ÇORUM BELEDİYESİ
Yapı Kontrol Müdürlüğü

EĞİTİM SEMİNERLERİ

Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı

Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

KTÜ Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik Anabilim Dalı

osivrikaya@ktu.edu.tr

13 Temmuz 2023, Çorum

Sunumun İçeriği

- GİRİŞ
- ZEMİN ETÜT ÇALIŞMALARI
  - Zemin İnceleme Aşamaları
  - Arazi Çalışmaları ve Arazi Deneyleri
    - Arazi İnceleme Metotları
    - Arazi Deneyleri
      - Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)
      - Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)
      - Presiyometre Deneyi (PMT)
      - Arazi Vane Deneyi (FVT)
      - Plaka Yükleme Deneyi (PLT)

      ✓ Nasıl yapılır
      ✓ Elde edilen (ölçülen) parametreler
      ✓ Etkileyen faktörler (Düzeltmeler)
      ✓ Hangi amaçlar için yapılır
      ✓ Korelasyonlar (Ampirik yada Yarı-ampirik ilişkiler)
  - Laboratuvar Çalışmaları
  - Geoteknik Analizler
  - Zemin Etüt Raporların Hazırlanması
- ZEMİN İNCELEME VE ETÜD RAPORLARINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER
- ZEMİN VE TEMEL ETÜT RAPORU

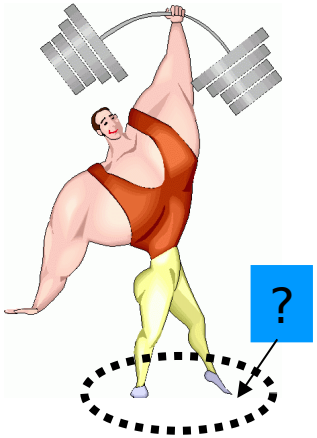
I- GİRİŞ

En uygun Zemin/Temel/Üstyapı

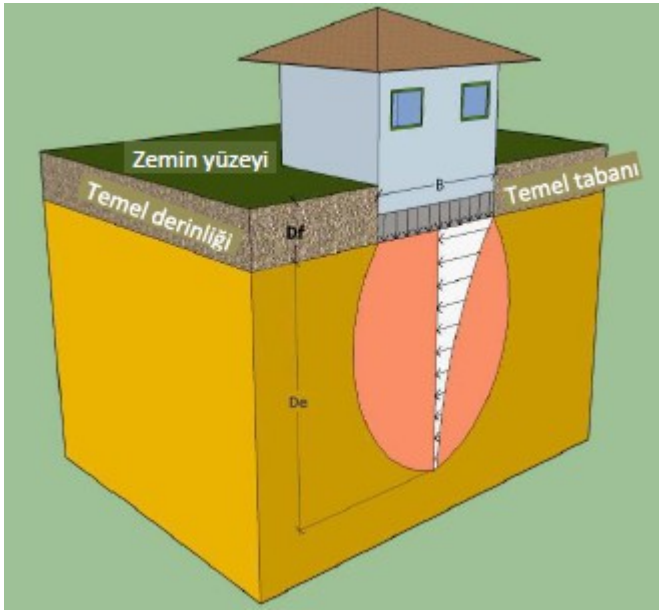
Zemin açısından,
(1) *taşıma gücü,*
(2) *oturma,*
(3) *şişme potansiyeli,*
(4) *sıvılaşma potansyeli*
(5) *şev stabilitesi*
(6) *titreşim özellikleri*
koşullarını sağlamalı.

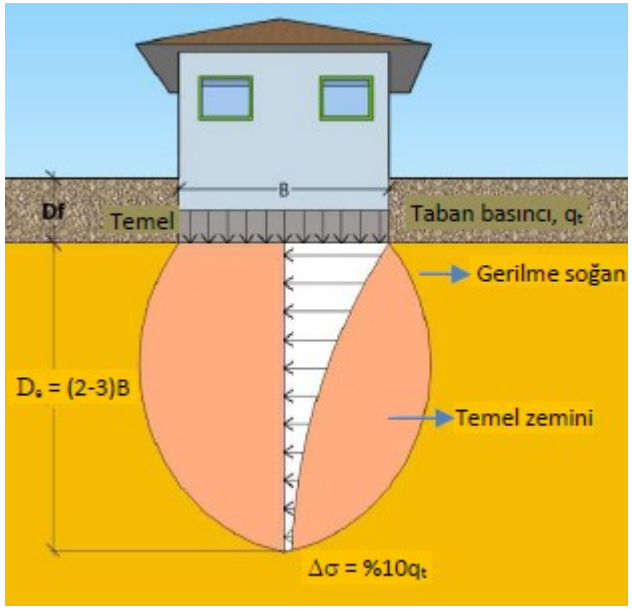
...an,
(1) yeterli *dayanım,*
(2) *yeterli rijitlik,*
(3) *yeterli stabilite,*
(4) *yeterli sönüm,*
(5) *yeterli süneklik,*
(6) *yeterli izolasyon*
koşullarını sağlamalı.

(+) ***ekonomik olmalı***



- Yapılar, zeminle doğrudan etkileşim halinde olup, yapı yüklerinden etkilenen zemin ortamının özelliklerinin yapıyla birlikte davranışı titizlikle incelenmeli ve tanımlanmalıdır.

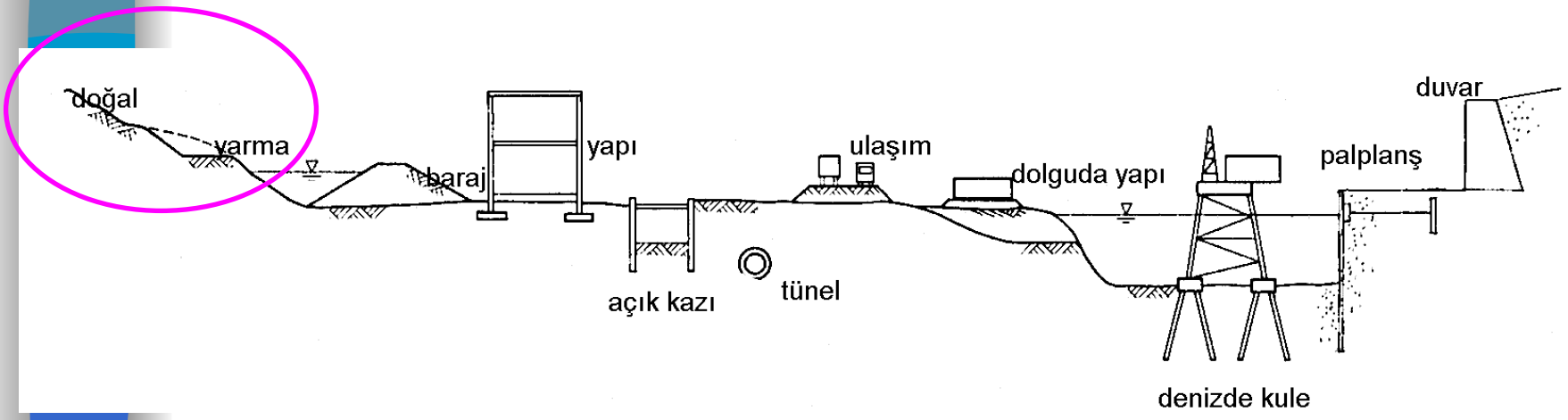




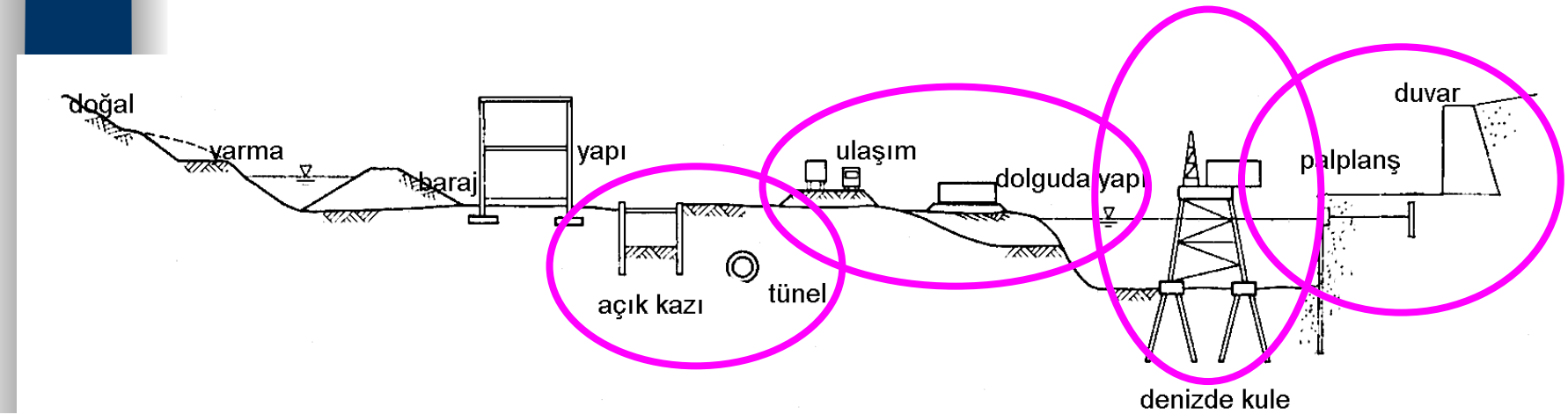
- **Bu konuyla ilgili araştırma, analiz ve tasarım çalışmaları *Geoteknik Mühendisliği* kapsamına girmektedir.**

Geoteknik Mühendisin Çalışma Alanları ve Karşılaştığı Problemler

- Şevlerde yada kazılarda stabilite
- Barajların stabilitesi ve sızma problemleri
- Taşıma gücü ve oturma problemleri



- Yarmaların ve tünel kazılarının stabilitesi
- Toprak dolguların (sedde) stabilitesi
- Deniz ve offshore yapıların stabilitesi
- Dayanma yapıların ve palplanşların stabilitesi



Üstyapı-Temel-Zemin Etkileşiminin Tanımlanması

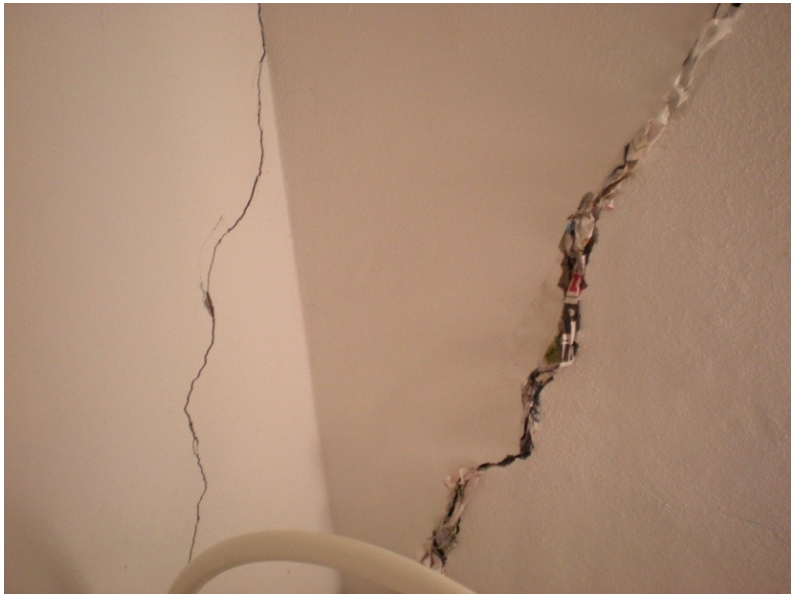
- Arazi ve laboratuvar çalışmaları,
- Taşıma gücü, oturma, stabilite ve toptan göçme analizi,
- Temel sistemlerinin seçimi, tasarım parametrelerinin belirlenmesi,
- Dinamik yükler altında zemin davranışının ve zemin yapı etkileşiminin incelenmesi,
- Gerekirse zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenip, uygulama projelerinin hazırlanması,
- Uygulamaların performansının aletsel gözlem ve arazi deneyleriyle izlenmesi ve yorumlanması,
- İlgili her türlü rapor ve projelerin hazırlanmasını kapsar.

- **Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı (2019, 2021)**
- **Kazı Çukurlarının (İksa) Desteklenmesi ile İlgili Uyulacak Esaslar (2018, 2023)**
- **Zemin Islah yönetmeliğimiz yok!**
- **Yetki kargaşası var!**
- **Eksik ve/veya Hatalı Raporlar**
- **Denetim Yetersizliği**

SONUÇ: Maddi kayıplar, can kayıpları ve mahkeme dosyaları

- Taşıma Gücü Yetersizliği Problemi
- Oturma Problemi
- Sıvılaşma: Taşıma gücü yetersizliği ve aşırı oturma
- Şişme Problemi
- Şev Stabilitesi Problemi
- Diğer Problemler

BU MINARE
PEMBE ISIK TARAFINDAN
YAPTIRILMISTIR

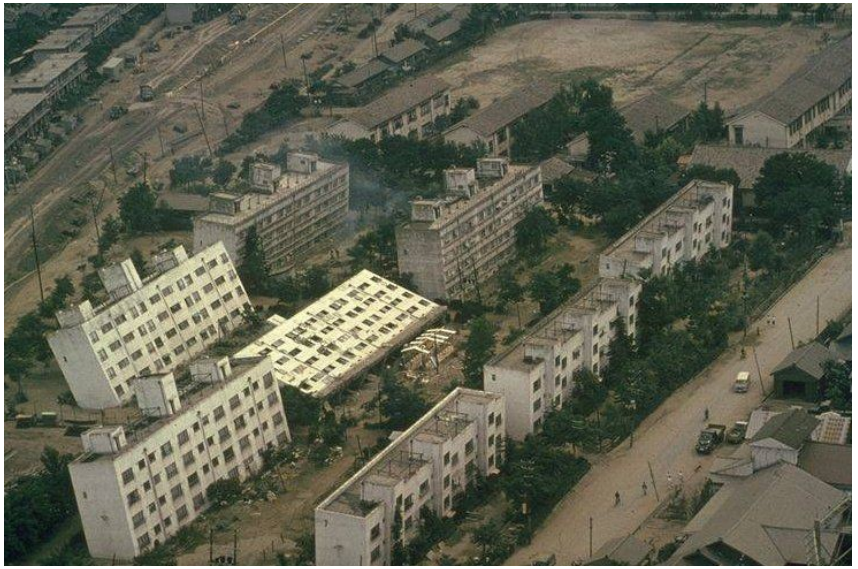


Otel İnşaatı Güneşli İstanbul

10.11.2008 12:07

11.08.2008

10.11.2008 13:00



03/27/2010

SENAY

Ankara 100. Yıl Mahallesi

Kapı ve pencerelerde burulma

Yolda kabarma

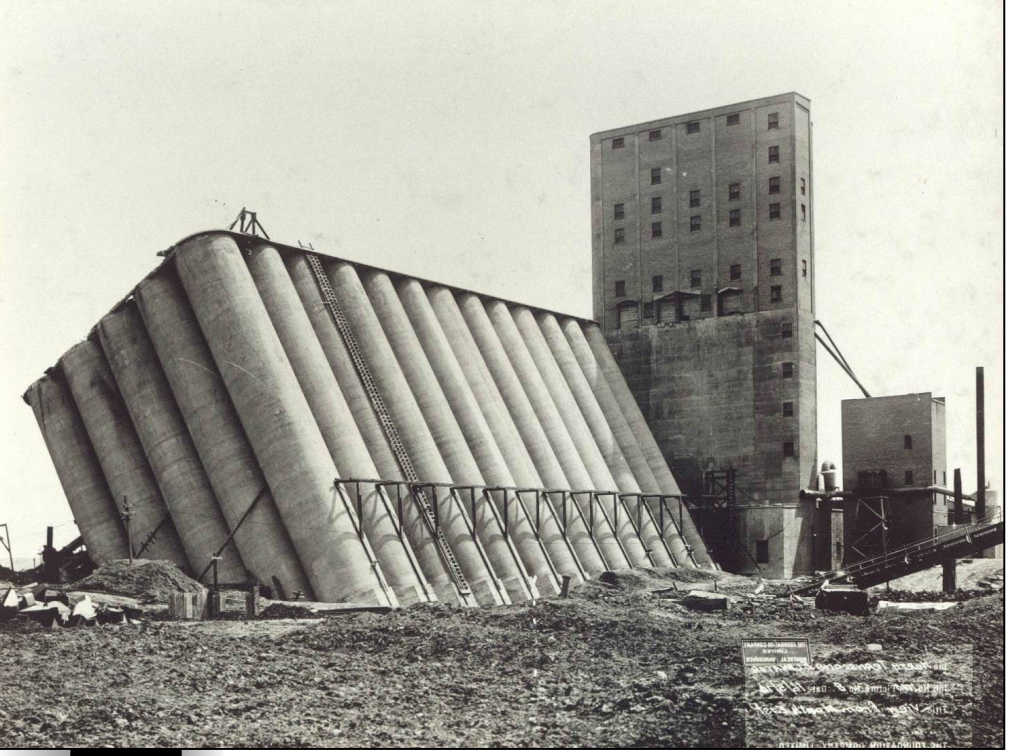
Geoteknik Mühendisliği tasarımlarında, yüksek hata oranlarıyla kendini gösteren bu tür sorunlarla karşılaşmamak için, **zemin etütlerinin doğru planlanması ve yapılması konusuna önem verilmesi** gerekmektedir.

