



MENARD PRESİYOMETRESİ DENEYİ

UYGULAMADA YAPILAN HATALAR ve
DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

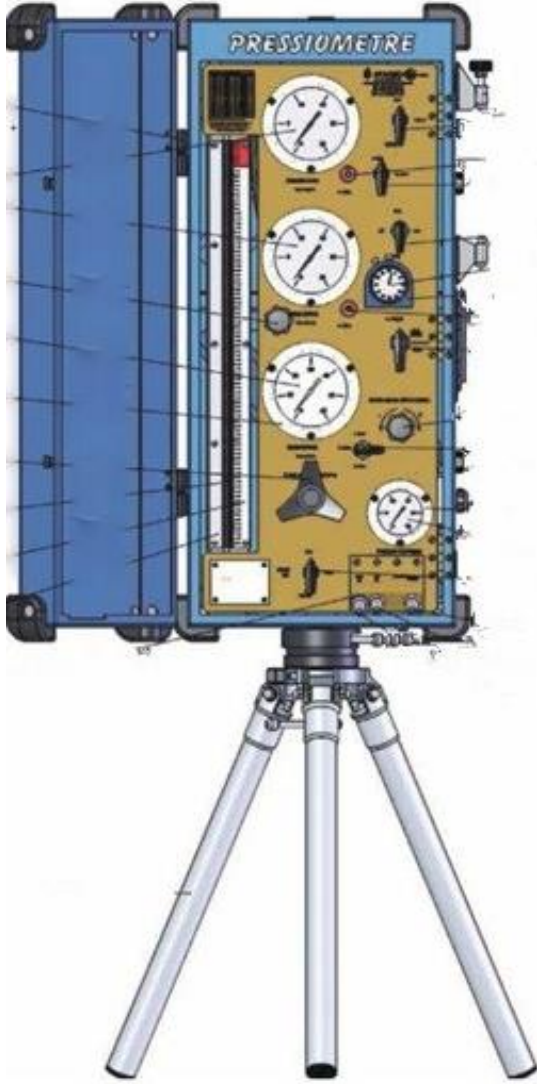
HAZİRAN – 2020

ANKARA

GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda jeoteknik amaçlı yapılan etüt ve projelerde zeminlerin dayanım ve deformasyon modülü parametrelerinin belirlenmesinde özellikle temel tasarımında taşıma gücü ve oturma hesaplarında arazide presiometre deneyine talep önemli oranda artmıştır.

Özellikle zeminlere ait deformasyon modülünün (laboratuvar ortamında yapılan deneyler hariç) genelde ampirik (görgül) yaklaşımlar ile seçildiği bilinmektedir. Bu önemli jeoteknik tasarım



Şekil.1 Menard G Tipi Presiyometre Cihazı Kontrol Ünitesi (Apageo, 2019)

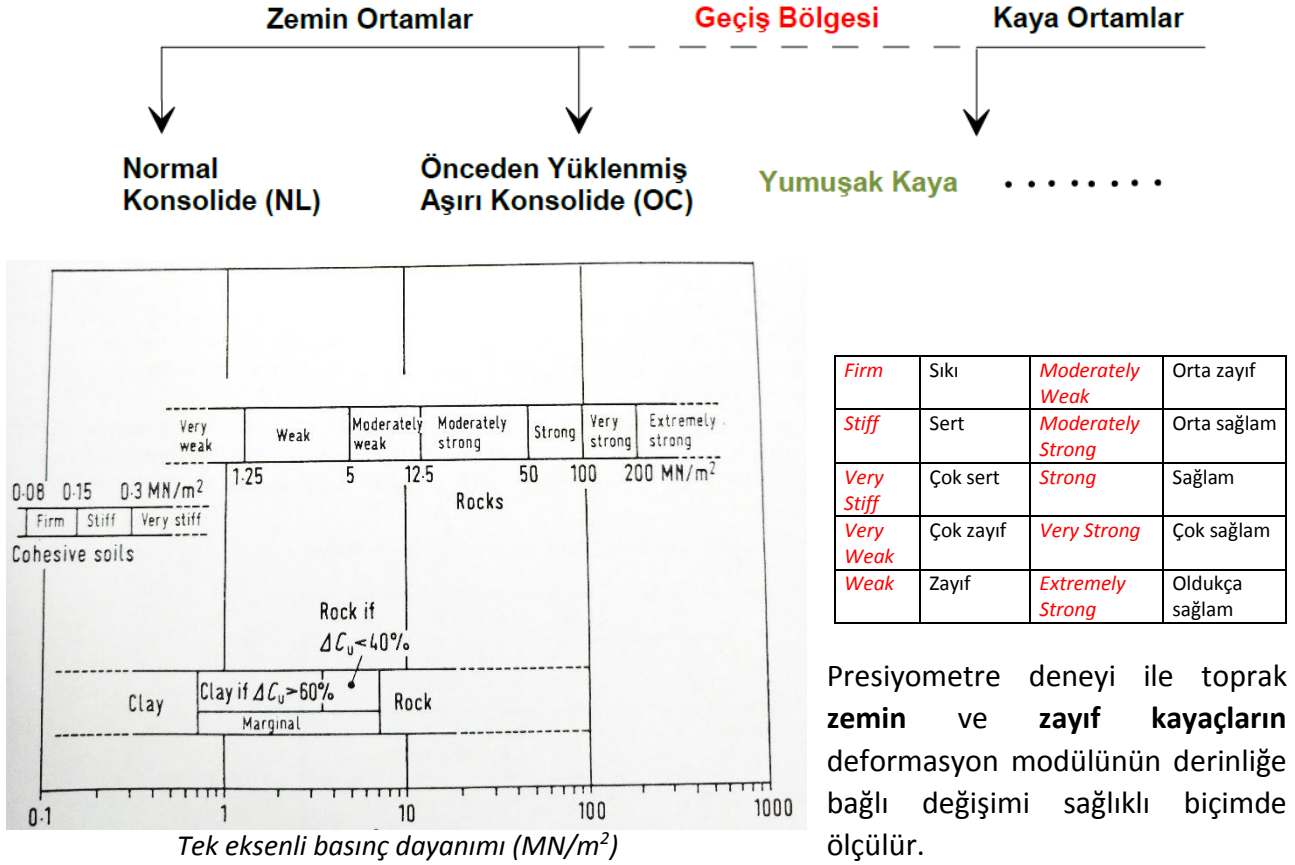
parametresinin, iki veya üç boyutlu sonlu elemanlar ile yapılan hesaplamalarda da yaygın bir kullanımının olması, bu değerlerin doğal zemin ortamına en yakın koşullarda tespit edilmesi gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır. Ülkemizde sıkça karşılaşılan toprak zemin-ayrışmış kaya kütlesi geçişlerinin olduğu ortamlarda SPT arazi deneyinin yapılamaması, örselenmemiş zemin numunesi alınamaması veya zorluğu gerçeği de göz önüne alındığında, deformasyon modülünün arazide yerinde (in-situ) presiometre deneyi ile tespit edilmesi en iyi yaklaşımlardan biridir.

Bu metinde Menard tipi (kuyu) presiometre deneyi uygulamalarında sık karşılaşılan sorunlara ve uygulayıcılar tarafından yapılan hatalara da dikkat çekilerek, ilgili konulara ilişkin çözüm önerilerinde bulunulmaya çalışılmıştır.

Bu bilgi notu, konu ile ilgili çeşitli kitap ve makalelerden derlenmiş, ticari bir amacı olmayıp bu konuda çalışan meslektaşlarımızı bilgilendirmek amacıyla TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Jeoteknik/Mühendislik Jeolojisi Komisyonu tarafından hazırlanmıştır.

Menard Presiyometre deneyi hangi tür zeminlerde yapılır?

Menard presiyometre deneyi çok yumuşak veya yumuşak zeminlerden, zayıf kayalara kadar olan zemin birimlerinde uygulanabilmektedir. Ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılan G tipi Menard presiyometresiyle maksimum 80 bar'a kadar basınç uygulaması yapılabilmektedir.



Kayanın dayanım sınıflaması ölçeği (Meigh and Wolski, 1979)

Presiyometre deneyi sürecinde, yapılan basınç ve hacim okumalarından iki temel parametre elde edilir. E_M (Menard modülü), diğeri ise p_L değeri olarak ifade edilir (TS EN ISO 22476-4:2013 standardında gösterim p_{LM} şeklindedir). Elde edilen bu değerler ile sığ ve derin temellerin taşıma gücü ve temellerdeki oturmalar hesaplanır (Menard, 1956). E_M zeminin deformasyon modülünün göstergesi olup E_M 'nin Elastisite modülü olarak değil Presiyometre modülü olarak ifade edilmesi daha doğru olacaktır.

Özellikle zayıf kayaç, çakıllı ve bloklı zeminler ile kohezyonsuz zeminler gibi hem örselenmemiş zemin örneği almanın zor olduğu, hem de diğer arazi deneyleri yapılmasının olanaksız ya da sonuçlarının anlamsız olduğu ortamlarda presiyometre deney sonuçları kullanılabilir.

Değişik tipteki presiyometre cihazları ile presiyometre deneyinin hangi tür zeminlerde yapılabileceği aşağıdaki tablolarda yer almaktadır. Örselenmemiş numune alınamayan zeminlerde presiyometre deneyi opsiyonel olarak yapılmalıdır.

Arazi İnceleme Yöntemleri ^{a)}	Muhtemel elde edilebilir sonuçlar																				
	Numune alma						Arazi deneyleri												Yeraltı suyu ölçümleri		
	Zemin			Kaya			CPT veya CPTU	Presiyometre ^{d)}	KDT	EDT	SPT ^{d)}	DPH-DPO	DPH-DPÇA	AST	SVT	DDT	PYT	Açık sistem	Kapalı sistem		
	Kategori A	Kategori B	Kategori C	Kategori A	Kategori B	Kategori C															
Temel bilgiler																					
Zemin tipi	C1 F1	C1 F1	C2 F2	-	-	-	C2 F2	C3 F3	-	C3 F3	C2 F1	C3 F3	C3 F3	-	-	C2 F2	-	-	-		
Kaya tipi	-	-	-	R1	R1	R2	R3 ^{e)}	R3	R2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tabakaların yayılımı ^{b)}	C1 F1	C1 F1	C3 F3	R1	R1	R2	C1 F1	R3 C3 F3	R3	C3 F3	C2 F2	C1 F2	C1 F2	F2	-	C2 F1	-	-	-		
Yeraltı su seviyesi	-	-	-	-	-	-	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Boşluk suyu basıncı	-	-	-	-	-	-	C2 F2	F3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Jeoteknik özellikler																					
Tane boyutu	C1 F1	C1 F1		R1	R1	R2	-	-	-	-	C2 F1	-	-	-	-	-	-	-	-		
Su içeriği	C1 F1	C2 F1	C3 F3	R1	R1	-	-	-	-	-	C2 F2	-	-	-	-	-	-	-	-		
Atterberg limitleri	F1	F1	-	-	-	-	-	-	-	-	F2	-	-	-	-	-	-	-	-		
Yoğunluk	C2 F1	C3 F3	-	R1	R1	-	C2 F2	-	-	-	C2 F2	C2	C2	-	-	C2 F2	-	-	-		
Kayma mukavemeti	C2 F1	-	-	R1	-	-	C2 F1	C1 F1	-	-	C2 F3	C2 F3	C2 F3	C2	F1	C2 F1	R2 C1 F1	-	-		
Şıkışabilirlik	C2 F1	-	-	R1	-	-	C1 F2	C1 F1	R1	F1	C2 F2	C2 F2	C2 F2	C2	-	C2 F1	C1 F1	-	-		
Permeabilite	C2 F1	-	-	R1	-	-	C3 F2	F3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Kimyasal deneyler	C1 F1	C1 F1	-	R1	R1	-	-	-	-	-	C2 F2	-	-	-	-	-	-	-	-		
Açıklamalar :							R1	Kaya için uygun			R2	Kaya için kısmen uygun			R3	Kaya için uygun değil					
a) Terim için TS EN ISO 22475-1 standardında belirtilen 3. ve 4. Bölümlere bakınız							C1	İri taneli zemin için uygun ^{*)}			C2	İri taneli zemin için kısmen uygun			C3	İri taneli zemin için uygun değil					
b) Yatay ve düşey doğrultuda							F1	İnce taneli zemin için uygun ^{*)}			F2	İnce taneli zemin için kısmen uygun			F3	İnce taneli zemin için uygun değil					
c) Basınç ölçer tipine bağlı olacak							CPT	Koni penetrasyon testi			DPÇA	Dinamik prob çok ağır (Tip A-Tip B)									
d) Numune alındığı varsayımlar							CPTU	Boşluk su basıncı ölçümlü koni penetrasyon testi			EDT	Dilatometre testi									
e) Yalnızca yumuşak kaya							DDT	Düz dilatometre testi			SVT	Arazi veyn deneyi									
- Uygulanabilir değil							DP	Dinamik prob			PYT	Plaka yükleme testi									
							DPH	Dinamik prob hafif			KDT	Kaya dilatometre testi									
							DPO	Dinamik prob orta			SPT	Standart penetrasyon testi									
							DPA	Dinamik prob ağır			AST	Ağırlık sondaj testi									
							^{*)} Ana zemin grupları "kaba" ve "ince" TS EN ISO 14688-1'e göre dir. NOT: 1- Zemin koşulları (zemin tipi ve yeraltı suyu koşulları gibi) ve planlanan tasarıma bağlı olarak araştırma yöntemi farklılık gösterebilir ve tablodan sapabilir. 2- Kategori A, B, C: Numune alma yöntemleri (TS EN ISO 22475-1)														

Çizelge 1. Uygulanabilir arazi inceleme yöntemleri (Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı)

Aşağıdaki tabloda Menard tipi (kuyu), kendinden delgili ve zemine itilen (sürmeli) presiometrelerin farklı zemin ortamlarda uygulanabilirliği hakkında özet bilgiler verilmiştir.

Parametreler	Kil						Kum						Çakıl	Kaya							
	Yumuşak			Sert			Gevşek			Sıkı				Ayrılmış			Sağlam				
	PBP	SBP	PIP	PBP	SBP	PIP	PBP	SBP	PIP	PBP	SBP	PIP		PBP	SBP	PIP	PBP	SBP	PIP		
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
p_L	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: Amprik

σ_h = Toplam yatay gerilme

c_u = Drenajsız kayma dayanımı/mukavemeti

c' = Kayma direnci

ϕ' = İçsel sürtünme açısı

G_i = Başlangıç kayma modülü

G_{ur} = Boşaltma anındaki kiriş yeniden yükleme eğrisi

p_L = Limit basınç

c_h = Yatay konsolidasyon katsayısı

PBP: Önceden delinmiş; **SBP:** Kendi delen; **PIP:** Zemine itilen (sürmeli)

Çizelge 2. Presiyometre deneylerinden elde edilen zemin parametreleri (Clarke, B. G.)

PRESİYOMETRE TEST TÜRLERİ						
Sonda	ÖNCEDEN DELİNİMİŞ PRE-BORED (PBP)		KENDİ DELEN SELF-BORING (SBP)		ZEMİNE İTİLEN (Sürmeli) 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 ittirebileceği zemin	
Test Tipi	Menard	Basınç/deformasyon	Basınç/deformasyon		Basınç/deformasyon	
Parametreler	Tasarım parametreleri, E_M, p_L		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			

Çizelge 3. Presiyometre tipleri ve özellikleri

Deney	Kullanım Alanları												
	Zemin Tanımlaması	Düşey zemin profili oluşturma	Bağıl Yoğunluk (D_r)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)	Drenajsız kayma direnci (S_u)	Boşluk suyu basıncı (u)	Yükleme geçmişi OCR ve K_0	Modüller E_s , G'	Hacimsel Sıkışabilirlik m_v ve C_c	Konsolidasyon c_h ve c_v	Permeabilite, k	Gerilme-deformasyon eğrisi	Sıvılaşma riski
Akustik prop	C	B	B	C	C		C	C					C
Sondaj geçirimsizliği	C					A				B	A		
Konik Penetrometre													
*Dinamik	C	A	B	C	C		C						C
*Elektriksel sürtünme	B	A	B	C	B		C	B	C				B
*Elektriksel piezokon	A	A	B	B	B	A	A	B	B	A	B	B	A
*Mekanik	B	A	B	C	B		C	B	C				B
*Kuyu içi sismik (kuyu aşağı)	C	C	C					A				B	B
Flat Dilatometre (DMT)	B	A	B	C	B		B	B	C			C	B
Hidrolik kırılma						B	B			C	C		
Nükleer sıklık deneyi			A	B				C					
Plaka yükleme deneyi	C	C	B	B	C		B	A	B	C	C	B	B
Presiyometre deneyi	B	B	C	B	B		C	B	B			C	C
Otomatik Sondaj	B	B	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	B
Kuyu içi burgulu plaka yükleme deneyi	C	C	B	C	B		B	A	B	A	B	A	A
Kuyu içi sismik (kuyu aşağı)	C	C	C					A		C	C	B	B
Sismik kırılma	C	C						B					B
Kanatlı kesme	B	C			A		B						
Standart penetrasyon deneyi (SPT)	B	B	B	C	C				C				A

c_h = Yatay konsolidasyon katsayısı

c_v = Düşey konsolidasyon katsayısı

Kod A = en uygun

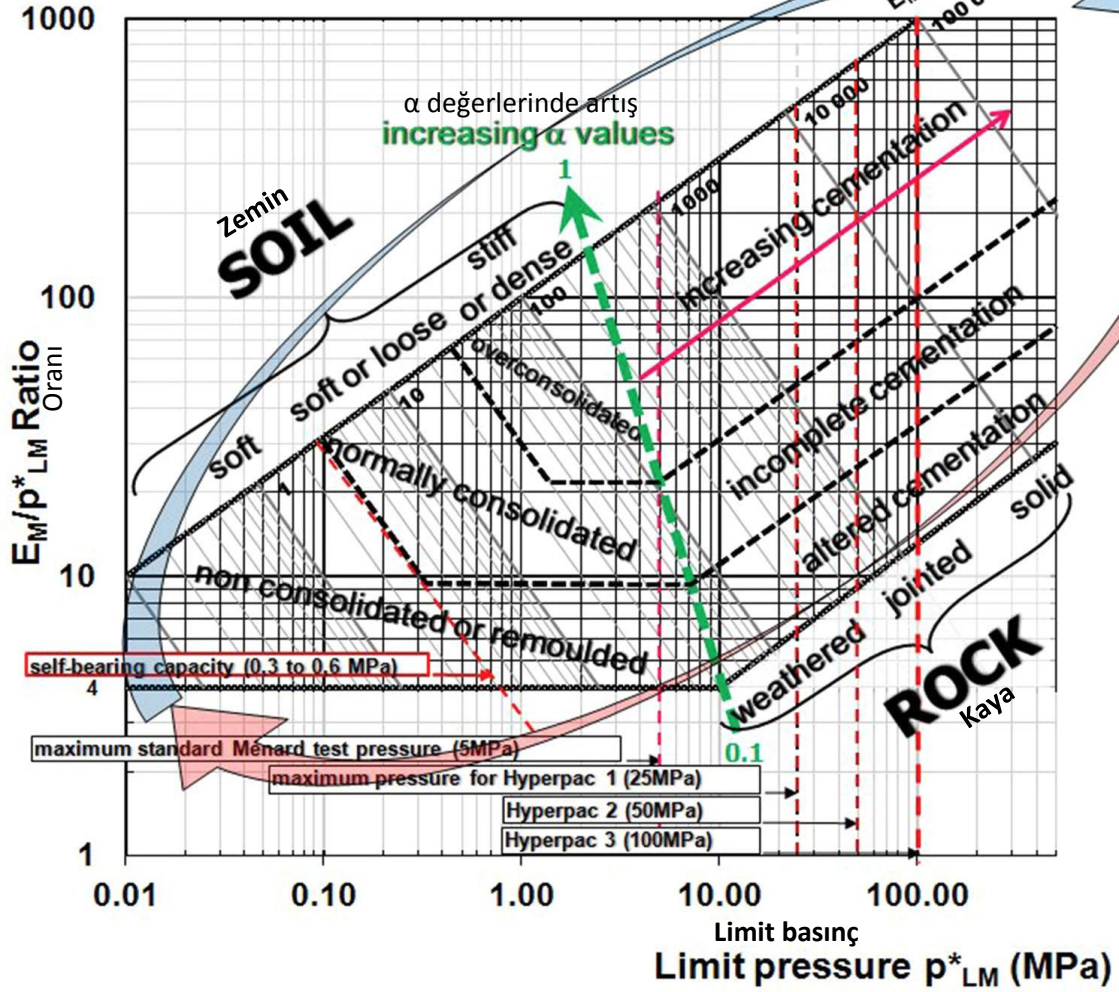
Kod B = kullanılabilir

Kod C = en az uygulanabilir

Çizelge 4. Yerinde deneyler ve genel uygulamalar (Bowles, 1996)

