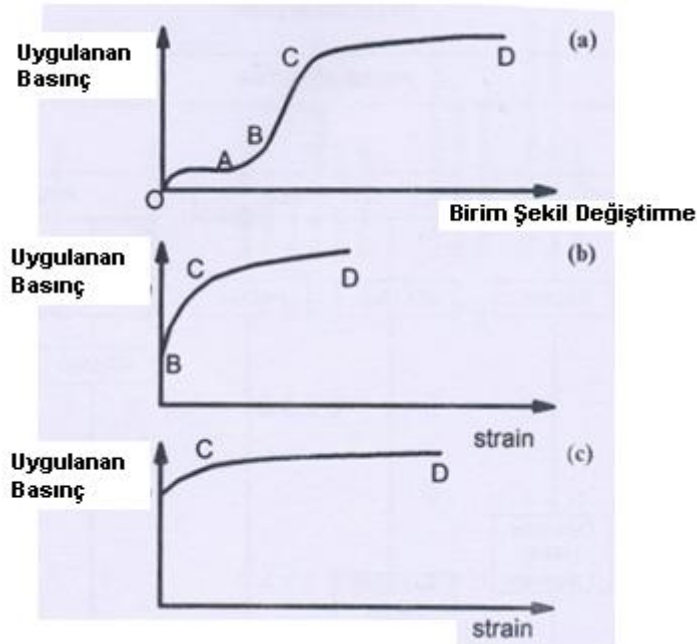
Menard Elastisite Modülü ile young modülü E_m/E_{young} arasındaki ilişki, zemin türlerine göre 0.25 ile 1.0 arasında değişen α reolojik katsayı ile belirlenmektedir.

2.2. Presiyometre Deneyinde Genleşme Eğrileri

Deney sırasında membran zemine karşı genişler ve membranın hacim değişimine ve uygulanan basınca göre ölçümler alınır. Bu ölçüm sonuçları, düşey eksen üzerinde uygulanan basınç ve yatay eksen üzerinde yerdeğiştirme çizilerek gösterilir.

Presiyometre deneyi eğrisinden yerinde gerilme durumu, deformasyon ve dayanım parametreleri elde edilebilir. Deneyin yorumu ve elde edilen parametreler, zemin koşullarına, alet türü, deney türü ve yorum yöntemine bağlı olarak değişir. Presiyometre deney türlerine göre doğrudan veya ampirik dönüşümler ile elde edilen parametreler Tablo 2.4 de gösterilmiştir.

Bu üç grup presiyometreden üretilen 3 farklı tür eğri Şekil 2.10 da gösterilmiştir. Tipik Prebored (PBP) presiyometre deney eğrisi S şeklindedir. Şekil 2.6 a da gösterilen eğride birinci bölüm OA arası, sondaj çamuru ile dolu olan kuyu içindeki membranın genişlemesi ve zeminde sukunetteki yanal gerilmeye eşit varsayılan elastik faz başlangıcı olarak tanılanabilir. İkinci bölüm AB, Sondaj sırasında yumuşayan zeminin deformasyonudur. Eğrisinin üçüncü bölümü, BC arasında, elastik davranış ölçülür. C noktası, yenilmenin başlangıç noktası olup, plastik davranışa geçiştir.



Şekil 2.10. a) PBP, b) SBP, c) PIP türü presiyometre eğrileri.

Tablo 2.4. Presiyometre deneyinde elde edilen parametreler ¹.

Parametreler	Kil						Kum						Çakıl			Kaya					
	Yumuşak			sert			Gevşek			Sıkı						Ayrışmış			Sağlam		
	PB P	SB P	PI P	PB P	SB P	PI P	PB P	SB P	PI P	PB P	SB P	PI P	PB P	SB P	PI P	PB P	SB P	PI P	PBP	SB P	PI P
σ_h		A	CE	C	A	CE		B			C						C	N		N	N
c_u	BE	A	BE	BE	A	BE										CE	B	N	CE	N	N
c'																	B	N		N	N
ϕ'		B			B		CE	A	CE	CE	A	CE	CE	N	N		B	N		N	N
G_i		A			A			A			A			N	N		B	N		N	N
G_{ur}	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	N	N	A	A	N	A	N	N
PL	BE	A	BE	BE	A	BE	CE	A	CE	CE	A	CE	CE	N	N	CE	B	N	CE	N	N
c_h	B	A	A	B	A	A												N		N	N

A = Mükemmel, B=İyi, C= Kullanılabilir, N= Mümkün değil, E =Ampirik

σ_h = toplam yatay gerilme

S_u =Drenajsız Kayma Direnci

c' = kayma direnci

ϕ' = Kayma direnci açısı

G_i = Başlangıç Kayma Modülü

G_{ur} = Boşaltma anındaki kırıç kayma modülü/yeniden yükleme eğrisi

PL = Limit Basınç

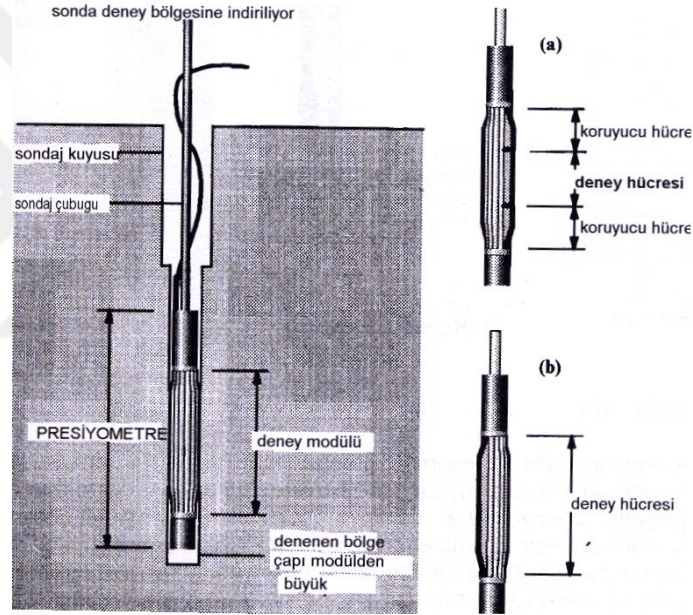
c_h = Yatay konsolidasyon katsayısı

¹ B.G. Clarke, Pressuremeters in Geotechnical Design. (Cambridge, Chapman&Hall, 1995) 17.

2.3. Presiyometre Sondaları ve Test Techizatı

2.3.1. Deliği Önceden Hazırlanan Presiyometre (PBP)

Geliştirilmiş ilk tip olan bu tür sonda (Pre-Bored) sağlam zeminler ve kayalar için kullanılır (Şekil 2.11). Sonda kendisi için hazırlanmış, çoğunlukla NX çaplı deliğe indirildikten sonra uygulanan basınçla genişerek kuyu yüzeyine gerilme uygulanırken oluşan ötelenmeler, sisteme giren sıvının hacmi, ya da radyal (ışınsal) deformasyon ölçümü olarak saptanır. Klasik Menard tipi presiyometrede bu sınıfa girmektedir. GC tipi presiyometre zeminde, GB tipi ise kayada kullanılır.



Şekil 2.11. Deliği önceden hazırlanan presiyometreler.

Deney modülü Menard tipi presiyometre üst ve altındaki “yalancı” hücrelerle korunan ölçüm hücresinden (a), diğerlerinde ise tek hücresinden oluşmaktadır (b).

Presiyometre deneyinde kullanılan sonda boyutları Tablo 2.5 de verilmiştir. Bu presiyometre sondası türüne göre ölçüm hücresinin başlangıç hacimleri (V_c) Tablo 2.6 da gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Presiyometre apları

Kod	Sonda apı (mm)	Sondaj apı (mm)	
		Min	Max
EX	32	34	38
AX	44	45	53
BX	58	60	70
NX	74	76	89

Tablo 2.6. Presiyometre sondası türüne göre Hacim V_c değerleri (Gambin and Rousseau, 1988)

Kod	Sonda apı (mm)	V_c (cm ³)
EX	34	535
AX	44	535
BX	58	535
NX	74	790

2.3.1.1. Menard Presiyometresi (MPM)

MPM olarak tanımlanan Menard Presiyometresi, Centre d'Etudes Menard tarafından geliştirilmiştir (Menard, 1957d). İki farklı tipi vardır. GC ve GB türü ise yaygın olarak kullanılmaktadır. GC probu zeminlerde, GB kayalarda kullanılır.

Aşağıda Tablo 2.7 de açıklanan diğer şirketler, benzer MPM cihazların imalatı yapmaktadır.

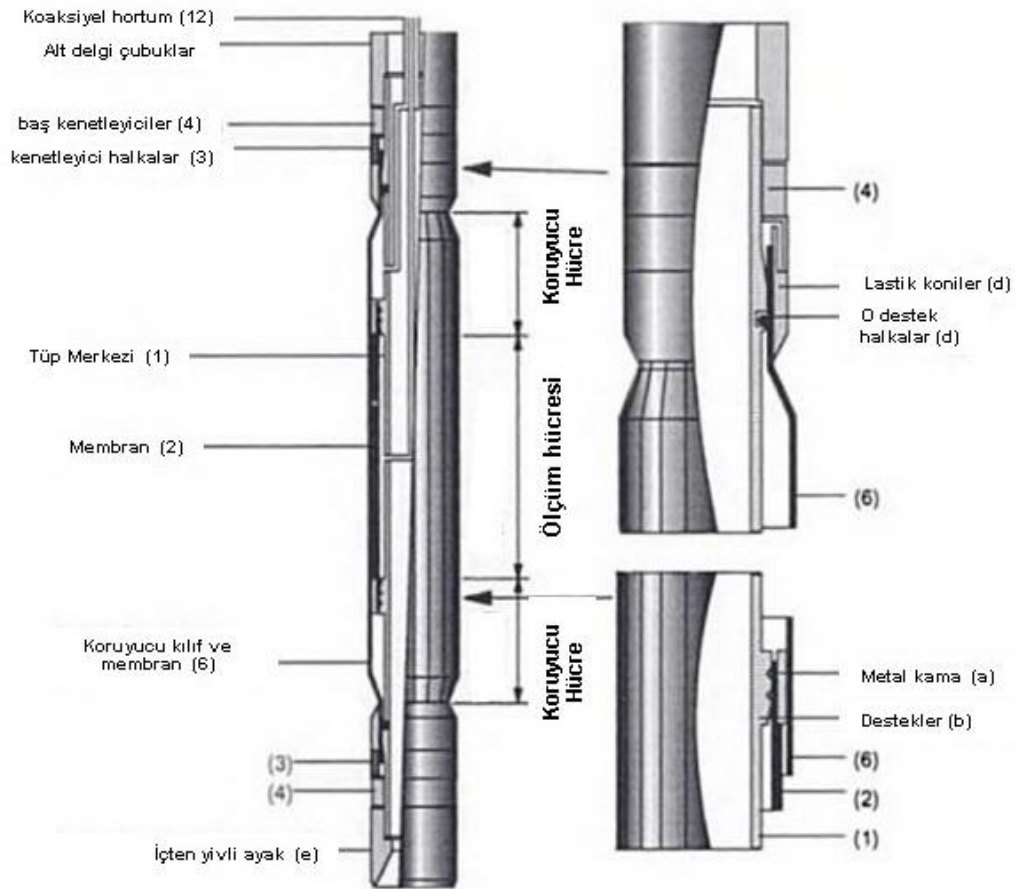
Tablo 2.7. Menard presiyometrelerin teknik zellikleri

Grup	İsim	tür	İmalatçı	Basınç kapasitesi (MPa)	Gerilme kapasitesi (%)	ap (mm)	L/D	yer ölüm sistemi
PBP	Menard Presiyometresi	GC	Apageo (Fr) Bonne Esperance (Fr) Geomatec (Fr) RocTest (USA)	4	53	74	6.5	Yüzey hacmi
	Menard Presiyometresi	GB	Apageo (Fr) Bonne Esperance (Fr) Geomatec (Fr) Roctest (USA)	20	53	74	6.5	Yüzey hacmi

Menard Presiyometresi (MPM), standart bir prosedürün bir parçası olarak doğrudan tasarım parametreleri vermek üzere geliştirilmiştir. Bu prosedür, prob, montaj, deney ve yorum aşamalarını kapsar ve Menard yöntemi olarak adlandırılmıştır. MPM' nin test bölümü; ölçü hücresi merkezi ve, onun alt ve üstündeki iki koruma hücresi olmak üzere üç hücreden oluşur (Şekil 2.12).

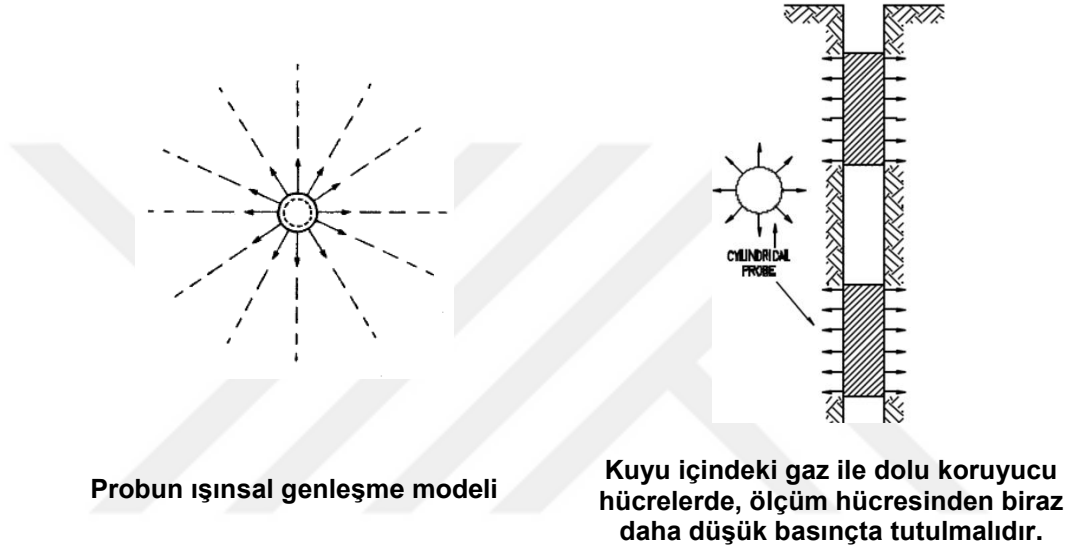
Koruyucu hücrelerin şişirilmesi, merkez ölçüm hücresinin tam silindir şeklinde genişlemesini sağlar. Ayrıca, merkezi ölçüm hücresinin yukarı boru içine ve aşağı cep içine doğru genişlemesi önlenir. Bu test bölümü, uzunluğu boyunca doğal kauçuktan yapılmış membran ve çelik şeritler ile korunmaktadır.

Zemin ortamlarda kullanılan GC probu 74 mm çaplı, 4 MN/m² maksimum basınç kapasiteli üç hücreden oluşur. Üç bağımsız hücre değildir. Probu genişleyen tüm yüzeyi kılıf ile kaplıdır, merkez ölçüm hücresi ise membran ile ayrılır. Merkez hücre su ile, kılıf ile kaplı koruma hücreleri ise gaz ile şişirilir. Merkez hücredeki, hacim değişikliklerinin ölçülebilmesi için su kullanılır.



Şekil 2.12. Zeminler için kullanılan GC tipi prob'un özellikleri

Deney esnasında, gaz ve suyun aynı basınçta olması gereklidir. Böylece ortaki merkez hücre dairesel silindir olarak genişler (Şekil 2.13). Ölçü merkezinin genişmesi ile kuyu cidarı çevresindeki zeminin hacimsel yerdeğiştirmesine neden olur. Yani, kılıf ve membran arasında gaz yoktur. Gaz basıncı, aslında su basıncına göre daha düşük basınçta korunur. Bu probun en önemli özellikleri Şekil 2.12 de, Menard tipi presiyometre cihazın montajının fotoğrafı ise Şekil 2.14 de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Ölçüm hücresinde radyal - şekil değiştirme (Δr).



Şekil 2.14. Menard tipi presiyometre takımı.

Şekil 2.12 de verilen membran ile kaplı ölçü merkezi hücresi, tüpün merkezinde desteklere karşı (b) 2 metal halka ile hareketli kamalara bağlıdır (a). Bu ölçüm hücre merkezi ve 2 koruma hücre formları, lastik kılıf/kaplama (6) ile örtülüdür. Halkaların kenetlenmesi ile (3) baş kenetleyici (4) ve destekler (c) sıkıştır. iki tepesi kesilmiş çelik tüplere bağlı membranlar (d) mevcut kılıf iki ucundaki destekleme halkaları tarafından düzenlenir. Deney süresince sondaj içindeki üfleme esnasında koruyucu hücrelerin üst ve altındaki ek genleşme, kılıf ile önlenir. Ayak (e) sayesinde iç yiv, probun altına vidalanır. Prob fazla toprağın zorlamasına karşı cep (yarıklı muhafaza) ile indirilir. Sondaj kuyusu içinde çöküntü olması olasılığı da dikkate alındığında, bu cebin çapının daha az olması zorunludur. Koaksiyal hortum (12) ölçüm aleti yüzeyine bağlanır. Su, koaksiyel (eşeksenli) borunun iç lastiği aşağı, gaz ise dış tüpten aşağı geçirilir. Su hattında hacim değişimlerini sınırlandırmak için koaksiyel tüp kullanılır, bu yüzeyde ölçülen hacim değişiklikleri, probun hacim değişikliklerine eşittir.

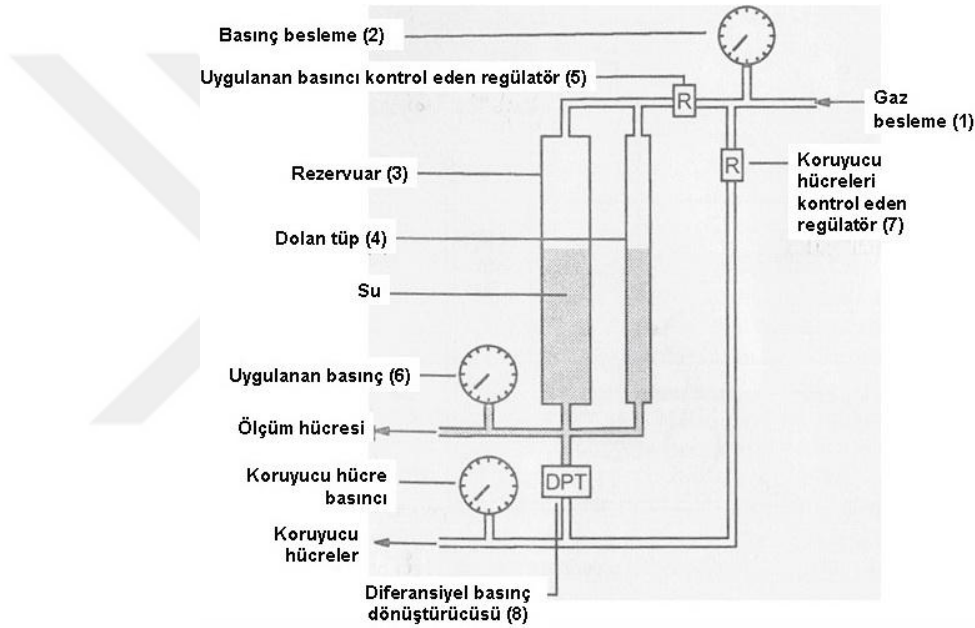
GC probu basınç sızdırmazlık sağlamak için basit bir kenetlenme sistemi kullanmaktadır. Bu prob 4 MN/m^2 (40.78 kgf/cm^2) basıncı aşmayan zeminlerde uygulanır.

Bir 74 mm çaplı, GB probu, gelişmiş conta ile kayada deneyler için geliştirilmiştir. Bu gerçek üç hücreli probtur. Su ile basınç altında şişirilmiş üç bağımsız hücresi vardır. Koruma hücrelerinde güvenlik nedeniyle hava yerine su kullanılır. Üç hücrede Maksimum 10 MN/m^2 (101.97 kgf/cm^2) a kadar aynı basınçla şişirilebilir.

Bu GB probun en önemli özellikleri Şekil 2.15 de gösterilmiştir. Bu üç hücre, çelik tüpler (f) ve sonundaki desteklerden oluşur. Membranlar (g) tüpler üzerine uzatılır, kaplanan membranların sonunda destekler ve tüplerin sonundan geçer şekilde görülür. Üç hücre, ana boru üzerinde kaydı (1) O halkalar ve plastik halkalar ile ayrılır ve (h) ana borunun sonundaki vida üzerinde artan hareket ile oluşan baskı ile contalar kenetlenir (4). Kesilmiş membran ile bir dış kılıf (6), yükleme ve deney sırasında hücreleri üzerinde korumak için ek sonunda birleştirilmiştir. Bu membran ve dış kılıf, probun altındaki ayağın kenarına (e) vidalanır. Bu tip problemler zayıf kayalarda kullanılır. Zemin içinde itilmez ve çöküntü olmasına karşı, kuyu cidarı bir miktar genişletilir.

değişimleri, daha büyük çaplara göre daha hassas okumalar verir. Ölçüm hücresi ve kolaksiyal borudaki hacim değişimleri, su seviesindeki değişimleri gösterir.

Hacim en yakın cm^3 olarak okunabilir, Membran çapının 0.0018 mm lik artışına eşdeğerdir (0.02% boşluğun birim boy değiştirmesi). Rezervuara basınç ayarı, manuel düzenleyici (5) kullanılarak ve Bourdon göstergesi (6) ile ölçülür. 2 ölçü aygıtından genellikle daha hassa olan düşük basınçlarda kullanılır. Bu gaz basıncı koruma hücrelerinde ayrı ayrı (7) düzenlenir. Ölçüm hücresindeki sudan daha düşük basınçta korunur ve iki basınç arasındaki diferansiyel fark transdüşerler (8) ile aşağı yukarı ölçülür.

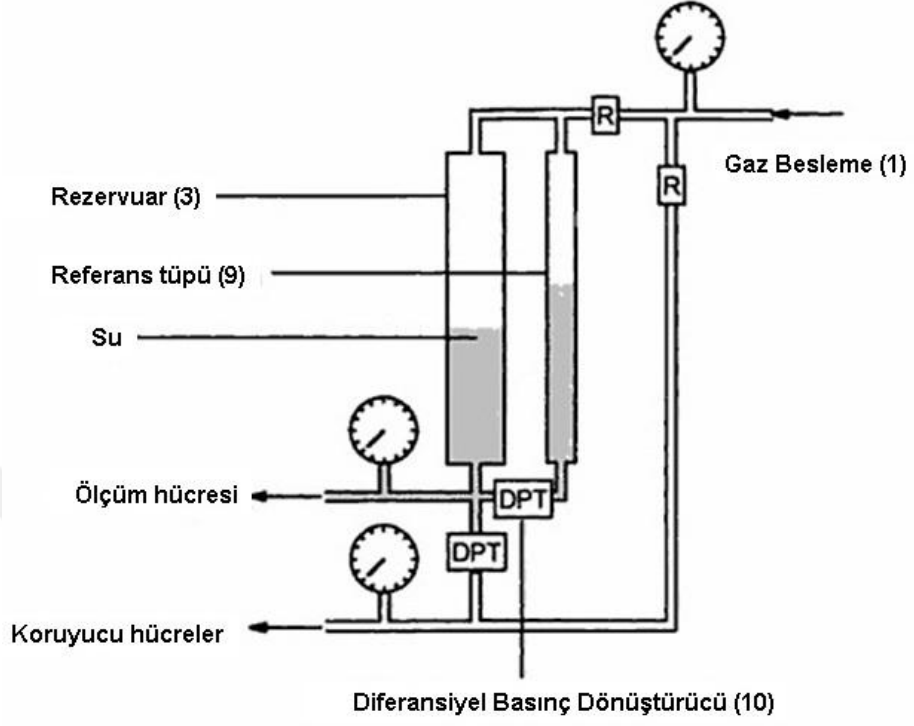


Şekil 2.16. GC Probonun kontrol ünitesi (şematik diyagramı)

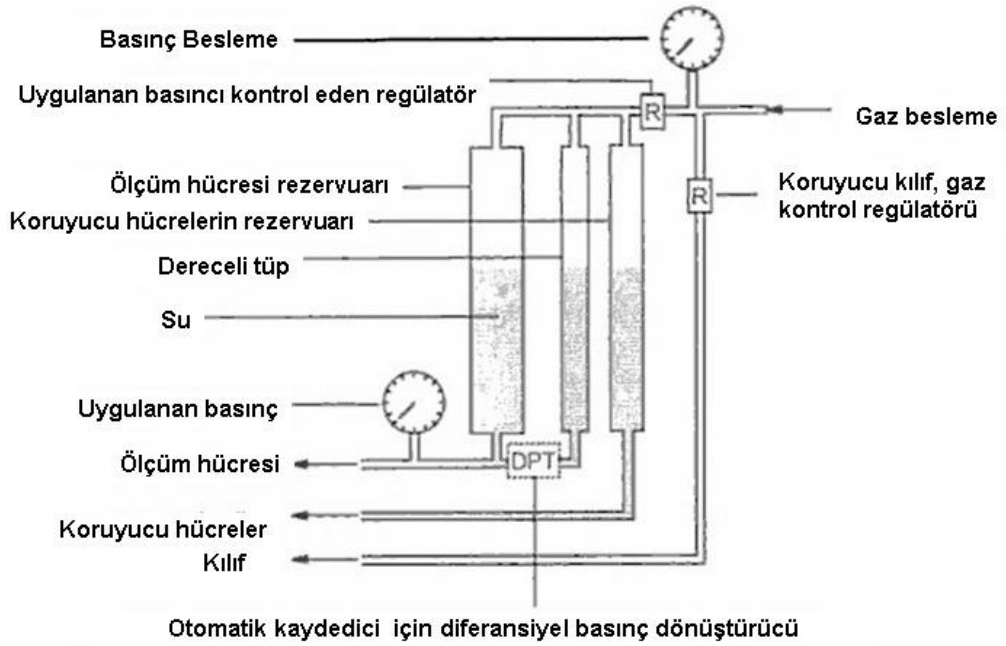
Bu basıncı ve hacim değişimini transdüşer kullanarak ölçmek mümkündür. Şekil 2.17 de gösterilen volumetrik gerilme (*strain*) aygıtında dolu tüp referans tüpü (9) ile değiştirilmiştir. Su seviyesi referans tüpünde sabit kalır. Rezervuar ve referans tüpündeki basınç aynı fakat, deney sırasında, rezervuar içindeki su seviyesi değişir. Bu diferansiyel basınç transdüşeri (10), rezervuar ve referans tüpündeki suyun, kolonlardaki yükseklik farkından dolayı basınç farkını izler.

Aynı GB probundaki gibi, gerçek 3 hücreli probta koruyucu hücreler ve ölçüm hücresi aynı basınçta düzenlenir ve su veya yağ bu hücrelerde kullanılır, iki rezervuar ölçü hücresi hacim değişiklikleri sağlamak için gerekmektedir. Bu GB probunun şematik diyagramı Şekil 2.18 de verilmiştir. Bu birim 20 MN/m^2 kadar,

çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Uygulanan düşük basınç, diğer yüksek basınçların kontrolü için 2 regülatör kullanılır. Benzer şekilde, farklı aralıklardaki ölçülerin basınçlardaki hassas artışlar izlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 2.17. Kontrol ünitesi verilerine otomatik olarak giriş izni verir.



Şekil 2.18. GB Proburnun kontrol ünitesi (Şematik görünüm).

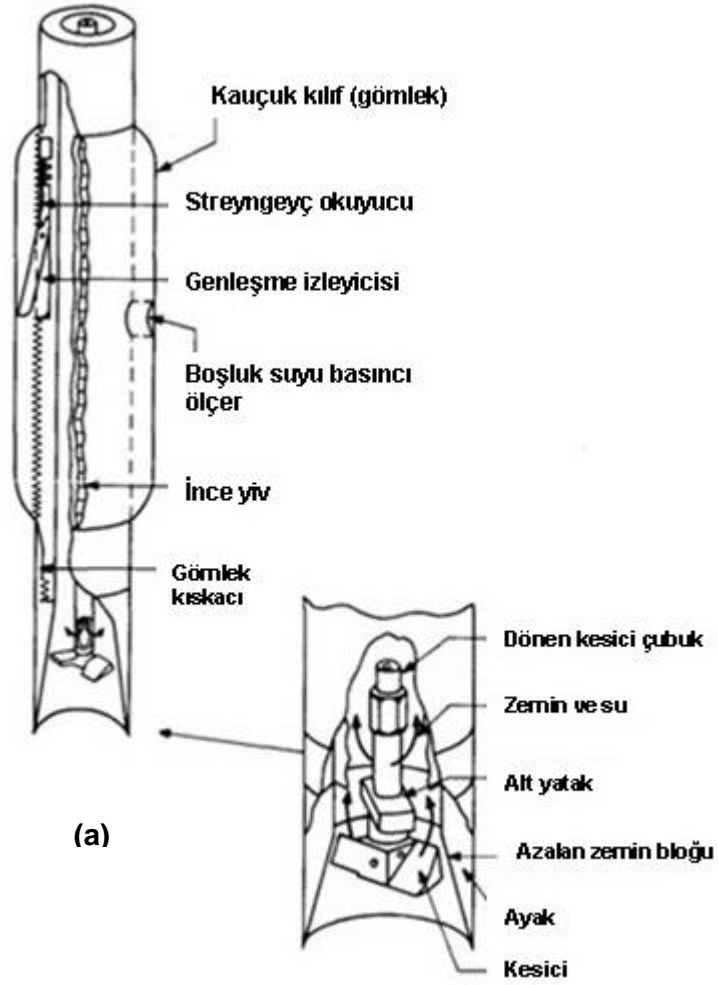
Probun kontrol birimine diğer bir hat bağlanır; koruyucu kılıf basınca izin verir, böylece ölçüm hücresi içindeki suyun boşatılması ile prob söner.

MPM deneyinin belirlenen prosedüre göre otomatik olarak kontrolü mümkündür. Operatör, MPM kontrol ünitesinin yeni versiyonları için gerekli maksimum basınç ayarları ve otomatik kontrol ünitesinde basınç artışlarını ayarlar, test bölümü ve koruyu hücreler içindeki basıncı korur ve, hacim ve basıncı kaydeder. Bu veriler analiz için saklanır. Deney sırasında verilerden çıkış alınabilir, herhangi bir durumda depolanabilir. Birçok şirketin (Bonne Esperance, Apogeo ve Mazier Fransa da ve Roctest Amerika'da) Menard tipi presiyometre üretimi vardır.

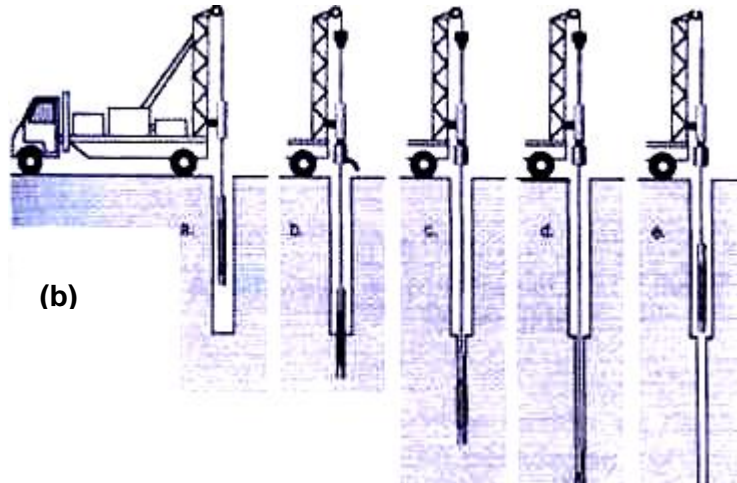
Problar, detay ve boyut olarak değişiklik göstermektedir. Tek hücre, üç hücre ve radyal ve hacimsel birim deformasyon ölçen türleri bulunmaktadır.

2.3.2. Deliğini Kendi Açan Presiyometreler (SBP/PAF)

Zemin parametrelerinin gerçeğe yakın ölçümü için minimum örselenme esas olduğuna göre, ölçüm aletinin bir köstebek gibi delerek tam boyutlarına uygun bir hacim oluşturmaları (Self Boring Pressuremeter) günümüzdeki en gelişmiş presiyometre tipidir. Şekil 2.19 'de kendi delen presiyometrenin şematik görüntüsü verilmektedir. Zemine önce hafif hidrolik baskı ile itilerek yerleştirilen presiyometrenin kesici ucu delme sıvısı yardımı ile talaşı dışarı atarken aşağıya doğru ilerler. SBP nin çalışma prensibi, kesme yapılırken zeminde oluşan gerilme boşalmasının rijit cismin içeriye itilmesi sonucu beliren gerilme artışı ile dengelenmesidir.



(a)

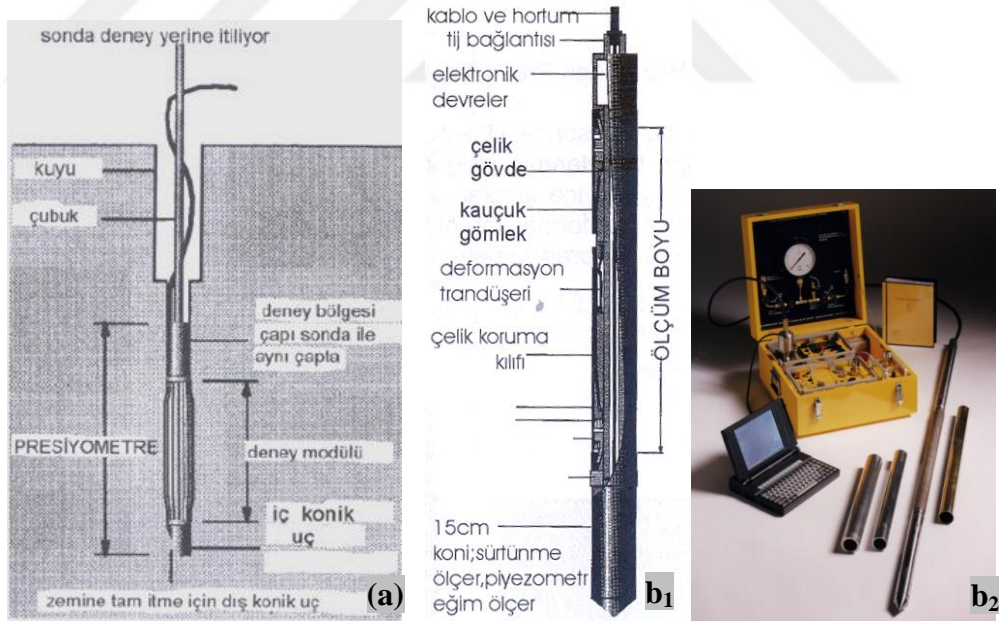


(b)

Şekil 2.19. (a) Kendi delen presiyometre (*Self Boring Pressuremeter, SBP*), (b) Deneyinin Yapılışı.

2.3.3. Zemine İtilen Presiyometre (PIP)

Bu tip presiyometre (*Pushed In Pressuremeter*) zemine doğrudan, veya açılmış sondaj kuyusunda belirli bir derinlikten başlayarak itilir (Şekil 2.20). Zemin tüm hacmine eşit biçimde yer değiştiriyor ise buna tam deplasman presiyometresi (FDP) denir. İşlemin yapılışı, penetrometre (CPT) uygulamasını andırıldığından presiyometre /konik penetrometre birleşik uygulaması çok verimli olmaktadır (CPM). Bu düzende kesit alanı 15 cm^2 olan penetrometre presiyometrenin önüne bağlanmakta ve ikisi birden ölçüm yapmaktadır. Şekil 2.20 de gösterilen Cambridge Koni presiyometre 2 metre uzunluğunda ve yaklaşık 43.7 mm çapında silindirik bir prob dur. Proben merkez kısmı, elastik bir zar ile kaplıdır. Ancak modülü zemine itmek için gerekli 150 kN dolayında kuvvet her zaman sağlanamadığı gibi, kuumlarda beliren yüksek gerilmeler daneleri parçalayabildiğinden okumalarda hata belirlediği öne sürülmüştür. Bu türün en önemli sakıncası zemine yüksek gerilmelerle itilen sondanın ölçüm derinliğinde mevcut gerilme alanını bozması olarak gösterilmektedir.



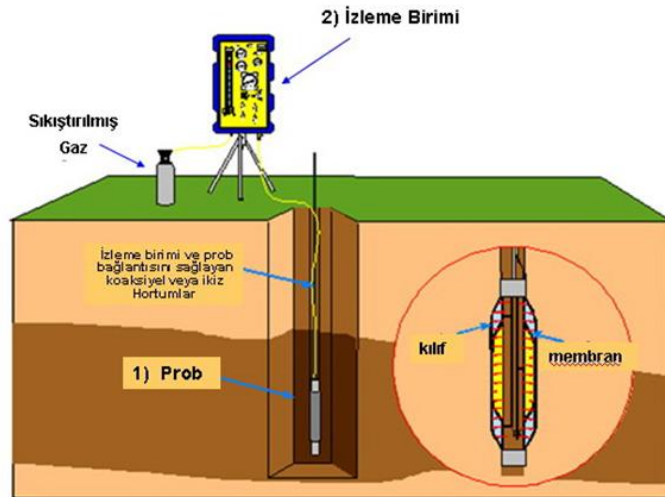
Şekil 2.20. (a) Zemine itilen presiyometre (PIP), (b₁) koni presiyometre, (b₂) Cambridge koni-presiyometresi.

3. MENARD PRESİYOMETRE DENEYİ

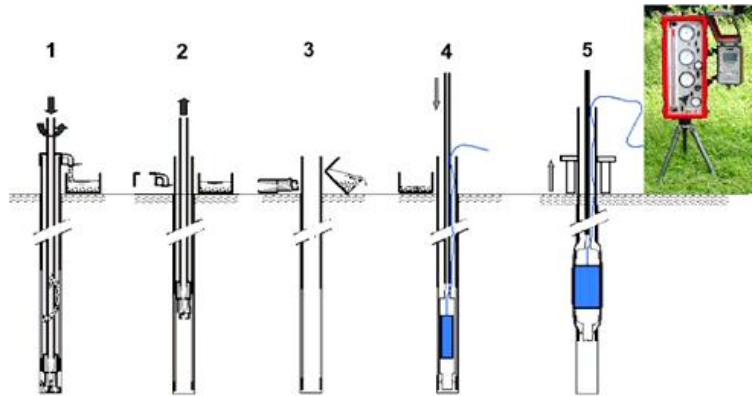
Menard Presiyometre deneyi, iki ana unsurdan oluşur (Şekil 3.1);

- 1) Işınsal genişleyen silindirik prob, kuyu içinde gereken deney seviyesinde askıdadır,
- 2) Bir izleme birimi (basınç volumetre olarak bilinen) zemin üzerine yerleştirilir.

Deneyin önceden hazırlanmış kuyu içinde yapılışı Şekil 3.2 de sunulmuştur.

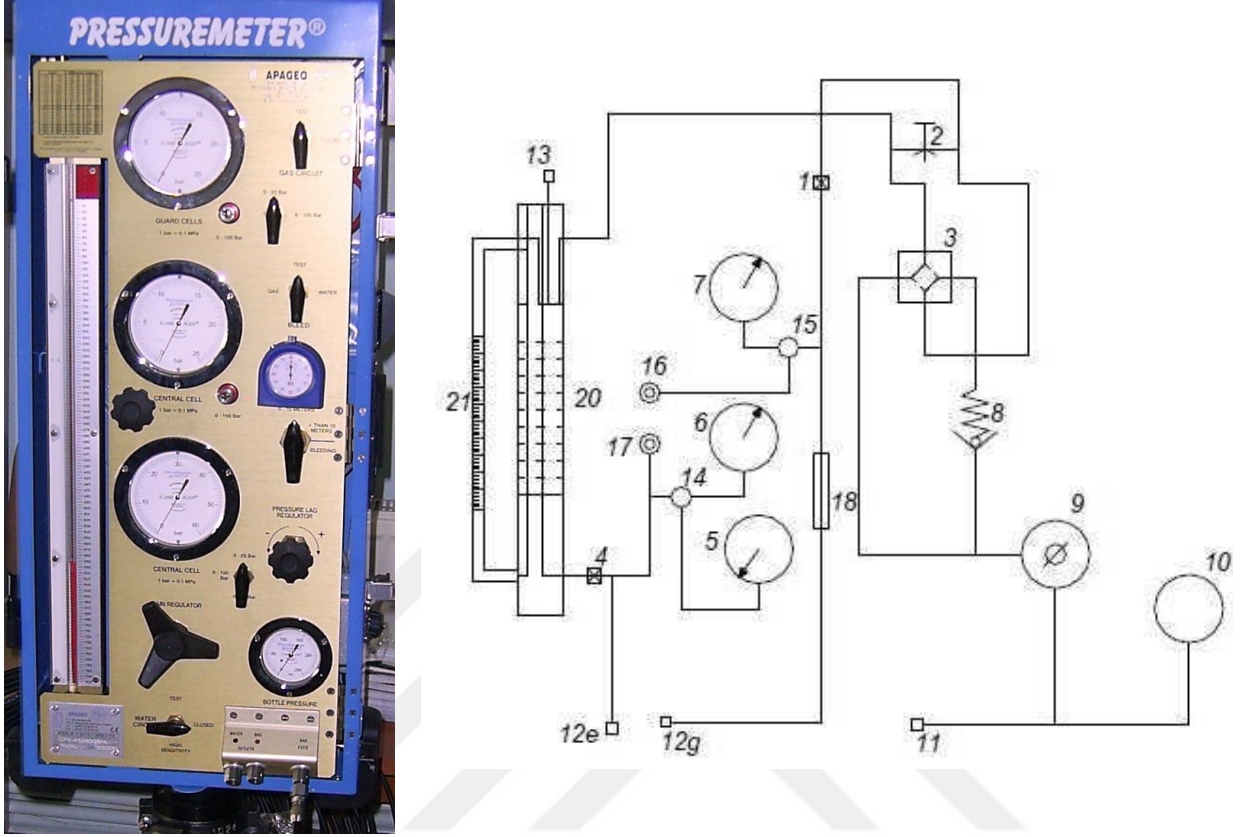


Şekil 3.1. Menard Presiyometre Deneyi



Şekil 3.2. Deneyin önceden hazırlanmış kuyu içinde yapılışı.

Presiyometre izleme birimindeki (basınç volumetre olarak bilinen) besleme devrelerinin genel işleyişi Şekil 3.3 de verilen model üzerinde gösterilmiştir.

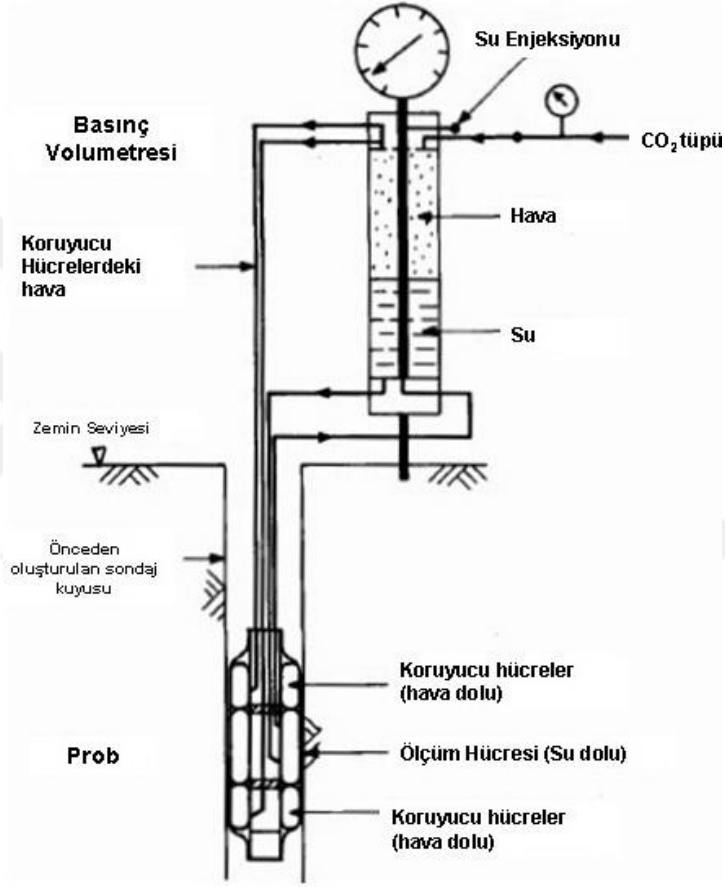


Şekil 3.3. Devre diyagramı (APAGEO)

Parçalar

- (1) Gaz besleme ve durdurma musluğu
- (2) Su ve Gaz devreleri için boşaltma (Bleed) Vanası
- (3) (4) vanaya gidiş
- (4) Su besleme ve durdurma musluğu
- (5) 0-2.5 MPa (0-25 bar) göstergesi-merkez hücre
- (6) 0-6 MPa (0-60 bar) göstergesi-merkez hücre
- (7) 0-2.5 MPa (0-25 bar) göstergesi-koruma (gaz) hücreleri
- (8) Geri basınç regülatörü
- (9) Ana basınç regülatörü
- (10) Cihazın gaz emme basınç göstergesi
- (11) Gaz besleme bağlantısı
- (12e) Su çıkış konnektörü
- (12g) Gaz çıkış konnektörü
- (13) Volumetre dolum tıpası ile otomatik durdurma musluğu
- (14) merkez hücre göstergesi seçme vanası
- (15) Koruyucu hücre göstergesi ayırma vanası
- (16) dişi tıpa, gaz devresi üzerindeki ek göstergeler için (koruma
- (17) dişi tıpa, su devresi üzerindeki ek göstergeler için (merkez
- (18) koruyucu filtre vanası
- (20) Volumetre
- (21) ölüm cihazı üzerinde suyun izlendiği tüp

Menard Presiyometre yönteminin genel şematik eskizi Şekil 3.4 de verilmiştir (Gibson ve Anderson 1961). Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi prop, üç hücreden oluşur. Dış iki hücre olarak bilinen “koruyucu hücreleri” ve normal basınçlı gaz ile doldurulur. Merkezi ölçüm hücresi ise, su ile doludur ve izleme ünitesi üzerindeki tüpe bağlıdır, basınç volumetresi tüpün içindeki hacim değişimini kaydeder. Basınç bir CO₂ tüpü ile sağlanmaktadır. Her iki gaz ve su basıncı, eşit zaman artışıyla ve yaklaşık eşit basınç aralıklarıyla artar. 15 s, 30s, 60s ve 120 s de ölçüm hücresindeki hacim değişimi sonucu her basınç artışından sonra kaydedilir.