Geoteknik Proje Aşamaları

- Arazinin araştırılması
- Arazinin yerinde gezilmesi
- Arazinin incelenmesi
- Laboratuvar araştırmalar
- Geoteknik yorumlar ve Analizler
- Araştırma-incelemenin raporlanması

Temel Tasarımda Dikkate Alınması Gerekenler

- ✓ **Dayanım güvenliği** (Gs): Taşıma gücü, kaymaya, toptan dönme vs.
- ✓ **Servis güvenliği**: Toplam ve farklı oturmaların minimum seviyelerde
- ✓ **Mevsimsel değişiklikler**: Kuruma, donma, kabarma
- ✓ **Yapı inşası problemleri**: Kazının stabilitesi, kazı dibi kabarması, yeraltı su problemleri, titreşimler, gürültü vs.
- ✓ **Çevresel Etkiler**: YSS'nin kalıcı düşmesi, bitişik yapılar ve kazılar, sülfatlı suların etkisi (betonun bozulması ve korozyon) vs.
- ✓ **Ekonomik**



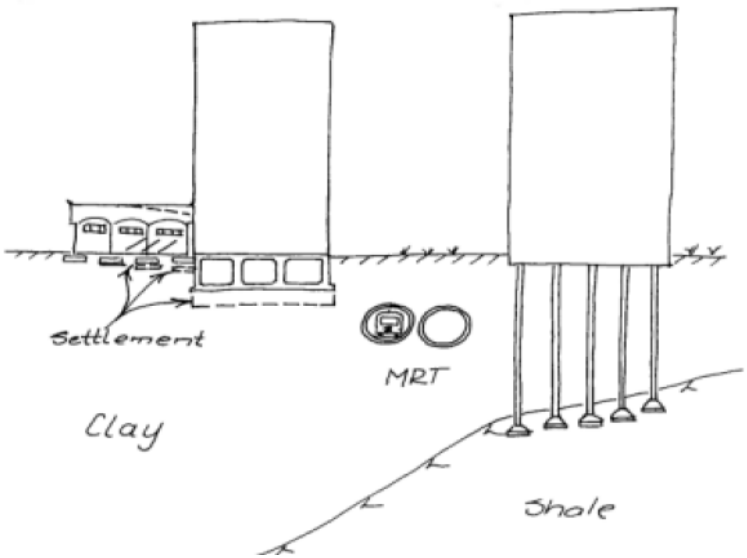
Dayanım Şartları

Temel zemin, dış yüklere karşı yeteri derecede dayanıklı olmalıdır.

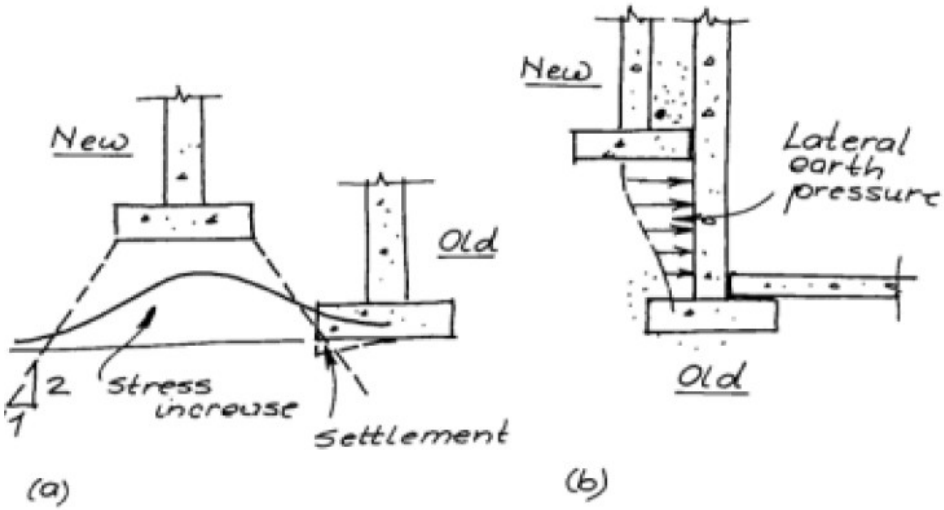
Oturma Şartları

Oturma, izin verilebilir sınırlar içerisinde olmalıdır.

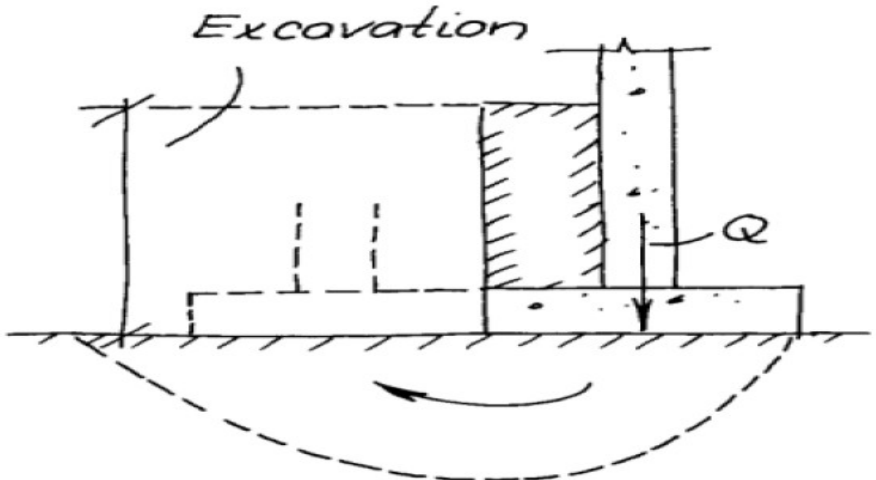
Komşu Yeraltı Yapılarının Etkisi



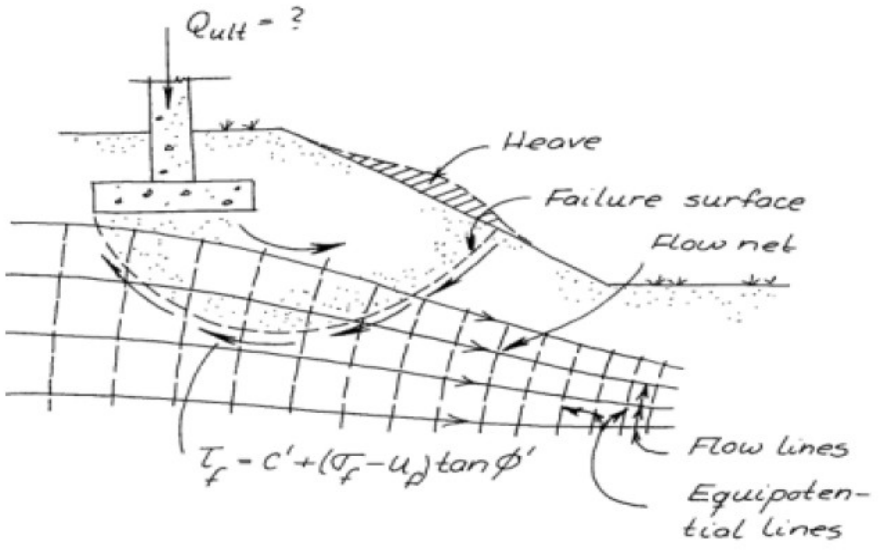
Komşu Yapılarının Etkisi



Kazı Şartlarında Değişimin Etkisi

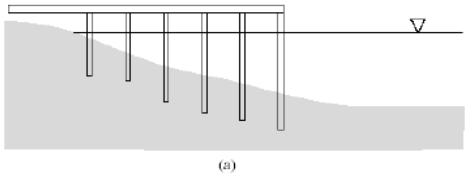


Şevin Olmasının Etkisi

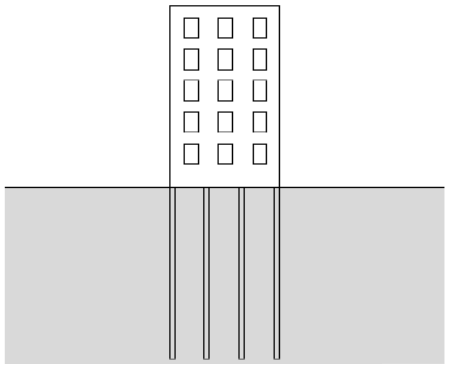


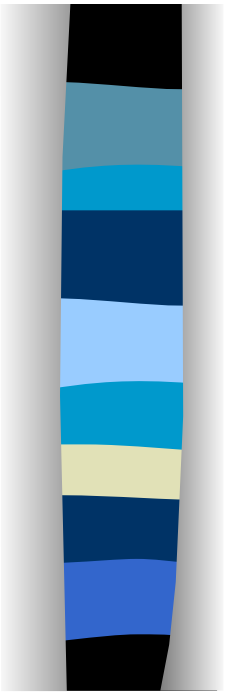
Temelin Bozulması için Çevresel Etkisi

Marine Environments

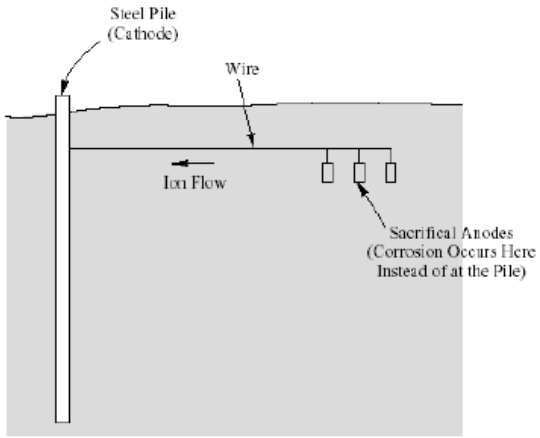


Land Environments



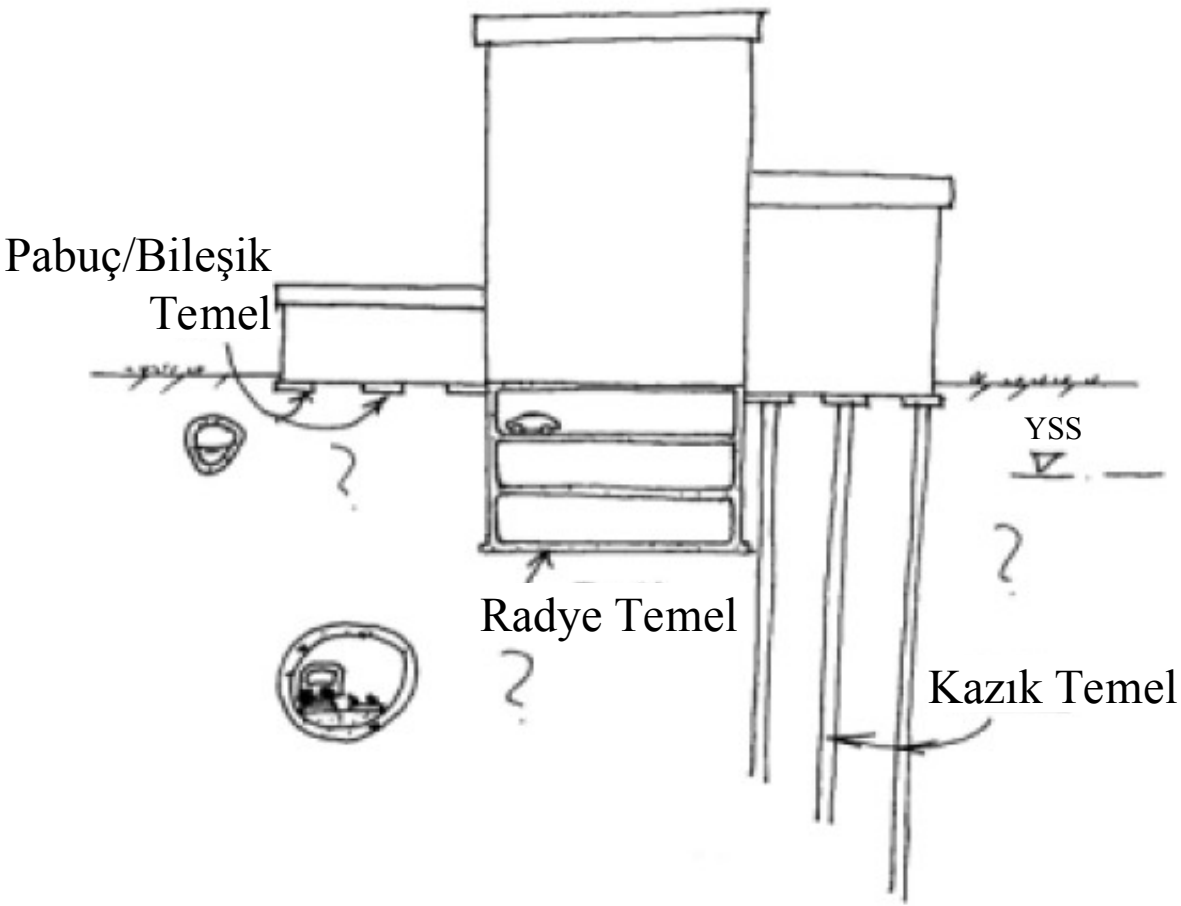


Korozyon Etkisi



- Different construction material (concrete, fibreglass, etc.)
- Increase section thickness
- Protective coatings
- Cathodic protection system

Temel Tipinin Seçimi



II- ZEMİN ETÜT ÇALIŞMALARI

Arazi İncelemeleri Neden Yapılır ?

- **Zemin yüzey şartlarının tanımlanması**
- **Zemin ve kaya tabakalarının yerinin ve kalınlığının belirlenmesi (yeraltı zeminin profili- derinlikle değişimi)**
- **YASS yerinin belirlenmesi**
- **Laboratuvar deneyleri için numunelerin elde edilmesi**
- **Laboratuvar ve/veya arazi deneylerinin yapılması**
- **Özel problemleri ve önlemleri tanımlamak**

A- Zemin İnceleme Aşamaları

I. Ön bilgilerin toplanması (Masa çalışması)

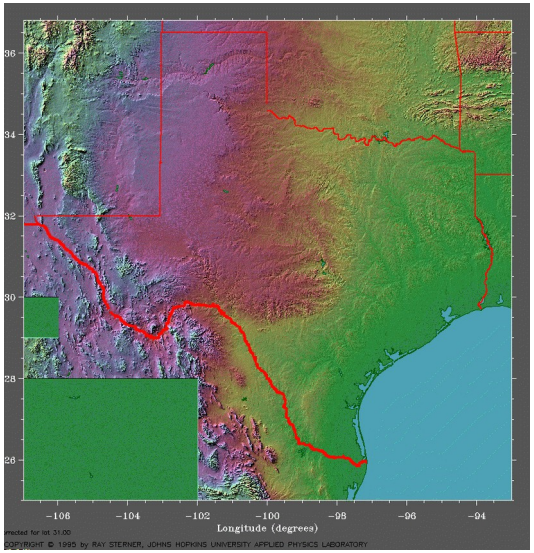
- İnşa edilecek yapının tipi ve onun kullanım hakkında genel bilgi edinmek
- Zemin tipi ve topoğrafya hakkında genel bilgi
- Jeolojik ve topoğrafik haritalar, hava fotoğrafları vs.