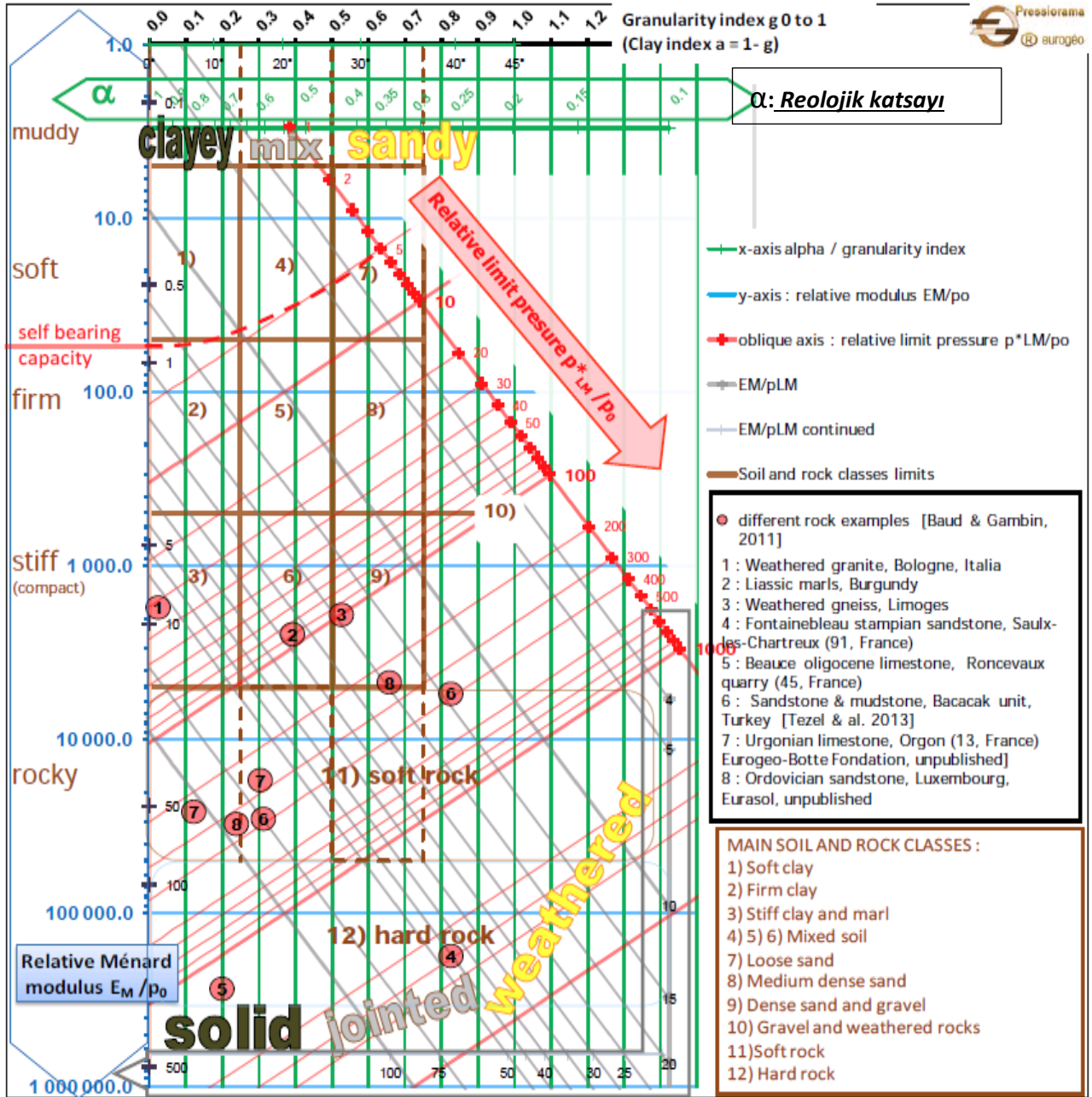
Zeminlerin ve kayaların presiyometre verilerine (E_M and p_{LM}^*) göre sınıflandırılması. Gösterilen döngü şekline benzerdir.

Pressiorama® [E_M/p^*_{LM} , p^*_{LM}]
spectral diagram ranging from soil to rock



<i>Soft</i>	Yumuşak	<i>Weathered</i>	Ayrışmış
<i>Soft or loose</i>	Yumuşak veya gevşek	<i>Jointed</i>	Eklemli
<i>Stiff or dense:</i>	sert veya sıkı	<i>Solid</i>	Sağlam
<i>Non consolidated or remoulded</i>	Konsolide olmamış veya yeniden yoğrulmuş	<i>Altered cementation</i>	Alterasyona uğramış çimentolanma
<i>Normally consolidated</i>	Normal konsolide	<i>Incomplete cementation</i>	Tamamlanmamış çimentolanma
<i>Overconsolidated</i>	Aşırı konsolide	<i>Increasing cementation</i>	Artan çimentolanma

Şekil 2. E_M and p^*_{LM} Presiyometre Parametrelerine Göre Zeminlerin ve Kayaçların Pressiorama Sınıflandırılması (Baud, Jean-Pierre, Gambin, Michel., 2014)



Şekil 3. Reolojik Faktör α 'nın bulunmasına yardımcı olmak için E_M/p_0 , P^*_{LM}/p_0 diyagramında zemin ve kaya sınıflandırması (Apegeo)



Sondajın yeri ve kuyuda yapılacak presiyometre deneyinin sayısı nasıl belirlenmeli?

- Sondajların dizilimi ve sıklığı ile ilgili kriterler jeolojik koşulların karmaşık olup olmaması ile inşa edilecek yapının türüne ve topoğrafik konuma göre denetlenmektedir.
- Pratik olarak, bir sahada ilk yapılacak şey uygun bir lokasyonda bir adet pilot karotlu sondaj yapılarak, öncelikle o sahada jeolojik koşulların derinliğe göre değişimi (stratigrafisi) hakkında ön bilgi edinilmelidir. Bu normalde SPT deneyi için açılan kuyular veya UD numunelerinden

kısmen belirlenebilir. Fakat projenin önemine göre arazideki zemin koşullarının tam olarak belirlenmesi gerektiğinde bu yöntemle ihtiyaç duyulabilir.

- Sondaj derinlikleri için yapı yüklerinden kaynaklanan gerilme artışının doğal gerilmelere göreceli olarak ihmal edilemeyeceği düzeyde olduğu derinlikler dikkate alınır.
- Presiyometre deneylerinin yapılacağı sondaj kuyularının yeri, sayısı ve derinliği projenin tipi, boyutu, araştırma bütçesi ve yapıdan gelecek yüklerin yoğun olduğu ve yapı için kritik olan noktalar göz önünde bulundurularak planlanır. Öncelikle gerilmelerin yüksek olduğu lokasyonlarda deneyler yapılacağı için üst yapı proje müellifinden proje ile ilgili temel gerilme dağılımı grafiği talep edilmelidir.
- Yapılacak araştırmanın niteliğine bakılmaksızın, derinliğin bir fonksiyonu olan zemin direnç parametrelerindeki değişimlerinin daha ayrıntılı olarak kayıt edilebilmesi için mümkünse deneyler sistematik olarak her metrede bir kez tekrarlanmalıdır. Temel için daha önce öngörülen derinlik ne olursa olsun, zemin düzeyinden itibaren sürekli presiyometre deneyinin yapılmasına gerekli önem verilmelidir. Kuyularda çok uzun aralıklarla yapılacak deneylerde zemin içerisinde oturmaya neden olabilecek sorunlu zemin tabakaları gözden kaçırılabilir. Zemin homojen ise bu aralık 2 m veya maksimum 3 m'ye kadar çıkarılabilir. Buna sahadaki sorumlu Jeoloji Mühendisi zemin birimlerindeki değişimi göz önüne alarak karar vermelidir.
- Zemin birimlerinin homojen olduğu sahalarda deney aralıkları arttırılabilir. Eğer karot alınmışsa, karotlara bakılarak litolojik birim değişimlerinin gözlemlendiği yerlerde, sorumlu jeoloji mühendis tarafından presiyometre deney sayısı arttırılabilir. Sırf deney yapmak için deney aralıklarının uzun tutulup, bir kuyuda 2 veya 3 tane presiyometre deneyi yapmak, problemlili birimlerin özelliklerinin belirlenmeden atlanmasına neden olabilecektir. Bu hususa dikkat edilmelidir.
- Genel kural olarak presiyometre deneyi sondaj çalışmalarından hemen sonra yapılmalıdır. Kendini tutabilen zeminlerde bu süre uzatılabilir. Öncelikle aşırı, yumuşak killerde ve düşük kohezyonlu zeminlerde sondaj kuyusunun açılmasından sonra ölçüm hızla yapılmadığında gerilme boşalması ile kuyuda kapanma (genişleme) olabileceği unutulmamalıdır.
- Hazırlanan sondaj şartnamelerinde çalışma sahasında önceden belirli aralıklarla yapılması istenen presiyometre deneyleri sahada bulunan kontrol mühendisi tarafından harfiyen uygulanmaya çalışılmaktadır. Herhangi bir seviyede değişik nedenlerden dolayı deneyin yapılamaması durumunda, bu durum bir sonraki seviyeye kadar deney yapılamaması anlamı taşımaktadır. Burada amaç zemin hakkında kesintisiz bilgi edinmek olduğundan deney yapılamayan seviyenin alt kotlarında uygun seviye bulunana kadar araştırma yapılmasına olanak sağlanmalıdır.

Deney yapılacak kuyuda kuyunun genişlemesine (dilation) neden olmayacak zemin tipine uygun hangi yöntemle delgi yapılmalı?

Presiyometre deneyi kuyu içinde gerçekleştirilen yerinde (in-situ) bir deneydir. Yanlış seçilen bir sondaj delgi tekniği zemin veya kaya kütlelerini aşırı derecede örseleyecek ve dolayısıyla yapılan arazi deneyinin sonuçlarını geçersiz kılacaktır. Yanlış sondaj tekniğinde örseleme miktarı arttıkça, sondaj

çeperi etrafında oluşan “örselenen bölge” kalınlığı da artacaktır. Bu nedenle deney yapılan zeminin örselenme düzeyi/miktarı önem arz eder. Presiyometre deneyi aynı zamanda kuyu çapı genişliğine hassas bir deney olduğundan, deney yapılan seviyede kuyu genişlemesinin belli bir boyutta olması gerekir. Deneyin yapılacağı kuyuda, delgi çapının presiyometre probunun çapına oranının 1.10’dan küçük olması koşulu sağlanmalıdır. Bu amaçla kuyu açımında belirlenecek delgi yöntemi (sondaj delgi tekniği) önem kazanmaktadır.

Başarılı bir Menard presiyometre deneyi için sondaj kuyusunun uygun çapta ve zemine en az örselenmeyi yapacak sondaj delgi tekniği seçilerek açılması gerekir. Kuyu çapının uygun olmaması nedeniyle deney sonrasında çizilen deney eğrilerinin çoğunun başarılı olmayacağı literatürde belirtilmektedir.

Presiyometre deneyinden elde edilen deformasyon modülü, E_M ve limit basınç, p_L değerlerinin farklı sondaj açma teknikleri uygulanmasıyla gösterdiği değişim bilinmektedir. Combrieu ve Canepa (2001) sondaj sırasında oluşan örselenmenin presiyometre deneyinden elde edilen deformasyon modülünün ve limit basıncın değerini azalttığını deneysel olarak göstermişlerdir. Işık ve diğ. (2008) ise aynı etkiyi sayısal analizlerle göstermişlerdir.

Presiyometre deneyi için en uygun delgi Auger (sürekli burgu ile sondaj) ile yapılan delgi yöntemidir. Kullanılan prob tipine göre farklı çaplarda delgi yapılması gerektiğinden en ideali 76 mm çaplı Auger ile kuyu açıp buna uygun olan çapta probu kuyuya indirerek deneyin yapılmasıdır. 66 mm çaplı Auger; malzemenin zayıf olması ve aşırı zorlamalara uygun olmaması nedeniyle ülkemizde tercih edilmemektedir. Bu yöntemin uygulanabilirliği, sığ derinlikler ile desteksiz ayakta kalabilecek zeminlerle sınırlıdır. Auger yöntemiyle zorlanan zeminlerde örneğin sıkı-orta sıkı çimentolu zayıf kayalarda diğer tip delgi yöntemleri denebilir. Burada zeminin su ile sürekli aşınıp kuyu genişlemesini önlemek amacıyla deney aralıkları kısa tutulabilir veya aşınmış kesici uçlar tercih edilebilir.

Presiyometre deney metodunun sonuçları, sondanın indirilmesi ve kuyunun açılması sırasındaki örselenmenin derecesine bağlıdır. Örselenme, hiçbir zaman tam olarak önlenemez ancak en aza düşürülmeye çalışılmalıdır. Örselenme, özellikle “çok yumuşak killerde” ve “kohezyonsuz zeminlerde” kayda değer ölçülerdedir. Sondaj açımının sulu sistemle yapılması durumunda zemin parçacıklarının ve su sirkülasyonunun geçişi sırasında kuyu kenarlarının aşınmasına veya genişlemesine uygun bir zemin tipi varsa kuyu derinliklerini fazla arttırmadan deney işlemine geçilmelidir. Kuyunun açılması ile deneyin yapılması arasında geçen süre mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Aksi taktirde kuyu kenarlarında çözülme meydana gelebilir. Bununla beraber, su tablasının üzerinde en uygun zemin tipinde susuz açılmış kuyularda 24 saatlik gecikme toleransla karşılanabilir.

Deney sonuçları yorumlanırken, sondaj sırasındaki koşullar da dikkate alınmalıdır. Kuyu açımı sırasında delgi tipi seçilirken, deney boşluğunun duvarının da olabildiğince pürüzsüz olmasına ve delgi çapının da (D_H) kuyu boyunca olabildiğince sabit olmasına dikkat edilmelidir. Matkap ucunun bozulması kuyu duvarlarında titreşim ve eksantrik yüklemeye neden olabilir.

Prob Kodu DCDMA	Sondaj Kuyusu Çapı		Prob Çapı	Ölçüm Hücresinin İlksel Hacmi, V_c	Ölçüm Hücresi Uzunluğu	Prob Uzunluğu
	Minimum	Maksimum				
	mm	mm	mm	cm ³	cm	cm
AX	46	52	44	535	36	66
BX	60	66	58	535	21	42
NX	76	80	74	790		42

- BX probu yaygın olarak kullanılmaktadır; referans prob olarak da bilinmektedir,
- Ölçüm hücresinin uzunluğu (l_0), yaklaşık olarak probun aktif uzunluğunun (l) yarısıdır,
- AX probunun ölçüm hücresi, BX probu ile aynı hacime sahiptir; AX probu daha uzundur.
- DCDMA: Diamond Core Drill Manufacturer's Association

Çizelge.5 Standart Menard Probları (Baguelin, F.)

Zemin Tipi		PBP	SBP	PIP
Yumuşak killer (<i>soft clays</i>)	İnce taneli	A	A	A
Sert Killer (<i>stiff clays</i>)		A	A	A
Gevşek kum (<i>loose sands</i>)	İri taneli	B (Destek ile)	A	A
Sıkı kum (<i>dense sands</i>)		B (Destek ile)	B	C
Çakıllar (<i>gravels</i>)		C (Sürüş ile)	N	N
Zayıf kaya (<i>weak rock</i>)		A	B	N
Güçlü kaya (<i>strong rock</i>)		A	N	N

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

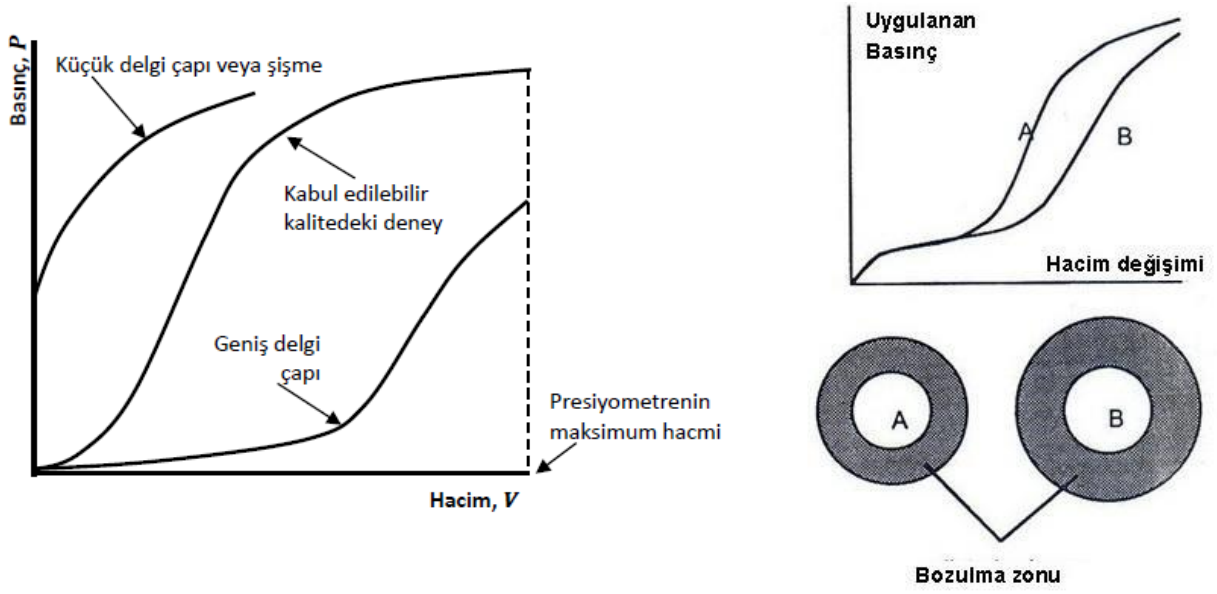
Önceden delinmiş/Pre-bored (PBP), Kendi delen/Self-boring (SBP), İtilerek inilen/Pushed in (PIP)

Çizelge 6. Farklı zemin koşullarında farklı tipteki presiyometrelerin uygulanabilirliği hakkında özet bilgiler (Clarke, B. G.)

Düzeltilmiş basınç-hacim eğrisinin şekli ile belirli bir deney için sondaj delgi oluşumu kalitesi arasındaki ilişki aşağıdaki Şekil-4'te ortaya konmuştur. Düzeltilmiş basınç-hacim eğrilerinin incelenmesi, genellikle kabul edilebilir bir sondaj çapı boyutu oluşup oluşmadığını gösterir. Aşağıdaki Şekil-4 MPM testlerinden elde edilen üç eğri tipini göstermektedir. Şekilde, yetersiz sondaj çapı, kabul edilebilir seviyede sondaj çapı ve geniş sondaj çapı koşullarında elde edilen Menard Presiyometre eğrileri gösterilmiştir. Yetersiz sondaj çapı durumunda presiyometre probunu deney seviyesine iterken oluşan deformasyon nedeniyle deney sırasında elastik aşama görülememektedir. Ayrıca, aşırı geniş sondaj çapı durumunda ise Menard probunun zemine temas edebilmesi için oldukça fazla genişletilmesi gerektiğinden hacim yetersizliği nedeniyle plastik aşama görülememektedir.

Deneyde amaç arazide örselenmemiş zemin davranışını incelemek olduğundan, sondaj kuyusunun kenarları mümkün olduğunca bozulmamalıdır.

Presiyometre deneyi yapılırken deneyin yapılacağı kuyunun kendi kendini tutabilmesi gerekir. Kuyu içinden sondaj takımının çekilmesiyle çöken kuyularda presiyometre deneyi yapılamaz. Bunun haricinde kendini tutan tüm zeminlerde deney yapılabilir.



Şekil.4 Menard presiyometre deneyinden elde edilen farklı davranışlar (Mair, R.J., Wood, D.M.)

Sondaj suyundan başka bir sıvı kullanılmalı mı?

Kuyunun açımında kuyu çeperlerinin özelliklerini değiştirecek kimyasal maddelerin kullanılması önerilmez. Bu nedenle sondajın mümkünse su dışında herhangi bir enjeksiyon solüsyonu ile birlikte yapılmaması gerekir. Fakat bazı zemin tiplerinde kuyu açılırken sondajda bentonit veya benzeri maddelerin kullanılmasıyla hazırlanan çamurun literatürde ikinci seçenek olarak veya belli koşullarda kullanılması önerilmektedir (Bknz. Çizelge 7 ve 8).

Deney yapılacak kuyuda kuyunun delgi çapı ne olmalıdır?

Sondaj kuyusu, zemin türüne göre mümkünse yalnız presiyometre deneyi için tasarlanmalıdır.