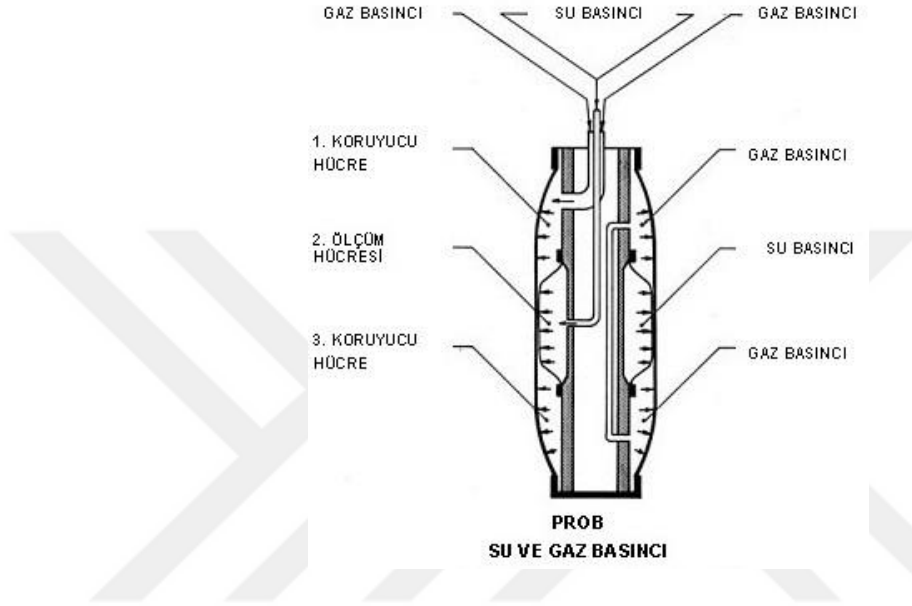
Şekil 3.4. Ménard Presiyometre ve şematik eskizi (Gibson ve Anderson 1961).

Sondaj deliğine indirilen prob (vaye sonda), koruyucu (muhafaza) ve ölçüm hücreleri ayrı ayrı volümetreler ile irtibatlıdır. Bu üç hücrede yaklaşık olarak eşit basınçta su ve gaz verilir. Bu üç hücre lastik bir kılıf içine alınmıştır. Deney bittikten sonra hortum içindeki su sütununun yapacağı basınç, hücreleri daima şişkin tutacağından, probun kuyu içinden kolayca çıkmasını sağlamak (yani ölçüm hücresi içindeki suyun dışarı atılması) için, hücreler ile lastik kılıf arasında ayrı bir hava kanalı ile hava verilir. Bu koruyucu ölçüm hücrelerinin görevleri;

- Ölçme hücresinin etrafında üniform radyal bir basınç meydana getirmek.

- Ölçme hücresinin alt ve üst kısmında meydana gelecek deformasyonları önlemektir.

Presiyometre deneyi ölçüm sırasında, gaz ve su basıncı altındaki probun şematik görünümü Şekil 3.5 de gösterilmiştir. Koruyucu hücreler sayesinde, ölçüm hücresi etrafında üniform basınç sağlanmıştır.

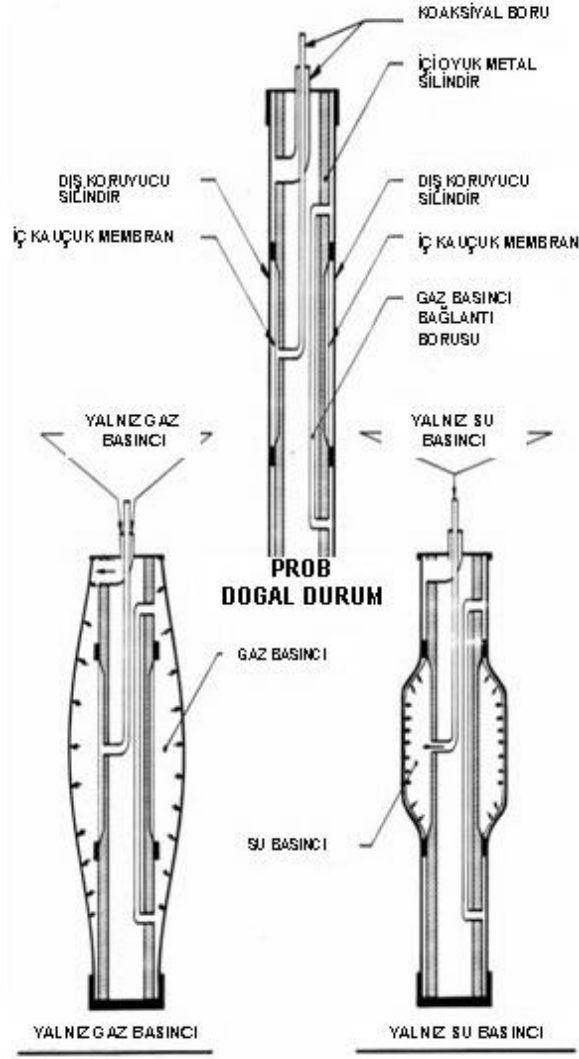


Şekil 3.5. Su ve Gaz Basıncı altında probun şematik görünümü.

Arazide ölçüm yapmak için hazırlanan 74 mm lik NX türü prob, Şekil 3.6 de gösterilmiştir. Bu probun, koruyucu hücrelerinin yalnız gaz basıncı ve ölçüm hücresinin su basıncı altındaki şematik gösterimleri Şekil 3.7 de verilmiştir.

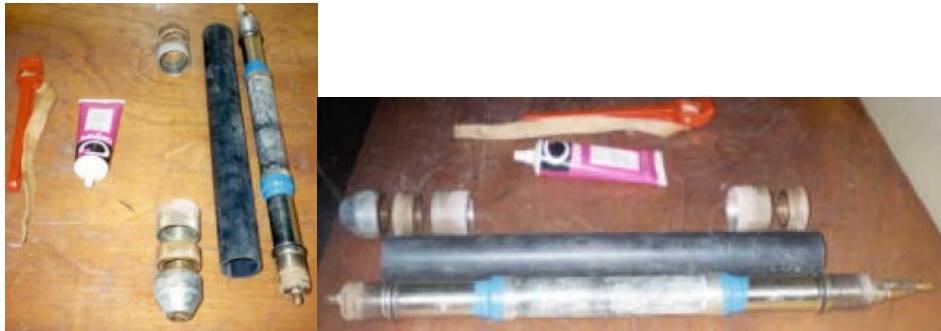


Şekil 3.6. Ölçüm yapmak için hazırlanan prob.



Şekil 3.7. Probun doğal durumda, gaz basıncı ve su basıncı altında şematik görünümü.

Genel olarak Menard Presiyometre GC tipi probun montaj aşamalarına ait ayrıntılar, probun genel hazırlanışı Şekil 3.8 ve Foto 3.9 de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Presiyometre probu, kauçuk kaplama, kelepçeler, koni koruma ve montaj aksesuarları.



Probun delikleri ve mühürlerin tamamen söküldüğündeki görünümü (1).



Merkezi ölçme hücresi uzunluğu boyunca membran yerleştirme (2)



Merkezi hücre contaları bantlanmış (3)



Koruyucu kaplama yerleştirme (kılıf), 3mm lastik içinde (4)

Şekil 3.9. Probun genel hazırlanışı (1, 2, 3, 4).

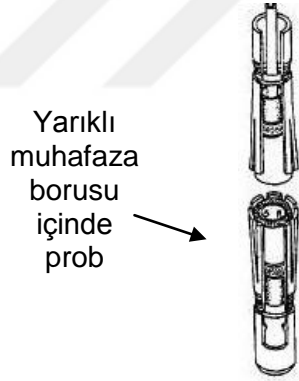
Probların üzerindeki kılıflar, zemin türlerine göre farklı çeşitlere ayrılmaktadır. Aşağıdaki tabloda genel olarak en yaygın olan 5 farklı kılıf çeşidi verilmiştir. Özellikler kuyu içindeki istenilen derinlikte deney yapılabilmesi için hem kuyudaki olası problemleri, hemde zemin türünü tahmin ederek, kılıf türünü seçmek gerekmektedir.

Prob kılıf çeşitleri	
1	Kauçuk kılıflar
2	Takviyeli yapı (kanvas)
3	Metalik yapı
4	Metalik şeritler (balık sırtı)
5	Oluklu muhafaza

Yukarıdaki tabloda ilk 4 gruba giren kauçuk kaplamalı, takviyeli, metalik ve metalik şeritlerden oluşan problemler, genelde zemin ortamının mukavemet özellikleri, homojenliği, farklı kalınlıkta tabakaların varlığı vb. zemin ile ilgili özellikler ve kuyunun açılış yöntemi ve kuyu duvarının stabilitesi gibi, birçok etmene bağlı olarak seçilir. Bu ilk 4 gruba ait prob kılıfı türleri Şekil 3.10a da gösterilmiştir. 5. gruba giren yarıklı muhafaza, probun dış kılıfının patlatma riski yüksek olduğu, kum-çakıl vb heterojen zeminler ile ayrılmış kaya ortamlarında kullanılır. Prob yarıklı metal muhafaza borusu içinde deney derinliğine indirilerek yapılır (Şekil 3.10 b).



Şekil 3.10-a. Farklı türlerde prob kaplamaları (kılıf) (1, 2, 3, 4)



Şekil 3.11-b). Yarıklı (oluklu) muhafaza tüpü (5).

3.1. Menard Presiyometre Probuunun Yerleştirilmesi

Menard Presiyometre deneyi, zeminin yeterince dayanımlı olduğu ve sondaj kuyusunun açık durabileceği yerlerde, muhafazasız yürütölen delme maliyeti nedeniyle, daha ekonomik olmaktadır. Zeminin desteksiz stabil duramadığı durumlarda (kum ve çakıllar) bazen özel oluklu kaplama kullanılır. Menard Presiyometre probunu, kuyu içinde istenilen derinliğe indirmek için zeminin cins ve yapısına bağlı olarak şu işlemler yapılır.

- **Yıkıntı Yapmayan Kohezyonlu Zeminlerde;** Eğer yıkıntı kuyunun bitimine kadar söz konusu değilse, kuyu açılması tamamlanır. Sistematik olarak her metrede bir deney tekrarlanır. Genellikle aşağıdan yukarı deneyleri yapmak daha pratik olur. Kuyu açıldıktan en fazla 24 saat içinde deneyler yapılmalıdır. Bu mümkün olmazsa kuyu açılmasına paralel olarak deneyler yukarıdan aşağıya doğru yapılmalıdır. Kuyu açılması için klasik dönel(rotary) tip sondaj makineleri kullanılır.
- **Gevşek – yumuşak zeminlerde;** Kuyu yıkıntı yapıyorsa sondaj suyuna bentonit karıştırılarak yıkıntı önlenir. Yahut ta, ilerlemeye paralel olarak deney seviyesine kadar, kuyu muhafaza borusu ile emniyete alınır. Deney yapıldıktan sonra muhafaza borusu kuyu taban kotuna kadar sürölür. İlerleme ve deney, sırayla tekrarlanır. Borulama yapılamıyorsa deney yapıldıktan sonra üst seviyeler, kuyuya beton dökölerek emniyete alınır. Ayrıca sığ derinlikteki deneylerde, özel el burguları kullanılabilir.
- **Kum, silt ve çakıllı zeminlerde;** Özellikle su altında ve yıkılma gösteren kohezyonsuz zeminlerde, radyal deformasyonu mümkün kılacak 4 ile 6 yan yarık ihtiva eden özel dövme muhafaza boruları kullanılır. Bu borular çok gevşek kısımlarda, hidrolik baskı ile, nispeten daha sıkı (hidrolik baskı ile sürölmemeyen) zeminlerde ise, çakılarak kuyu içine indirilir. Prob en alttaki yarık töp içerisine (muhafaza) yerleştirilerek deney yapılır. Bu yerleştirme zeminin oynamasına ve tabanda hafif bir sıkışma meydana getirir. Bu husus gevşek zemin ölçülerinde ihmal edilebilir. Ancak, hassas oturma etütleri için, probu iterek yerleştirmek tavsiye edilmez. Çünkü bundan dolayı zeminin elastik özelliklerinde değişmeler olabilir. Bu metotlar temel etütlerinin çoğunda geçerlidir.

3.2. Teknik Donanım ile İlgili Deney Kalitesini Etkileyen Sorunlar

Deliği önceden açılmış (Prebored: PB) presiyometrelerde, kuyu açılırken, kuyu çevresindeki zeminde bazı olumsuzlukların oluşması kaçınılmazdır. Bu olumsuzluk nedenleri aşağıda verilmiştir.

- **Toplam gerilme değişimi;** Sondaj kuyusu açılırken, kuyu içinden zemin alınması ile toplam gerilme düşer. Bu değişime bağlı olarak sondaj sırasında kuyuda destek kullanılması gerekebilir. Gerilme, cep (kuyu) duvarlarında sıfır veya çamur basıncına eşittir.
- **Kuyu (Cep) Çökmesi;** Toplam gerilmenin yeterince azalması, zeminin yenilerek genişlemesine neden olursa, cep (kuyu) çökebilir. Özellikle zemin süreksizlik içeriyorsa, cep duvarından parçalar, kuyu içine düşebilir.
- **Kuyu Duvarında Erozyon;** sondaj esnasında, zemin parçacıkları ve sondaj sıvısının geçişi sırasında, cep kenarları aşınmış olabilir;
- **Kuyu Duvarının Yumuşaması;** Cebe bitişik zemin içindeki boşluk suyu basıncında azalma olasılığı yüksektir. Sondaj kuyusu içindeki sıvı, emme basıncının artmasına, efektif gerilmenin azalması ile neden olarak, şişme ve yumuşama oluşturabilir.
- **Mekanik Bozukluk;** Matkap ucunun bozulması, kuyu (cep) duvarlarında titreşim ve eksantrik yüklemeye neden olabilir.

Sondaj kuyusu, zemin türüne göre, yalnız presiyometre deneyi için tasarlanmalıdır. Bu tasarım kriterleri, kuyu çapı, kuyu delme esnasında minimum deformasyon ve matkap ucunun minimum deformasyon ile kuyudan çıkartılmasıdır. Bu cep ve sondaj çapları, prob seçimine göre belirlenir, zemin türüne etkilerine göre de, sondaj metodu seçilir. Kuyular rotary (dönen) veya darbeli olarak tanımlanan her iki delme metodu ile açılabilir: Rotary delme, el burgusu (*hand augering*), sürekli havalı burgu, açık delik teknikleri ve temel sondajı kapsar; Darbeli sondaj, sürerek örnekleme ve kuyu içi çekiç uygulamalarını kapsar.

El burguları, cep şekillendirme konusunda en iyi yöntemdir. Bu yöntemin uygulanabilirliği, sığ derinlikler ile desteksiz ayakta kalabilecek zeminler ile sınırlıdır. Sert killerde ve belki yeraltısuyu altındaki kumlara uygulanabilir. Zayıf kayalarda kullanmak pratik değildir. Derinlik 5.0 m ile sınırlıdır, çünkü burguyu sık aralıklar ile çıkarmak gereklidir. İşlem zaman alıcıdır ve çakıl olması durumunda ilerlenilemez,

kuyu çöker veya dairesel olmayan bir delik açılır. El burguları, sondaj kuyusu tabanında delgi esnasında başka bir teçhizat ile cep şekillendirmek için kullanılabilir, ancak hem kuyuda genişleme meydana gelebilir, hem de pahalı bir uygulama olur.

Sürekli havalı (matkap) delgi sadece sert killerde kullanılır. İlerleme hızı öyle olmalıdır ki zemin kesilirken, yanlara itilmemelidir. Cep duvarlarının yırtılmasını önlemek ve emme kuvvetini en aza indirilerek, matkap yavaşça çıkartılmalıdır. Kil içindeki çamurtaşları ve çakıllar, kuyu duvarlarından kopararak boşluk bırakma eğilimindedirler.

Açık kuyu tekniklerinde kullanılan tarama matkabı veya üçlü koni matkabı uygun değildir ve farklı çaplarda düzensiz ceplerin oluşmasına sebep olurlar. Bu, tijlerin sallanmasına ve kuyu duvarlarının geniş kesilip geçilmesi ile erozyonuna neden olmaktadır. Ancak, deneyin derinde veya deneyler arasında geniş mesafeler olması gerektiğinde, kuyu ve deney pozisyonları arasında ilerlemek için bu teknik kullanılabilir.

Darbeli rotary matkaplar amaca uygun değildir. Bunlar düzensiz ceplere neden olur fakat açık kuyu tekniklerinde olduğu gibi, hızlı ilerleme için kuyu içinde, deney pozisyonları arasında uygulanabilir.

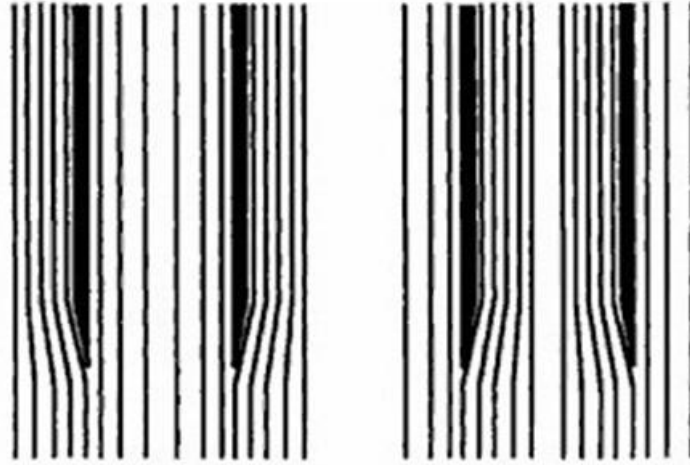
Temel sondaj teknikleri arasında, en çok dönel metod tercih edilir. Bu metot ile üniform çapta düzenli cepler elde edilebilir ve kuyu ortalama basınçlı su ile temizlenerek desteklenebilir. Rotary sondaj tekniği daha avantajlıdır, çünkü kesiciler küçüktür ve bu nedenle kuyu duvarlarındaki erozyon azdır.

Doğru basınçlı su ile yıkamanın önemi hafife alınmamalıdır. Ortalama kuyu delme hızı, talaşı kaldırabilmek ve duvarlardaki erozyonu önlemek için, düşük olmalıdır. Killerde erozyon ve yumuşamaya neden olduğu için kuyunun su ile temizlenmesi (su verilmesi) tavsiye edilmez. Su düşük viskozite ve yüksek yukarı çıkış hızı nedeniyle, iri daneli zeminlerde aşındırma eğilimlidir. Sadece özel kayalar için uygundur. Hava boşaltma yalnız çok özel kayalar dışındaki ortamlar için uygun değildir. Çamur boşaltma, tüm zeminler ve kayalar için tercih edilir. Cep duvarlarını kaplayacak şekilde çamur boşaltılır. Zemini çevreleyen suyun soğurması azalır ve böylece çökmeyi önler, duvar stabilitesine yardım eder ve yumuşama olasılığını azaltır. Ancak, çamur kaplama kalınlığı çok büyük olursa, deney sonuçlarını etkileyebilir.

Polymer bazlı çamurlar, bentonitik çamurlara göre yüzeyi daha ince kapladığı için tercih edilir.

Deneyde cebi oluşturabilmek için vurmali veya itmeli örnekleme tüpleri kullanılabilir. Bu yöntem sadece zeminlerde, yani kendini tutabilen kil ve belki su seviyesi üzerindeki kumlarda kullanılabilir. Ayrıca bu örnekleme tüpleri, diğer teknikler ile açılmış büyük çaplı sondaj kuyusuna sürülebilir.

Sürülen tij örnekleycileri dışındaki yivler, zeminin sıkışmasına neden olur. Bir örnekleme tüp önündeki kenar üzerindeki yiv dışarıdadır, böylece tüp duvarındaki zeminler yer değiştirir, dışarı itilerek, örneklemede bozulma minimum olur (Şekil 3.11). İdeali, yiv boru içinde olmalıdır, presiyometre deneyinin yapılacağı kuyu cepleri böyle oluşturularak kullanılmalıdır. Böylece, örnekler sıkışarak çevresindeki zeminde bozulma minimize edilir. Bozulmuş örnek alınması anlamına gelir. İtilen tüp tercih edilir, vurmali tüpler göre, bozulmayı en aza indirir. Tüp altındaki boşlukta oluşan emme basıncını azaltmak için boru yavaşça geri çekilmelidir.



Sürülen örnekleyci tüp ile dışındaki yiv, örnekleme dışındaki zeminin sıkışmasına neden olur

Sürülen örnekleme tüpü ile yiv arasında, örnekleme içindeki zeminin sıkışmasına neden olur

Şekil 3.12. Numune alma esnasında deneyin yapılacağı kuyu cebine sürülen örnekleyci tüpün iç yivli veya dış yivli olması durumunda, kuyu içinde oluşan deformasyon farkı.

Deneyler kil, silt, kum ve kayalarda yapılabilir. Çakıllar içinde deneyleri gerçekleştirmek zordur, çünkü probu parçacık boyutu ile ilgili olarak, cep içinde desteklemek ve cebe düzenli şekil vermek zordur. Bazen prob yarıklı kaplamaya sokulur ve çakıla kaplama ile sürülür (Baguelin vd., 1978), bu kaçınılmaz olarak büyük miktarda bozulmaya neden olur, bu yöntem kurmak için tasarım kuraları geliştirilmiştir.

Diğer zeminler içindeki çakıllar, kuyu yanlarından dışarı koparak düzensiz kuyu şekillerine neden olurlar. Rus standarttı özellikle % 25 den daha fazla çakıl içeren zeminleri presiyometre deneyi dışında bırakır.

Yukarıdaki teknik tanımlamalar, problemler için oluşturulan cep şekillendirmek içindir. Başarısız cepler hazırlanırken genişler.

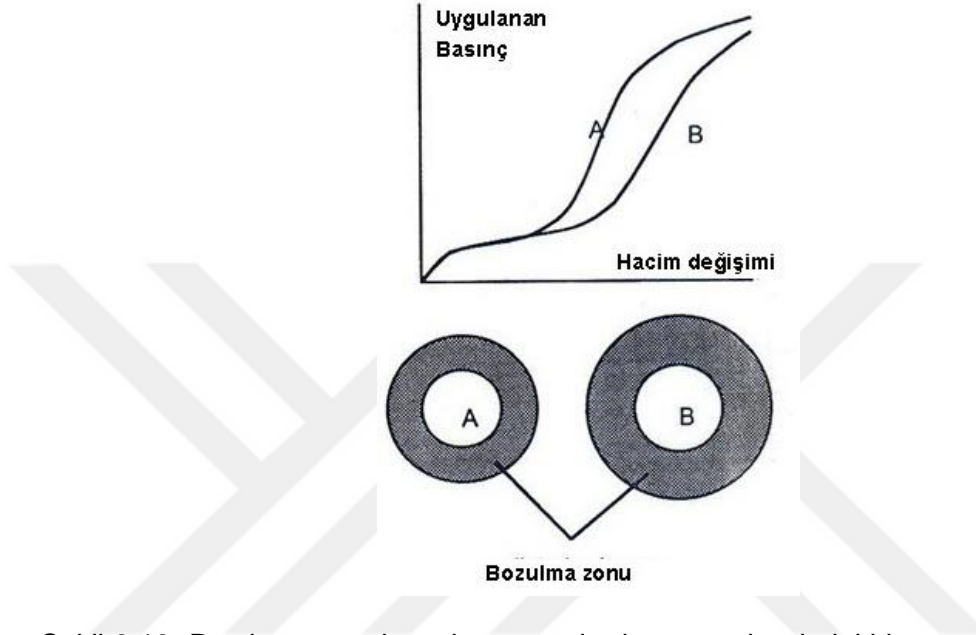
Eğer deney pozisyonları derinlikte ve yeterli aralıkta ise, genellikle açık kuyu tekniklerini kullanmak ekonomiktir.

Zeminler için en uygun koşullar seçilerek, aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Sondaj ve cebin çapı
- Cebin eğimi
- Ceb ve sondajın çökme olasılığı
- kuyu içinde ortalama yıkama hızı ve büyük çaplı kesim nedeniyle Cep duvarlarının erozyonu
- ortalama su taziki ile sürüklenen zemin nedeniyle, cep duvarlarının yumuşaması.
- Çakılların varlığı ile oluşan düzensiz delikler
- Derinlik ve deney aralıkları

Deney gerçekleştirilmeden önce zemin profili belirlenmelidir. Böylece doğru sondaj tekniği seçilebilir. İlk deneyler delme metodu sonucunda analiz edilmelidir, minimum bozulmadan emin olunmalıdır. Uygulanacak bölge için tipi delme metodu belirlenir, bir miktar bozulma için ortak bir faktör kullanılır. Düzensiz genişlemeyi önlemek için, membranın uzunluğu boyunca zeminin üniform olması önemlidir. Deney iki malzeme ara yüzeyi arasında yapılmamalıdır.

Daha önceki paragraflarda verilen nedenler ile delme esnasında zeminde, deney seviyesindeki kuyu cebi etrafında bozulma halkaları şekillenir. Probu genişlemesi sınırlıdır ve bu nedenle bozulma halkaları çok büyük ise (Şekil 3.12, B), test edilen malzeme, sadece bozulan malzemedir. Presiyometre eğrisi ortalama sertliğe tepki gösterir. Bu nedenle, ilk eğimden artan bozulma halkalarının kalınlığı çıkartılır.



Şekil 3.13. Presiyometre deneyi esnasında deney seviyesindeki kuyu cebi etrafında oluşan bozulma zonları.

Probu yerine yerleştirebilmek - indirebilmek için, prob çapı, cep çapından küçük olmalıdır, cep boyutuna göre karar verildikten sonra, probun maximum genişlemesi kritik bir faktördür. Kılavuz olarak, cep çapının, prob çapına oranı 1.1. den büyük olmamalıdır (Mair and Wood, 1987). ASTM ye göre, oranın 1.03-1.20 arasında olması tavsiye edilir (Briaud and Gambin, 1984). GOST, 76-127 mm çaplı proplar, cep çapının prob çapından 2 mm den daha büyük olmaması tavsiye edilmektedir, böylece proba bağlı olarak oranın 1.02 ve 1.03 arasında değişeceğine atıfta bulunmuştur. ISRM tarafından tavsiye edilen prosedürde, delik çapı prob çapından 0.5-3.0 mm geniş olarak tanımlanmıştır.

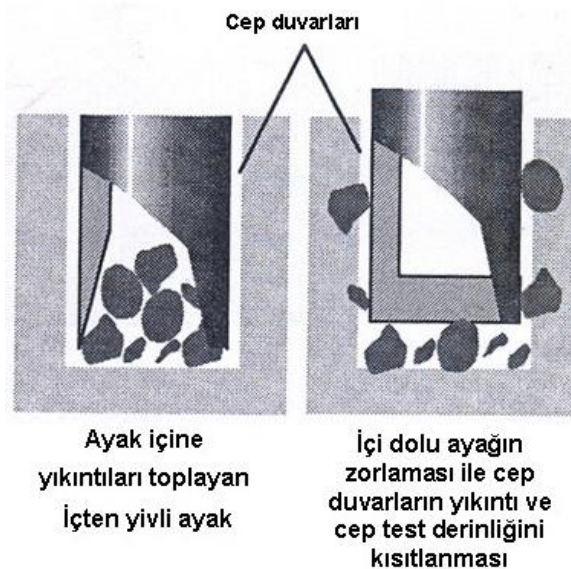
İlk olarak kuyu önceden hazırlanır, prob cebe indirilir. İki teknik kullanılır. Birincisi sondaj aynı çapta gereken cepte maksimum derinliğe kadar delinir. Prob aşağı kuyu tabanına indirilir ve deney gerçekleştirildikten sonra geri çekilir. Bu yöntemin dezavantajları vardır: kuyunun tamamının bir vardiyada tamamlanmalıdır; delik

yumuşayabilir, parçalar çökebilir, böylece probu aşağı indirilmesi ve yukarı çekilmesi zorlaşır, sondaj ve deney arasındaki gecikme, elde edilen deney sonuçlarını etkiler. Bu metot, bu nedenle, tavsiye edilmez.

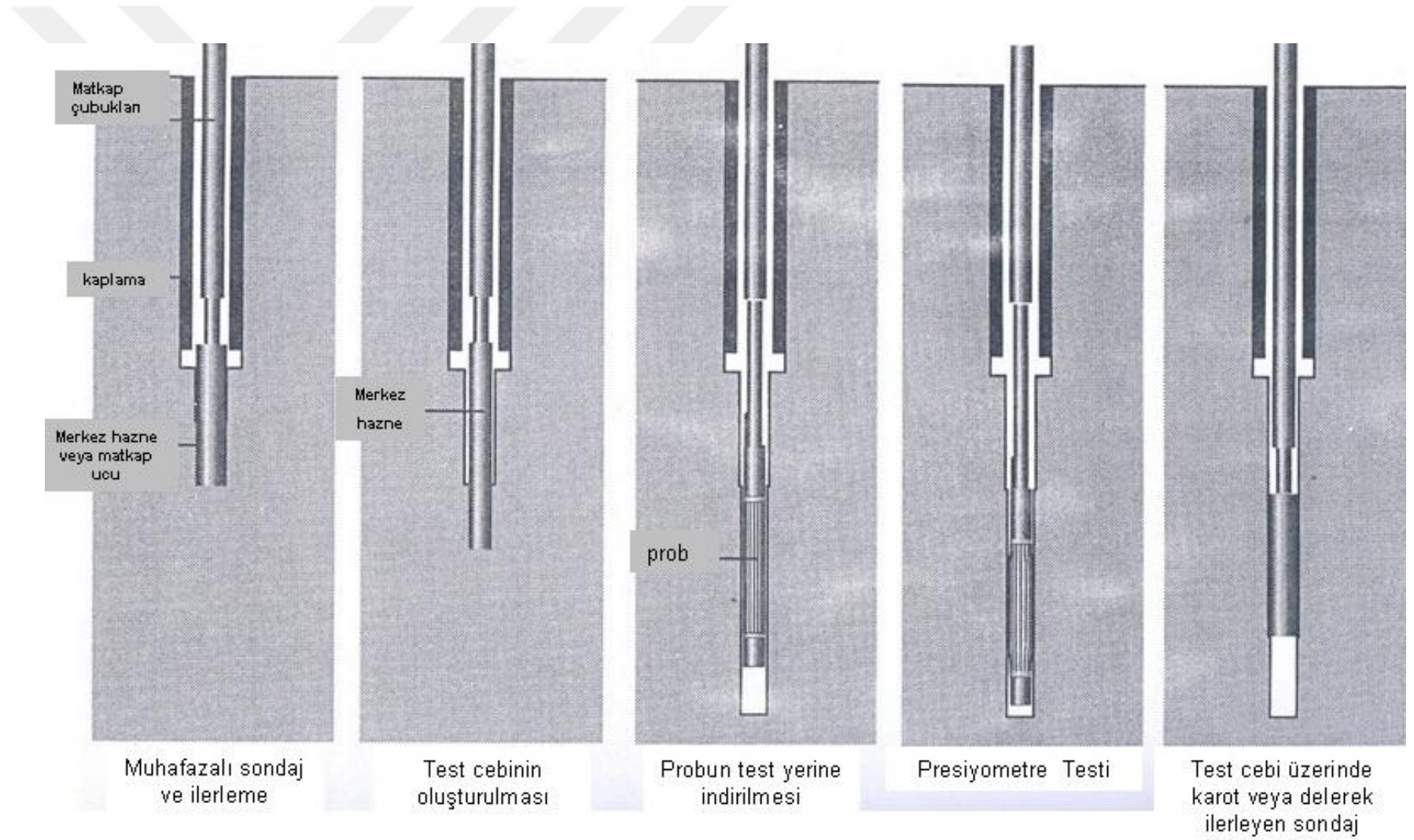
İkinci metot delgi pozisyonunda deney yapıldıktan sonra, kuyudaki yeni deney pozisyonuna ilerlenir. Bu sondaj sırasında her deney için prob ve delgi çubuklarının yukarı kaldırılıp ve indirilmesi, daha çok zamana neden olur. Sondaj kuyusunda yumuşama ve çökme etkisini azaltmak için, prob kuyu içine indirilip 15 dakikada deneyin tamamlanması tavsiye edilir (Mair and Wood, 1987). İşlem sırası Şekil 3.14 de gösterilmiştir.

Kuyu içinde bozulma tabakasının artmasına neden olan, probun piston gibi hareket etmesi veya probun kuyu içine indirilirken kuyu kenarlarıdaki ufak parçaların dökülmesini sebebiyet vermesini önlemek gerekir.

Sondaj çapı, proba benzer ise, prob piston ile hareket edecek, cep içindeki sondaj sıvısına baskı vererek boşluğun genişlemesine neden olacaktır. Cep kenarları, proba yakın kapalı kazılmış olabilir, ve eğer cep probtan küçük ise, eğimli veya düzensiz şekilli tabanda yıkıntılar toplanmasına neden olur. Burada sondajda cep tabanında yıkıntı olabilir. Bu nedenlerden dolayı prob deney derinliğine ulaşamaz. Üstesinden gelmenin tek yolu, bu iç civli/oluklu ayak eklenerek prob tabanında döküntülerin girmesine izin verilir (Şekil 3.13). Alternatif olarak cebin daha uzun olması gerekebilir.



Şekil 3.14. PBP testlerinde ayak çeşitlerinin prob konumuna etkileri

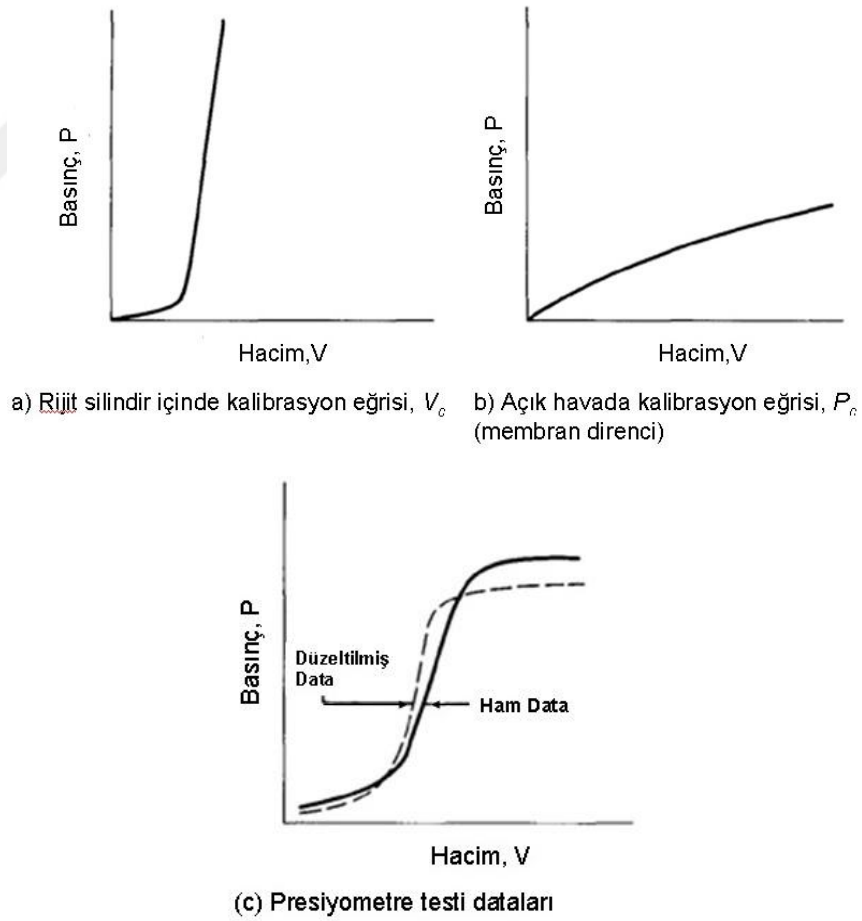


Şekil 3.15. Presiyometre (PBP) çalışma düzeni.

Ceplerin (veya su) tamamen sondaj çamuru ile dolması, ve probtan sondaj çapının büyük olması sonucunda, çamur hareket eder, prob geçerken, uzaktaki cep kenarlarına yılanmış olur, önlemek için prob indirilirken dikkat edilmelidir, idealde prob cep içinde yavaşca indirilmelidir. Sıvı ile dolu sistemler MPM gibi, kuru kuyularda problemlere yol açabilir.

3.3. Deney Ekipmanının Kalibrasyonu

Presiyometre ekipmanları, her kullanımdan önce basınç kaybı (P_c) ve hacim kaybı (V_c) kayıplarını gidermek için kalibre edilir. Bu kalibrasyonları tanımlayan genel modeller Şekil 3.15 de gösterilmiştir. Bu kalibrasyonlara ait ayrıntılı bilgiler, aşağıda alt başlıklarda anlatılmıştır.



Şekil 3.16. Presiyometre kalibrasyon grafikleri ve veri düzeltme (Mair ve Wood 1987).

3.3.1. Probuñ Havasını Alma (*Probe Bleeding*)

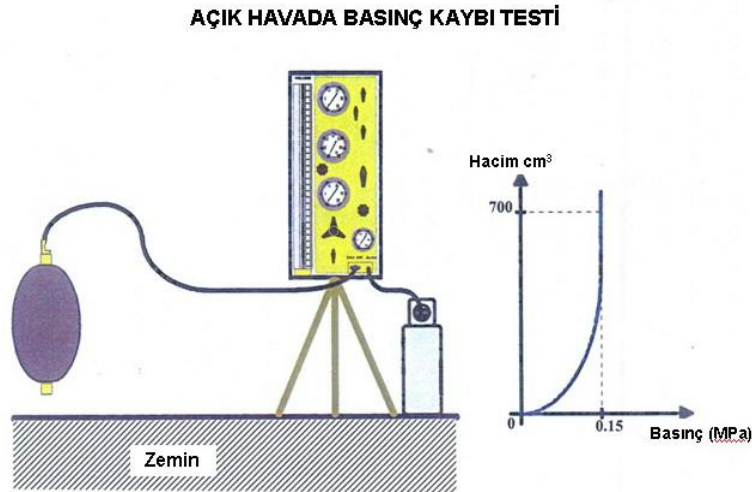
İlk olarak prob içinde bulunan hava alınır. Bu işlem teste başlamadan önce yapılır.

3.3.2. Basınç Kaybı Testi (*Pressure Loss Test*)

Prob üzerindeki kauçuk/lastik kılıf (membran), artan genişlemeye karşı hafif bir direnç gösterir. Bu direnç sırayla zemin direncine karşı, onu özümsemek için belirlenmelidir. Serbest probun hacimsel genişlemesi ve uygulanan yük arasındaki ilişkiyi tanımlamak için, zemin yüzeyinde probun kalibrasyon testi yapılır.

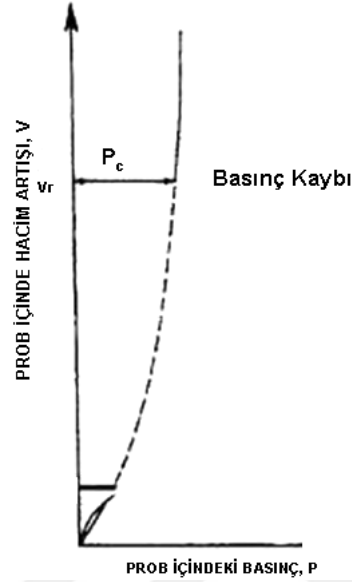
Basınç kaybı (P_c), prob duvarlarının sertliği nedeniyle meydana gelir. Prob duvarlarını genişletmek için gerekli basınç test sırasında okuyucu aygıt üzerindeki basınç okumalarından elde edilir. Bu membran direncini, zemine uygulanan gerçek basıncı elde etmek için, zemindeki testler sonrasında, her hacim değişimi esnasında ölçülen basınçtan çıkarmak gereklidir. Membranın sertliği/direnci bulmak için yapılan kalibrasyon, probun tamamen şişirilerek ve probun basınç ölçüm seviyesinde yerleştirilmesi ile yapılır. 10 kPa artışlar ile uygulanan basınçlar, 1 dk tutulur ve 1 dk sonra hacim okumaları alınır.

Bu açık havada yapılan, basınç kaybı testi, prop presiyometre yanında yer alır ve prob adım adım artırılan basınç ile şişirilerek, membranın, hacime karşı basınç eğrisi elde edilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.17. Basınç Kaybı Testi.

Bu elde edilen eğri, basınç kalibrasyon eğrisidir (Şekil 3.17). Düzeltilmiş basınç (P_c), hacim okumaları için kalibrasyonundan (V_r) elde edilen basınç kaybıdır. Bu basınç düzeltmesi (P_c) deney esnasında elde edilen basınç okumalarından çıkartılmalıdır. Maksimum P_c değeri, limit basıncın %50 sinden daha az olmalıdır.



Şekil 3.18. Basınç kaybı testi.

Bu basınç deneyi sonucunda elde edilen son membran direnci (P_{lm}), özellikle Normal Konsolide (NL) yumuşak kil ve gevşek kum gibi, limit basıncın düşük olduğu ortamlarda çok önemlidir. Aşırı konsolide zemin-yumuşak kaya ortamlarda (yüksek limit basınçlarda) ise, son membran direnci (P_{el}) ihmal edilebilir.

Prob tarafından zemine iletilen düzeltilmiş basınç (P), aşağıdaki basınç okumalarından hesaplanır.

$$P = P_R + P_\delta - P_c \quad (3.1)$$

P = Probun zemine etkiyen basıncı, kPa

P_R = Kontrol ünitesi üzerindeki basınç okuması, kPa (60 s)

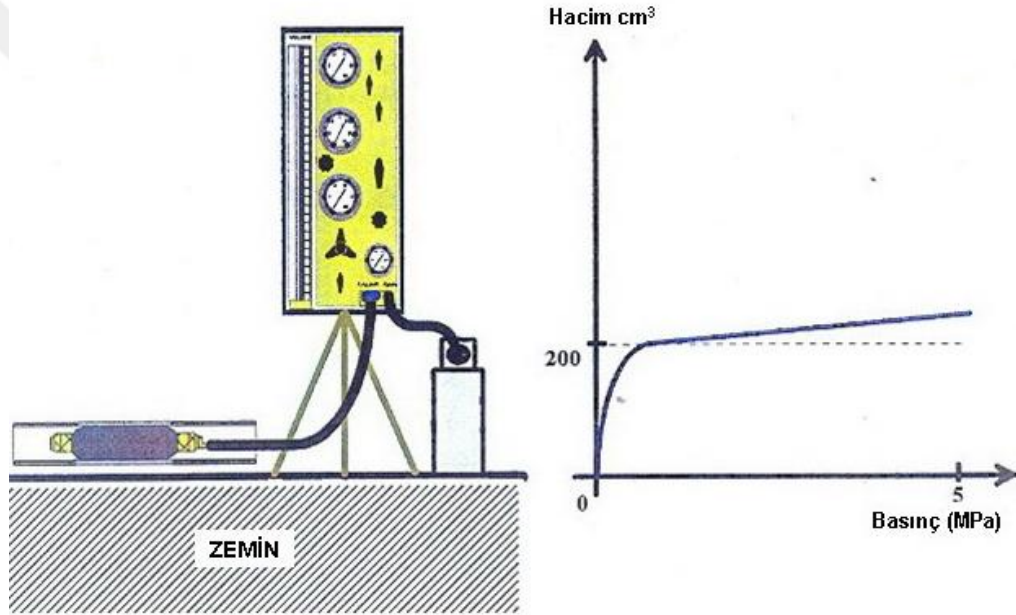
P_δ = Kontrol ünitesi ile prob arasındaki hidrostatik basınç, kPa

P_c (P_{el}) = membran sertliği için basınç kaybı düzeltmesi, kPa

3.3.3. Hacim Kaybı Testi (Volume Loss Test)

Kalibrasyonun amacı artan basınçlar altında, verileri azaltarak, ölçüm merkezinin (su kesesi) tek başına şişmesini ölçmektir. Bu hacim kaybı (V_c), prob ve sıvı dahil olmak üzere hortumların genişmesi ve test ekipmanlarını herhangi bölümünün sıkışabilirliği ile de meydana gelebilir.