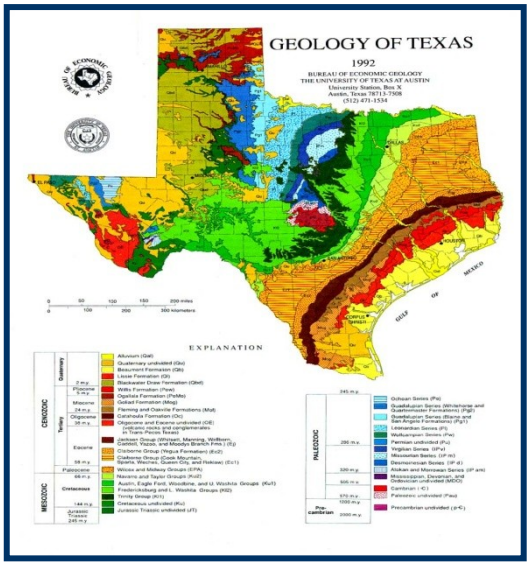
II. Arazinin yerinde gezilmesi

- Arazinin jeolojik ve topoğrafyasının genel durumunun görülmesi

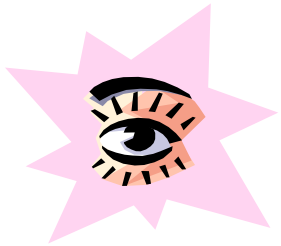
Arazi ile ilgili Bilgilerin Derlenmesi (Mevcut-basılı bilgilerin derlenmesi)

- **Yapı-inşa planı: İnşa edilecek yapının özellikleri (önemi, mimarisi, yükleri, boyutları, farklı ve toplam oturmalara toleransı)**
- **Belediye ve diğer kuruluşlardan altyapılarla ilgili bilgiler alınması**
- **Daha önce çevrede zemin kaynaklı problemler olup olmadığı, Komşu yapıların durumu varsa zemin etüt raporları,**
- **Arazi yerleşim haritaları**
- **Topoğrafik haritalar**
- **Hava fotoğrafları**
- **Jeolojik haritalar**
  - **Yüzey jeolojisi**
  - **Jeolojik birimler**





Arazinin Görsel Olarak İncelenmesi



- **Arazi gezilir arazi ve yapı ile ilgili mevcut bilgiler toplanıp değerlendirilir.**

- **Yüzey şartların gözlenmesi**
  - **Ulaşılabilirliği, Trafik kontrolü**
  - **İncelenen arazinin konumu ve son durumu,**
  - **Topografyası, Şevler**
  - **Yüzey drenajı**
  - **Jeolojik özellikler**
  - **Zemin profili (mevcut yarmalardan)**
  - **Su durumu (mevcut kuyulardan)**
  - **Bitki örtüsü-Vegetation**

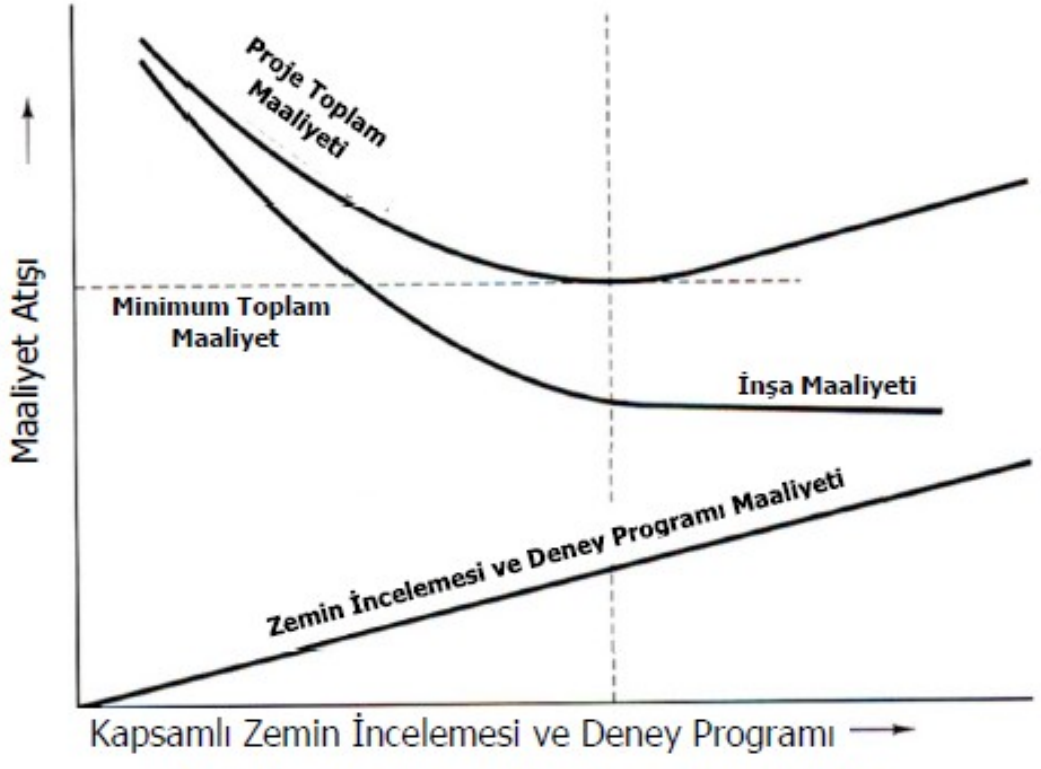
III. Arazi zeminin araştırılması

- Muayene çukuru ve/veya sondaj kuyusunun planlanması ve numunenin elde edilmesi
- Sondajlar arası mesafe ve sondaj derinliğine karar verilmesi
- Numunelerin alınması, Laboratuvar deneyleri
- Arazi deneyleri

IV. Zemin ve Temel Etüt (Veri ve Geoteknik) raporun yazılması

- Arazideki zeminlerin açık şekilde tanımlanması
- İnceleme metotları
- Zemin profili
- YASS
- Deney yöntemleri ve sonuçları
- Geoteknik analizler ve ihtiyaç duyulması halinde zemin iyileştirilmesi yönteminin gerekçesi ile önerilmesi

Maliyetin Ayarlanması ve Risk: Herhangi bir belirli arazi için zemin incelemesinin muhtevası, zeminin incelenmesi maliyeti ve yürütülen proje ile yakından alakalı zor bir problemdir.



NOT: Zemin inceleme maliyeti, yapının maliyetinin % 0.1 – 1 arasındadır.

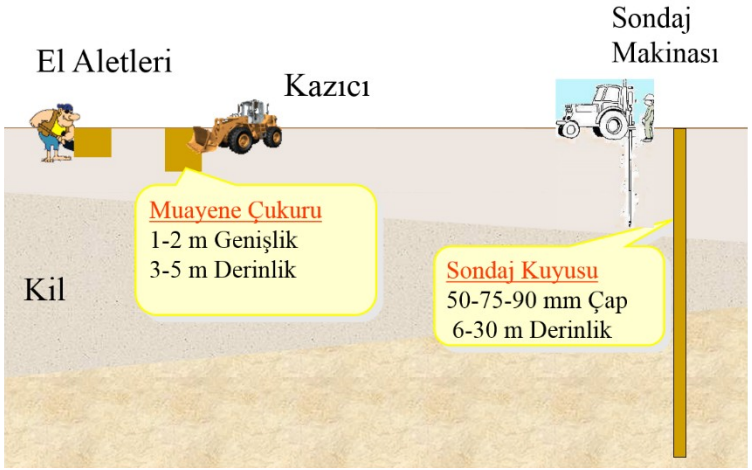
B- Arazi Çalışmaları ve Arazi Deneyleri

Arazi incelemesi ile elde edilen veriler

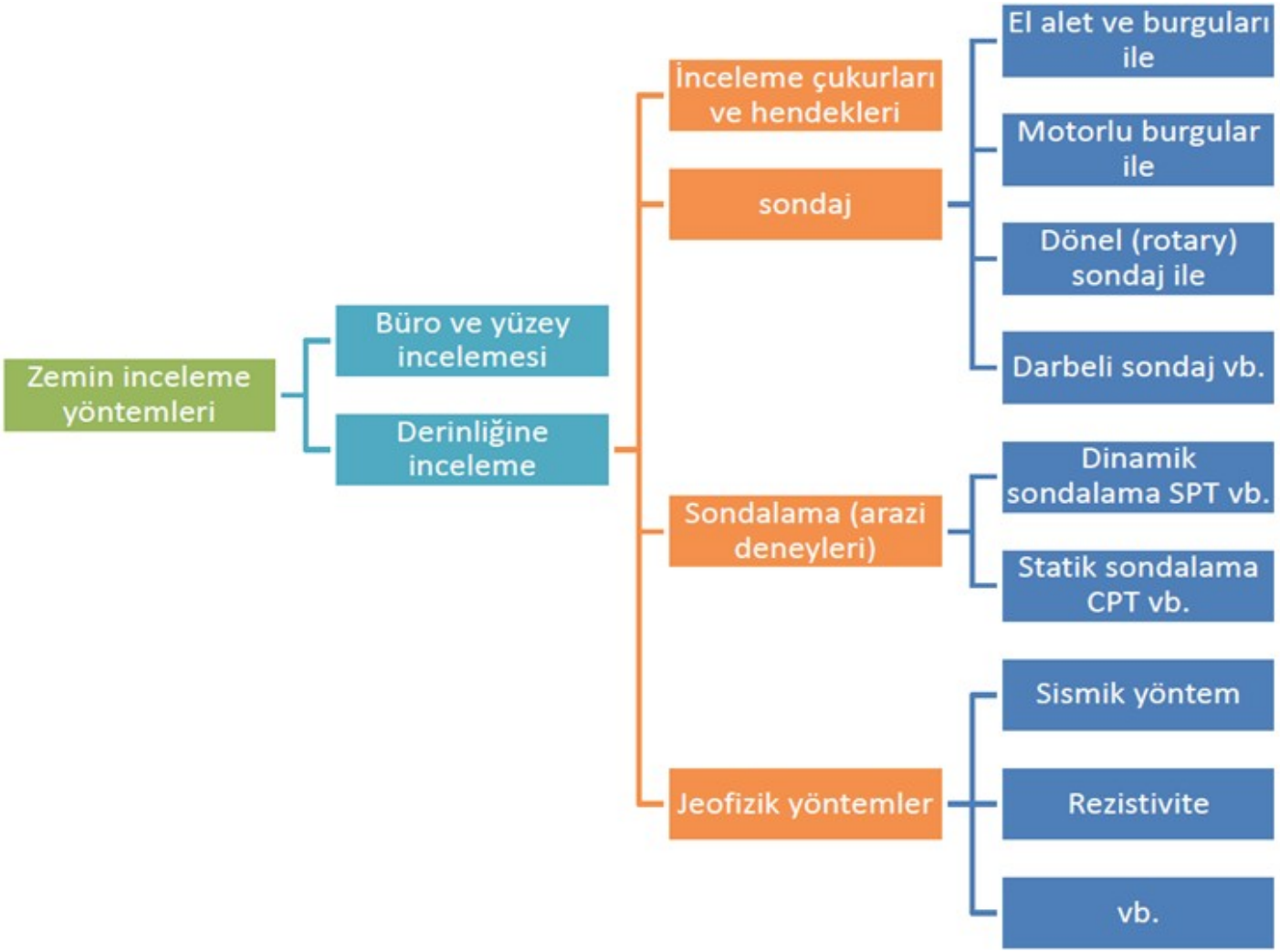
- Zemindeki yatay yöndeki değişimler
- Zemin profili
- Y.A.S.S.
- Örselenmiş ve Örselenmemiş numune
- İndeks deneyler ve Sınıflandırma
- Oturma ve Mukavemet parametreleri

B1. Arazi İnceleme Metotları

- Muayene Çukuru
- Sondaj Kuyusu
- Arazi deneyleri (Sondalama)
- İhtiyaç duyulması halinde jeofiziksel çalışmalar

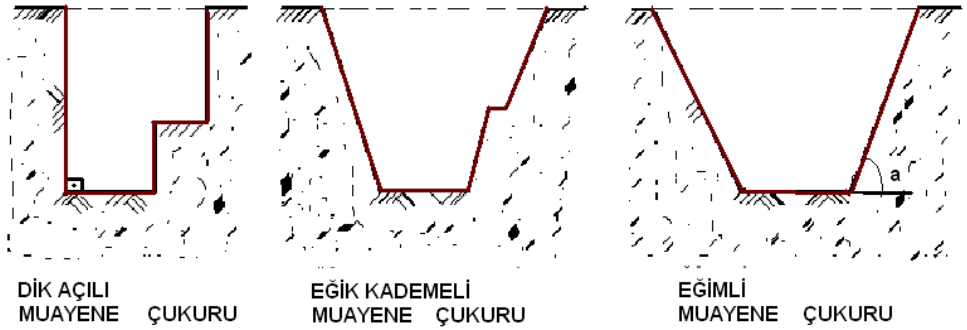


Arazi İnceleme Metotları



I- Muayene Çukuru

- **Ucuz bir yöntem**
- **Hafif yapılarda veya sondajları doğrulama**
- **Sığ derinlikler, 4-5 m ye kadar incelenebilir**
- **Tabakaların gözle görülmesi**
- **Torba, Blok ve Tüp numuneler elde edilebilir**



DİK AÇILI MUAYENE ÇUKURU

EĞİK KADEMELİ MUAYENE ÇUKURU

EĞİMLİ MUAYENE ÇUKURU

(FİRMA LOGOSU) **MUAYENE ÇUKURU LOGU**

Proje Adı:	Kuyu No:
Yer:	Başl. Kotu:
Proje No:	Bitiş Kotu:
Tarih:	YASS:

KOT	DERİNLİK	LEJAND	ZEMİN TANIMI
+35,50	0,00		Koyu kahverengi, BİTKİSEL TOPRAK
+35,25	0,25		Koyukahverengi, katı - çok katı, az kumlu KİL @0,50m cu= 85/90/100kPa
+34,75	0,75		Koyu kahverengi-yer yer bej renkli, killi ÇAKIL / çakıllı KİL
+33,60	1,90		KUYU SONU

0,0 — 0,50 — 1,0 — 1,50 — 2,0

KUYU İÇİNDE YAPILAN DENEYLER VE ALINAN NUMUNELER:

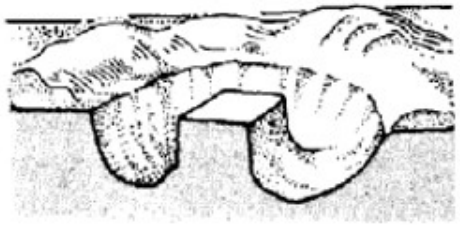
Tüp ile Numune Alma

- **Çukur tabanından numune almak için çelik borular kullanılır.**
- **Boruların;**
  - **iç çapı 10.16 cm (4 inç),**
  - **et kalınlığı 0.32 mm (1/8 inç),**
  - **boyu 80 cm'dir.**
- **Çakmadan önce borunun içi gresl**

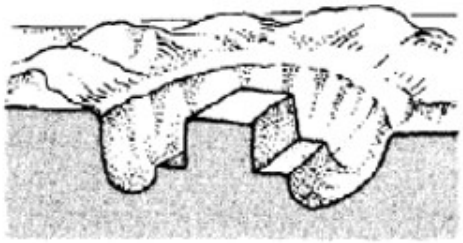
Torba Numune Alımı

- **Deneyler için torba numune alımında tüp çakılan çukur tabanından kazılarak ve tüpü çıkarırken çevresinden alınan yaklaşık 20-25 kg toprak torba içine doldurulur.**
- **Torbanın ağzı bağlanır ve etiketlenir. Etiket üzerine tüp alınırken düşülen bilgiler aynen geçirilir.**
- **Veya bu iş için kavanozlar da kullanılabilir.**

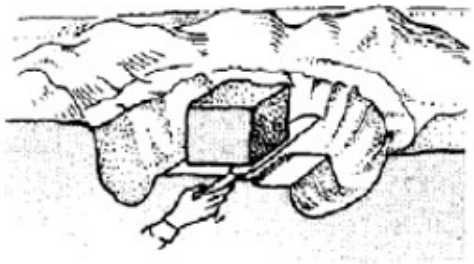
Blok Numune Alma



(a) Level ground surface, mark outline of sample and carefully excavate trench



(b) Deepen excavation below base of sample, and trim to size with a knife

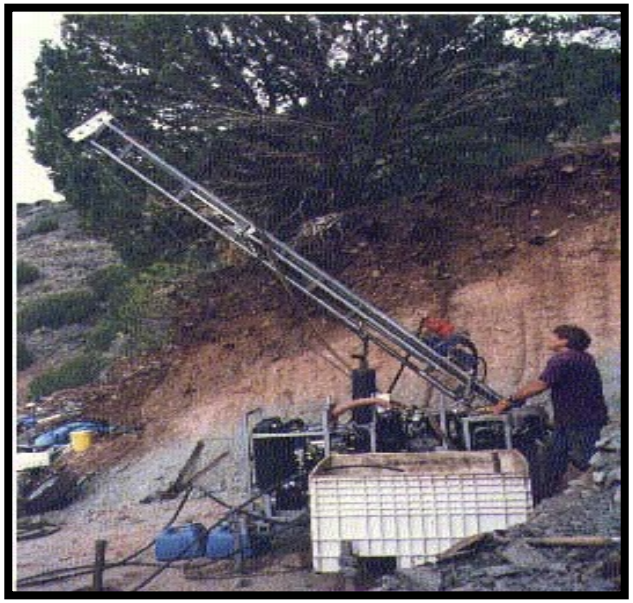


(e) Cut sample from bottom of pit, and seal base as in (c). Place wooden lid, if box is used

- Blok numune alınacak yerin etrafı kazılır.
- Blok numune düzgün bir geometrik hale getirilir.
- Aldığımız blok numuneyi deney yapacağımız zamana kadar korumak için tülbent bezi ve parafin-balmumu karışımı kullanılır.

