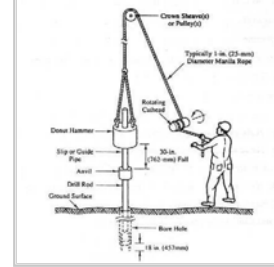


# ARAZİ DENEYLERİ İLE GEOTEKNİK TASARIM

Y.Doç.Dr. Devrim ALKAYA  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

# STANDART PENETRASYON DENEYİ ( SPT )



## GİRİŞ

- Kohezyonsuz zeminlerden standart ve klasik numune alıcılarla örselenmemiş örnek almak hemen hemen olanaksız olduğu için bu tip zeminlerin mühendislik özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenmemekte, bu yüzden bu tür zeminlerde SPT gibi arazi deneyleri tercih edilmektedir.
- Bununla birlikte bu deneyin kullanımı o kadar yaygınlaşmıştır ki ilk çıkış felsefesini aşan uygulamalar ve abaklar geliştirilmiştir.
- Deney öncelikle kohezyonsuz zeminlerin izafi yoğunluklarını belirlemek için geliştirilmiş olup daha sonraları yumuşak killerde de uygulanmakla birlikte, killi zeminlerin deneyde belirlenen dinamik özelliklerine ilişkin sonuçlar pek güvenilir olmamaktadır.

## TANIM

- Standart Penetrasyon Testi (SPT), zemin mukavemet ve yoğunluğunu değerlendirmek ve örselenmiş örnek almak amacıyla sondaj kuyusu içinde (in situ) yapılan bir dinamik kesme deneyidir.

## DENEYİN AMACI

- Kohezyonsuz zeminlerin izafi yoğunluklarını belirlemek,
- Sağ temeller için zeminlerin taşıma kapasitelerinin hesaplanması
- Kumların sıkıştırılma (kompaksiyon) derecelerinin belirlenmesinde ve sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde ,
- SPT den elde edilen verilerin zeminlerin diğer özellikleri ile karşılaştırılması sonucunda;
  - Kumların içsel sürtünme açısı ( $\phi$ )
  - Killerin drenajsız kesme mukavemeti ( $C_u$ )
  - Killerin hacimsel sıkıştırma indisi ( $m_v$ )
  - Kumların elastisite modülü ( $E_s$ ) gibi parametreler de dolaylı olarak tahmin edilebilmektedir.
- Zeminlerin indeks özelliklerini belirlemeye yönelik laboratuvar deneyleri için örselenmiş örnek almaktır.

## SPT DENEYİNİN AVANTAJLARI

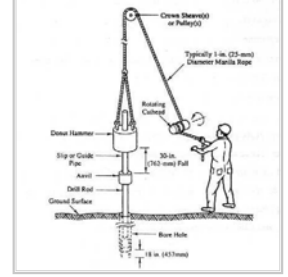
- Deney ekipmanı basit,dayanıklı ve yaygın olarak bilinir.
- Deney diğer arazi deneylerine göre kolay, ekonomik, hızlı uygulanabilir.
- YASS altında ve üstünde uygulanabilir.
- Deney sırasında örselenmiş numune alınabilir.

## SPT DENEYİNİN DEZAVANTAJLARI

- Standart ve nitelikli ekipman kullanılmadığı zaman yanıltıcı sonuçlar alınır.
- Yeterli deneyimi olmayan personel tarafından uygulandığında yanıltıcı sonuçlar alınır.
- Zemin sınıflaması ,laboratuar destekli yapılmadığı takdirde yanlış değerlendirilebilir.
- Çakıllı, molozlu,bloklı zeminlerde uygulanamaz.

## DENEYDE KULLANILAN EKİPMANLAR

- Sondaj makinası ve pompa
- Sondaj tijleri
- Çakma ekipmanı
- Standart penetrometre
- Yardımcı ekipmanlar



## DENEYİN YAPILIŞI

- Kuyu tabanındaki kırıntılar iyice temizlenir.
- Standart penetrometre çakma tijleri yardımıyla kuyu tabanına indirilir.
- Çakma tijleri üzerine çakma başlığı(örs) ve kılavuz tij takılır.
- Kılavuz tij üzerine 76 cm düşme yüksekliği işaretlenir.
- Kuyu zemin kotu seviyesinden itibaren 3 adet 15 cm mesafe çakma tiji üzerine tebeşirle işaretlenir.
- Kendir halat kullanılarak çakma başlığı üzerine kılavuz tij aracılığıyla 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdan yerleştirilir.
- Sondaj makinası çalıştırılarak kendir halat kedi başına (tanbur) 1/4 tur sarılarak serbest bırakılması için gerekli enerji sağlanır ve düşürülür.
- Bu hareket 76 cm yükseklikten ritmik olarak tekrarlanır.
- Her 15 cm mesafenin çakılması için gerekli darbe sayısı kaydedilir.
- Herhangi bir 15 cm aralığın çakılması sırasında darbe sayısı 50'yi aşarsa deneye son verilir ve ilerleme ölçülerek 50/7 şeklinde ifade edilir.
- Kaydedilen değerlerden son iki değer toplamı SPT N değerini verir.
- Deney genellikle 1,5 aralıklarla tekrarlanır.