Hacim testi aşağıdaki gibi gerçekleşir. Prob ağır çelik muhafaza borusu içine yerleştirilir, proba bastırmadan ve probun rijit olduğu kabul edilerek kalibrasyon yapılır (Şekil 3.18).

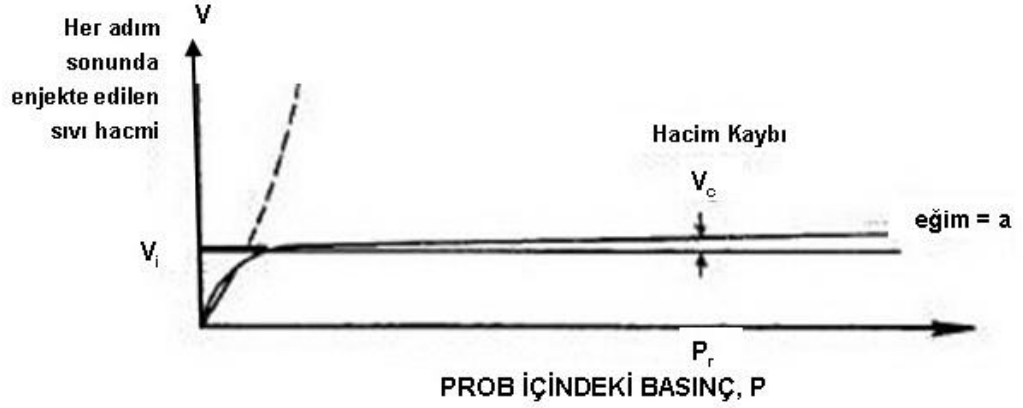


Şekil 3.19. Prob hacim kaybı testi.

Prob belirli basınç kademeleri ile şişirilir ve hacme karşı basınç eğrisi kaydedilir. Bu eğri hacim kaybını gösterir. Testler sonrasında, her basınç esnasında, verilen basınçta kaydedilen kalibrasyon hacim değişiklikleri çıkartılır.

Önerilen prosedür, 100 veya 500 kPa lık basınç artışına bağlı olarak, probun sırasıyla 2.5 veya 5.0 MPa, maksimum genişlemeye tasarlanmalıdır. Her basınç artışı ile 20 sn içinde çelik boru ile bir kez temas sağlanmalıdır, 1 dakika boyunca sabit tutulmalıdır. Her basınç artışı (P_r) sonunda, enjekte edilen hacim (V_r) grafiği, kalibrasyon eğrisini verir. Bu sıfır hacim kalibrasyonu, sıfır basınçta, eğride paralel

düz bir çizgi elde edilir (Şekil 3.19). Ölçüm sonucunda, artan basınca rağmen sabit olan hacim V_i , prob ölçüm hücresinin sönmüş hacmini belirlemek için kullanılır.



Şekil 3.20. Hacim kalibrasyonu (Muhafaza tüpü içindeki presiometre probu için genişleme eğrisi, diferansiyel basınç 100 kPa – 1bar).

Hücre merkezinin veya probun ilk hacmi aşağıda verilen bağıntı ile tanımlanır;

$$V_0(V_S) = \frac{\pi D_i^2 L}{4} - V_i(V_c) \quad (3.2)$$

- L : İki membran halkası arasındaki mesafe (yaklaşık 210 mm)
- D_i : Çelik muhafaza (kalibrasyon tüpü) veya borunun iç çapı
- V_i : Artan basınca karşı, şişen probun maksimum genişleme hacmidir. Şekil 3.20 daki grafikte, hacim artışının çok az değiştiği noktadan itibaren basınca paralel çizilen düz bir çizginin hacim ekseninde kestiği nokta olarak gösterilmiştir.

Hacim kaybı $V_{(cor)}$ düzeltmesi, farklı basınçlar için, çizilen basınca karşı hacim eğrisinin eğiminden, kalibrasyon katsayısı ilgili "a" faktörü kullanılarak elde edilir.

$$V_{(cor)} = V_r - aP_r \quad (3.3)$$

Bu düzeltilmiş hacim kaybı (V_c), deney esnasında ölçülen hacimlerden çıkartılmalıdır. Bu düzeltme, probun 100 kPa basınçta, şişmemiş probun (V_0) ölçme bölümünün normal hacminin % 0.1 den daha az ise, düzeltme, zemin içinde nispeten küçük ve ihmal edilebilir bir değer olur. Çok sert zemin ve kayalarda, düzeltmeler önemlidir ve uygulanmalıdır. Hiç bir durumda, 100 kPa basınçta,

sönmüş probun ölçme bölümünün normal hacminde(V_0), düzeltmeler % 0.5'i aşmamalıdır.

Bu ekipmanın genleşme veya sıkışabilirlik katsayısı;

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (3.4)$$

“a” AB çizgisinin eğiminden belirlenir, 50 m lik boru ile donatılmış teçhizatta, genelde 2-4 cm^3/MPa aralığında olup, 6 cm^3/MPa dan daha az olmalıdır. Lopes (2004) e göre, bu düzeltme, düşük basınç sınırı ve yüksek deformasyon ile gösteren yumuşak kil gibi zeminlerde ihmal edilebilir.

Kalibrasyonlarda, V_s , teorik 535 cm^3 düzeyine ulaşamayıp, daha düşük bulunabilir (480 cm^3). Bunun nedeni, probun mevcut ekipmanları ile dışarıdayken, membran dış yüzü ve kılıfın iç yüzünün temas halinde olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu değertest ölçüm hücresi etrafında boşluğun hacmi belirlemek için kullanılır ve 535 - 480 = 55 cm^3 olabilir.

Hücre merkezinin veya probun ilk hacmi V_s için en yaygın değerler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 gösterilmiştir.

Hacim kaybı testinin arazide yapılan kayıt örneği Şekil 3.20 de gösterilmiştir. Bu kalibrasyon deneyi kaydı APAGEO marka Menard presiyometre cihazı ile alınmıştır. Cihaza bağlı, test sonuçlarını kontrol etmeyi sağlayan ve kaydeden GEOSPAD elektronik kayıt cihazı ile kullanılmaktadır. Bu kayıt cihazı içinde bulunan hafıza kartı ile bu verileri bir sayısala dönüştüren GeoVision adlı bir program ile arazi verilerinin değerlendirilmiş son hali, Şekil 3.21 de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Hücre merkezinin veya probun ilk hacmi V_s (APAGEO-çalıştırma talimatları, 2006)

Proburn sertlik limitine göre, PL ⁽¹⁾ kılıf tipi, Fransız Standardı NF P 94-110-1: Ocak 2000.					
60 mm probları					
Sipariş numarası Kılıflar için	Açıklama	V_s ⁽²⁾ (cm ³)	P_{el} kPa (bar)	Test	Zemin türleri
A1 1416002	Lastik kılıf ⁽³⁾ (3mm kalınlığında) + standart membran	510	140 (1.4)	Düşük basınç	Çamur, yumuşak killer, silt, gevşek kum, macun kıvamında tebeşir
A1 1416006	Çelik-sertler ile kuvvetlendirilmiş kılıf (ayrıca metal kılıf olarak da adlandırılır) + standart membran	505	90 (0.9)	Orta basınç	Çakıl, çakmaktaşı, kil, tebeşir çamur, yumuşak kil, silt, gevşek kum, macun kıvamında tebeşir
A1 1416007	Kanvas ile kuvvetlendirilmiş kılıf (3mm kalınlığında) + standart membran	500	100 (1)	Orta basınç	Kil, silt, kum
A1 1416008	H.P. Kanvas ile kuvvetlendirilmiş kılıf (4 mm kalınlığında) + standart membran	520	250 (2.5)	Orta- yüksek basınç	Kil, silt, kum+marn, iri taneli zeminler
A1 1416010	Çelik kanvas ile takviyeli kılıf + standart membran	530	320 (3.2)	yüksek basınç	marn, iri taneli zeminler, ayrışmış kayalar ve taze kayalar

Not: a) Standart membranın sertliği 50 kPa (0.5 bar) daha azdır. Düşük sertlikli membranlar uygundur. b) bu yukarıdaki Tabloda verilen değerler, yalnızca örnek olarak verilmiştir. Operatör, dışarıda hacim kaybı ve basınç kaybı testlerini yapmak zorundadır.

Tablo 3.2. Düz Yarık Tüp içindeki probun ilk hacmi V_s .

Sipariş numarası Kılıflar için	Açıklama	V_s ⁽²⁾ (cm ³)	P_{el} kPa (bar)	Test	Zemin türleri
Düz Yarık					
A1 141 4407	Çelik serit takviyeli (veya metal) kılıf ⁽⁴⁾ + standart membran	565	210 (2.1)	Orta Basınç	orta durumda (doğrudan sürüş veya kılavuz kuyu)
A1 141 4405	Lastik kılıf ⁽³⁾ (3mm kalınlığında) + standart membran	580	230 (2.3)	Orta Basınç	dengesiz zeminler (doğrudan sürüş)
A1 141 4409	H.P. Kanvas ile kuvvetlendirilmiş kılıf (4 mm kalınlığında) + standart membran	590	270 (2.7)	Orta- yüksek basınç	Dengesiz zeminler, marn, çakıldan büyük kaya parçaları (cobbles)
A1 141 4411	Çelik kanvas ile takviyeli kılıf + standart membran	590	540 (5.4)	yüksek basınç	marn, çakıldan büyük kaya parçaları (cobbles), çatlaklı kayalar kılavuz kuyu ile

¹ P_{el} , prob kalibrasyon test eğrisinden (basınç-hacim) belirlenir. 1.2 V_s 'e eşdeğer enjekte edilen hacim için; V_s daha önceden kalibrasyon tüpü içinde hacim kaybı testi ile tanımlanmıştır.

² Doğal durumdaki Prob hacmi, V_s , farklı membran montajı (merkez hücre uzunluğu 210 ve 220 mm arasında değişir), drenaj ve kılıf tipi değiştirilebilir, tipik değerleri örneklerde verilmiştir.

³ 4 mm kalınlığındaki plastik kılıf için, P_{el} 0.3 bar eklenir.

⁴ tüp yarıkları içindeki çelik şeritlerde bozulma riski.

Job Number: FERIKOV
 Boring : SK_3 Operator : ISRAFIL AK
 Date : 14/05/2010 Time : 13:21
 File : CA100514.03 ASTM D 4719 - 00
 Card : 204 PVC : 1024

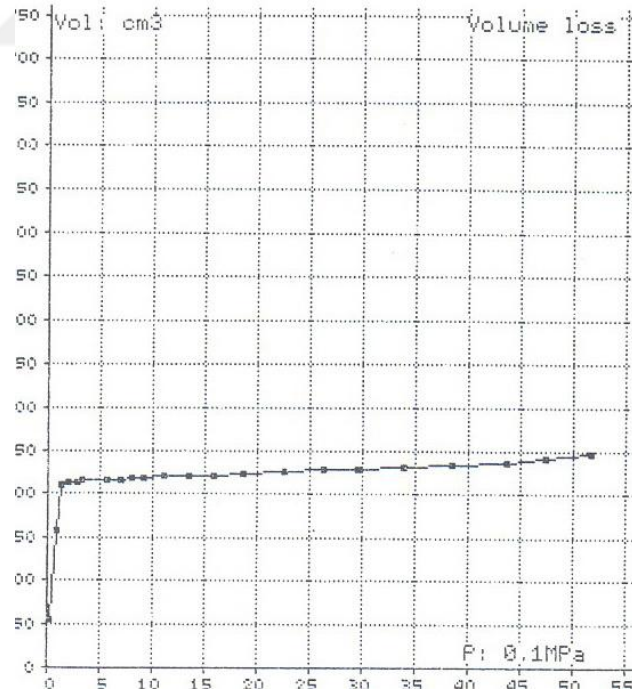
TEST TYPE : Volume loss
 Pressure Loss : ET100514.02
 Volume Loss : CA-?
 Borehole type :
 Drilling length : m
 Probe : 60-gcm75
 Probe Depth : m
 Water Level : m
 Tubing Type : Coaxial
 Tubing Length : 0.5 m
 Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	V O L U M E			
		15s	30s	1dv1	60s

Contact Volume (cm3): -06.6

1	00.4	012.1	028.5	027	055.1	100.9
2	00.9	091.0	117.0	039	156.0	54.1
3	01.5	191.6	206.8	003	210.1	2.1
4	02.1	211.6	212.2	000	212.2	0.6
5	02.8	212.5	212.8	000	212.8	2.1
6	03.3	213.1	195.8	019	214.9	0.0
7	05.7	216.4	216.7	01	214.9	0.3
8	07.0	215.9	215.5	000	215.2	0.6
9	08.1	216.7	216.1	000	215.8	0.6
10	09.2	217.6	216.7	000	216.4	3.0
11	11.2	219.5	219.4	000	219.4	0.6
12	13.5	200.5	220.0	000	220.0	1
13	16.0	221.6	221.0	000	221.0	0.8
14	18.9	223.3	222.5	000	221.9	2.1
15	22.8	225.5	222.5	001	224.0	2.7
16	26.3	227.7	225.9	001	226.7	1.5
17	29.6	229.7	228.8	000	228.2	2.7
18	34.1	232.4	231.2	000	230.9	2.7
5	235.4	234.2	000	233.6	1.8	
8	239.5	236.6	000	235.4	4.8	
5	240.9	240.2	000	240.2	4.5	
8	245.5	245.3	000	244.7		

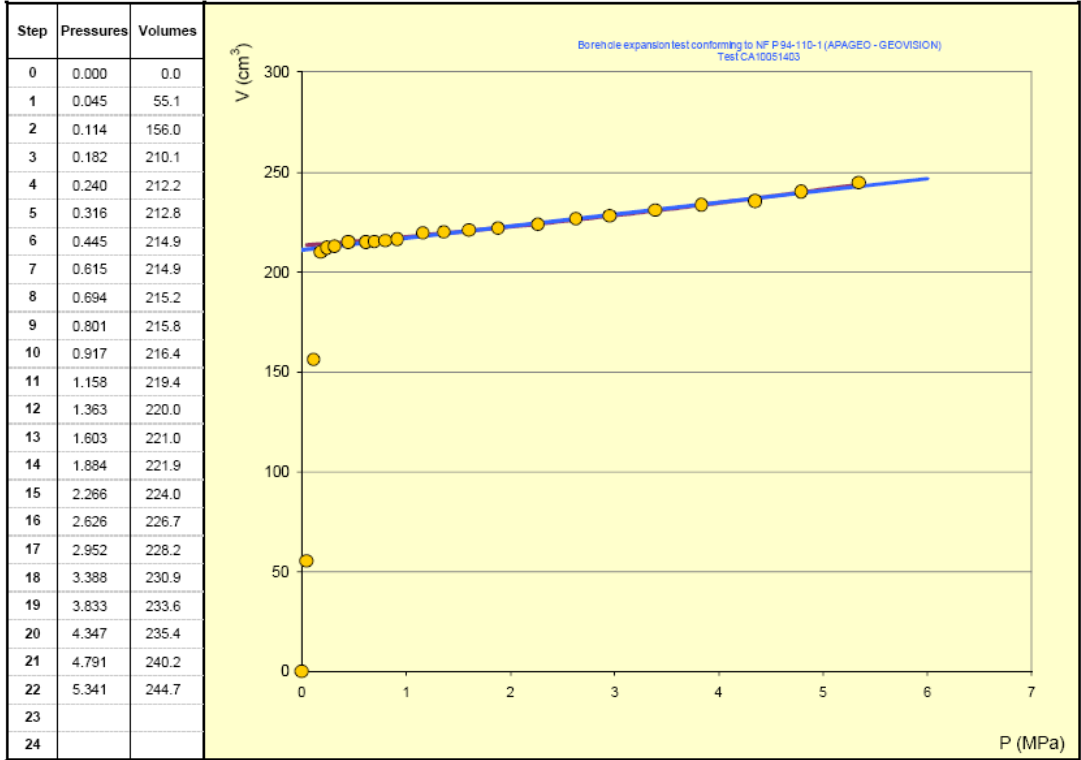
5	P_Diff	=	-0.56	x0.1MPa
---	--------	---	-------	---------



Şekil 3.21. Hacim Kaybı testi (Volume Loss test)

	MENARD PRESSUREMETER AUTOMATICALLY RECORDED Borehole expansion test conforming to NF P 94-110-1 - VOLUME LOSS -
--	--

PROBE	CELL PARAMETERS		TUBING & FLUIDS PARAMETERS				TEST		
	Cote	60-gcm75	Type	Coaxial	X	Liquid		Nature	Eau
	Length	Cover		Twin				Density γ_f/γ_w	1.00
	210 mm	X	Rubber	Total length (m)		Gas		Nature	Azote
370 mm		Reinforced mesh	0.50			Compressibility λ_g (m ⁻¹)	0.00016		
Type		Metallic mesh	MEMBRANE PARAMETERS						
E		Metallic strips	Supplier type and cote						
G	X	Slotted tube	Pressure loss p_m (MPa)		0,040				
						Test number	CA10051403		
						Test date and time	14.05.2010 13:20		
						Control unit number	1024		
						Data logger number	AG71		
						Operator's name	ISRAFIL AK		
						Differential pressure	-0.056		
						CU to probe elevation	1.00		
						Observations			



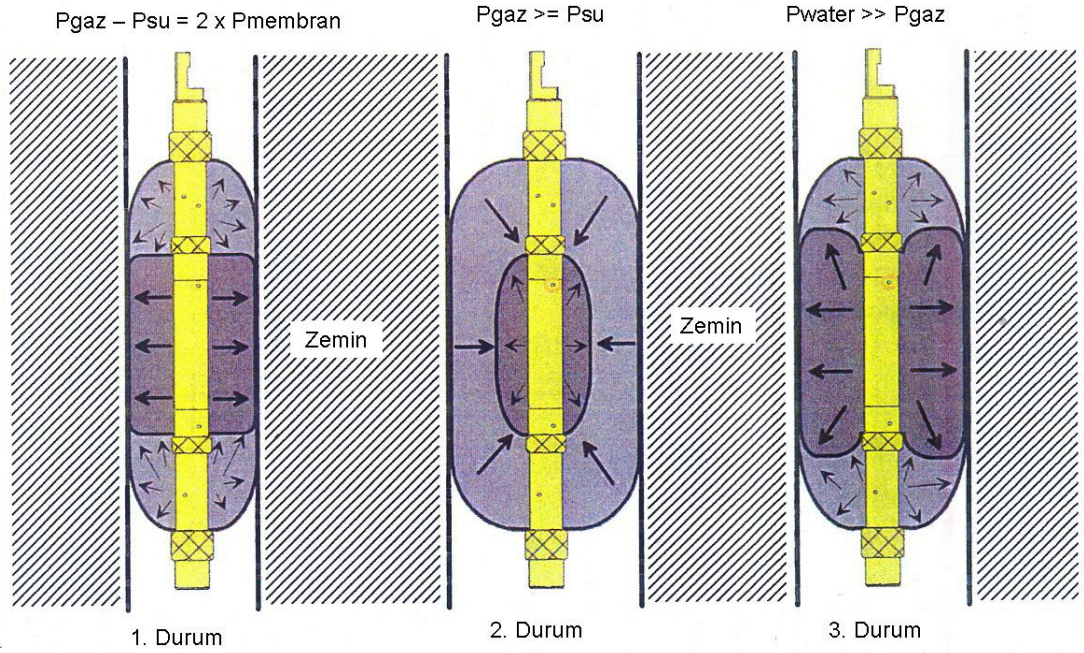
LINEAR EXTRAPOLATION	HYPERBOLIC EXTRAPOLATION	COMMENTS
$V = V_c + a.p$	$V = U_1 + U_2.p + \frac{U_3}{U_5 - p}$	
$V_c = 211.1$ $a = 5.952$	$U_1 = -1.28E+02$ $U_2 = 1.54E+01$ $U_3 = -1.02E+04$ $U_5 = -3.00E+01$	
PROBE VOLUME		
Calibration cylinder diameter d (mm) = 78.0		
Probe volume V_s (cm ³) = 792.3		

Şekil 3.21. Hacim Kaybı testinin otomatik kayıt okuyucu sonrasında GeoVision yazılımı ile değerlendirilmiş son hali.

3.3.4. Basınç Farkı

Burada ölçüm hücresi ile koruyucu hücreler arasındaki basınç farkının, proba etkisi tanımlanmıştır (Şekil 3.22).

3.3.4.1. Prob kotunda basınç farkı



Şekil 3.22. Prob kotunda ölçüm hücresi ile koruyucu hücreler arasındaki basınç farkları (APAGEO, 1997)

Geçerli bir deney için, merkez ölçüm hücresinin uzunluğu boyunca tamamı zemin ile temas halinde olmalıdır. Bu Şekil 3.22 de 1. durum olarak gösterilmiştir. 2. durumda olduğu gibi koruyucu hücrelerde basınç daha yüksek ise, merkez ölçüm hücresi membranını toprak ile temas durumuna genişletmek mümkün olmayacaktır. Tersine, eğer basınç merkez hücrede çok yüksek ise (3. durum), gerçek radyal genişleme değerini etkileyen hatalı sonuçlara neden olacaktır.

Bu nedenle, ölçüm sırasında probun Şekil 3.22 de verilen 1. durumda olması için, koruyucu hücrelerdeki basıncı merkezi ölçüm hücresinden daha düşük tutmak gerekir. Bu sonuca bir farklı (diferansiyel) basınç regülatörü kullanılarak varılır.

Merkezi kauçuk membranın tamamen şişmesini sağlayacak gerekli basıncı ölçmek için, diferansiyel basınç değerlerini tahmin edebilmek gerekir. Bu basınç kaybı testi olarak yapılabilir.

Standart membranın maksimum basınç direncinin 50 kPa (30-60 kPa) olması, deneyde prob kotunda, 100 kPa (1 bar) geri basıncı benimsemeye yol açmıştır. Bu diferansiyel basınç, test sırasında her zaman kontrol edilmelidir.

Üç hücreli presiyometrelerde, koruyucu hücrelerdeki basınç (P_G), ölçüm hücresinin zemin ile temas halinde olmasını sağlamak için, prob içinde meydana gelen gerçek basıncın altında ayarlanması gerekir. Bu koruyucu hücrelerdeki basınç, aşağıdaki bağıntıdan elde edilir;

$$P_G = P_R + P_\delta - P_d \quad (3.5)$$

P_G = Koruyucu hücrelerin basıncı

P_R = Kontrol ünitesi üzerindeki basınç okumaları

P_δ = Kontrol ünitesi ve prob arasındaki hidrostatik basınç

P_d = Ölçüm hücresi ve koruma hücreleri arasındaki basınç farkı (≈ 2) (genellikle membranın limit basıncının iki katıdır).

Gaz ve sıvı basınçlarının, $P_d = 100$ kPa için, basınç farkı değişimleri Tablo 3.3 de gösterilmiştir.

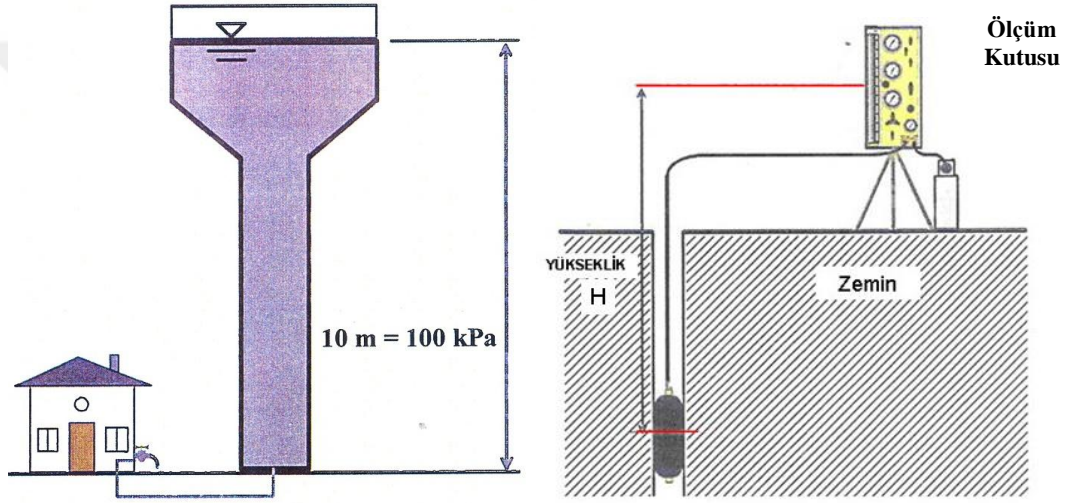
Tablo 3.3. Koruyucu hücrelerdeki test derinliğine esas basınç dengeleme.

Deney derinliği, H (m)	Prob üzerindeki sıvının test başında hidrostatik basınç P (kPa)	Okuyucu aygıt üzerindeki* gaz basıncı azaltması, P_d (kPa)
0	0	-100
5	50	-50
10	100	0
15	150	+50
20	200	+100

*koruyucu hücre basıncı, ölçülen hücre basıncı 100 kPa altında, azaltılarak (-), eklenerek (+) korunur.

3.3.4.2. İzleme Ünitesi Yüksekliğinde Geri Basınç-Basınç gecikme ayarı

Presiyometre deneyinde, artan prob derinliği ile merkez hücrelerdeki su basıncı artışları dikkate alınmalıdır. Örneğin, Şekil 3.23a'da gösterilen yüksek su tankı altındaki muslukta basınç yüksektir ve sadece su seviyesinin yüksekliğine veya prob derinliğine bağlıdır. Bu derinlik farkı ölçüm kutusunun ortası ve prob ortası arasında ölçülür (Şekil 3.23b).



Şekil 3.23. (a) Su basıncı, (b) Prob ve ölçüm kutusu arasındaki yükseklik

Prob üzerindeki hidrostatik basınç değeri (P_{δ}), deney ekipmanı içindeki su kolonuna göre belirlenir;

$$P_{\delta} = H \times \delta_t \quad (3.6)$$

H = Kontrol ünitesi altındaki probun derinliği, m.

δ_t = Cihaz içindeki test sıvısının (su) birim hacim ağırlığı

Deney derinliği (H), ölçüm merkezi ile prob merkezi arasındaki mesafedir (Şekil 3.23 b). Bu elde edilen basınç prob üzerinde etkilidir, ancak basınç ölçer tarafından kaydedilmez. Bu nedenle, basınç okuyucu aygıtta ölçülen basınç okumalarına eklenmelidir.

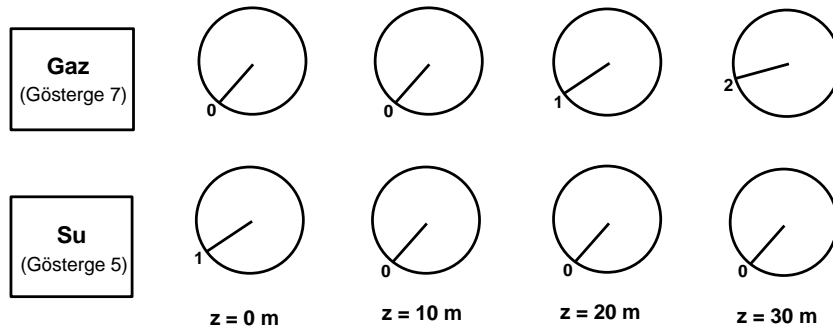
Ölçüm hücresi ve koruyucu hücreler üzerinde ölçülen basınçlar arasında gereken farklar, farklı derinlikler için Tablo 3.4 ve Tablo 3.5 de ve Şekil 3.24 de gösterilmiştir.

Bu diferansiyel basınç farkı hesaplaması aşağıdaki bağıntıya göre yapılır.

$$P_{diff} = \frac{z - 10}{10} \quad (3.7)$$

Tablo 3.4. Prob derinliğine göre geri basınç P_{diff} değerleri (standart membran)

Prob Derinliği z(m)	Ölçüm Hücresi ve Koruyucu Hücrelerin Göstergeleri Arasındaki Fark
0 *	- 1.0 bar
1	- 0.9 bar
2	- 0.8 bar
3	- 0.7 bar
4	- 0.6 bar
5	- 0.5 bar
6	- 0.4 bar
7	- 0.3 bar
8	- 0.2 bar
9	- 0.1 bar
10	Eşit basınç
11	+ 0.1 bar
12	+ 0.2 bar
20	+ 1.0 bar
25	+ 1.5 bar
30	+ 2.0 bar



Şekil 3.24. Test başlandığı ve farklı derinliklerdeki, ölçüm kutusu üzerindeki manometrelerdeki göstergeler üzerindeki el pozisyonları (okumalar bar)

Tablo 3.5. Derinliğe göre hesaplanan P_{diff} geri basınç değerleri ve gösterge üzerindeki basınçlar.

Derinlik z(m)	5, 6, 7. göstergeler üzerindeki basınç okumaları (bar)					
	0	20	40	60	80	100
10	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1
60	4.9	4.8	4.6	4.4	4.2	4.1
80	6.9	6.7	6.4	6.2	6.0	5.7
100	8.9	8.6	8.3	8.0	7.7	7.4
120	10.9	10.5	10.1	9.8	9.4	9.0

Gibson and Anderson'a (1961) göre, test derinliğinin 30 m den daha fazla olduğu durumlarda, ölçüm ve koruyucu hücrelere eşit basınç vermek için iki basınç kaynağının kullanılması gerekebilir.

3.4. Menard Metodu

Standart Menard prosedürü, genişleme metodunu kapsar, basınç kontrollüdür ve genişleme miktarı, idealde cep boyutunun iki katı olmalıdır. Bu elde edilen basınç, değişen limit basınç "PL" olarak bilinir.

$$\text{Hacimsel Birim Boy Değişirme} = \frac{\Delta V_p}{V_L} = \frac{V_L - V_p}{V_L} = 0.5 \quad (3.8)$$

$$\text{Boşluk Birim Boy Değişirme} = \frac{\Delta a_p}{a_L} = \frac{a_L - a_p}{a_L} = 0.41 \quad (3.9)$$

Hacim değişimi ΔV , test bölümünde ölçülür. Bu nedenle,

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{2V_p}{V_0} - 1 \quad (3.10)$$

ile test eğrisinden V_p bulunur. Probu'nun çapı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$\frac{\Delta a}{a_0} = \frac{1.41a_p}{a_0} - 1 \quad (3.11)$$

Ölçüm hücresinin sırasıyla ilk hacmi V_0 ve çapı a_0 , cebin ilk hacmi V_p ve yarıçapı a_p ve cepin değişen limit basınca göre, hacmi V_L ve yarıçapı a_L dir.

Eğer prob ve cep çapı eşit ise, membran % 41 değişen limit basınca ulaşmak için genişlemiştir. Böylece, Menard Parametrelerini tespit etmek için, prob bir miktar

genişleme yeteneğine sahip olmalıdır. Cep çapının prob çapına oranı 1.1 ise, tipik belirtilen değeri, daha sonra PL ölçmek için membranı %55 genişletmek gerekir.

Menard testi gerilme kontrollü bir deneştir. Basıncın eşit artışıyla, eşit zaman aralıklarında uygulanır. Artışlar, yükleme bölümünden, basınçtaki en az 7 kademe, ortalama olarak 10 kademe artışı sağlamak için yapılmalıdır.

Yükleme esnasında 10 eşit artış yapılması tavsiye edilmesine rağmen yükleme hızının artış veya azalmasına göre 5 ve 14 arasında artışlar da, normal kabul edilir. Bazı koşullarda, örneğin zayıf kayada deneyde, bir yükleme - boşaltma döngüsü yapılabilir. Artış sayıları, operatörün limit basıncı önceden tahminine bağlı olduğundan deney öncesinde zemin özelliklerinin doğru tahmini yarar sağlar. Bir başka deyişle, Test başlangıcında limit basınç için gerçekçi bir kabul yapılmalıdır.

Limit basıncı tahmin etmek için SPT ve drenajsız kayma direnci arasında yaklaşık geçişler Briaud (1992) tarafından verilmiştir (Tablo 3.7). Ayrıca, Menard presiyometresinde sağlanmış bilgi birikimi sonucunda zemin türlerine göre, daha genel bir yaklaşım ile Limit Basınç, PL değerleri Tablo 3.8 de sunulmuştur. Yine benzer bir tablo Gambin and Rousseau(1980) tarafından hazırlanan limit basınç ve Menard modülü değerleri Tablo 3.10 da verilmiştir.

Tablo 3.6. SPT-N₃₀ ile drenajsız kayma direnci değerlerine göre zeminler için olası Limit Basınç, PL değerleri (Briaud,1992).

Zemin	Tanımlama	SPT-N ₆₀	Drenajsız kayma direnci (kPa)	Değişen limit basınç PL (kPa)
Kum	Gevşek	0-10		0-500
	Orta	10-30		500-1500
	Sıkı	30-50		1500-2500
	Çok sıkı	>50		>2500
Kil	Yumuşak		0-25	0-200
	Orta katı		25-50	200-400
	Katı		50-100	400-800
	Çok katı		100-200	800-1600
	Sert		>200	>1600

Tablo 3.7. Menard Presiyometresinde zemin türüne göre limit basınç (PL) değerleri.

Zemin türü	PL (kPa)	PL (bar)
Yumuşak kil	50-300	0.5-3
Katı kil	500-800	5-8
Sert kil	600-2500	6-25
Gevşek siltli kum	100-500	1-5
Silt	200-1500	2-15
Kum-çakıllar	1200-5000	12-50
Eski dolgu	400-1000	4-10
Genç dolgu	50-300	0.5-3

Tablo 3.8. Limit basınç (PL) ve Menard Modülü (E_m) değerleri (Gambin and Rousseau,1980).

Zemin türü	E_m (kPa)	PL (kPa)
Çamur, turba	200-1.500	20-150
Yumuşak kil	500-3.000	50-300
Orta kil	3.000-8.000	300-800
Sert kil	8.000-40.000	600-2000
Marn	5.000-60.000	600-4000
Gevşek siltli kum	500-2.000	100-500
Silt	2.000-10.000	200-1500
Kum ve çakıl	8.000-40.000	1200-5000
Sedimenter kumlar	7.500-40.000	1000-5000
Kireçtaşı	80.000-20.000.000	3000->10000
Yeni dolgu	500-5.000	50-300
Eski dolgu	4.000-15.000	400-1000

Kayada deney sırasında limit basınca ulaşma olasılığı düşüktür. Bu nedenle, deney esnasında maksimum kapasiteye kadar, 0.5 ve 1 MN/m² arasında basınç artışı uygulanabilir. Bu deney başında yağ veya su basıncı, çamur ile dolu kuyu içindeki çamur basıncına eşittir. Kuru kuyu içinde beklenen basınç, hidrolik hortumlar içindeki sıvı ağırlığına eşittir. Kuyu tamamen çamurla dolarsa veya test sığ bir derinlikte ise, membran tamamen söner. Hortumlardaki sıvı ağırlığı membranın duvarının geçerse ve çamurdan herhangi bir dış baskı nedeniyle, Membran Cep duvara karşı genişler. Genel olarak test çamur dolu kuyu içinde yürütülecektir. Bu nedenle membranın yüzeyinde ölçülen hacim test bölümün hacmidir. Basınç ve

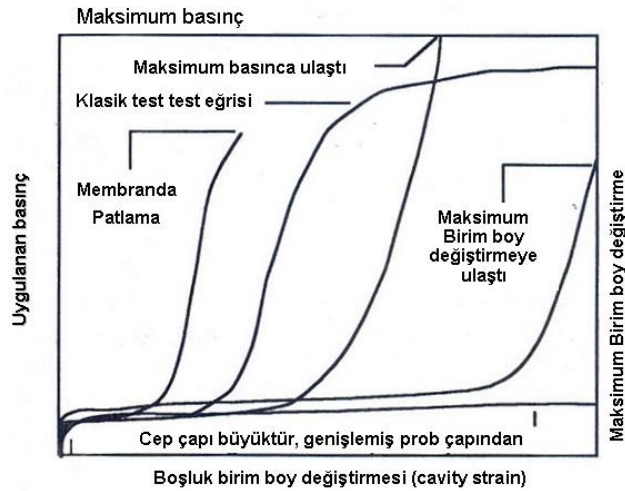
hacim okumaları Menard Problemleri ile yüzeyde kaydedilir. Bazı yeni problemlerde, prob içinde transdüserler (dönüştürücü) vardır. Kaydedilen veriler, başlangıç koşulları ile ilişkilidir. Bu ölçülen değerler, basınç değişikliği ve hacmin değişikliğidir. Prob içindeki basınç, bir artış ile artar ve bu basınç 60 s süreyle korunur. Hacim değişimindeki okumalar, 15, 30 ve 60 s basınç artış uygulandıktan sonra alınır. Bu hacim kapasitesi ve basınç kapasitesine ulaşılan kadar, her artış için tekrar edilir. Gerilme-birim değiştirme eğrisinin her 60 s sonundaki verilerden üretildiği unutulmamalıdır. Bu prosedür yaklaşık % 55 genişleyebilen herhangi PBP presiometrede kullanılabilir.

3.5. Testi Sonlandırma

Membranın gerilme ya da deplasman kontrollü, maksimum kapasitede yüklenmesi durumunda söndüğü zaman test sonlanır. Ancak aşağıda verilen istisna bazı genel durumların meydana gelmesi durumunda da test sonlandırılır.

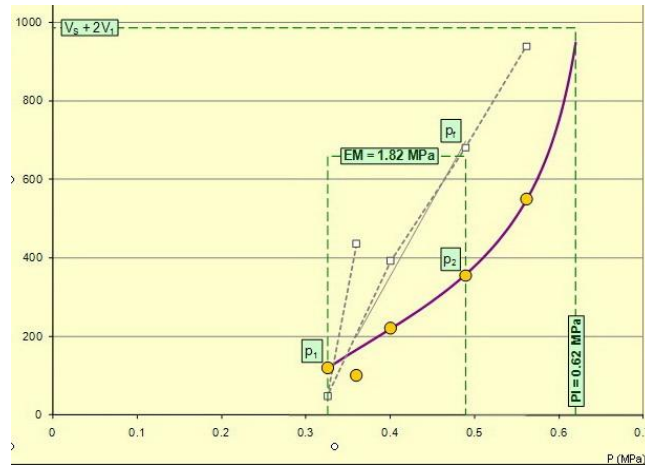
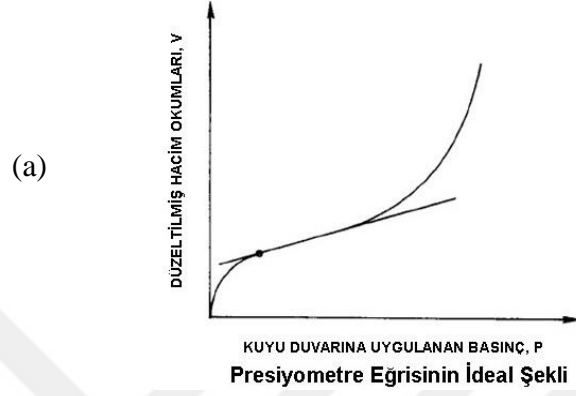
- Probun maksimum basınç kapasitesine erişmesi
- Probun maksimum gaz kapasitesine erişmesi
- Membranın patlaması
- Transdüser maksimum deplasmana ulaşır.
- Operatör ile ilgili probun zarar görmesi mümkündür.

(a) dan (d) ye kadar olan durumların PBP test eğrilerine nasıl etkideği Şekil 3.25 de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. İptal edilmiş test eğrilerinin olası şekilleri

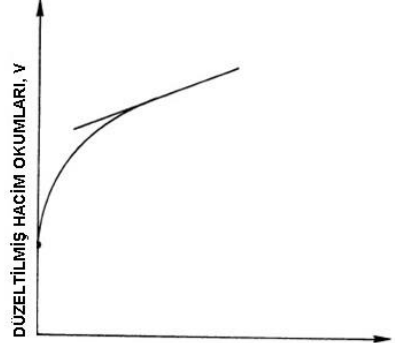
Bir presiometre testi sonrasında, uygulanan basınç - hacim grafiklerinin gösterildiği Şekil 3.26 deki tipik Menard eğrisi model "a", sondaj kuyusunun çok küçük olduğu durumda görünümü, model "b" de gösterilmiştir. Bu model, çok düşük basınçlarda hacmin hızla artması şeklinde gelişir. Eğri membranin direncinin ölçüldüğü basınç kaybı kalibrasyon eğrisine benzer.



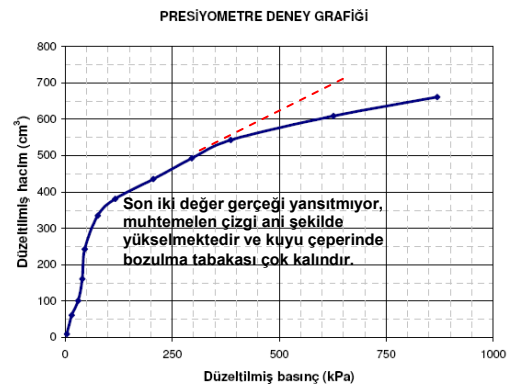
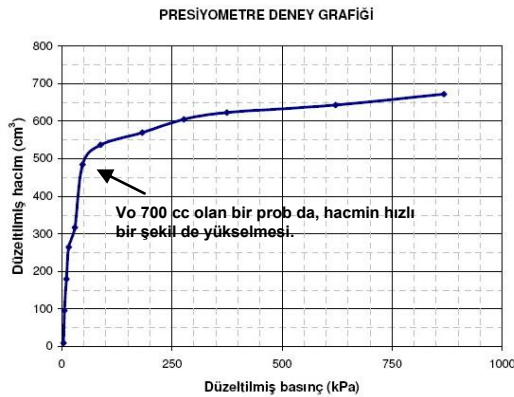
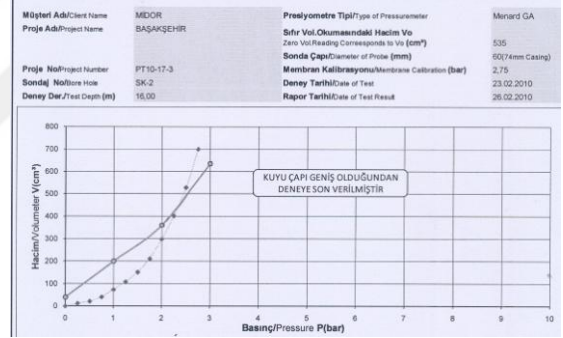
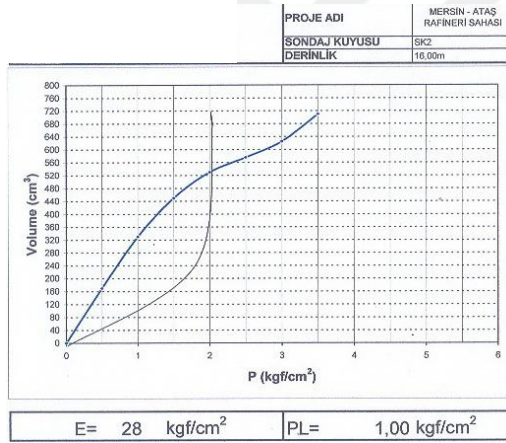
Şekil 3.26 (a) Tipik Menard eğrisi, (b) sondaj kuyusu çok küçük olduğunda ölçülen eğri modeli ve bir uygulama örneği.

Sondaj kuyusunun çok büyük olduğu durum model "c" de Şekil 3.27 gösterilmiştir. Bu genelde yaygın olarak en çok gözlenen kuyu çapının genişlemesi durumudur.

(c)



Sondaj kuyusun çok büyük olduğunda düzeltilmiş Presiyometre Eğrisi

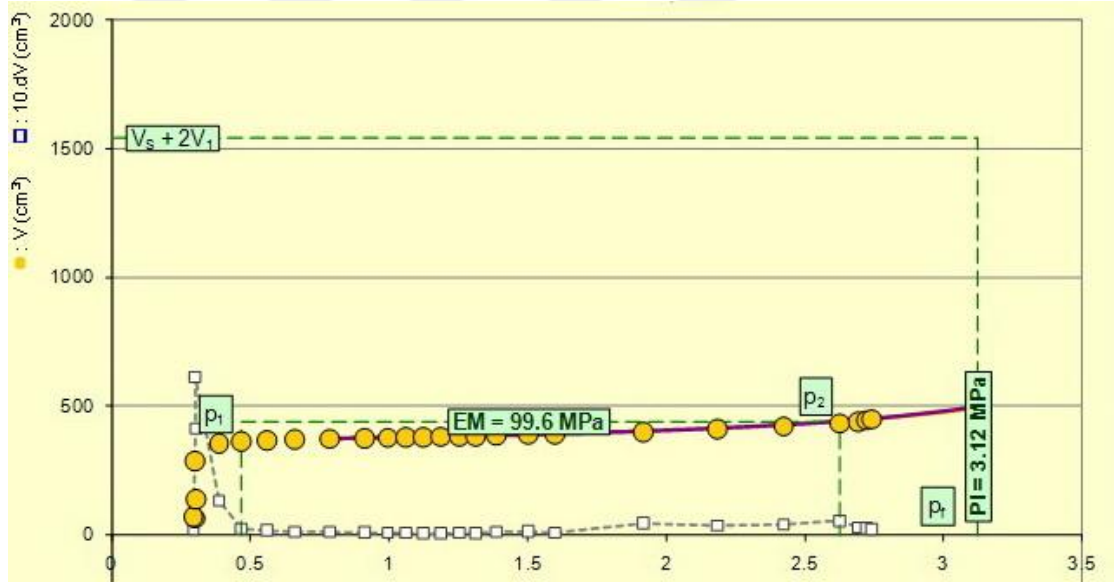


Şekil 3.27. Sondaj kuyusu çok büyük olduğunda ölçülen eğri modeli ve uygulamadaki örnekleri.

