

1. GİRİŞ

Yer seçimi ve yapıların projelendirilmesinde temeldeki litolojik birimlerden temsili örneklerin alınarak arazi ve laboratuvarında değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, yapı temellerine ait birimlerin yatay ve düşey yöndeki dağılımı, yeraltı suyu durumu, fiziksel, mekanik ve oturma özellikleri ile sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Arazi ve laboratuvarında yapılacak çalışmaların sonuçlarına göre yapılacak değerlendirmeler, arazi kullanımına referans olacak nitelikte olmalıdır. Zemin ve kayanın yukarıda sayılan özelliklerinin özellikle laboratuvarında tespitine yönelik hazırlanmış olan bu uygulama notunda deneylerin kısaca tanımlanması ve elde edilecek parametrelere ilişkin hesaplamalar detaylı olarak verilmiştir.

2. ZEMİN VE KAYADAN ÖRNEK ALMA YÖNTEMLERİ (Sampling)

Örnek alımına ilişkin yapılması gerekenler detaylı olarak anlatılmakla beraber, temel olarak bilinmesi gereken kavramlar ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

Sondaj (Drilling) : Zemin ve kayada farklı uzunluk ve çaplarda düşey (özel amaçlar için eğimli) bir delik açarak birimlerin dağılımı ve farklı derinliklerdeki özelliklerinin elde edilmesi işlemidir.

Araştırma çukuru (Trial pit) : Sondajdan farklı olarak; 2-3 m ye kadar genelde ters kepçe ile açılan, gözlem ve örnek almak için kazılan çukurlardır.

Örnek (Sample) : Alındığı noktadaki zemin veya kaya kütesini en iyi temsil eden parça.

- **Örselenmiş örnek (Disturbed sample) :** Alındığı zemini dayanım ve oturma özellikleri dışında temsil eden örnek.
- **Örselenmemiş örnek (Undisturbed sample) :** Zeminin yerindeki yapısını, fiziksel, kimyasal, mekanik ve oturma özelliklerini temsil eden örnek. Örneklere ait sınıflamalar, Hvorslev (1949), Rowe (1972) ve BSI (1981) tarafından geliştirilmiştir.

Karot (Core) : Elmas uçlu, ortası delik matkaplarla zemin veya kayadan alınan silindirik örnek.

Penetrometre (Penetrometer): Zeminlerde; ince taneliler için kıvam, iri taneliler için sıklığın belirlenmesinde ve zeminden örselenmiş örnek alınması amacıyla tijin ucuna takılan keskin uçlu ve boyuna ikiye ayrılabilen örnek alma ekipmanı.

Sondaj-Kuyu logu (Borehole log) : Zemin veya kaya sondajı esnasında açılmış olan kuyunun derinlik, litoloji, alınan örnekler, yeraltı suyu, yapılan deneylerle ilgili hazırlanan form.