## SPT N DEĞERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

- Deney için gerekli her türlü ekipmanın standart dışı ölçü ve ağırlıkta olması ,
- Sondaj kuyusunun yeterince temizlenmemesi sonucu deneyin dolguda yapılması,
- İri taneli zeminlerde çakılan muhafaza borusu içinde deneyin yapılması,
- Şahmardan düşüşlerinin ritmik ve standart yükseklikten yapılmaması,
- Kendir halatın tambura 1/4 sarımdan fazla veya az sarılması,
- Penetrometre, tji, çakma başlığı ve kılavuz tijlerin arasındaki bağlantının iyi sıkılmaması,
- Kuyu çapının büyük olması,
- Sondajda çok güçlü bir çamur pompasının kullanılması,
- Şahmardanın türü,
- Şahmardanın konumu,
- Kendir halatın geçtiği yerlerdeki sürtünmesi,
- Sondaj tijlerinin durumu,
- Penetrometre çarğının durumu,
- Numune alıcı içerisinde gömlek olup olmaması,
- Deney sırasında yeterli gözlem yapılmaması.

## DENEY SONUÇLARININ DÜZELTİLMESİ

- Deney Ekipmanına Bağlı Düzeltmeler
- Derinlik Düzeltmesi
- Yeraltı Suyu Düzeltmesi

## DENEY EKİPMANINA BAĞLI DÜZELTMELER

- Arazide elde edilen SPT N değerleri deneyde kullanılan ekipmanlardan kaynaklanan değişimlerin yansıtılması amacıyla bazı düzeltme faktörleri kullanılarak yeniden hesaplanır.
- Deney yöntemlerindeki hatalar ölçülen N değerini N<sub>60</sub>'a dönüştürerek azda olsa giderilebilir ( Skempton , 1986).

$$N_{60} = E_m C_B C_S C_R N / 0.60$$

Bu formülde;

N<sub>60</sub>: Deneyin uygulamasına göre düzeltilmiş SPT N değeri

E<sub>m</sub>: Şahmardan verimi (Tablo 2.1'den)

C<sub>B</sub>: Sondaj kuyusunun çapına göre düzeltme katsayısı (Tablo 2.2'den)

C<sub>S</sub>: Numune alıcısının durumuna göre düzeltme katsayısı ( Tablo 2.2 'den)

C<sub>R</sub>: Tji uzunluğuna göre düzeltme katsayısı ( Tablo 2.2 'den)

N : Deneyde ölçülen SPT N değeri

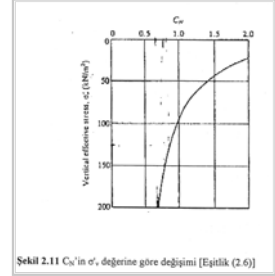
Ülke	Şahmerdan Tipi	Şahmerdanın Darbe Mekanizması	Şahmerdanın Verimi $E_p$
Arjantin	Donut	Tambur	0.45
Brezilya	Mafsallı Ağırlık	El ile	0.72
Çin	Otomatik	Otomatik	0.60
	Donut	El ile	0.55
Kolombiya	Donut	Tambur	0.50
Japonya	Donut	Tambur	0.50
	Donut	Tombi trigger	0.78 - 0.85
	Donut	Tambur, 2 tur sarılı halat + özel düşürme sistemi	0.65 - 0.67
İngiltere	Otomatik	Otomatik	0.73
ABD	Emniyetli	Tambur, 2 tur sarılı halat	0.55 - 0.60
	Donut	Tambur, 2 tur sarılı halat	0.45
Venezuela	Donut	Tambur	0.43

Faktör	Ekimman Değişkenleri	Düzeltme Faktörü
Sondaj kuyusunun çapı, $C_b$	2.5-4.5 in (65-115 mm)	1.00
	6 in (150 mm)	1.05
	8 in (200 mm)	1.15
Numune alma yöntemi, $C_s$	Standart numune alıcı	1.00
	Gömlüksüz numune alıcı (tavsiye edilmemektedir)	1.20
Tij uzunluğu, $C_R$	10-13 ft (3-4 m)	0.75
	13-20 ft (4-6 m)	0.85
	20-30 ft (6-10 m)	0.95
	> 30 ft (> 10 m)	1.00

Skempton (1986)'dan alınmıştır.

## DERİNLİK DÜZELTMESİ

- SPT N değerleri deney seviyesinin üstündeki zeminden kaynaklanan efektif gerilmenin etkilerini gidermek için de düzeltilmelidir.
- Homojen bir zemin içerisinde derinde yapılan deneyler aynı zamanda daha sığ seviyelerde yapılan deneylerden daha yüksek N değerlerine sahiptir.
- Bu düzeltmede jeolojik yük olarak 100 kPa esas alınmıştır. 100 kPa'lık jeolojik yükten daha az olduğunda N değeri yükselir. Daha derinlerde ise düzeltilmiş N değeri düşer.



Şekil 2.11  $C_u$ 'in  $\sigma_v'$  değerine göre değişimi [Eşitlik (2.6)]

$$N'_{60} = C_N N_{60}$$

$$C_N = 9.78 (1/\sigma_v')^{1/2} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

## YERALTISUYU DÜZELTMESİ

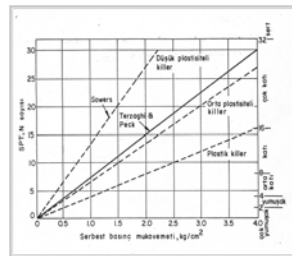
- Deney yeraltısuyu seviyesinin altında, çok ince daneli kum veya siltli kum içerisinde yapıldığında ve ölçülen N değerleri 15'den büyük ise ;
- Penetrometrenin ilerletilmesi sırasında oluşan ve aniden dağılmayan aşırı negatif boşluk suyu basıncı sonucunda oluşan direnç artışına karşı düzeltilmelidir. Bu düzeltme derinlik düzeltmesi yapıldıktan sonra uygulanmalıdır.

$$N''_{60} = 15 + 1/2(N'_{60} - 15)$$

## SPT DENEYİNİN UYGULAMA ALANLARI

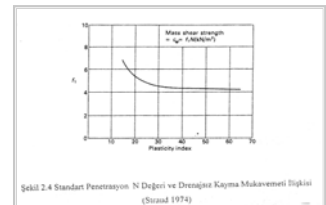
### KOHEZYONLU ZEMİNLERDE UYGULAMALAR

- Standart penetrasyon direnci (SPT N) ile serbest basınç mukavemeti  $q_u$  ( $C_u = q_u/2$ ) arasında yandaki abakta verilen korelasyonlar kullanılmaktadır (NAVFAC,1982).