3.5.1. Maksimum Basınç Kapasitesi

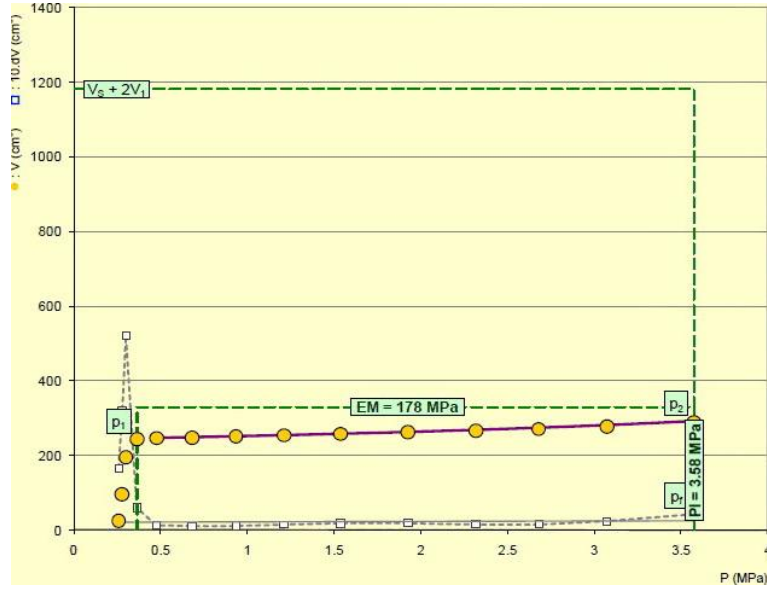
Membran içindeki basınç, probun basınç kapasitesi ulaştığı zaman, maksimum basınç kapasitesine ulaşılır. Kayada deneylerde, maksimum basıncın 20 MN/m^2 geçmesi yaygındır. Birçok probun kapasitesi kayada testler için yeniden ayarlanır. Özellikle sıkı kumlarda yapılan deneylerde, limit basınç maksimum düzeye ulaşır. Limit basınç, killer ve kayalar için bir kılavuздur. Zeminin drenajsız kesme direncinin basınç kapasitesine oranı 6 yı geçerse, deney esnasında maksimum basınç kapasitesine ulaşılması söz konusu olacaktır.

Farklı zemin ortamlarında yapılan presiyometre deneylerinde elde edilen hacim ve basınç eğrileri aşağı sırayla Şekil 3.28 den, Şekil 3.33'e kadar verilmiştir. Bu eğrilerin ortak noktası, deney sırasında plastik yenilme türü hacim değişimi gözlenmeden, zeminin maksimum basınç kapasitesine ulaşmasıdır.



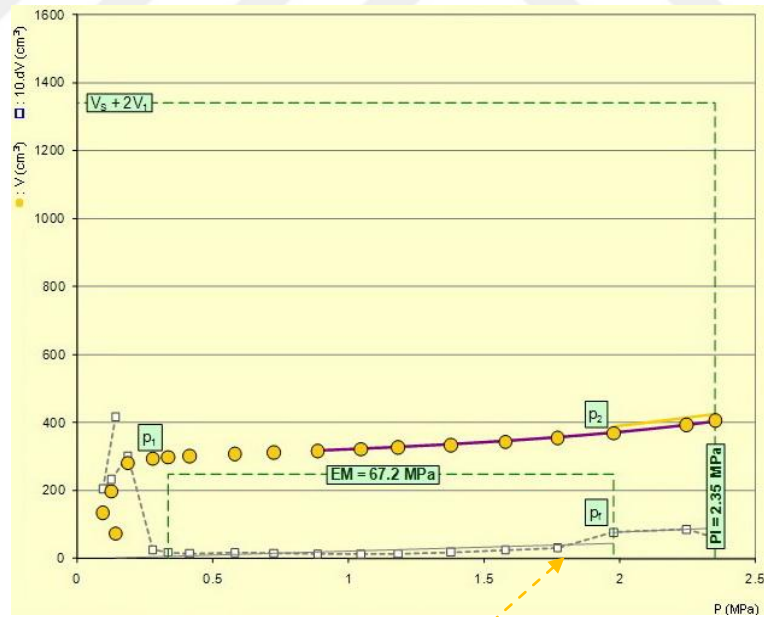
Şekil 3.28. SK-4 Sondajı 26 m, Bakırköy Fm; kil ve kireçtaşı ardışımı

Bakırköy Formasyonu'nun kil-kireçtaşı ardışımından oluşan istifinde yapılan deneyde, BX türü 60 mm çaplı prob kullanılmıştır. BX tür problemlerin ilk hacmi, $V_0=535 \text{ cm}^3$ tür. Bu nedenle, uygulanan yüke karşı ölçülen hacim 500 cm^3 civarında sonlandırılmıştır.



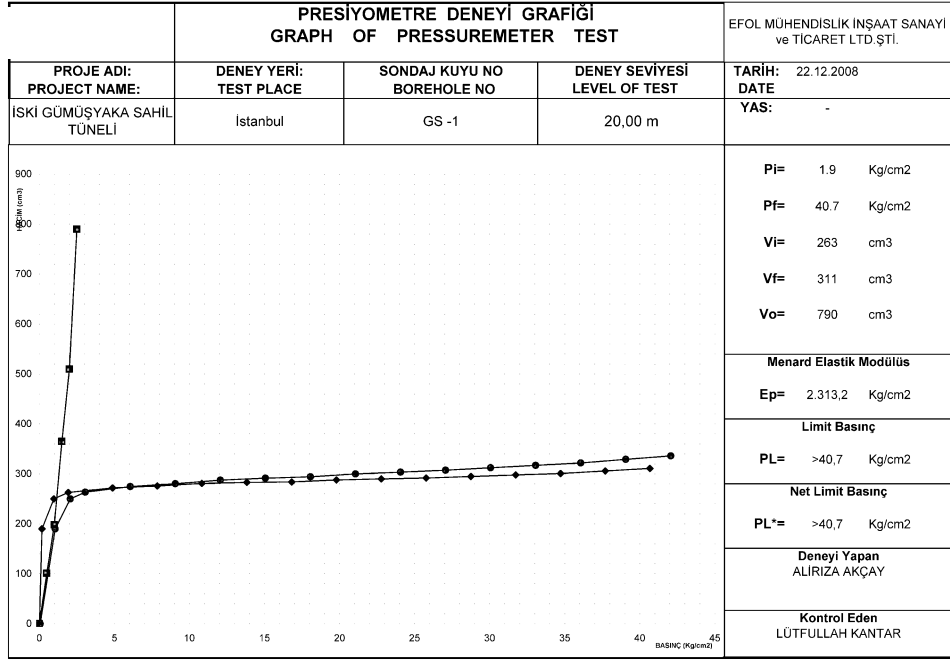
Şekil 3.29. IO-2 Sondajı - 18 m, Kırac Gürpınar Formasyonu (Aşırı konsolide kil).

Şekil 3.29 de, Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killerinde yapılan deneyde 5 bar ile 35 bar arasındaki basınç artışında oluşan çok düşük hacim değişimleri nedeniyle deney sonlandırıldığı gösterilmektedir.



Şekil 3.30. Kurtköy-Sancaktepe, SK-1 Sondajı, 12 m; ileri derecede ayrılmış granit.

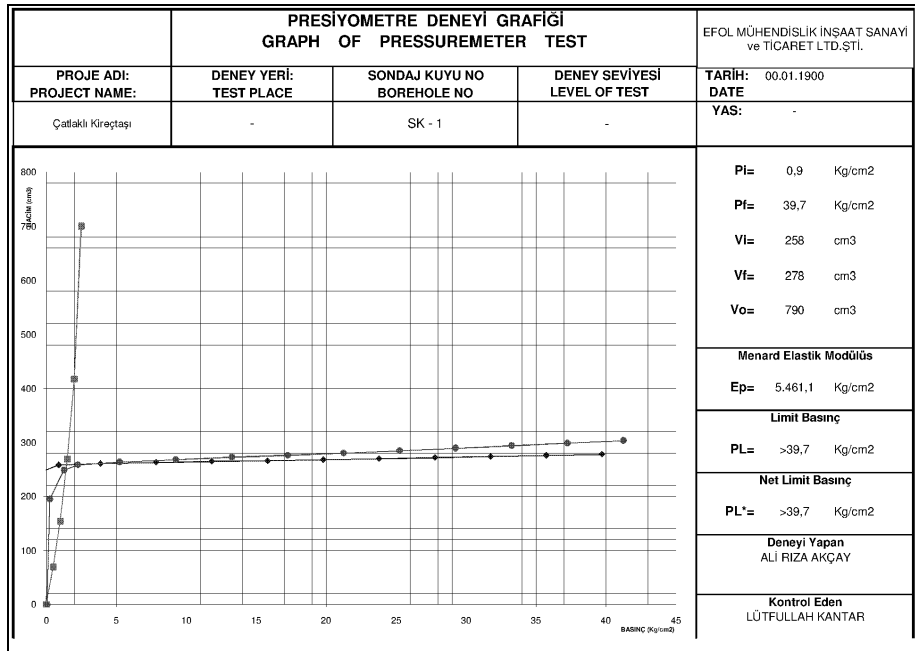
Şekil 3.30 da, ileri derecede ayrılmış Sancaktepe granitinde yapılan deneyde, eğrinin 17-20 bar'dan sonra, Pf in artması ile plastiklik limitine dönüşü yakalandıktan sonra hacim artışının çok az olması nedeniyle deney sonlandırılmıştır.



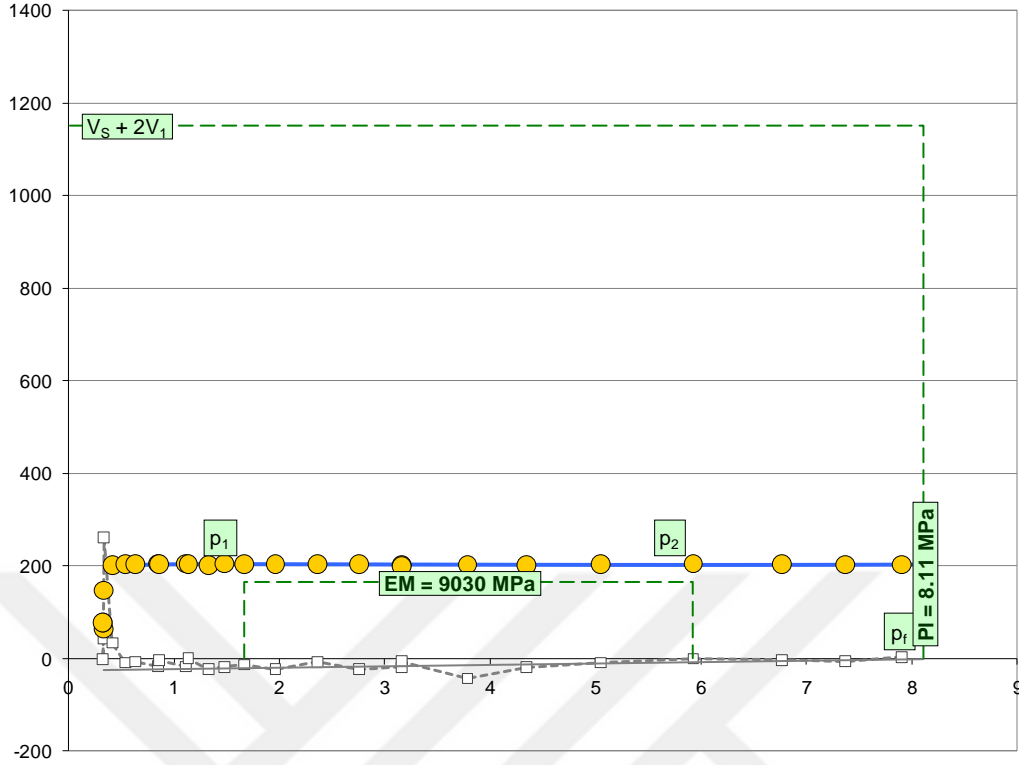
Şekil 3.31. İSKİ Gümüşyaka sahil tüneli, Gürpınar Fm., OC kil

Aşırı konsolide bir kilde yapılan deneyde, 40 bar'dan sonra hacim artışının çok az olması nedeniyle deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.31)

Şekil 3.32 de çatlaklı kireçtaşı ve Şekil 3.33 de verilen Gebze-Dilovası bölgesindeki Tepeköy kireçtaşlarında 80 bara kadar artırılan basınca karşı, kayalar yenilememiş ve deneyler sonlandırılmıştır.



Şekil 3.32. Çatlaklı kireçtaşı MPM deneyi



Şekil 3.33. Gebze Dilovası Tepeköy Fm. kireçtaşları (Menard G tipi ekipman, prob çapı 60 mm+Yarıklı (oluklu) muhafaza tüpü).

3.5.2. Maksimum yağ/gaz kapasitesi

Prob içine pompalanan gaz hacmi, test bölümündeki hacim içindeki maksimum teorik artışa eşit olduğu zaman maksimum gaz kapasitesine ulaşılır. Örneğin, MPM orijinal kapasitesinin %50 si maksimum kapasitedir. Membran içine gaz pompalanarak, teorik olarak, maksimum deplasmana membranın ulaşabilmesi mümkündür. Ancak uygulamada membran çoğunlukla maksimum deplasmana erişememektedir. Böylece, maksimum kapasite probun genişleme limitini gösterememektedir.

Bir membranın patlaması, bir sızıntı ya da düzgün olmayan genişleme yapması sonuçları, aşağıda açıklandığı gibi olabilir.

- Membran patlarsa, basınçta ani düşüşler oluşur ve operatör testi durdurur ve prob değiştirilir.
- Sızma varsa, bu sızma büyük ve membran tamamen sönmüş ise, rezervuar içindeki su orijinal seviyesine dönmeyecek, operatör de durumu fark edebilecektir. Bu sızıntının büyük olduğu durumlarda, çoğunlukla

membran içinde anlamlı basınçlar geliştirmek imkânsızdır. Ayrıca sistem içindeki kalan hava da yanıltıcı sonuçlar verebilir.

- c) Deney sırasında zemin içinde çeşitli sertlikte ince tabakalar, süreksizlikler ya da çatlaklar ortaya çıkabilir. Bu davranış genellikle zayıf kayalarda gözlenir. İnce çatlaklar içeren veya tabakalı zeminlerin membranın genişlemesine olası etkileri Şekil 3.35 gösterilmektedir.

Probun ideal biçimde genişlemesi Şekil 3.35 de, (a) modelinde gösterilmiştir. Prob içinde olası düşey ince bir çatlak ile oluşan deforme prob görüntüsü (b) modelinde verilmiştir. Bu tür ince bir çatlak ile patlayan probun arazide deney sonrasında fark edilmesi ile proba su verildiğinde oluşan deformasyon biçimi ise Şekil 3.36 de sunulmuştur. Deney sırasında farklı zemin tabakaları olması durumunda, probda oluşacak genişleme türleri, model (c) de tanımlanmıştır. Deneyde zemin katmanları arasında farklı dirençler nedeniyle zarar gören prob Şekil 3.37 de gösterilmiştir. Ayrıca, farklı zeminlerde yapılan deneylerde probun dış kılıfındaki değişimler, sırayla Şekil 3.38, 3.39, 3.40 ve 3.41'da verilmiştir.

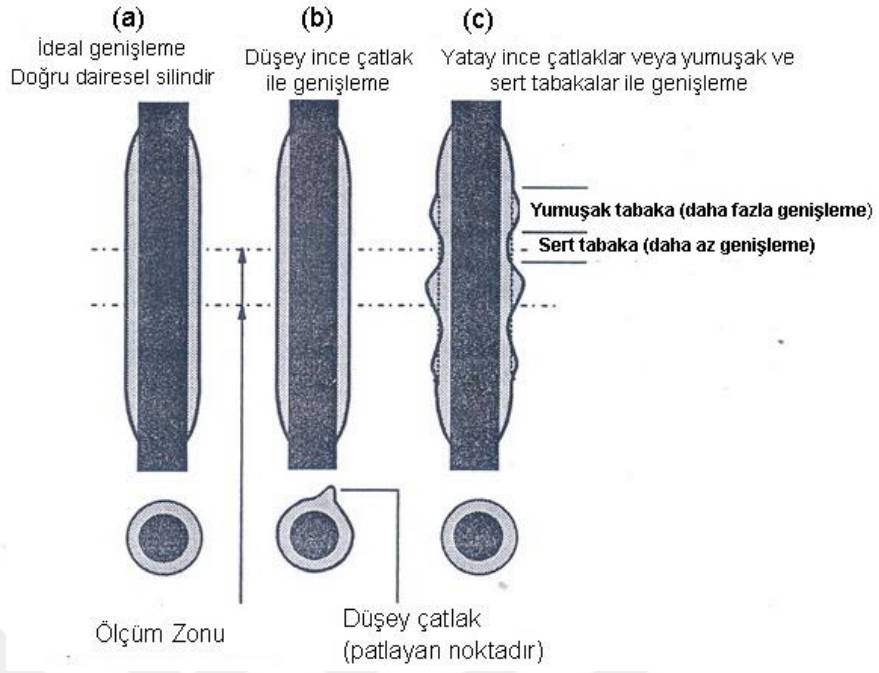
3.5.1. Membranın patlaması

Membran patlamasının çeşitli nedenleri, Bölüm 3.5.2 de tanımlanmıştır. Membran bağlantı düzeni dışarı çekilirken de patlayan membran etkisi verir. Bu durum, kuyu içindeki ölçüm yerinin (cep) çapı, prob çapından çok geniş olduğunda veya membran bir kısmının ölçüm yeri içinde olmadığı ya da membranın alt ve üstünde çok yumuşak zemin olması durumunda meydana gelebilir.

Membranın patlaması ile basınçta önemli bir düşüş izlenir. Bu sıvı dolu prob ile deneyin devam etmesi mümkün değildir. Bu nedenle, probun zeminden çıkartılarak onarılması gereklidir. Bu sırada yeterli gaz beslemeye devam edilebilirse, gaz dolu prob kullanılabilir ve membran şişmeye devam edebilir. Deney esnasında küçük gaz sızıntıları genellikle görülebilir. Bunlar deneyi etkilemez ve uygulamaya devam edilebilir. ISRM, cep çapındaki açık çatlaklar veya boşluklar için bir sondaj kamerası kullanılarak kontrol yapılmasını önermektedir. Ancak bu uygulama yaygın değildir. Çoğunlukla boşluk ve çatlakların neden olduğu zararları en aza indirmek için, problemler da koruyucu kılıflar ile kullanılır.

3.5.2. Maksimum Deplasman

Maksimum deplasman yalnız radyal deplasman tipi problemler kullanıldığı zaman ölçülür.



Şekil 3.34. Presiyometrenin genişlemesine zemin tabakalarının etkisi.



Şekil 3.35. Proben patlaması sonucunda oluşan genişleme.



Şekil 3.36. Deney sırasında katmanlar arası farklı dirençler nedeniyle zarar gören prob.



Şekil 3.37. 74 mm'lik (gc3) 3mm kauçuk membran ile kaplı prob; İSKİ Çatalca Tüneli, yumuşak kilde yapılan deney sonrası probun görünüşü.



Şekil 3.38. 74 mm'lik (gc3) 3mm kauçuk kaplı prob; Bakırköy Fm. Kireçtaşı - kil ardışımı, deney sonrası hem yüksek basınç hem de farklı tabakaların proba etkisi (Ataköy SK-3 Sondajı).



Şekil 3.39. 60 mm'lik (gct-75) çelik şeritli kanvas kılıf ile kaplı prob; deney öncesi (Sancaktepe SK-2 Sondajı)

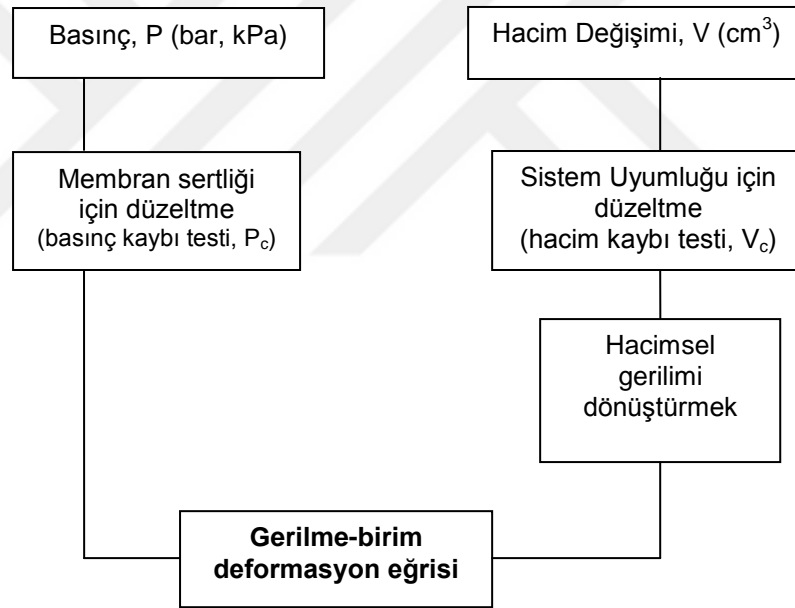


Şekil 3.40. 60 mm'lik (gct-75) çelik şeritli kanvas kılıf ile kaplı prob; Deney sonrası (Sancaktepe SK-2 Sondajı) çok ayrılmış granit (arena) dayk geçişli farklı istifleri içinde düşük basınçta bile düzensiz basınç dağılımı.

4. MENARD PRESİYOMETRE DENEYİNİN YORUMLANMASI

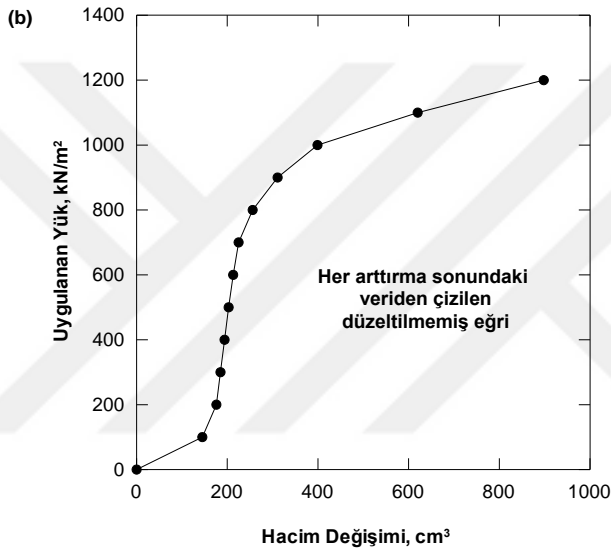
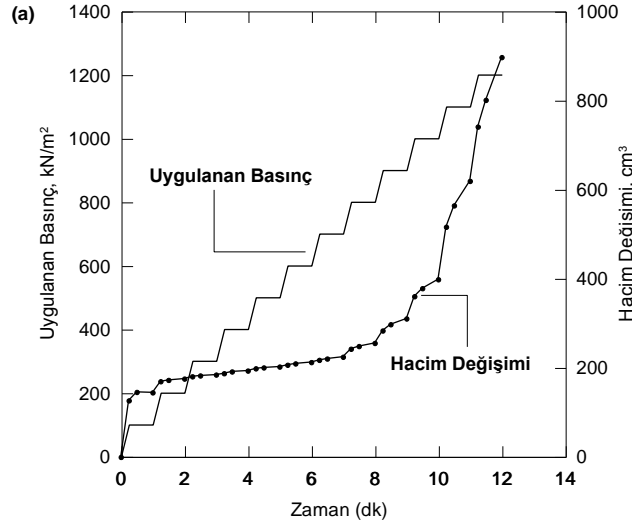
PBP gerilme kontrollü test verilerinin analizi için izlenecek yol Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

Menard Presiyometre (MPM) deneyine ait örnek bir çalışma prosedürü Tablo 4.1 de sunulmuştur. Uygulanan basınç 1 sütununda verilmektedir. Hacimdeki değişim 3 sütuna kaydedilir, zaman aralıkları da 2 sütunda gösterilir. Gerilmeye karşılık Membranın sertliği 4. sütunda verilmiştir.



Şekil 4.1. Presiyometre deneyin gerilme – birim yer değiştirme eğrisini bulmakta izlenen yol.

Gerilme kontrollü MPM testinde (a) gerilme ve şekil değiştirme oranları ve (b) tipik test eğrisi Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2. Gerilme kontrollü MPM testi (a) gerilme ve şekil değiştirme oranları ve (b) test eğrisi.

Deney seviyesindeki cep duvarlarına uygulanan basınç okumaları (5) eşit aralıklar ile kaydedilir, ve ayrıca hidrostatik basınç farkı (a) prob yüzeydeyken kontrol ünitesi ve prob arasında membran sertliği ve sıfır okuması da daha azdır (b). Ayrıca, başlangıçtaki hidrostatik basınç deney boyunca sabit kalır. Membran sertliği azaltılan (5) belirli basınç okumalarına karşılık sistem uyumluluğu oranları 6. sütunda verilir. Uyumluluk değerleri, membran sertliği için düzeltilmemiş kalibrasyon eğrisinden alınır. Bu uyumluluk düzeltmesi, membranın sıkışmasını ve malzeme deformasyonunu içerir. Bu hacim değişimine (3) ek olarak, yüzeydeki başlangıç hacmi, sistem uyumluluğu için düzeltilen (6) test bölümündeki hacim değişimi (7) verir.

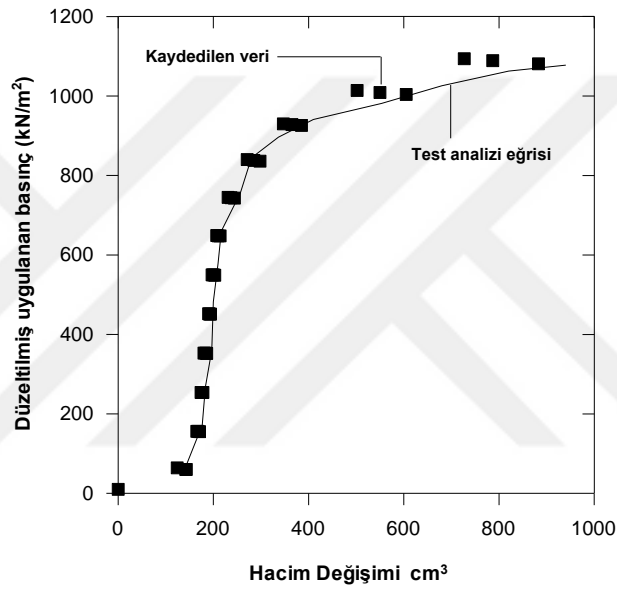
Tablo 4.1. Menard presiyometre deneyinde(MPM)verilerin dönüşüm ve düzeltmeleri

İzleme ünitesi ve prob bağlantısı arasındaki hortumun içindeki suyun hidrostatik basıncı (a): 15 kN/m ²					İlk basınç (b): 5 kN/m ²		
					İlk Hacim (c): 2 cm ³		
Basınç Değişimi (kPa)	Zaman (s)	Hacim Değişimi (cm ³)	Membranın sertliği (kPa)	Uygulanan Basınç (kPa)	Hacim kaybı düzeltmesi (cm ³)	Hacim (cm ³)	Sünme (cm ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(1)+(a)-(4)-(b)	(6)	(7)=(c)+(3)-(6)	
0	0	0	0	10	0	2	
100	15	127	46	64	5	124	
100	30	146	50	60	5	143	
100	60	145	50	60	5	142	-1
200	15	170	54	156	7	165	
200	30	173	54	156	7	168	
200	60	176	55	155	7	171	3
300	15	181	56	254	9	174	
300	30	183	56	254	9	176	
300	60	185	56	254	9	178	2
400	15	188	57	353	10	180	
400	30	192	57	353	10	184	
400	60	194	58	352	10	186	2
500	15	199	58	452	11	190	
500	30	201	59	451	11	192	
500	60	203	59	451	11	194	2
600	15	207	60	550	12	197	
600	30	210	60	550	12	200	
600	60	213	61	549	12	203	3
700	15	218	61	649	13	207	
700	30	221	62	648	13	210	
700	60	225	62	648	13	214	4
800	15	243	65	745	14	231	
800	30	249	66	744	14	237	
800	60	256	67	743	14	244	7
900	15	284	70	840	15	271	
900	30	298	72	838	15	285	
900	60	311	74	836	15	298	13
1000	15	361	80	930	16	347	
1000	30	379	82	928	16	365	
1000	60	399	84	926	16	385	20
1100	15	517	96	1014	17	502	
1100	30	565	101	1009	17	550	
1100	60	620	106	1004	17	605	55
1200	15	742	116	1094	17	727	
1200	30	802	121	1089	17	787	
1200	60	898	129	1081	17	883	96

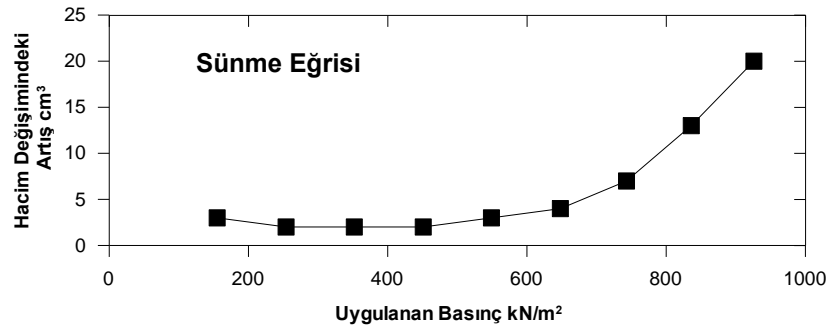
Sütun 7 cep çapındaki değişimi değil, deney evresindeki, düzeltmeler yapıldıktan sonraki hacim değişimini gösterir. Bu verilerin çizimi Şekil 4.3 de gösterilmiştir. Eğri

her arttırma sonunda koordinatları ile çizilir. Geleneksel MPM testi noktalamasında düşey eksen hacimdir, fakat Şekil 4.3 de test basıncının diğer şekiller ile tutarlı olması için basınç düşey eksende çizilmiştir. Diğer bir çizim, deneyin yorumlanmasına yardımcı olarak sünme eğrisi'dir. Bu her gerilme artışının 30 ve 60 s arasındaki hacim değişimi, düzeltilen uygulama yüküne karşı Şekil 4.4 de çizilir. Her artış, zaman aralığında değiştirilirse sünme eğrisi farklı olacaktır. Aksi takdirde gerilme-kontrollü PBP testlerde azaltma ayarıdır ve bu Tablo 4.1 içinde gösterilir.

PBP gerilme kontrollü deneylerde, veri dönüştürme yolu yukarıda tanımlanan yöntemle benzer, fakat tüm veriler basınç deformasyon eğrisi hazırlamak için çizilir.



Şekil 4.3. Tablo 4.1 deki datalardan üretilen Menard testi eğrisi.

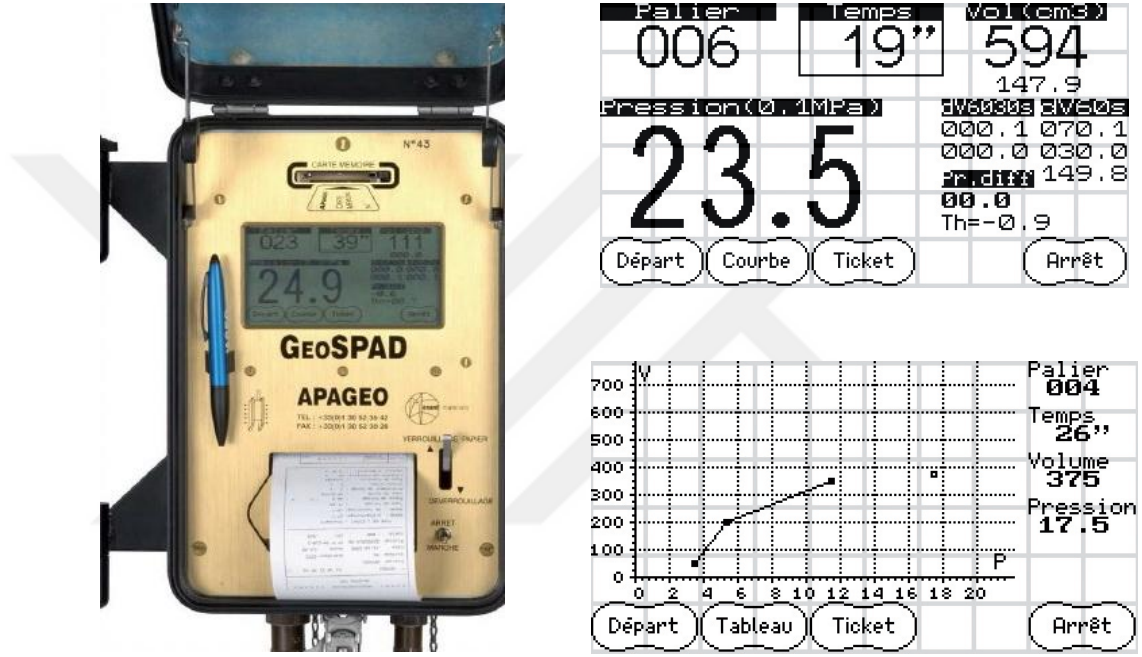


Şekil 4.4. Menard deneyinde sünme limitinin bulunması

MPM deneyinde, basıncın eşit artışı yaklaşık olarak 7-10 kademedan oluşması gereklidir. Bu işlem limit basınca ulaşmak için bir ön tahmini gerektirir. Basınç seviyesine ulaşıldıktan sonra, basıncın her adımında 15 s, 30s ve 1 dk deformasyon

okumaları yapılır. Bu okumalar elle alınabildiği gibi, aşağıdaki Şekil 4.5 de gösterilen elektronik okuyucular ile alınması tercih edilmelidir.

Bu tür otomatik kayıt alıcılar, deneylerin orijinal verilerinin saklanmasına olanak sağlamaktadır. Bu dijital okuyucular ile alınan verilerin değerlendirmesinde presitometre verilerin toplanması, islenmesi ve raporlanmasının yapan Geovision adlı yazılım kullanılmaktadır. Bu yazılım, dijital okuyuculardan aktarılan verilerde, her projede için kalibrasyon deneylerinin yapılmasını zorunlu bırakmaktadır.

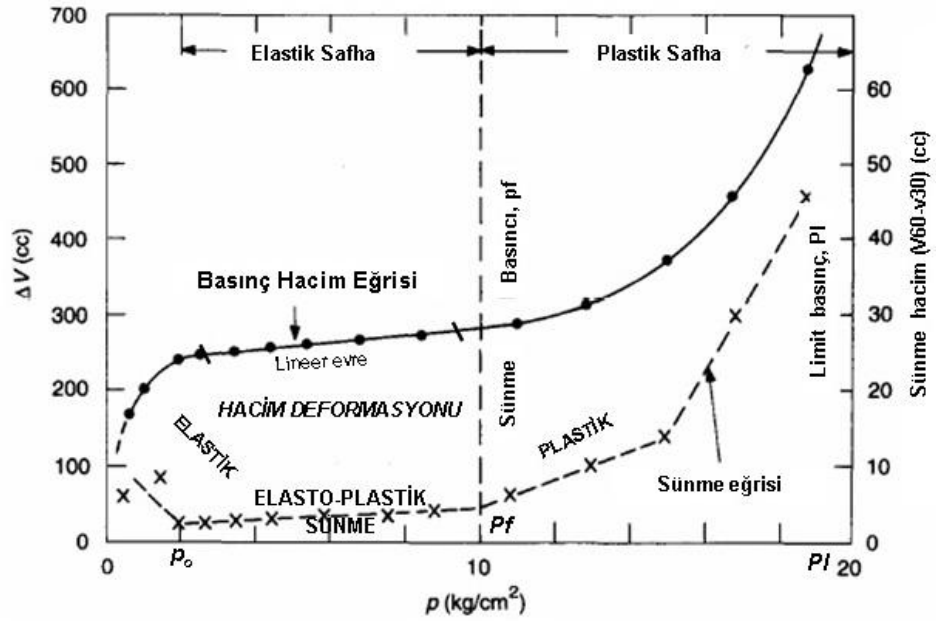


Şekil 4.5. Presiyometre deney sırasında verilen basınca karşı, 0,15,30,60 s deki hacim değişimleri kaydeden dijital elektronik okuyucu.

4.1. Presiyometre Eğrisi

Proben kalibrasyonu yapıldıktan sonra, deney esnasında 1dk lık okumalardan çizilen tipik Presiyometre eğrisi, düzeltilmiş basıncın bir fonksiyonu olarak düzeltilmiş hacimsel (60 s) genişleme verilerinden elde edilir.

Bir çamurtaşına ait tipik bir presiyometre eğrisi Şekil 4.6 da verilmiştir. Burada artan prob basıncına karşı hacim değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Çamurtaşı için Menard Tipi presiyometre eğrisi (Meigh and Greenland, 1965).

Menard deneyi sırasında, basınçlara karşı hacim eğrileri 3 aşamada sunulur.

1. Basınç Safhası
2. Elasto - Plastik Safha (Sünme)
3. Plastik Safha (Yenilme)

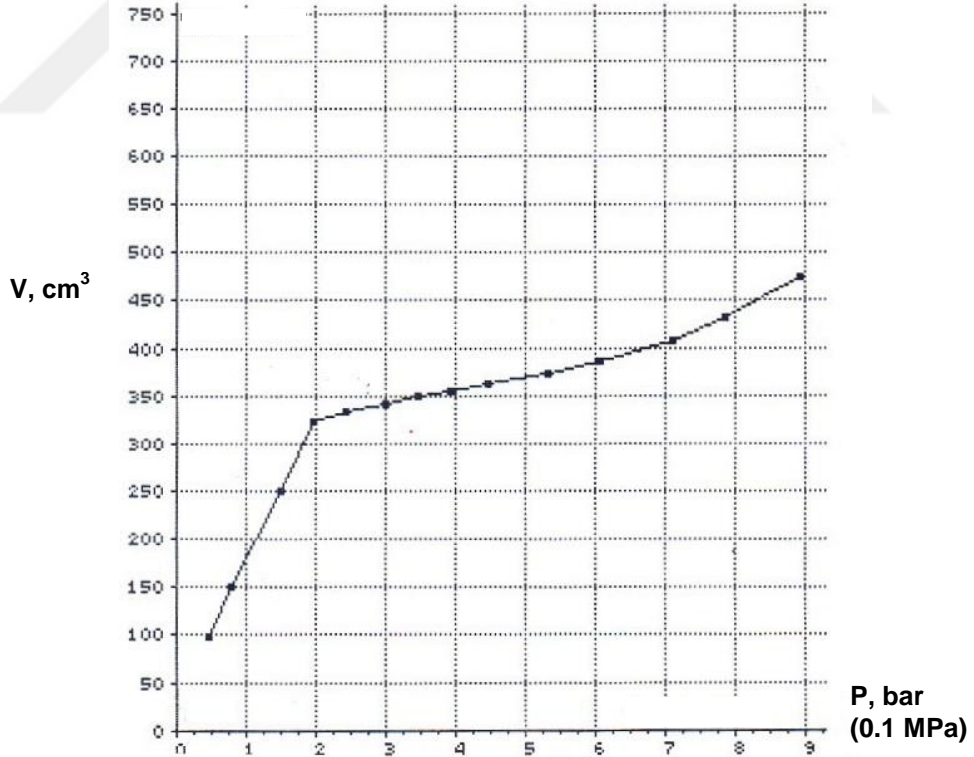
Sünme eğrisini elde etmek için, düzeltilmiş basıncın fonksiyonu olarak 30 s ve 60 s arasında ölçülen hacim değişimleri noktalanır. Bu sünme (*creep*) eğrisi üç safhayı da gösterir. Örnek olarak İBB - Sancaktepe projesi kapsamında ölçülen ham data presiyometre deneyi eğrisi (p-v) Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

APAGEO M E N A R D PRESSUMETER TEST GeoSPAD AG71	
YUKSEL KAYA	00903123945002
Job Number: KURTKOY	
Boring : SK_1	Operator : DURSUN ULU
Date : 05/05/2010	Time : 16:41
File : ES100505.10	ASTM D 4719 - 00
Card : 204	PVC : 1024
TEST TYPE	: Standard
Pressure Loss	: ET100426.01
Volume Loss	: CA100426.02
Borehole type	: ROTOP
Drilling length	: 2 - 4 m
Probe	: 60-gct75
Probe Depth	: 4 m
Water Level	: m
Tubing Type	: Coaxial
Tubing Length	: 50 m
Height of PVC	: 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm ³				dv60s
		V _{15s}	V _{30s}	dv	V _{60s}	
5s	15s	15s	30s	dv	60s	
Contact Volume (cm ³): -04.8						
1	00.5	031.7	066.7	029	095.7	53.2
2	00.8	114.7	127.6	021	148.9	98.7
3	01.5	181.7	206.0	042	247.6	75.0
4	02.0	286.4	308.7	014	322.6	9.8
5	02.4	329.5	331.0	001	332.4	8.9
6	03.0	338.1	339.7	002	341.3	6.5
7	03.5	344.8	345.8	002	347.8	5.2
8	03.9	350.7	351.8	001	353.0	8.3
9	04.5	357.5	359.2	002	361.3	11.9
10	05.4	367.9	370.4	003	373.2	12.1
11	06.1	379.3	381.7	004	385.2	20.4
12	07.1	395.4	401.2	004	405.6	25.9
13	07.9	417.8	424.5	007	431.5	40.7
14	09.0	448.4	458.3	014	472.2	
5	P_Diff	=	-0.43	x0.1MPa		

a) Deney tanımlaması

b) basınç kademelerindeki 15, 30, 60s dk okumaları



Şekil 4.7. Ham veri (p-V) presiometre eğrisi (Sancaktepe-Kurtköy, SK-1).

Presiyometre eğrisinde üç safhada gelişen aşamalar aşağıdaki gibi tanımlanır:

1. Basınç Safhası; Zeminin başlangıçtaki yani sondajdan önceki durumunu yansıtır. Prob yatağının kuyu duvarına karşı tepkisi ve yerinde yatay gerilmenin yeniden tespit edilmesi ($p < p_{0(i)}$); yani prob şişerek, kuyu (cep) duvarlarına temas eder.
2. Elasto - Plastik Safha (Sünme); Lineer gerilme-şekil değiştirme davranışı ve düşük sünme düzeyini ($p_0 < p < p_f$) gösterir. Yani prob basıncına karşı zeminin tepkisinden "Elastisite Modülü, E_m " ölçülür.
3. Plastik Safha (Yenilme); Plastik deformasyon, zemin yenilmesine yaklaşıldıkça, ölçülen sünme miktarları artar ($p_f < p < PL$). Yani prob basıncına karşı zemindeki büyük yer değiştirme ile, zeminin Son Limit Basıncına, "PL" na ulaşır.

4.2. Presiyometre Modülü ve Değişen Net Limit Basıncı

Deneylerde kullanılan presiyometre tipine bağlı olarak hesaplama yöntemleri de farklılık gösterir. Önemli olan, kuyu duvarlarına uygulanan gerilme artıkça beliren şekil değiştirmelerin doğru yorumlanmasıdır. Türkiye'de en yaygın kullanılan Menard tipi presiyometredir(MPM).

Menard deneyine özgü presiyometre (Menard) modülü (E_m) ve limit basınç (PL) değerleri MPM deneyinde doğrudan alınır (Şekil 4.8.a). Boşlukların başlangıçtaki hacmi A noktası tespit edilir (Şekil 4.8.b). Basınç, kuyu içindeki gerilme ile doğrusal olarak artar. Bu gerilme, arazi deneylerindeki yatay gerilme ile aynı değildir. Çünkü önceden yapılan kazı sonucu kuyunun duvarlarındaki gerilme boşalır; çamurla dolu kuyuda çamur basıncı veya kuru bir delik içinde basınç sıfıra düşer. Yüklemeden sonra kuyu duvarı ile membran temas halinde olduğundan, kuyu içi elastik olarak etkilenecektir. Bunun devamında, probun zemine bitişik olduğu yer B noktasıdır.

A ve B noktalarını ikincil sıkışmaların (sünme) eğrisinden belirlemek zordur. Bu eğri Şekil 4.8.c de gösterilmiştir. Hacim değişim oranı herhangi bir basınç artışına karşı işaretlenir. Duvar boşlukları elastik tepki sırasında hacim değişimi oranı minimumdur. Basınç p_0 , A noktası minimum ikincil sıkışmaların (sünme) ve basıncın başlangıcı, p_f , en az ikincil sıkışmaların (sünmenin) sonu ise B noktasıdır.