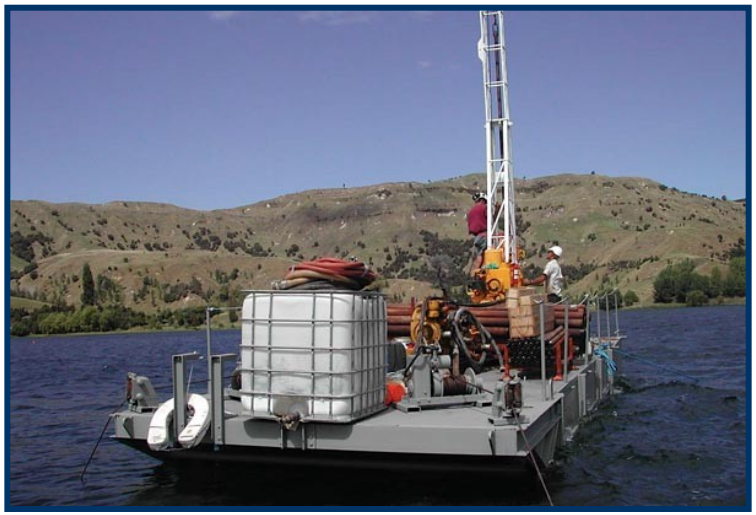
II- Sondaj Kuyusu

Sondaj Makineleri ve Türleri



Açılı Sondaj

Kapalı alanlarda Sondaj

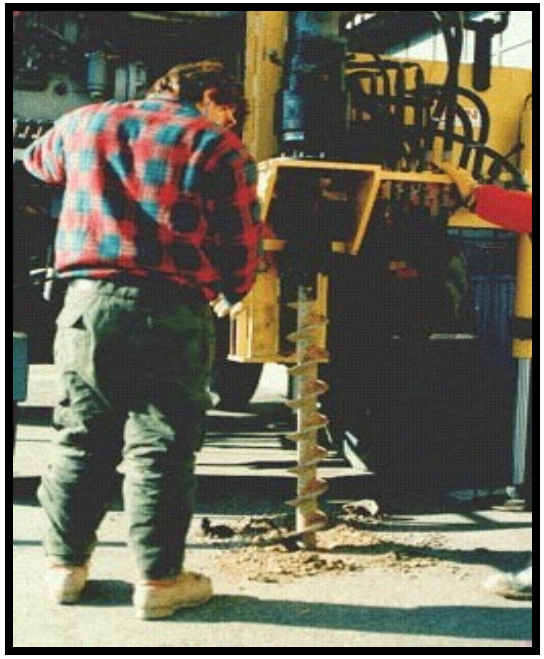


Deniz, baraj ve gölet ortamlarda Sondaj

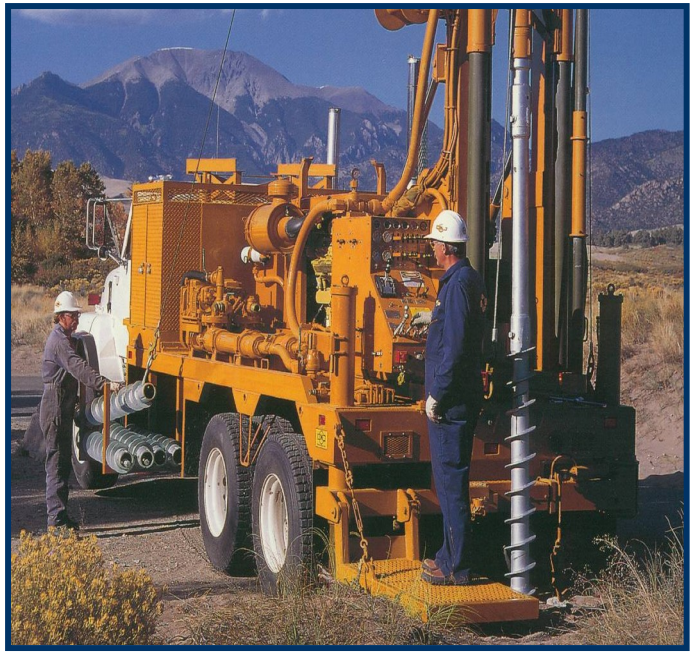
- **Sondaj Kuyuları:** Sondaj kuyuları zemini derinliğince incelenmesi amacıyla açılır.

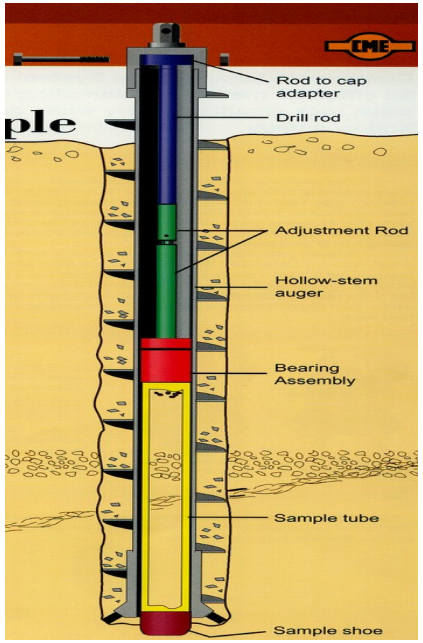
- **Sondaj Metodları**
  - Burgulu sondaj
  - Sulu sondaj
  - Dönmeli sondaj

Sürekli Flight Burgulu Sondaj

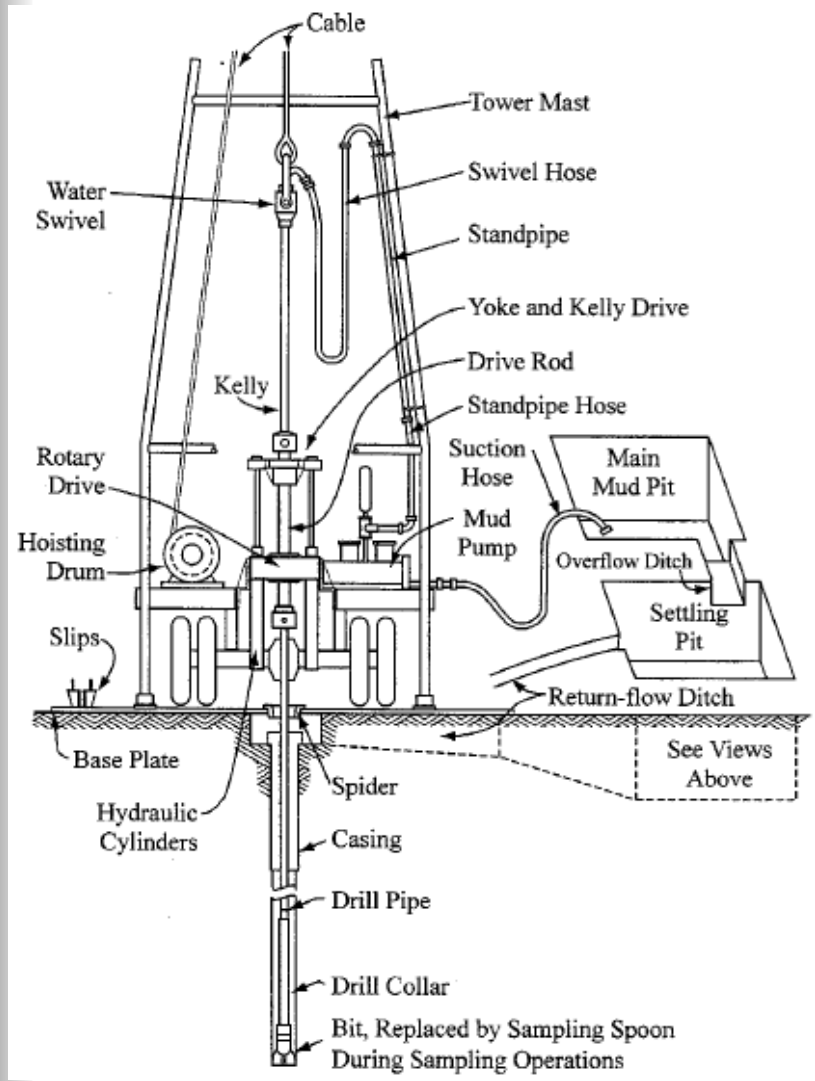


İçiboş Burgulu Sondaj





Sulu Dönmeli Sondaj



(a)

(b)

(c)

(d)

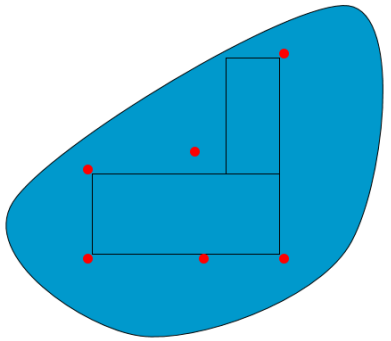
(e)

(f)

Sondajların Aralığı (SA) ve Derinliği (SD)

Sondajların sayısının ve açılacak derinliğinin belirlenmesi için KESİN ve NET kural mevcut değildir.

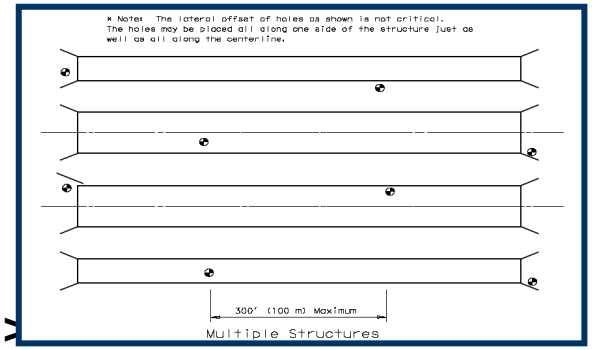
Sondaj Aralığı (SA) ?



- **Geleneksel Düşünce**
  - **Zeminin değişkenliği arttığında**
  - **Yükler arttığında**
  - **Daha kritik/önemli yapılarda**

Sondaj Sayısı artacaktır.

- **Ayrıca, arazinin jeolojik yapısı, topografya ve proje bütçesine bağlıdır.**



- **Sondaj yerleri, yapıların etrafında yoğunlaştırılır.**
- **Çok katlı yapılarda, SA=10 – 30 m**
- **Konut alanları dışında, tipik olarak SA: 20-60 m**
- **Hafif veya dar betonarme yapılarda, SA> $3S^{0.7}$ m**
- **Ağır çelik veya geniş betonarme, SA=**

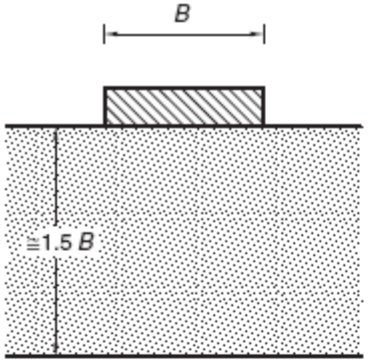
Sondaj Derinliği (SD) ?

Subsurface Conditions	Minimum Depth of Borings (S = number of stories; D = anticipated depth of foundation)	
	(m)	(ft)
Poor	$6\,S^{0.7} + D$	$20\,S^{0.7} + D$
Average	$5\,S^{0.7} + D$	$15\,S^{0.7} + D$
Good	$3\,S^{0.7} + D$	$10\,S^{0.7} + D$

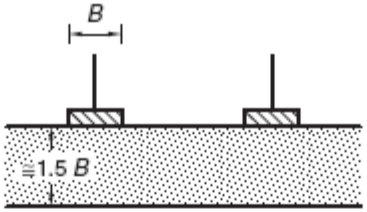
*** SD, efektif gerilme artımının azaldığı derinliğe kadar olmalıdır (En az SA: 1.5B)**

*** Binalar için, SD=(1-2)B veya**

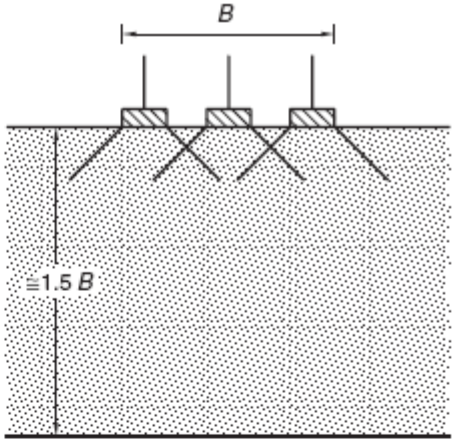
SD; $0.1\sigma_v' = \Delta\sigma$ (De Boor kuralı)



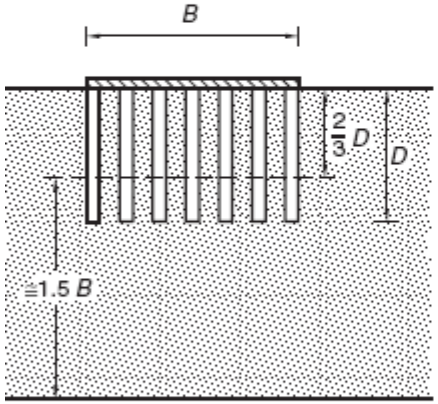
(a)



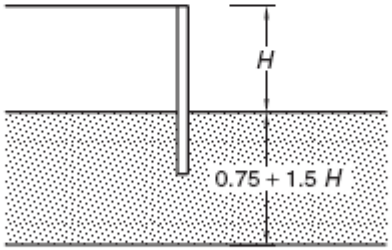
(b)



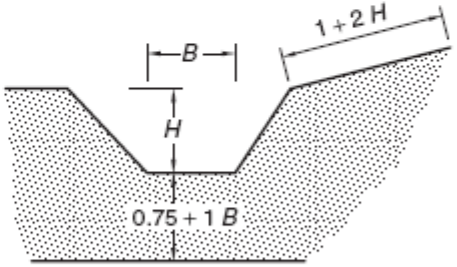
(c)



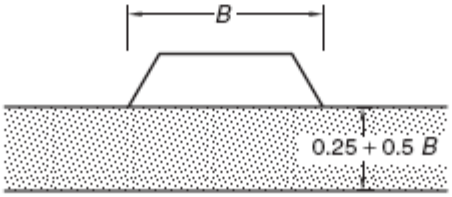
(d)



(e)



(f)



(g)

➢ YAPI ETKİ BÖLGESİ

İnşa edilecek yapıdan dolayı oluşacak ilave düşey efektif gerilmelerin (Boussinesq, Westergaard, vb.) kabul görmüş basınç dağılım yöntemleri ile,

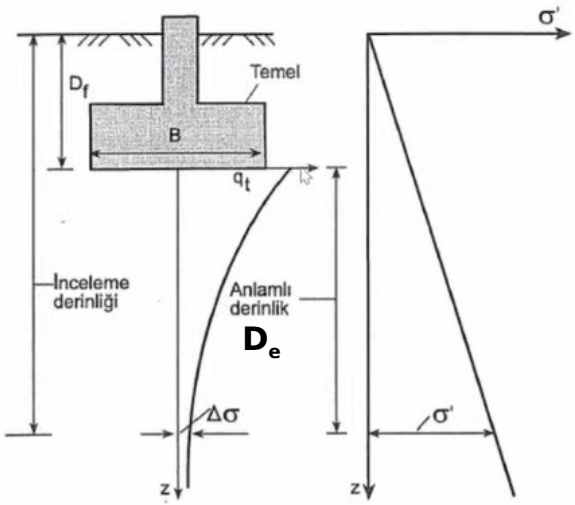
- temel taban basıncının %10'una eşit olduğu derinlik veya
- mevcut efektif örtü yükünün %10'una eşit olduğu derinlik

olarak tanımlanabilir. Bu iki derinlikten büyük olanı inceleme derinliği olarak alınır.

$\Delta\sigma = 0.1 * q_t$

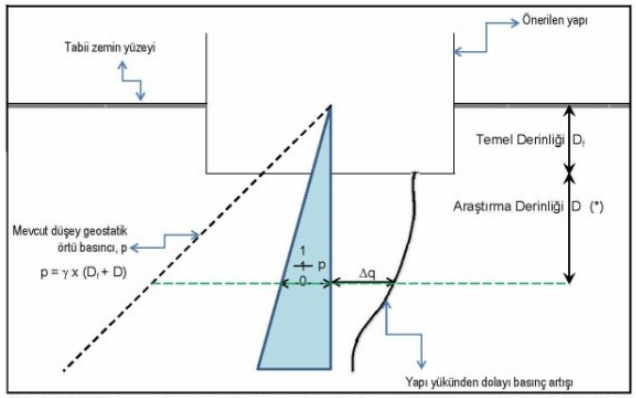
$\Delta\sigma = 0.1 * \sigma_{v0}'$

$SD = D_f + D_e$ ← $\Delta\sigma$

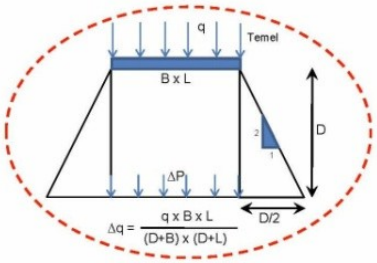


SONDAJ KUYUSU DERİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Sondaj Kuyusu Derinliği (L) = Temel Derinliği (D_f) + Araştırma Derinliği (D)



(*) Araştırma Derinliği (D) = yapı yükünden dolayı oluşan basınç artışının (Δq) düşey geostatik örtü basıncının %10'una eşit olduğu derinlik



ÖRNEK:

Kat adedi =	20	
Her bir kattan gelecek yük =	12	kPa
Temel genişliği, B =	20	m
Temel boyu, L =	20	m
Temel derinliği, D_f =	5	m
Zeminin ort. birim hacim ağırlığı, γ =	20	kN/m³

Yapıdan gelecek yük = Kat adedi x Her bir kattan gelecek yük

$q = 20 \times 12$ kPa

$q = 240$ kPa

$$\Delta q = \frac{q \times B \times L}{(D+B)\times(D+L)} = \frac{240 \times 20 \times 20}{(D+20) \times (D+20)}$$

$$\Delta q = \frac{1}{10} p = \gamma \times (D_f + D) = 20 \times (5+D) = 10 + 2D$$

$$10 + 2D = \frac{96\,000}{(D^2 + 40\,D + 400)} \Rightarrow D \cong 22.5 \text{ m}$$

$L = D_f + D = 5 + 22.5 = 27.5$ m

L ≅ 30 m.