### STRAUD YÖNTEMİ

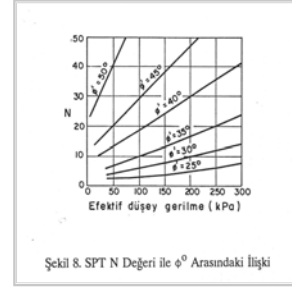
- Kohezyonlu zeminlerde diğer bir çalışma ise Straud (1974) tarafından yapılan, kilerde drenajsız kayma mukavemetini deneysel bulgulara dayanarak  $C_u = f_1 N$  bağıntısı ile vermektedir.
- Bu eşitlikte  $f_1$  katsayısı plastisite indisinin fonksiyonu olup yandaki abakta tespit edilmektedir.



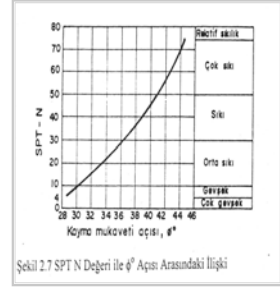
Şekil 2.4 Standart Penetrasyon N Değeri ve Drenajsız Kayma Mukavemeti İlişkisi (Straud 1974)

## KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE UYGULAMALAR

- Kohezyonsuz zeminlerde örselenmemiş örneklerin alınarak kayma direnci açısının laboratuvarda belirlenmesi genellikle mümkün olamamaktadır.
- Bu durumda arazi deneyleri ile kayma direnci açısı arasında verilen ampirik korelasyonlar kullanılmakta ve  $\phi$  açısı bulunduğundan sonra genel taşıma gücü denklemleri ( Terzaghi (1943), Meyerhof (1963) , Hansen (1970) ve Vesic (1973)) kullanılarak taşıma gücü hesaplanmaktadır.



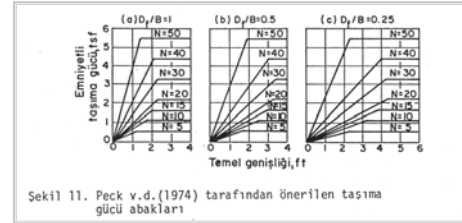
Şekil 8. SPT N Değeri ile  $\phi^\circ$  Arasındaki İlişki



Şekil 27. SPT N Değeri ile  $\phi^\circ$  Açısı Arasındaki İlişki

## KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜ

- Kohezyonsuz zeminlere oturan sığ temellerin projelendirilmesinde
  - Toptan göçmeye karşı emniyetin en az  $GS=2$  olması
  - Oturmaların **25 mm** değerini aşmaması gerekmektedir.
- Temel genişliğinin genellikle  $B>1$  m olduğu dikkate alındığında sığ temellerin kum zeminde oturma kriterine göre projelendirilmesi esas alınmaktadır.
- Aşağıda ( Peck vd. (1974)) SPT N değerinden taşıma gücünü veren abaklarda temel genişliği (**B**) faktörü ortamdandır.
- Bu abakların kullanımında N değeri temel seviyesinden **0.5B** yukarıda ve **2B** aşağıdaki SPT N değerlerinin ortalamasıdır.



Şekil 11. Peck v.d.(1974) tarafından önerilen taşıma gücü abakları

## OTURMA HESAPLARINDA SPT N

- Çeşitli araştırmalarda SPT N ile kohezyonsuz zeminlerin deformasyon modulu  $E_s$  arasında korelasyonlar önerilmiştir.
- Bu yaklaşımda zeminin penetrasyon direncinden  $E_s$  değeri tahmin edilmekte ve elastik teori kullanılarak oturmalar hesaplanmaktadır.

$$E_s = 7.5 + 0.5 N \text{ (Mpa)} \quad \text{Bowles(1987)}$$

$$E_s = 7.5 + 0.8 N \text{ (Mpa)} \quad \text{Anagnostopoulos(1990)}$$

SPT N değerinden yararlanılarak Meyerhof, Terzaghi-Peck tarafından verilen bağıntıdan ve arazi ölçümlerinden faydalanarak aşağıdaki formülleri vermiştir:

$$B < 1.2 \text{ m için} \quad \rho = 20.8 p/N$$

$$B > 1.2 \text{ m için} \quad \rho = 31.2 p [ B / (B + 0.3) ]^2$$

N

Burada  $p$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) net taban basıncını,  $\rho$  ( $\text{cm}$ ) oturmayı, B temel genişliğini göstermektedir.