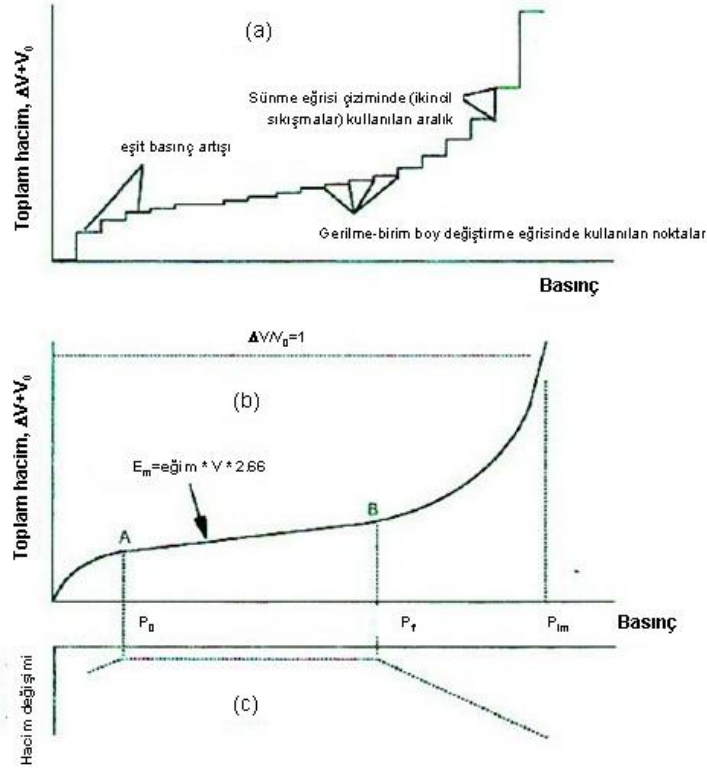
Menard veya presiometre modülü, bir başlangıç elastik modülü olup, AB eğiminden alınır. Sünme eğrisinde elastik limit sınırları tanımlanır. AB eğimi, kayma modülünün bir fonksiyonudur ve birim boy değişiminin meydana geldiği kuyu cidarı Menard modülünü, E_m verir;

$$E_m = 2.66[V_0 + 0.5(V_B - V_A)] \left(\frac{P_A - P_B}{V_A - V_B} \right) \quad (4.1)$$

Burada

V_0 probun ilk hacmi,

P_A basıncında V_A hacmi ve P_B basıncında V_B hacmidir.

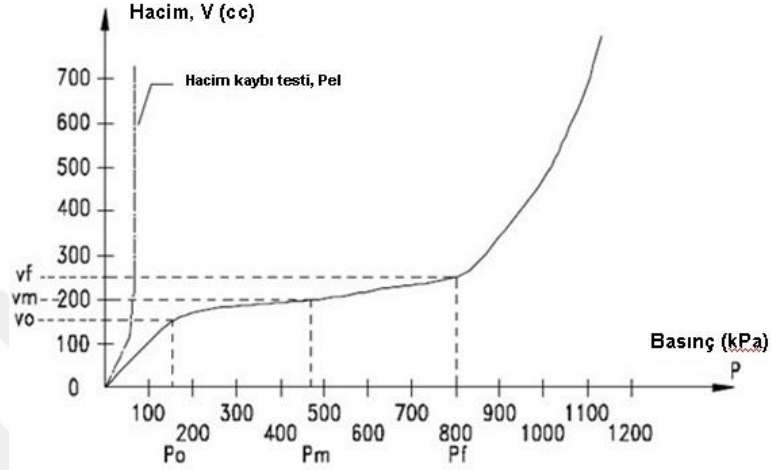


Şekil 4.8. Menard Deneyi (a) Kaydedilen veri; (b) gerilme - birim deformasyon eğrisi; (c) sünme/ikincil sıkışmalar eğrisi

2,66 çarpanı, zeminler için Poisson oranı 0,33 e bağlıdır. ASTM D4719-00 standardında aynı formül alınarak, zemin türüne göre farklı Poisson oranı değerleri kullanılabilir. Menard modülü'nün diğer bir tanımı

$$E_m = 2(1+\nu)[V_0 + V_m] \left(\frac{p_A - p_B}{V_A - V_B} \right) \quad (4.2)$$

ile yapılır. Bu bağıntıda V_m , presiometre eğrisinin doğrusal olduğu (AB) kesimdeki ortalama hacimdir. Örnek bir eğri Şekil 4.9 de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Menard Presiyometre test parametrelerinin değerlendirilmesi.

Rusya'da, eğrinin aynı bölümü için, zemin türüne göre türetilen modül tanımlanmıştır.

$$E = K_r a_A \left(\frac{p_A - p_B}{a_A - a_B} \right) \quad (4.3)$$

Zemin türüne göre değişen K_r katsayıları, Tablo 4.2 de gösterilmiştir. Boşluğun yarıçapı A da a_A , B de ise a_B olarak alınır.

Tablo 4.2. PBP tipi presiometrede K_r katsayıları (GOST 20276-85).

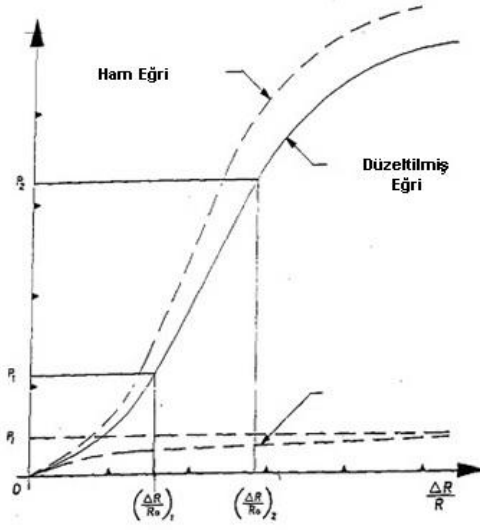
Zemin Türü	Özellikler	Test Derinliği (m)	Test tipi	K_r
Kum ve çakıllar			Düşük	1.3
Killi ve siltli kumlar				1.35
Killer				1.42
Kumlar	$e < 0.5$	0-10	Hızlı	2.5
	$0.5 < e < 0.8$			2.25
	$e > 0.8$			2.0
Killer	$LL < 0.25$	0-10	Hızlı	2
	$0.25 < LL < 0.5$			3
	$LL > 0.5$			4
Killer	$LL < 0.25$	10-20	Hızlı	1.75
	$0.25 < LL < 0.5$			2.5
	$LL > 0.5$			3.5

İsveç'te, MPM genellikle kuyu veya elle açılmış delikten oluklu yarık tüp içinde itilir veya açılan kuyu içine yerleştirilir, ve E_m değeri

$$E_m = 2.66 \left(\frac{\rho_A - \rho_B}{V_A - V_B} \right) \left([V_0 + 0.5(V_B - V_A)] [V_T + 0.5(V_B - V_A)] \right)^{0.5} \quad (4.4)$$

V_T yarıklı tüpün hacmidir.

Menard MPM deneyinde, Limit Basınç, boşluğun ilk hacminin, iki katına eşit olarak tanımlanmıştır. Bu, boşluğun % 41 birim boy değiştirmesine eşdeğerdir (Şekil 4.10). Limit basınç PL, zemin özellikleri, yerleştirme ve sondaj esnasındaki oluşabilecek bir miktar örselenmenin fonksiyonudur. Bu yöntem ile bulunan limit basınç temel tasarım için doğrudan kullanılır. Kuyu içinde yarıklı tüp ile kullanıldığı zaman limit basınç daha az etkilendir (Hansbo and Pramborg, 1990) ve bu yarıklı tüp için de düzeltme uygulanır.



R_0 = sönmüş prob yarıçapı
 ΔR = çap artışı

Kuyu duvarı ile probun teması;

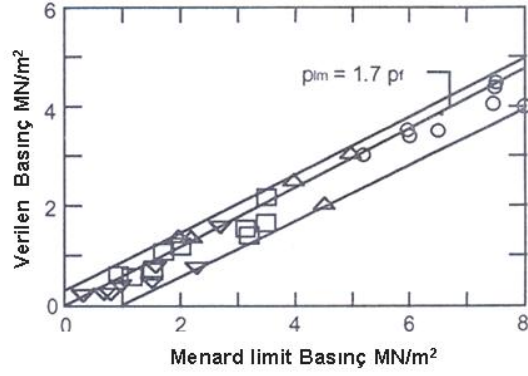
$$\left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_1$$

Limit basınç; Probun ilk hacmi + enjekte edilen hacim ile prob ve kuyu duvarındaki yapılan temasın toplamının iki katına eşittir.

$$0.41 + 2 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_1$$

Şekil 4.10. Presiyometre eğrisi

Kayalarda yapılan deneylerde çoğun %41 boşluğa ulaşmak mümkün değildir; bununla birlikte Walker ve Jewell (1979) çeşitli kaya tipleri için, P_f ve P_l arasında bir ilişkiyi, Şekil 4.12 deki gibi göstermiştir.



Şekil 4.11. Kayada yapılan MPM testlerinde yenilme basıncı ve net limit basıncı arasındaki korelasyon (Walker ve Jewell, 1979).

Menard parametreleri sadece PBP deneylerinden elde edilebilir. Baguelin vd. (1978), bir eşdeğer limit basıncın, SBP deneylerinden elde edilebileceğini önerir. Birçok gözlemci boşlukların %20 birim hacim değiştirmesi için gereken basıncın, MPM testine benzer olduğu bulmuştur.

Briaud vd. (1983a) Menard Elastisite (presiyometre) modülü E_m 'nin, radyal birim boy değiştirmenin % 5-10 arasında değiştiği sığ derinliklerdeki farklı zeminlerdeki deneylerde, geri yükleme sekant modülüne, eşit olduğunu gösterir. Boşaltma eğrisinin maksimum modülü, E_{uo} ve Menard modülü E_m arasında korelasyon aşağıdaki denklem ile verilmiştir.

$$E_{uo} = 0.27E_m^{1.45} \quad (4.5)$$

Böylece Menard tasarım kurallarını diğer testlerin sonuçlarını kullanarak uygulamak mümkün olur. Ancak bu yanarda sınırlı bir deneyim olup dikkatle yapılmalıdır.

Menard presiyometre modülü, belirli yönden gelen basıncın öbür yönlerden gelen basınçları farklı olan zeminlerde ölçülen deformasyon modülüdür. Bu modül deneyin elasto – plastik safhasını karakterize eder. Aralarında deneysel bağıntı olmasına rağmen Menard modülünü, Elastisite modülü ile karıştırmamak gerekir.

Elastisite modülü E , Menard Modülüne E_m ye bir düzeltme faktörü uygulanarak elde edilebilir.

$$E = E_m/\alpha \quad (4.6)$$

Düzeltilme faktörü veya Menard katsayısı α , ortamın türüne ve gerilme tarifine bağlı olup değerleri Tablo 4.3 de özetlenmiştir.

Tablo 4.3. Menard Faktörleri (Briaud, 1992).

Zemin Türü	Turba	Kil		Silt		Kum		Kum- Çakıl		Kaya	α
	α	E_m/PL	α	E_m/PL	α	E_m/PL	α	E_m/PL	α		
Aşırı Konsolide Olmuş	-	>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3	Çok küçük çatlaklı	2/3
Normal Konsolide	1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4	Normal	1/2
Ayrışmış ve/veya yoğrulmuş	-	7-9	1/2	5-8	1/2	5-7	1/3	-	-	yoğun kırıklı ve çok ayrılmış	1/3 ile 2/3

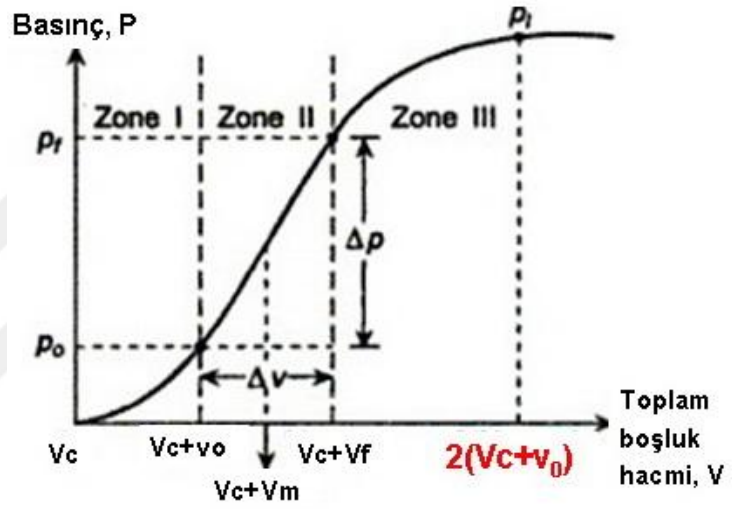
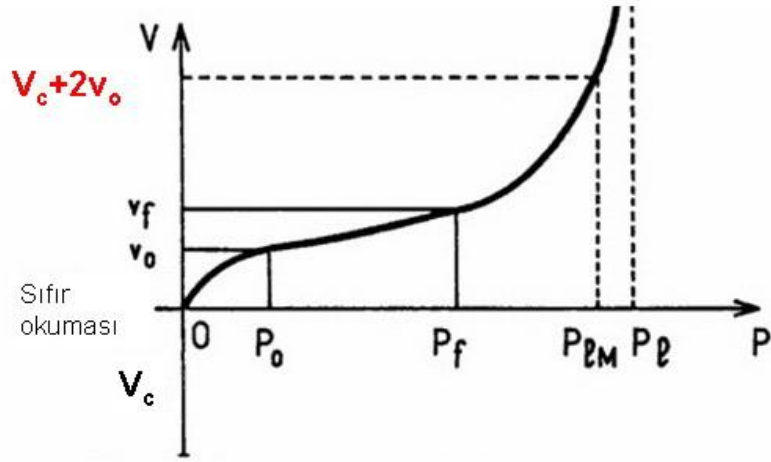
Başka bir çalışmada zayıf çimentolu kayalarda E_m/PL oranı aşağıdaki Tablo 4.4 de verilmiştir (Huang vd, 1999).

Tablo 4.4. Kaya türlerine göre E_m/ PL oranları.

Kaya türü	Kaya türlerinin yaşı, yıl			
	<10.000	1-2 milyon	2-3 milyon	4-5 milyon
Kumtaşı	7-18	15-23		23-38
Şeyl	10		17-32	49
Çamurtaşı		18-21		28

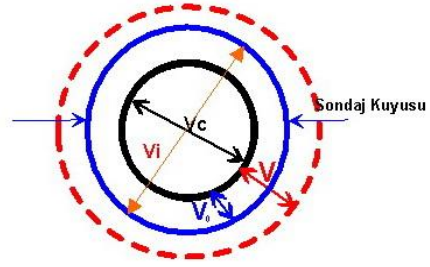
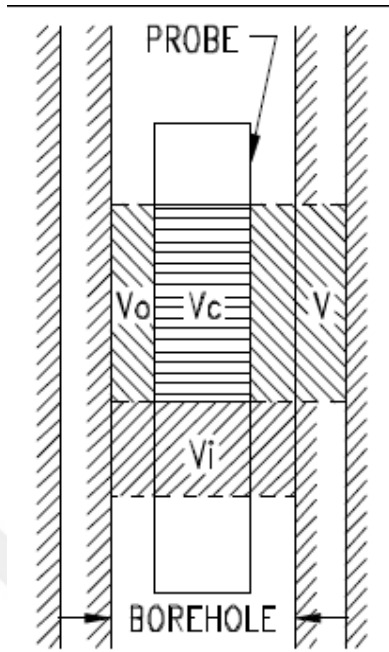
4.2.1. Limit Basıncın (PL) Tespit Edilmesi

Her basınç artışı kademesinin, 1 dakikadaki hacim okumalarından düşey eksen hacim ve yatay eksen basınç olarak çizilen, presiometre eğrileri Şekil 4.12 de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Tipik presiyometre eğrileri.

Limit basınç, probu çevreleyen zeminin yenilmesine karşılıktır. Teorik olarak presiyometre grafiğinin asimptotunun apsis değeri olan Limit Basınç usulen probun hacim artmasının (ΔV) başlangıç hacmine eşit olduğu durumda tespit edilir ($\Delta V/V=1$). Bu asimptotu tanımlamak her zaman kolay olmaz. Bu nedenle, limit basınç için başka bir tanımda, ilk silindirik boşluk hacminin iki katına karşılık gelen basınç $2(V_c + v_0)$ veya enjekte edilen hacmin $(V_c + 2v_0)$ 2 katı kullanılır. Probun üzerindeki membranın basıncı P_{el} genellikle çok küçük değer taşır ve yumuşak killer hariç diğer ortamlarda çoğun ihmal edilebilir (Şekil 4.13).



Limit basınç ilk boşluk hacminin iki katına tekabül eder.

V_c = Ölçüm hücresinin hacmi

V = Toplam etkiyen hacim

V_0 =Verilen Hacim ile kuyu duvarları arasındaki temas

V_i = boşluğun ilk hacmi

$V_i=V_c+V_0$

ilk boşluk hacmi iki katına çıktığı zaman;

$$\frac{\Delta V \text{ boşluk}}{\text{başlangichacmi}} = \frac{V - V_0}{V_c + V_0} = 1$$

veya

$$\frac{\Delta V \text{ boşluk}}{\text{toplamHacim}} = \frac{V - V_0}{V_c + V} = \frac{1}{2}$$

Şekil 4.13. Limit Basınç İlkeleri

Normal deneylerde ölçüm hücresi probun hacmi sönmüş haldeki ilk hacmi $V_c= 535 \text{ cm}^3$ 'tür ve buna eklenen hacim V_0 duvarlar ile temas halinde 100 cm^3 'tür. Limit basınç 700 cm^3 eklenen hacme karşılık gelir (V_c+2V_0).

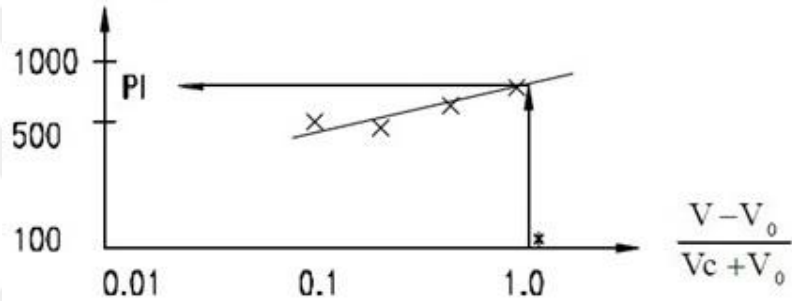
İlk adım normal eğrinin asimtotunun apsini elle tamamlamayı öncelikle tahmin etmektir. Uzatım (ekstrapolasyon) kullanan üç farklı yöntem daha geliştirilmiştir ve deney sınır basıncı plastik safhaya ulaştığında kullanılır. Belirtmek gerekir ki, deney daima probun patlamasını önlemek için gereken basınca ulaşmadan kesilir. V_c , doğal durumdaki prob hacmi, V_0 probu kuyu duvarları ile temas ettirmek için verilen hacim, V_i boşluğun ilk hacmi, $V_i=V_c+V_0$ olarak verilir. Toplam verilen hacmi V bulmak için kullanılabilecek üç yöntem aşağıda verilmiştir (Şekil 4.14).

- Basınç eğrileri için log-log metodu ile fonksiyonun $V-V_0/V_c+V_0$ logaritmik koordinatları çizilir. Bu fonksiyon plastik safhada düz bir eğri sağlar ve 1 e eşit olduğunda Limit Basınca ulaşılır.
- Bağlı hacimler (method of the relative volumes) metodunda, $V-V_0/V_c+V$ fonksiyonunun basınç eğrileri çizilir. Bu eğri de fonksiyon plastik safhada düz bir eğri oluşturur ve 0.5 e eşit olduğunda Limit Basınca ulaşır.

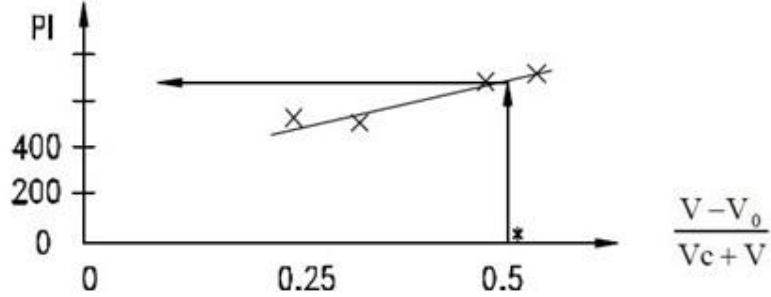
- Ters hacimler metodu (determination of limit pressure from inverse of volume versus pressure) ile $1/V$ fonksiyonu için, basınç eğrileri çizilir. Plastik safhadaki eğri düz çizgidir ve bu düz çizginin standart prob hacmi olan $V=700 \text{ cm}^3$ 'e kestiği yer, limit basıncı verir. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 da bu metod ile ilgili örnekler gösterilmiştir.

Bu elde edilen değer, probun atalet basıncından (P_i) çıkartılmalıdır ve yer seviyesindeki ölçüm aleti ve prob arasındaki sıvıyla dolu borulardaki, hidrostatik basınç eklenmelidir.

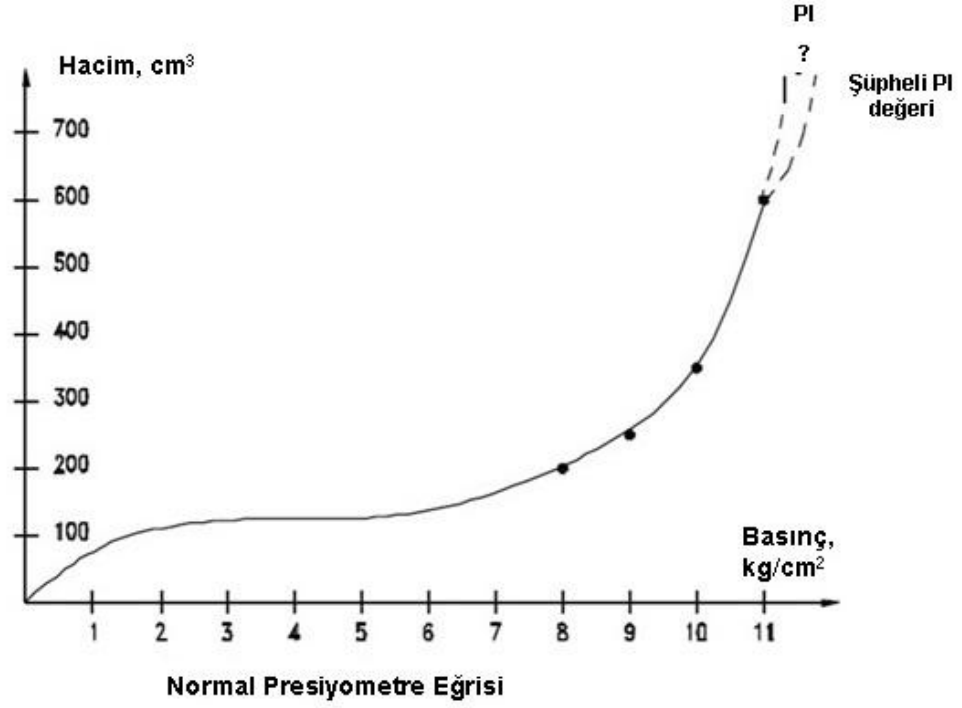
1* Log-Log Yöntemi



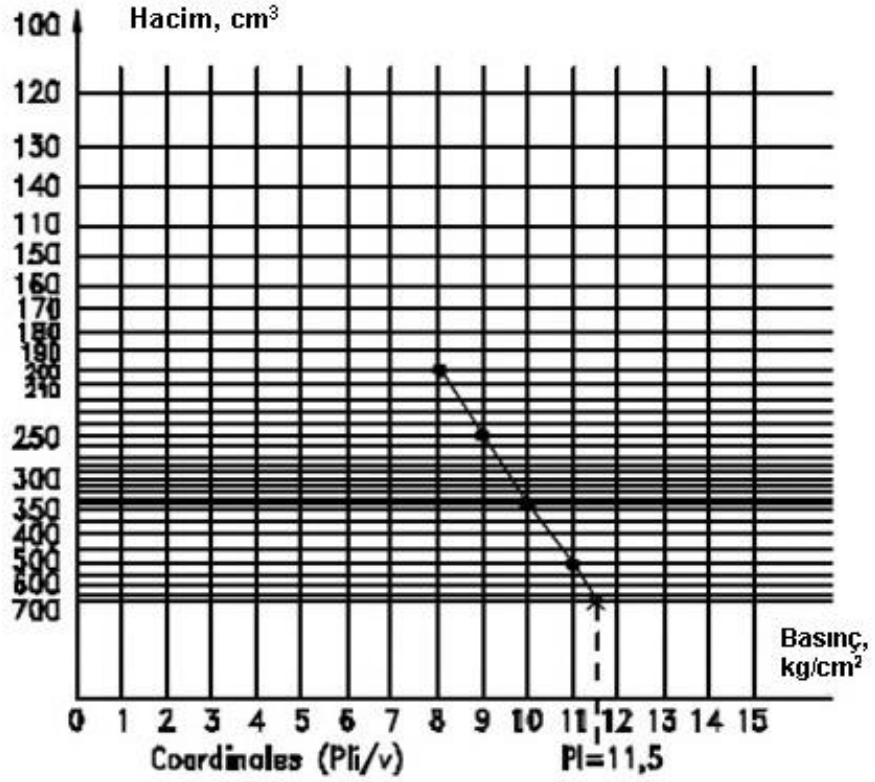
2* Bağlı Hacim Yöntemi



Şekil 4.14. Log-log yöntemi ve bağlı hacim yöntemi ile Limit Basıncın belirlenmesi.



Şekil 4.15. Ters çevrilmiş hacimler (data) metodu ile PI tayini.



Şekil 4.16. Ters çevrilmiş hacimler metodu ile PI tayini (datalar Şekil 4.15 den alınmıştır).

Presiyometre deneyinde denenen ortamın sert - aşırı konsolide kil, ayrılmış kaya ve kaya vb sağlam yapılı bir zemin olması durumunda, deformasyonlar az olacağı için zeminde yenilme olmaz. Yani, grafikte limit basınç belirlenemez. Bunun için eğri uzatılarak 700 cm^3 'e karşılık olan veya kullanılan maksimum prob hacmine kadar, yatay çizgi kestirilerek PL bulunur veya limit basıncın değeri aşağıdaki iki husus dikkate alınarak tespit edilebilir.

- Akma basıncı veya elastik safhanın sonu, limit basıncın $2/3$ veya yarısına eşittir ($1/2 < P_f/PL < 2/3$)
- Zeminin cinsine göre E_m ile PL arasında belirli bir oran vardır. Bu oran aşırı konsolide olmuş-sert zeminlerde 12 ile 30 arasında ($12 < E_m/PL < 30$), normal konsolide zeminlerde ise 5 ile 8 arasında ($5 < E_m/PL < 8$) değişmektedir.

Bu durumda, önce Menard modülü (E) hesaplanır, bu orandan faydalanarak PL değeri bulunur. Başka bir çalışmada zayıf çimentolu kayalarda ölçülmüş E_m/PL oranları Tablo 4.5 de verilmiştir (Huang vd, 1999).

Tablo 4.5. Kaya türlerine göre E_m/PL oranları.

Kaya türü	Kaya türlerinin yaşı, yıl			
	<10.000	1-2 milyon	2-3 milyon	4-5 milyon
Kumtaşı	7-18	15-23		23-38
Şeyl	10		17-32	49
Çamurtaşı		18-21		28

4.3. MPM Parametreleri ve Diğer Parametreler Arası Korelasyonlar

Killerde limit basınç PL ve drenajsız kayma c_u direnci arasındaki bağıntı, Tablo 4.6 da verilmiştir (Amar ve Jezequel 1972).

Tablo 4.6. Limit basınç PL ve drenajsız kayma c_u direnci arasındaki bağıntı

PL - σ_{h0} (kPa)	c_u (kPa)
< 300	$\frac{PL - \sigma_{h0}}{5.5}$
>300	$\frac{PL - \sigma_{h0}}{10} + 25$

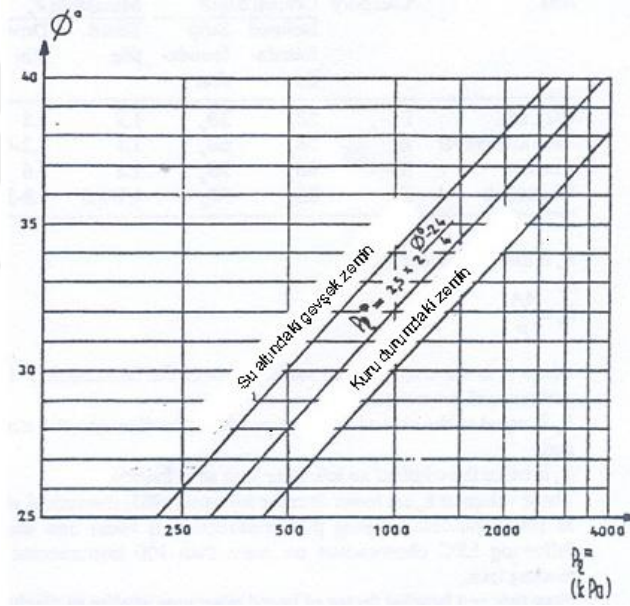
Baguelin vd., (1978) göre drenajsız kayma direnci, c_u ,

$$c_u = \frac{(PL - P_0)}{N_p}, N_p = 1 + \ln\left(\frac{E_p}{3c_u}\right) \quad (4.7)$$

N_p 5-12 arasında değerler almaktadır. Ortalama olarak $N_p = 8.5$ alınabilir.

Kohezyonsuz zeminlerde, kayma direnci açısı, ϕ aşağıdaki bağıntı ile çıkartılmaktadır. Bu bağıntının grafiksel gösterimi Şekil 4.17 de sunulmuştur.

$$PL - P_0 = b2^{\left(\frac{\phi - 24}{4}\right)}, \quad b = \begin{cases} 1.8 \rightarrow \text{Islak} \\ 3.6 \rightarrow \text{Kuru} \end{cases} \quad (4.8)$$



Şekil 4.17. MPM limit basınç ve kayma direnci açısı arasındaki bağıntı (Amar, S. v.d.,1991).

Limit basınç PL doğrudan ölçülebilen bir değer değildir ve genelde ekstrapolasyon ile bulunur. Ön konsolidasyon basıncı σ_c ile limit basınç PL arasındaki ilişkiyi, Kulhawy ve Mayne, vd. (1990) aşağıdaki bağıntı ile vermiştir.

$$\sigma_c = 0.45.PL \quad (4.9)$$

Mori ve Tajima (1964) ile Martin ve Drahos (1986) MPM testinden elde edilen sünme eğrisindeki P_f 'nin, ön konsolidasyon basıncına benzediği gerekçesi ile Tablo 4.7 deki bağıntıları önermişlerdir.

Tablo 4.7. P_f ve σ_c arasında korelasyonlar

Yazar	Zemin türü	σ_c
Mori and Tajima (1964)	Tüm zeminler	P_f
Martin and Drahos (1986)	Aşırı konsolide kil	$0.6P_f$

5. PRESİYOMETRE İLE GEOTEKNİK TASARIM KURALLARI

Menard presiyometre deneyinde doğrudan elde edilen limit basınç, PL ve presiyometre modülü E_m parametrelerinden çıkarak taşıma gücü ve oturma analizleri alt başlıklarda sırayla anlatılmıştır.

Özellikle zemine ait Elastisite modülünün laboratuvar ortamında yapılan deneyler hariç, genelde ampirik yaklaşımlar ile seçildiği bilinmektedir. Bu önemli geoteknik tasarım parametresinin, sonlu elemanlar ile yapılan hesaplamalarda da yaygın bir kullanımının olması, bu değer in doğal zemin ortamına en yakın koşullarda tespit edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Özellikle aşırı konsolide (sert zemin) - yumuşak kaya geçişlerinin olduğu ortamlarda, örselenmemiş zemin numune alınamaması gerçeği de göz önüne alındığında, elastisite modülünün presiyometre deneyi ile tespit edilmesi en iyi yaklaşımdır.

5.1. Taşıma Gücü Analizi

Presiyometre ile taşıma gücü hesaplamasında zeminde oluşturulan silindirik boşlukta yenilmenin sağlandığı limit gerilme değeri PL kullanılır ve presiyometre taşıma gücü katsayısı N_{PR} olarak tarif edilir.

$$N_{PR} = \frac{q_d - \sigma_z}{PL - \sigma_h} \quad (5.1)$$

Bu bağıntıda, σ_z temel in oturacağı zemin düzeyindeki toplam düşey gerilmeyi, σ_h ise presiyometrenin ölçüm yaptığı derinlikteki yatay toplam gerilmeyi göstermektedir.

Yüzeyde oturan bir temel için $N_{PR}=0.8$ iken, bu değer kritik bir derinliğe kadar atmakta, burada sonra değişmemektedir. Kritik Derinlik

$$B_e = \frac{4A}{\xi} \quad (5.2)$$

olarak tariflenmiş olup burada A temel in alanını, ξ ise temel in çevresini göstermektedir. Şerit temelde B_e genişliğin iki katıdır. Diğer değerler Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1. Presiyometre ölçümlerinde kritik derinlik.

ORTAM	PL (kPa)	KATEGORİ	TEKİL	ŞERİT
Kil	0-1200	I	2B _e	3B _e
Silt	0-700			
Sert kil, Marn	1800-4000	II	5B _e	6B _e
Sıkı silt	1200-3000			
Kum, gevşek	400-800			
Yumuşak-ayrışmış kaya	1000-3000	III	8B _e	9B _e
Kum, Çakıl	1000-2000			
Kaya	4000-10000	IV	10B _e	11B _e
Kum-Çakıl, sıkı	3000-6000			

Presiyometre deney sonuçları kullanılarak son taşıma gücü q_d 'yi hesaplamak için

- Zemin düzeyinden üst ve alta 1.5B uzaklığı kadar ölçülmüş n sayıda net limit gerilmenin ortalaması PL_{Mort}

$$PL_{ort} = \left[(PL - \sigma_v)_1 x \dots x (PL - \sigma_v)_n \right]^{\frac{1}{n}} \quad (5.3)$$

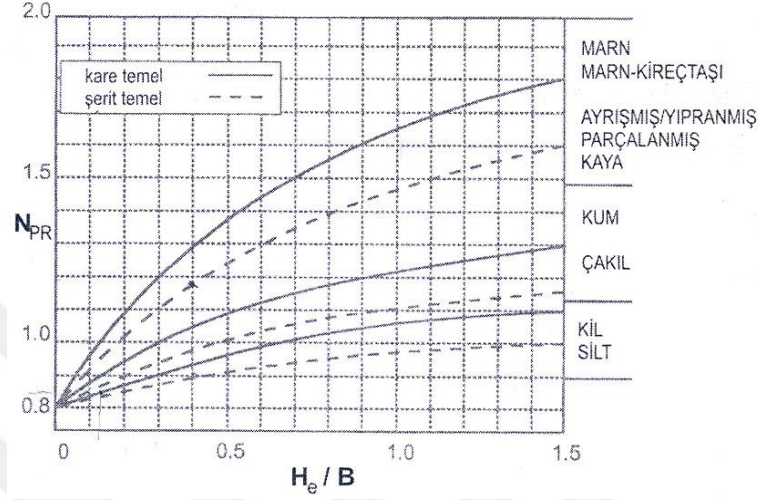
hesaplanır.

- Temelin bağıl gömme derinliği

$$H_e = \frac{1}{PL_{ort}} \sum \left[(PL - \sigma_v)_i x z_i \right] \quad (5.4)$$

olup, z_i net limit gerilmesi $(PL - \sigma_v)_i$ olan herhangi "i" zemin tabakasının göstermektedir.

- Taşıma gücü katsayısı N_{PR} Şekil 5.1'den zemin özelliklerine göre, ve temelin şekline göre de Tablo 5.2' den düzeltilerek alınır.



Şekil 5.1. Yüzeysel Temeller için Presiyometre Taşıma Gücü Katsayısı.

Tablo 5.2. Temel Biçimleri için N_{PR}^*

Şekil	N_{PR}^*
Kare-daire	N_{PR}
Şerit	$0.833 N_{PR}$
Dikdörtgen	$\frac{N_{PR}}{1.2} + \left(\frac{N_{PR}}{0.6} \right) \left(\frac{B}{L} \right)$

5.2. Oturma Analizi

Presiyometre deneyinin ana amacı zeminin deformasyon modülünü ölçmeğe yönelik olduğundan bu deneyle her tür zeminde oturma hesaplarının yapılması olanağı vardır. Presiyometre Modülü E_m kullanılarak q şiddetinde taban basıncı uygulayan bir temelin oturması

$$s = \left[\frac{q - \sigma_v}{9E_m} \right] \times \kappa \text{ şekil faktörü} \quad (5.5)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Bu ifade temel in hemen altında izotrop ve yaklaşık ($D_f+1/2B$) derinlikte beliren deviatörük sıkışma bileşenlerini içerir. κ şekil faktörü, temel boyutu ve zemin türüne bağlıdır.

Böylece her iki öğeyi içerecek oturma denklemi, gömme derinliği $D_f>2B$ olan temeller için

$$\sum S = (q - \sigma_z) \left[\frac{2B}{9E_d} \left(\lambda_d \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \left(\frac{\alpha \lambda_v}{E_v} \right) B \right] \quad (5.6)$$

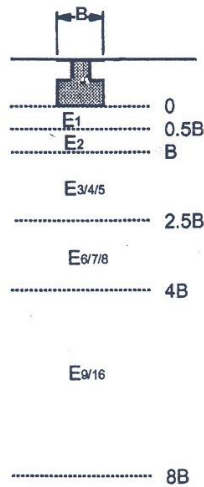
biçiminde verilmiştir. Bundan daha sığ temeller için hesaplanacak oturmanın % 20 artırılması gerekmektedir. Burada q temel taban basıncı, σ_z ölçüm derinliğinde toplam düşey gerilme, $B_0=0.6$ m referans genişliği, λ_d ve λ_v şekil katsayıları (Tablo 5.3), B temel in genişliği, α zemin türüne ve E_m/PL oranına bağlı katsayı (Tablo 5.4), E_v ve E_d de E_m ye bağlı modüllerdir. E_v izotrop, E_d ise deviatörük koşullardaki modülleri göstermektedir. E_m deneyle ölçülen, presiyometreye özgü deformasyon modülünü göstermektedir. Görüleceği gibi, sağlıklı sonuç alabilmek için deneyin mümkünse her metre derinlikte yapılması gerekmektedir.

Tablo 5.3. Yüzeysel temellerin oturmasında presiyometre katsayıları

L/2B	DAİRE	KARE	2	3	5	20
λ_v	1.0	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65
λ_d	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50

E_v ve E_d de şu sıra ile hesaplanır.

1. Temelin altındaki ortam her biri $B/2$ kalınlıkta 16 tabakaya ayrılır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. E_d ve E_v hesaplanması için Model

2. E_v 'nin değeri temelin hemen altındaki E_m 'nin ortalama değeri olan E_{m1} 'e eşittir.
3. Tüm tabakalar için Menard modülü ortalama değeri E_m hesaplanır.
4. Herhangi bir tabakanın E_m değeri ile tüm tabakaların $E_{m(ort)}$ değeri arasındaki fark bulunur.
5. Hesaplanmış olan maksimum fark E_{mort} 'dan %30'dan az ise: $E_d = E_m$ alınır.
6. Maksimum fark %30'u aşıyorsa E_d farklı hesaplanır:
 - a) (3,4,5), (6,7,8), (9,10,11,12,13,14,15,16) tabakaların harmonik ortalaması alınır. Örneğin E_{m3} , 3 Nolu tabakanın ortalama E_m modülüdür.

$$\frac{3}{E_{m(3,4,5)}} = \frac{1}{E_{m(3)}} + \frac{1}{E_{m(4)}} + \frac{1}{E_{m(5)}} \quad (5.7)$$

- b) E_d 'nin değeri ise şu ifadeden bulunur:

$$\frac{1}{E_d} = 0.25 \left[\frac{1}{E_{m1}} + \frac{1}{0.85E_{m2}} + \frac{1}{E_{m(3,4,5)}} + \frac{1}{2.5E_{m(6,7,8)}} + \frac{1}{2.5E_{m(9 \rightarrow 16)}} \right] \quad (5.7)$$

Tablo 5.4. Yüzeysel temeller için α değerleri

Zemin	Özelliği	E_m/ PL	α
Turba			1.00
Killer	OC	>16	1.00
	NL	9-16	0.67
	Yoğrulmuş	7-9	0.50
Siltler	OC	>14	0.67
	NL	8-14	0.50
Kumlar	OC	>12	0.50
	NL	7-12	0.33
Kum-çakıl		>10	0.33
		6-10	0.25
Kayalar	Aşırı Çatlaklı		0.33
	Bozunmamış		0.50
	Ayrışmış		0.67

Anlatılan yöntem, homojen ortamlarda başarılı olur. Oldukça katı/sert ortamda yumuşak tabakaların varlığında ek düzeltmeler gerekli olmaktadır. Temel yumuşak tabaka üzerine oturuyor ve tabaka kalınlığı $< B/2$ ise, sadece bu tabakanın sıkışmasının hesaplanması yeterli olacaktır:

$$S = \beta \sum \left[\frac{\alpha_i h_i \Delta \sigma_{zi}}{E_{mi}} \right] \quad (5.8)$$

β 'nin değeri güvenlik sayısına bağlı olup, $GS=3$ seğilirse $\beta=1$ olur. Diğer durumlarda

$$\beta = 0.67 \left(\frac{GS}{GS-1} \right) \quad (5.9)$$

ile hesaplanabilir. Formülde h_i ilgili i tabakasının kalınlığını, n yumuşak ortamdaki tabaka sayısını, $\Delta \sigma_{zi}$ ise i nolu tabakada belirecek düşey gerilme artışını göstermektedir.

Bir sert tabakanın $8B$ kadar altında yumuşak bir tabaka varsa oturma önce formül (5.6) ile hesaplanır. Buna de yumuşak tabakanın

$$S = \alpha h \Delta \sigma_v \left[\frac{1}{E_{ms}} - \frac{1}{E_{ma}} \right] \quad (5.10)$$

ile hesaplanacak oturması eklenir. Zemin aşırı yumuşak ise modüllerin laboratuvar konsolidasyon deneyinden alınması önerilmektedir. E_{ms} yumuşak, E_{ma} üstteki zeminin modüllerini göstermektedir.

6. ARAZİ UYGULAMALARI

Bu tez çalışması kapsamında Tablo 6.1 de verilen projelerde presiyometre deneyleri yapılmıştır. Presiyometre deneylerine ait örnek saha fotoğrafları Şekil 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4 de toplu olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Tez projesi kapsamındaki uygulama arazileri

No	Projeler	Testin Uygulandığı bölgedeki Formasyon
1	Ataköy Otel Projesi	Bakırköy Formasyonu
2	Gümüşyaka – Çanta Tüneli	Gürpınar Formasyonu
3	B.Çekmece Karaağaç Köyü	Ceylan Formasyonu
4	Esenyurt	Gürpınar Formasyonu
5	Kurtköy - Sancaktepe	Sancaktepe Graniti (arena)
6	Ümraniye	Havza dolgusu



Şekil 6.1. Ataköy Otel Projesi



Şekil 6.2. (a) Ümraniye ve (b) maslak proje sahaları.



Şekil 6.3. B.Çekmece Karaağaç



Şekil 6.4. Kurtköy Sancaktepe ve farklı bir proje sahasın presiyometre deneyi ölçümleri.

6.1. Ölçülen Arazi Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, presiyometre deneyinin yapıldığı örnek bir arazi çalışmasının ölçü alındıktan sonraki değerlendirme aşamaları sırayla verilmiştir. Özellikle değerlendirmeler sırasında yapılan hatalara değinilmiştir.

- Hacim kalibrasyon testi
- Basınç Kaybı Kalibrasyon Testi (Membranın sertliği)
- Arazi Okumaları
- Düzeltilmiş Datalar
- Menard Eğrisinin Çizimi
- Menard (Presiyometre) Elastisite Modülü, Em
- Limit basıncın tespit edilmesi, PL

Esenyurt ilçesinde yapılan bir çalışma kapsamında DE-16 nolu sondaj kuyusunda (Şekil 6.5), 12.0 m de SPT- N_{30} değeri 80 darbe olan, yeşil renkli karbonat kırıntılı, sert zemin nitelikli killere ait presiyometre verileri kullanılmıştır. Deney APAGEO marka Menard Presiyometresi ile yapılmıştır. Deney esnasında prob, yarıklı (oluklu) koruyucu tüp içinde kullanılmıştır. Prob 60 mm çaplı, koruyucu tüp 75 mm dir (60-gct 75).