PROJE ADI:		Kuyu Derinliği :	30,00.....m		SONDAJ NO :		SM-12								
İLİ :		YASS		1. Okuma :		3.5		SAYFA NO :		1						
YERİ :		2. Okuma :		3.5		Logu Hazırlayan :										
SONDAJ METODU :		HİDROLİK		Koordinat - Y :		323197.95										
Başlama Tarihi :		Koordinat - X :		4399037.51												
Bitiş Tarihi :		Koordinat - Z :		1257.82												
Sondaj Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Num. Derinliği (m)	Numune Türü	Zemin Deneyleleri					Kaya Özellikleri				Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
					Muh. Borusu	SPT				Standart Penetrasyon Grafiği	TCR %	SCR %	RQD %			Çatlak Sıklığı
						15	30	45	N							
1.00															0.00-0.70 metreler arası; Dolgu Malzeme (İnşaat temeli)	
2.00		UD-1 SPT1	1.50-1.90 1.90-2.35			3	5	5	10						0.70-4.50 metreler arası; Kahverengi renkli Yüksek -Düşük plastisiteli İnorganik KİL	
3.00		UD-2 SPT2	3.00-3.35 3.35-3.80			5	5	6	11							
4.00		UD-3 SPT3	4.50-4.50 4.50-4.95			ALINAMADI									4.50-5.50 metreler arası; Kahverengi renkli Kumlu ÇAKIL, Çakılı KUM	
5.00		UD-4 SPT4	6.00-6.35 6.35-6.80			4	5	8	13						5.50-7.00 metreler arası; Kahverengi renkli Yüksek plastisiteli İnorganik KİL	
6.00		SPT5	7.50-7.95			8	9	14	23						7.00-8.50 metreler arası; Kahverengi renkli Killi KUM	
7.00		UD-5 SPT6	9.00-9.40 9.40-9.85			11	13	18	31						8.50-12.00 metreler arası; Kahverengi renkli Yüksek-Düşük plastisiteli İnorganik KİL	
8.00		SPT7	10.50-10.95			12	14	19	33							
9.00																
10.00																
11.00																
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT					KAYA NİTELİĞİ - RQD (%)					AYRIŞMA DERECESESİ (W)		ÇATLAK SIKLIĞI				
İnce taneli (Kohezyonlu)			İri taneli (Kohezyonsuz)													
N : 0-2	Çok Yumuşak		N : 0-4	Çok Gevşek		0-25	Çok Zayıf			W1	Taze (Ayrışmamış)		< 1	Masif		
N : 3-4	Yumuşak		N : 5-10	Gevşek		25-50	Zayıf			W2	Az Ayrışmış		1-3	Az çatlaklı-Kırıklı		
N : 5-8	Orta Katı		N : 11-30	Orta		50-75	Orta			W3	Orta Derecede Ayr.		3-10	Kırıklı		
N : 9-13	Katı		N : 31-50	Sıkı		75-90	İyi			W4	Ayrışmış		10-50	Çok çatlaklı-Kırıklı		
N : 14-30	Çok Katı		N : >50	Çok Sıkı		90-100	Ç.İyi			W5	Tamamen Ayr.		> 50	Parçalanmış		
N : 30	Sert															

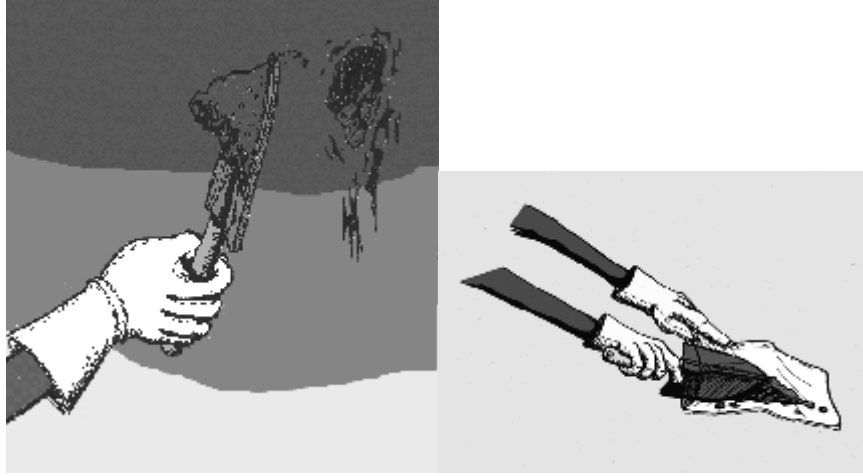
Jeoteknik sondaj logu örneği

2.1. Zeminlerden Örnek Alma (Soil sampling)

Örselenmiş örnek alma (Disturbed sampling)

- Araştırma çukuru (Trial pit)

Çukur çeperinde yukarıdan aşağıya, zemindeki en büyük çakıl tanesi çapının dört katından az olmayan bir yarık açılır ve çıkan malzeme serilen brandaya toplanır. Karışık örnek istenirse, açılan yarığın kesit alanı tüm seviyeler boyunca aynı olmalıdır (Şekil 1). Brandaya toplanan örnek, gerekirse çeyrekleme ile azaltılır.



Şekil 1. Araştırma çukurundan örnek alma

- Yüzeyden örnek alma (Surface)

Burgu ile veya sığ sondajlarda çıkarılan zemin gerekli miktarda alınmak üzere brandaya alınır. Eğer sondajdan örnek almak elverişli değilse sondaj arada bir durdurularak uygun çaplı el burgusu deliğe indirilerek örnek alınabilir (Şekil 2). Brandaya toplanan kümelerden benzer olanlar karıştırılır ve gerekirse çeyrekleme ile azaltılır.