Ancak, sondaj derinliği gerekirse zemin koşullarına göre revize edilmelidir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018): Sondaj, Sondaj Yeri, Sayısı ve Derinliği

16A.1. ZEMİN ARAŞTIRMA SONDAJLARI

16A.1.1- Sondaj kuyuları, zeminlerde burgu, kum veya kil kovası ile darbeli veya dönel (rotary) sistemlerle, kayada ise kaya yüzeyinden itibaren sürekli karot alınarak ilerlenen dönel sistemlerle açılacaktır.

16A.1.2- Sondaj Sayıları: Zemin koşullarının değişkenliği, yapının taban alanı ve aktardığı yükler ile çevresindeki koşullar dikkate alınarak;

- Her 300 m^2'lik taban alanı için en az bir adet olmak üzere belirlenecektir.
- *Bina Yükseklik Sınıfı* BYS≤3 olan binaların inşa edileceği alanlarda sondaj sayısı üçten az olmayacaktır.
- Sondaj sayısı, taban alanı 1000 m^2'yi geçen binalarda birer adet bina köşelerinde ve bir adet ortada olmak üzere en az beş adet olacak şekilde planlanacaktır.

16A.1.3- Sondaj Yerleri: Topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar özel yerlere işaret etmiyorsa, en az yapı planının köşeleri ve ortasında sondaj yerleri seçilecektir. Geniş alanlarda yapı tipleri ve yerleri belirli ise, yapı yerleşimine uygun olarak sondaj noktaları seçilecektir. Yerleşimi belirsiz proje sahalarında, bir karelaj (grid) üzerinden sondaj yerleri planlanacaktır. Şev duraysızlığı potansiyeli olan eğimli arazilerde, sondaj yerleri yamaç duraylılık (stabilite) analizine veri sağlayacak hatlar boyunca planlanacak, yapı alanı dışında da sondaj yerleri seçilecektir.

16A.1.4- Sondaj Derinlikleri: Sondaj derinliği, bina temelleri için temel tabanından başlayarak yapı genişliğinin en az 1.5 katı veya net temel taban basıncından kaynaklanan zemindeki gerilme artışının ($\Delta\sigma$) zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan efektif gerilmenin (σ'_{v0}) %10'una eşit olduğu derinlikten ($\Delta\sigma=0.10\sigma'_{v0}$) **daha elverişsizi olacak şekilde seçilecektir.**

(a) Yüksek dayanıma ve rijitliğe sahip bir tabakanın daha sığ derinliklerde rastlanması durumunda sondaj, bu tabaka içine en az 3 metre girerek tabaka sürekliliğinin belirlenmesi ile sonlandırılabilir.

(b) Kazıklı temel uygulamasının gerekebileceği durumlarda, sondaj derinliği kazık taşıma gücü ve oturma hesaplamalarını yapmaya olanak sağlayacak şekilde seçilecektir.

(c) Sondajlar, şev duraylılığı çalışmalarında olası kayma yüzeyi derinliklerinin yeterince altına kadar, derin kazılarda ise kazı tabanından kazı derinliğinin en az yarısı kadar derinliklere inecektir.

Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı (2021): Sondaj Sayısı, Yerleri ve Derinliği

a) **(Değişik:RG-17/2/2021-31398)** Sondaj Sayıları:

1) Temel taban alanı 300 m2'den az olan ve tek bloktan oluşan yapılarda en az 3 adet sondaj yapılmalıdır. Taban alanının her 300 m2 artışında bir sondaj ilave edilmelidir.
2) Temel taban alanının çok küçük olduğu ve bu alanlarda sondaj makinesinin çalışma güçlüğü bulunduğu durumlarda (sondaj aralıklarının 1~7m. arasında kaldığı durumlarda), ilgili idarenin uygun görmesi koşuluyla; gerekçeleri Veri Raporunda belirtilmek suretiyle jeofizik yöntemlerle desteklenerek, sayısı 2'den az olmayacak şekilde sondaj sayısı azaltılabilir.
3) Site tipi çoklu blokların bulunduğu sahalarda, minimum sondaj aralıkları dikkate alınarak, her bloğun temel tabanının bulunduğu alanda 300 m2'de en az 1 adet sondaj olmak üzere, zemin birimlerini tarifleyecek ve sahayı tarayacak şekilde sondaj adedi belirlenebilir
4) Sondaj sayısı, taban alanı 1000 m2'yi geçen binalarda, maksimum sondaj aralıklarını aşmayacak şekilde, taban alanı geometrisine göre birer adet bina köşelerinde ve 1 adet ortada olmak üzere en az beş adet olacak şekilde planlanabilir. Bu tip binalarda planlama yapılırken (1) numaralı maddede belirtilen değerler de dikkate alınarak artırılmalıdır.
5) Arsa içerisinde fiziki koşullar nedeniyle hiçbir şekilde sondaj yapılamadığı durumlarda (makinenin girememesi ve benzeri özel durumlar), arsa sınırının dışında, zemin etüt ekibince karar verilecek ve idarece de uygun görülecek uzaklıkta sondaj yapılabilir.

b) Sondaj Yerleri:

1) Topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar özel yerlere işaret etmiyorsa, sondaj yerleri yapı planının köşelerine ve ortasına gelecek şekilde seçilebilir.
2) Yapı tipleri ve yerleri belirli ise, geniş sahalarda yapıların yerleşimine uygun olarak ve sahayı tarayacak şekilde sondaj noktaları seçilebilir.
3) Yerleşimi belirsiz proje sahalarında, bir karelaj üzerinden sondaj yerleri planlanabilir.
4) Dilatasyonla ayrılmış binalarda her blok altına en az 1 adet sondaj gelecek şekilde planlama yapılmalıdır.
5) Sondajlar arasındaki mesafeler 40-50 m.'yi geçmeyecek şekilde belirlenmelidir.
6) Derin kazı yapılması gereken, şev açısı yüksek olan sahalarda ilgili stabilite analizlerinin (örneğin ankraj kök bölgelerinin yer aldığı bölgede) yapılabilmesi için arsa sınırı dışında da yeterli derinlikte sondaj yapılması önerilir (EK-3'de SK-10, SK-11).
7) Yeraltı suyu varlığı durumunda sondajlar aynı zamanda, üçgenleme yöntemiyle kot cinsinden yeraltı suyu seviye konturları çizilerek yeraltı suyu akım yönü belirlenebilecek şekilde tasarlanmalıdır.
8) Sondajlardan en az 3'ü, planda üçgen oluşturacak şekilde ve 3 zemin kesiti tanımı yapılabilecek şekilde seçilmelidir.
9) Jeofizik ölçümlerde anomaliler ve farklı zemin profillerinin gözlenmesi halinde sondaj noktaları bu bölgedeki birimleri tanımlayacak şekilde planlanmalıdır.

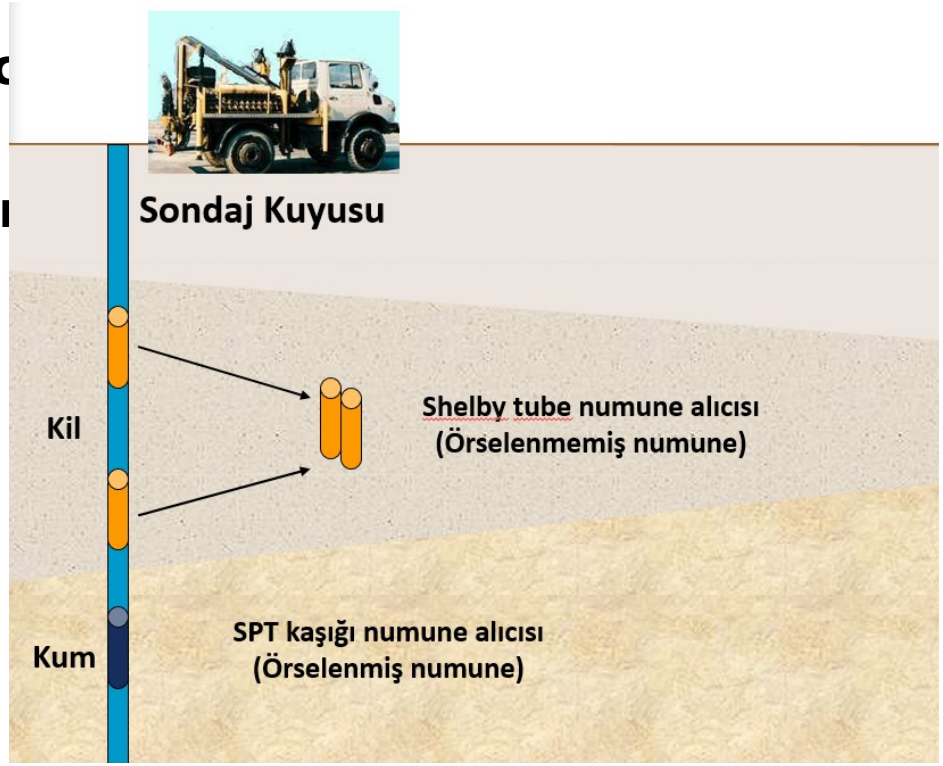
c) Sondaj Derinlikleri:

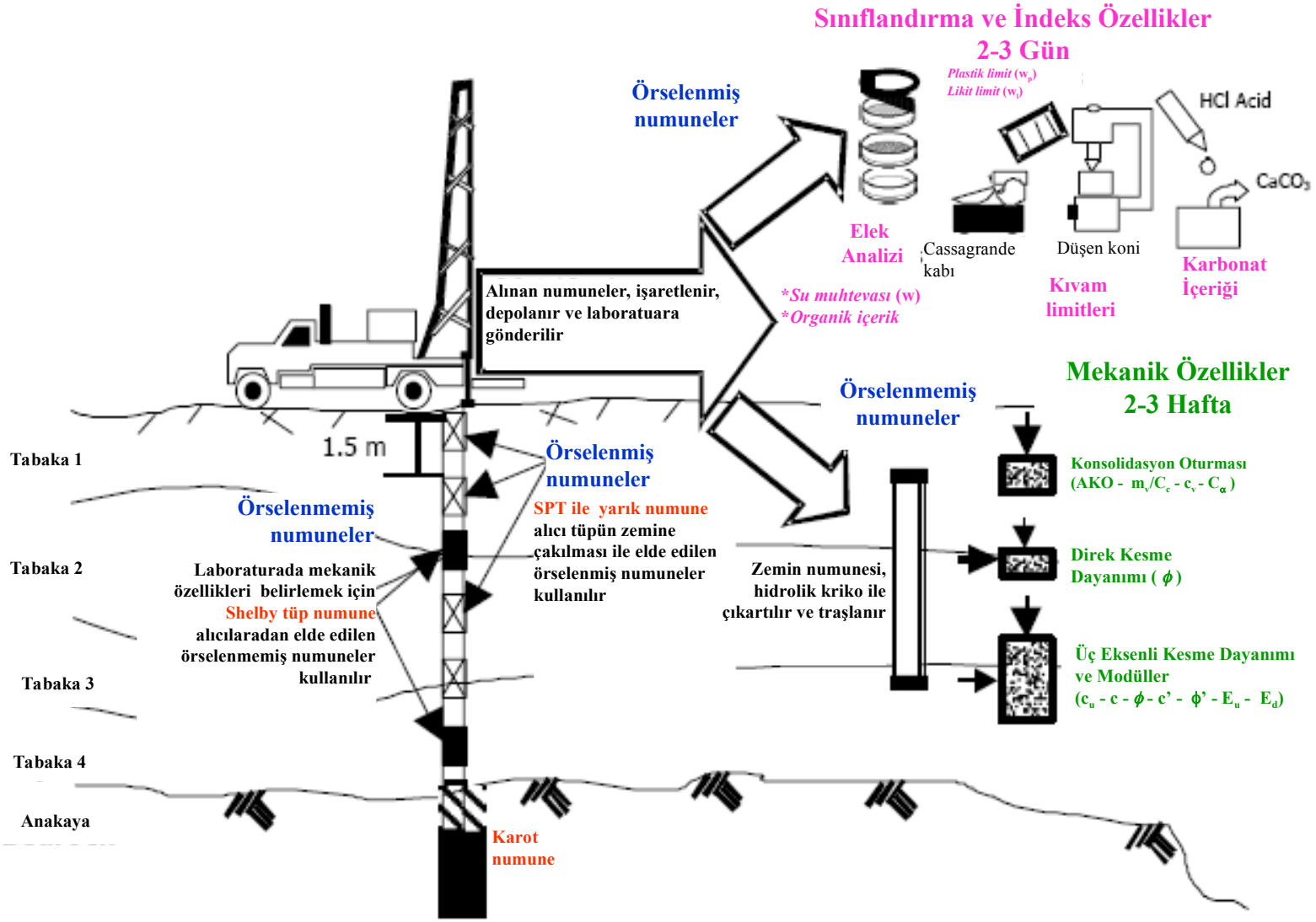
Aşağıda belirtilen derinlik kriterleri projenin büyüklüğü, önemi ve zemin koşullarına göre belirlenen sondaj adedinden en az 3'ünde uygulanmalıdır.

1) Sondaj derinliklerinin, yapı etki bölgesi içindeki tüm zemin birimlerini kapsadığından emin olunmalıdır. Saha veya yakınında şev bulunması veya derin kazı yapılması durumunda; şev stabilite hesaplarını yapabilecek ve olası istinat yapılarını tasarlayabilecek verileri elde edecek şekilde sondaj derinlikleri belirlenmelidir.
2) Şevli yüzeylerde sondaj derinliği muhtemel kayma yüzeyinin altına inecek, kayma yüzeyi altındaki zemin birimleri de tespit edilebilecek şekilde seçilmelidir.
3) Yeraltı suyu altında kalan temel kazısı çukurlarında veya su geçirimsizliği sağlanması gereken durumlarda sondaj derinliği belirlenirken ayrıca hidrojeolojik koşullar da göz önünde bulundurulmalıdır.
4) Derin kazı gereken projelerde, sondaj derinliği kazı tabanından kazı derinliğinin en az yarısı kadar derinliklere inecek şekilde planlanmalıdır.
5) **(Değişik:RG-17/2/2021-31398)** Sondaj derinliği olarak, bina temelleri için temel tabanından başlayarak yapı genişliğinin en az 1.5 katı veya net temel taban basıncından kaynaklanan zemindeki gerilme artışının ($\Delta\sigma$) zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan efektif gerilmenin ($\sigma'vo$) % 10'una eşit olduğu derinlikten ($\Delta\sigma = 0.10\ \sigma'vo$) araştırmaya uygun olanı seçilecektir.
6) **(Değişik:RG-17/2/2021-31398)** Yük etki alanları kesişen bitişik nizam veya birden fazla binanın bulunduğu alanlarda sondaj derinliği, kesişim bölgesinde, temel alt kotundan itibaren en büyük temelin kısa kenar uzunluğunun 1.5 katı derinliğinden en az 3 m. fazla olmalıdır.
7) Kazıklı temel uygulamasının gerekebileceği durumlarda, sondaj derinliği kazık taşıma gücü ve oturma hesaplamalarını yapmaya olanak sağlayacak şekilde seçilecektir.
8) Sondaj derinliği, kazıklı temel sistemlerinde öngörülen kazık uç kotundan başlamak üzere, kazık grubunun oluşturduğu dikdörtgenin kısa kenarı uzunluğunda (en az 4 m.) seçilmelidir.
9) **(Değişik:RG-17/2/2021-31398)** Hedeflenen sondaj derinliklerinden önce yapı etki bölgesi içinde tamamen ayrışmış kaya (W5) ve çok ayrışmış kaya (W4) (ISRM) birimler hariç olmak üzere, kaya birimler ile karşılaşılması durumunda; sondaj sahası için mevcut jeofizik ve jeolojik verilerle de desteklenmesi şartıyla en az 3.00 m. daha karotlu sondaja devam edilmelidir. Ayrışmış ve rezidüel birimler için en az 5.00 m. daha sondaja devam edilmelidir.
10) Sondajlarda üstyapıdan gelen yükler açısından yeterli taşıyıcı niteliğe sahip zemin birimlerine inilmelidir.
11) Temel alt kotundan itibaren 10.00m.'lik zemin birimleri içerisinde yeraltı suyu ve sıvılaşabilir zemine rastlamış ise sondaj derinliği temel alt kotundan itibaren en az 20.00 m. olacak şekilde belirlenmelidir.
12) Sondaj derinliği, kazıklı temel gerektiren yapılar için kazık ucundan itibaren kazık çapının 5 katı veya kazık ucunun soketleneceği derinlikten az olamayacağı kabulü (en az 5.00 m.) ile planlanmalı ve yapılmalıdır.