Kılavuz olarak, sondaj kuyu 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 ($1.03D < D_H < 1.2D$) (Briaud, J.L., ve Gambin, 1984). GOST (Rusya Standardı, 20276-2012)'da, 76-127 mm çaplı proplar, kuyu 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 ise sondaj çapı prob çapından 0.5-3.0 mm daha geniş olarak tanımlanmıştır.

Deneyin çıplak proba mı veya prob üzerine geçirilecek yarıklı muhafaza borusuyla birlikte mi yapılacağına ilişkin değerlendirmelere göre sondaj kuyusu çapı ve kullanılacak kesici tipi ve çapı belirlenmelidir.

ZEMİN TİPİ												
		KİLLİ ZEMİN			SİLTİLİ ZEMİN		KUMLU ZEMİN			İRİ TANELİ ZEMİN	KAYA	
Sondaj Tekniği		Çok Yumuşak – Yumuşak	Yumuşak – Orta Katı	Katı	Yeraltı Su Tablasının Üstünde	Yeraltı Su Tablasının Altında	Gevşek – Yeraltı Su Tablasının Üstünde	Gevşek – Yeraltı Su Tablasının Altında	Orta Sıkı - Sıkı	Çakıl – Kaba Çakıl	Ayrılmış Kaya - Yumuşak Kaya	Sağlam Kaya
Sondaj Delme Tipi	(AH) El Burgusu	***	***	*	***	**	**	*	***	-	-	-
	(HAM) El Burgusu ve Sondaj Çamuru	***	***	**	***	***	***	***	***	-	-	-
	(CFA) Sürekli Burgu	-	**	**	**	-	**	-	**	*	*	*
	(STD)M İçinde döner başlıklı kesici uç bulunan yarıklı tüp ve sondaj çamuru	*	***	**	**	*	**	*	***	**	***	**
	(CD) Karotlu Sondaj	-	**	**	**	*	*	-	*	-	**	***
	(RP) Döner Darbeli	-	*	**	*	*	*	*	**	***	**	***
	(PT) İtmeli Tüp	***	*	-	*	-	-	-	-	-	*	-
	(VDT) Titreşimli Çakmalı Tüp	-	-	-	*	-	-	-	*	*	*	-
Tam Yer Değiştirme	Çakma yarıklı tüp (Driven Slotted Tube)	-	*	*	*	*	*	*	**	**	-	-
Otomatik Sondaj	Titreşimli-STAF	-	**	**	***	***	***	***	***	***	*	-
	Döner - STAF	-	**	**	***	***	***	***	***	***	*	-
	Otomatik Sondaj Probu - SAF	***	*	-	***	***	***	***	***	***	-	-

*** : Tavsiye edilir; ** : Uygun; * : Kabul edilebilir; - : Uygulanamaz

Çizelge 7. Zemin tiplerine göre önerilen delgi yöntemleri (Amar et al. 1991)

Zemin	Tip	Hazırlanmış çamurun alttan boşaltımı ile yapılan Rotary sondaj	İtilen ince cidarlı numune alıcısı	Pilot delgi sondajı ve sonraki numune alıcısı sıkıştırması	Pilot delgi sondajı ve eş zamanlı itilmesi	Sürekli burgu (Flight Auger)	Kuru zeminde el burgusu	Hazırlanmış çamurun alttan boşaltımı ile el burgusu	Çakmalı veya titreşimli çakmalı numune alıcısı	Karotiyer sondajı	Darbeli döner sondaj	Çakmalı veya titreşimli çakmalı veya itilen yarıklı tüp
Killi Zeminler	Yumuşak	2 ^B	2 ^B	2	2	NR	NR	1	NR	NR	NR	NR
	Sıkı ile sert Sert ile Katı	1 ^B	1	2	2	1 ^B	1	1	NR	NR	NR	NR
Siltli Zeminler	YASS Üstü	1	2	1	1	1 ^B	NA	NA	NA	1 ^B	2 ^B	NR
	YASS Altı	1 ^B	NR	NR	2 ^B	NR	NR	1	NR	NR	NR	NR
Kumlu Zeminler	Gevşek ve YASS üzeri	1 ^B	NR	NR	2 ^B	NR	NR	1	NR	NR	NR	NR
	Gevşek ve YASS altı	1 ^B	NR	NR	2	2	2	1	2	NA	NR	NR
YASS altı kumlu çakıllar veya çakıllı kumlar	Orta kıvamdan Yoğuna	1 ^B	NR	NR	2	NR	NR	1	NR	NA	NR	NR
	Gevşek	1 ^B	NR	NR	2	1	1	1	2	NR	2 ^B	NR
	Yoğun	NR	NA	NA	NA	NR	NA	NA	NR	NA	2	1 ^D
Ayrışmış Kaya		1	NA	2 ^B	NA	1	NA	NA	1	2	2	NR

1: Birinci seçim; 2: İkinci seçim; NR: Tavsiye edilmez; NA: Uygulanabilir değil; B: Metod sadece belli koşullarda uygulanabilir; C: Yeraltı su seviyesi (GWL); D: Önceden gerekli olan pilot kuyu

Çizelge.8 Çeşitli zemin tipleri için PMT delme yöntemine hazırlık için kurallar ve araçlar (ASTM D 4719-00)

Yıkıntı yapan kuyularda Wireline takımı ile ilerleme kolaylık sağlar. Wireline takımın kullanıldığı sondajlarda, takımı her seferinde dışarı almak zor olduğundan Wireline takımı içerisinden geçen bir karotiyer ile bir miktar ilerleme sağlanarak deneyi gerçekleştirmek bir başka çözüm yöntemi olabilir. Daha sonrasında yine wireline ile ilerleme sağlanır.

Kod	Prob Çapı (mm)	Sondaj Kuyu Çapı (mm)	
		En az	Maksimum
EX	32	34	38
AX	44	45	53
BX	58	60	70
NX	74	76	89

Çizelge 9. ASTM'nin önerdiği sonda ve kuyu çapları (Sols Soils Magazine, 1975)

Boyut	Karot çapı (mm)	Kuyu çapı (mm)
EX	21.2	37.7
AX	30.1	48
AQ wireline	27.1	48
BX	42	59.9
BQ wireline	36.4	59.9
NX	54.7	75.7
NQ wireline	47.6	75.7
HQ wireline	63.5	96.3
PQ wireline	85	122.6

Çizelge 10. Seçilen karot çapları için kesici boyutları

	Sondaj Tekniği									Dönüş
	Döngü					Çakma ve Diğerleri				
Zemin Yapısı	HA	AD	CDH	CD IN	CAR	ROTOP	CAR BEA	CAR VS	ST MR	ST BEA/VS
Çamur ve sulu killer	-	R ⁰	-	O ⁰	-	-	O SWD	-	-	-
Orta kompakt killer	R	R ⁰	R	R ⁰	-	O ⁰	-	-	O	-
Kompakt Killer, Katı Marn			R	R ⁰	R ⁰	O ⁰	-	-	-	-
Silt su tablasının üstü	R	O ⁰	R	O ⁰	-	O ⁰	O	O	O	-
Silt su tablasının altı	-	R ⁰	-	O ⁰	O ⁰	O ⁰	-	-	O ^D	-
Gevşek Kumlar su tablasının üstü	R	R ⁰	O	O ⁰	-	O ⁰	-	-	O	-
Gevşek Kumlar su tablasının altı	-	R ⁰	-	O ⁰	-	O ⁰	-	-	-	O
Orta kompakt ve kompakt kumlar	R	R ⁰	R	R ⁰	-	R ⁰	O	O	O ^A	O ⁺
Kaba Zemin: Çakıllar, çakıltaşı, silisli kil			O	O*		R ⁻	O	O	O	O ⁺
Bozulmuş Kayalar, Yumuşak Kayalar			R	R	O	R ⁰	O	O		O ⁺

HA: El Burgusu

AD: Sondaj Çamuru Enjeksiyonlu Burgu

CDH: Kesintisiz Kuru Helikoidal Burgu

SEMBOLLER

R: Tavsiye Edilen

O: Tolere Edilebilir

CD: Karotlu sondaj CAR: Karotiye ROTOP: Döngü ve darbe IN: Çamur Enjeksiyonu ile BEA: Vuruş SWD: Gömülü İnce Duvar Karotiye ST: Yarık Tüp STMR: Eş zamanlı Materyal Çıkaran Yarık Tüp VS: Vibro batma	-: Tolere Edilemez *: dönme hızı < 60 devir/dak. ve kesici uç çapı $\leq 1.15 d_s$ +: Muhtemelen ön sondaj ve küçük çap ($d_t < d_s$) °: çamur ile enjeksiyonu (basınç < 500 kPa, akış < 15 lt/dak. Sondajın döngü ile yapıldığı durumda kesiciye iletilen basınç (tijlerin başlığındaki) 200 kPa'dan düşük olmalıdır.
---	--

Çizelge 11. Presiyometre kuyuları için öngörülen delme yöntemleri

Zemin cinsine uygun kılıf türünün seçilmesi

Zemin cinsini arazide yapılan karotlu sondajlardan veya SPT deney sonuçlarından tahmin ederek, uygun kılıf türünü seçmek gereklidir. Seçilen malzeme türleri zeminin yapısını bozmamalıdır. Kullanılan malzemeler zeminin niteliğine bağlıdır.

Yumuşak zeminlerde kullanılacak kılıfın direnci çok büyük seçilirse ölçümlerin hassaslığı önemli derecede azalır. Sert zeminlerde ise düşük dirençli kılıflar kullanılması onların patlamasına neden olabilir.

Öncelikle kuyu içindeki istenilen derinlikte deney yapılabilmesi için hem kuyudaki olası problemleri göz önüne alarak, hem de zemin cinsini tahmin ederek, kılıf türünü seçmek gerekmektedir.



Şekil 5. Presiyometre Kılıf Tipleri

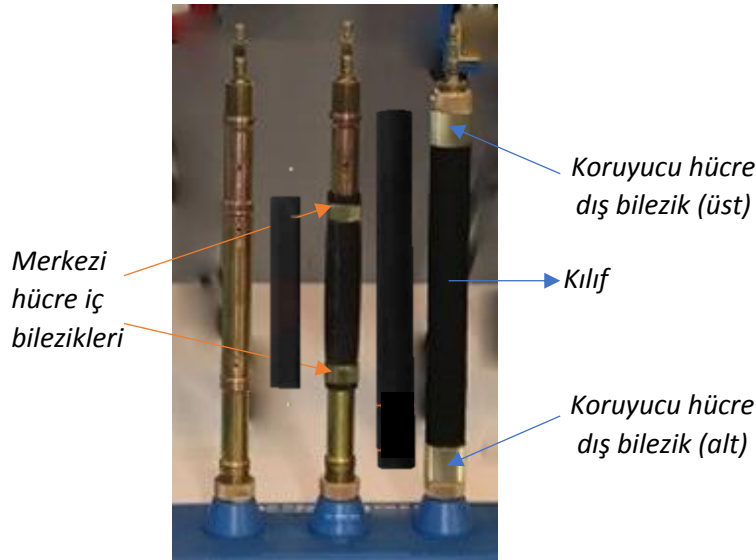
Presiyometre probu kılıf (*probe covers*) çeşitleri :

- 1) Kauçuk kılıflar/*rubber cover*: Herhangi bir güçlendirmesi yok. 3 mm kalınlıkta
- 2) Takviyeli yapı (*standard canvas cover*)/reinforced mesh: İçerisinde Kanvas iplikle güçlendirilmiş
- 3) Metalik yapı/*metallic mesh/steel canvas cover* : İçerisinde metal şeritlerle güçlendirilmiş
- 4) Metalik şeritler (balık sırtı)/*metallic strips/metal cover*: Çin feneri olarak adlandırılır. Bu tip; boydan boya birbiri içine geçmeli metal şeritlerle örtülmüş 1.5 mm kalınlıkta lastikten yapılmıştır.
- 5) Oluklu-Yarıklı muhafaza/*slotted tube*: Probonun patlama riski olan zeminlerde kullanılır.

Yukarıda ilk 4 gruba giren kauçuk kaplamalı, takviyeli, metalik ve metalik şeritlerden oluşan kılıflar, genelde zemin ortamının mukavemet özellikleri, homojenliği, farklı kalınlıkta tabakaların varlığı vb. zemin ile ilgili özellikler, kuyunun açılış yöntemi ve kuyu duvarının stabilitesi gibi birçok etmene bağlı olarak seçilir. Çok yumuşak bir kilde çok rijit bir probla test yapılırsa gerilme homojen bir şekilde dağılmaz dolayısıyla çok yumuşak zeminlerde yumuşak tipli problemlerin kullanılması gerekir. Zeminin deformasyon modülü ile zemine gerilme uygulamakta kullanılan sistemin modülün oranının belirli bir değeri geçmemesi gerekir.

5. gruba giren yarıklı muhafaza, probun dış kılıfının patlama riski yüksek olduğu keskin köşeli parçalar içeren zeminlerde; kum-çakıl vb. heterojen zeminler ile ayrılmış kaya ortamlarında kullanılır. 44 mm veya 60 mm çaplı prob sırası ile 63 mm veya 75 mm çaplı yarıklı metal muhafaza borusu içinde (slotted tube) deney derinliğine indirilerek yapılır. Bu durum düzeltme yapılsa da deney sonuçlarını bir miktar etkiler çünkü çeliğin rijitliği zemine göre çok fazladır.

En yaygın kullanılan prob tipi 2. gruptaki Kanvas tipi iplikle güçlendirilmiş prob tipidir. Fakat çok yumuşak killerde bunun da tercih edilmemesi gerekir. Çok yumuşak killerde presiyometre deneyi yapmak yerine örselenmemiş örnek almak veya yerinde veyn deneyi yapmak daha pratik olacaktır.



Şekil 6. Probun hazırlık aşamaları (BX Prob) a) Çıplak içi boş metal silindirik gövdeli prob b) İç lastiği takılmış prob c) Dış kılıfı takılı ve deneye hazır prob

Kılıf Tipi	Basınç Aralığı	Zemin Tipi
Metal cover, $\phi 44$ mm probe	Orta Basınç	Gravel, Flinty clays, chalk Mud, soft clays, Silts, Loose sands, Pasty Chalk
3 mm rubber cover, $\phi 44$ mm probe	Düşük basınç	Mud, soft clays, Silts, Loose sands, Pasty Chalk
4 mm rubber cover, $\phi 44$ mm probe	Düşük basınç	Soft clays, Silts, Loose sands, Pasty Chalk + grain
Standard canvas cover, $\phi 44$ mm probe	Orta basınç	Clay, Silt, Sand
High Pressure canvas cover, $\phi 44$ mm probe	Orta-Yüksek basınç	Clay, Silt, Sand + Marl, Coarse soils
Super High Pressure canvas cover, $\phi 44$ mm probe	Yüksek basınç	Marl, Coarse soils, Weathered rocks, Fresh Rocks
Steel canvas cover, $\phi 44$ mm probe	Yüksek basınç	Marl, Coarse soils, Weathered rocks, Fresh Rocks

Çizelge 12. Dış Kılıf Seçimi Tavsiyesi (Apegeo)

Proben sertlik limitine göre, $P_L^{(1)}$ kılıf tipi, Fransız Standardı NF P 94-110-1: Ocak 2000					
60 mm problemleri					
Sipariş numarası Kılıflar için	Açıklama	$V_s^{(2)}$ (cm ³)	P_{el} kPa (bar)	Test	Zemin Türleri
A1 1416002	Lastik kılıf (3mm kalınlığında) + standart membran	510	140 (1.4)	Düşük basınç	Çamur, yumuşak killer, silt, gevşek kum, macun kıvamında tebeşir
A11416006	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
A11416007	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, ayrılmış 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.

NF: Fransa Standardı/French Standard

Sipariş numarası Kılıflar için	Açıklama	$V_s^{(2)}$ (cm ³)	P_{el} kPa (bar)	Test	Zemin Türleri
Düz Yarık					
Al 141 4407	Çelik şerit takviyeli (veya metal) kılıf ⁽⁴⁾ + standart membran	565	210 (2.1)	Orta Basınç	orta durumda (doğrudan sürüş veya kılavuz kuyu)
Al 141 4405	Lastik kılıf ⁽³⁾ (3mm kalınlığında) + standart membran	580	230 (2.3)	Orta Basınç	Duraysız zeminler (doğrudan sürüş)
Al 141 4409	H.P. Kanvas ile kuvvetlendirilmiş kılıf (4 mm kalınlığında) + standart membran	590	270 (2.7)	Orta-Yüksek Basınç	Duraysız 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.

Çizelge 13. Hücre merkezinin veya probun ilk hacmi V_s (APAGEO-çalıştırma talimatları, 2006)

Presiyometre deneyi kaç metre derinliğe kadar yapılır?

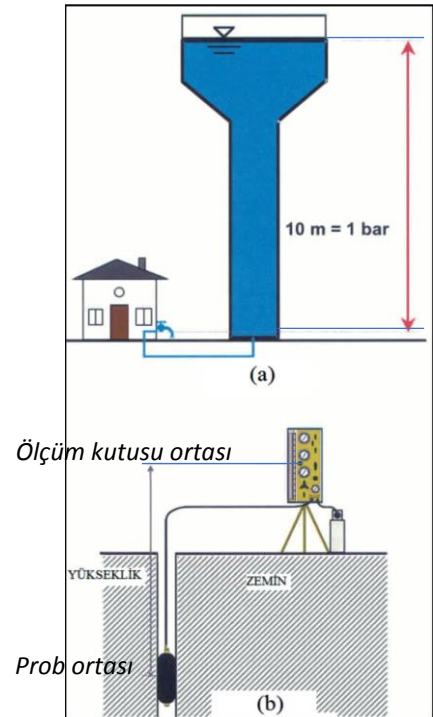
Presiyometre deneyinin kaç metre derinliğe kadar yapılabileceğine veya bu konuya ilişkin ilgili literatürde bir açıklama yoktur. Bu tip derin deney gereksinimleri genellikle tünel güzergahı araştırma projelerinde ortaya çıkmaktadır. Tünel açımında güzergah üzerindeki zemine ilişkin parametrelerin tespiti için projeci tarafından tünel kotuna kadar yapılan derin sondajlarda yerinde (in-situ) deney olarak presiyometre deneyi istenmektedir.

Derin kuyularda yapılan deneylerde en önemli sorun deney sonunda sistemdeki suyun geri alınmasıdır. Derinlik arttıkça merkez hücredeki su basınçları artmaktadır. Dolayısıyla gerekli diferansiyel basınç farkı da (ölçüm hücresi ve koruyucu hücrelerin göstergeleri arasındaki fark) artmaktadır. Aşağıdaki tabloda bu durum görülebilir. Deney sonunda suyu geri alabilmek için prob içerisinde deney yapılan seviyedeki hidrostatik basınçtan daha yüksek bir gaz basıncı bırakılmalıdır ki prob içerisindeki su, gaz tarafından yukarı doğru çıkartılabilsin (Şekil-7).



$$\text{Diferansiyel Basınç} = (\text{Deney derinliği} - 10) / 10$$

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



Şekil 7. Prob derinliğine göre geri basınç P_{diff} değerleri (standart membran) (Apegeo,2000)

Cihaz üzerindeki panelde diferansiyel basınç farkı ile ilgili derinlik tablosu 30 metreye kadar verilmiştir. Eğer 30 metreden daha derinde deney yapmak istenirse cihaz üzerinde birtakım değişiklikler yapmak gerekir (örneğin, diferansiyel yayını değiştirmek gibi). Bu nedenle Menard

presiyometresi cihazı alınırken, cihaza 3 bar regülatör yayı takılıdır. Diğer yaylar cihaz satın alınırken satıcıdan talep edilmelidir. Bu detayı bilmeyen kullanıcılar cihaz üzerindeki takılı yayla örneğin 30 metreden daha derinde deney yapmak istediklerinde bu basınç farkını oluşturamazlar.