Şekil 2. Çeşitli tipte örnek alıcılar

Örselenmemiş örnek alma (Undisturbed sampling)

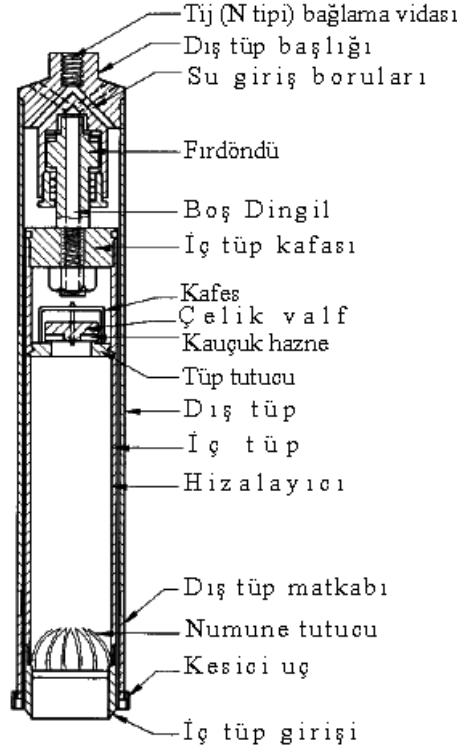
Araştırma çukurlarından (Trial pit)

Bu yöntemde geniş kuyu ve tünel gibi kazılardan elle keserek blok veya silindirik örnek almak esastır. Elle keserek örnek alımında örnek yeri düzlenir, zemin üzerinde örneğin üst boyutları işaretlenir ve işaretlenen yerin çevresinde bir çukur açılır. Açılan çukur derinleştirilerek örnek yüzeyleri kesicilerle istenilen boyuta getirilir. Örnek, alttan kesici yardımıyla zeminden ayrılır. Etiketlenen örnek bir bez ile sarılarak parafinlenir. Silindirik örnek almak için shelby tüpleri kullanılır. Düzlenen örnek yüzeyine tüp bir miktar itilir. Buradaki amaç örneği tamamen almadan önce tüpü sabitlemektir. Tüpün zemine itilmesi (penetrasyonu) zemin cinsine göre değişmekle beraber, genelde kazının yapıldığı makine yardımıyla olur. Tüpün alt ve üst ağzı düzeltilerek etiketlenir ve parafinlendikten sonra naylon torbada muhafaza edilir.

Sondajdan örnek alma (Borehole sampling)

- Çift tüplü örnek alıcılarla (Double-wall samplers)