Tüp ile Numune Alma

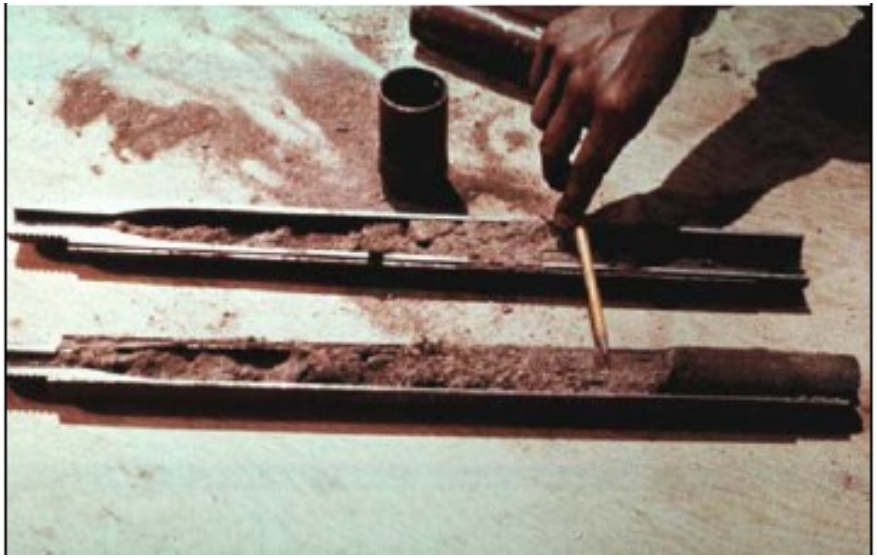
- **SPT kaşığı numune alıcı**
- **Shelby tüp (ince cidarlı) numune alıcı**
- **Piston numune alıc**
- **Karot numune alıcı**




Sınıflandırma ve İndeks Özellikler
2-3 Gün
Örselenmiş numuneler
Plastik limit (w_p)
Likit limit (w_l)
HCl Acid
$CaCO_3$
Elek Analizi
Cassagrande kabı
Düşen koni
Karbonat İçeriği
Kıvam limitleri
*Su muhtevası (w)
*Organik içerik
Alınan numuneler, işaretlenir, depolanır ve laboratuara gönderilir
Örselenmemiş numuneler
Mekanik Özellikler
2-3 Hafta
1.5 m
Tabaka 1
Örselenmiş numuneler
SPT ile yarık numune alıcı tüpün zemine çakılması ile elde edilen örselenmiş numuneler kullanılır
Konsolidasyon Oturması
(AKO - m_v/C_c - c_v - C_α)
Örselenmemiş numuneler
Tabaka 2
Laboratuarda mekanik özellikleri belirlemek için Shelby tüp numune alıcılaradan elde edilen örselenmemiş numuneler kullanılır
Zemin numunesi, hidrolik kriko ile çıkartılır ve traşlanır
Direk Kesme Dayanımı (ϕ)
Tabaka 3
Üç Eksenli Kesme Dayanımı ve Modüller
(c_u - c - ϕ - c' - ϕ' - E_u - E_d)
Tabaka 4
Anakaya
Karot numune

a- SPT Kaşığı ile Numune Alma

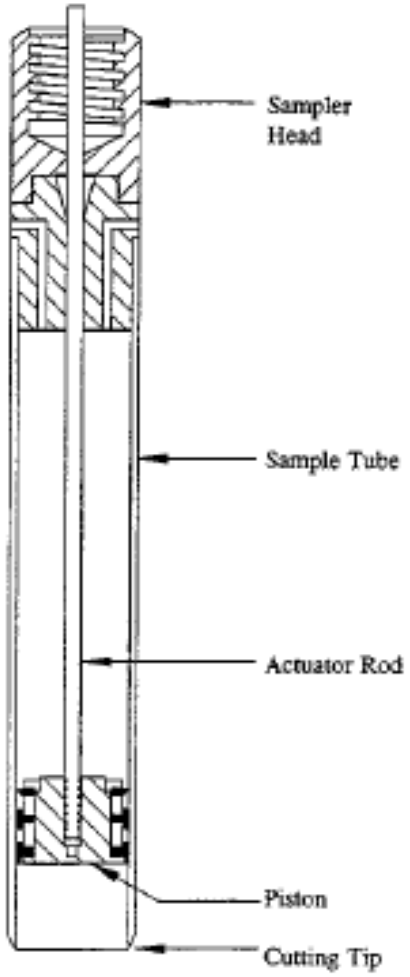
- **Zeminler için uygundur**
- **İnce cidarlı çelik tüp**
- **Dış çapı 50.8 mm, iç çapı 34.9 mm, uzunluğu 457.2 mm**



b- Shelby Tüp ile Numune Alma

- **Zeminler için uygundur**
- **İnce cidarlı çelik tüp**
- **Dış çapı 51-76 mm, iç çapı 73 mm, uzunluğu 700-900 mm**

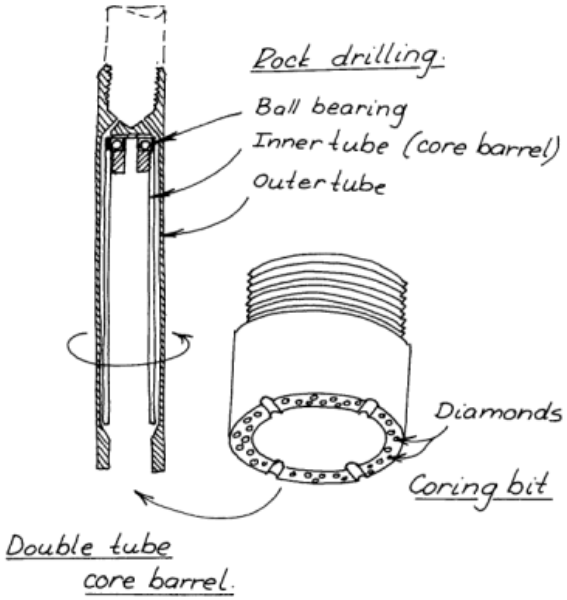
c- Piston Tüp ile Numune Alma

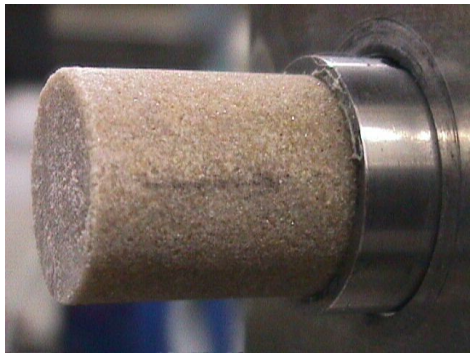


- **Shelby tüp numune alıcının piston ile modifiye edilmiş şeklidir.**
- **Shelby tüp numune alıcıya göre daha az örselenme olur**

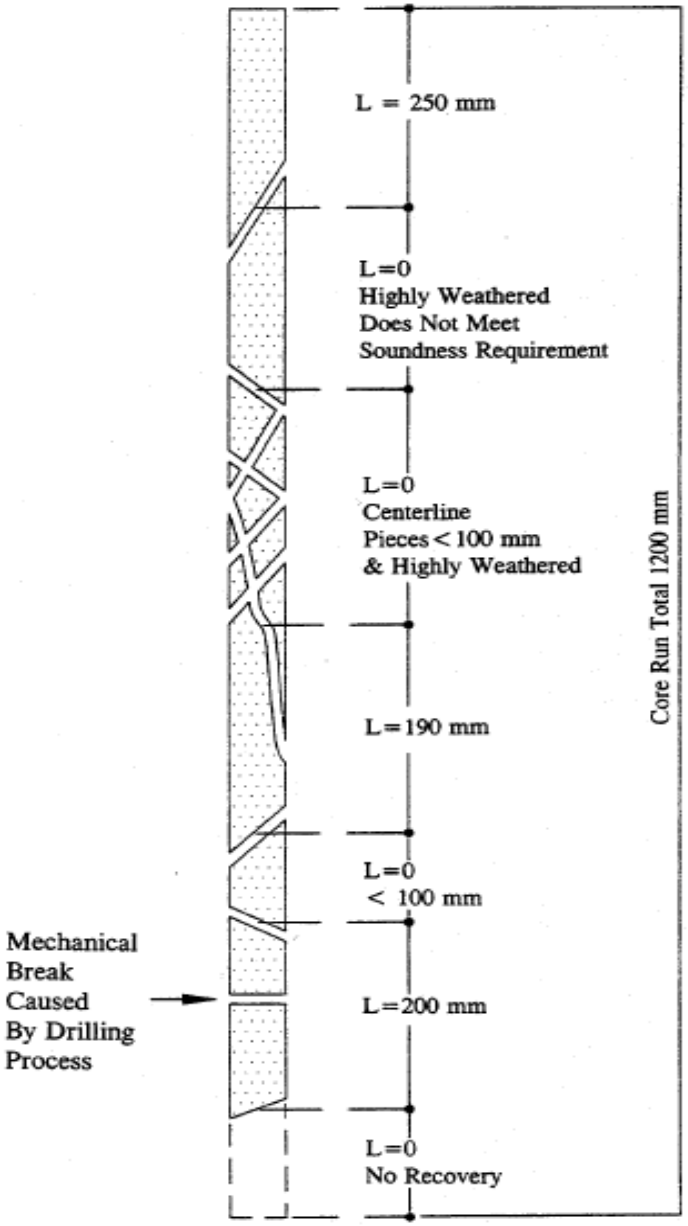
d- Karot ile Numune Alma

- **Karotiyer: Sondaj ilerleme sırasında matkabın kestiği kayacı içine alarak bu örneğin yerüstüne çıkarılmasını sağlayan ekipmandır.**





RQD değeri



$$RQD = \frac{\sum \text{Length of Sound Core Pieces} > 100\,mm}{\text{Total Core Run Length}}$$

$$RQD = \frac{250 + 190 + 200}{1200} \times 100\%$$

RQD = 53% (Fair)

Rock Quality Description

RQD (Rock Quality Designation)	Description of Rock Quality
0 - 25%	Very Poor
25 - 50%	Poor
50 - 75%	Fair
75 - 90%	Good
90 - 100%	Excellent

Numune Türleri

- **Örselenmiş numuneler**
  - Dane dağılımı deneyleri
  - Su muhtevası deneyi
  - Kıvam limitleri deneyleri
  - Dane b.h. Ağırlığı deneyi
  - Organik içerik deneyi
  - Kompaksiyon deneyi

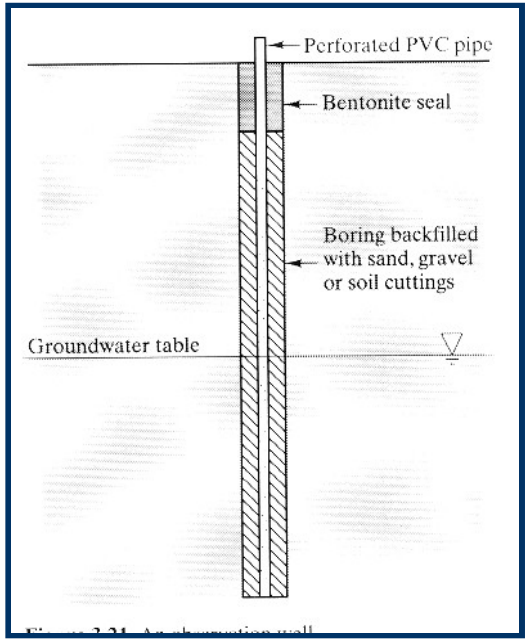
- **Örselenmemiş numuneler**
  - Konsolidasyon deneyi
  - Kayma mukavemeti deneyleri
  - Geçirimlilik deneyleri
  - Kaliteli numuneler için Alan Oranı (A_R) < % 10
  - Tüp et kalınlığı arttıkça, örselenme artar
  - Numunelerin taşınması ve alete yerleştirilmesinde dikkat

$$A_R = \frac{O.D.^2 - I.D.^2}{I.D.^2} \times 100\,(\%)$$

- **Karot numuneler**
  - RQD, TCR
  - Fiziksel ve Mekanik deneyleri

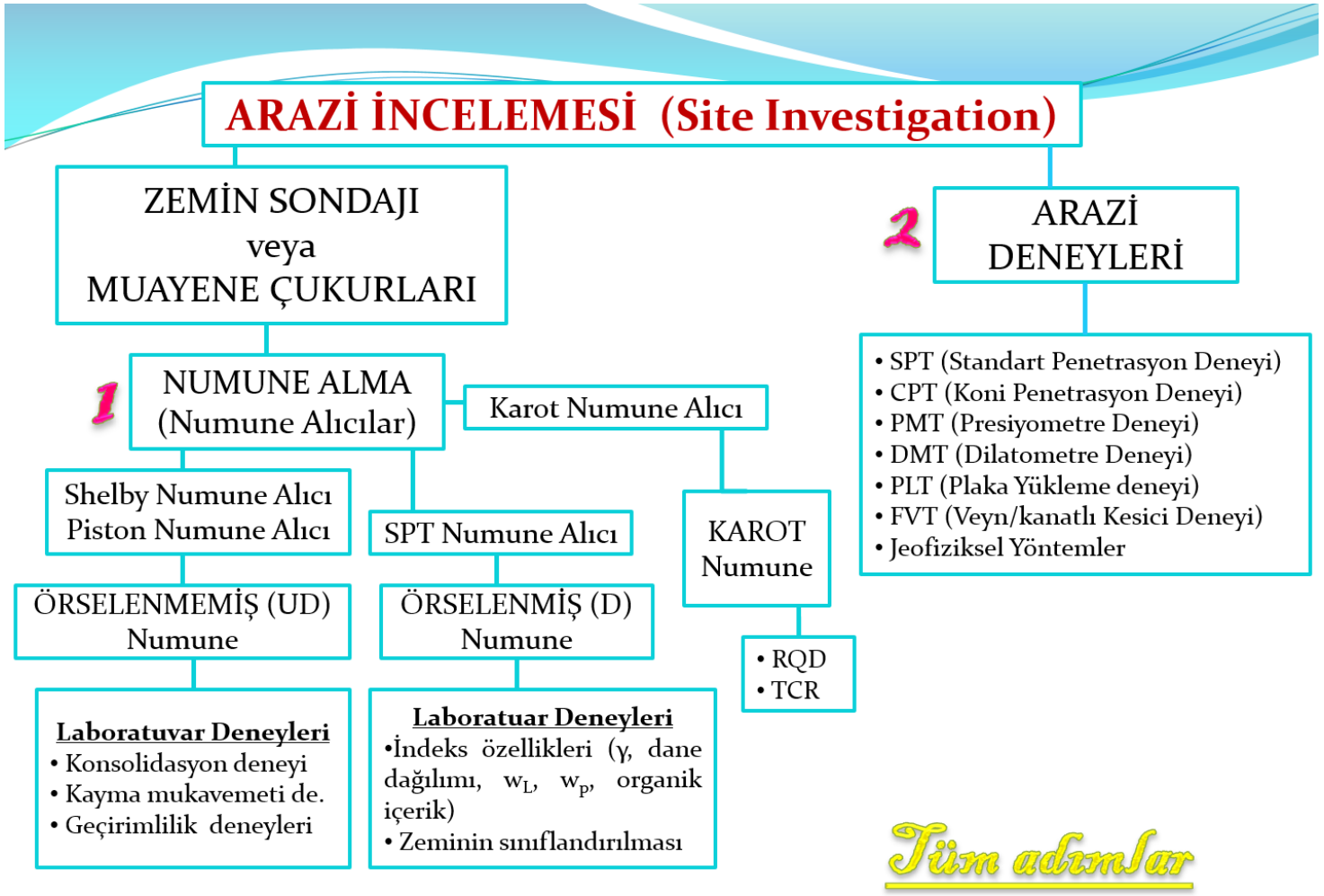
Yeraltı Suyu

- **<u>Yeraltı Su Seviyesi (YASS)</u> geoteknik incelemesi sürecinde belirlenmelidir.**
- **Ölçümler, sondaj esnasında ve daha sonra yapılır (24 saat, 1 hafta vs.)**
- **Sondaj kuyu ağızları açık bırakılarak yada piyozometre yerleştirilerek gözlenir.**



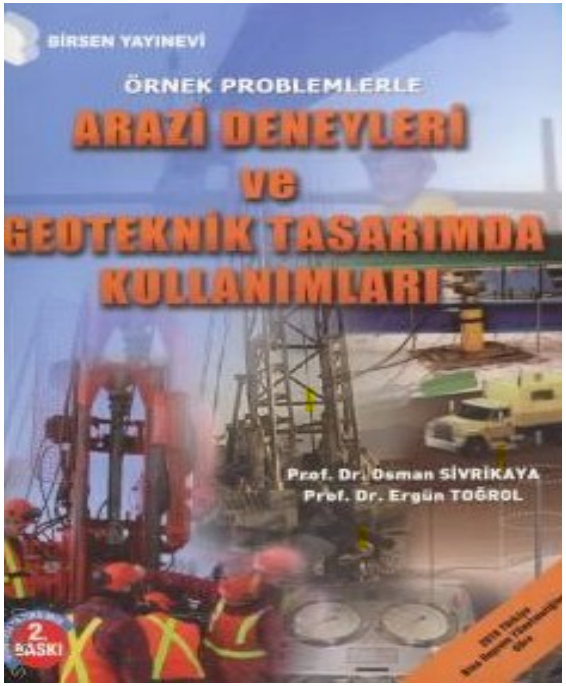
- **Gözlem kuyuları ve numune alma**
- **Permeabilite Deneyler**