## KONİK PENETRASYON DENEYİ ( CPT )



## GİRİŞ

- Sığ temellerdeki kohezyonsuz zeminlere ait taşıma gücü ve oturma miktarının belirlenmesinde genellikle örselenmemiş numune almak mümkün olmadığı için hızlı ve ekonomik olan yerinde deney yapmaktır.
- Bu deneylerden biri olan CPT ve ekipmanı ülkemizde de yapı temellerinin projelendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

## TANIM

- Alüvyon zemin koşullarının hakim olduğu bölgelerde standart çap ve boyutlardaki konik bir uç (penetrometre) sabit bir hızda (20mm/s) sürekli ve statik olarak zemine itilir.
- Bu işlem sırasında *uç direnci ve çevre sürtünmesi* kaydedilir.

## DENEYİN AMACI

- Zemin profilinin tanımlanması
- Zeminlerin jeoteknik parametrelerinin yerinde saptanması
- Temellerin taşıma gücünün belirlenmesi
- Oturma analizi
- Sıvılaşma analizi
- Kazık taşıma gücü hesaplanması

## DENEYİN YAPILIŞI

- Bu deney genellikle 10 cm<sup>2</sup> konik uçlu ve 150 cm<sup>2</sup> çevre alanına sahip 60 ° açılı elektronik veya mekanik bir konik ucun 10 -20 ton kapasiteli ekipman ile hidrolik baskı yoluyla 2 cm/sn sabit hızla zemine penetre edilmesi ile yapılmaktadır (Müsaade edilebilir sapma ise  $\pm 0.5$  cm/sn dir ).
- Penetrasyon sırasında 2 cm ara ile ölçülen uç ve çevre sürtünmesi verileri bilgisayar aracılığı ile kaydedilmektedir.

## Deneyde Kullanılan Ekipmanlar

- 1-Ölçüm cihazlarını içeren bir penetrometre
- 2-Penetrometrenin zemine itilmesini sağlayan itme sistemi (itme makinesi, sabitleme sistemi, tijler)
- 3-Kayıt Sistemi

## CPT Deneyinin Avantajları

- Zemin hakkında kesintisiz veri alınır.
- Mekanik sondaja göre oldukça hızlı bir sürede yapılır.
- Özellikle elektrikli penetrometrelerde kullanıcıdan kaynaklanabilecek hata çok düşük düzeydedir.
- Sondajlar arasında korelasyonu sağlamak amacıyla hızlı ve ekonomik olarak kullanılabilir.

## CPT Deneyinin Dezavantajları

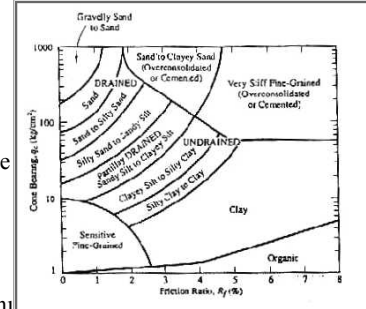
- Zeminden örselenmiş/örselenmemiş örnek alınamaz.
- İri taneli (çakıllı, molozlu) zeminlerde uygulanamaz.
- Çok sıkı ve sert alüvyonlarda uygulamak zordur.

## 1. Zemin Profilinin Oluşturulması

- Temel zemininin sınıflandırılması ve profilinin belirlenmesinde deney sırasında elde edilen  $q_c$  (uç direnci) ve  $q_s$  (çevre sürtünmesi) değerleri kullanılarak sürtünme oranı ( $F_r$  %) hesaplanır.
- Sürtünme oranı:  $F_r (\%) = (q_s/q_c) * 100$

## Zemin Tanımlaması

- Yandaki grafik standart elektrikli penetrometre için uç direnci ( $q_c$ ) ve sürtünme oranına ( $F_r$ ) bağlı olarak hazırlanmış zemin sınıflandırmasını vermektedir.



## 2. Kohezyonlu Zeminlerde Elde Edilen Parametreler

- Kohezyonlu zeminlerde; drenajsız kesme mukavemeti ( $C_u$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$q_c = N_k * C_u + P_o \quad C_u = (q_c - P_o) / N_k$$

$C_u$ : Drenajsız kesme mukavemeti, kN/m<sup>2</sup>

$q_c$ : Uç Direnci, kN/m<sup>2</sup>

$P_o$ : Z derinliğinde toplam jeolojik yük, kN/m<sup>2</sup>

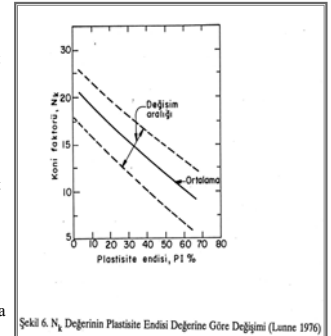
$N_k$ : Koni faktörü (boyutsuz)

Bu formüldeki  $N_k$  (koni faktörü) plastisite indeksi ilişkisi aşağıdaki grafikte verilmektedir.

Projede kullanılan emniyet katsayısı ve kilin hassaslık derecesi koni faktörünün seçimini etkilemektedir.