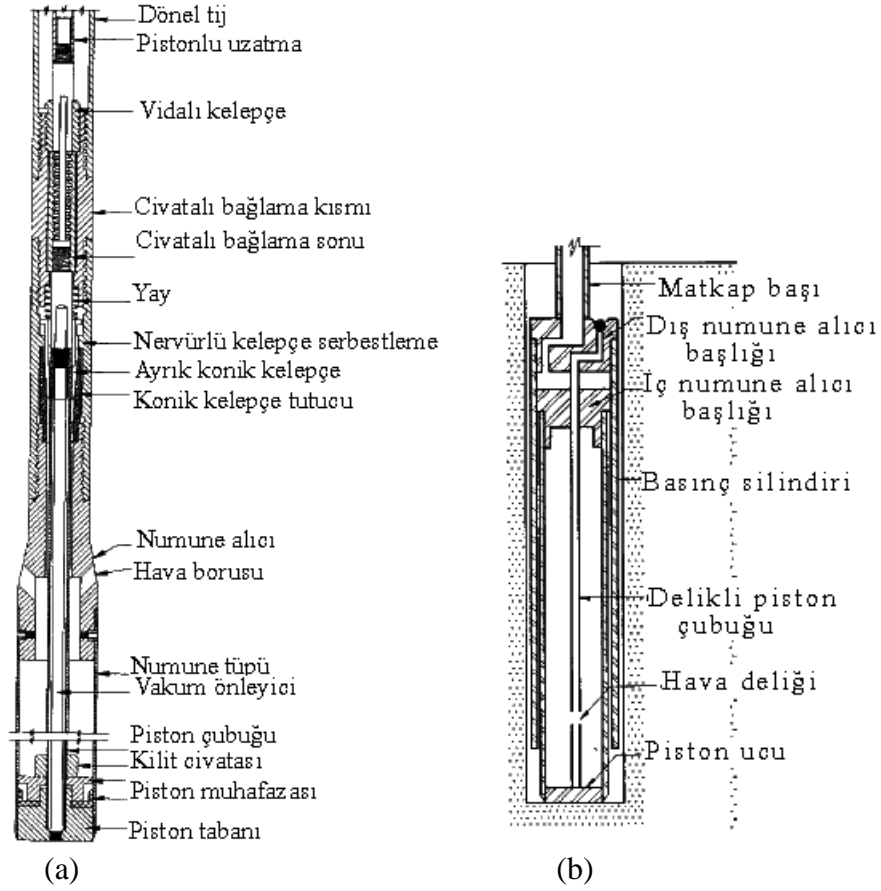
Sondaj deliği tabanından dönen bir dış tüpü ve sabit bir iç tüpü olan bir örnek alıcı ile örselenmemiş silindirik örnek alınmasını kapsar. Yaygın olarak Denison tipi örnek alıcılar kullanılır (Şekil 3). Kuyuda yıkılma varsa, muhafaza borusu kullanılmalıdır. Sert zeminlerden örnek alınırken iç tüp kesici ucu dış matkabı ile bir düzlemde, yumuşak zeminlerde ise matkabin ilerisinde bulunmalıdır. Yumuşak, gevşek ve düşük kohezyonlu zeminlerde iç tüp çıkıntı miktarı en çok olmalıdır. Böylece dolaşım suyunun örneği aşındırması ve dış tüpün dönüşü ile örselenmesi önlenmiş olur. Bu ilkelere göre iç tüp ucuna uygun uzunlukta bir kesici çarık takılır. Örnek alıcı, dönel sondaj takımının alt ucuna bağlanarak sondaj deliğinde örnek alınacak seviyeye indirilir. Örnek alıcı zemine çok az bir itme kuvveti uygulanarak itilmelidir. *Örnek alımı esnasında sondaj çamuru kullanılıyorsa; çamurun kıvamı taneli zeminlerde yoğun, kohezyonlu zeminlerde ise ince olmalıdır.* Dolaşım suyu basıncı da sadece parçacıkları yüzeye getirecek seviyede olmalıdır. Örnek alma işlemi durdurulduktan sonra iç tüp, örneği tabandan koparmak amacıyla döndürülür ve örselemeden yukarı çekilir. Örneğin üst ucuna bir etiket konulur ve gömleğin her iki ucu erime noktasının 10 C° üstünde tutulan parafin ile kaplanır.



Şekil 3. Denison tipi örnek alıcı

- Pistonlu örnek alıcılarla (Piston sampler)

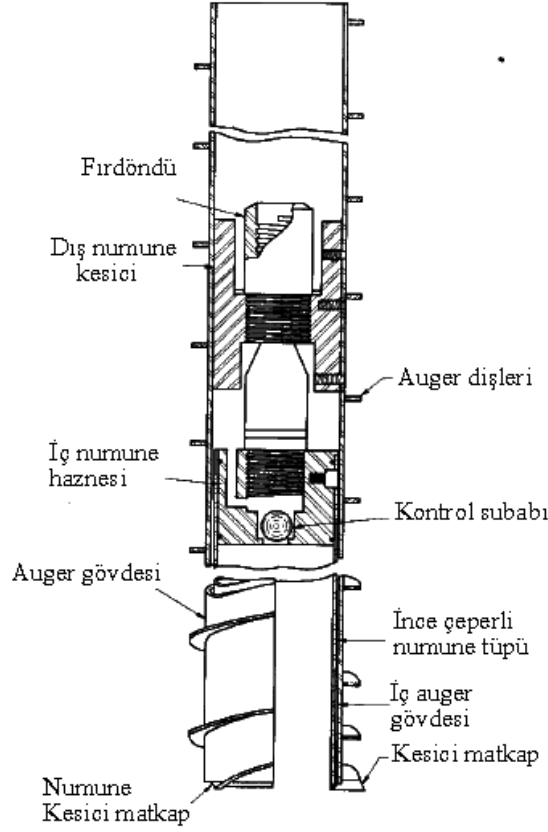
Başlıca Hvorslev ve Osterberg olmak üzere iki tür mevcuttur. (Şekil 4). Örnek alınacak seviyedeki zemini örselememek için son kısım genelde el burgusu ile açılır. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde sondaj çamuru kullanılır. Bu sayede, oluşan hidrostatik basınç ile örnek yüzeye alınırken tüpte durması kolaylaşır. Çamurun kıvamı zemin türüne göre iyi ayarlanmalıdır. Örnek alınacak derinlikte takım döndürülerek örnek alımı başlar. Daha sonra tabandan örnek kopartmak için takım döndürülür ve örnek alınır. Bu işlem esnasında kuyuda çamur seviyesi düşeceğinden, ekleme yapılmalıdır. Örnek alıcı, sondaj çamuru ile dolu kuyudan alınmadan önce örneğin düşmemesi için tüpün ağzı kapatılmalıdır. Bu işlemde tüpün ağzı sondaj çamuru yüzeyinden ortalama 30 cm derinde iken yapılması uygun olur.