- **Arazi çalışmalarına ilave olarak ayrıca geoteknik uzmanın uygun görmesi halinde, arazide jeofizik ölçümler ve uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılır.**



B2. Arazi Deneyleri

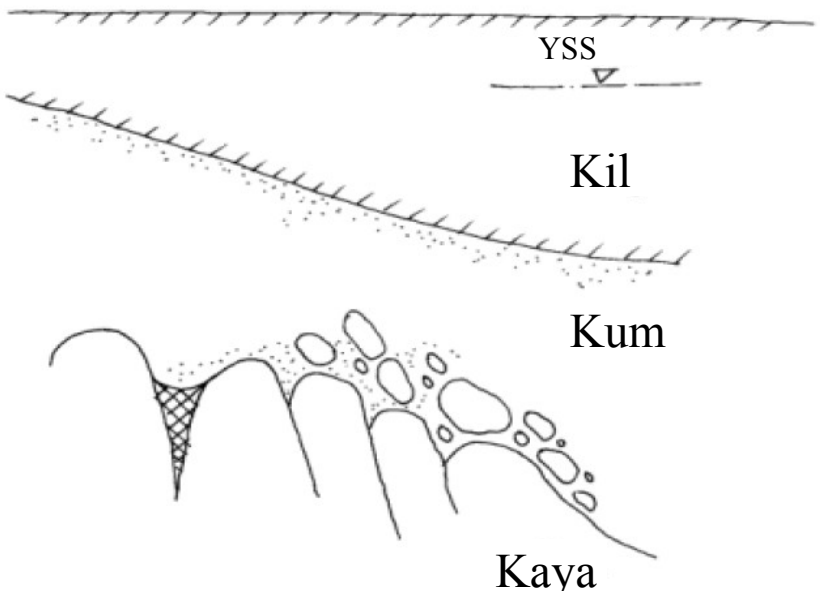
- **Örselenmemiş numune almanın zor olduğu durumlarda_**
- **Kohezyonsuz zeminler, Duyarlı ve yumuşak killer**
- **Arazi Deney Metotları**
  - **Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)**
  - **Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)**
  - **Presiyometre Deneyi (PMT)**
  - **Veyn Kesme Deneyi (VST)**
  - **Plaka Yükleme Deneyi (PLT)**
  - Dilatometre Deneyi (DMT)
  - Dinamik Penetrasyon Deneyi (TCP)
  - Kazık Yükleme Deneyi (KLT)
  - Geçirimlilik Deneyleri (FPT)


BİRSEN YAYINEVİ
ÖRNEK PROBLEMLERLE
ARAZİ DENEYLERİ
ve
GEOTEKNİK TASARIMDA
KULLANIMLARI
Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
Prof. Dr. Ergün TOĞROL
2. BASKI

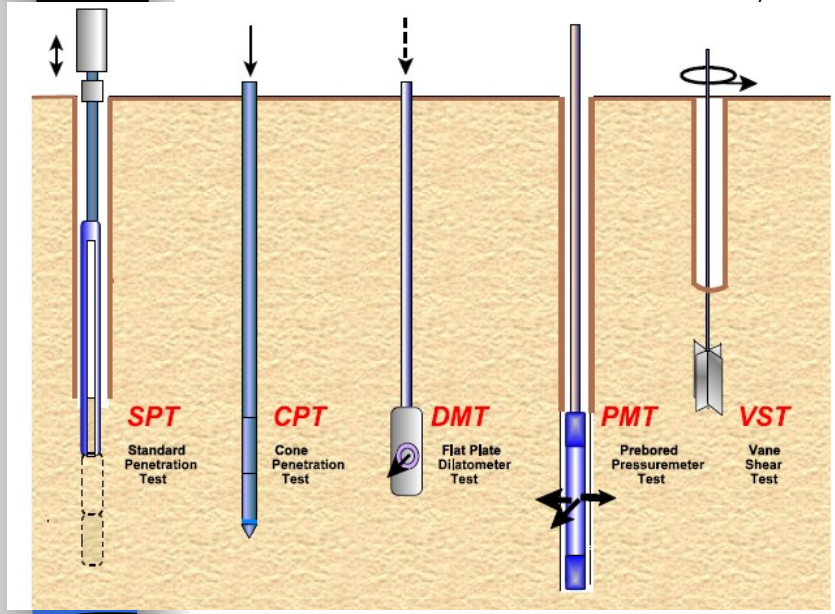
GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE
SAHA DENEYLERİ
A. Orhan EROL
Zeynep ÇEKİNMEZ
YÜKSEL PROJE
YAYINLARI

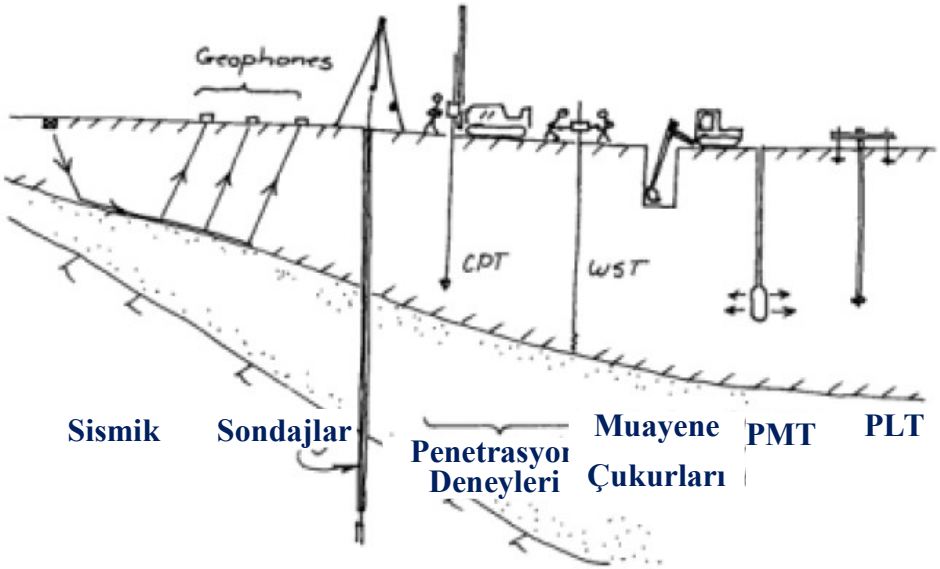
BİRSEN YAYINEVİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE
TEMEL İNŞAATI I
Zemin İncelemesi, Zeminlerin Özellikleri,
Temel Türleri ve Yüzeysel Temel Tasarımı
Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Tipik Zemin Profili



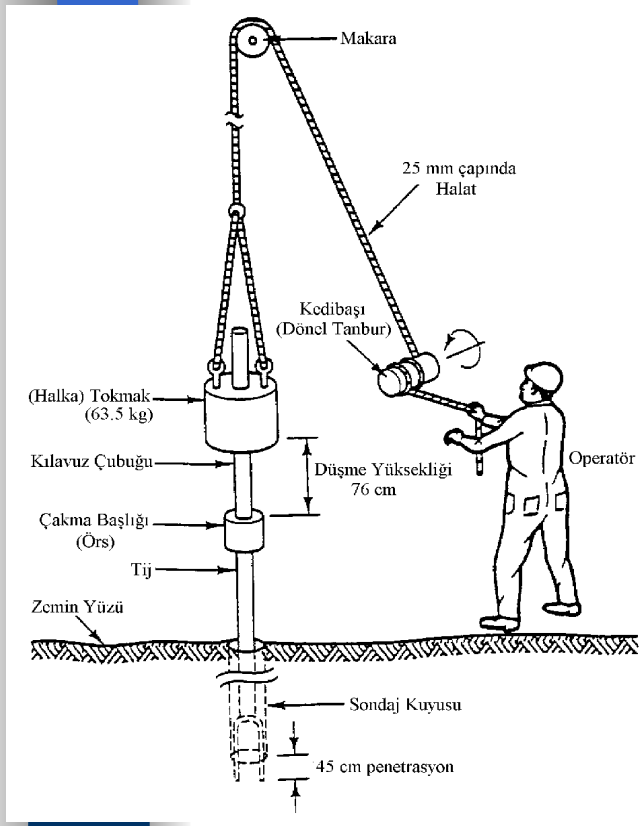
Zemin Özelliklerinin Analiz Metotları





Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Manuel SPT

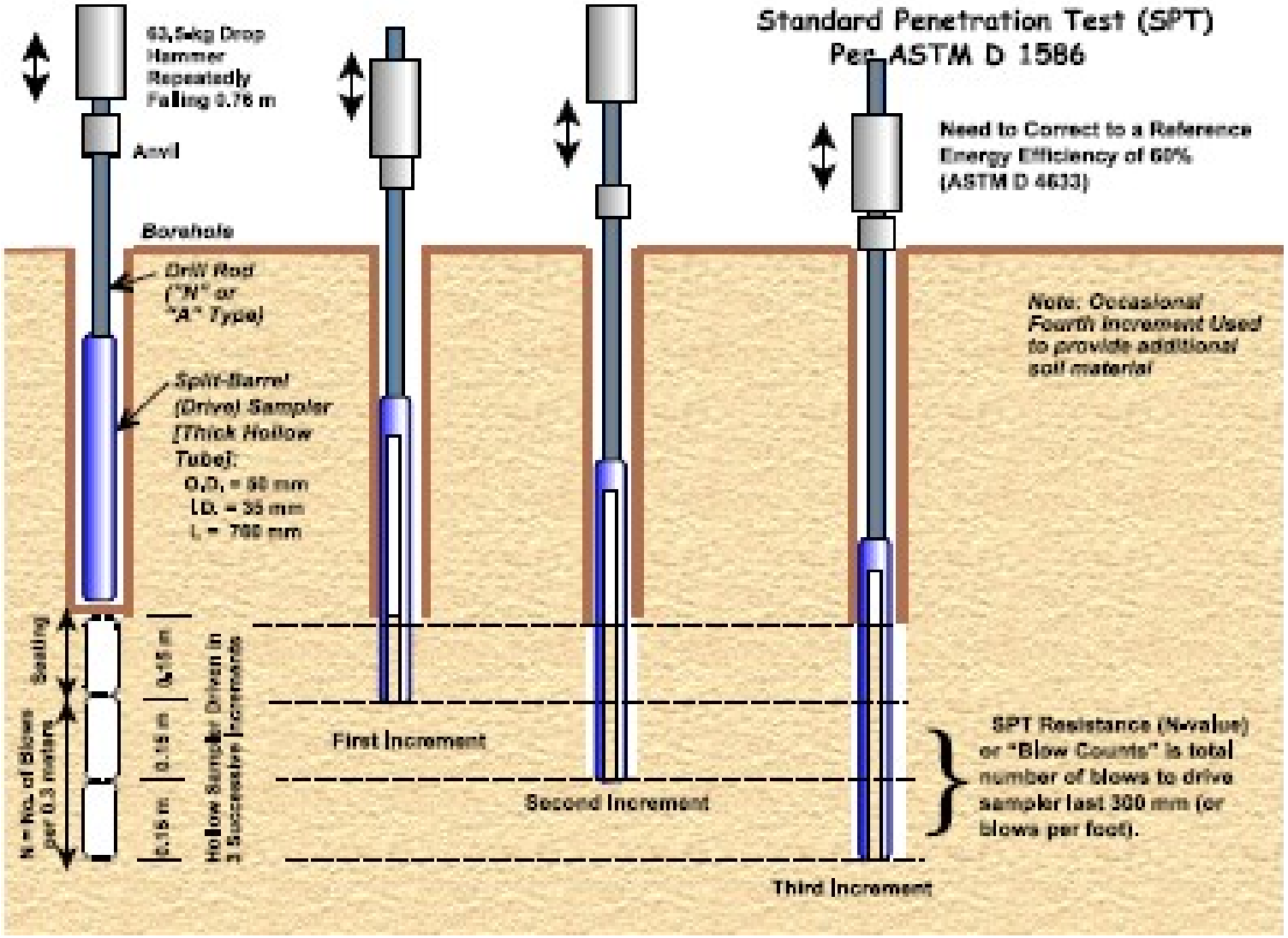


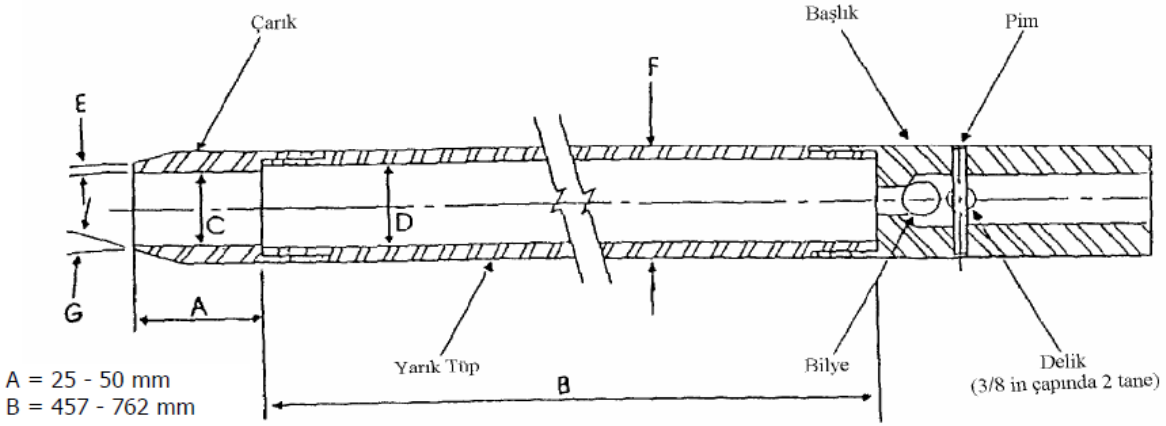
- 63.5 kg tokmak
- 76 cm serbest düşürülmesi
- 45 cm numune alıcı zemine çakılır
- Her 15 cm girişteki vuruş sayısı kaydedilir
- SPT-N değeri, 2. 15 cm ve 3. 15 cm penetrasyon için

Otomatik SPT

Tablo 3.1. SPT Deneyi için ASTM Standardının Ozeti (ASTM D 1586)

Parça	Standart
Sondaj prosedürü	Numune alıcı sondaj kuyusuna sokulmadan önce temiz olacak şekilde, sağlam sondaj deliği sağlayan sondaj delgi ekipmanı kullanılmalı ve tamamen örselenmemiş zeminde penetrasyon deneyi yapılmalı.
Delgi tijler	Aynı hizada bağlantı çelik, rijitlik ≥ "A" tij rijitlik. Delgi tij gösterim listesi için Tablo 3.2'e bakınız.
Numune alıcı	İç çapı 1.5 in yarık numune alıcı. Boyutlar için Şekil 3.5'e bakınız. Sert çelikten yapılmış çarık kullanın. Numune alıcı içine kılıf (Şekil 3.8) ve/veya kapaklar (Şekil 3.7) izin verilir fakat kullanıldığı not edilmelidir.
Tokmak	1 kg ağırlığında içi dolu sağlam metalik kütle
Tokmak düşme sistemi	Halat kedi başı, tetik, yarı otomatik ve otomatik tokmak düşürme sistemleri (Şekil 3.1, 3.2 ve 3.4) kullanılabilir. Serbest düşmeye izin veren tokmak kılavuzu kullanılmalıdır. Tokmak 76 ≥ 2.5 cm yükseklikten düşürülmeli.
Sondaj kuyusu	Sondaj kuyusu çapı 56 - 162 mm olmalıdır.
Çakma başlığı	Çakma başlığının ve tokmağın temas ettiği kısımlar çelik olmalı.
Numunenin alınması ve Deney prosedürü	Sondaj kuyusundan çıkan zemini uzaklaştır. Delgi tijleri ve numune alıcıyı sondaj deliğine indir. Örselenmiş kısımı geçmek için ilk çakma kısmı uygulanır. Delgi tijleri üzerinde ard arda üç 15 cm penetresyon boyunu işaretle. Numune alıcıyı tokmak vuruşuyla çak ve aşağıdakilerden biri meydana gelinceye kadar her bir 15 cm giriş için uygulanan vuruş sayılarını say: • Üç 15 cm penetrasyonun herhangi biri esnasında, toplam 50 vuruş sayısı olması durumunda, • 30 cm için toplam 100 vuruş sayısı olması durumunda, • Ard arda 10 vuruşun uygulanması sırasında, numune alıcının ilerlemesinin gözlenmemesi durumunda, • Numune alıcının 45 cm ilerlemesi durumunda Herbir 15 cm artım için vuruş sayılarını kaydet. "N" değeri ikinci ve üçüncü 15 cm penetrasyonun toplam değeridir. Numune alma tamamlandıktan sonra numune alıcıyı sondaj kuyusundan çıkar. Elde edilen zemin numunelerini tanımla.