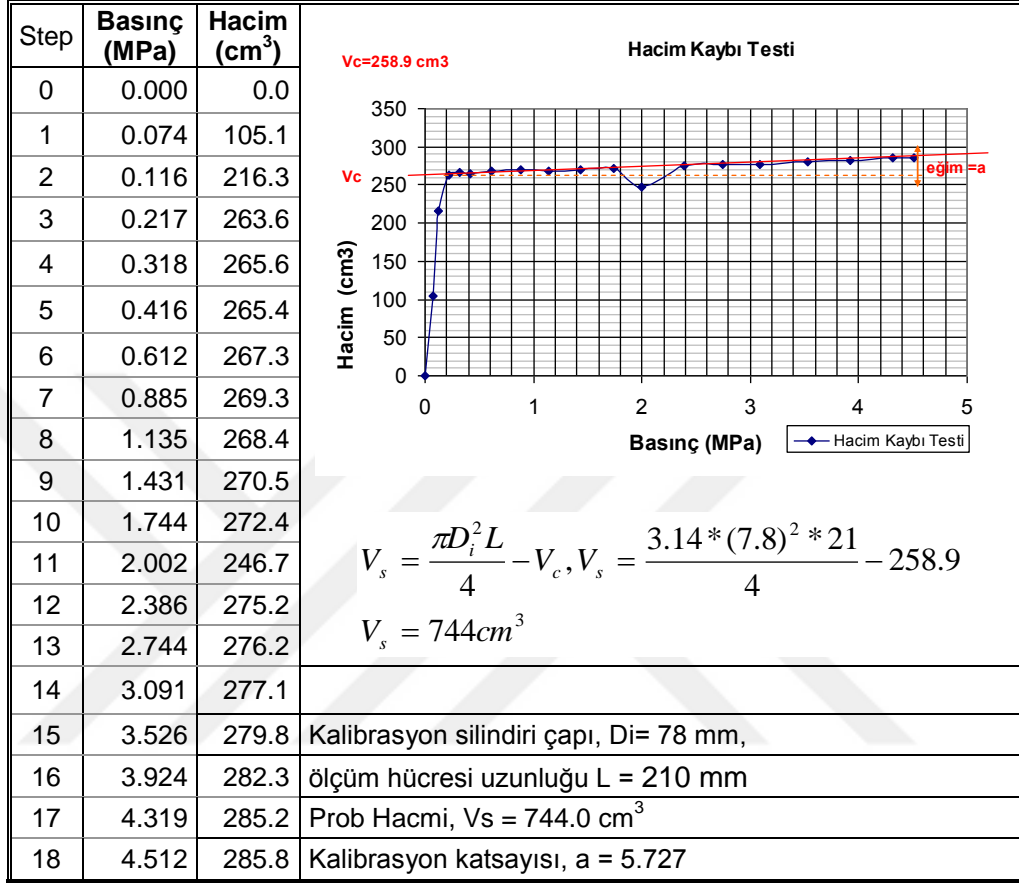
Deney öncesi membranın sertliği için basınç kaybı, deney ekipmanının genişleme ve sıkışabilirliği için yapılan hacim kaybı kalibrasyon testlerinden elde edilen parametreler Tablo 6.2 verilmiştir.

Tablo 6.2. Esenyurt DE-16 sondajı kalibrasyon testi sonuçları

Basınç kaybı parametresi	
Son basınç kaybı P_{el} (MPa)	0.168
Hacim kaybı parametreleri	
Kalibrasyon katsayısı, a (cm^3/MPa)	5.727
Prob hacmi V_s (V_o) (cm^3)	744.0

▪ **Hacim Kaybı Kalibrasyon Testi**

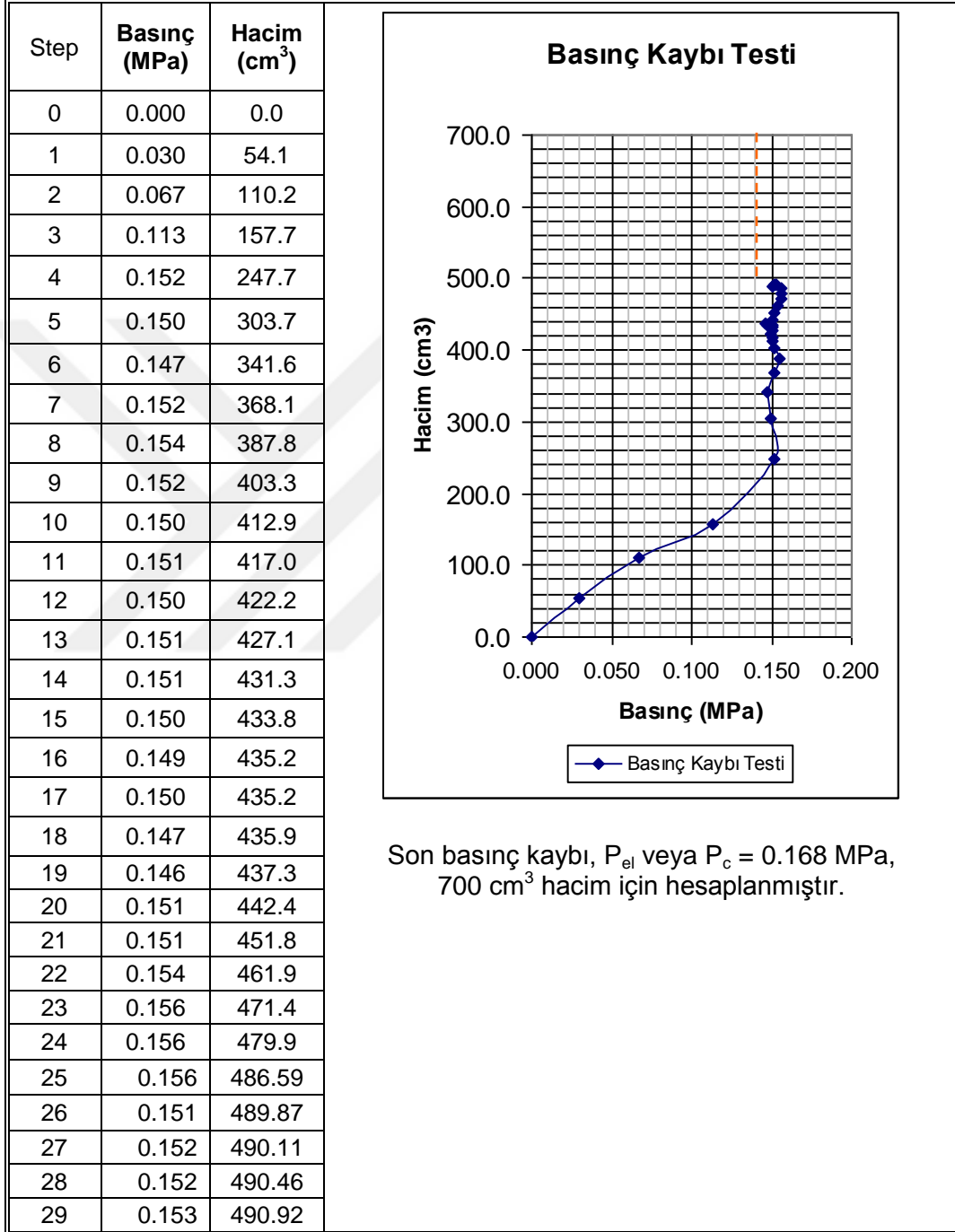
Test öncesi yüzeyde kalibrasyon tüpü içinde yapılan hacim kaybı testi sonuçları Şekil 6.6 de verilmiştir.



Şekil 6.6. Hacim kalibrasyon testi değerlendirilmesi

▪ **Basınç Kaybı Kalibrasyon Testi (Membranın sertliği)**

Test öncesi, yüzeyde prob dik veya hafif eğimli bir pozisyonda tutularak yapılan basınç kaybı kalibrasyon testi sonuçları Şekil 6.7 da verilmiştir.



Şekil 6.7. Basınç kalibrasyon testi değerlendirilmesi

- **Arazi Okumaları**

Deney sırasında alınan okumalar Tablo 6.2 de verilmiştir.

Tablo 6.2. Arazi verileri

Arazi Verileri								
Step	Basınçlar, P (MPa)				Hacimler V (cm ³)			
	1 s	15 s	30 s	60 s	1 s	15 s	30 s	60 s
1	0.003	0.022	0.071	0.076	20.3	51.6	75.2	111.4
2	0.079	0.116	0.126	0.129	114.4	118.9	121.8	126.6
3	0.131	0.132	0.171	0.209	126.8	127.4	130.4	140.0
4	0.219	0.262	0.280	0.307	142.0	145.9	150.6	158.1
5	0.328	0.377	0.399	0.433	160.2	166.7	172.2	180.6
6	0.445	0.502	0.514	0.537	182.1	188.6	193.5	200.2
7	0.550	0.610	0.622	0.644	201.7	206.6	210.5	216.6
8	0.656	0.749	0.745	0.744	217.6	224.2	227.5	231.0
9	0.747	0.824	0.948	0.981	231.5	232.9	239.9	245.2
10	1.000	1.185	1.254	1.278	245.7	250.8	257.7	261.6
11	1.313	1.490	1.526	1.542	261.6	266.3	271.5	275.0
12	1.633	1.810	1.815	1.841	275.1	281.3	285.2	288.2
13	1.902	2.079	2.099	2.118	288.0	292.9	298.5	302.0
14	2.151	2.396	2.402	2.406	301.7	306.4	313.1	317.8
15	2.439	2.738	2.808	2.816	317.8	323.7	335.0	342.4
16	2.846	3.035	3.196	3.277	342.6	347.4	359.3	377.6

- **Düzeltilmiş Veriler**

Arazide okunan 60 s basınç ve hacim okumalarının kalibrasyonlara göre düzeltmeleri yapılır. Bu düzeltilmiş veriler Tablo 6.3 de verilmiştir.

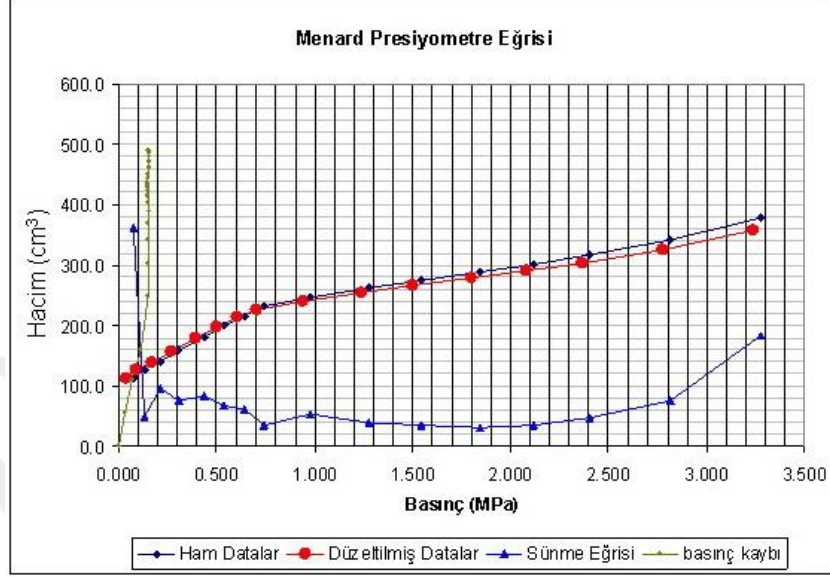
Tablo 6.3. Düzeltilmiş verileri

Düzeltilmiş Basınç, P _{cor} (MPa) $P_{cor} = P(60s) + (P_{\delta})^1 - P_c$	Düzeltilmiş Hacim, V _{cor} (cm ³) $V_{cor} = V(60s) - [a \cdot P(60s)]$	Sünme (Creep) (cm ³) $V(60s) - V(30s)$
0.0351	111.0	36.2
0.0883	125.9	4.8
0.1690	138.8	9.6
0.2667	156.3	7.5
0.3926	178.1	8.4
0.4966	197.1	6.7
0.6034	212.9	6.1
0.7034	226.7	3.5
0.9403	239.6	5.3
1.2374	254.2	3.9
1.5013	266.1	3.4
1.8002	277.7	3.0
2.0774	289.8	3.5
2.3659	304.0	4.7
2.7758	326.3	7.4
3.2365	358.8	18.3

¹ Hidrostatik basınç, deney seviyesi ile ölçüm ünitesi arasında $P_{\delta} = z \times p_w$

- **Menard Eğrisinin Çizimi**

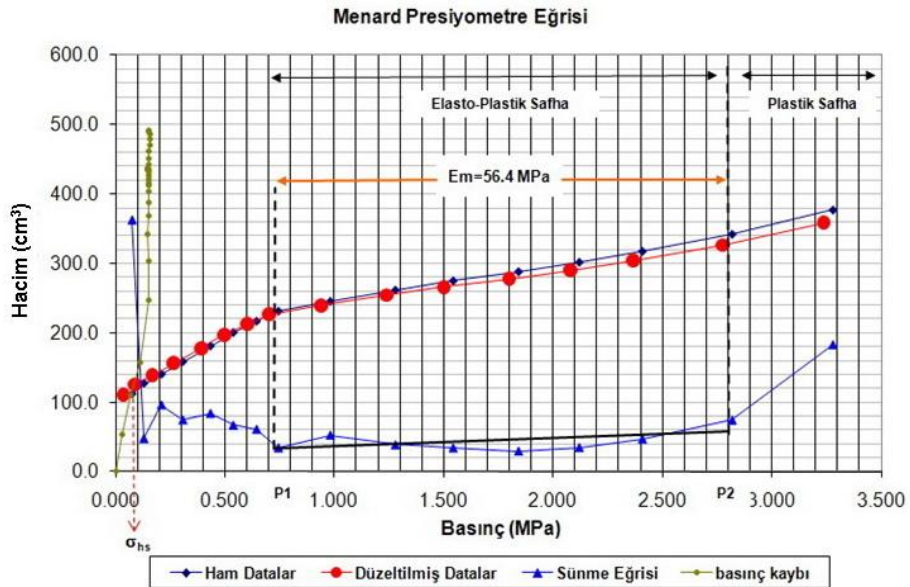
İlk aşamada arazi okumaları ($V&P$), düzeltilmiş okumalar ($V_{cor}&P_{cor}$), sünme eğrisi ($\Delta V60/30$) ve basınç kaybı (P_c) grafikleri çizilir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8. Menard Eğrisi

- **Menard (Presiyometre) Elastisite Modülü, E_m**

Bu düzeltilmiş hacim ve basınç okumalarından, elasto-plastik safha ile plastik safha ayrımı, sünme eğrisi yardımı ile kolaylıkla tespit edilmektedir. Şekil 6.9 de verilen grafik üzerinde Elasto plastik safha gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Menard Elastisite Modülü, E_m

Menard Presiyometresinde, Elasto plastik safhadaki sünme eğrisi üzerindeki düz çizginin eğiminden aşağıda verilen bağıntıya göre Menard (Elastisite) Modülü, E_m hesaplanması Tablo 6.4 de verilmiştir.

Tablo 6.4. Menard Modülü, E_m hesaplanması

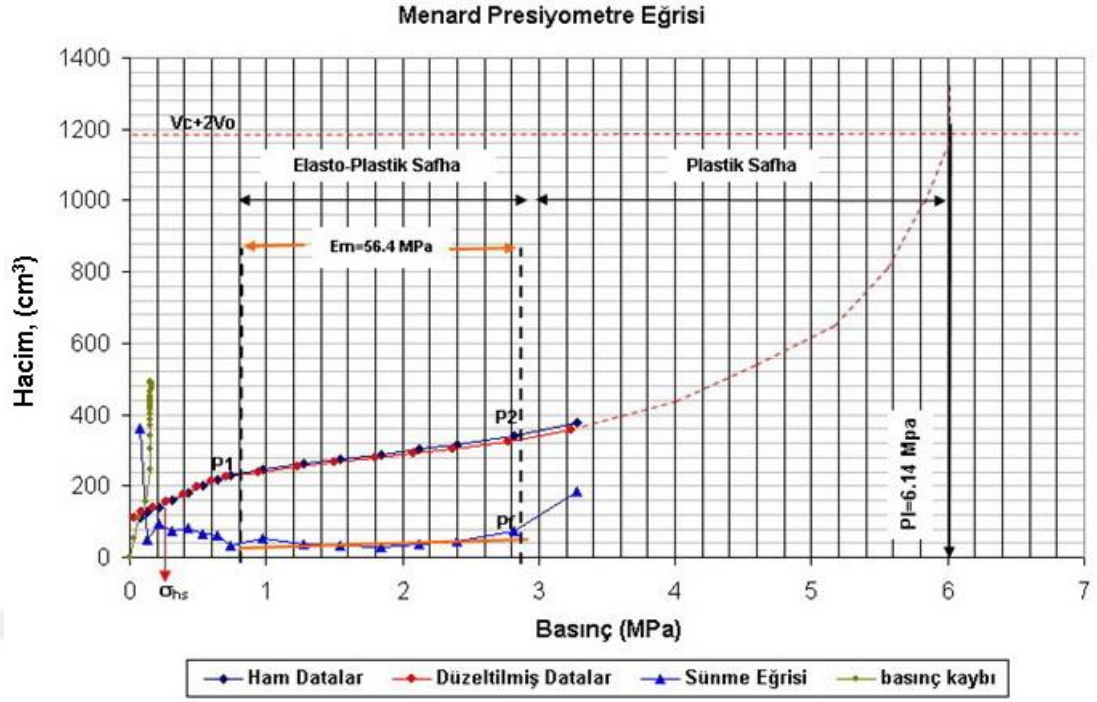
Basınç	MPa	Hacim	cm ³	
P_1	0.70	V_1	226.7	$E_m = 2(1 + \nu) \left[V_0 + V_m \right] \left(\frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1} \right)$ $V_m = (V_2 - V_1) / 2 + V_1$
P_2	2.77	V_2	326.3	
P_f	2.77	V_f	326.3	
		V_m	276.50	
Poisson oranı, $\nu = 0.33$ Probun ilk hacmi $V_0 = 744 \text{ cm}^3$ (Hacim kaybı testinden elde edilmiştir) Menard Modülü, $E_m = 2(1 + 0.33)(744 + 276.50)(0.02078)$, $E_m = 56.4 \text{ MPa}$				

▪ **Limit basıncın tespit edilmesi, PL**

Menard eğrilerinde, akma basıncı veya elastik safhanın sonu, limit basıncın 2/3 veya yarısına eşittir ($1/2 < P_f/PL < 2/3$). Bu bilgiye göre, limit basınç (PL), yaklaşık 4.15 - 5.54 MPa aralığında olabilir.

Limit Basınç, diğer bir yöntem olan ilk silindirik boşluk hacmi ilaveten enjekte edilen hacmin iki katına karşılık gelen basınç " $2 (V_c + v_{1/0})$ " olarak tanımlanır. Bu deneyde kullanılan probun ilk hacmi (hacim kaybı kalibrasyon testine göre) $V_{c/0} = 744 \text{ cm}^3$, eklenen hacim $v_1 = 226.7 \text{ cm}^3$ olup, Limit basınç $PL = 1197 \text{ cm}^3$ eklenen hacme karşılık gelir ($V_c + 2v_{1/0}$). Bu yöntem ile Şekil 6.10 da verilen modelde gösterildiği gibi, normal eğrinin asimptotunun apsisi elle tamamlanır.

Esenyurt DE-16 sondajı 12 m deki deney sonuçlarından çizilen Şekil 6.10 da ki Menard eğrisinden hesaplanan limit basıncı, PL ve Menard modülü E_m değerleri, aşağıdaki Tablo 6.5 da verilmiştir.

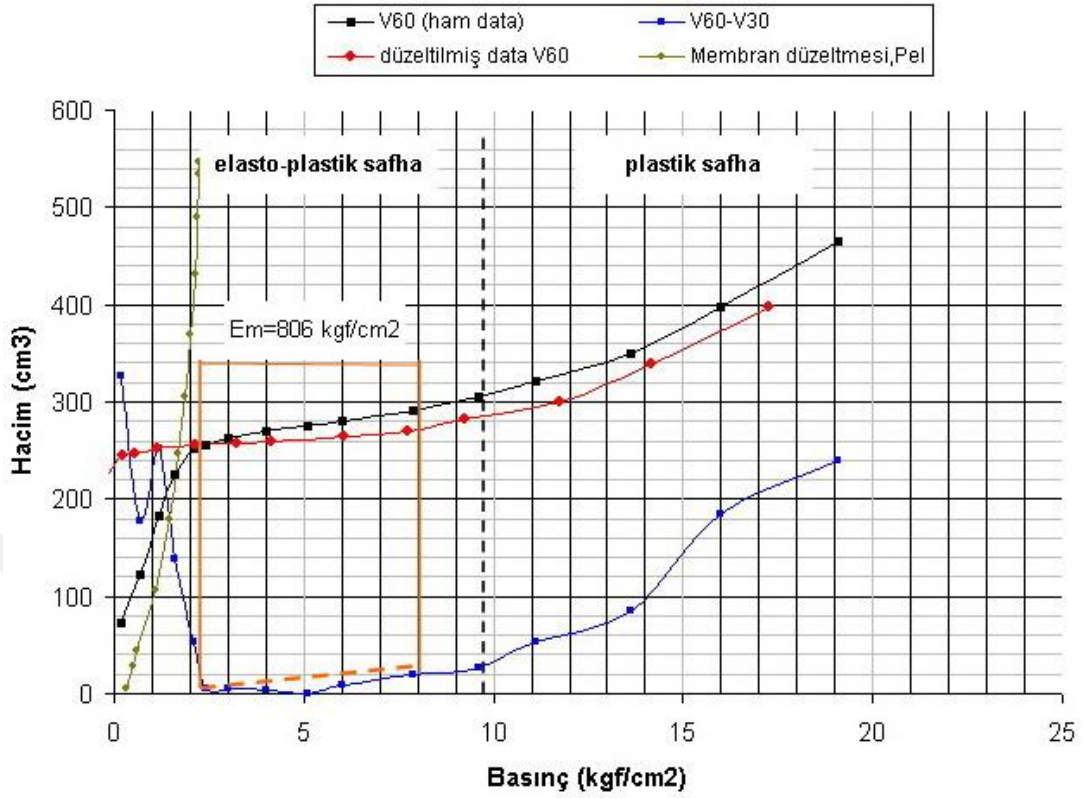


Şekil 6.10. Limit Basıncın tespitinde, normal eğrinin asimptotunun apsisinin elle tamamlanması

Tablo 6.5. DE-16 sondajı 12 m için limit basıncı, PL ve Menard modülü E_m değerleri.

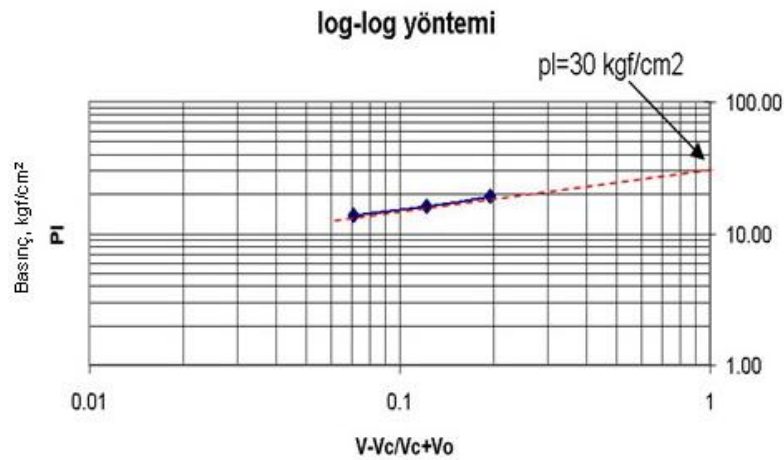
1. Örnek için hesaplanan Sonuçlar		
	MPa	kgf/cm ²
Yatay gerilme, σ_{hs}	0.108	1.10
Menard sünme basıncı, P_f	2.78 MPa	28.35
Limit basıncı, PL	6.14 MPa	62.6
Net limit basıncı, PL*	6.03 MPa	61.5
Menard Modülü, E_M	56.4 MPa	575.12
E_M / PL^*	9.35	

Menard eğrisinde, test sınırının plastik safhaya ulaştığında kullanılan extrapolational yöntemlerin uygulaması, Şekil 6.11 da verilen Karaağaç Köyü, SK-16 sondajı, konsolide kil-çamurtaşı olarak tanımlanan 5.0 m seviyesine ait 2. örnek Menard eğrisinde gösterilmiştir. Bu 2. örneğin, 1. örneğe göre plastik safhaya geçişi nisbeten daha belirgindir. Ancak genel olarak aşırı konsolide kil ve yumuşak kaya geçişlerinde, normal konsolide killerdeki gibi net plastik yenilme gözlenmez. Genelde deney elasto-plastik safhada sonlanır, ya da plastik safhaya hafif bir geçişler gözlenir.



Şekil 6.11. Karaağaç Köyü, SK-16 sondajı, 5.0 m seviyedeki konsolide kil-çamurtaşı ardışımına ait Menard Eğrisi.

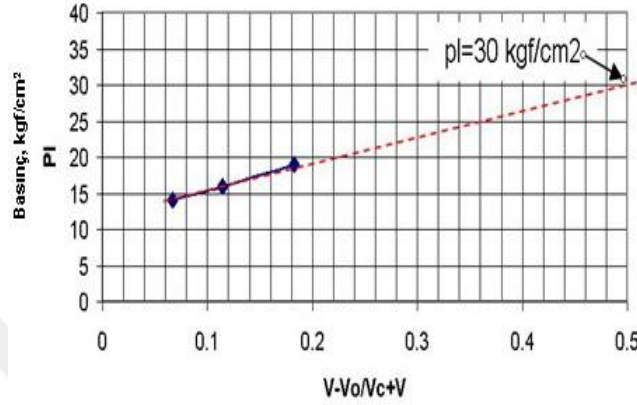
Şekil 6.11 de verilen Menard eğrisinde, plastik safhaya geçişi yansıtan son üç ölçüm verisinden log-log metodu ile fonksiyonun $V-V_0/V_c+V_0$ logaritmik koordinatları çizilir. Bu yöntemle Şekil 6.12 de verilen grafikte, fonksiyon plastik safhada düz eğrisi 1 i kestiği noktada, Limit basınca ulaşılır.



Şekil 6.12. Limit basınca (PL), log-log yöntemi ile tespiti.

Şekil 6.11 de verilen Menard eğrisinde, plastik safhaya geçişi yansıtan son üç ölçüm verisinden Bağlı hacimler metodu ile çizilen $V-V_0/V_c+V$ fonksiyonunun basınç eğrileri Şekil 6.13 de gösterilmiştir. Bu eğri de fonksiyon plastik safhada düz bir eğri sunar ve 0.5 e eşit olduğunda Limit basınca ulaşır.

bağlı hacim yöntemi



Şekil 6.13. Limit basıncın (PL), bağlı hacim yöntemi ile tespiti.

Şekil 6.11 da verilen (2.örnek) grafiğe göre, Menard eğrisinden hesaplanan net limit basıncı, PL ve Menard modülü E_m değerleri Tablo 6.6 de verilmiştir.

Tablo 6.6. SK-16 sondajı 5 m konsolide kil-çamurtaşı için limit basıncı, PL ve Menard modülü E_m değerleri.

2. örnek için hesaplanan Sonuçlar		
	MPa	kgf/cm ²
Yatay gerilme, σ_{hs}	0.053	0.54
Menard sünme basıncı, P_f	0.96	9.8
Limit basıncı, PL	2.94	30
Net limit basıncı, PL *	2.89	29.5
Menard Modülü, E_M	79	806
$E_M / PL *$	27.3	

6.2. Ataköy Otel Projesi

Ataköyde yapılacak bir otelin yerleşim alanında yapılan 3 sondaj kuyusunda, 2 şer metre aralıklar ile presiometre deneyi planlanmıştır. Ancak bu deneyler esnasında, üstteki plaj çökelinin kum-çakılları ile >30 m den daha derindeki Bakırköy Formasyonu'nu kireçtaşı-kil ardışımında yer yer kuyuda çöküntü ve membranların

yırılması nedeniyle, bazı derinliklerde deneyler yapılamamıştır. Presiyometre deney sonuçları Tablo 6.7 de verilmiştir. SK-4 kuyusundan 24 m de yapılan presiyometre deney sonucu Şekil 6.14 de sunulmuştur.

Tablo 6.7. Presiyometre deney sonuçları

Sondaj No	d (m)	Em (kg/cm ²)	PL* (kg/cm ²)	Em/ PL*
SK-3	2	70.88	1.86	38
	8.5	151.6	5.63	27
	10	114.9	4.34	26
	12	70.66	4.69	15
	14	337.86	22.87	15
	16	300.42	18.17	16
	18	618.56	13.07	47
SK-4	2	302.09	10.37	29
	4	409.3	16.47	25
	8	83.26	3.39	25
	10	69	4.94	14
	12	171.17	7.17	24
	14	50.04	7.57	7
	16	117.09	9.27	13
	18	5497.29	23.25	236
	20	127.46	15.09	8
	22	227.40	14.28	16
	24	1171.65	25.59	46
	26	1015.64	28.14	36
	30	20.39	1.53	13
	34	542.49	7.95	68
36	3213.13	21.82	147	
SK-8	2	96.87	5.71	17
	4	138.68	4.69	29
	6	33.65	1.33	25
	10	45.89	1.53	30
	12	113.19	3.37	34
	14	324.27	13.26	24
	16	501.70	16.83	29

Sahanın genel zemin profilini, yüzeyden itibaren kalınlığı 5.50 –12.0 m arasında değişen, suya doygun plaj çökeli olarak tanımlanan bir denizel bir malzeme (alüvyon+kuşdili Formasyonu) altında, 44.0 m ye kadar Bakırköy Formasyonu'nun kil-kireçtaşı ardışımından oluşmaktadır. Bakırköy Formasyonu'nun üst kesimlerinde ~ 13.0-15.0 m lere kadar, kil tabakalarının daha yoğun ve kalın, kireçtaçlarının ise, sık kırıklı-çatlaklı olduğu bir ayrışma zonu belirlenmiştir.

CELL PARAMETERS				TUBULURES ET FLUIDES				PRESSURE LOSS PARAMETERS				
Code	60-gtm75			Type	Coaxial <input checked="" type="checkbox"/>	Liquid	Nature	Eau	Correction sheet reference	ET10041206		
Length	Cover			Twin				Unit weight γ/γ_w	1.00	Ultimate pressure loss p_u (MPa)	0.232	
210 mm	X	Rubber	Total length (m)			Gas	Nature	Azote	VOLUME LOSS PARAMETERS			
370 mm		Reinforced mesh	0.50				Compressibility λ_{ij} (m ³)	0.00016	Correction sheet reference	CA10041202		
Type	Metallic mesh <input checked="" type="checkbox"/>			MEMBRANE PARAMETERS				Calibration cylinder diameter d (mm)				
E	Metallic strips			Supplier type and cote				78.0				
G	Slotted tube			Pressure loss p_b (MPa)				0.040				
				Calibration coefficient a (cm ³ /MPa)				3.590				
				Probe volume V_0 (cm ³)				740.7				

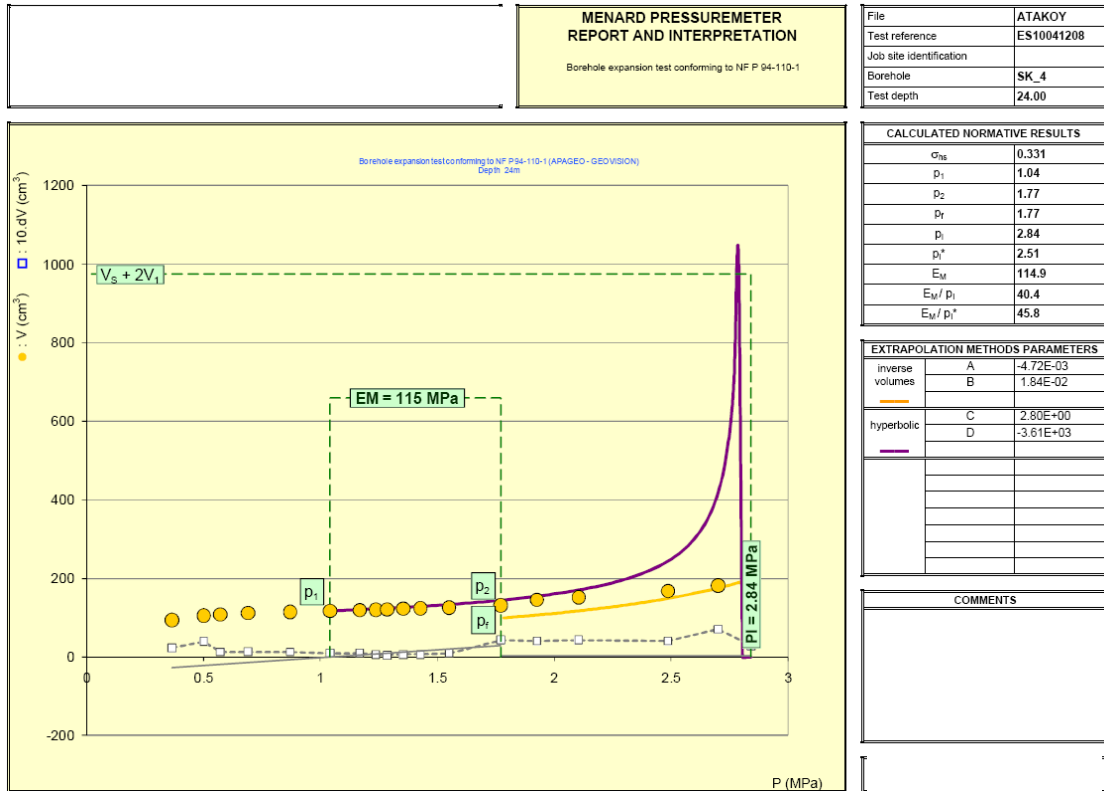
TEST		TEST number (or depth)	ES10041208
TEST		Test date and time	12.04.2010 17:37
TEST		Control unit number	1024
TEST		Data logger number	AG71
TEST		Operator's name	DURRUN ULUCAN
TEST		Differential pressure (MPa)	0.016
TEST		Observations (weather, etc.)	

Step	FIELD DATA						DATA CORRECTED from P&V losses					
	PRESSURES p_t (MPa)			VOLUMES $V(t)$ (cm ³)			PRESSURE	VOLUME	SLOPE m_t	CREEP		
	1 s	15 s	30 s	1 s	15 s	30 s	p (MPa)	V (cm ³)	$\Delta V^{(corr)}/\Delta p$	$\Delta V^{(corr)}$		
0												
1	0.299	0.191	0.194	0.196	11.1	76.5	91.7	94.0	0.365	93.3	2.3	
2	0.196	0.227	0.290	0.341	94.3	95.1	102.2	106.1	0.501	104.9	27	3.9
3	0.351	0.371	0.389	0.414	106.4	107.3	108.3	109.5	0.571	108.0	-4	1.2
4	0.423	0.463	0.496	0.537	109.8	111.0	112.2	113.5	0.691	111.6	-11	1.3
5	0.574	0.633	0.673	0.719	114.1	115.4	116.3	117.5	0.870	114.9	-12	1.2
6	0.729	0.798	0.840	0.892	117.7	118.5	119.4	120.3	1.041	117.1	-8	0.9
7	0.897	0.944	0.975	1.020	120.6	120.9	121.5	122.5	1.167	118.8	1	0.9
8	1.026	1.045	1.060	1.089	122.8	122.8	123.1	123.7	1.236	119.8	6	0.6
9	1.092	1.107	1.120	1.139	124.0	124.3	124.5	124.9	1.285	120.9	17	0.4
10	1.142	1.160	1.183	1.210	125.0	126.4	126.8	127.4	1.355	123.1	29	0.6
11	1.217	1.238	1.258	1.285	127.7	128.0	128.3	129.0	1.428	124.3	19	0.6
12	1.292	1.330	1.368	1.408	129.1	129.6	130.2	131.1	1.549	126.1	19	0.9
13	1.422	1.518	1.579	1.634	131.2	132.2	133.3	137.6	1.771	131.7	38	4.3
14	1.643	1.702	1.736	1.798	138.5	139.8	147.8	151.8	1.925	145.4	109	4.0
15	1.805	1.822	1.867	1.982	152.4	154.0	155.2	159.5	2.104	152.4	65	4.3
16	2.071	2.246	2.308	2.375	160.8	167.4	172.2	176.2	2.486	167.7	75	4.0
17	2.432	2.508	2.551	2.599	178.4	181.8	184.6	191.6	2.700	182.3	113	7.0
18	2.620	2.679	2.715	2.745	192.5	194.9	197.7	200.6	2.840	190.7	109	2.8
19												
20												
21												
22												
23												
24												

LEVELS		Return	Levels	Relative levels
LEVELS		Z_c		1.00
LEVELS		Z_n		(borehole top)
LEVELS		Z_w		1.00
LEVELS		Z_e		24.00

BOREHOLE		Localization system	X =	Y =
BOREHOLE		Drilling rig		
BOREHOLE		Drilling method (table C abbreviations)	ROTOP	
BOREHOLE		Drilling tool type		
BOREHOLE		diameter (mm)		
BOREHOLE		Casing foot at (m depth)		
BOREHOLE		Drilling fluid		
BOREHOLE		Drilling length before testing	from level (m)	22
BOREHOLE		time completed	to level (m)	24

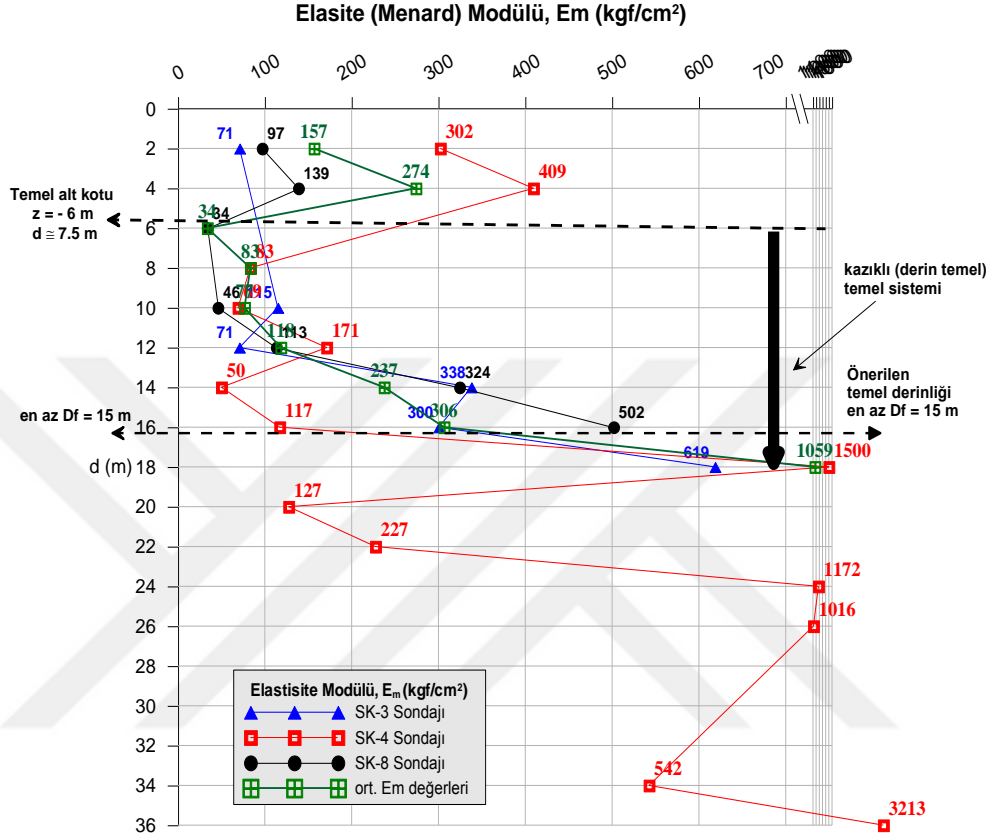
UNITS		
Elevations	metre	m
Time	second	s
Volumes	cubic centimetre	cm ³
Pressures	Megapascal	MPa



Şekil 6.14. SK-4 sondajı 24 m deki presiyo metre deneyi

Sahada genel istif kireçtaşı ve sert killerden oluşmaktadır. Ancak sondajlarda kireçtaşı ara tabakalarındaki killerden numune alınamadığı için, istif içindeki kilin laboratuvar ortamındaki, kayma direnci tespit edilememiştir. Arazide, istifin doğal

halini en iyi yansıtan, presiometre deneyidir. Menard modülünün (E_m) derinlikle değişimi Şekil 6.15 de verilmiştir. Taşıma gücü analizlerinde de, lokal noktalardaki dayanımlı kireçtaşlarına ait Tablo 6.8 verilen laboratuvar deneyleri yerine, istifin heterojenliğini de yansıtan presiometre deney sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 6.15. Elastite Modülünün (E_m) derinlikle değişimi.

Tablo 6.8. Bakırköy Formasyonu'nun kireçtaşlarına ait mekanik deney sonuçları.

Serbest Basma Dayanımı, σ_c	18.8 – 21.0 MPa
Çekme Dayanımı, σ_t	2.0 - 3.97 MPa
Birim Hacim Ağırlığı, ρ_n	22.35 – 25.0 kN/m ³
Poisson oranı, ν	0.19 – 0.37
Elastisite Modülü, E_m	0.3-11.3 GPa

Bu presiometre verilerine göre, 3 bodrum + 1 zemin + 1 ara kat + 19 normal kattan oluşan, yapı yüksekliği H_{max} : 72 m olan otel binasının aşağıda verilen proje bilgilerine göre, Foxta programı ile taşıma gücü ve deformasyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler, sahanın genel zemin profiline göre, yapı temelinin en az 15.0 m den sonraki ince kil aratabakalı kireçtaşlarına taşıtılması önerilmiştir. Bu nedenle, analizlerde, $D_f=15.0$ m alınmıştır.

Ana bina

Yapı yükü, Q= 45.000 ton
Temel boyutları, 50 x 60 m
Temel alt kotu, z= - 6.0 m
Temel derinliği, d ≈ 7.30 m
Net taban gerilmesi, $q_{net} \approx 1.5 \text{ kgf/cm}^2$

Toplam bina Alanı

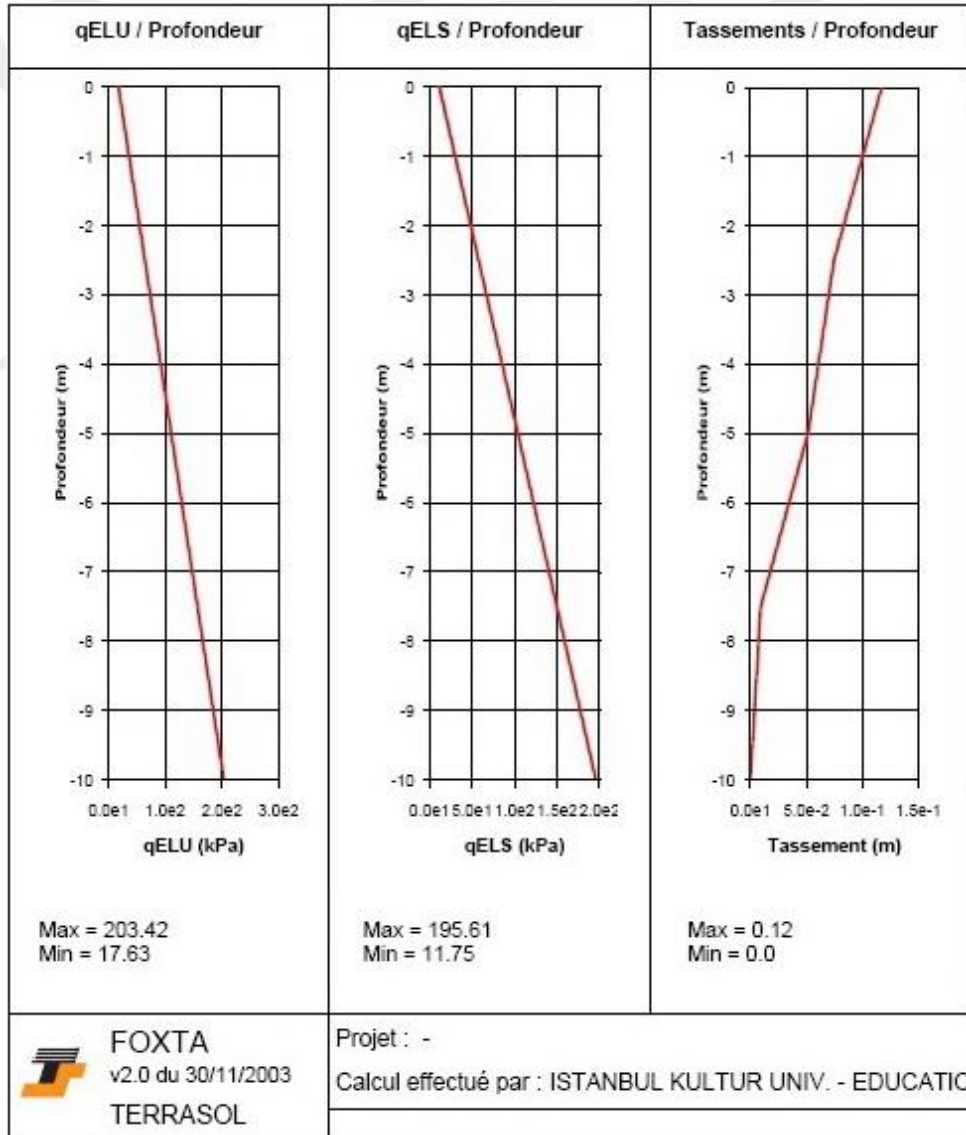
Yapı yükü, Q= 60.000 ton
Temel boyutları, 70 x 105 m
Temel alt kotu, z= - 6.0 m
Temel derinliği, d ≈ 7.30 m
Net taban gerilmesi, $q_{net} \approx 0.8 \text{ kgf/cm}^2$

Otel binası temellerinin en az 15.0 m derindeki Bakırköy Formasyonu'nun ince kil ara tabakalı kireçtaşlarına taşılması durumunda,

Son limit Durumuna göre Taşıma Gücü, $q_{ELU}=295 \text{ kN/m}^2$

Hizmet Görebilirlik Durumuna göre Taşıma Gücü, $q_{ELS}=287 \text{ kN/m}^2$

hesaplanmıştır. Bu temel seviyesinden daha sığ derinliklerde de yaklaşık 10.0 m den sonra oturmaların azaldığı Şekil 6.16 görülmektedir.