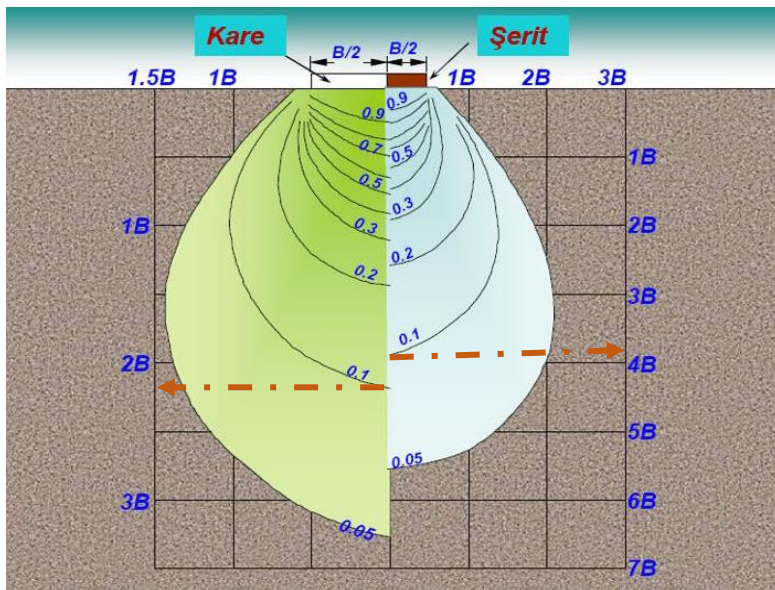
Şekil.8 Regülatör yayı (Apegeo 2010-2011 katalog)

Yay sertliği arttıkça deney hassasiyetinin azaldığını kullanıcıların bilmesi gerekir.

50 m derinliğe kadar yapılan deneylerde	4 bar regülatör yayı
80 m derinliğe kadar yapılan deneylerde	7 bar regülatör yayı
110 m derinliğe kadar yapılan deneylerde	10 bar regülatör yayı
160 m derinliğe kadar yapılan deneylerde	15 bar regülatör yayı

Presiyometre cihazını üreten firma tarafından iletim hortumu 25, 33, 50 m ve 100 m olarak seçenekli olarak satılmaktadır. Bununla birlikte presiyometre hortumunun 160 metreye kadar uzatılabileceği açıklaması literatürde mevcuttur [Kaynak: Menard pressuremeter (G Type) operation instructions 2007 edition].

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ekinde yer alan, Madde 16 A.1.4. "Sondaj Derinlikleri; Sondaj derinliği, bina temelleri için temel tabanından başlayarak yapı genişliğinin en az 1,5 katı veya net temel basıncından kaynaklanan zemindeki gerilme artışının ($\Delta\sigma$) zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan efektif gerilmenin (σ'_{vo}) %10'una eşit olduğu derinlikten ($\Delta\sigma=0,10\cdot\sigma'_{vo}$) daha elverişsiz olacak şekilde seçilecektir" denmektedir. Bu madde gereğince zemindeki net temel basıncından kaynaklanan gerilme artışları, Boussinesq Yöntemi, Westergaard Yöntemi ve Yaklaşık Yönteme (1/2) göre Jeoloji Mühendisleri Odası web sitesinde yer alan [hesap cetveline](#) göre hesaplanıp, kuyu derinlikleri yukarıdaki Madde de belirtildiği gibi belirlenebilir.



Şekil.9 Kare ve şerit temel altındaki gerilme dağılımları



Deneyde maksimum basınç ne olmalıdır?

Deney yapılan birim (toprak zemin + zayıf kaya) presiyometrenin kapasitesinin üzerinde bir limit basınca, p_L , sahipse deneye kaç bar basınca kadar devam edilmelidir?

Örnek: Bilindiği üzere konut tipi yapılarda her kat için metrekareye 1.2-1.5 ton yapı yükü geldiği kabul edilmektedir (ölü yükler ve hareketli yükler dahil).

1 katın oluşturacağı gerilim $1.5 \text{ ton/m}^2 = 0.15 \text{ kgf/cm}^2$

5 katın oluşturacağı gerilim $5 \times 1.5 = 7.5 \text{ ton/m}^2 = 0.75 \text{ kgf/cm}^2$

25 katın oluşturacağı gerilim $25 \times 1.5 = 37.5 \text{ ton/m}^2 = 3.75 \text{ kgf/cm}^2$ 'dir.

Bu durumda ilgili birimde maksimum deney basıncı 20 kgf/cm^2 olarak belirlenirse bu proje yüklerinin en büyüğünü içerecek şekilde çalışılmış olur. Bu yüke ulaşıldığında elastik safhadan plastik safhaya geçilmemiş olabilir. Zeminin tek eksenli basınç mukavemeti/dayanımı değeri göz önüne alınarak yapılan sondajdan elde edilen karotların elle kontrolünden veya cep penetrometresi ile SPT numuneleri üzerinde kabaca test edilebilir. Örneğin basınç maksimum 30 kgf/cm^2 'ye çıkılırsa deneyde plastik safhaya geçilebilme olasılığı var denenebilir. **Limit basıncı** (p_L^* - p_{Ln}) tahmin edebilmek için plastik safhada iki veya daha fazla ölçüm almış olmak gerekmektedir.

Grafikte eğride elastik safhada herhangi bir kırılma olmadığı halde son basınç değeri limit basınç değeri olarak verilebilir mi?

Presiyometre deneyinde denenen ortamın sert - aşırı konsolide kil, ayrılmış kaya ve kaya vb. sağlam yapılı bir zemin olması durumunda, deformasyonlar az olacağı için cihazın hacim kapasitesi veya basınç kapasitesi limitlerine ulaşılan kadar zeminde yenilme olmaz. Plastik safhaya hiç geçilmez, elastik safhada kalındı ise limit basınç belirlenemez. Limit basıncın değeri olarak çıkılan en son basınç değeri limit basınç değeri olarak kabul edilebilir veya aşağıdaki iki husus dikkate alınarak tespit edilmelidir.

- Akma basıncı veya elastik safhanın sonu, limit basıncın $2/3$ 'ü veya yarısına eşittir ($1/2 < p_f/p_L < 2/3$).
- Bazı zemin birimlerinin özelliklerine göre Presiyometre modülü, E_M ile limit basınç oranı, p_L arasında belirli bir oran vardır. Bu oran aşırı konsolide olmuş sert zeminlerde 12 ile 30 arasında ($12 < (E_M/p_L) < 30$), normal konsolide zeminlerde ise 5 ile 8 arasında ($5 < (E_M/p_L) < 8$) değişmektedir. Bu tablolardan limit basınç tahmin edilebilir, ancak bunun kaba bir tahmin olduğu unutulmamalıdır.

Zemin durumu	Kil (E_M/p_L)	Silt (E_M/p_L)	Kum (E_M/p_L)
Sert-çok sert	>16	>14	>12
Orta sert-sert	9-16	8-14	7-12
Çok yumuşak-yumuşak	7-9	6-8	5-7

Çizelge 14. Zeminin türü ve durumu ile E_M/p_L oranı arasındaki ilişkiler (Clarke, B.G.)

PMT ölçümlerini kullanarak zeminleri sınıflandırmak için limit basınç P_{Lm} ve E_M/P_{Lm} oranı gereklidir. Çizelge-15'te gösterildiği gibi, basınç sınırının aynı değeri farklı zeminlere karşılık gelebilir. Bu nedenle, Çizelge-16'da verilen ikinci bir kriter gereklidir.

Zemin tipi	Consistency	P_{Lm} (MPa)
Kil ve silt	Çok yumuşak-yumuşak	< 0.4
	Sağlam	0.4–1.2
	Sert	1.2–2
	Çok sert	> 2
Kum ve çakıl	Çok yumuşak	< 0.2
	Orta yumuşak	0.2–0.5
	Gevşek	0.5–1
	Sıkı	1–2
Kireçtaşı	Yumuşak	< 0.7
	Ayrışmış	0.7–3
	Yumuşak	> 3
Marn ve marnlı kil	Yumuşak	< 1
	Sert	1–4
	Çok sert	> 4
Kaya	Ayrışmış	2.5–4
	Kırıklı	> 4

Çizelge 15. P_{Lm} 'ye göre zemin sınıflamaları (AFNOR NF P94-261)

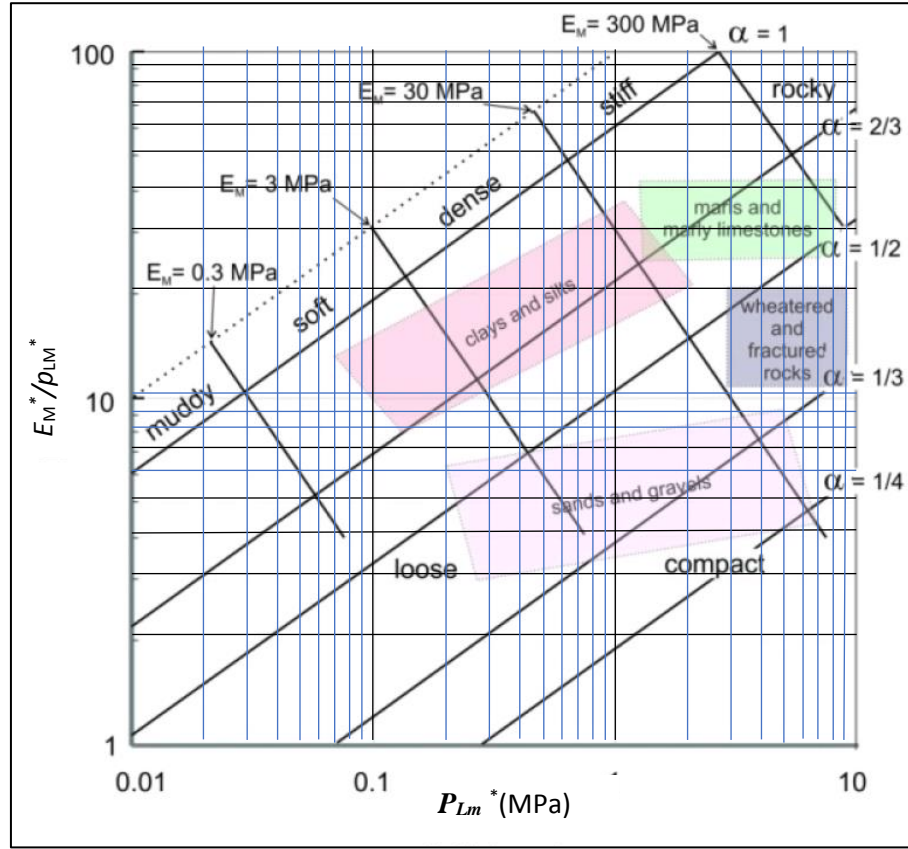
E_M/P_{Lm}	Zemin Tipi/Soil type
<5	Yoğrulmuş-örselenmiş zemin/Remolded soil
5 - 8	Az konsolide veya hafifçe örselenmiş zemin/Underconsolidated or slightly remolded clays
8 -12	Normal konsolide kil/Normally consolidated clays
12 - 15	Hafif konsolide kil/Slightly overconsolidated clays
>15	Aşırı konsolide kil/Overconsolidated clays
6 - 8	Çökeltmiş kum ve çakıl/Immerged sands and gravels
>10	Kumlar, kuru ve sıkı kumlar ve çakıllar/Sands, dry and compact sands and gravels

Çizelge 16. E_M/P_{Lm} değeri kullanılarak zemin sınıflarının belirlenmesi (AFNOR NF P94-261)

Bu tablo aşağıdaki temel kural ile özetlenebilir:

- Killer : $E_M/P_{Lm} > 12$;
- Kumlar : $7 < E_M/P_{Lm} < 12$.

Baud, J.P. ve Gambin, M. bu iki tabloyu aşağıdaki Şekil.10'da verilen grafik ile değiştirmiştir.



Şeklin renkli versiyonu için www.iste.co.uk/verbrugge/soils.zip

<i>Muddy</i>	Çamurlu	<i>Clays and silts</i>	Kil ve siltler
<i>Soft</i>	Yumuşak	<i>Marls and marly limestones</i>	Marnlar ve marnlı kalkerler
<i>Dense</i>	Sıkı	<i>Wheathered and fractured rocks</i>	Ayrılmış ve kırıklı kayalar
<i>Stiff</i>	Sert	<i>Sands and gravels</i>	Kum ve çakıllar
<i>Rocky</i>	Kaya		
<i>Loose</i>	Gevşek		
<i>Compact</i>	Sağlam		

Şekil 10. MPT kullanarak zemin tanımlama tablosu (Baud, J.P., Gambin, M.)

Researcher	Soil type (USCS)	Number of tests	E_m (MPa)	P_L (MPa)	N_{cor}	Density/stiffness
Yagiz et al. (2008)	Sand, silt, clayey silt, sandy clay, silty clay, silty sand	15	4.5–19	0.3–1.5	6–42	Loose, medium and dense
Bozbey and Togrol (2010)	Sandy soil	54	12–47	1–3	20–95	Medium, dense to very dense
	Clayey soils (CH)	100	5–44	0.5–3	20–70	Stiff, very stiff to hard
Kayabasi (2011)	Clayey soils	52	2.5–37.8	0.5–2.8	6–29	–
Cheshomi and Ghodrati (2015)	Silty sand (SM, GC-GM, SC-SM)	15	16.4–51	0.5–3.5	28–57	Dense to very dense
	Silty clay (CL and ML)	38	6.7–55.7	0.5–3.5	9–50	Low plastic and firm, stiff to very stiff
Naseem and Jamil (2016)	Clayey sand and sandy soil (SC, SP and SM)	25	18–64	1.8–5.3	6–23	–
This study	Clayey silt and silty clay (CL and ML)	41	10–37	1.1–48	9–41	Soft to stiff
	Silty sand (SM)	24	10–48.5	1.1–5.6	13–42	Medium dense to very dense

Çizelge 17. Literatürde SPT deney sonuçları ile MPT deney sonuçlarının farklı zemin tipleri için yapılan çalışmaların karşılaştırılması (Kayabaşı, A. vd.)

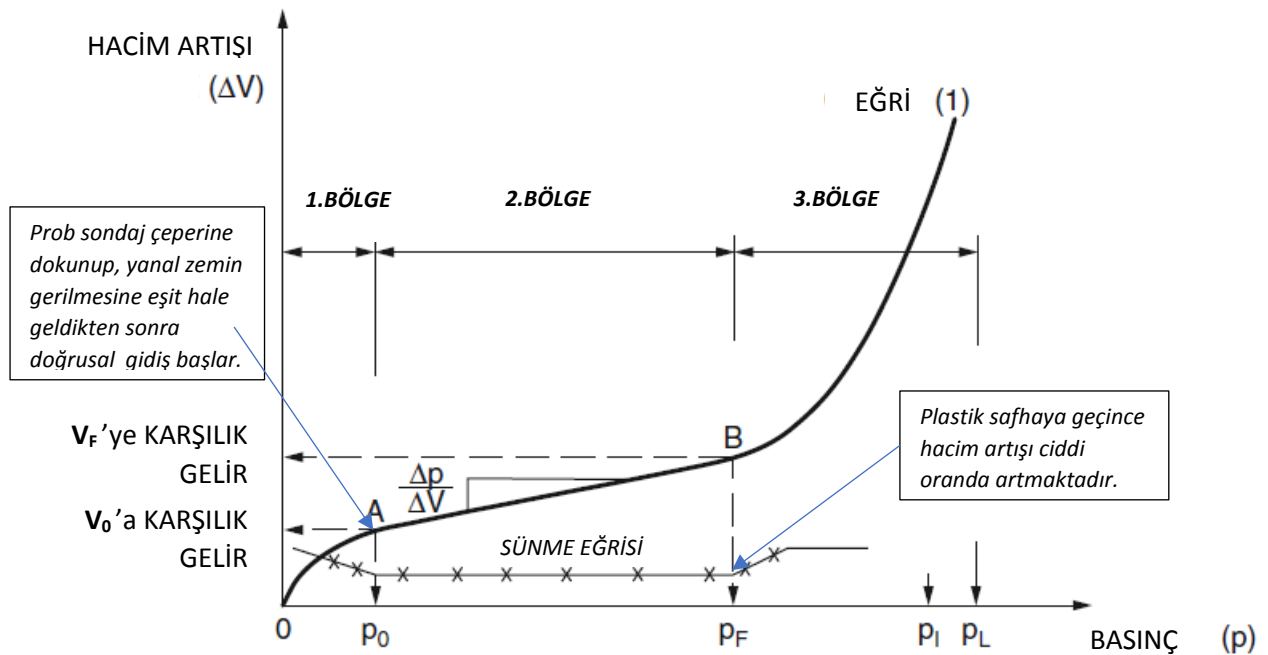
USCS	Dry unit weight (kN/m ³)	Water content (%)	Liquid limit (%)	Plasticity index (%)	Cohesion (kPa)	Friction angle (°)
CL	15.4	25	35	14	13-45	4-10
ML	16.6	22	30	7	7-37	22-31
SM	16.3-17.3	14	29	5	3-9	29-35

Çizelge 18. Zeminler için birim hacim ağırlık, su içeriği, likit limit, plastisite indeksi ve kesme dayanımı parametreleri (Mahnaz Firuzi, Ebrahim Asghari-Kalajahi, Haluk Akgün, 2018)

Deney prosedürü nasıl olmalıdır?

Uygulamada çok sayıda farklı deney prosedürü kullanılmaktadır. Bu prosedür TS EN ISO 22476-4'te de tanımlanmıştır.

Deney öncesi deney zonundaki toplam basınç artışı belirlenir. Prensipten dolayı düzgün bir grafik elde edebilmek için limit basınca 8-12 yükleme aşamasında (Baguelin, 1978) ulaşmak gerekmektedir. Ölçme hücrelerine eşit aralıklarla arttırılan basınçlar uygulanır. Uygulanan bu basınçlar 1 dakika aralıklarla uygulanır ve bu sürenin sonunda basınç stabilize olduktan sonra hacim genişlemesi/deformasyon okumaları alınır (ilk 15, 30, 60 saniyelerdeki okumalar kayıt edilir). Sünme eğrisi çizilmeyecekse 15 sn okuması alınmak zorunlu değildir. Daha sonra 2. aşamaya geçilir. Prensipten dolayı limit basınca (nihai yenilme basıncı) 8-12 yükleme aşamasında ulaşmak gerekiyor. Daha uzun sürede ulaşırsa ne olur? diye bir soru sorulabilir. Laboratuvarda suya doygun killerde yapılan deneyin drenajsız olması gerekmektedir. Laboratuvarda üç eksenli drenajsız bir deneyde yaklaşık olarak 15 dakika içinde numunenin yenilmesini sağlamak gerekir buna göre yükleme hızı; örneğin 1 mm/s seçilir. Deney daha uzun sürerse, suya doygun killerde deney aşamasında kısmi bir drenaj oluşabilir ve elde edilen limit basınç değeri drenajsız koşulları yansıtmaz.



Şekil 11. Menard tipi tipik presiyometre basınç-hacim grafiği (Clarke, B.G.)

İngiltere pratiğinde, 15, 30, 60 ve 120 sn sonra hacimdeki değişiklikleri kaydedilir. Yani her bir basınç adımı altında iki dakika beklenir.

İlk aşamada arazi okumaları (V ve P), düzeltilmiş okumalar (V_{cor} ve P_{cor}) [*cor: corrected/düzeltilmiş*], sünme eğrisi ($\Delta V_{60/30}$) ve basınç kaybı (P_c) grafikleri çizilir.

Yukarıda verilen grafikte x eksenı basınç, y eksenı hacim olarak belirlenmiştir. İngiliz pratiğinde ise eksenleri tersine çevirerek grafik çizilmektedir.

Düzeltilmiş hacim ve basınç okumalarından, elastik safha ile plastik safha ayrımı, sünme eğrisi yardımı ile kolaylıkla tespit edilmektedir. Yukarıda verilen grafik üzerinde çeşitli aşamalar gösterilmiştir.

Menard presiyometre deneyi önceden açılmış kuyu içerisinde yapıldığından P_0 değeri sükünetteki yanal zemin basıncı değerini temsil etmez. Sondaj yapıldığında zemin kaldırıldığından yanal zemin basınçları doğal dengedeki halinden bozularak aktif duruma yaklaşır. Bu temas anındaki p_0 , bozulmuş durumdaki denge basıncını vermekte, doğal denge durumundaki yanal zemin basıncını vermemektedir. Kendi delen (SBP-Self boring) presiyometre deneyinde ise zeminde doğal halden neredeyse hiç gerilme azalımı olmadığı için p_0 basıncı gerçek yanal zemin gerilmesine eşit olacaktır.

Deneyde basınç artışları nasıl olmalıdır?

Deneyler sırasında eşit zaman (60 saniye) aralıklarında eşit basınç artışları verilmeli ve düzgün bir deney grafiği elde edebilmek için deney sırasında en az 8-12 basınç aşaması uygulanmalıdır (Baguelin, 1978).

Limit basınç ilk önce beklenen limit basıncı bilinen bir zemin parametresiyle ilişkilendirilerek veya önceden ya da komşu kuyularda yapılan SPT darbe sayıları gözden geçirilerek kabaca tahmin edilebilir. Örneğin deneyde maksimum 20 bar bir basınç uygulanacaksa bunu 10'a bölüp yaklaşık uygulamanız gereken basınç aralığı çıkar (örneğinizde 2 bar). Deneyin başlangıcında basınç artışları düşük örneğin 1 bar olabilir, prob kuyu çeperine değdiğinde basınç artışları arttırılabilir. Aralıklar arasındaki rampa artış süresi, basınç artış büyüklüğü ile orantılı olarak 15 ila 30 saniyedir.