Şekil 4. Hvorslev (a) ve Osterberg (b) tipi örnek alıcılar

- İnce ve kalın çeperli tüp ile örnek alma (Thin and thick wall samplers)

Örnek alıcı sondaj borularına bağlı olarak delik tabanına indirilir. Örnek tüpü, hidrolik basınç kullanılarak döndürülmeden zemine itilir. Tüpün zemine itilme miktarı kullanılan tüp boyundan bir kaç cm. az olmalıdır. Örnek alıcı, tabandaki örneği kopartmak için döndürülerek kuyudan çıkartılır. Örnek tüpü, alıcıdan ayrılır. Sonunda da, örneğin alt ve üstü düzeltilir, etiketlenir ve parafinlenerek hazır duruma getirilir (Şekil 5). Kalın çeperli örnek alımında örselenmemiş silindirik örnek alınır. Örnek alımı hidrolik basınç veya çakararak yapılır. Fakat, bu durum örneğin örselenmesine neden olur. Örnek, kuyudan tabandan itibaren döndürülerek alınır.



Şekil 5. İnce çeperli örnek alıcı ve auger

2.2.Kayadan örnek alma (Rock sampling)

Sediman (kırıntı) örnek alım yöntemi (Sediment sampling)

Dönel sondajın doğal örnek alım yöntemidir. Darbeli sondajdaki kırıntılar ve genellikle dönel sondajda matkap tarafından kırılan parçaların, dolaşım sıvısı veya hava ile kuyu dışına çıkarılması sonucu kuyu ağzında alınan örneklerdir. Genellikle “süzgeçli kürekler” gibi, basit gereçlerle alınır, varsa çamur veya suyu süzülerek özel örnek sandıklarına konulur. “Örnek sandıkları” genellikle 10x10x10 cm boyutlu gözlere ayrılmış; bir sırada 10 gözü ve 5 sıra bulunan, 50 gözlü 10x50x100 cm boyutlu kutulardır. Başka bir yöntem uygulanmıyorsa, kural olarak her bir metrelik ilerleme sonunda, yeterli miktarda örnek alınarak bölmelere yerleştirilir.

Karot örnek alım yöntemi (Core sampling)

Karot alıcı (Karotiyer) adı verilen özel ekipmanlar kullanılarak yapılan işe veya ara işlemine “karotlu sondaj”, karot örnek alma işlemine “karot alımı”, alınan örneğin adına da “karot” denir. Karotlu sondaj, esas itibariyle bir formasyonu tanıma, tanımlama ve örnek alım

işlemdir. Karotlu sondaj, kayalardan örnek almak amacı ile geliştirilip uygulanmasına karşın özel hallerde zeminlerde de uygulanmaktadır. Karot örneklerinin incelenip değerlendirilmesi ile kayacın litolojik özellikleri (renk, doku, tane yönlenmesi, yapı, çimentolanma, hamur, sertlik, yapısal özellikleri, tabaka kalınlığı, süreksizlik, ayrışma durumu, dayanımı ve jeomekanik özellikleri (karot yüzdesi ve kaya kütlesi) belirlenmeye çalışılır. Bir karotlu sondaj çalışmasında dikkat edilmesi gerekli en önemli konulardan biri karot yüzdesidir. Jeoteknik amaçlı bir sondajda karot yüzdesinin % 80'lerin altına düşmesi istenmez. Ayrıca kaya mekaniği laboratuvar deney standartları açısından da zorunlu haller dışında alınan karot çapının 54.7 mm (NX)'den daha küçük çapta olmaması arzu edilir.