Şekil 6.16. Foxta programında taşıma gücü ve deplasmanların derinlikle değişimi.

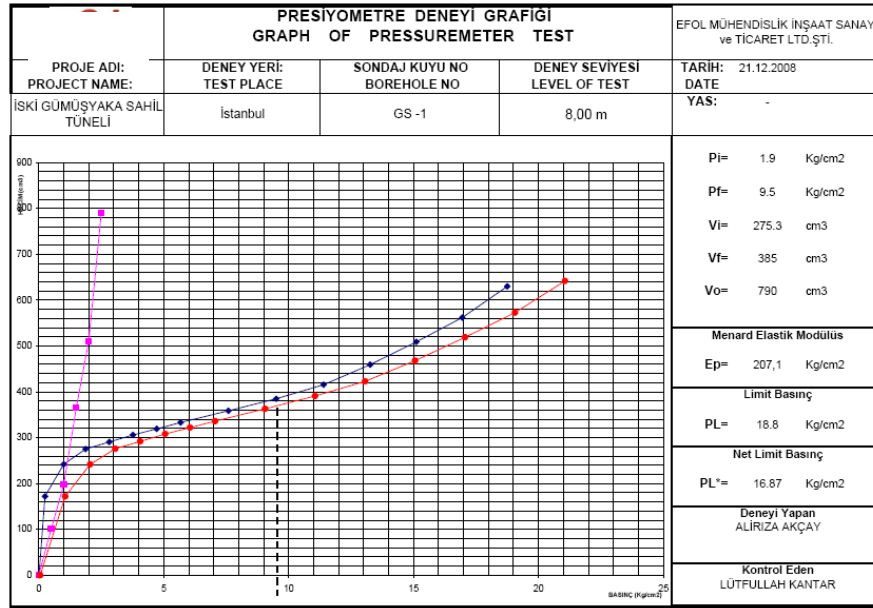
6.3. Gümüşyaka-Çanta Atıksu Tüneli

İncelenen tünel güzergahı boyunca 6 mekanik sondajda 2 şer metre aralıklar ile presiyometre deneyleri yapılmıştır. İnceleme alanında jeoloji, Oligosen yaşlı Gürpınar Formasyonu kil-aşırı konsolide kil-kumtaşı-kum ardışımından oluşmaktadır. Aşırı konsolide killerde yapılan presiyometre deney sonuçları Tablo 6.9 de verilmiştir.

Tablo 6.9. Gümüşyaka - Çanta Tüneli presiyometre deney sonuçları

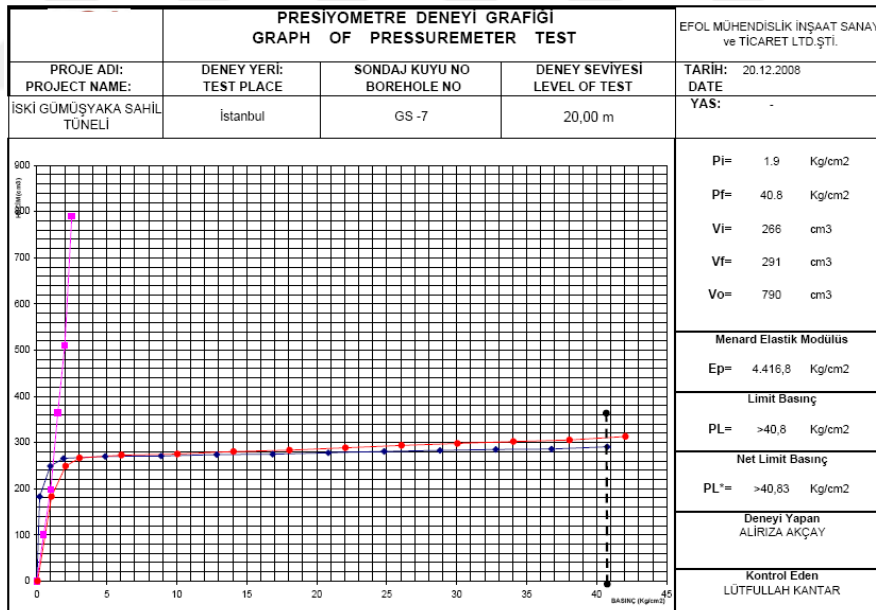
Sondaj No	Derinlik (m)	Presiyometre (elastik) Modülü E_m (kg/cm ²)	Net Limit Basıncı PL^* (kg/cm ²)	E_m/PL^*	Litoloji
GS-1	8*	207	16.87	12.3	aşırı konsolide kil
	10	479	35.97	13.3	aşırı konsolide kil
	12	2224	>38.7	57.5	aşırı konsolide kil
	14	414	33.79	12.3	aşırı konsolide kil
	16	593	37.85	15.7	aşırı konsolide kil
	18	775	36.01	21.5	aşırı konsolide kil
GS-4	8*	656	35.87	18.3	aşırı konsolide kil
	10	2665	>40.7	65.5	aşırı konsolide kil
	12	660	35.9	18.4	aşırı konsolide kil
	14	526	33	15.9	aşırı konsolide kil
	16	2666	>40	66.7	aşırı konsolide kil
	18	813	34.06	23.9	aşırı konsolide kil
	20	2354	>40.7	57.8	aşırı konsolide kil
	25	708.2	35.87	19.7	aşırı konsolide kil
	32.5	671.6	37.93	17.7	aşırı konsolide kil
36	2988.8	40.7	73.4	aşırı konsolide kil	
GS-7	16	1324	37.97	34.9	Kumtaşı-A.konsolide kil A.
	18	2334	>41.6	56.1	Kumtaşı-A.konsolide kil A.
	20*	4416	>40.8*	108.2	Kumtaşı-A.konsolide kil A.
	22	3432	>40.7	84.3	Kumtaşı-A.konsolide kil A.
	24	654.5	37.97	17.2	Kumtaşı-A.konsolide kil A.
	26	2850.9	>40.7	70.0	Kumtaşı-A.konsolide kil A.
	28	915.8	35.94	25.5	Kumtaşı-A.konsolide kil A.
30	628.8	>37.91	16.6	Kumtaşı-A.konsolide kil A.	
GS-9	8*	2577.7	>40.7	63.3	aşırı konsolide kil
	10	691	38.01	18.2	aşırı konsolide kil
ÇD-4	14	644.8	37.8	17.1	aşırı konsolide kil
	16	2681.9	>41	65.4	aşırı konsolide kil
	18	2952.3	>41	72.0	aşırı konsolide kil
	20	1268.4	37.8	33.6	aşırı konsolide kil
ÇD-8	18	490.3	35.8	13.7	aşırı konsolide kil
	20	2117.7	>39.4	53.7	aşırı konsolide kil

* İşaretili kuyulara ait presiyometre eğrileri Şekil 6.17, 6.18, 6.19 ve 6.20 da sırayla verilmiştir.



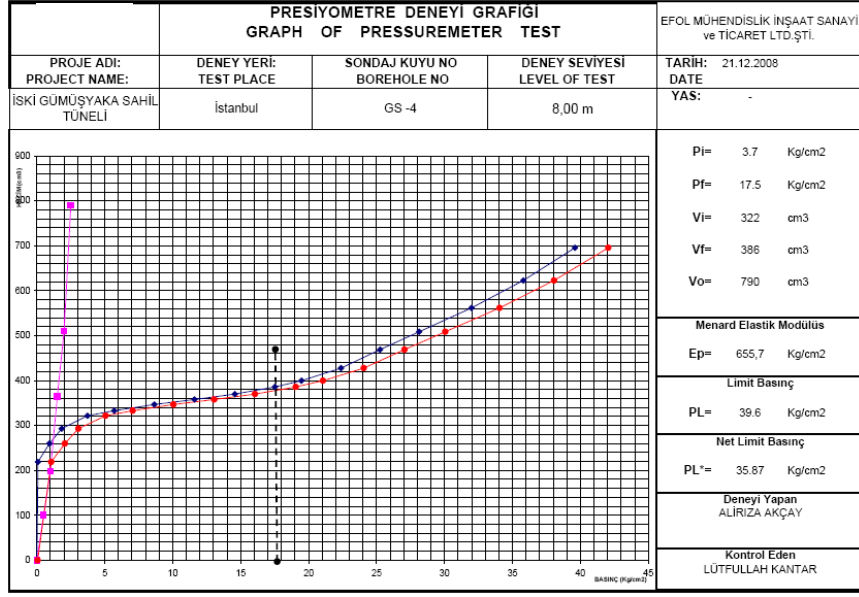
Şekil 6.17. Aşırı konsolide kile ait Menard eğrisi

GS-1 sondajı, 8 m nin Menard eğrisinde, sünme basıncı, $P_f = 9.5 \text{ kgf/cm}^2$ bulunmuştur. Aşırı konsolide killer için, P_f ile ön konsolidasyon basıncı σ_c arasındaki $\sigma_c = 0.6P_f$ (Martin and Drahos, 1986) bağıntısına göre, $\sigma_c = 5.7 \text{ kgf/cm}^2$ olup, doğal zemin gerilmesi $\sigma_z = 1.12 \text{ kgf/cm}^2$ ($z=5 \text{ m}$, $p_n=24 \text{ kN/m}^3$) ye oranı, konsolidasyon katsayısı **OCR= 5** bulunmuştur.



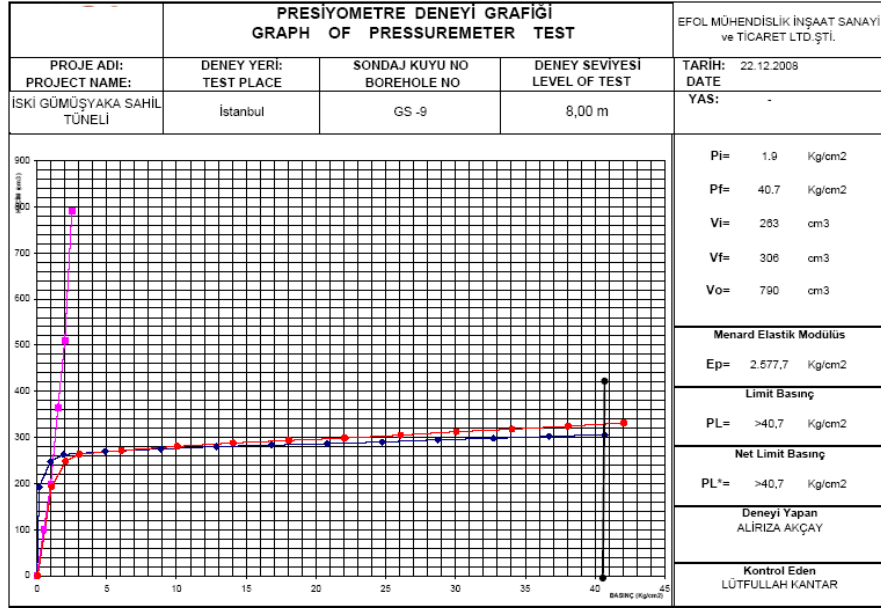
Şekil 6.18. Kumtaşı-Aşırı konsolide kil ardışımına ait Menard eğrisi

GS-7 sondajı, 20 m nin Menard eğrisinde, sünme basıncı, $P_f = 40.8 \text{ kgf/cm}^2$ bulunmuştur. Aşırı konsolide killer için, P_f ile ön konsolidasyon basıncı σ_c arasındaki $\sigma_c = 0.6P_f$ bağıntısına göre, $\sigma_c = 24.5 \text{ kgf/cm}^2$ olup, düşey zemin gerilmesi $\sigma_z = 4.7 \text{ kgf/cm}^2$ ($z=20 \text{ m}$, $p_n=23 \text{ kN/m}^3$) ye oranı, konsolidasyon katsayısı **OCR= 5.2** bulunmuştur.



Şekil 6.19. Aşırı Konsolide kile ait Menard Eğrisi

GS-4 sondajı, 8 m nin Menard eğrisinde, sünme basıncı, $P_f=17.5 \text{ kgf/cm}^2$ bulunmuştur. Aşırı konsolide killer için, P_f ile ön konsolidasyon basıncı σ_c arasındaki $\sigma_c=0.6P_f$ bağıntıya göre, $\sigma_c=10.5 \text{ kgf/cm}^2$ olup, düşey zemin gerilmesi $\sigma_z= 1.79 \text{ kgf/cm}^2$ ($z=8 \text{ m}$, $p_n=22 \text{ kN/m}^3$) ye oranı, konsolidasyon katsayısı **OCR= 5.86** bulunmuştur.



Şekil 6.20. Aşırı Konsolide kile ait Menard Eğrisi

GS-9 sondajı, 8 m nin Menard eğrisinde, sünme basıncı, $P_f=40.7 \text{ kgf/cm}^2$ bulunmuştur. P_f ile ön konsolidasyon basıncı σ_c arasındaki $\sigma_c=0.6P_f$ bağıntıya göre, $\sigma_c=24.4 \text{ kgf/cm}^2$ olup, düşey zemin gerilmesi $\sigma_z=1.87 \text{ kgf/cm}^2$ ($z=8 \text{ m}$, $p_n=23 \text{ kN/m}^3$) ye oranı, konsolidasyon katsayısı **OCR= 13** bulunmuştur.

Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killerde yapılan presiyometre deney sonuçlarına göre, tipik Menard Modülü, E_m ve Net Limit basıncına (PL^*) ait minimum, maksimum ve ortalama değerler Tablo 6.10 de verilmiştir.

Tablo 6.10. Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killere ait tipik Menard Modülü, E_m ve Net Limit basıncına (PL^*) değerleri.

	Menard (Elastisite) Modülü, E_m		Net Limit Basıncı PL^*		E_m/PL^*
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa	
min	207.0	20.3	16.9	1.65	12.3
max	4416.0	433	>41.6	>4.0	108.2
ort	1753.6	172	37.8	3.7	44.4

Bu proje kapsamında konsolide killerden alınan karot numuneleri üzerinde yaptırılan laboratuvar deney sonuçları tablo Tablo 6.11 de verilmiştir.

Tablo 6.11. Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killere ait Laboratuvar deney sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Kayada Serbest Basma Deneyi, σ_c (MPa)	Doğal Birim Hacim Ağı., ρ_n (kN/m ³)	Elastisite Modülü, E (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Gürpınar Formasyonu (Güf)
GS-4	47.00	6.20	22.68	2.61	0.15	aşırı konsolide kil
GS-4	48.50	1.80	-	1.23	0.22	aşırı konsolide kil
GS-6	41.00	9.05	22.66	-	-	aşırı konsolide kil
GS-7	25.00	2.92	23.93	-	-	aşırı konsolide kil
GS-8	21.00	3.94	23.41	3.4	0.29	aşırı konsolide kil
ÇD-5	49.00	5.74	23.62	-	-	aşırı konsolide kil
ÇD-5	62.00	7.63	22.52	-	-	aşırı konsolide kil
ÇD-6	59.50	7.46	24.09	0.84	0.26	aşırı konsolide kil
GK-9	11.20	2.98	25.51	-	-	A.Konsolide kil art.kumtaşı

Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killere ait Tablo 6.11 de verilen deney sonuçlarına göre, basma dayanımı (σ_c), doğal birim hacim ağırlığı (ρ_n), Elastisite Modülü (E) ve Poisson oranının (ν) minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 6.12 de verilmiştir.

Tablo 6.12. Gürpınar Formasyonu'nun aşırı konsolide killere, laboratuarda ölçülen tipik mekanik deney sonuçlarının min, max. ve ortalama değerleri.

	Kayada Serbest Basma Deneyi, σ_c (MPa)	Doğal Birim Hacim Ağ., ρ_n (kN/m ³)	Elastisite Modülü, E		Poisson Oranı (ν)
			GPa	MPa	
min	1.80	22.52	0.84	840	0.15
max	11.80	25.51	3.40	3400	0.35
ort	6.57	23.70	2.02	2020	0.28

Konsolide killer, serbest basma dayanımı değerlerine göre, sert zemin-çok yumuşak kaya sınıfına girmektedir (Palicki, 1997).

Bu aşırı konsolide killerin Briaud (1992) 'a göre, Menard Modülü, E_m ve Elastisite (Young) Modülü arasında verilen $E = E_m/\alpha$ bağıntısında, α değeri zemin türüne ve gerilme tarifine bağlı olarak 1 ile $\frac{1}{4}$ aralığında değişmektedir. Ancak, aşağıda Tablo 6.13 te verilen killerin laboratuvar ortamında ölçülen Elastisite modülü, E ve Menard modülü arasında büyük fark olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.13. Laboratuvar ve presiyometre deney sonuçlarına göre Menard modülü, E_m ve Elastisite modülünün E karşılaştırılması.

	Menard (Elastisite) Modülü, E_m (MPa)	Laboratuvar Elastisite Modülü, E (MPa)
min	20.3	840
max	433	3400
ort	172	2020

6.4. B. Çekmece - Karağaç Köyü

B.Çekmece Karağaç Köyünde yapılan SK-16 sondajında 2.0 m aralıklar ile 10 adet presiyometre deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde aşırı konsolide kil ile aşırı konsolide kil ara tabakalı çamurtaşı olarak adlandırılan bir istif kesilmiştir. Bu istife ait presiyometre deney sonuçları Tablo 6.14 de verilmiştir. Bu sondajın karot numuneleri Şekil 6.21 , sondaj logu ise Şekil 6.22 de gösterilmiştir.

Tablo 6.14. Aşırı Konsolide kil-çamurtaşlarına ait presiometre deney sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Net Limit Basınç, PL (kg/cm ²)	Elastisite Modülü, E _m (kg/cm ²)	E _m /PL
SK-16	1	18.1	352	19
	3	13.8	1016	86
	5	31.4	806	26
	7	30.7	953	31
	9	31.5	852	27
	11	31.7	789	25
	13	20.5	1032	50
	15	19.2	1212	63
	17	21.7	966	44
	19	21.5	1154	55

Tablo 6.14 de verilen presiometre deney sonuçlarına göre, Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncına (PL*) ait minimum, maksimum ve ortalama değerler Tablo 6.15 de verilmiştir.

Tablo 6.15. Aşırı Konsolide kil-çamurtaşlarına min., max. ve ortalama Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL*) değerleri

	Menard (Elastisite) Modülü, E _m		Net Limit Basıncı PL*		E _m / PL*
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa	
min	352	34.5	11.7	1.14	19.4
max	1212	118.8	31.7	3.1	86
ort	913.2	89.5	23.8	2.33	42.53

Aşırı konsolide kil-çamurtaşları için presiometre arazi verilerinden çizilen presiometre eğrisi Şekil 6.23 de verilmiştir. Bu eğrilerde, aşırı konsolide killerde, elasto - plastik safhanın yataya yakın düz bir şekilde devam ettiği ve plastik safhaya geçilmeden deneylerin sonlandırıldığı görülmektedir.

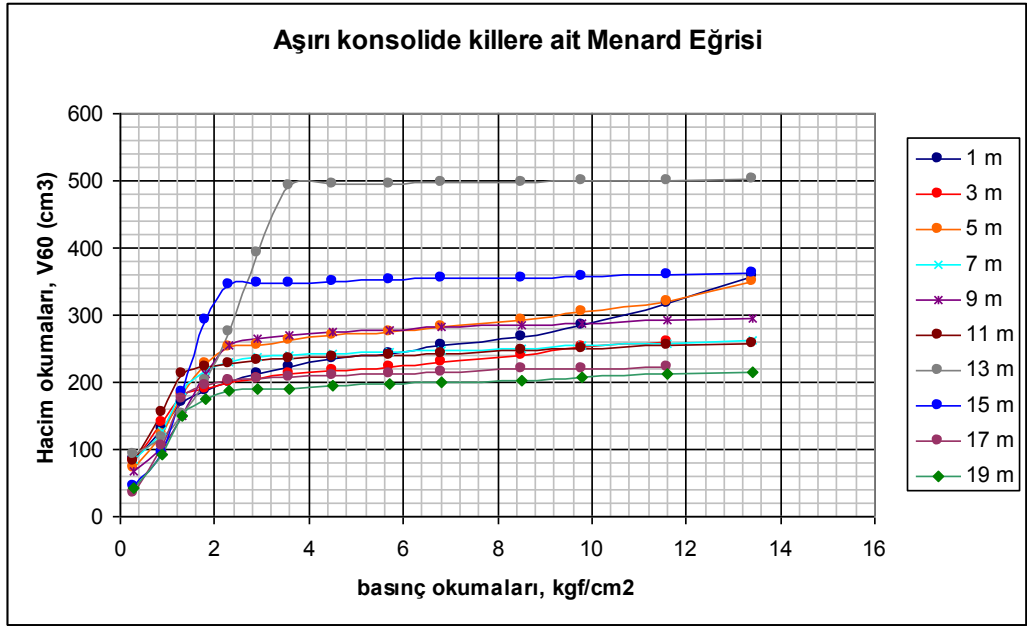


SK-16 sondajına 0.0-9.20 m ler arasındaki konsolide kil aratabakalı çamurtaşları



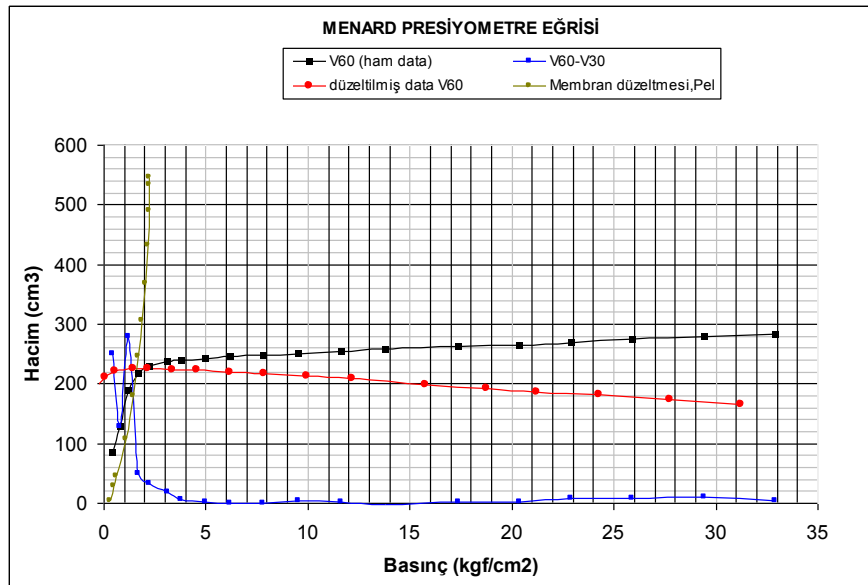
SK-16 sondajına 9.20-20.0 m ler arasındaki çamurtaşları.

Şekil 6.21. SK-16 sondajına ait karot numuneleri



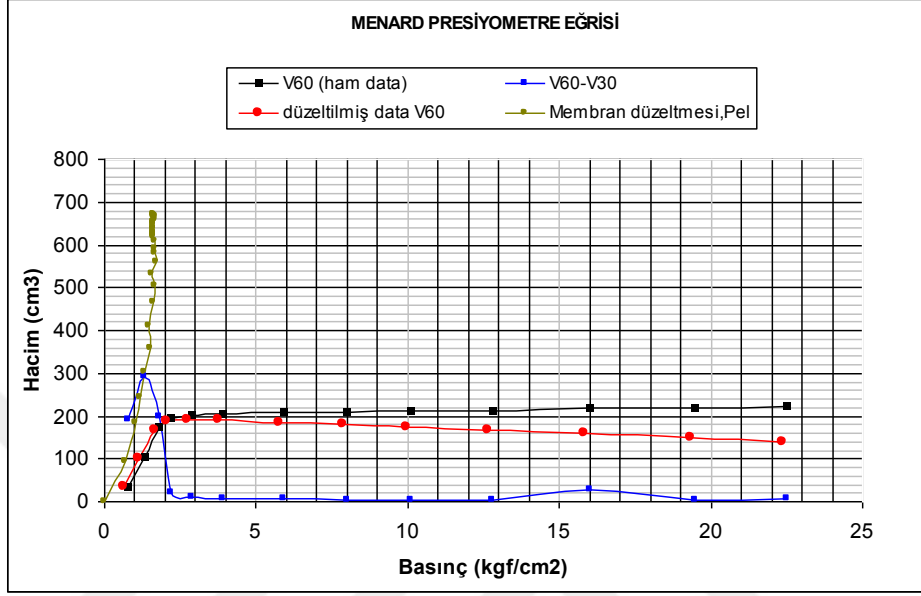
Şekil 6.23. SK-16 sondajına geçilen aşırı konsolide kil-çamurtaşları için Menard eğrileri.

Bu presiometre deneyinde 7.0 m ve 17.0 m de seviyelerdeki Menard eğrileri aşağıda sırayla Şekil 6.24 ve Şekil 6.25 de gösterilmiştir. Bu eğrilerde plastik safha görülmediği için düzeltilmiş son basınç okuması, limit basınç olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, yine aşırı konsolide kil-yumuşak kaya nitelikli çamurtaşların da deney zemin yenilmeden (plastik safhaya geçmeden) sonlandırıldığı için, en son verilen basınç artışı kademesi ile elastik safhadaki düz çizgiden hesaplanan presiometre modülü arasındaki E_m/PL oranı artmaktadır.



Şekil 6.24. 7.0 m ye ait Menard Eğrisi

7.0 m için çizilen Menard eğrisinde, limit basınç, $PL=30.7 \text{ kgf/cm}^2$, Elastisite Modülü, $E_m=953 \text{ kgf/cm}^2$ dir. Bu tür Menard eğrilerinde, limit basınç PL, sünme basıncı P_f ye eşittir. P_f ile ön konsolidasyon basıncı σ_c arasındaki $\sigma_c = 0.6P_f$ bağıntısına göre, $\sigma_c=18.42 \text{ kgf/cm}^2$ olup, düşey zemin gerilmesi $\sigma_z=1.35 \text{ kgf/cm}^2$ ($z=7 \text{ m}$, $p_n=19 \text{ kN/m}^3$) dir. Bu seviyeki çamurtaşları için, konsolidasyon katsayısı **OCR = 13.6** bulunmuştur.



Şekil 6.25. 17.0 m ye ait Menard Eğrisi

17.0 m derinlikteki deney için çizilen Menard eğrisinde, limit basınç, $PL = 21.7 \text{ kgf/cm}^2$, Elastisite Modülü, $E_m=966 \text{ kgf/cm}^2$ dir. Bu tür eğrilerde, limit basınç PL, sünme basıncı P_f ye eşittir. P_f ile ön konsolidasyon basıncı σ_c arasındaki $\sigma_c = 0.6P_f$ bağıntısına göre, $\sigma_c = 13.0 \text{ kgf/cm}^2$ olup, bunun düşey zemin gerilmesi $\sigma_z= 1.56 \text{ kgf/cm}^2$ ($z=17 \text{ m}$, $p_n=19 \text{ kN/m}^3$) ye oranı ile , konsolidasyon katsayısı **OCR= 8.3** bulunmuştur.

Bu proje kapsamında aşırı konsolide kil - çamurtaşlarından alınan karot numuneleri üzerinde yaptırılan laboratuvar deney sonuçları Tablo 6.16 de verilmiştir.

Tablo 6.16. Aşırı Konsolide kil - çamurtaşı seviyelerine ait mekanik deney sonuçlarının maksimum ve ortalama değerleri.

	Serbest Basma Deneyi (UC)		Kayada Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyi		Serbest Basma Deneyi σ_c (MPa)	Doğal Birim Hacim ağırlığı ρ (kN/m^3)	Elastisite Modülü E		Poisson Oranı
	q_u (MPa)	c_u (MPa)	c (MPa)	ϕ ($^\circ$)			GPa	MPa	
min	2.48	1.24	-	-	1.39	14.98	0.51	510	0.20
max	4.27	2.13	-	-	13.30	22.59	57.0	57000	0.25
ort	3.38	1.69	0.23	38	7.90	19.77	12.6	12630	0.23

Aşırı konsolide kil-çamurtaşları, serbest basma dayanımı değerlerine göre, sert zemin-çok yumuşak-yumuşak kaya sınıfına girmektedir (Palicki, 1997). Bu aşırı konsolide killerin Menard Modülü, E_m ve Elastisite (Young) Modülü arasında, Briaud (1992) 'a göre $E = E_m/\alpha$ bağıntısında, α değerinin zemin türüne ve gerilme tarifine bağlı olarak 1 ile $\frac{1}{4}$ aralığında değiştiği bilinmektedir. Ancak Tablo 6.17 verilen aşırı konsolide kil-çamurtaşı istifinin laboratuvar ortamında ölçülen elastisite modülü, E ve Menard modülü E_m arasında çok büyük fark olduğu görülmektedir.

Tablo 6.17. Laboratuvar ve presiyometre deney sonuçlarına göre Menard modülü, E_m ve Elastisite modülünün E karşılaştırılması (Anadolu Yerbilimleri, Rapor No : 2010-926).

	Menard (Elastisite) Modülü, E_m (MPa)	Laboratuvar Elastisite Modülü, E (MPa)
min	34.5	510
max	118.8	57.000
ort	89.5	12.630

SK-16 sondajına ait otomatik kayıt cihazı ile arazi alınan deney kayıtları Şekil 6.26 ve Şekil 6.27 de toplu olarak gösterilmiştir.

6.5. Kurtköy – Sancaktepe Proje Sahası

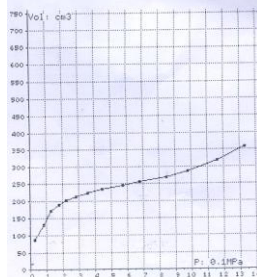
İBB Akademik Araştırmaları Destekleme (Projem İstanbul) 5. Dönem (2009) projesi kapsamında, Kurtköy-Sancaktepe bölgesinde iki mekanik sondaj (SK-1 ve SK-2) kuyusunda presiyometre deneyleri yapılmıştır (Tablo 6.18). Bölgede genel jeolojiyi, kendi ismi ile adlandırılan Sancaktepe Graniti yeralmaktadır. Sancaktepe Graniti ayrışma etkisiyle, kuvars veya feldispatların oranına göre farklı mekanik özellikler kazanmaktadır. Sahada yapılan SK-2 kuyusunda (kuvars taneleri serbestleşmiş kumlardan oluşan) arena, SK-1 kuyusunda (feldispatları kaolenleşmiş) sert zemin nitelikli ayrışmış granit kesilmiştir. Bu bölgede presiyometre deneyi yapılmasının sebebi, Anadolu Yakası Mikrobölgeleme (2009) etüdü kapsamında, arena ve ayrışmış granitlerden, örselenmemiş numune alınamaması nedeniyle, mekanik özelliklerinin tespit edilememesidir.

APAGEO
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AS71

-- VUKSEL KAVR 00903123945002 --
Job Number: APAGEO
Boring :TEST Operator :DURSUN ULU
Date :08/04/2010 Time :16:53
File :ES100408.06 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-7
Volume Loss : CR-7
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 0 - 1 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 1 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv/60s
5s	15s	30s	60s
Contact Volume (cm3): -00.6			
1	00.3	022.5 049.4 1037.1	086.0
2	00.9	102.7 113.4 1017.1	129.9
3	01.3	140.6 158.3 1011.1	169.4
4	01.8	161.8 187.0 1001.1	188.3
5	02.3	196.4 199.1 1002.1	200.0
6	02.9	208.1 210.6 1002.1	212.7
7	03.6	219.3 221.5 1002.1	222.0
8	04.5	230.7 232.5 1002.1	234.1
9	05.7	243.0 243.4 1000.1	242.8
10	06.8	252.3 253.9 1001.1	254.6
11	08.5	265.4 266.4 1002.1	269.4
12	09.8	278.6 282.7 1003.1	285.3
13	11.6	299.9 309.6 1000.1	317.2
14	13.4	329.6 344.1 1013.1	356.8
5	P _a Diff = -0.26 >0.1MPa		

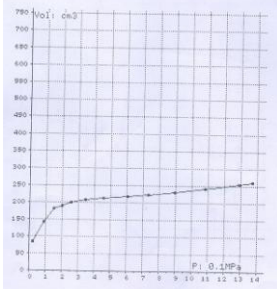


APAGEO
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AS71

-- VUKSEL KAVR 00903123945002 --
Job Number: APAGEO
Boring :TEST Operator :DURSUN ULU
Date :08/04/2010 Time :17:17
File :ES100408.07 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-7
Volume Loss : CR-7
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 1 - 3 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 3 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv/60s
5s	15s	30s	60s
Contact Volume (cm3): -00.3			
1	00.3	019.4 046.6 1036.1	083.1
2	00.9	105.4 119.6 1021.1	140.3
3	01.5	161.1 179.1 1007.1	180.9
4	02.0	187.3 188.8 1001.1	237.4
5	02.6	195.6 197.2 1002.1	280.9
6	03.5	203.1 204.5 1001.1	295.5
7	04.6	210.0 211.0 1001.1	311.6
8	06.1	226.7 217.2 1000.1	327.5
9	07.4	222.0 222.9 1000.1	322.9
10	09.0	228.5 229.0 1001.1	330.1
11	10.8	237.5 238.6 1001.1	340.5
12	12.9	249.0 250.9 1002.1	352.6
13	13.8	257.7 258.5 1001.1	360.0
5	P _a Diff = -0.25 >0.1MPa		

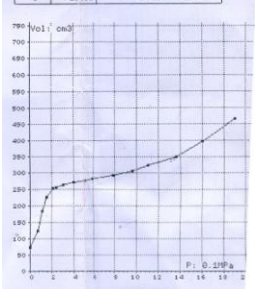


APAGEO
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AS71

-- VUKSEL KAVR 00903123945002 --
Job Number: APAGEO
Boring :TEST Operator :DURSUN ULU
Date :08/04/2010 Time :12:19
File :ES100409.01 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-7
Volume Loss : CR-7
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 3 - 5 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 5 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv/60s
5s	15s	30s	60s
Contact Volume (cm3): 001.2			
1	00.3	158.7 259.9 1033.1	072.4
2	00.8	292.5 185.0 1010.1	122.0
3	01.1	142.5 157.4 1025.1	182.6
4	01.6	200.9 212.4 1014.1	226.3
5	02.1	240.3 246.0 1005.1	252.1
6	02.4	253.4 254.2 1001.1	254.8
7	03.0	261.1 262.1 1001.1	262.7
8	04.0	268.9 269.7 1001.1	270.0
9	05.1	275.0 275.3 1001.1	275.3
10	06.0	279.9 280.4 1001.1	281.3
11	07.9	280.0 290.0 1002.1	292.0
12	09.6	298.4 301.8 1003.1	304.5
13	11.1	300.9 316.1 1005.1	321.5
14	13.6	331.8 340.6 1009.1	349.1
15	16.0	364.6 378.9 1010.1	397.3
16	19.1	419.5 441.6 1024.1	465.4
5	P _a Diff = -0.31 >0.1MPa		

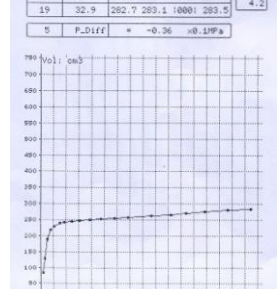


APAGEO
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AS71

-- VUKSEL KAVR 00903123945002 --
Job Number: APAGEO
Boring :TEST Operator :DURSUN ULU
Date :09/04/2010 Time :12:41
File :ES100409.02 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-7
Volume Loss : CR-7
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 5 - 7 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 7 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv/60s
5s	15s	30s	60s
Contact Volume (cm3): 002.3			
1	00.4	103.2 289.1 1025.1	084.1
2	00.8	101.6 115.1 1013.1	128.0
3	01.2	143.9 160.2 1020.1	188.1
4	01.7	206.2 212.6 1005.1	217.6
5	02.2	223.4 225.5 1003.1	228.8
6	03.1	233.6 235.4 1002.1	237.3
7	03.8	239.5 239.0 1001.1	239.6
8	05.0	242.1 242.1 1000.1	242.4
9	06.2	244.9 245.2 1000.1	245.2
10	07.8	248.0 248.0 1000.1	248.0
11	09.5	250.7 250.6 1001.1	251.1
12	11.6	255.7 255.7 1000.1	254.0
13	13.0	256.5 257.9 1000.1	257.6
14	17.4	261.2 261.5 1000.1	261.0
15	20.4	265.2 264.7 1000.1	264.9
16	22.9	268.5 268.3 1001.1	269.1
17	25.9	272.6 273.4 1001.1	274.2
18	29.4	277.6 278.2 1001.1	279.3
19	32.9	282.7 283.1 1000.1	283.5
5	P _a Diff = -0.36 >0.1MPa		

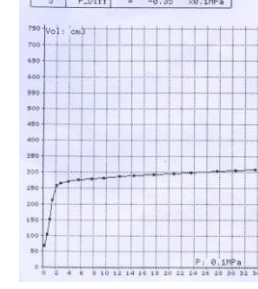


APAGEO
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AS71

-- VUKSEL KAVR 00903123945002 --
Job Number: APAGEO
Boring :TEST Operator :DURSUN ULU
Date :09/04/2010 Time :13:29
File :ES100409.03 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-7
Volume Loss : CR-7
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 7 - 9 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 9 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv/60s
5s	15s	30s	60s
Contact Volume (cm3): 000.3			
1	00.3	105.2 240.9 1026.1	087.3
2	00.7	105.0 195.7 1001.1	183.5
3	01.1	119.0 132.0 1019.1	150.7
4	01.5	170.6 186.2 1026.1	212.0
5	02.2	239.7 249.7 1004.1	255.4
6	02.9	259.7 261.8 1002.1	263.0
7	04.0	267.7 268.9 1001.1	269.7
8	05.7	272.9 274.3 1001.1	274.8
9	07.8	276.2 276.1 1000.1	278.4
10	09.7	281.0 281.3 1000.1	281.5
11	12.2	284.4 284.6 1000.1	285.1
12	14.5	287.2 287.5 1000.1	287.7
13	17.7	290.8 291.1 1000.1	291.4
14	20.9	294.3 293.9 1000.1	294.2
15	23.6	297.0 296.8 1000.1	297.0
16	27.6	300.7 300.4 1001.1	301.0
17	30.6	303.8 303.4 1001.1	303.8
18	33.7	306.4 305.8 1001.1	306.3
5	P _a Diff = -0.35 >0.1MPa		



Şekil 6.26. SK-16 Sondajı, B.Çekmece-Karağaç Köyü, Konsolide kil-çamurtaşı olarak tanımlanan istife ait Menard presiyometresi arazi kayıtları

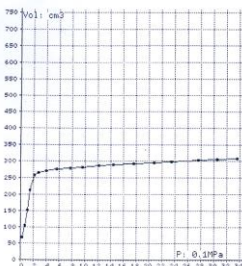
AFAGED
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AG71

--- YUKSEL KAVIA 00903123945002 ---

Job Number:AFAGED
Boring :TEST Operator :DURRUN ULU
Date :09/04/2010 Time :13:29
File :ES100409.03 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-?
Volume Loss : CA-?
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 7 - 9 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 9 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv60s
5s	15s	15s 30s	idvl 60s
Contact Volume (cm3): 000.3			
1	00.2	019.2 040.9	10261 087.3
2	00.7	085.0 095.7	10001 103.5
3	01.1	119.0 132.0	10191 150.7
4	01.5	170.6 186.2	10261 212.0
5	02.2	239.7 249.7	10001 255.4
6	02.9	259.7 261.8	10021 263.0
7	04.0	267.7 268.0	10011 269.7
8	05.7	273.9 274.3	10011 274.9
9	07.0	278.2 279.1	10001 278.4
10	09.7	281.0 281.3	10001 281.5
11	12.2	284.4 284.6	10001 285.1
12	14.5	287.2 287.5	10001 287.7
13	17.7	290.8 291.1	10001 291.4
14	20.9	294.3 293.9	10001 294.2
15	23.6	297.0 296.8	10001 297.0
16	27.6	300.7 300.4	10011 301.0
17	30.6	303.0 303.4	10001 302.0
18	33.7	306.4 305.8	10011 306.3
5	P_Diff = -0.35 >0.1MPa		



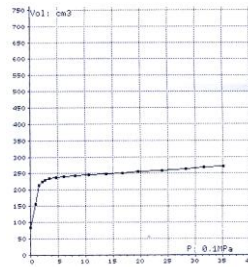
TEST TYPE : Standard
AFAGED
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AG71

--- YUKSEL KAVIA 00903123945002 ---

Job Number:AFAGED
Boring :TEST Operator :DURRUN ULU
Date :09/04/2010 Time :13:54
File :ES100409.04 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-?
Volume Loss : CA-?
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 9 - 11 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 11 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

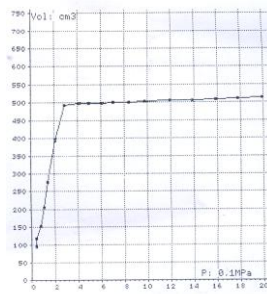
STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv60s
5s	15s	15s 30s	idvl 60s
Contact Volume (cm3): 001.5			
1	00.0	016.6 036.8	10461 083.2
2	01.1	109.9 125.0	10301 154.9
3	01.6	172.8 191.0	10221 212.6
4	02.2	217.0 220.5	10021 223.0
5	02.9	224.4 226.9	10021 228.0
6	03.5	229.9 230.9	10021 232.0
7	04.7	233.1 233.7	10011 234.4
8	06.2	236.0 236.8	10011 237.6
9	08.2	238.5 239.9	10011 240.5
10	10.6	241.5 243.0	10011 243.5
11	13.0	245.2 246.1	10011 246.9
12	16.8	248.1 249.2	10011 250.0
13	19.6	251.1 252.6	10011 253.8
14	24.0	255.3 256.7	10011 257.0
15	28.4	259.3 260.9	10011 261.6
16	31.7	262.8 264.9	10011 266.1
17	35.3	266.9 268.3	10011 269.1
5	P_Diff = 0.21 >0.1MPa		



Job Number:AFAGED
Boring :TEST Operator :DURRUN ULU
Date :09/04/2010 Time :15:36
File :ES100409.07 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-?
Volume Loss : CA-?
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 11 - 13 m
Probe : 60-gtn75
Probe Depth : 13 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

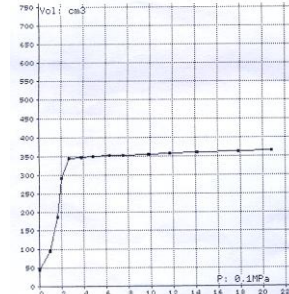
STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv60s
5s	15s	15s 30s	idvl 60s
Contact Volume (cm3): -00.9			
1	00.4	040.8 063.7	10301 093.4
2	00.4	109.8 114.8	10031 117.9
3	00.8	137.3 145.7	10061 151.7
4	01.2	170.8 186.4	10171 202.9
5	01.5	226.6 244.7	10111 276.1
6	02.1	312.5 341.8	10511 393.0
7	02.9	437.6 471.4	10201 491.6
8	04.0	495.8 495.9	10001 495.6
9	05.0	497.3 497.3	10001 497.2
10	07.0	498.4 498.4	10001 498.3
11	09.4	499.9 499.9	10001 499.8
12	09.8	500.9 501.2	10001 501.2
13	12.8	502.9 502.9	10001 502.9
14	13.9	504.7 504.9	10001 504.9
15	15.9	506.6 506.3	10001 506.6
16	17.8	508.2 508.3	10001 508.6
17	19.9	510.8 510.7	10001 511.1
5	P_Diff = -0.31 >0.1MPa		



--- YUKSEL KAVIA 00903123945002 ---
Job Number:AFAGED
Boring :TEST Operator :DURRUN ULU
Date :09/04/2010 Time :16:08
File :ES100409.08 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-?
Volume Loss : CA-?
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 13 - 15 m
Probe : 74-gtn
Probe Depth : 15 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv60s
5s	15s	15s 30s	idvl 60s
Contact Volume (cm3): -02.1			
1	00.8	-02.2 012.9	10311 044.1
2	01.0	062.3 076.8	10171 094.1
3	02.1	123.7 149.6	10351 184.9
4	02.7	328.2 348.0	10041 344.3
5	03.8	344.9 345.0	10011 346.9
7	04.9	347.4 347.9	10011 348.7
8	06.4	349.3 350.1	10001 350.5
9	07.6	350.5 351.1	10011 352.2
10	09.8	352.7 353.4	10011 353.9
11	11.8	354.4 355.3	10001 355.6
12	14.2	356.6 357.3	10011 358.0
13	17.9	359.3 360.1	10011 361.1
14	20.8	362.1 362.8	10011 363.7
5	P_Diff = 0.17 >0.1MPa		



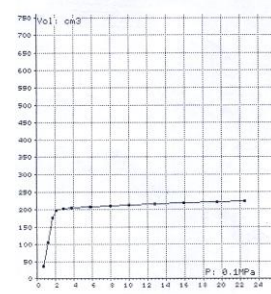
AFAGED
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AG71

--- YUKSEL KAVIA 00903123945002 ---

Job Number:AFAGED
Boring :TEST Operator :DURRUN ULU
Date :09/04/2010 Time :16:27
File :ES100409.09 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-?
Volume Loss : CA-?
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 15 - 17 m
Probe : 74-gtn
Probe Depth : 17 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv60s
5s	15s	15s 30s	idvl 60s
Contact Volume (cm3): -00.4			
1	00.8	-02.6 017.0	10191 036.1
2	01.3	054.6 075.7	10291 105.0
3	01.8	135.1 155.3	10201 175.0
4	02.2	187.5 192.7	10021 194.9
5	02.9	199.6 201.3	10011 202.4
6	03.9	203.3 204.1	10011 204.7
7	05.9	206.1 206.6	10011 207.2
8	08.0	208.6 209.0	10001 209.4
9	10.1	210.5 211.1	10001 211.4
10	12.8	212.8 213.4	10011 213.9
11	16.0	215.2 215.9	10001 216.3
12	19.5	218.2 218.5	10001 218.0
13	22.5	220.6 221.0	10011 221.6
5	P_Diff = 0.14 >0.1MPa		



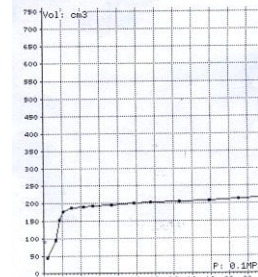
AFAGED
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AG71

--- YUKSEL KAVIA 00903123945002 ---

Job Number:AFAGED
Boring :TEST Operator :DURRUN ULU
Date :09/04/2010 Time :16:44
File :ES100409.10 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET-?
Volume Loss : CA-?
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 17 - 19 m
Probe : 74-gtn
Probe Depth : 19 m
Water Level : 5 m
Tubing Type : Jumelle
Tubing Length : 25 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	VOLUME cm3	dv60s
5s	15s	15s 30s	idvl 60s
Contact Volume (cm3): -00.4			
1	00.5	-09.8 015.7	10261 042.2
2	01.4	056.0 079.3	10201 093.6
3	01.7	114.1 132.5	10181 150.4
4	02.1	163.7 172.5	10011 175.9
5	03.0	182.4 184.4	10021 186.3
6	04.4	187.5 188.3	10011 189.0
7	05.3	190.0 190.6	10011 191.2
8	07.3	193.0 193.7	10011 194.3
9	09.8	196.1 197.1	10001 197.6
10	14.6	198.6 199.5	10011 200.2
11	14.6	201.8 202.7	10011 203.6
12	17.9	205.4 206.1	10011 207.2
13	21.1	209.1 210.2	10011 211.4
14	23.6	213.1 214.3	10011 215.6
5	P_Diff = 0.14 >0.1MPa		



Şekil 6.27. SK-16 Sondajı, B.Çekmece–Karaağaç Köyü, Aşırı konsolide kil-çamurtaşı olarak tanımlanan istife ait Menard presiyometresi arazi kayıtlarının devamı.