Sondaj delgisinin ideal olarak açıldığı düşünülduğünde, deneylerde zemin/zayıf kaya birimi yenilene kadar yüklemeye devam edilmelidir. Buna cihazın hacim kapasitesi (60 mm prob için 750 cc) veya basınç kapasitesine (yaklaşık 40 bar) ulaşılan kadar, her artış için tekrar edilir.

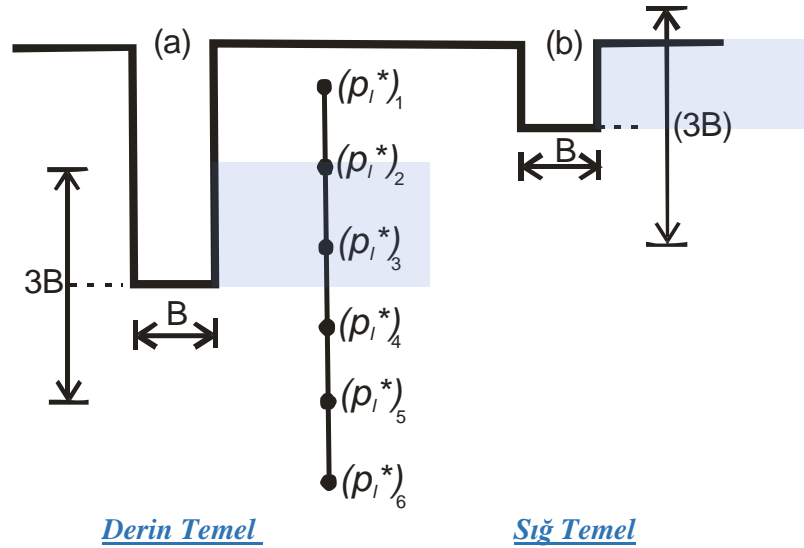
Basınç artışları verilirken eşit zaman aralıklarında basınçların düzgün olarak verilememesi, okuma hatalarına dolayısıyla hatalı çizimlere neden olur.

Basınç artışları verilirken zeminin durumu göz önünde bulundurularak örneğin zayıf zeminlerde basınç artışları çok düşük miktarlarda (0.5-1 bar) olup, bu artışları genellikle kronometreyi durdurmadan 5-10 saniye içerisinde vermek ideal olanıdır. Basınç artışlarının fazla olduğu zeminlerde deney yaparken kronometre durdurulabilir. Basınç artışı verildikten sonra hemen kronometreye basılarak çalıştırılır, 60 saniye sonra son okuma alınıp durdurulabilir. Basınç artışı tekrarlanarak kronometreye tekrar basılır ve işleme bu şekilde devam edilir. Fark basıncını bozmamak için, basınç ayarına ulaşıldıktan sonra basıncı düşürmemek önemlidir.

Basınç ve hacim için önerilen sınır değer kombinasyonuna ulaşıldığında ise test durdurulur.

Basınç artışları verilirken özen gösterilmeli, basınç artışı belirlenen değeri geçtiğinde geri almak/düşürmek için çalışılmamalıdır. Bu durumda, deney füyüne cihazda okunan basınç değeri kaydedilmeli ve hesaplamalarda bu basınç değeri kullanılmalıdır. Aynı zamanda basınç artışlarının sabit tutulması gereken süre içerisinde basıncın yükselmesine izin verilmemelidir.

Temel derinliğinin üzerinde deney yapılacak mı?

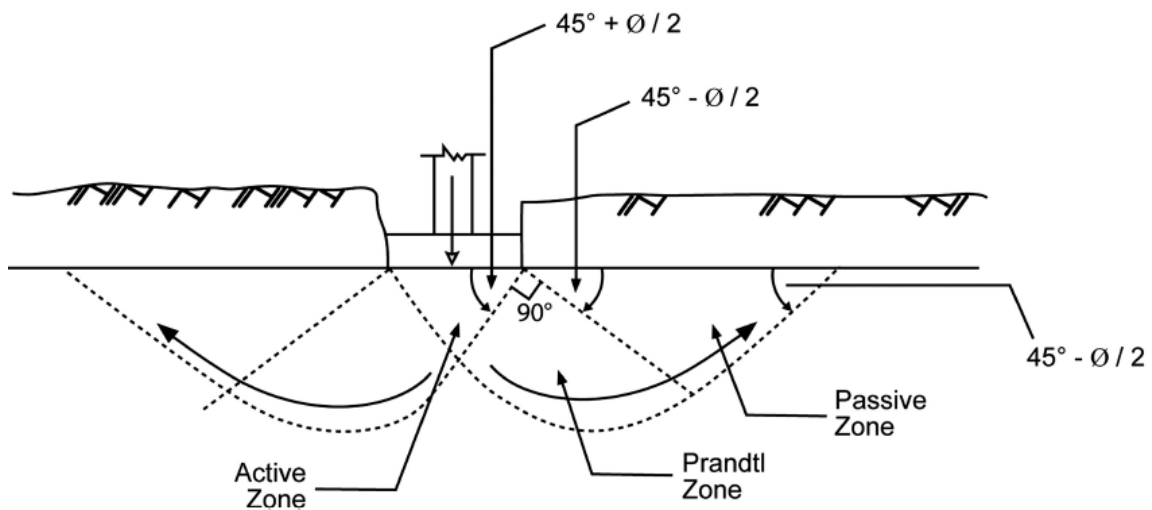


Şekil.12 Derin ve yüzeysel temellerde etki derinliği (Baquelin vd., 1978)

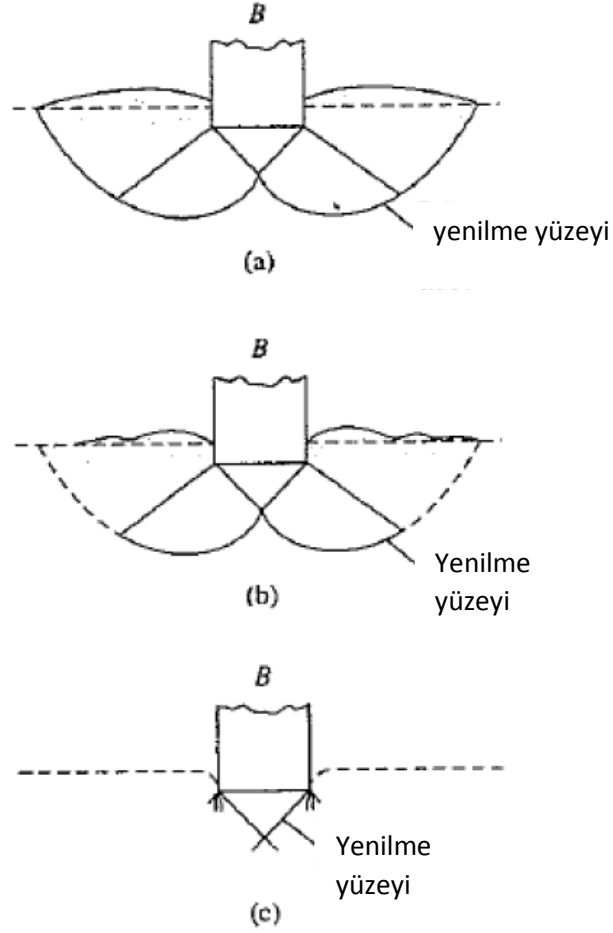
Proje uygulayıcıları tarafından yapılan hatalardan biri de presiyometre ölçümlerinin yapı temel tabanı üzerinde yer alan katmanlarda yapılmadan temel alt kotundan başlatılmasıdır.

Temel seviyesinin üzerindeki taralı bölgedeki ölçüm değerlerinin kullanılmasında amaç, zemin yenilmesi sırasında yenilme kamasının bu kısmı içermesindedir (Şekil-13).

Bu nedenle homojen zeminlerde temel tabanı üzerindeki presiyometre verileri mutlaka kullanılmalıdır.



Genel kayma yenilmesi/General shear failure (Look, Burt G.)



Şekil 13. Yenilme Kamaları a) genel b) yerel c) Zimba kayma yenilmesi

Deney kalibrasyonu yapılacak mı? Hangi sıklıkta yapılacak?

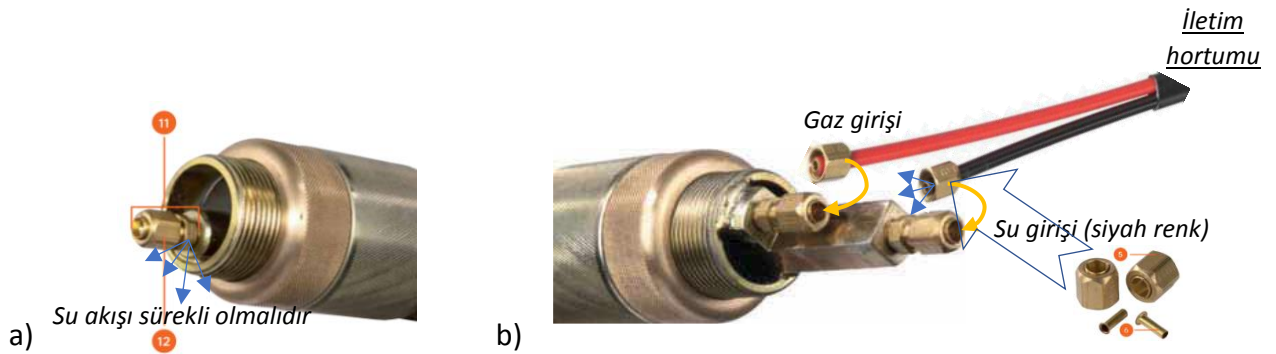


Kullanıcıların basınç ve hacim kalibrasyonlarını yanlış-eksik yapması veya hiç yapmaması, kalibrasyon yapmayı bilmemesi, hatta kalibrasyonun işlevini yeterince bilmemesi veya bir başka cihazla yapılan kalibrasyon değerlerinin yaptıkları deneylerde kullanılması, uygulamada kalibrasyon konusunda yapılan en yaygın hatalardır. Eğer kalibrasyon işlemleri eksik veya yanlış yapılırsa presiyometre deney sonuçlarının güvenilirliği kalmaz.

Presiyometre deney ekipmanları her arazi çalışması öncesi, yaklaşık arka arkaya yapılan 20 testten sonra sonda lastiğinin esnemesi göz önüne alınarak, probun membran ve kılıfının her değişiminde, iletim hortumları yenilendiğinde, aşırı sıcaklık değişiminde, kullanılan suya antifiriz ilave edildiğinde basınç kaybı ve hacim kayıplarını gidermek için mutlaka kalibre edilmelidir. Kullanılan suya antifiriz ilave edildiğinde kullanılan antifirizin özelliği önemlidir. Sıcaklığın 0°C'nin altında olduğu ortamlarda deney yapılması gerektiğinde antifiriz olarak cam temizleme suyu kullanılması tavsiye edilir. Ancak

bu sıvı, boru ve ek parçaları tıkayabilecek birikintilere neden olabileceği için zorunlu olmadıkça kullanılması tavsiye edilmez.

Kalibrasyon işlemine başlamadan önce birtakım ön hazırlık işlemlerinin yapılması gerekir. Bunlardan en önemlisi su devrelerin doluluğu ve doygunluğunun sağlanmasıdır. Operasyonun ilk aşaması, kontrol ünitesinin ve iletim borusunun (siyah renkli) su ile doldurulması ve doyurulmasından oluşur. Bu işlem zemin seviyesinde yapılır. Volumetredeki su içerisinde hava kabarcıklarının olmaması ve hortumun kontrol ünitesindeki soketlerine takılması gerekir. Cihazdan basınç vanası ile hafifçe basınç verilir. Hortumdan (siyah renkli) su akışının sürekli geldiği ve kesikli şekilde akmadığından emin olduktan sonra 10 Nolu valf kapatılır (closed). Hortumun ucu proba bağlanır (Şekil-14b). Daha sonra probun içerisini sistemdeki su gidişini açarak su ile doldurulur. Proba 300 cc su enjekte ettikten sonra hortum probdan ayrılır. Probun orta kısmını (su hücresi) özellikle iç bileziklerin olduğu yerleri iki elle hafifçe sıkıp bırakarak su içindeki hava kabarcıklarının çıkmasını sağlar veya diğer bir yöntemle aşağıda açıklandığı gibi hava çıkışı sağlar.



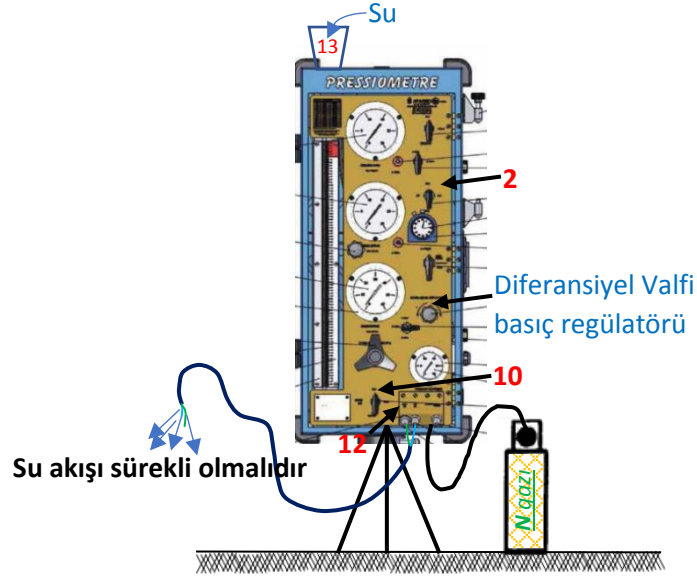
Şekil 14. Probun alt kısmındaki (a) su içindeki havayı almada kullanılan su tahliye somunu (kör tapa)

Su devrelerinin doluluğu ve doygunluğu deney öncesi birkaç defa basınç artışı ve boşaltması sonrası büyük oranda azalır. Fakat su devresinde hava kalmaması için Şekil-14'de gösterilen merkez/su hücresine bağlı 11 nolu bağlantı yerindeki somunu [12 nolu kör tapa] gevşeterek sürekli su akışının gelişi görülür ve somun tekrar sıkılır. Yüksek basınçlara çıkılacaksa hortum ve prob tüm havadan arındırılmış olmalıdır. Bu amaçla deney öncesi probu honlanmış (iç kısmı pürüzsüz/dikişsiz olan) çelik boru içerisine yerleştirip istenilen basınca çıkıp kontrol edilir. Aksi taktirde yüksek basınçlarda sistem içerisinde hava varsa ve su gidişi çok az ise su düşüşü yerine volumetrede su yükselişleri görülebilir.

Aşağıdaki her olaydan sonra su devrelerinin doluluğu ve doygunluğunun kontrolü yapılmalıdır:

- 1) Eğer su devresinde bir vakum oluşuyorsa, örneğin, eğer prob çok derine indiriliyorsa ve kuyu kuru ise,
- 2) Sistemdeki basınç aniden serbest kalırsa. Örneğin, yüksek basınçlı deneylerden sonra,
- 3) Uzun süren deneyler gibi özel amaçlı deneylerden sonra,

böyle bir olay meydana gelebilir.



Şekil.15 Su devrelerinin doygunluğunun sağlanması (Özdemir, G.)

Bütün bu işlemlerden sonra su seviyesi düşeceği için volumetredeki su seviyesi görüş tüpündeki kırmızı renkli bölgeye gelinceye kadar ("0" seviyesi) doldurulmalıdır. Küçük huniyi kontrol panelinin üzerindeki giriş 13'e bağlayınız ve kelebek vana 2 'yi "Su" ya çeviriniz. Gaz devresini suyla doldurmaktan kaçınmak için seviyenin yükselmesine izin vermeyiniz. Volumetreyi doldurmak için temiz su veya soğuk havalarda cam suyu antifriz solüsyonu kullanınız. Kontrol panelini boşaltmak için doldurma hunisini çıkış 12'ye bağlayınız. Valf 2 'yi "Su" konumuna çeviriniz. Kontrol panelindeki volumetredeki su yerçekimi ile boşalır.

Diferansiyel Valfi İle İlgili Sorunlar ve Giderme Yolları :

Aşağıdaki işlemlerde gerekli düzeltici eylemleri gerçekleştirirken, teknik bir servisten yardım alınız.

Sorun: Fark basıncı korunmuyor.

1. Diferansiyel basınç valfinin temiz olduğundan emin olunuz.
2. Valf'in sızdırmadığından emin olunuz.
3. 2 Nolu kelebek valfin işlevini yerine getirip getirmediğini kontrol ediniz.

Sorun: Ayarlanan basınç, kilitlemeden sonra ve kontrol düğmesi pozisyonunda değişiklik yapılmadan artmaya devam ediyor.

Muhtemel neden:

Basınç regülatörü grubunun temizlenmesi ve contasının değiştirilmesi gerekir.

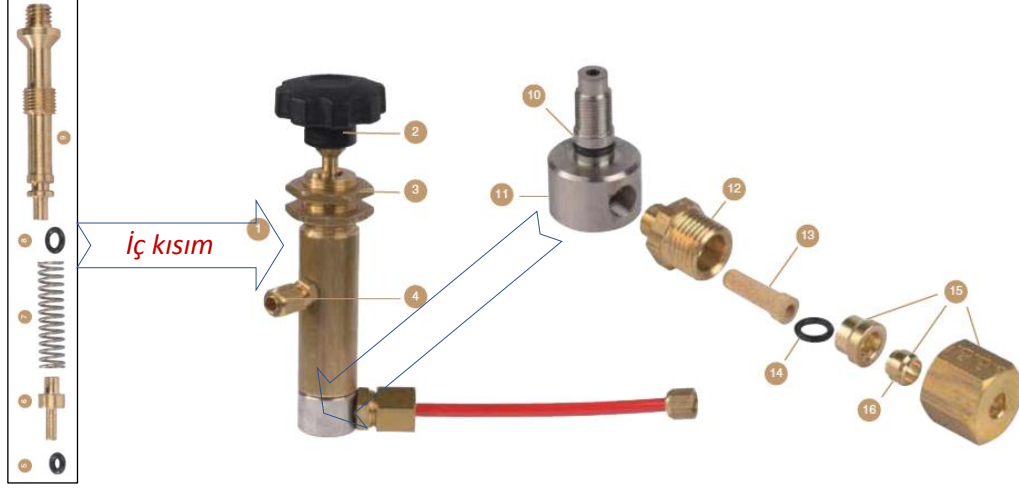
Sorun: Testten sonra su sıfıra dönmüyor.

Muhtemel neden:

1. Hortumları kontrol ediniz.
2. Probonun iç lastiğini ve iç bilezikleri kontrol ediniz.
3. 2 Nolu valfin işlevini yerine getirip getirmediğini kontrol ediniz.

Sorun: Gaz devresine su girdi.

1. Diferansiyel valf ve basınç regülatörü dahil olmak üzere gaz devresini tamamen boşaltın.



Şekil.16 Diferansiyel Valfi (Differential valve) (Apegeo 2010-2011 katalog)

Sorun: Bir vana sızdırıyor

1. BTR 5/64 anahtar ile düğmeyi vanadan çıkarın ve pulu 8 mm düz anahtarla hafifçe sıkınız.
2. Gerekirse, valfin kendisini değiştiriniz.
3. Değişirme hassas bir işlemdir ve uygun aletler gerektirir.