2.3. Örneklerin etiketlenmesi (Labelling)

Her örnek için üç etiket doldurulur. Bunlardan biri; örneğin üst ucuna konmuş olmalıdır. İkincisi güvenilir bir yöntemle örnek kabına yapıştırılmalı, üçüncüsü ise etiketi dolduran tarafından saklanmalıdır. Kutu kapaklarına yazı yazmak veya etiket yapıştırmak sakıncalıdır. Etiket doldurulurken kalemin silinmeyen türde seçilmesi önemlidir. Özellikle poşet numunede içiçe iki poşet kullanılmalı ve etiket iki poşetin arasında bulunmalıdır. Direkt örnekle teması sakıncalıdır.

Proje adı	
Proje yeri	
Sondaj no	
Sondaj türü	
Örnek no	
Tarih	
Etiketi dolduran	

Not : Karotlu sondajlarda karot sandıklarına proje adı ve diğer bilgiler yazıldıktan sonra fotoğraf çekilmesi ve çok sayıda sondaj olan projelerde sandıkların kayıtlarının düzenli tutulması gerekmektedir.

10. ZEMİNLERDE ARAZİ İNCELEMELERİ (Site Investigation)

Bu kapsamda ilk olarak, inceleme alanının jeolojik yapısının ortaya çıkarılmalıdır. Bölgenin jeolojisi hakkında bilgi edinmek amacı ile 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları varsa temin edilir, yoksa düzenlenir. İkinci olarak, yapı alanlarını da kapsayan 1/1000-2000-5000 ölçekli ve 1/10000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritaları yapılır. Bu haritalarda iki boyutlu olarak jeoloji, sondaj ve örnek çukurları, kesit hatları, varsa jeofizik çalışmalar gibi bir çok unsur gösterilebilir. Bunların yanında yapı temelinin etkidiği derinliğe kadar ($1.5 \times B$, B : temel genişliği) birimlerin düşey yönde dağılımını tespit etmek için temel sondajları yapılmalıdır. Sondaj kuyuları arasında korelasyon yapılması için, sondajlardan geçen mühendislik jeolojisi kesitleri alınır. Ayrıca, belli derinliklere kadar yardımcı olması amacı ile örnek çukurları açılır. Zeminin yatay ve düşey dağılımı hakkında bilgi elde etmek amacıyla sondaja göre daha kolay ve ucuz olan jeofizik yöntemlerden de (rezistivite, sismik, gravite,vb.) faydalanılabilir. Arazide uygulanan deneyler ve elde edilen parametreler aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

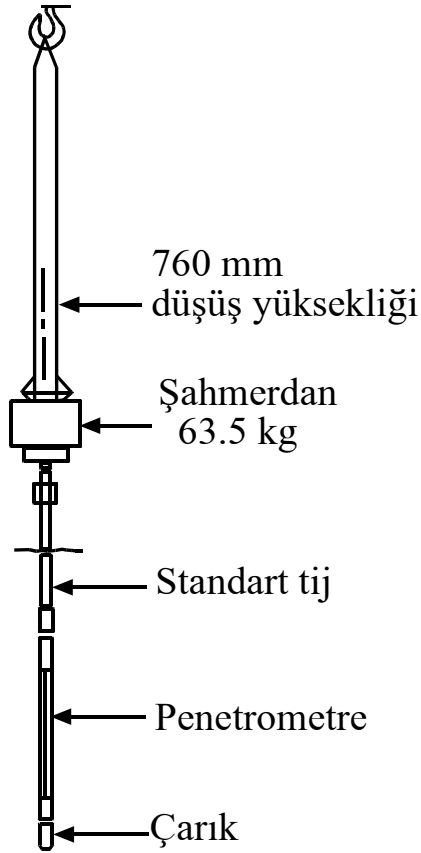
Zemin /Kaya özellikleri	Arazi deneyleri
Profil, tanımlama	Standart penetrasyon Statik penetrasyon Yassı dilatometre
Gerilme	Plaka yükleme Piyezokon Kanatlı kesici Statik koni
Deformasyon karakteristikleri	Pressiometre Dilatometre Plaka yükleme Yassı veren Statik sonda
Akım, konsolidasyon	Pompa deneyleri Piezometre Permeametre
Dayanım parametreleri	Standart penetrasyon Statik koni Kanatlı kesici Direkt makaslama Pressiometre