Tablo 6.18. Ayrışmış granit ve arena ya ait presiometre deney sonuçları.

	d (m)	PL (kg/cm ²)	E _m (kgf/cm ²)	PL/E _m	Litoloji
SK-1	2	0.8	20.39	25	Ayrışmış Granit
	4	7.6	221.28	29	
	6	10.1	294.70	29	
	8	14.4	360.98	25	
	10	14.1	327.33	23	
	12	22.8	685.25	30	
SK-2	2	4.38	65.26	15	Arena
	4	1.84	24.47	13	
	6	0.92	22.43	24	
	8	1.84	17.34	9	
	10	0.71	13.26	19	
	12	0.82	27.53	34	
	14	1.43	30.59	21	
	16	1.12	14.28	13	
	18	0.51	19.37	38	

Tablo 6.18 de verilen presiometre deney sonuçlarına göre, Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncına (PL*) ait minimum, maksimum ve ortalama değerler Tablo 6.19 de verilmiştir. Bu sondajlara ait kuyu logları Şekil 6.28 ve 6.29 da, örnek arazi kayıtları Şekil 6.30 ve 6.31 de sunulmuştur.

Tablo 6.19. Arena ve Ayrışmış Granit için min., max. ve ortalama Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL*) değerleri

Sondaj No		Menard (Elastisite) Modülü, E _m		Net Limit Basıncı PL*		E _m /PL*
		kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa	
SK-1 Ayrışmış Granit	min	20.4	2.0	0.8	0.08	23
	max	685.3	67.2	22.8	2.24	30
	ort	318.3	31.2	11.6	1.14	27
SK-2 Arena	min	13.3	1.3	0.5	0.05	9
	max	65.3	6.4	4.4	0.43	38
	ort	26.1	2.6	1.5	0.15	21

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ : SK-1						
										SAYFA : NO:1/1						
										SONDÖR. : Difer						
Proje Adı/Project Name : PROJEM İSTANBUL																
Sondaj Yeri/Boring Loc. : SANCAKTEPE - KURTKÖY																
Sondaj Yöntemi ve Çapı : Rotary / 76.00 mm				Muh. Bor. İç-Çapı : 84 mm - 89 mm				Sondajda 76 mm Çift tüplü karotiyer, 76 mm çaplı Nwg elmas matkap ve dış - iç çapı 50.8-34.9 mm yarıçaplı tüplü numune alıcı kullanılmıştır								
Sondaj Der./Boring Depth : 15,00 m				BAS.BT.TAR./Start-Finls Date : 05.05.2010-05.05.2010												
Sondaj Kotu/Elevation : 1,00 m				KOORDİNATLAR (E-W)x, (N-S)y :												
Son. Derinliği (m) Boring Depth	Manevra Boyu Run	NUMUNE VE YERİNDE DENEY Samp. Type and In situ experiment						FORMASYON	Litoloji Lithology	LİTOLOJİK TANIMLAMA LITHOLOGICAL DESCRIPTION	Top. Yükselti (m) Top. Elevation (m)					
		PRESİYOMETRE	Numune Tipi	SPT	STANDART PENETRASYON DENEYİ/DARBE SAYISI Standard Penetration Test Number of Blows							Ep (MPa)	PL* (MPa)	TCR %	SCR %	RQD %
				0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N ₆₀									
1.00																
2.00	P															
3.00																
4.00	P															
5.00																
6.00	P															
7.00																
8.00	P															
9.00																
10.00	P															
11.00																
12.00	P															
13.00																
14.00																
15.00																
16.00																
17.00																
18.00																
19.00																
20.00																
										15,00 m Kuyu Sonu: 15,00 m						
DAYANIMLILIK (Strength)		AYRIŞMA (Weathering)		KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD		KIRIKLAR - 30 cm Fractures		İNCE DANELİ (Fine Grained)		İRİ DANELİ (Coarse Grained)						
I DAYANIMLI (Strong)		I TAZE (Fresh)		% 0 - 25 ÇOK ZAYIF (V. Poor)		< 1 SEYREK (W/le-W)		I ÇOK İYİ (V. Grd)		I ÇOK GEV. (V. Loose)						
II ORTA DAY. (M. Strong)		II AZ AYR. (Slightly Weath)		% 25 - 50 ZAYIF (Poor)		1 - 2 ORTA (Moderate-M)		II YUMUŞAK (Soft)		II GEV. (V. Gev.)						
III ORTA ZAYIF (M. Weak)		III ORTA D. AYR. (Mod. Weath)		% 50 - 75 ORTA (Fair)		2 - 10 SIK (Close-C)		III 8 ORTA KATI (M. Grd)		III 1 - 30 ORTA SIKI (M. Dense)						
IV ZAYIF (Weak)		IV ÇOK AYR. (Intensly Weath)		% 75 - 90 M (Good)		10 - 20 ÇOK SIKI (Intense-I)		IV 15 KATI (Grd)		IV 31 - 50 SIKI (Dense)						
V ÇOK ZAYIF (V. Weak)		V TAM AYR. (Comp. Weath)		% 90 - 100 ÇOK M (Excellent)		> 20 PARÇALI (Crushed-Cr)		V 30 ÇOK KATI (V. Grd)		V 50 ÇOK SIKI (V. Intense)						
K: Karot Numune Core Sample		SPT: Standart Pen. Deneysel Standard Pen. Test		D: Örselenmiş Numune Disturbed Sample		UD: Örselenmemiş Numune Undisturbed Sample		P: Presiyometre Deneysel Pressuremeter Test		VST: Vane Deneysel Vane Shear Test						
Logu Düzenleyen		Jeolojik Müh. Yavuz YAŞAR		Kontrol		Prof Dr. Fazlı Y. OKTAY										

Şekil 6.28. SK-1 Sondaj Logu

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ : SK-2											
										SAYFA : NO:1/1											
										SONDÖR. : 01											
Proje Adı/Project Name : PROJEM İSTANBUL																					
Sondaj Yer/Boring Loc. : SANCAKTEPE - KURTKÖY																					
Sondaj Yöntemi ve Çapı : Rotary / 76,00 mm				Muh. Bor. İç-Dış Çapı : 84 mm - 89 mm				Sondajda 76 mm ÇİT üptü karotiyer, 76 mm çaplı NWG elmas matkap ve dış iç çapı 50.8-54.9 mm yarık üptü numune alıcı kullanılmıştır													
Sondaj Der./Boring Depth : 20,00 m				MUH.BOR.DER./Casing Depth :																	
Sondaj Kotu/Elevation :				BAS,BT,TAR./Start-End Date : 04,05,2010-04,05,2010																	
Yeraltısuyu/Groundwater : 0,70 m				KOORDİNATLAR (E-W)/x, (N-S)/y :																	
Son. Derinlik (m) Boring Depth	Manevra Boyu Run	NUMUNE ve YERİNDE DENEY Samp. Type and In Situ Experiments						FORMASYON	Litoloj Lithology	LİTOLOJİK TANIMLAMA LITHOLOGICAL DESCRIPTION	Top. Yüksekliği (m) Top. Elevation (m)										
		PRESİYOMETRİ	Numune Tipi	SPT	STANDART PENETRASYON DENEYİ (GİRİŞ SAYISI) Standard Penetration Test Sign of Blow							Ep (MPa)	PL (MPa)	TCR %	SCR %	RQD %					
				0-5cm	15-30cm	30-45cm	N ₆₀														
1,00								6,4	0,43												YSS
2,00	P							2,4	0,18												
4,00	P							2,2	0,09												
5,00	P							1,7	0,18												
6,00	P							1,3	0,07												
8,00	P							2,7	0,08												
10,00	P							3,0	0,14												
12,00	P							1,4	0,11												
14,00	P							1,9	0,05												
16,00	P																				
17,00																					
18,00	P																				
19,00																					
20,00																					
										20,00 m Kuyu Sonu: 20,00 m											
DAYANIMLI (Strength)		AYRIŞMA (Weathering)		KAYA KALİTESİ (TAHMİN - RQD)		KIRILAR - 30 cm Fractures		İNCE DANELİ (Fine Grained)		KÜM DANELİ (Coarse Grained)											
I GAYRİBELİ (Strong)	I FAZİ (Fresh)	I AZ AYR. (Slightly Weathered)	I 50 - 75 ÇOK ZAYIF (Fr. Poor)	< 5 BİRLEK. (Blocky)	< 5 BİRLEK. (Blocky)	1 - 2 ORTA (Medium-M)	1 - 2 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	1 - 2 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	1 - 2 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	1 - 2 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	1 - 2 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)										
II ORTA ZAYIF (Med. Weak)	II AZ AYR. (Slightly Weathered)	II ORTA D. AYR. (Med. Weathered)	II 25 - 50 ÇOK ZAYIF (Fr. Poor)	2 - 4 ORTA (Blocky-M)	2 - 4 ORTA (Blocky-M)	2 - 4 ORTA (Blocky-M)	2 - 4 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	2 - 4 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	2 - 4 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	2 - 4 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	2 - 4 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)										
III ZAYIF (Weak)	III ÇOK AYR. (Extremely Weathered)	III ÇOK AYR. (Extremely Weathered)	III 10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	5 - 10 ORTA (Blocky)	5 - 10 ORTA (Blocky)	5 - 10 ORTA (Blocky)	5 - 10 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	5 - 10 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	5 - 10 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	5 - 10 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	5 - 10 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)										
IV ÇOK ZAYIF (V. Weak)	IV TAM AYR. (Comp. Weathered)	IV TAM AYR. (Comp. Weathered)	IV 5 - 10 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)	10 - 25 ÇOK ZAYIF (Fr. Very Poor)										
U Numune Göz. Sample	SPT Standart Pen. Dene. Standard Pen. Test	U Örneğin Numune Recovered Sample	UQ Örneğin Numune Undisturbed Sample	P1 Presiyometre Dene. Pressuremeter Test	VE1 Vane Dene. Vane Shear Test	U1 Numune Göz. Sample	U2 Numune Göz. Sample	U3 Numune Göz. Sample	U4 Numune Göz. Sample	U5 Numune Göz. Sample	U6 Numune Göz. Sample										
Logu Düzenleyen	Jeoloj Mön. Yavuz YAŞAR					Kontrol	Prof Dr. Fazlı Y. OKTAY														

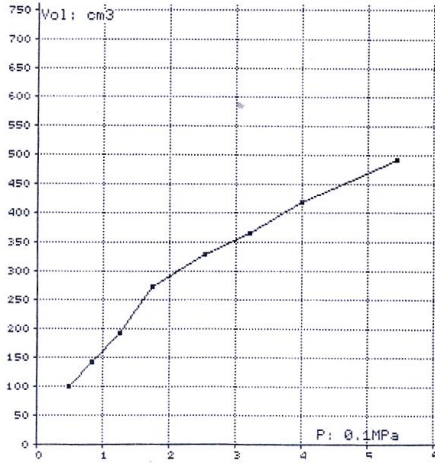
Şekil 6.29. SK-2 Sondaj Logu

APAGEO
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AG71

-- YUKSEL KAYA 00903123945002 --
Job Number:KURTKOV
Boring :SK_2 Operator :DURSUN ULU
Date :04/05/2010 Time :11:48
File :ES100504.01 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET100426.01
Volume Loss : CA100426.02
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 0 - 2 m
Probe : 60-got75
Probe Depth : 2 m
Water Level : 1 m
Tubing Type : Coaxial
Tubing Length : 50 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	V O L U M E cm3			
5s	15s	15s	30s	1dvl	60s
Contact Volume (cm3): 000.8					
1	00.5	039.5	064.6	1035	099.7
2	00.8	126.8	135.6	1006	141.1
3	01.3	160.8	173.7	1016	189.9
4	01.8	214.4	238.5	1034	272.8
5	02.5	297.9	314.4	1013	327.1
6	03.2	341.7	353.8	1011	365.2
7	04.0	381.1	398.2	1019	417.6
8	05.4	443.5	463.1	1027	490.5
5	P_Diff	=	-0.39	x0.1MPa	



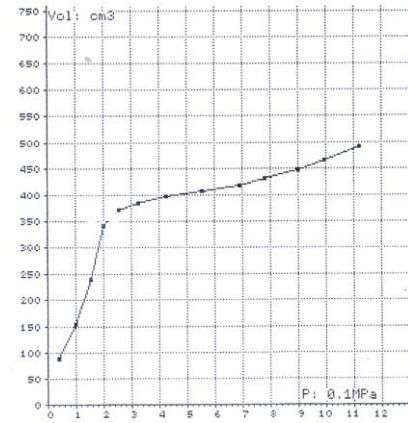
Şekil 6.30.SK-2 sondajı, 2.0 m (arena)

APAGEO
M E N A R D PRESSUMETER TEST
GeoSPAD AG71

-- YUKSEL KAYA 00903123945002 --
Job Number:KURTKOV
Boring :SK_1 Operator :DURSUN ULU
Date :05/05/2010 Time :16:12
File :ES100505.09 ASTM D 4719 - 00
Card :204 PVC :1024

TEST TYPE : Standard
Pressure Loss : ET100426.01
Volume Loss : CA100426.02
Borehole type : ROTOP
Drilling length : 4 - 6 m
Probe : 60-got75
Probe Depth : 6 m
Water Level : m
Tubing Type : Coaxial
Tubing Length : 50 m
Height of PVC : 1 m

STEPS	PRESSURE 0.1MPa	V O L U M E cm3			
5s	15s	15s	30s	1dvl	60s
Contact Volume (cm3): -00.7					
1	00.4	040.6	068.5	1020	088.4
2	01.0	111.1	134.5	1020	154.0
3	01.6	180.1	204.1	1035	238.6
4	02.0	272.7	300.4	1040	340.8
5	02.6	361.0	365.9	1005	370.7
6	03.3	378.4	380.6	1002	383.0
7	04.3	391.1	392.7	1003	395.4
8	05.6	402.5	403.9	1002	405.8
9	06.9	414.6	415.6	1002	417.6
10	07.8	425.4	426.6	1003	429.2
11	09.0	437.4	440.7	1005	445.8
12	10.0	455.3	459.3	1006	465.6
13	11.2	478.0	485.6	1006	491.8
5	P_Diff	=	-0.45	x0.1MPa	



Şekil 6.31.SK-2 sondajı, 6.0 m (ayrışmış granit)

Şekil 6.30 da verilen grafikte de görüldüğü gibi, dere kenarında yeraltısuyu seviyesinin yüzeye yakın kotalarda olduğu arena deney yapmak ve kuyu stabilitesini sağlamakta oldukça sıkıntılı olmuştur. Bu bölgenin dere kotundan daha uzakta topografyanın arttığı ve ayrışmış granitlerin yaygın olarak yüzey mostralarında görüldüğü bölgelerde, Şekil 6.31 de ki grafikte de görüldüğü gibi, doğru deney yapılabileceği tespit edilmiştir.

6.6. Ümraniye Proje Sahası

Ümraniye projesi kapsamında bina yerleşim alanında 2 noktada yapılan AK-1 ve AK-2 nolu presiyometre sondajlarında, 2 şer metre aralıklar ile deneyler yapılmıştır (Tablo 6.20 ve 6.21). Bu AK-1 kuyu logu Şekil 6.32 de verilmiştir. İnceleme alanında havza dolgu olarak adlandırılan, sondaj kotundan itibaren kalınlığı 17-22 m arasında değişen, sarımsı kahve-kızılımsı kahve renkli, kumlu, siltli killerden oluşmaktadır (Şekil 6.33).

Tablo 6.20. Havza dolgusuna ait presiyometre deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	Limit Basınç (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	E _m /PL
AK-1	2	22.00	276	12.55
	4	22.50	693	30.80
	6	20.90	280	1.34
	8	15.50	240	15.48
	10	26.80	267	9.96
	12	42.00	759	18.07
	14	22.40	472	21.07
	16	26.00	604	23.23
AK-2	2	18.00	180	10.00
	6	20.50	336	16.39
	8	27.50	293	10.65
	10	16.00	106	6.63
	12	18.00	298	16.56
	14	25.50	264	10.35
	16	24.00	245	10.21
	18	29.00	444	15.31
	22	38.00	344	9.05

Tablo 6.21. Havza Dolgusu için min., max. ve ortalama Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL*) değerleri.

	Menard (Elastisite) Modülü, E _m		Net Limit Basıncı, PL*	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
min	106	10.39	15.50	1.52
max	759	74.4	42.00	4.11
ort	359	35	24.39	2.39

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ NO: AK-1				
										SAYFA NO:1/2				
										SONDÖR M. Ali ÇAVUŞ				
Proje Adı/Project Name : PROJESİ JEOLOJİK/JEOTEKNİK ETÜDÜ														
Sondaj Yeri/Boring Loc. : İstanbul - Ümraniye														
Sondaj Yöntemi ve Çapı : Rotary / 76,00 mm					Muh. Bor. İç-Dış Çapı : 84 mm - 89 mm									
Sondaj Der./Boring Depth : 23,20 m					MUH.BOR.DER./Casing Depth : 12,00 m									
Sondaj Kotu/Elevation : 136,30 m					BAS.BT.TAR./Start-Finish Date : 29,05,2007- 30,05,2007									
Yeraltısuyu/Groundwater : 7,00 m					KOORDİNATLAR (E-W), (N-S) : 4544068.01, 426497.09									
Son. Derinliği (m) Boring Depth	Manevra Boyu Run	NUMUNE ve YERİNDE DENEY				Ep (kg/cm ²)	PL* (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %	FORMASYON	Litojij Lithology	LİTOLOJİK TANIMLAMA LITHOLOGICAL DESCRIPTION	Top. Yükselti (m) Top. Elevation (m)
		PRESİYOMETRE	Numune Tipi	SPT	STANDART PENETRASYON DENEYİ DARBE SAYISI Standard Penetration Test Num. of Blows									
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N ₆₀						
1,00	1,50		D-1	SPT-1	12	15	22	37						
1,95	P-1								276	22,0				
3,00	3,00		D-2	SPT-2	12	18	30	48						
3,45	P-2								693	22,5				
4,50	4,50		D-3	SPT-3	18	20	25	45						
4,95	P-3													
6,00	6,00		D-4	SPT-4	10	12	15	27	28	20,9				
6,45	P-4													
7,50	7,50		D-5	SPT-5	11	16	18	34						
7,95	P-5								240	15,5				
9,00	9,00		D-6	SPT-6	7	9	13	22						
9,45	P-6								267	26,8				
10,50	10,50		D-7	SPT-7	28	50/12	-	>50						
11,00	P-7													
12,00	12,00		D-8	SPT-8	9	30	50/5	>50	759	42,0				
12,27	P-8													
13,50	13,50		D-9	SPT-9	50/11	-	-	>50						
13,61	P-9								472	22,4				
15,00	15,00		D-10	SPT-10	30	50/7	-	>50						
15,22	P-10								604	>26				
16,50	16,50		D-11	SPT-11	50/13	-	-	>50						
16,63	P-11													
18,00	18,00		D-12	SPT-12	50/3	-	-	>50						
18,03	P-12													
19,50	19,50		D-13	SPT-13	50/4	-	-	>50						
19,54	P-13													
			K-1											

Şekil 6.32. AK-1 Sondaj Logu



Şekil 6.33. Havza dolgusu mostrası.

Havza dolgusundaki üst seviyelerdeki killere ile altta taban kayaya geçiş kotundaki seviye de yapılan presiyometre deney grafikleri Şekil 6.34 ve 6.35 de verilmiştir.

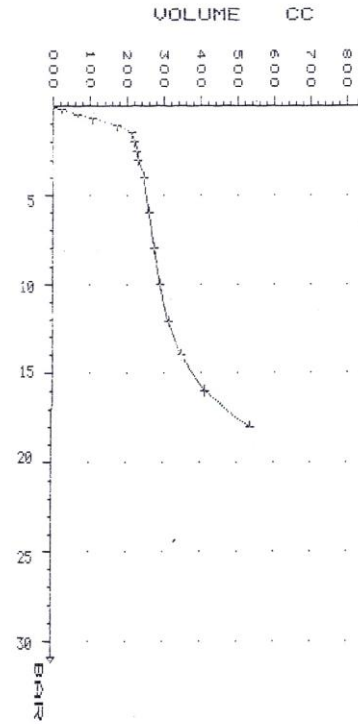
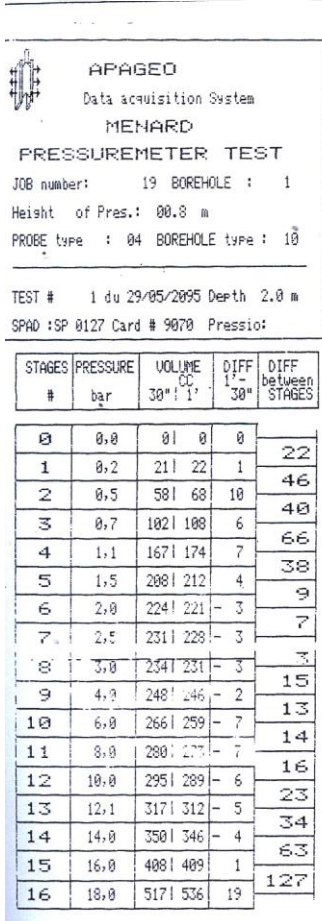
Havza dolgusuna ait üç eksenli basit kesme deney sonuçlarına Tablo 6.22 de verilmiştir.

Tablo 6.22. Havza dolgusuna ait üç eksenli basit kesme deney sonuçlarına

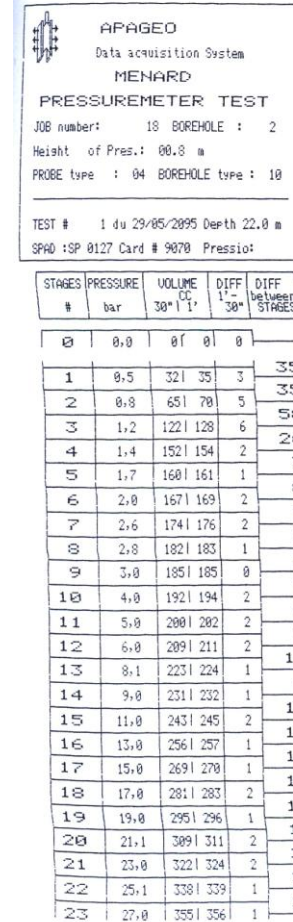
JEOTEKNİK PARAMETRELER	Havza Dolgusu → Kil; kumlu, siltli. (CL, MH-ML)		
	Min	Max	ortalama
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	17.26	19.23	18.25
Kayma direnci, (kPa)	80	200	120
Kayma direnci Açısı, ϕ ($^{\circ}$)	0	0	0

Sahada inşa edilecek Residence-C adlı yapının proje bilgilerine göre, temel alanı (45 x45 m) ~900 m² dir. Sahada yapıdan temele etkiyecek toplam yük, Q=54.000 ton, $q_{net}= 60 \text{ ton/m}^2$ dur. Presiyometre sondajları, temel kotu hizasında yapılmıştır.

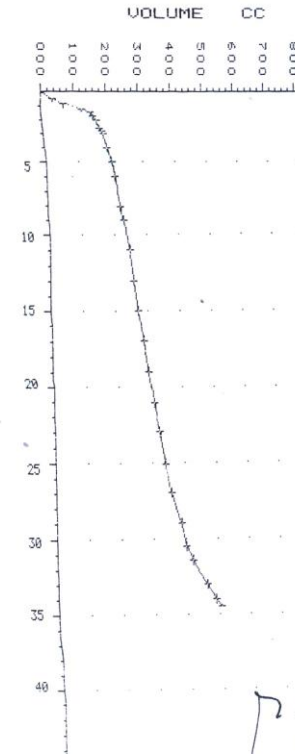
Havza dolgusunun laboratuvar deney sonuçlarına göre, yapılan taşıma gücü analizlerinde, Emniyetli Taşıma Gücü, $q_{em}= 2.30 \text{ kgf/cm}^2$ hesaplanmıştır.



Şekil 6.34. AK-1 Sondajı 2 m (havza dolgusu kili)



24	29.0	381 385	4	29
25	30.5	397 401	4	19
26	31.4	415 420	5	42
27	33.0	452 462	10	28
28	34.0	483 490	7	18
29	34.5	503 508	5	



Şekil 6.35. AK-2 Sondajı 22m (çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı seviyesine geçiş seviyesi)

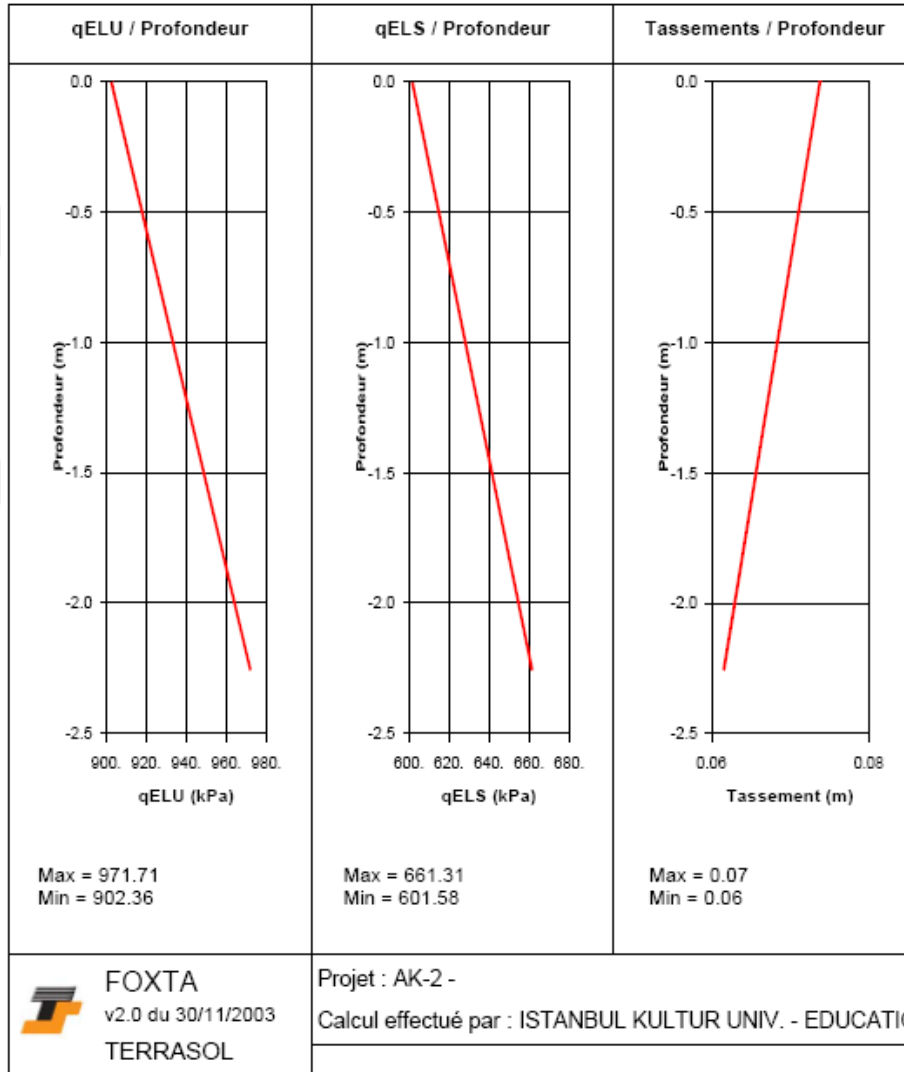
AK-2 kuyusunda geçilen Havza dolgusuna ait presiyometre deney sonuçlarından, 45 x 45 m boyutlarında, temel derinliği 2.0 m, $Q = 529740\text{kN}$ yük alınarak, FOXTA yazılımı ile yapılan analizde (Şekil 6.36),

Son limit Durumuna göre Taşıma Gücü, $q_{ELU}=964\text{ kN/m}^2$

Hizmet Görebilirlik Durumuna göre Taşıma Gücü, $q_{ELS}=654\text{ kN/m}^2$

Toplam deplasman, $s= 6.0\text{ cm}$

olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.36. Ümraniye Projesinde Foxta programı ile taşıma gücü ve deplasmanların derinlikle değişimi.

Bu presiyometre deney sonuçları ile laboratuvar sonuçlarına göre yapılan analizlerde farklar bulunmaktadır. Özellikle Laboratuvar Őartlarında tespit edilen kayma direnci değerlerinin, arazi durumuna göre oldukça düşük olduğu gözlenmiŐtir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Presiyometre deneyi, çok yumuşak zeminden-zayıf kayaya olan ortamlara kadar uygulanmaktadır. Ancak, seçilecek prob türü çok önemlidir. Tez konusu olan aşırı konsolide ortam-yumuşak kaya geçişlerinde, maksimum basıncı 4 MPa olan GC türü prob kullanıldığında, deneyin elastik safhada sonlandırıldığı görülmektedir. Bu gibi durumlardan sakınmak için deney öncesinde, uygulama yapılacak arazideki zemin türü hakkında bilgi edinmek gereklidir. Deney öncesinde, 1 kılavuz sondajı açıldıktan sonra, presiyometre kuyusunu delme yöntemi seçilip, kuyu stabilitesi sağlandıktan sonra, prob çapı seçiminin yapılması gereklidir. Kılavuz olarak, cep çapının, prob çapına oranı 1.2 den büyük olmamalıdır. ISRM tarafından tavsiye edilen prosedürde, delik çapı prob çapından 0.5-3.0 mm geniş olarak tanımlanmıştır.

Son yıllarda Türkiye’de presiyometre deneyine talebin artması ile bu deneyde kullanılan tecrübesiz personelden kaynaklanan operatör hataları, deneyin tamamen yanlış yorumlanması sonucunu getirmektedir. Bu hataların arazideki en önemli göstergesi, deliği önceden açılan Menard türü presiyometrelerde, deney kuyusundaki deformasyonlar ve deneyin kuyu delgisi ile eş zamanlı olarak yapılmamasıdır.

Bu tez çalışmasında presiyometre deneyi uygulamalarında, kalibrasyon deneylerinin önemine değinilmiştir. Bu cümleden, probun basınç kaybı ve prob ve hortumlardaki hacim kaybı kalibrasyonlarının her arazi çalışması öncesinde mutlaka yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Deneyin genelde elastik safhada sonlandırılması nedeniyle, ölçülen E_m/PL değerlerinin literatürde gösterilen oranlarının çok üzerinde çıktığı sonucuna varılmıştır.

Aşırı konsolide killerde ön konsolidasyon basıncının (σ_c), limit basınç PL ile ilişkisini gösteren bağıntılardan en uygun görüneni Martin and Drahos (1986) $\sigma_c = 0.6 P_f$ yaklaşımı kullanılarak, presiyometre deneyindeki sünme basıncı P_f değerinden, ön konsolidasyon basıncı tespit edilmiştir.

Presiyometre deneylerinde gösterilmeyen sünme basıncı eğrisinin, elasto-plastik safhadan plastik safhaya geçişlerini tespit etmek için önemli bir kılavuz olduğu görülmüştür. Bu nedenle, manuel veya otomatik okumalarda, mutlaka V_{30} ve V_{60} (cm^3) hacim okumalarının deney föylerinde belirtilmesi gerekmektedir.

Gümüsyaka-Çanta bölgesinde yaygın olarak gözlenen Gürpınar Formasyonu'nun mavi renkli aşırı konsolide kil - yumuşak kaya ortamlarında yapılan presiyometre deneyinden belirlenen, Menard modülü ve limit basınç değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

	Menard (Elastisite) Modülü		Net Limit Basıncı PL^*		OCR	E_p/PL^*
	kg/cm^2	MPa	kg/cm^2	MPa		
min	207.0	20.3	16.9	1.65	5	12.3
max	4416.0	433	>41.6	>4.0	13	108.2
ort	1753.6	172	37.8	3.7	-	44.4

B.Çekmece Karağaç Köyünde aşırı konsolide kil ile aşırı konsolide kil ara tabakalı çamurtaşı ait Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL^*) değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

	Menard (Elastisite) Modülü		Net Limit Basıncı PL^*		OCR	E_p/ PL^*
	kg/cm^2	MPa	kg/cm^2	MPa		
min	352	34.5	11.7	1.14	8	19.4
max	1212	118.8	31.7	3.1	13	86
ort	913.2	89.5	23.8	2.33	-	42.53

Ümraniye bölgesinde Havza Dolgusu olarak tanımlanan, sarımsı kahve-kızılımsı kahve renkli, kumlu, siltli killerden için Menard (Elastisite) Modülü, E_m ve Net Limit basıncı (PL^*) değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

	Menard (Elastisite) Modülü, E_m		Net Limit Basıncı, PL^*		E_p/ PL^*
	kg/cm^2	MPa	kg/cm^2	MPa	
min	106	10.39	15.50	1.52	1.34
max	759	74.4	42.00	4.11	30.8
ort	359	35	24.39	2.39	13.9

Bu aşırı konsolide kil – yumuşak kaya niteliğini taşıyan ortamların, Net limit basıncı, $PL= 20-40 \text{ kg/cm}^2$ aralığında değişmektedir. Bu nedenle, Aşırı konsolide ortamlarda yapılacak presiyometre deneylerinde, en az 20 bar a kadar çıkılması gerektiği söylenebilir.

8. KAYNAKLAR

Anadolu Yerbilimleri, “B. Çekmece ilçesi, Karaağaç Köyü, İmar Planlarına Esas Etüt Raporu”. İstanbul, No: 926, 2010

Amar, S., J.F. Jezequel. “Essais en place et en Ls”, Laboratoire sur sols coherents, comparaison des resultats”, Bull. Liaison des L.P.C. No. 58, Paris; Mars, 1972.

Amar, S., Clarke, B.G. Gambin, M. And Orr, T.L.L. The application of pressuremeter test results to foundation design in Europe. “A state of the art report by the ISSMFE European technical Committee on presssuremeters, Part 1: Predrilled pressuremeter/Self – boring pressuremeters”, A.A. Balkema/Rotterdam: Brookfield, 1991.

Anderson, J. B. and Townsend, F. C., "Validation of P-y Curves from Pressuremeter Tests at Pascagoula, Mississippi," XI Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering ,1999.

APAGEO Geotechnical Equipment-Pressuremeter Test Princible, Versiyon 2/1997

ASTM Standard Test for Pressuremeter Testing in Soils, D4719-00.

Briaud, J., L., Lytton, R.L. and Hung, J.T. Obtaining moduli from cyclic pressuremeter tests, J.Geotech. Engng Div. (ASCE, 109 (NGT5) :1983a). 657-665.

Briaud, J., L. and Gambin, M. Suggested practice fort he preparation of a pressuremeter test borehole, Geotech.Test.J., (ASTM:1984) 36-40.

Briaud, J.L., The Pressuremeter. Balkema: Brookfield,1992.

Baguelin, F., Jezequel,J.F. and Shields, D.H. The Pressuremeter and Foundation Engineering. Germany; Trans.Tech. Publication, Clausthal, 1978.

Cassan, M. “Les essais in situ en mécanique des sols - 1 “, TOME 1, réalisation et interprétation. Paris: 1978.

Clarke, B. G. Pressuremeters in Geotechnical Design.
London: Blackie Academic and Professional,1995.

Clarke, B.G. and Smith, A.(1992a) A model specification for radial displacement measuring pressuremeters, *Ground Engng*, 25 (2), 28-38.

Clough, G.W. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va, USA, Briault, J.L. Texas A&M University, Texas A&M University, Texas, USA and Hughes, J.M.O. Hughes Insitu Engineering, Vancouver, BC, Canada. 1990

Gambin, M.P. and Rousseau, J. "The Menard pressuremeter: interpretation and application of pressuremeter test results to foundation design."
United Kingdom: ISSMFE, 1988.

Gibson, R.E. And Anderson, W.F. "In situ measurement of soil properties with the pressuremeter".*Civil Engineering and Public Works Review*, Vol. 56, No. 658 (1961): 615-618.

GOST 20276-85 (translated by Foque, J.B. and Sousa Coutinho, A,G,F.) (1985)
Soils Methods for Determining Deformation Characteristics.

Hansbo, S. and Pramborg, B. Experience of the Menard pressuremeter in foundation design, *Proc. 3rd Int. Symp. Pressuremeter* (Oxford:1990) : 361-370.

Huang A.B., Pan I.W., Liao J.J. Wang C.H. and Hsieh. Colorado: U.S. Rock Mechanics Symposium, (1999): 247-252.

International Society of Rock Mechanics (ISRM) *Rock Characterization, Testing and Monitoring; ISRM Suggested Methods.*, Oxford : Pergamon Press, (1981b).

ISSMFE Technical Committee on Pressuremeter and Dilatometer Testing, General Memorandum, *Sols Soils* No. 26, 50pp.

Kulhawy F.H. and Mayne, P.W. "Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design", *Rpt. EL-6800*, Electric Power Research Inst., Palo Alto, Aug 1990, 306 p.

Lopes, S.R. Previsao da Capacidade de Carga de Fundações Superficiais em Solos de Dunas, Atraves do pressiometro Menard. Dissertação de Mestrado, DES/UFPB. Campina Grande. (2004)129p.

Mair R.J. and Wood D.M., "Pressuremeter Testing: Methods and Interpretation". London: Butterworths, 1987.

Martin, R.E. and Drahos, E.G. Pressuremeter correlations for preconsolidated clay, Proc. In Situ '86: Use of In Situ tests in Geot. Engng, Blacksburg VA, (1986): 206-220.

Ménard L. "An apparatus for measuring the strength of soils in place", *Master of Science Thesis*, University of Illinois (1956).

Menard, L. Mesures in situ des proprietes physiques des sols, Annales des Ponts et Chaussees, Paris, No.14. (1957d) 357-377.

MEIGH, A.C. ve GREENLAND, S.W. 'In situ testing of soft rocks', Proc. 6th Int. Conf Soil Mech. and Found. Eng., Montreal, Volume 1, (1965): 73—76.

Mori, H. and Tajima, S. The applications of pressiometre method to design of deep foundations, Soil and Foundations, Tokyo, 4 (2), (1964) 34-44.

Önalp, A. Geoteknik Bilgisi I ,Zeminler ve Mekanîği İstanbul: Birsen, 2007.

Önalp, A. ve Sedat Sert. Geoteknik Bilgisi III :Bina Temelleri İstanbul: Birsen, 2006.

Palicki, K., 1996 AEG Professional Paper: Graduate Division: A Graphical Method for the Classification of Rock and Weak Rock Masses Based on Field Observations, 1997, III,1,7

Sivakugan, N. Consol-Sivakugan, 2001 <www.geoengineer.org/files/consol-Sivakugan.pps>.

Walker, L.K. and Jewell, R.L. The selection of design parameters in weathered rocks, Proc. 7th Eur. Conf. SMFE, Brighton, Vol, 2 (1979): 287-294.

9. İNGİLİZCE PRESİYOMETRE DENEYİ TERİMLERİ

1. Applied Pressure = Uygulanan yük (deney esnasında)
2. Burst= Membranın patlaması
3. Cavity = Boşluk (kuyu cidarı)
4. Creep curve = Sünme eğrisi (ölçülen V60 –V30 s arasındaki hacim farklarında çizilen)
5. Cell =Hücre (ölçüm hücresi)
6. Collapse of pocket = Kuyuda çöküntü
7. Clamping rings = Kenetleyici halkalar (probu hazırlanırken kullanılan)
8. Effect of disturbance = Kuyuda erozyon etkisiyle oluşan bozulma zonu.
9. Erosion = kuyunun açılması ve/veya sonrasında oluşan kuyu içindeki şişme çökme vb nedenler ile deforme olması.
10. Expansion =genleşme (kuyunun genişlemesi)
11. Guard Cell = Koruyucu hücreler (menard 3 hücreli prob da, merkez ölçü hücresinin alt ve üstünde yer alır)
12. Gas supply = Gaz besleyici
13. High – pressure dilatometer = Dialtometre
14. Hose = Hortum (prob ve izleme ünitesi arasındaki koaksiyel-ikiz hortumlar)
15. In situ= yerinde (arazi)
16. Limit pressure = Limit basınç (plastik safha)
17. Monocell = Tek hücreli prob
18. Membren = Membran (ölçüm ve koruyucu hücreleri örten kılıf)
19. Membren stiffness = membran sertliği (hacim kaybı testinden elde edilir)
20. Measuring cell = ölçüm hücresi
21. Open hole = Açık kuyu
22. Pressure = Basınç
23. Pressure supply = Basınç besleme (tüp)
24. Protective sheath = Koruyucu kılıf
25. Pre-bored pressuremeter (PBP) = Deliği önceden hazırlanmış presiyometre
26. Pocket = Cep (kuyuda ölçüm yapılan seviye)
27. Probe = Prob (Menard testinde ölçüm aleti)
28. Pushed in pressuremeter (PIP) = Zemine itilen presiyometre
29. Pressure Loss Test = Basınç Kaybı Testi
30. Rubber = kauçuk (probu örten dış kılıfı)
31. Radial displacement = radyal (yanal) deformasyon
32. Reservoir = Su haznesi (menard tipi presiyometrede)
33. Reference tube = Referans tüpü (deney esnasında prob ve hortumlardaki hacim değişiminin izlendiği, ölçüm)
34. Resistance = Direnç (membranın direnci)
35. Sample tubes = örnekleme tüpü
36. Support = Destek (sondaj esnasında muhafaza borusu ile ilerleme)
37. Softening = Yumuşama (kuyunun fazla verilen sondaj suyu ile erozyonu sonucu)
38. Strain = birim boy değiştirme
39. Stress = gerilme
40. Slotted casing = Oluklu (yarıklı) tüp
41. Self - boring pressuremeter (SBF/PAF) = kendi delen presiyometre
42. Tricell = Üç hücreli
43. Volume = Hacim
44. Volumetric strain = Hacimsel birim boy değiştirme
45. Volume Loss Test = Hacim Kaybı Testi