Sorun: Kirli, kırık veya çatlak görüş tüpü

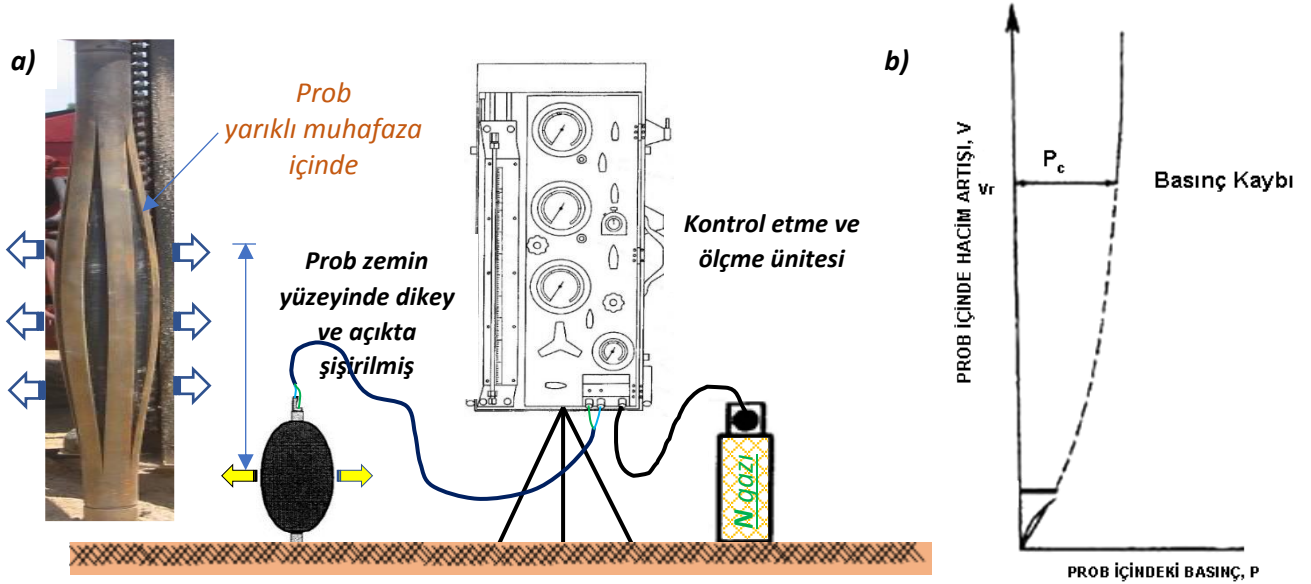
Görüş borusunun önündeki şeffaf polikarbonat koruma şeridini çıkarınız, görüş borusunun bağlantıda olduğu alt ve üst somunları sökünüz, arızalı ise görüş borusunu hafif şekilde arkasına parmağınızı sokup esneterek çıkarınız ve kontrol paneli kutusunda saklanan yedek şeffaf görüş borusu ile değiştiriniz. Eğer kirli ise içini temiz pamuklu bir bez ile ucunu çekerek temizleyiniz. Ters sırada yeniden monte ediniz. Somunları aşırı sıkmayınız. Sızdırmazlığını cihaz ile probu kalibrasyon borusu içerisine yerleştirip yüksek basınçta kontrol ediniz.



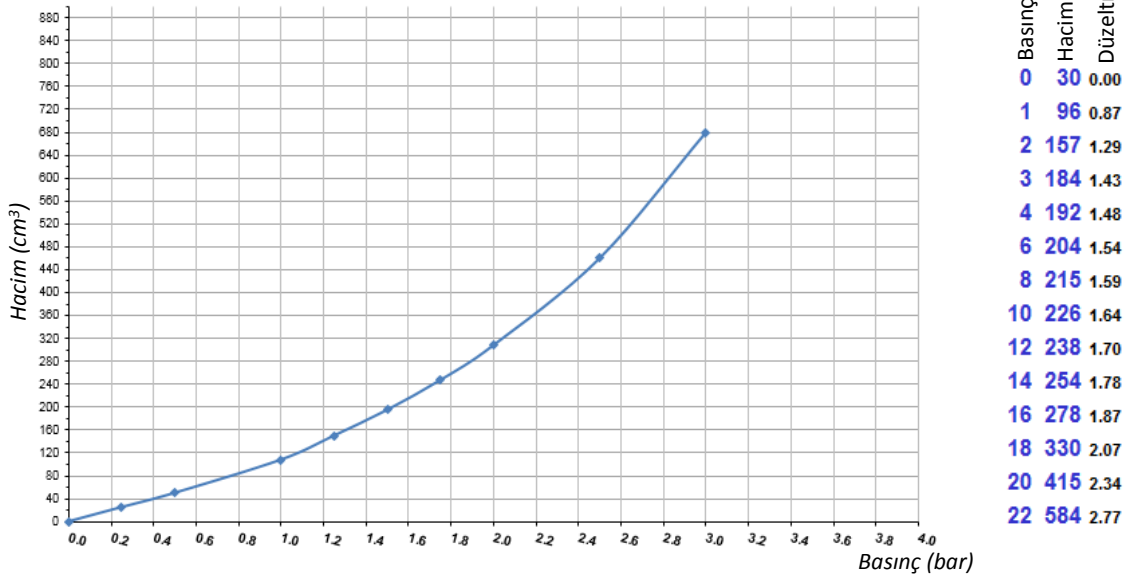
Şekil.17 Şeffaf polikarbonat su görüş borusu (Apegeo 2010-2011 katalog)

Basınç Kaybı Testi (Pressure Loss Test) :

Sondanın lastik kısmının düşük bir direnci vardır. Bu direncin deneyin yapıldığı zemine verilen basınç içine dahil edilmemesi gerekir. Mebran ve membran kılıfının direncinin aşılması için harcanan basıncın bulunması işlemine “mebran düzeltmesi” veya “mebran direnci hesaplaması” adı verilir. Prob, 25 kPa'lık artışlarla şişirilir.



Şekil.18 a) Açık havada Basınç Kaybı Testi şematik gösterimi (Özdemir, G.) b) Mebran direnci [açıkta] kalibrasyon eğrisi (Briaud, J.L.,1992).



Şekil.19 Basınç düzeltmesi değerleri ve grafiği (Özdemir, G.)

Kullanıcıların yaptıkları diğer hatalardan biri de deneyde yarıkli muhafaza borusu kullandıkları zaman basınç kalibrasyonu düzeltmesini açıkta şişirdikleri çıplak proba göre yapmalarıdır. Eğer deneyde yarıkli muhafaza borusu (slotted tube) kullanılacak ise, prob yarıkli muhafaza borusu içerisine konarak kalibrasyon işlemi yapılır. Bu durumda yarıkli muhafaza borusunun yüzeyde deney süresince dik tutulması ve bir yere yaslanmaması gerekir. Bir diğer önemli konu da probun yarıkli muhafaza içerisine konacağı zaman kauçuk olan merkezleyici alt ve üst tampon parçalarının

(Şekil-20) yerleştirilmesi gerekmektedir. Sadece alt tampon parçasının konup üst parçasının konmaması durumunda tijle bağlantı sırasında kablodan çekilmesiyle probun yukarı doğru hareket etme olasılığı vardır.



Şekil.20 $\phi 63\text{mm}$ Menard yarıkli muhafaza (slotted tube) borusu [1] ile $\phi 44\text{ mm}$ prob [7] (AX prob uzunluğu 84cm, BX prob 70cm) (Apegeo 2010-2011katolog)



Şekil.21 $\phi 75\text{mm}$ Oluklu-yarıkli muhafaza (slotted tube) borusu [5]

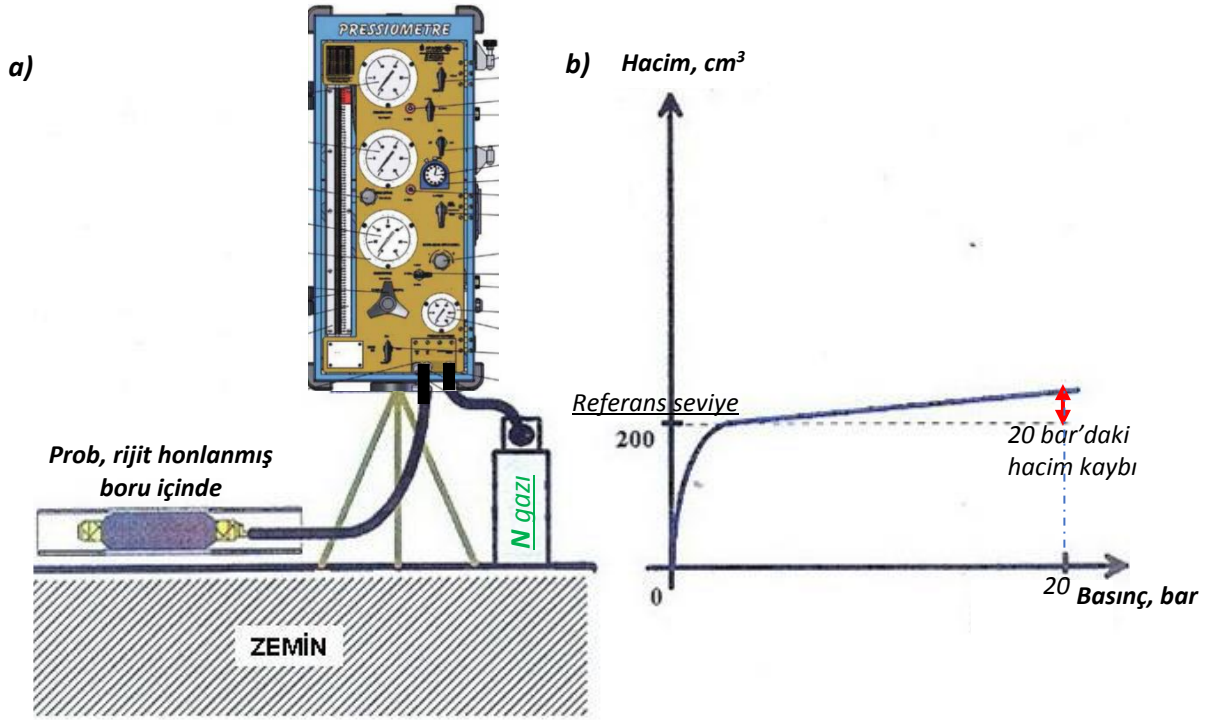
Membranın sertliği/direncini bulmak için yapılan kalibrasyonda, prob dikey bir kuyudaki konumu ile aynı olması mantığıyla yüzeyde düşey olarak kontrol ünitesi yanında yer alır. Yatay şekilde zemine bırakılarak (yatırılarak) kalibrasyon yapılması halinde, probun kendi ağırlığı membran ve kılıfın davranışını değiştirebilir.

Hidrostatik Basınç Düzeltmesi :

Sonda derinlere indikçe, merkezi hücredeki suyun basıncı artar. Yer yüzeyi ile deney seviyesi arasındaki basınç farkı diferansiyel düzeltme ile giderilir. Cihazın yüksekliği ile yer yüzeyi arasında oluşacak su basıncı da deney basınç verilerine eklenir. Menard presiyometresi volümetresinin orta seviyesi ile yer yüzeyi arasındaki seviye farkı 60 cm'dir. Bu seviye farkı nedeniyle oluşan 0.06 bar basınç deney basınç verilerine eklenmiştir.

Burada kullanıcıların yaptıkları hatalardan biriside deney cihazının kuyu ağız kotundan daha yüksekte yer alması durumunda bu basınç farkının diferansiyel fark oluşturulurken dikkate alınmamasıdır.

Hacim Kaybı Testi (Volume Loss Test) :



Şekil 22. a) Hacim kaybı testi (rijit silindir boru içinde kalibrasyon eğrisi) b) Sistem sıkışabilirliği düzeltilmesi için kalibrasyon eğrisi (Apege, 2006)

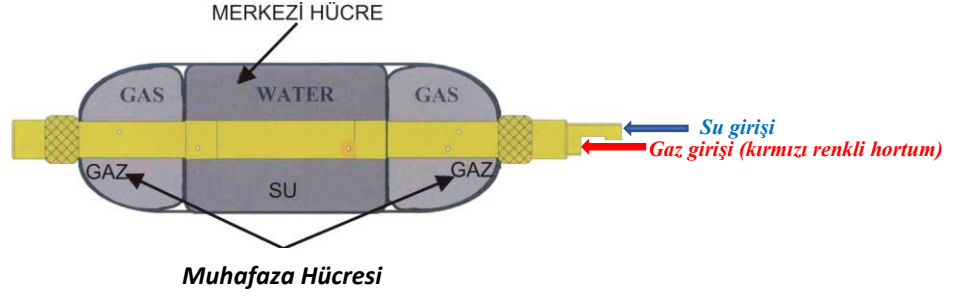
Bu hacim kaybı, prob ve sıvı dahil olmak üzere hortumların genişmesi ve test ekipmanlarının herhangi bir bölümünün sıkışabilirliği ile meydana gelebilir. Hacim kaybı için yapılan deneyde rijit bir çelik (malzeme) içerisinde hacim artışı ölçmemek gerekirken bir miktar yukarıdaki Şekil-21 b 'de görüldüğü gibi hacim artışı ölçülür. Sistemdeki hacim artışının belirli aralıklarla ölçülmesinin nedeni zaman içerisinde iletim borularının rijitliğinin değişebilmesi sebebiyledir.

Kullanıcıların burada yaptığı hatalardan biri de prob honlanmış çelik bir boru içerisine yerleştirilip kalibrasyonun gerçekleştirilmesi gerekirken sert PVC bir boru içerisinde bu işlemin yapılmasıdır. Kullanılan prob çapları dikkate alınarak; örneğin 60 mm çaplı BX prob için iç çapı 65 mm olan çelik honlanmış boru kullanılmalı ve boru kalınlığı min 3 mm olmalıdır.

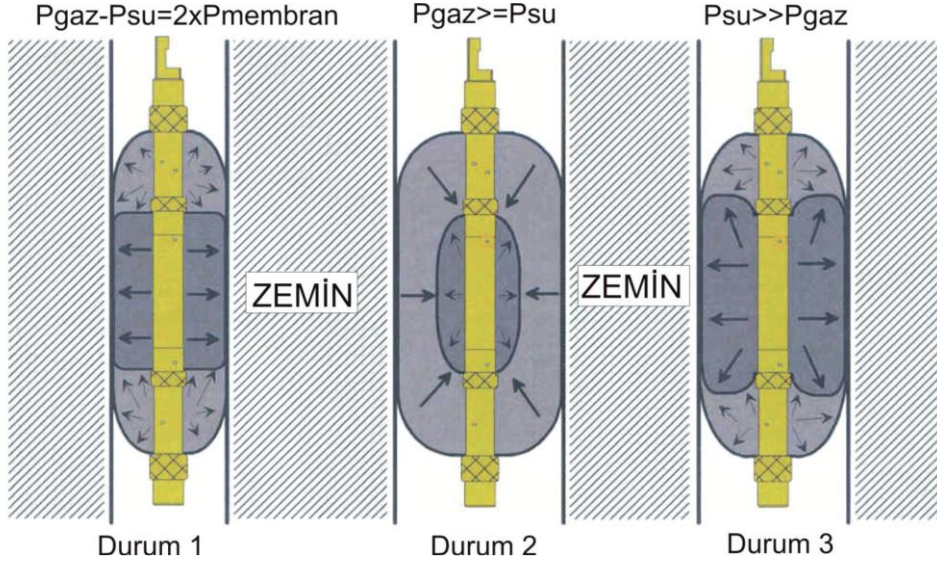
Deney sırasında yapılan hatalar nelerdir?

Son yıllarda Türkiye'de presiometre deneyine talebin artması ile bu deneyi yapan tecrübesiz personelden kaynaklanan hatalar, proje müellifinin deneyi tamamen yanlış yorumlaması sonucunu neden olmaktadır.

Probun merkezi hücre (su) ve muhafaza/koruyucu hücreleri (gaz) arasındaki basınç farklılıkları deneyin sonuçlarını etkilemektedir. Koruma hücresi ile ölçüm/merkez hücreleri arasındaki basınç farkı sabit kalması için diferansiyel basınç ayarının düzgün yapılmış olması gerekir.



Şekil.23 G tipi presiyometre sondası ve kesiti (Apageo, 2006)



Şekil 24. Diferansiyel Basınç Şeması (Apageo, 2006)

Geçerli bir deney için, merkezi ölçüm hücresinin uzunluğu boyunca tamamı zemin ile temas halinde olmalıdır. Bu durum yukarıda Şekil-24’de “Durum 1” olarak gösterilmiştir. 2. durumda olduğu gibi koruyucu hücrelerde basınç daha yüksek ise, merkez ölçüm hücresi membranının zemin ile temas durumuna kadar genişletmek mümkün olmayacaktır. Tersine, eğer basınç merkez hücrede çok yüksek ise (3. durum), ölçüm probu sadece radyal olarak değil yukarıya koruyucu hücrelere de doğru genişleyeceğinden hacim ölçümü hatalı olacaktır.

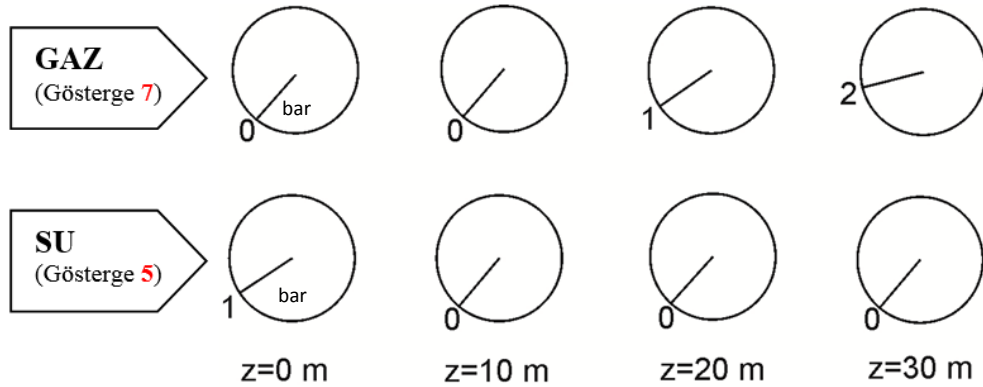
Menard G tipi presiyometrelerde ölçüm kutusu üzerindeki diferansiyel valfinin (Şekil-26) bu ayarlamaları otomatik olarak yaptığı tamamen yanlış bilinen uygulamadır. Bu duruma özen gösterilmelidir. Bu basınç farkını oluşturmak için bu valf sağa (saat yönünde) veya sola doğru (saat yönünün tersi) hafifçe çevrilerek basınç farkı oluşturulur. Bu etki anlık olarak değil bir sonraki basınç artışı sırasında görülür. Bu ayarlama düşük basınçlarda gerçekleştirilmelidir. Yüksek basınç seviyelerinde bu valf ile oynamamak gerekmektedir. Vana, bir sağa bir sola doğru çevrilmemelidir.

Koruyucu hücrelerdeki basınç merkez hücredekinden daha fazla ($P_{gaz} > P_{su}$) ise;

Zemindeki genişleme daha fazla olduğu halde okuyucu merkez hücreden daha düşük hacim değeri okuyabilir.

Koruyucu hücrelerdeki basınç merkez hücredekinden daha düşük ($P_{su} >> P_{gaz}$) ise;

Zemindeki genleşme daha az olduğu halde okuyucu merkez hücreden daha fazla hacim değeri ölçebilir. Fazla hacim yukarı doğru hareket eder. Okuyucu yana zemine doğru hareket ettiğini sanıp hatalı ölçüm ve sonuçlar elde edebilir.

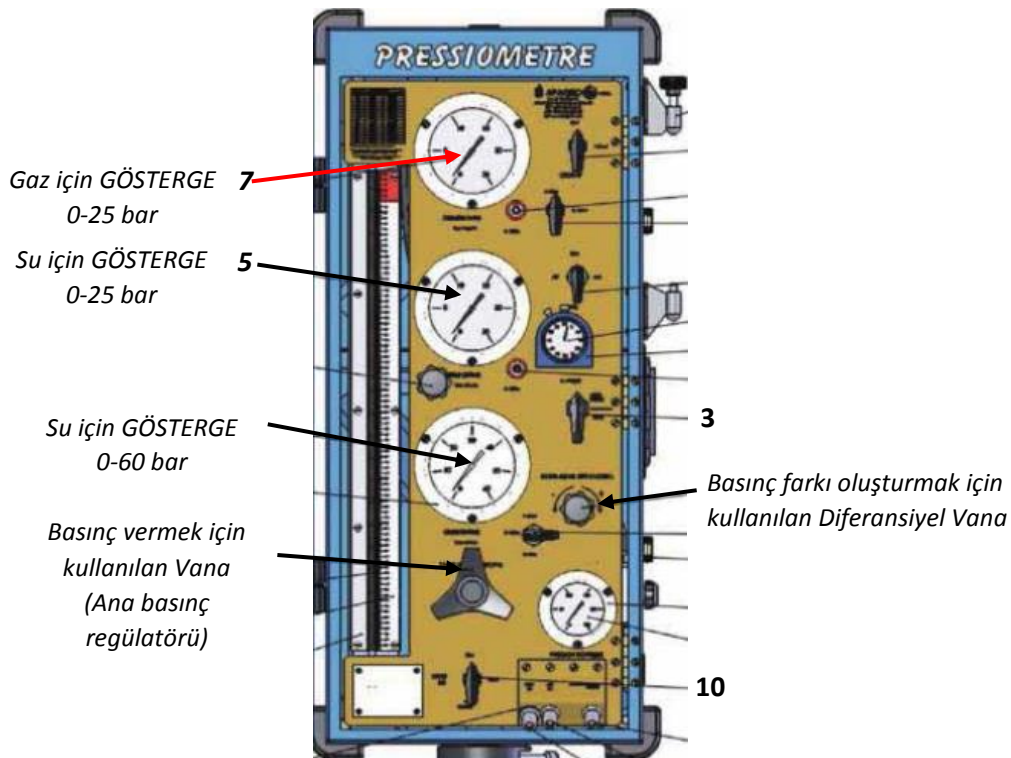


Test başlangıcı (z=0) ve farklı derinliklerdeki ölçüm kutusu üzerindeki manometreler/göstergeler üzerindeki el pozisyonları (okumalar bar)

Şekil 25. Menard G modeli presiometre cihazıyla diferansiyel basınç farkı oluşturulma örnekleri

G tipi presiometrede merkezi hücre basıncı ve muhafaza hücresi basıncı farkı takip edilerek diferansiyel kalibrasyon yapılmalıdır.

