

# GEOTEKNİK TASARIM İÇİN SAHA DENEYLERİNİN TANIMLANMASI VE UYGULAMA ALANLARI

## 1. Bölüm

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)

Hazırlayan: İnş. Müh. Gökhan DEMİRBAŞ

# ÖNSÖZ VE GENEL AÇIKLAMALAR

Bu sunum kapsamında geoteknik tasarım parametrelerinin belirlendiği saha deneylerinin kısa tarihlerini, yapış şekillerini ve uygulama alanlarını irdelemek istiyorum. Deneylerin sonuçlarının irdelenmesi ve dikkat edilmesi gereken kritik durumları gösterip anlamsız sonuçların olabileceği ve/veya hata faktörlerini belirttim. Her bir deney kapsamında ilk sayfa kaynağı belirtilmiş kitaptan sunulmuş olup ikinci sayfada olaya kendi yorumumu katarak dikkat edilmesi gereken bazı noktaları naçizane tecrübelerime dayanarak aktarmak istiyorum.

# STANDART PENETRASYON DENEYİ

Standart penetrasyon deneyinin tarihi «Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri (DLH Prof. Dr. Ahmet Orhan EROL, Dr. Zeynep Çekinmez [2014])» kitabında aşağıdaki gibi aktarılmıştır.

«Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan saha deneyidir. ABD’de 19. yüzyılda sondajlar su ile açılmakta ve zemin türü kuyudan çıkan sondaj çamuru içerisindeki zemin danelerinden tanımlanmaktaydı. Daha sonra, 1902’de Albay Charles R. Gow, zemin türünü tanımlamak için 110 libre (yaklaşık 50 kg) ağırlığındaki bir şahmerdan ile çakılan 1 inç (yaklaşık 2.5 cm) çapındaki açık örnek alıcı geliştirmiştir (Fletcher, 1965). Zamanla ABD’de bu örnek alıcının farklı tipleri geliştirilmiştir. SPT, ABD’deki Raymond Kazık Şti. tarafından 1920’li yıllarda zemin dayanımı ile ilgili bir fikir sahibi olmak ve zeminin gerçekçi olarak tanımlanmasını sağlayan bir örnek alımı amacı ile kullanılmıştır (Douglas, 1983).»

Deney düzeneği basit olup tüm zemin etüt firmaları SPT ekipmanlarına sahiptir. SPT en genel anlamda sondaj kuyusunun içerisinde yapılan, en uçta ‘boyuna yarık tüp’ olarak bilinen standart örnek alıcısının bağlı olduğu tijlerin üzerine, 140 lb (63.5 kg) ağırlığındaki bir şahmerdanın 76.2 cm yükseklikten tekrarlı bir şekilde bırakılarak kuyu tabanından toplamda 45 cm’lik penetrasyon sağlanana kadar çakılması ve bunun için gerekli olan darbe sayısı (SPT-*N*) değerlerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir.

# STANDART PENETRASYON DENEYİ

Standart penetrasyon deneyi kohezyonlu zeminlerde katılık durumunu kohezyonsuz zeminlerde ise sıklık durumunu bildirir. Sıklık derecesine bağılı olarak sıvılaşma potansiyeline ışık tutar. SPT aslı olarak çok kaba taneli olmayan kumlarda gerçekçi ve tutarlı sonuçlar verir. SPT sonuçları yorumlanırken dikkat edilmesi gereken zemin içerisindeki tabakaların kaba tane içerikleridir. Çok gevşek bir kum içerisindeki çakıl içeriği SPT deneylerinde anlamsız sonuçlara sebebiyet verebilir. Ayrıca çok yumuşak ve hassas killerde çok yanıltıcı sonuçlara yönlendirebilir. SPT verileri ile neredeyse tüm geoteknik parametrelere ulaşılabilecek bir ampirik formülasyonlar veya tablolar mevcuttur. Bunun sebebi SPT deneyinin hızlı, kolay ve tutarlı sonuçlar vermesidir. Bir çok araştırmacı bu avantajları sebebi ile geliştirmelerini bu deney üzerinde yoğunlaştırmıştır.