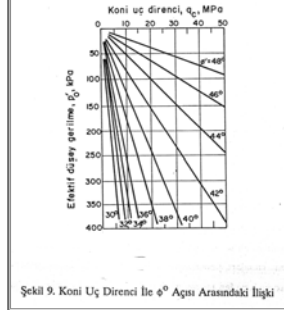
Koni faktörü, aşırı konsolidasyon oranı, duyarlılık, silt yüzdesi, test tipi, jeolojik yük gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Koni faktörü normal konsolide killerde (NC) genel olarak 15-20 arasında seçilmektedir

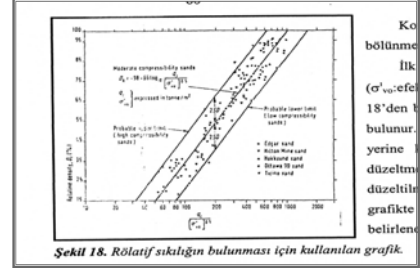


### 3. Kohezyonsuz Zeminlerde İçsel Sürtünme Açısı Tayini

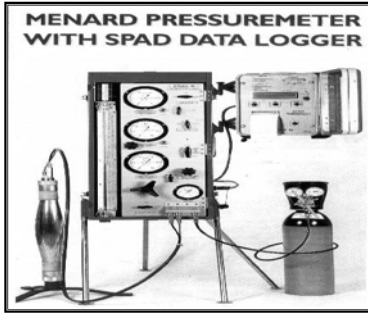
- Yandaki grafikte çimentolanmamış kuvars kumlarında  $q_c$  ve  $P_0$  bağılı olarak içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) tahmin edilebilir.



- Aşağıdaki şekilde ise konik uç direnci ( $q_c$ ) ile düşey basınç değerlerine ( $P_0$ ) bağılı olarak rölatif sıklık ( $D_r$ ) değerini ve zemin türü kullanılarak içsel sürtünme ( $\phi$ ) açısına geçiş yapılmaktadır.

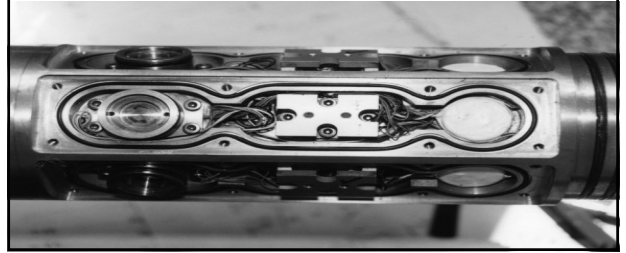


### PRESİYOMETRE DENEYİ



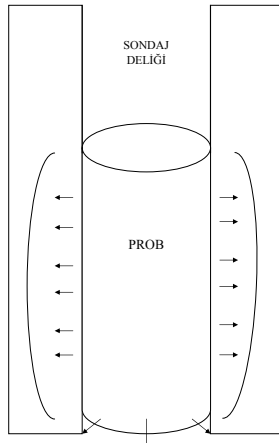
### GİRİŞ

Kuyu içi yanal yükleme deneylerinden biri olan presiyometre deneyi geniş uygulama alanıyla bir çok geoteknik problemin çözümünde kullanılmaktadır.



### AMAÇ

Presiyometre deneyinde temel fikir, zeminin basınç-deformasyon ilişkilerini ölçmek için zeminde açılan silindirik bir boşluğun genişletilmesidir.



### UYGULANABİLDİĞİ ZEMİNLER

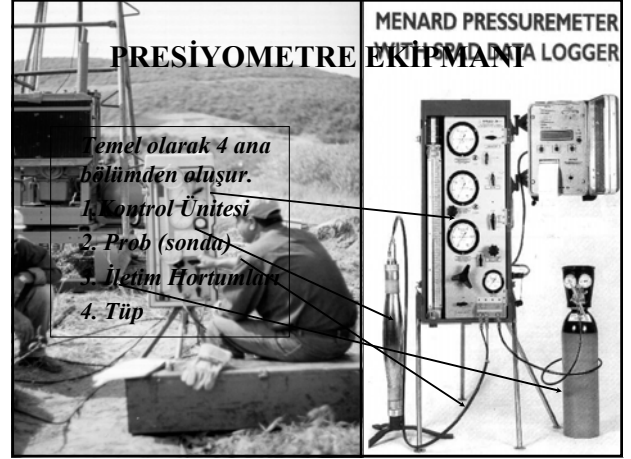
Zemin Cinsi	E(bar)	$P_L$ (bar)
Çamur-Turba	2-5	0,2-1,5
Yumuşak kil	5-30	0,5-3
Ortasert kil	30-80	3-8
Sert sıklı kil	80-400	6-20
Marn	50-600	6-40
Geveç Siltli kum	5-20	2-15
Kum ve Çakıl	80-400	12-50
Çökel Kumlar	75-400	10-50
Kireçtaşı	800-200 000	30-100 veya daha fazla
Yeni Dolgu	5-50	0,5-3
Eski Dolgu	40-150	4-10

Tablo-4.

Presiyometreler; çok yumuşak ve yumuşak zeminlerden basınç dayanımı 10 Mpa'a kadar ulaşan zayıf kayalarda uygulanabilmektedir.

## UYGULAMA ALANLARI

1. Temel zemin etütlerinde
  - Taşıma gücü ve zemin emniyet gerilmesi hesaplamasında
  - Oturma analizi hesaplarında
  - Mukavemet parametrelerinin tespit edilmesinde ( $P_L, E_M, c, \phi, G$ )
2. Yamaç molozu, altıvyon, dolgu ve her türlü dekapaj işinde hafriyat sınırı tayininde
3. Şev stabilite analizlerinde
4. Açılmış galeri ve tünellerde bir kesit üzerinde sondaj delikleri açılarak her metrede deney yapılarak açıklığın etrafında meydana gelen gevşeme zonunun tespit edilmesinde
5. Enjeksiyondan önce ve sonrasında deney yapılarak enjeksiyonun etkinliğinin hesaplanmasında
6. Dolguların yapımından sonra deney yapılarak taşıyabileceği yükün tespit edilmesinde.