Prob yer yüzeyinin 1 metre altında ve toplam 90 kPa (0.9 bar) basınç farkı gerektiğinde, diferansiyel basıncın pnömatik bileşeni -90 kPa'dır [(kuyu derinliği-10)/10]. Başka bir ifade ile gage 5 (merkezi hücre basıncı göstergesi) ve gage 7 (koruyucu hücre basıncı göstergesi) arasında oluşacak fark 90 kPa'ya ayarlanmalıdır (su basıncı önde). Bu arada 3 nolu valf 0-10m konumunda olmalıdır. Her metre ilave prob derinliği için diferansiyelin pnömatik bileşeni 10 kPa azalır.



Şekil 26. Menard G modeli presiometre cihazıyla diferansiyel basınç farkı oluşturulması

10 metre derinlikte, pnömatik diferansiyel "0" olmalıdır.

10 m'nin üzerindeki tüm derinlikler için, Vana 3 (Şekil-26) ">10" metre konumuna döndürülür (gaz basıncı önde). Bu vana aynı zamanda deney bitiminde bu pozisyonda kalarak (>10 m/Bleeding-boşaltma) suyun geri alınması sırasında basınç farkının eşit şekilde düşmesini sağlar. Suyun geri alınması sırasında bu vana "0-10 m" pozisyonunda kalırsa gaz ve su arasındaki basınç farkı artarak problem yaşanmasına neden olur.

Prob çıplak indirildiğinde deney sonunda tamamen sönmüldüğünden emin olmadıkça hareket ettirilmemelidir. Aksi takdirde probun dış kılıfı zarar görebilir.

Deney sırasında tijler kuyu başında anahtar ile tutulmalıdır. Makinanın fren mekanizmasına güvenilmemelidir.

Probun iç ve dış bileziklerinin düzgün şekilde takılmaması sonucu karşılaşılan problemler



Probun üzerindeki delikler membran ve kılıfın tamamen söküldüğündeki (çıplak) görünümü (1)



Merkezi hücre uzunluğu boyunca membran yerleştirme (2)



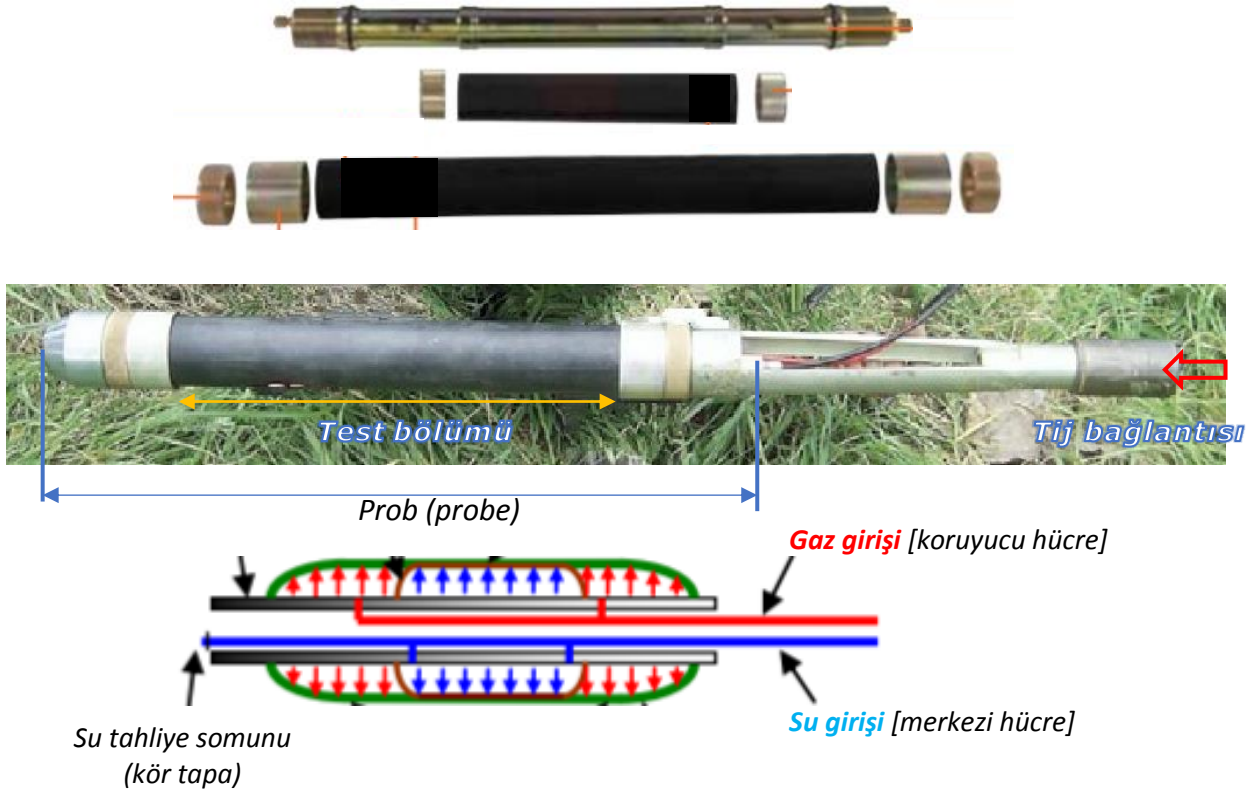
Merkezi hücre bilezikleri (halkaları) ve üzeri bantlanmıştır (3)



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

Şekil.27 Ölçüm Yapmak İçin Hazırlanan Prob (Başhan, E.)

Probun iç ve dış bilezikleri kuralına uygun şekilde takılmalıdır. İç bilezikler Şekil-27 (2) 'de görüldüğü gibi her iki yöne doğru itirilerek yerlerine tam olarak oturtulmalı ve daha sonra bantlanmalıdır. Dış bilezikler yerleştirilirken dış kılıf farklı yerlerinden kelepçelerle tutturularak bileziklerin kılıf üzerindeki hareketi sırasında dış kılıfın büzülmesi önlenmelidir. Bu amaçla molibdenli gres kılıfın her iki ucuna sürülerek bileziklerin kılıf üzerindeki hareketi kolaylaştırılır.



Şekil.28 Ölçüm yapmak için hazırlanmış prob

Presiyometre deneyinden kesme dayanımı parametreleri c ve ϕ 'yi bulmak mümkün müdür?

Mohr Coulomb eşitliğini ($\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$) oluşturan içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) değerlerinin presiyometre deneyi ile belirlenmesine yönelik literatürde ampirik (görgül) ve teorik eşitlikler önerilmiştir. Bu eşitlikler kohezyonsuz zeminlerde drenajlı koşullar için içsel sürtünme açısını, suya doymun ince taneli zeminlerde drenajsız koşullar için kohezyon değerini belirlemek için verilmiştir. Hem kohezyon hem de sürtünme açısına sahip zeminlerin kohezyon ve içsel sürtünme açılarının ikisinin birden belirlenmesi pratik olarak mümkün değildir.

Zemin, kohezyonsuz kum ve çakıl tipi bir zemin ise presiyometreden içsel sürtünme açısı da elde edilebilir. Kohezyon içeriği hiç olmayan bir zeminde presiyometre deneyi yapmak zordur ve tavsiye edilmeyen bir durumdur. Nedeni kuyu açıldığında kendisini tutamayıp göçer. Bu durumda kuyuya ya muhafaza borusu inip test derinliğine kadar presiyometre probu itilerek ya da çakarak inilecektir. Bu durumda da yerinde gerilme dağılımı değiştirilir, yanıl gerilme artırılmış ve zemin sıkıştırılmış olur. Buna bağlı olarak mukavemet artar. O nedenle kohezyonsuz zeminlerde ampirik eşitliklerin kullanımı tavsiye edilmez.

Cassan, M. (2007) PMT (Pressuremeter Test)'den elde edilen limit basıncı p_{lm} kullanarak aşağıdaki ilişkiyi önermiştir.

$$p_{lm} - p_0 \leq 0.3 \text{ MPa için : } c_u = \frac{p_{lm} - p_0}{5.5}$$

$$0.3 \leq p_{lm} - p_0 \leq 1 \text{ MPa için: } c_u = \frac{p_{lm} - p_0}{12} + 0.03 \text{ ve ayrıca } c_u = \frac{p_{lm} - p_0}{10} + 0.025$$

$$1 \leq p_{lm} - p_0 \leq 2.5 \text{ MPa için: } c_u = \frac{p_{lm} - p_0}{35} + 0.085$$

Kumlar için MENARD, L. (1963) tarafından önerilen orijinal korelasyon:

$$\phi' = 24 + 13.3 \cdot \log \frac{p_l}{100 \cdot b}$$

burada p_l , kPa cinsinden ifade edilir ve nemli kumlar için $b = 1.8$ ve kuru kumlar için 3.5 olarak alınır. Ortalama önerilen değer ise 2.5 'tir.

Bu ilişki Van Wambeke, A. tarafından biraz değiştirilmiş ve şu şekilde ifade edilmiştir :

$$\phi' = 18.7 + 13.3 \cdot \log(p_l - p_0) + b'$$

Burada $b'=2$ nemli, $b'=-2$ kuru zeminler içindir.

SPT deney sonuçlarından Elastisite Modülü E_{PMT} ve Limit basıncın P_L 'nin tahmin edilmesi mümkün mü?

Empirical equations/ Deneysel eşitlikler				Kaynaklar
Soil type Zemin tipi	E_{PMT} / P_L	P_L	E_{PMT}	
Silty clay	12–21	P_L (kpa) = 29.45 (Ncor) + 219.7 $r = 0.97$	E_{PMT} (kPa) = 388.67 (Ncor) + 4554 $r = 0.91$	Yagiz <i>et al.</i> (2008)
Sandy soil	7–15	P_L (Mpa) = 0.33 (N ₆₀) ^{0.51} $r^2 = 0.74$	E_{PMT} (Mpa) = 1.33 (N ₆₀) ^{0.77} $r^2 = 0.82$	Bozbey and Togrol (2010)
Clayey soil	7–19	P_L (Mpa) = 0.26 (N ₆₀) ^{0.57} $r^2 = 0.67$	E_{PMT} (Mpa) = 1.61 (N ₆₀) ^{0.71} $r^2 = 0.72$	
Sandy soil	—	—	$E_{PMT} / Pa = 9.08 N^{0.66}$ $r^2 = 0.482$	Ohya <i>et al.</i> (1982)
Clayey soil	—	—	$E_{PMT} / Pa = 19.3 N^{0.63}$ $r^2 = 0.393$	
Clayey soil	-	$P_L = 0.0425 (N_{60})^{1.2} \text{ (MPa)}$ $r^2 = 0.74$	$E_{PMT} = 0.2885 (N_{60})^{1.4} \text{ (MPa)}$ $r^2 = 0.74$	Kayabasi, A. (2012)
	-	$P_L = 0.03 (N_{60})^{1.26} - 108.4w - 1.69 \text{ (MPa)}$ $r^2 = 0.77$	$E_{PMT} = 1.24 (N_{60})^{0.94} - 11.04 \ln w + 37.9 \text{ (MPa)}$ $r^2 = 0.72$	

Silty clay: Siltli kil; Sandy soil: Kumlu zemin; Clayey soil: Killi zemin

Çizelge.19 E_{PMT} , p_L ve SPT- N_{60} arasındaki literatürde karşılaşılan amprik ilişkiler (Cheshomi, A. ve Ghodrati, M., 2014)

Literatür taraması, SPT ve E_{PMT} ve P_L arasında tek tip bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bu nedenle zemin tipi, N, E_{PMT} ve P_L gibi bazı faktörler ve jeolojik koşullar sonuçları etkilemektedir.

2010 yılında Bozbey ve Togrol, Türkiye'de 182 testin vaka çalışmasına dayalı bir korelasyon önermişlerdir. Bu eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Kumlu zemin için : $E_{PMT} \text{ (MPa)} = 1.33 \cdot (N_{60})^{0.77}$ ($r^2=0.82$)

Killi zemin için : $E_{PMT} \text{ (MPa)} = 1.61 \cdot (N_{60})^{0.71}$ ($r^2=0.72$)

Başka bir korelasyon Kenmogne ve diğ., tarafından yapılmış olup, Kamerun'daki saha araştırma verilerine dayanmaktadır. Korelasyon doğrusal olup aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$E_m = b \times N$$

Burada;

b = 2–8 çakıllı kum için

= 2–20 killi kum için

Cheshomi, A. ve Ghodrati, M. (2014) tarafından İran'daki vaka çalışmasına (siltli kil toprağı için 38 test ve siltli kum toprağı için 16 test) dayanan siltli kum ve siltli kil toprakları için korelasyonlar aşağıda verilmiştir. Bu korelasyonlar sadece sahada ölçülen N_{SPT} aralığı için geçerlidir (yani 9-50 darbe sayısı için).

Siltli kum için ; $E_{PMT}/P_a = 9.8 \cdot N_{60} - 94.3$ ($r=0.79$)

Siltli kil için ; $E_{PMT}/P_a = 10 \cdot N_{60} - 26.7$ ($r=0.85$)

Yukarıda sunulduğu gibi, E_{PMT} ve N_{SPT} arasındaki mevcut korelasyonlar ya çok dağınıktır (yani küçük korelasyon faktörü) veya sınırlı sayıda sonuca dayanır. Yine de, spesifik jeolojik ortamda geliştirilen yerel korelasyonları temsil etmektedirler.

Zemin Cinsi	E_M (Bar)	P_L (Bar)
Çamur, turba/Mud, peat	2 - 5	0.2 - 1.5
Yumuşak kil/soft clays	5 - 30	0.5 - 3
Orta kil/plastic clays	30 - 80	3 - 8
Sert sıkı kil/stiff clays	80 - 400	6 - 20
Marn/marls	50 - 600	6 - 40
Gevşek siltli kum/muddy sands	5 - 20	1 - 5
Silt/silts, loams	20 - 100	2 - 15
Kum ve Çakıl/sands, gravels	80 - 400	12 - 50
Çökel kumlar/sedimentary sands	75 - 400	10 - 50
Kireçtaşı/chalks	800 - 200.000	30 - >100
Yeni dolgu/recent embankments	5 - 20	0.5 - 3
Eski dolgu/old embankments	40 - 150	4 - 10
Çakıllı dolgu/gravelly embankments	200 - 150	10 - 25

Çizelge 20. Farklı zemin türleri için limit basınç, p_L ve Menard modülü, E_M arasındaki ilişki (Gambin ve Rousseau, J.L., 1980)

Test no.	USCS	E_{PMT} (MPa)	p_L (MPa)	N_{60}
1	CI	13.03	1.08	25
2	CI	33.22	2.40	38
3	CI	18.91	1.17	27
4	CI	14.01	1.16	16
5	CI-MI	17.54	—	25
6	ML	10.39	0.86	9
7	CI	22.07	—	22
8	CL-ML	37.54	2.03	25
9	CI	27.57	—	23
10	CI	28.99	1.83	23
11	CI	22.64	2.17	20
12	CI	8.13	1.04	16
13	CI	7.94	—	24
14	CI-MI	20.29	—	20
15	CI	8.73	123	16
16	CI	16.30	2.05	24
17	CI-MI	19.96	1.47	27
18	ML	28.29	2.06	38
19	CI	55.73	—	50
20	CI	24.76	1.77	35
21	CL-ML	23.62	125	32
22	CL	6.73	0.54	15
23	CL-ML	13.06	—	23
24	CL-ML	35.11	—	35
25	CL-ML	30.48	2.26	27
26	CL-ML	9.93	—	11
27	CL-ML	25.39	2.17	30
28	CL-ML	14.72	—	24
29	CL-ML	28.25	—	30
30	CL	32.43	2.68	40
31	CL	23.61	2.10	23
32	CL-ML	20.73	1.74	13
33	CL-ML	45.60	2.21	42
34	CL-ML	37.02	2.48	38
35	CL-ML	46.54	2.28	38
36	CL-ML	44.48	1.67	37
37	ML	43.81	3.57	50
38	CL	43.71	3.41	50

Çizelge 21. Siltli kil zeminler için N_{60} , E_{PMT} ve p_L değerleri ((Cheshomi, A. ve Ghodrati, M.)

Test no.	USCS	E_{PMT} (MPa)	p_L (MPa)	N_{60}
1	SM	43.32	4.33	57
2	SM	30.79	1.99	50
3	SM	30.75	1.87	50
4	SM	28.93	1.62	38
5	SM	19.58	—	34
6	GC-GM	33.18	—	42
7	GC	45.28	1.99	50
8	GC-GM	24.87	—	32
9	SC	16.48	—	34
10	SC-SM	26.14	3.38	44
11	SM	36.55	—	40
12	SM	33.10	1.61	38
13	SC-SM	51.31	4.13	50
14	SM	40.08	—	50
15	GM	46.37	3.22	50
16	SM	18.91	0.80	28

Çizelge 22. Siltli kum zeminler için N_{60} , E_{PMT} ve p_L değerleri (Cheshomi, A.,Ghodrati, M.)

Test no.	USCS	N ₆₀	Ölçülmüş E _{PMT} (MPa)	Tahmini E _{PMT} (MPa)		
				Bu çalışma	Bozbey ve Togrol (2010)	Yagiz el al. (2008)
1	CL	25	13.03	22.33	15.91	9.76
2	CL	38	33.22	35.33	21.42	14.81
3	CL	27	18.91	24.33	16.81	10.54
4	CL	16	14.01	13.33	11.59	6.26
5	CL-ML	25	17.54	22.33	15.91	9.76
6	ML	9	10.39	6.33	7.70	3.54
7	CL	22	22.07	19.33	14.53	8.60
8	CL-ML	25	37.54	22.33	15.91	9.76
9	CL	23	27.57	20.33	15.00	8.98
10	CL	23	28.99	20.33	15.00	8.98
11	CL	20	22.64	17.33	13.58	7.82
12	CL	16	8.13	13.33	11.59	6.26
13	CL	24	7.94	21.33	15.45	9.37
14	CL-ML	20	20.29	17.33	13.58	7.82
15	CL	16	8.73	13.33	11.59	6.26
16	CI	24	16.30	21.35	15.46	9.37
17	CL-ML	27	19.96	24.33	16.81	10.54
18	ML	38	28.29	35.33	21.42	14.82
19	CL	50	55.73	47.33	26.03	19.48
20	CL	35	24.76	32.33	20.20	13.65
21	CL-ML	32	23.62	29.33	18.96	12.48
22	CL	15	6.73	12.33	11.07	5.88
23	CL-ML	23	13.06	20.33	15.00	8.98
24	CL-ML	35	35.11	32.33	20.21	13.65
25	CL-ML	27	30.48	24.33	16.81	10.54
26	CL-ML	11	9.93	8.33	8.88	4.32
27	CL-ML	30	25.39	27.33	18.11	11.71
28	CL-ML	24	14.72	21.33	15.46	9.37
29	CL-ML	30	28.25	27.33	18.11	11.71
30	CL	40	32.43	37.33	22.22	15.59
31	CL	23	23.61	20.33	15.00	8.98
32	CL-ML	13	20.73	10.33	10.00	5.10
33	CL-ML	42	45.60	39.33	23.00	16.37
34	CL-ML	38	37.02	35.33	21.42	14.81
35	CL-ML	38	46.54	35.33	21.42	14.81
36	CL-ML	37	44.48	34.33	21.02	14.43
37	ML	50	43.81	47.33	26.03	19.48
38	CL	50	43.71	47.33	26.03	19.48

Çizelge 23. Ölçülmüş E_{PMT} ve p_L değerleri ile tahmini E_{PMT} değerlerinin karşılaştırılması (Cheshomi, A., Ghodrati, M.)

Presiyometre ile ilgili bir ulusal ve uluslararası bir standart var mıdır?

Presiyometre deneyi için uluslararası standartlarda gösterilen yöntemler ve deney prosedürleri bilinmelidir.

ASTM D4719-87, (ASTM, 1994), ASTM (American society for testing and materials), 1994. Annual book of ASTM Standarts-Section 4, Construction, V. 0408 Soil and Rock; Building Stones. ASTM Publication, 978 p.

ASTM D4719-07 2007'de revize edildikten sonra 2016'da dolaşımdan çekilerek (çekilme gerekçesine bakınız) geliştirme aşamasına getirilmiş bulunmaktadır.
ASTM yöntemi Fransızların yöntemini baz almaktadır.