Deney operatöre bağılıdır. Deneyin sonuçlarında insan hatası olabilir. Bunun dışında kullanılan ekipmanların tam olarak tanınmamasından dolayı yorumlama zorlaşabilir. Tüm jeoloji mühendisleri tarafından yıllarca Enerji düzeltmesi olarak SPT-N değerleri 0,75 değeri ile çarpılarak düzeltilmiştir. Bunun sebebi (günümüzde bile) okullarda anlatılan enerji oranlarının hep (El Tokmağı – Kedi Başı) 45 alınmasından ötürüdür. Araştırılan enerji düzeyi çoğu zaman 60 olduğundan  $45/60 = 0,75$  olarak görülür. Günümüzde otomatik darbeli tokmak kullanmadan SPT yapılması yasalara aykırıdır. Otomatik darbeli tokmağın enerji düzeyi çoğu zaman 60'ın üzerindedir bu sebep ile yeni deprem yönetmeliğinde CE-Otomatik Darbeli Tokmak = 0,9-1,6 değerleri arasındadır.

Sonuç olarak SPT verisini, çok yumuşak (özel killer) killerde ve iri tane içeriği yüksek olan zeminlerde dikkatle irdeleyin.

# STANDART PENETRASYON DENEYİ

Farklı SPT deney düzeneklerinin enerji ve diğer düzeltme oranlarını göstererek bu deneyi sonlandıralım.

Tablo 1.4. Şahmerdan ve düşürme mekanizmasına bağlı enerji oranları  
(Clayton vd., 1995)

Ülke	Şahmerdan Tipi	Şahmerdan Düşürme Mekanizması	Enerji Oranı, $E_R$ (%)
Arjantin	Halka	Kedibaşı	45
Brezilya	İğneli Ağırlık	Elle bırakmalı	72
Çin	Otomatik Halka	Elle dolamalı	60
	Halka	Serbest bırakma	55
	Halka	Kedibaşı	50
Kolombiya	Halka	Kedibaşı	50
Japonya	Halka	Tombi	78 – 85
	Halka	Kedibaşı, 2 tur+özel saliverme	65, 67
İngiltere	Otomatik	Gitgel	73
ABD	Emniyetli	Kedibaşı, 2 tur	55 – 60
	Halka	Kedibaşı, 2 tur	45
Venezuela	Halka	Kedibaşı	43

Tablo 1.5. Delgi çapı, tüp tipi, tij uzunluğu ve darbe vuruş hızı düzeltme faktörleri (Aggour ve Radding, 2001)

Değişkenler	Semboller	Düzeltilme Faktörü				
		Skempton* (1986)	Robertson ve Wride (1997)	McGregor ve Duncan (1998)	Bowles (1996)	
Tij	> 30 m	1	< 1.0	1	1	
Uzunluğu	10 – 30 m	1	1	1	1	
	6 – 10 m	$C_R$	0.95	1	0.95	
	4 – 6 m		0.85	1	0.85	
	3 – 4 m		0.75	1	0.75	
	0 – 3 m		0.75	-	0.75	0.75
Tüp	Astar olmayan örnek alıcı kullanılmış ise	$C_S$	1.2	1.1 – 1.3	-	1.0
	Standart tüp (astar olan) örnek alıcı :					
	Gevşek kum		1	1	-	0.9
	Sıkı kum ve kil		1	1	-	0.8
Delgi Çapı	60 – 120 mm	$C_B$	1	1	-	1
	150 mm		1.05	1.05	-	1.05
	200 mm		1.15	1.15	-	1.15
Darbe	20'den az ve 10-20 darbe/dk	$C_{BF}$	-	-	0.95	-
Vuruş Hızı	20'den fazla ve 10-20 darbe/dk		-	-	1.05	-

\* Uygulamada genellikle Skempton (1986) faktörleri kullanılmaktadır.

Dikkatli incelenirse TBDY 2018 kapsamında da Skempton faktörleri (çoğunda) kullanılmıştır.

# KONİK PENETRASYON DENEYİ

Konik penetrasyon deneyinin tarihi «Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri (DLH Prof. Dr. Ahmet Orhan EROL, Dr. Zeynep Çekinmez [2014])» kitabında aşağıdaki gibi aktarılmıştır.