10.1. Standart Penetrasyon Deneyi , SPT (Standard Penetration Test, ASTM D1586)

Insitu bir dinamik bir penetrasyon deneyidir. İnce taneli zeminlerde dayanım parametrelerine (kohezyon, içsel sürtünme açısı), iri tanelilerde ise zeminin izafi sıklığına bağlıdır. 1920'lerden itibaren uygulanan bu arazi deneyi günümüzde çok geniş bir veri tabanına sahip olup, çok yaygın kullanılmaktadır.

Penetrometre ve deneyin yapılışı

Deney için kullanılan alete "penetrometre" denir. İki ucu açık, boylamasına iki yarım parçaya ayrılabilen silindirik çelik bir tüptür. Bu parçalar alt ucundan bir çarıkla, üst ucundan da birbirine ve tije bir halka ile vidalanarak bağlanır (Şekil 7). Tüpün iç çapı 35.5 mm, dış çapı 50.8 mm, toplam ağırlığı 6.81 kg, uzunluğu ise 81.3 cm dir. Tüp ile zemin içinde, 760 mm lik standart yükseklikten 65.0 kg lık şahmerdan (tokmak) serbest düşme ile bırakılarak ilerleme sağlanır. Tüpün zemine her 15.0 cm girmesi için gereken vuruş sayısı kaydedilir. Toplam 45.0 cm ilerleme yapılır. İlk 15.0 cm deki okuma oturma kademesi olarak alınır ve son iki kademedeki (30.0cm) toplam darbe sayısı zeminin penetrometre direnci (N_f) olarak alınır.



Şekil 7. Standart penetrasyon deney düzeneği

SPT(N₃₀) değerlerinin düzeltilmesi

a. Derinlik düzeltilmesi

Sığ derinlikte yapılan SPT 'de vuruş sayısı deneyin yapıldığı derinlikteki efektif örtü yükünün etkisi ile daha az bulunmaktadır. Derinlerde yapılan deneylerde ise tijlerin uzunluklarının artması nedeni ile uygulanan enerji değişmekte ve gerçek değerlerden daha büyük çıkmaktadır. Bu nedenle ham SPTN_f düzeltilmelidir (N_{cor}). Skempton (1986), derinlik düzeltilmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$C_N = \left(\frac{2}{1 + \sigma_v'} \right)$$

(σ_v' : Düşey efektif gerilme kPa, kg/cm²)

N_{cor} = N_f × C_N eşitliği kullanılarak ham spt verisi düzeltilir.

b. İnce taneli zeminlerde yeraltı su seviyesine göre düzeltme

Yeraltı su seviyesinin altındaki zemin çok ince kum veya siltli kum ise, N_{cor} değeri üzerine permeabilitenin de etkisinin olabileceği düşünülmelidir. YASS altında çok ince taneli bir zemine ait SPT N_f değeri 15 den büyük ise zeminin izafi sıklığı vuruş sayısı (N'') olan bir zeminin izafi sıklığına eşit kabul edilmelidir.