AFNOR NF P94-110-1 (Apageo, 2006), Fransız standardı, Sols : reconnaissance et essais - Essai pressiométrique Ménard - Partie 1 : essai sans cycle, 1991

TS EN ISO 22476-4, 2013, Jeoteknik etüt ve deneyler-Arazi deneyleri-Bölüm 4: Menard presiyometresi deneyi. TS EN ISO 22476-4 : 2013 standardı, Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 4: Ménard pressuremeter test (EN ISO 22476-4:2012) standardı ile birebir aynı olup ingilizce olarak verilmiştir.

TS EN 1997-3, 2008, Geoteknik tasarım - Bölüm 2: Zemin etüdü ve deneyleri (Eurocode 7)

Presiyometre ile ilgili Türkiye'de kullanılan standartlardır.

Deneyin yapılışında Eurocode 7 şartnamesine uygun olmalıdır.

Standartlar	Ülke	Presiyometre Tipi	Zemin Koşulları	Test Tipi
Menard Method (LCPC)	Fransa	Menard (PBP)	Tüm	Basınç
ISRM	Uluslararası	PBP	Kaya	Basınç/gerilme
GOST 20276-2012	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

Çizelge.23 Presiyometre testi için uluslararası standartlar (Clarke, B. G.)

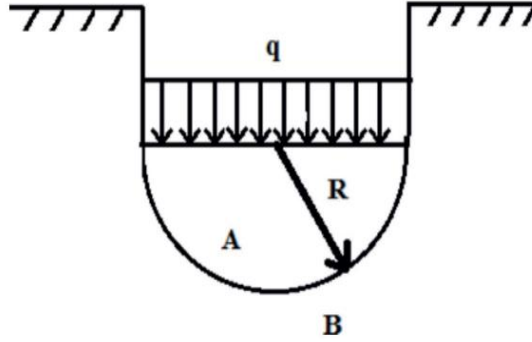
Presiyometreden konsolidasyon oturması hesaplanabilir mi?

Burada sorulan soruya öncelikle düzeltilmesi gereken bir açıklık getirmek gerekirse oturmaları biz belirli bir yaklaşımla tahmin edebiliyoruz.

$$s = \underbrace{\frac{2}{9 \cdot E_d} q^* \cdot B_o \cdot \left(\lambda_d \frac{B}{B_o}\right)^\alpha}_{\text{Elastik oturma [devitör gerilme alanı]}} + \underbrace{\frac{\alpha}{9 \cdot E_c} q^* \cdot \lambda_c \cdot B}_{\text{Konsolidasyon oturması [küresel gerilme alanı]}}, \quad B \geq B_o$$

Burada,
s : Temelin oturması (m)

E_d : Deviatorik gerilme bölgesi içindeki eşdeğer presiometre modülü değeri
 E_c : Hacimsal gerilme bölgesi içindeki eşdeğer presiometre modülü değeri



Şekil.29 Küresel gerilme bölgesi (A) ve deviatorik gerilme bölgesi (B) etki alanı (Baguelin, vd.,1978).

q^* : Net temel gerilmesi/Net taban basıncı ($q^* = q_{net} = q - q_o$ kPa)
 q : Yapıdan zemine gelen taban basıncı (proje yükü)
 q_o : Temel taban seviyesindeki toplam düşey gerilme/efektif derinlik basıncı ($= \gamma \times D$)

NOT: Oturma hesaplarında net temel gerilmesi kullanılması gerekir.

B_o : Temel referans genişliği/çap (genellikle 0.6 m olarak alınır).

λ_d, λ_c : Temel şekil katsayıları (temel uzunluğunun, temel genişliğine oranına (L/B) bağlı olarak çizelge ve/veya grafik değerleri kullanılarak elde edilir).

L/B	1		2	3	5	20
	Daire	Kare				
λ_d	1	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65
λ_c	1	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50

Çizelge.24 Temeller için λ_d ve λ_c şekil faktörleri

α : Zeminin özelliğine ve presiometre deneyinden elde edilen E_M/p_o oranına göre değişen reolojik katsayı.

B : Temel genişliği ya da çapı (m). $B \geq B_o$ olmalıdır.

Yukarıdaki bağıntıda Menard oturma eşitliği verilmiştir. Eşitlik incelendiğinde oturmanın hem deviatorik gerilme artışından kaynaklanan kısmının yani zemin şekil değişikliği nedeniyle oluşan ani oturmanın hem de küresel gerilme artışı nedeniyle oluşan hacimsel azalma kaynaklı oturmanın hesaba katıldığı görülmektedir. Yani eşitlik hem ani (elastik) hem de konsolidasyon oturmalarını hesaba katmaktadır.

Formülde kullanılan α (Alfa) katsayısı Menard modülünün oturma hesaplarında kullandığımız sekand deformasyon modülüne çevrilmesi için kullanılan bir katsayıdır. Değişik zeminler için α katsayısının alabildiği değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Kaya Tipi	Oldukça / Aşırı kırıklı kayalar Yakın aralıklı süreksizlik	Diğerleri / Normal Altere olmamış Orta yakın süreksizlik	Az kırıklı ve/veya aşırı ayrışmış kayalar Geniş aralıklı süreksizlik Çok yakın aralıklı süreksizlik
	$\alpha = 1/3 = 0.33$	$\alpha = 1/2 = 0.5$	$\alpha = 2/3 = 0.67$

Kaya için α katsayısı

Zemin Durumu	Zemin Cinsi									
	Turba		Kil		Silt		Kum		Kum ve çakıl	
	E_M / p_1^*	α	E_M / p_1^*	α	E_M / p_1^*	α	E_M / p_1^*	α	E_M / p_1^*	α
Aşırı konsolide kil veya Çok sıkı granüler zemin		-	>16	1	>14	2/3	>12	½	>10	1/3
Normal konsolide kil veya Sıkı granüler zemin		1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Ayrışmış ve/veya örselenmiş Konsolide olmamış kil Gevşek granüler zemin		-	7-9	1/2	5-8	1/2	5-7	1/3		1/4

Çizelge.25 Oturma formülünde kullanılan çeşitli zeminler için reolojik katsayılar (α faktörü) (Baguelin, F. vd., 1978)

Çizelge incelendiğinde Alfa (α) 'nın alabileceği en yüksek değer 1 'dir. Alfa (α) değerinin en düşük değeri ise kohezyonsuz zeminlerde ¼ olarak verilmiştir.

Hem örselenmemiş zemin örneği almanın hem de diğer arazi deneyleri yapmanın olanaksız ya da sonuçlarının anlamsız olduğu ortamlarda presiyometre deney sonuçları kullanılabilir. Fakat zemin etki derinliği içinde örselenmemiş numune almanın mümkün olduğu ince taneli zeminlerde konsolidasyon deneyi yapılması tercih edilmelidir.

Zemin iyileştirmelerinin ve enjeksiyonun etkinliği presiyometre deneyleri ile kontrol edilebilir mi?

Enjeksiyondan önce ve enjeksiyondan sonra deney yapılmak suretiyle enjeksiyonun etkinlik derecesinin presiyometre deneyi ile belirlenip belirlenemeyeceği sıkça sorulan sorulardandır.

Bütün bu zemin iyileştirmelerinin etkinliğinin belirlenmesi için presiyometre deneylerinden faydalanılmak istenmektedir. Örneğin taş kolon uygulamalarında zemin iyileşmesini kontrol etmek için presiyometre deneyi kullanılmak istenmektedir. Bu çalışmaların presiyometre deneyi ile kontrol edilebilmesi kısmen yapılabilir fakat daha etkili yöntemlerin örneğin plaka yükleme deneyi uygulanması tavsiye edilir.



Kaya kütlelerinde presiyometre deneyi yapmak ne kadar doğrudur?

Genel prensip olarak presiyometre probunun içerisinde çok sayıda süreksizliğin bulunduğu zayıf - çok kırıklı kaya kütlelerinde yapılan presiyometre deneyleri ile kaya kütlesi test edilebilir. Bununla birlikte süreksizlik aralığı prob boyundan fazla ise veya prob boyu içerisinde az sayıda süreksizlik bulunuyor ise kaya kütlelerini temsil edici sonuçlar elde edilemez. Dolayısıyla genel olarak kaya kütle parametrelerinin tespitinde presiyometre deneyi kullanılamaz diyebiliriz.

Kaya kütlesi için sınıflandırma sistemlerine dayalı alternatif yaklaşımlar bulunmaktadır. Kaya kütlelerinin deformasyon modülünü tahmin etmek için kaya kütlesi sınıflandırma sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Kaya kütlelerinde kütlelerin makaslama/kesme dayanımı kaya kütlelerinin süreksizliklerinin ve sağlam kaya malzemesinin özelliklerini dikkate alan sınıflandırma sistemleri ile tahmin edilebilir. Bu amaçla ilk kez Hoek ve Brown (1997) tarafından geliştirilmiş daha sonra Hoek tarafından modifiye edilmiş, daha sonra Sönmez ve Ulusay (1999, 2002) tarafından kantitatif versiyonları geliştirilen GSI (*Geological Strength Index/* jeolojik dayanım indisi) sistemi ya da Bieniawski (1989) tarafından geliştirilen Kaya Kütle Puanı (RMR-Rock Mass Rating) sistemi gibi sistemler kullanılabilir.



Oturma hesaplamalarında yapılan hatalı uygulamalar nelerdir?

Presiyometre deneyinden elde edilen verilerden zemine ait presiyometre deformasyon modülü, E_M ve limit basınç, p_L değerleri belirlenir. Bu değerler eşitliklerde kullanılarak temel etki derinliği içerisinde yapı temelinin sınır taşıma, emniyetli taşıma gücü ve oturma kapasitesi gibi özellikleri hesaplanır.

Hazırlanan jeoteknik amaçlı raporlar incelendiğinde presiyometre deneyi sonuçları kullanılarak ve çoğunlukla zemin homojen zemin olarak kabul edilerek temel oturma hesaplamaları yapıldığı görülür. Yapı temelinin her zaman homojen zemine oturtulması kabul edilebilir bir şey olmadığından temel oturmaları, litoloji (zemin profili) ile uyumlu olarak belirlenmelidir.

Menard presiyometresi ile yapılan temel oturmaları hesaplamaları aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır (Baguelin, vd., 1978);

- 1- Homojen zeminler içerisindeki oturma,
- 2- Heterojen zeminlerde oturma,
- 3- Yüksek derecede değişken zeminlerde oturma

Bu temel oturma tiplerinin herbirinde kullanılan formüller farklıdır. Bu formüller ile ilgili detaylı bilgiye "The Pressuremeter and Foundation Engineering" adlı kaynaktan ulaşabilirsiniz.

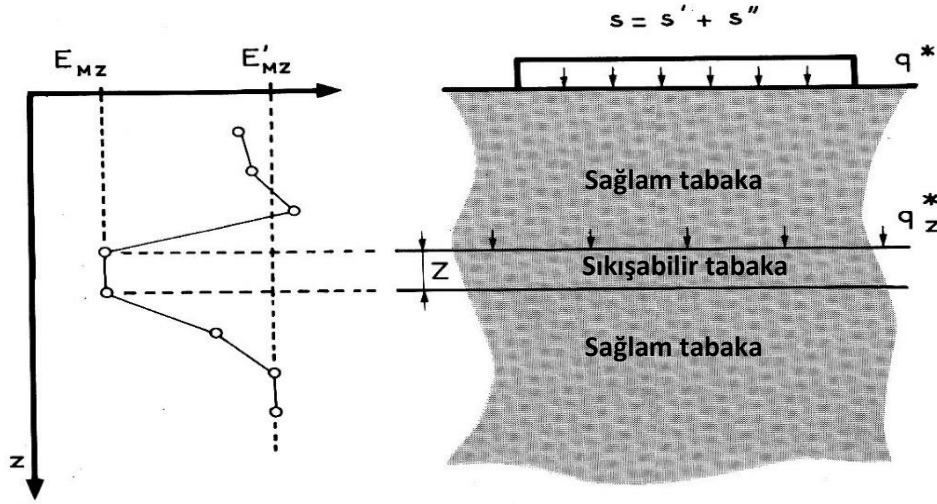
Homojen Zeminlerde Oturma

$$s = \frac{2}{9 \cdot E_M} q^* \cdot B_o \cdot \left(\lambda_d \frac{B}{B_o} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{9 \cdot E_M} q^* \cdot \lambda_c \cdot B$$

Heterojen zemin durumu

$$s = \frac{2}{9 \cdot E_d} q^* \cdot B_o \cdot \left(\lambda_d \frac{B}{B_o} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{9 \cdot E_c} q^* \cdot \lambda_c \cdot B \quad B \geq B_o$$

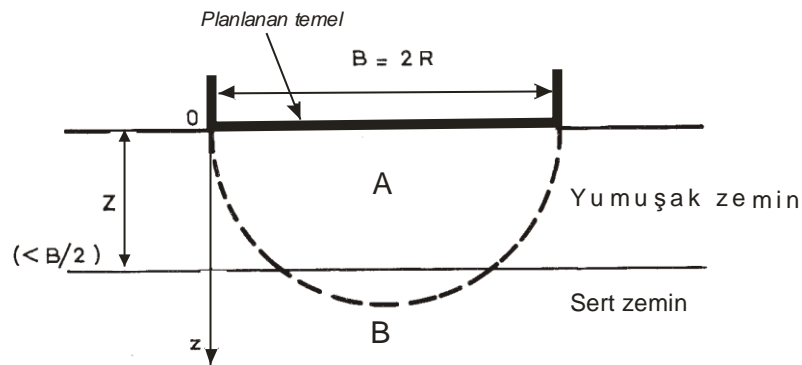
- İki dayanımlı seviye arasında dayanımsız seviye konumu



Şekil.30 Derinde Z kalınlığındaki yumuşak bir tabaka durumu (Baguelin, F. vd.,1978).

- Yüksek derecede değişken zeminlerde oturma

Üstte düşük dayanımlı seviye ve altta yüksek dayanımlı seviye bulunması durumu



A: Küresel eğimli gerilme alanını (Temelin hemen altında en büyük değere sahiptir)
B: Deviatorik eğimli gerilme alanını gösterir (Temel genişliğinin yarısına (B/2) eşit bir derinlikte en büyük değere sahiptir).

Şekil.31 Temelin yüzeyden $Z < (B/2)$ kadar derinlikteki yumuşak bir tabaka üzerine oturması hali (Baguelin, F. vd.,1978).

Sonuç olarak, yukarıda kısaca belirtilen ve uygulamada sıklıkla karşılaşılan sorunların çözümüne ilişkin hazırlanan bilgi notu niteliğindeki bu dokümanın meslektaşlarımızın presiyometre deneyi çalışmalarında yararlı olacağı düşünölmekte olup, uygulamada yaşanan sorunların odamıza yazılı olarak bildirilmesi durumunda bu konuda yaşanan sorunlarında çözümüne ilişkin öneriler geliştirilebilecektir. Ayrıca presiyometre deney verilerine ilişkin çalışmalardan yararlanılarak taşıma gücü veya oturma analizi yapmak isteyen üyelerimiz “TS EN 1997-2 Jeoteknik Tasarım Bölüm 2: Zemin Etüdü ve Deneyleri (Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing) standartının Annex E (EK-E) bölümünde belirtilen esaslar çerçevesinde de yapabilirler.

KAYNAKLAR

AFNOR NF P94-261, Justification des ouvrages géotechniques, Norme d'application nationale de l'Eurocode 7, Fondations superficielles, France, 2013.

APEGEO (2006) Menard Pressuremeter (G Type) Operating Instructions, 2006 edition

ASTM D4719-07, Standard Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils

Bashan, Elif., 2010, Aşırı Konsolide Ortamlarda Mekanik Özelliklerin Presiyometre Kullanımı ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi

Baguelin, F., Jézéquel, J. F. ve Shields, D. H., 1978, The Pressuremeter and Foundation Engineering, Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 2, Transtech. Publications, Switzerland.

Baud J.P., Gambin M., 2013, "Détermination du coefficient rhéologique a de Ménard dans le diagramme Pressiorama", Proceedings 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 487–490,2013.

Braja M. Das., Jay, Ameratunga., Nagaratnam, Sivakugan.,2016, Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering, Springer

Briaud, J. L. , 1992, The Pressuremeter, A.A. Balkema, Rotterdam.

Briaud, J. L., 2003, Geotechnical Engineering : Unsaturated and Saturated Soils, Wiley

Bozbey, I., Togrol, E., 2010, Correlation of standard penetration test and pressuremeter data: a case study from Istanbul, Turkey. Bull Eng Geol Environ 69:505-515

Bowles, Joseph E., 1988, Foundation Analysis and Design, 4th edition, McGraw-Hill, International Editions, Tokyo.

CASSAN M., "Le pressiomètre et la résistance au cisaillement cas particulier des argiles saturées", in Les 50 ans du pressiomètre, Presses ENPC-LCPC, Paris, 2005.

Centre D'Etudes Ménard, 1975, Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design, Sols-Soils No:26, Paris.

Cheshomi, Akbar., Ghodrati Mohammad.,2014, Estimating Menard pressuremeter modulus and limit pressure from SPT in silty sand and silty clay soils. A case study in Mashhad, Iran

Clarke, B. G., 1995, Pressuremeters in Geotechnical Design, Blackie Academic & Professional

Çekinmez, Z., Erol, A. O., 2014, Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri, Yüksel Proje Yayınları

Isik, N. S., Doyuran, V., Ulusay, R., 2008, Assessment of deformation modulus of weak rock masses from pressuremeter tests and seismic surveys

Isik, N. S., Doyuran, V., Ulusay, R., 2008, Deformation modulus of heavily jointed–sheared and blocky greywackes by pressuremeter tests: Numerical, experimental and empirical assessments, Engineering Geology

- Isik, N. S.**, 2006, Experimental and Numerical Assessment of Pressuremeter Testing, Doktora tezi
- Jean-Pierre Baud, Michel Gambin**, Soil and Rock Classification from High Pressure Borehole Expansion Tests, *Geotech Geol Eng* (2014) 32:1397–1403
- Jean-Claude Verbrugge, Christian Schroeder**, 2018, Geotechnical Correlations for Soils and Rocks, ISTE Ltd.
- ENV (Eurocode 7)** (1997) Geotechnical design-Part 3: design assisted by field testing
- Kayabaşı, A.**, 2011, Prediction of pressuremeter modulus and limit pressure of clayey soils by simple and non-linear multiple regression techniques: a case study from Mersin, Turkey.
- Kayabaşı, A., Cengiz, Ismail., Yıldız, Cemal.**, 2016, Sığ Temellerde Presiyometre Deneyi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını.
- Kayabaşı, A., Gokceoglu, C.**, 2012, Taşıma Kapasitesi ve Oturma Miktarının hesaplanmasında Yaygın Kullanılan Yöntemlerin Mersin Arıtma Tesisi Temeli Örneğinde Uygulanması. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36 (1), 1-22.
- Look, Burt G.**, 2014, Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, CRC Press
- Mahnaz Firuzi, Ebrahim Asghari-Kalajahi, Haluk Akgun**, 2018, Correlations of SPT, CPT and pressuremeter test data in alluvial soils. Case study: Tabriz Metro Line 2, Iran, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.
- Mair, R. J., Wood, D. M.**, 1987, Pressuremeter Testing: methods and interpretation, Ciria series
- Sowers, George F.**, 1979, Introductory Soil Mechanics and Foundations, Geotechnical Engineering, Fourth Edition, Mac Millan Publishing Co., New York.
- Schnaid, Fernando.**, 2009, In Situ Testing in Geomechanics, Taylor&Francis
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)** (1997) Jeoteknik Tasarım Bölüm 3, Arazi Deneyleri Yardımıyla Tasarım (TS ENV 1997-3, Eurocode 7), (in Turkish)
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)** (2013) Jeoteknik etüt ve deneyler - Arazi deneyleri - Bölüm 4: Menard presiyometre deneyi (ISO 22476-4:2012), TS EN ISO 22476-4 : 2013
- Ozdemir, G.**, 2000, Menard Presiyometresi Deney Sonuçlarından Zemin Taşıma Gücü ve Temel oturmalarının Hesabı, Derleme, Yayınlanmamış.
- VAN WAMBEKE A.**, 1978 “Caractéristiques pressiométriques pour le pressiomètre normal-détermination, exploitation”, Interprétation et utilisation pratique des résultats des essais pressiométriques, Groupement Belge de Mécanique des Sols, Brussels, June 1978.
- Yagiz, S., Akyol, E., Sen, G.**, 2008, Relationship between the standart penetration test and the pressuremeter test on sandy silty clays: a case study from Denizli. *Bull Eng Geol Environ* 67:405-410