«Konik penetrasyon deneyi ilk olarak 1934'te Hollanda'da çakma kazık tasarımına yönelik yumuşak alüvyon kil depozitler içindeki kum tabakalarının yerleşimini ve bu tabakaların sıklığını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu ilk CPT dış çapı 35 mm olan bir boru içinden geçen 15 mm çaplı metal çubuk ucuna monte edilmiş mekanik koninin zemine itilmesi şeklinde uygulanmıştır (Sanglerat, 1972). Daha sonra 1948 yılında Vermeiden ve Plantema (1948) zeminin dış boru ve iç çubuk arasından içeri girmesini ve yapışmasını önlemek amacıyla mekanik konik ucun gerisine konik (Delft mantosu olarak da bilinen) bir ünite eklemiştir.»

CPT ekipmanlarının bir çok türü mevcuttur. CPT uçları farklı amaçlar için (boşluk suyu basıncı ölçmek için, koni çapı ve koni eğimi, dikey ve yanal deformasyon ölçer vb...) değiştirilebilir.

Özetle, mekanik ve elektrikli konik sondalar ile koninin zemine itilmesi esnasında oluşan uç ve sürtünme dirençleri, piyazo-elektrik konik sondalar ile de bunlara ilaveten boşluk suyu basıncı ölçülmektedir. Öte yandan sismik konik sondada, konik uca jeofonlar eklenerek sismik dalgaların gelişi algılanmakta, dalga hareket hızı ile sismik kayma dalgası hızları tahmin edilerek zemin rijitliği yorumlanabilmektedir

## KONİK PENETRASYON DENEYİ

Konik penetrasyon deneyi geoteknik tasarım parametrelerinin belirlenmesi açısından çok faydalı bir deney türü olup ülkemizde çok nadiren (özel istek üzerine ve/veya belirli şartnamelerin gerekliliği olarak) yapılır. Geoteknik tasarım ve analiz yapan inşaat mühendislerinin genel projelerinde bu deney sonuçları önlerine nadiren gelir. Zemin profilinin belirlenmesinden, zeminin neredeyse tüm mekanik özellikleri bu deney yöntemi ile elde edilir. Sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesinde çok etkin bir şekilde kullanılır. Zeminlerde yapılan iyileştirmelerin (öncesi ve sonrası) faydalı olup olmadığını çok net bir şekilde gösterir. Özellikle yumuşak ve zayıf zemin türlerinde kullanılır. İri çakıl ve/veya çok sıkı kumlarda uygulanması absürd olur. Deney sırasında numune alınamaz. En kritik dezavantajı 15m'den daha derinde uygulaması zor (düşeyde sapma oluşması deney sonuçlarını anlamsız hale getirir) bir deneydir. En kritik avantajı ise deney yapılmaya başlandığı andan itibaren elektronik olarak kaydedilir ve okunur. Sonuçları anlık gözlemlenir ve irdelenebilir. Koni ucuna farklı ekipmanlar takılarak çok kısa sürede birden fazla deneyin elde edeceği verileri toplayabilir.

Deney sonuçları operatöre SPT'ye oranla çok düşük miktarlarda bağlıdır. SPT deneyi gibi kesikli bir şekilde yapılmadığından ötürü bant ve/veya kısa mercekler halinde bulunan yumuşak zeminleri tespit eder.

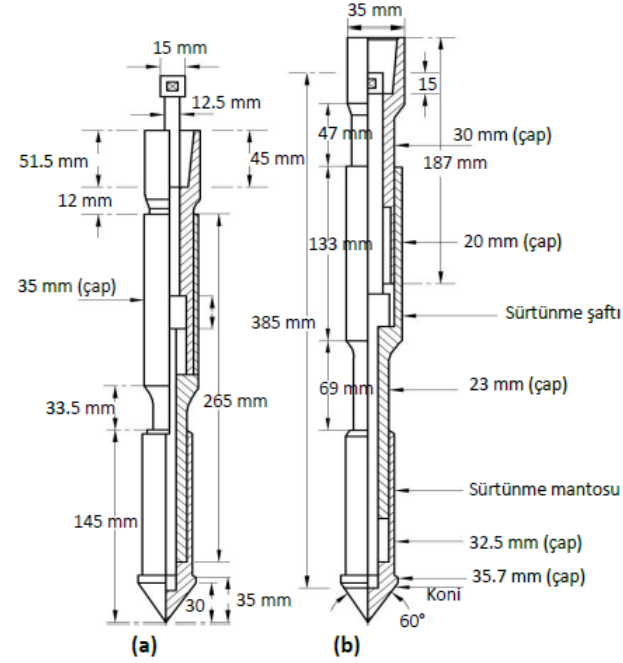
Sonuç olarak CPT yumuşak - orta katı ve gevşek – orta sıkı zeminlerde mantıklı sonuçlar verir. Kaba taneli zeminlerde çoğu zaman uygulanması çok güçtür ve sonuçlarını yorumlamak zordur.