## DENEYİN YAPILMASINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR

- Genel kural olarak presiyometre deneyi delme işleminden hemen sonra yapılmalıdır.
- Araştırmanın niteliğine bakılmaksızın derinliğin bir fonksiyonu olan direnç parametrelerinin değişimlerinin kayıt edilmesi için deneyler sistematik olarak her metrede bir yapılmalıdır.
- Üst yapı genişliğinin yaklaşık 2 katı derinliğe kadar deney sürdürülmelidir.

## DENEYİN UYGULANMASI

- Kalibrasyonu yapılmış olan prob deney zonuna indirilir ve muhafaza hücresi basınçlı hava ile şişirilir.
  - Probu şişmesi dolayısıyla boşluğun genişlemesini sağlamak için gaz tüpünden (dedantör yardımı ile) ölçme hücreesine eşit aralıklarla (1,2,3 bar) artırılan basınçlar uygulanır.
  - Artırılan her basınç seviyesinde, sabit bir zaman aralığı kadar beklenir (genellikle 1 dakika).
  - Belirlenen bu zaman aralığında her basınç artışı ( $P_m$ ) için ölçme hücreesindeki hacim değişimleri ( $V_m$ ) volümetreden kaydedilir.
  - Boşluk hacminde oluşan bu artış kuyunun yalnız radyal olarak genişlemesi şeklindedir (Boyunda değişim olmaz).
  - Bir deney zonuna en az 10 kademe basınç uygulanır.
  - Bir deney yaklaşık olarak 10-15 dakika sürer.
- (Bunun anlamı ise killerde drenajsız, kum-çakıllarda ise drenajlı deney yapmak anlamına gelir ve bir yapının inşası düşünülürse temel zemininde ani yüklenme durumuna uygun değer elde edilir)

- Kayıtların alınmasından sonra hacim ve basınç artan değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılır.
- XY koordinat sisteminde Y eksenli basınç ( $\text{bar}, \text{kg}/\text{cm}^2$ ), X eksenli hacim değişimlerini ( $\text{cm}^3$ ) gösterecek şekilde basınç deformasyon eğrisi çizilir.
- Başlangıçtan sonra eğrinin ilk noktasının apsisi, verilen basınç artması ile probun zemine oturması ve zeminin  $P_0$  basıncına tekabül eder.
- Daha sonra eğri lineer artış gösterir. Bu kısım "psödoelastik safha"yı oluşturur.
- Bu safhadan sonra eğri yükselmeye başlar ve  $P_L$  (limit basınç) ile belirtilen sınır basıncına ulaşır. Bu safhaya "plastik safha" denir.
- Limit basınç ( $P_L$ ) hacim artışlarının sonsuza vardığı noktadır ki zeminin teorik olarak "nihai taşıma gücüne" tekabül eder.
- 30 ve 60 saniyelik aralıklardan sonra hacim değişimleri aynı grafikte gösterilerek "akma eğrisi (creep curve) elde edilir.
- Akma eğrisinin yukarıya doğru kırıldığı nokta ( $P_f$ ) akma basıncıdır. Genellikle psödoelastik safhanın üst sınırına tekabül eder.

## PRESİYOMETRE VERİLERİ İLE TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Zeminin taşıma gücüne presiyometre deneyi sonucunda elde edilen  $P_L$  değeri yardımıyla ulaşılabilir. Presiyometre deneyi sonuçlarından dizayn parametrelerine geçmek için dolaylı ve doğrudan yöntemler olarak iki yöntem vardır. Deney sonuçlarını olduğu gibi kullanan doğrudan yöntem Menard tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem yerinde deney sonuçlarını kullanmanın en bilinen ve en çok kullanılan yoludur. Dolaylı yöntem ise deney sonuçlarından zemin davranışlarını analiz edebilmek için parametre üretmek içindir.



Doğrudan yöntem Menard presiometresi için daha kullanışlıdır. Zeminin nihai taşıma kapasitesinin limit basıncıyla ve oturmanın da presiometre modülü (Menard elastisite modülü  $E_M$ ) ilişkili olduğunu kabul eder. Aşağıdaki formüllerde;

**k** : Presiyometre taşıma kapasite faktörü

**qu** : nihai taşıma kapasitesi

**$\sigma_v$**  : toplam düşey gerilme

**$\sigma_h$**  : presiometre deneyinde uygulanan toplam yatay gerilme

$$k = \frac{q_u - \sigma_v}{P_L - \sigma_h} \quad q_u = (P_L - \sigma_h) * k + \sigma_v$$

## PRESİYOMETRE VERİLERİ İLE OTURMA HESABI

Presiyometre deneyinden elde edilen  $E_M$  değerleri kullanılarak bir yapı temelinde meydana gelebilecek oturmalar hesaplanabilir.

$$s = (q - \sigma_v) \left[ \frac{2B_0}{9E_d} \left( \lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \left( \frac{\alpha \lambda_v}{9E_v} \right) \times B \right]$$

$$s = (q - \sigma_v) \left[ \frac{2B_0}{9E_d} \left( \lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \left( \frac{\alpha \lambda_v}{9E_v} \right) \times B \right]$$

$B_0$  : referans genişlik genellikle 60 cm alınır.

$\lambda_v, \lambda_d$  : Temelin L/B oranına bağlı olan şekil faktörü

$\alpha$  : Zemin cinsine ve EM/ PL oranına bağlı olarak reolojik faktör

$E_d$  ve  $E_v$  : Eşdeğer presiometre modülü

$B$  : Temelin genişliği/çapı ve daima  $B \geq B_0$  olmalıdır.