$$N'' = 15 + \frac{1}{2}(N_{cor} - 15) \quad (\text{Terzaghi, 1948})$$

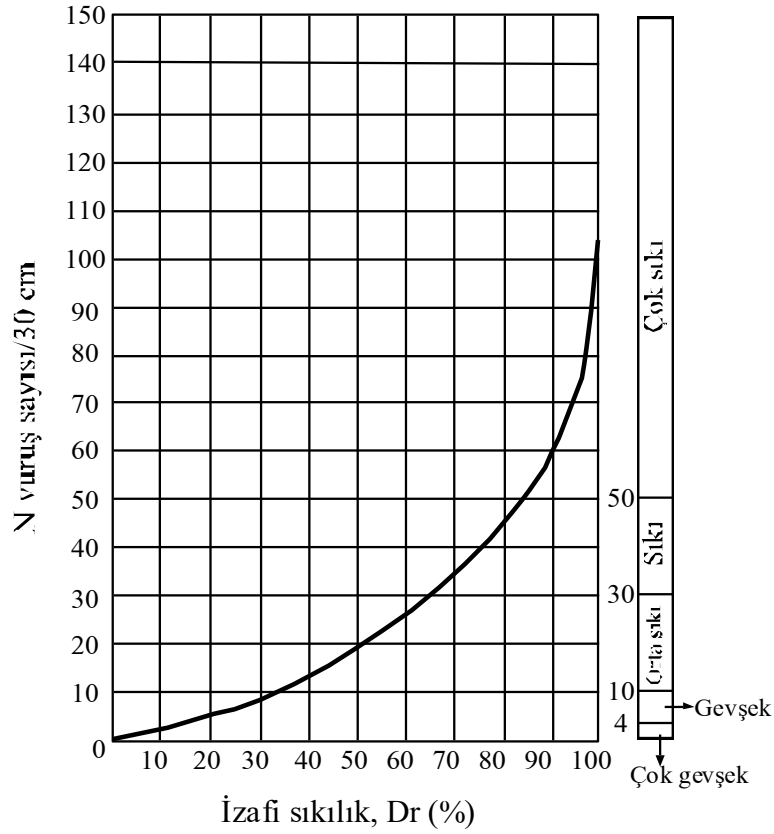
N_{cor} : Derinliğe göre düzeltilmiş vuruş sayısı

N'' : Yeraltı su seviyesine göre düzeltilmiş vuruş sayısı

Eğer yükleme deneylerinden, daha yüksek bir zemin emniyet gerilmesi bulunmamış ise bu eşitlik ile bulunan N'' değerleri zemin emniyet gerilmesi tayininde güvenle kullanılabilir. SPTN_f verisi kullanılarak, kumlu zeminlerin sıklığı tespit edilebilir (Şekil 8). *Bunların yanında jeoteknik çalışmalarda ham SPTN verisi; kuyu çapı, tij uzunluğu, örtü yükü ve tijlere iletilen enerji oranına göre de düzeltmelere tabi tutulur.*

$$N_{1,60} = N_1 \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E$$

Burada	C _R	: kısa tij düzeltilmesi
	C _S	: standart olmayan numune alıcı düzeltilmesi
	C _B	: sondaj çap düzeltilmesi
	C _E	: tokmak enerji verim düzeltilmesi.



Şekil 8.SPT N-izafi sıklık ilişkisi

c. Çakıllı zeminler

Penetrometre, iri taneli zeminlerde boşlukların arasından kayarak düşük değerler verebilir. Aksine, eğer penetrometre iri bir çakıl parçasına denk gelir, veya çakıl parçaları penetrometre içine girip sıkışırsa aşırı büyük değerler elde edilir. Bu nedenle, çakıllı zeminlerde değerlendirme yaparken dikkatli olmak gerekir.

10.2. Konik Penetrasyon Deneyi, CPT (Cone penetration test, ASTM D3441)

Hollanda koni (Dutch cone) veya derin penetrasyon deneyi olarak da adlandırılan bu deneyde bir çelik boru ile bunun içinden geçen ve ucunda bir koni bulunan bir çubuk, sıra ile zemine itilerek uç ve sürtünme dirençleri ayrı ayrı saptanır. Koni 3.6 cm çaplı ve 10 cm² alanlı olup, uç açısı 60°'dir. Boru dış çapı koni tabanı çapı kadardır. Penetrasyon genellikle hidrolik kriko ile yapılır. Deney için sondaj kuyusu açmaya gerek yoktur. Deneyde önce boru ve koni birlikte zemine itilir. Sonra uç tek başına itilerek penetrasyon için gerekli basınç ve ilerleme esnasında sürtünme direnci ölçülür. Gevşek ve üniform zeminlerde başarıyla kullanılabilen bu deney, sıkı, köşeli, taneli ve çakıllı zeminlerde iyi sonuç vermemektedir. Deney derinliği boyunca zeminin kesintisiz profilini çıkarmak mümkün olsa da, deneyin en olumsuz yönü