# KONİK PENETRASYON DENEYİ

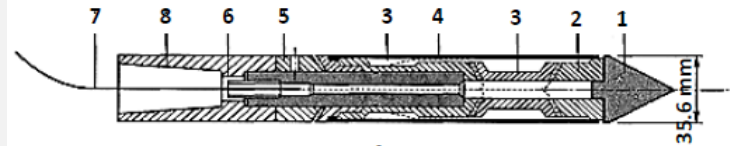
Farklı Konik penetrasyon deneyinin ekipmanları şekildeki gibidir.



Şekil 2.6. 2, 10, 15 ve 40 cm<sup>2</sup> izdüşüm alanına sahip konik sondalar (Robertson ve Cabal, 2010)

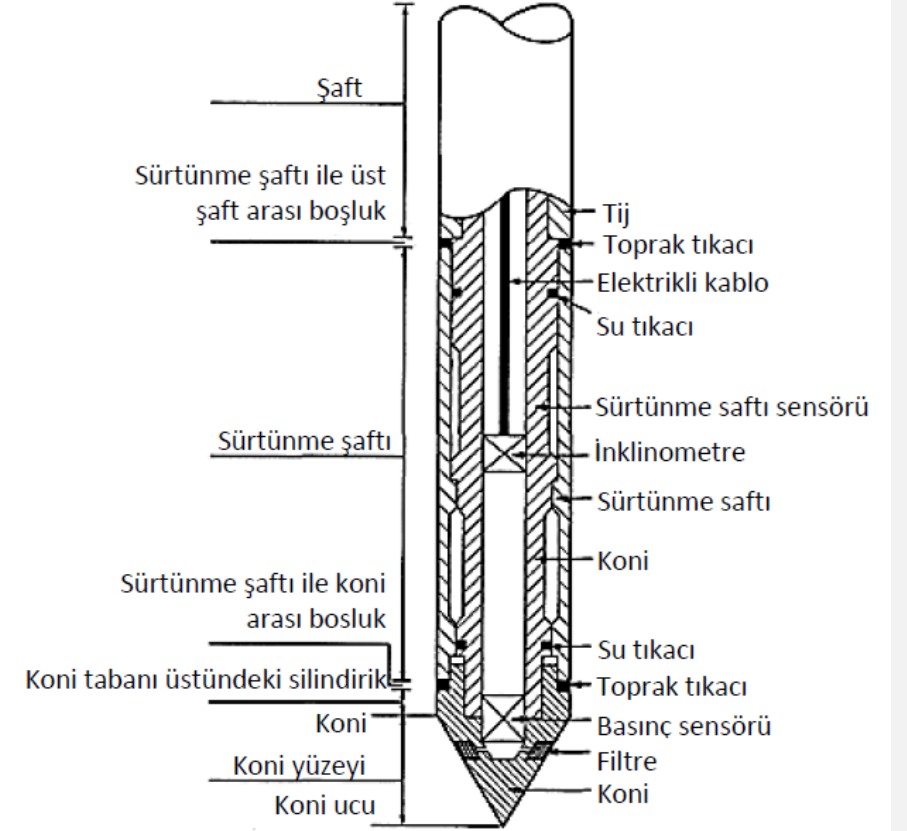


Şekil 2.3. Mekanik sürtünme konisi (a) kapalı ve (b) tamamen açık konumda (Begemann, 1965)



- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1 Koni (kesit alanı 10 cm <sup>2</sup> ) | 5 Ayar halkası    |
| 2 Yük hücresi                            | 6 Sugeçirmez burç |
| 3 Birim deformasyon ölçerler             | 7 Kablo           |
| 4 Sürtünme şaftı                         | 8 Tij bağlantısı  |

Şekil 2.4. Fugro tipi elektrikli sürtünme konisi (Lunne vd., 1997)



Şekil 2.10. Piyezokonik penetrometre detayları (Lunne vd., 1997)