$\sigma_v$  : Temel seviyesindeki düşey gerilme

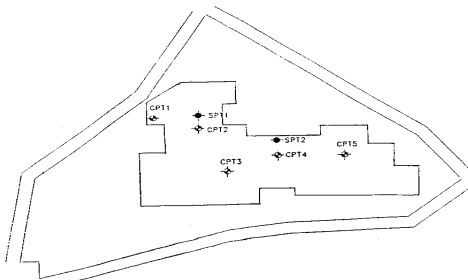
$q$  : Yapıdan zemine gelen taban basıncı

bu formül derinliği, genişliğinin iki katından daha fazla olan temeller için uygulanabilir.

(Reoloji: Malzemenin zamana bağlı deformasyonunu inceleyen bilim dalı)

## İZMİT ALIŞVERİŞ MERKEZİ PROJESİNDE SPT – CPT VERİLERİ İLE KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİ HESABI

Sondaj yerleşim planı verilen bu proje ile ilgili kazık taşıma kapasitesi hesaplarında SPT-CPT deney sonuçları ile arazide ve laboratuvarında yapılan zemin deneylerinden yararlanılmıştır.



İzmit alışveriş merkezi zondaj yerleşim krokisi

DÖLĞÜ		+3.00
Gevsek, Heterojen	N=8-12	+0.00
KOYU GRİ RENKLİ SİLTİLİ KİL (CL; MH)	N = 5-8 Mc=Es=2.0MPa cu=25kPa e = 1.30 qc=0.4-0.8 MPa fc=0.01-0.03 MPa Gama=18 kN/m <sup>3</sup>	-2.00
Yumusak-Orta Kati		-22.00
KOYU GRİ RENKLİ SİLTİLİ KİL (CL)	N = 15-26 Mc= 6.0 MPa cu=70 kPa qc= 1.0-1.8 MPa fc=0.03-0.05MPa Gama=20kN/m <sup>3</sup>	-32.00
Katı-CokKatı		
KUMLU ÇAKILLI KİL (CL)	N> 32 Mc > 25.0 MPa cu>150kPa qc=6.0-5.0 MPa fs=0.1-0.2 MPa Gama=20 kN/m <sup>3</sup>	
SERT		

Şekil 6.3 - Zemin Profili ve Zemin Parametreleri

## CPT Verileri İle Kazık Taşıma Kapasitesi Hesabı

- CPT datası ile kazık taşıma kapasitesi hesaplanırken Schmertmann (1977) tarafından önerilen klasik yöntem uygulanmıştır.
- Aşağıda verilen mekanik statik sonda ile sahada yapılan CPT deneylerine göre, statik proje müellifince öngörülen kazık servis yükünün sağlanabilmesi için  $D = 0.80$  m çapındaki kazıklarda, kazık uçlarının güncel zemin yüzeyinden itibaren  $L = 35.0$  m derinliğe penetrasyonu sağlanmalıdır.

### CPT 2 :

Uç Mukavemeti:  $q_p = (q_{c1} + q_{c2}) / 2$

Kazık çapı  $D = 0,80$  m ; Kazık boyu  $L = 35,0$  m ( kazık ucu güncel arazi yüzeyinden 35,0 m derine indirilecektir).

$q_{c1} = 72$  kg / cm<sup>2</sup>

$q_{c2} = 1 / 14 ( 72+68+36+9*10+2*8 ) = 20$  kg / cm<sup>2</sup>

$q_{c3} = 1 / 2 ( q_{c1} + q_{c2} ) = ( 72 + 20 ) / 2 = 46$  kg / cm<sup>2</sup>

Mekanik penetrometre kullanılması sebebiyle hesaplanan bu değer  $K=0.60$  gibi bir

katsayı ile azaltılmalıdır.

$q_p = 0.60*46 = 27.6$  kg/cm<sup>2</sup> =276 t/m<sup>2</sup>

$Q_b = q_p * A_b = 276 * 0.502 = 138.5$  ton

## Çevre Sürtünmesi:

İnceleme alanında genelde zemin yüzeyi ile 20.00 m derinlikler arasında karşılaşılan çok yumuşak-yumuşak Körfez çökelleri henüz konsolidasyonuna devam etmektedir. Ağustos-Eylül 1995 aylarında yapılan dolguların yükleri altında yumuşak körfez çökellerindeki konsolidasyon oturması yaklaşık olarak 20-25 cm dolayında olacaktır. Diğer bir deyişle, inceleme konusu proje kapsamında yapılacak kazıklarda önemli negatif çevre sürtünmesi kuvvetleri ortaya çıkacaktır. Bu sebeple, zemin yüzeyi ile 20.00 m derinlik arasında karşılaşılan yumuşak kil tabakaları ile granüler birimlerin kazık taşıma kapasitesine olan katkıları dikkate alınmamıştır.

Derinlik (m)	$f_s'$ (kg / cm <sup>2</sup> )	$a'$	$f_s$ (kg / cm <sup>2</sup> )
20.00-25.00	0.3	0.9	0.27
25.00-31.60	0.5	0.8	0.40
31.60-35.00	0.9	0.5	0.45

$Q_s = \pi * D * L * f_s$

$Q_s = 3.14 * 0.8 * ( 2.7*5.0 + 4*6.6 + 4.5*3.4 ) = 111.5$  ton

Tahmin edilen kazık taşıma kapasitesi :

$Q_{ult} = 111.5 + 138.5 = 250$  ton

Emniyetli kazık taşıma kapasitesi :

$Q_{all} = Q_{ult} / 3 = 250 / 3 = 83$  ton (Mekanik sonda kullanıldığı için güvenlik sayısı  $F_s = 3$  alınmıştır).

### CPT 4

$D = 0.80$  m ;  $L = 35.0$  m

$q_{c1} = 84$  kg/cm<sup>2</sup>

$q_{c2} = 1 / 14 ( 3*84 + 56 + 34 + 28 + 18 + 2*14 + 2*12 + 3*10 ) = 33,6$  kg/cm<sup>2</sup>

$q_p = ( 84 + 33,6 ) / 2 = 58,8$  kg/cm<sup>2</sup>

$0.60 * q_p = 35,3$  kg/cm<sup>2</sup>

$Q_b = 353*0.502 = 177$  ton

Derinlik (m)	$f_s'$ (kg / cm <sup>2</sup> )	$a'$	$f_s$ (kg / cm <sup>2</sup> )
20.00 - 25.00	0.35	0.85	0.30
25.00 - 28.6	0.7	0.6	0.42
28.6-31.60	0.8	0.5	0.40
31.6-32.6	1.4	0.42	0.59
32.6 - 35	2.4	0.4	0.84

$Q_s = 3.14 * 0.8 * ( 0.30*5 + 4.2*3.6 + 4.0*3.0 + 5.9*1.0 + 8.4*2.4 ) = 137$  ton

$Q_{ult} = 137 + 177 = 314$  ton

$Q_{all} = 314 / 3 = 105$  ton

### CPT 5

$D = 0.80$  m ;  $L = 35.0$  m

$q_{c1} = 92$  kg/cm<sup>2</sup>

$q_{c2} = 1 / 14 ( 92 + 92 + 88 + 68 + 24 + 2*16 + 7*10 ) = 33,3$  kg/cm<sup>2</sup>

$q_p = ( 92 + 33 ) / 2 = 62.5$  kg/cm<sup>2</sup>

$0.60 * q_p = 37.5$  kg/cm<sup>2</sup>

$Q_b = 375 * 0.502 = 188$  ton

Derinlik (m)	$f_s'$ (kg / cm <sup>2</sup> )	$a'$	$f_s$ (kg / cm <sup>2</sup> )
20.00 - 25.00	0.35	0.85	0.30
25.0-25.8	0.10	1.1	0.11
25.8-30.0	0.5	0.8	0.40
30.0-32.0	0.9	0.5	0.45
32.0-35.0	2.9	0.4	1.16 > 1.00 (max)

$Q_s = 3.14 * 0.80 * ( 3*5.0 + 1.1*0.8 + 4.0*4.2 + 4.5*2 + 10*3 ) = 180$  ton

$Q_{ult} = 180 + 188 = 368$  ton

$Q_{all} = 368 / 3 = 120$  ton

## SPT Verileri İle Kazık Taşıma Hesabı

- Statik kazık formülü ile taşıma hesabı yapılmıştır.
  - Kazık çapı  $D = 0.80$  m ;
  - Kesit Alanı =  $0.502$  m<sup>2</sup>;
  - Kazık boyu  $L = 35.0$  m
- 
- Statik kazık formülleri ile yapılan kazık taşıma kapasitesi hesabına göre, inceleme alanında yapılacak kazıkların minimum  $L = 35.0$  m boyunda olması gerekmektedir.

### SK1 Sondajı:

$z = 0.00$  m ile  $z = 20.00$  m derinlikleri arasındaki yumuşak kil zeminlerin ve gevşek kum tabakalarının taşıma kapasitesine pozitif katkıları dikkate alınmamıştır.

#### $z = 20.0$ m- $25.0$ m arası:

$$Q_s = \alpha c_u A_s = 1.0 * 25 * 3.14 * 0.80 * 5.0 = 314 \text{ kN}$$

#### $z = 25.0$ m- $29.0$ m arası:

$$Q_s = \alpha c_u A_s = 0.80 * 70 * 3.14 * 0.80 * 4.0 = 563 \text{ kN}$$

#### $z = 29.0$ m - $34.0$ m arası:

$$Q_s = \alpha c_u A_s = 0.60 * 108 * 3.14 * 0.80 * 5.0 = 814 \text{ kN}$$

#### $z = 34.0$ m - $35.0$ m arası:

$$Q_s = \alpha c_u A_s = 0.40 * 150 * 3.14 * 0.80 * 1.0 = 150 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_s = 314 + 563 + 814 + 150 = 1841 \text{ kN}$$

$$Q_b = 9 c_u A_b = 9 * 150 * 0.502 = 678 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = Q_s / 2 + Q_b / 3 = 1841 / 2 + 678 / 3 = 1047 \text{ kN}$$

### SK 2 Sondajı :

#### $z = 20.0$ m- $25.0$ m arası:

$$Q_s = \alpha c_u A_s = 1.0 * 25 * 3.14 * 0.80 * 5.0 = 314 \text{ kN}$$

#### $z = 25.0$ m - $29.0$ m arası:

$$c_u = 70 \text{ kPa} ; \alpha = 0.80 ; Q_s = 563 \text{ kN}$$

#### $z = 29.0$ m - $35.0$ m arası:

$$N = 26; C_u = 117 \text{ kPa} \alpha = 0.55$$

$$Q_s = 0.55 * 117 + 3.14 * 0.80 * 6.0 = 970 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_s = 314 + 563 + 970 = 1847 \text{ kN}$$

$$Q_b = 9 C_u A_b = 9 * 117 * 0.502 = 529 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = Q_s / 2 + Q_b / 3 = 1847 / 2 + 529 / 3 = 110 \text{ kN}$$

TEŞEKKÜRLER