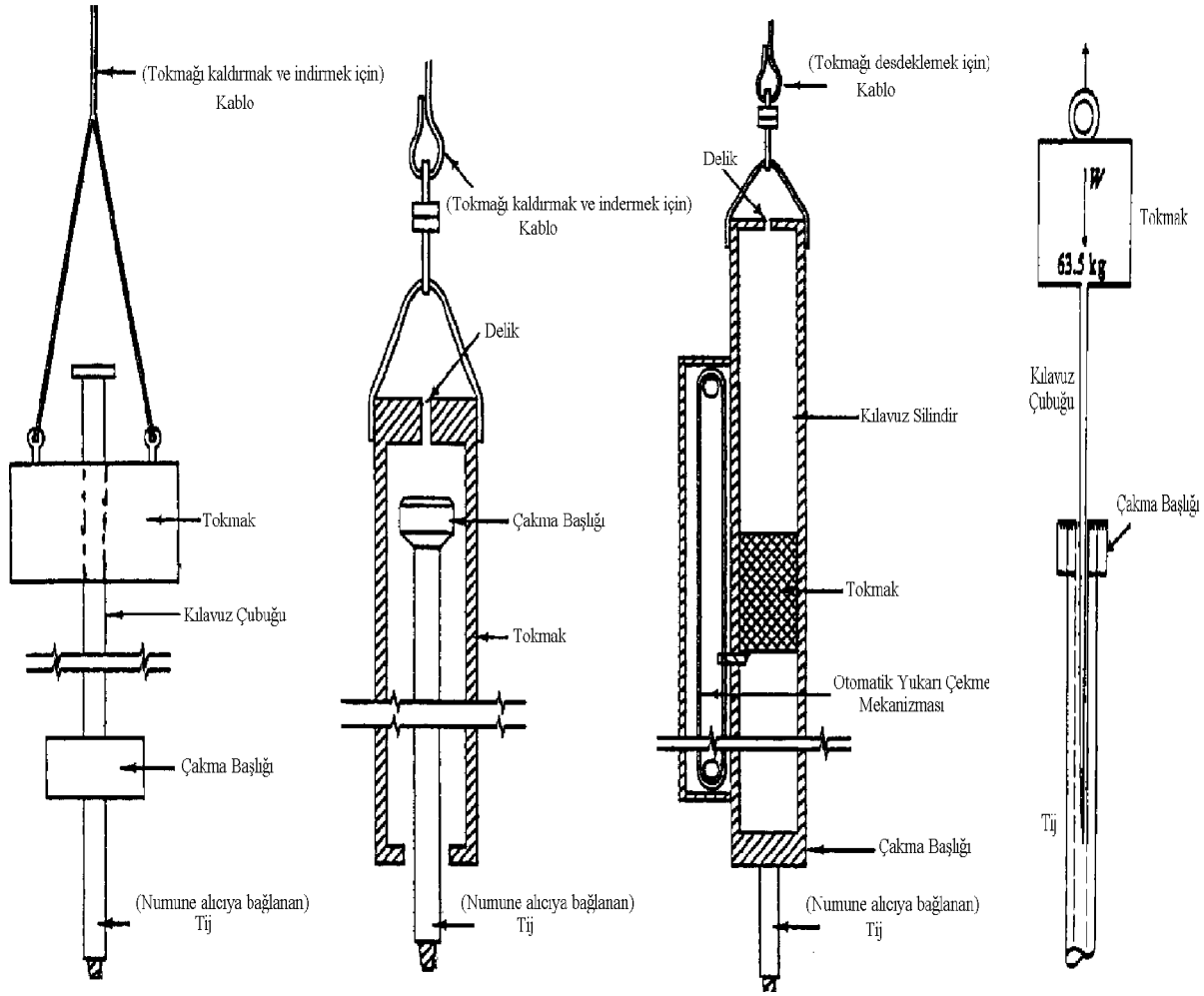

Standard Penetration Test (SPT)
Per ASTM D 1586
63.5kg Drop Hammer Repeatedly Falling 0.76 m
Anvil
Borehole
Drill Rod ("N" or "A" Type)
Split-Barrel (Drive) Sampler [Thick Hollow Tube]:
O.D. = 50 mm
I.D. = 35 mm
L = 760 mm
Need to Correct to a Reference Energy Efficiency of 60% (ASTM D 4633)
Note: Occasional Fourth Increment Used to provide additional soil material
Seating
0.15 m
0.15 m
0.15 m
N = No. of Blows per 0.3 meters
Hollow Sampler Driven in 3 Successive Increments
First Increment
Second Increment
Third Increment
SPT Resistance (N-value) or "Blow Counts" is total number of blows to drive sampler last 300 mm (or blows per foot).



A = 25 - 50 mm
B = 457 - 762 mm
C = 34.93 +- 0.13mm
D = 38.1+- 1.3mm
E = 2.54 +- 0.25 mm
F = 50.8 +- 1.3 mm

38 mm iç çapa sahip yarık tüp, 16 gaga kalınlıkta yarık kılıfla kullanılabilir. Çarık kısmın penetre olan uç kısmı az miktarda yuvarlaklaştırılabilir. Metal yada plastik kapaklar, zemin numunelerini tutmak için kullanılabilir.

SPT Tokmak Tipleri



Halka tipi tokmak başlıklı tokmak

Güvenli tokmak

Otomatik tokmak

İğne

SPT Düzeltme Katsayıları

$$N_{60} = N_{arazi} C_E C_R C_B C_S C_A C_{BF} C_C$$

$$N_{1,60} = N_{60} C_N$$

Burada N_{60} = teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı, $N_{1,60}$ = teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına ve efektif jeolojik basıncı 100 kPa alarak düzeltilmiş vuruş sayısı, N_{arazi} = arazide ölçülen darbe sayısı, C_N = derinlik düzeltme faktörü, C_E = enerji düzeltme faktörü, C_R = tij uzunluğu düzeltme faktörü, C_B = sondaj çapı düzeltme faktörü, C_S = numune alıcı kılıf (liner) düzeltme faktörü, C_A = çakma başlığı düzeltme faktörü, C_{BF} = tokmak düşürülme sıklığı (hızı) düzeltme faktörü, C_C = tokmak yastığı düzeltme faktörüdür.

Geoteknik mühendisliğinde çoğunlukla yukarıda sıralanan son altı düzeltme faktörü kullanılmamaktadır. Ancak bazı durumlarda, bunlar daha iyi veri sağlamak için kullanılabilir. Bir çok durumda, N_{60} ve $N_{1,60}$ aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$N_{60} = N_{arazi} C_E$$

$$N_{1,60} = N_{60} C_N$$

Enerji Düzeltme Faktörleri (C_E)

Tablo 3.7. Ülkelere göre enerji düzeltme faktörü (Clayton, 1990).

Ülke	Tokmak tipi	Tokmak düşürülme tipi	ER (%)	C_E
Arjantin	Halka	Kedibaşı	45	0.75
Brezilya	Çivi	Serbest elle düşürme	72	1.20
Çin	Otomatik	Tetikleme (*trip*)	60	1.00
	Halka	Kedibaşı	50	0.83
Kolombiya	Halka	Kedibaşı	50	0.83
Japonya	Halka	(*Tombi trigger*)	78-85	1.30-1.42
	Halka	Kedibaşı 2 devir+ özel düşürme	65-67	1.08-1.12
Britanya	Otomatik	Tetikleme	73	1.22
Amerika	Güvenli	Kedibaşında 2 devir	55-60	0.92-1.00
	Halka	Kedibaşında 2 devir	45	0.75
Venezüella	Halka	Kedibaşı	43	0.72

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

$$ER = \frac{E_{ölçülen}}{E_{teorik}} 100$$

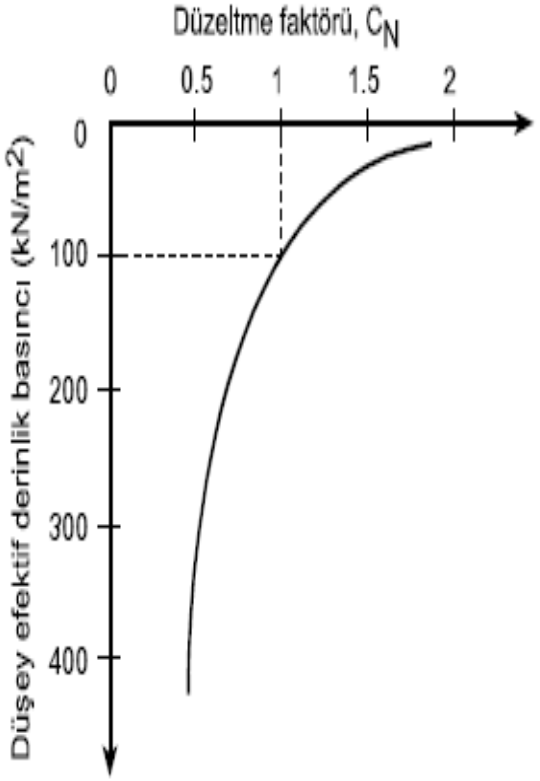
Referans	Tokmak tipi	ER (%)	C_E
Seed ve diğ. (1984)	Otomatik	78	1.3
	Güvenli	60	1.0
	Halka	45	0.75
Seed ve diğ. (1985)	Halka	45	0.75
	Güvenli	60	1.00
	Trip	100	1.67
Youd ve Idriss (1997)	Halka	30-60	0.50-1.00
	Güvenli	42-72	0.70-1.20
	Otomatik-trip halka	48-78	0.80-1.30
Durgunoğlu ve diğ. (2000)	Güvenli	52-60	0.87-1.00

Derinlik Düzeltme Faktörleri (C_N): Farklı derinliklerde ölçülen SPT-N değerlerini karşılaştırmak için, ölçülen SPT-N değeri 100 kPa'lık standart üst tabaka gerilmesine (σ_{v0}') göre uyarlanmalıdır. Ayrık daneli zeminlerin (kum) penetrasyon direnci, fazlasıyla çevre basıncına bağlıdır. Aynı kum için sığ derinlikte yapılan bir SPT, daha derinde yapılan SPT'den daha düşük SPT-N değerine sahip olacaktır. N_{arazi}, C_N ile çarpılarak çevre basıncı ektileri karşılanır. Jeolojik gerilmenin 100 kPa dan küçük olduğu derinliklerde derinlik düzeltme faktörü uygulanmaz. C_N'nin çeşitli araştırmacılar tarafından tavsiye edilen ampirik denklemler Tablo 3.6'da özetlenmiştir.

Tablo 3.6. Jeolojik Yük düzeltme faktörleri (C_N).

Referans	**Düzeltme faktörü (C_N)**	
Teng (1962)	$C_N = \frac{50}{(10+0.145\sigma_v')}$	
Bazaraa (1967)	$C_N = \frac{4}{(1+0.04\sigma_v')}$	$\sigma_v' \leq 72$ kPa
	$C_N = \frac{4}{(3.25+0.01\sigma_v')}$	$\sigma_v' > 72$ kPa
Peck et al. (1974)	$C_N = 0.77\log_{10}\left(\frac{2000}{\sigma_v'}\right)$	
Seed (1976)	$C_N = 1\text{-}1.25\log_{10}\sigma_v'$	
Tokimatsu ve Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{(0.7+0.01\sigma_v')}$	
Liao ve Whitman (1986)	$C_N = \sqrt{\frac{1}{0.01\sigma_v'}}$	
Skempton (1986)	$C_N = \frac{2}{(1+0.01\sigma_v')}$	orta sıkılıkta ince kumlar
	$C_N = \frac{3}{(2+0.01\sigma_v')}$	normal konsolide sıkı kaba kumlar
	$C_N = \frac{1.7}{(0.7+0.01\sigma_v')}$	aşırı konsolide ince kumlar

σ_v' birim olarak kPa dır.



Yer Altı Su Seviyesi İçin Düzeltmeler: Suya doygun gevşek çok ince veya siltli kumlar için zeminde, yükün dinamik şekilde uygulanması ve zeminin düşük geçirimliliği yüzünden pozitif boşluk suyu basıncı oluşur. Bu pozitif boşluksuyu basınçları, numune kaşığının penetrasyonuna karşı koyan zeminin kayma dayanımını azaltır. Bu yüzden, böyle gevşek zeminlerin SPT-N değeri azalır. Bunun yanında suya doygun sıkı, çok ince veya siltli kumlarda penetrasyon deneyi, penetrasyon direncini artıran negatif boşluksuyu basınçları meydana getirebilir ve böylece SPT-N değeri artar. SPT suya doygun çok ince veya siltli kumlarda yapıldığında, ölçülen $SPT\text{-}N_{arazi}$ değerleri, dinamik boşluk suyu basıncı etkileri için düzeltilmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Meyerhof, 1956). Terzaghi ve Peck (1967)'e göre düzeltme yalnızca ölçülen $SPT\text{-}N_{arazi}$ değerlerinin 15'den büyük olduğu durumlar için gerekmektedir.

$$N_{arazi} > 15 \text{ için} \qquad N = 15 + \frac{N_{arazi} - 15}{2} \tag{3.7}$$

Bu düzeltme yapılmazsa, suya doygun orta sıkı, çok ince kum ve siltli kumun izafi sıkılığı, SPT sonuçlarından aşırı yüksek tahmin edilebilir.

SPT Verilerinin Kullanımı

- **Relatif sıkılık, D_r**
- **Kayma mukavemeti (içsel sürtünme açısı), ϕ**
- **Kıvam**
- **Drenajsız kayma mukavemeti, c_u**
- **Kayma dalgası hızı, v_s**
- **Zeminlerin sıvılaşma analizlerinde**
- **Kaba daneli zeminler üzerine inşa edilen temellerin tasarımında**

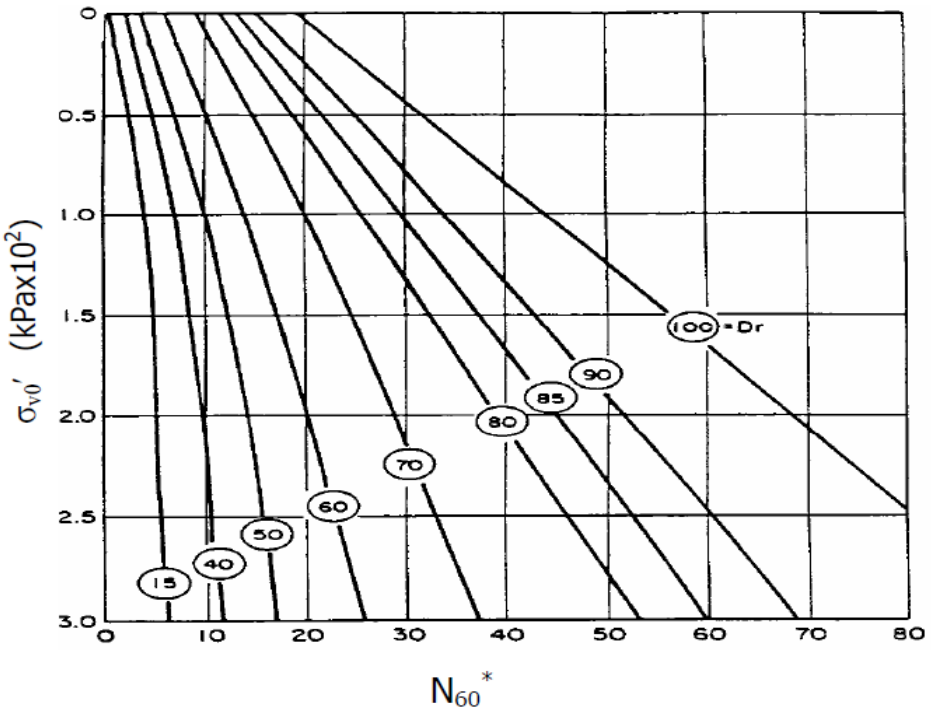
1- Rölatif sıkılık, D_r

Zemin Türü	İzafi Sıkılık (D_r)	Parametreler ve Birimler	Referans
Normal konsolide kumlar	$D_r = \left(\frac{N^*_{60}}{1.7(10 + 0.15\sigma'_v)} \right)^{0.5}$	σ_v' = Efektif düşey gerilme (kPa)	Gibbs ve Holtz (1957)
Normal konsolide silika kum	$D_r = \left(\frac{N^*_{60}}{16 + 0.234\,\sigma'_v} \right)^{0.5}$	σ_v' =Deney derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Meyerhof (1956)
Kaba kumlar	$D_r = \left(\frac{N^*_{60}}{22 + 0.773\,\sigma'_v} \right)^{0.5}$ $\sigma_v' < 75$ kPa $D_r = \left(\frac{N^*_{60}}{66 + 0.193\,\sigma'_v} \right)^{0.5}$ $\sigma_v' \geq 75$ kPa	σ_v' =Deney derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Peck ve Bazaraa (1969)
Normal konsolide kumlar	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{b + a\sigma'_v} \right)^{0.5}$ Kum aşırı konsolide ise b'yi C_f ile arttır. $C_f = \left(\frac{1 + 2K_0}{1 + 2K_{0,NK}} \right)$ Burada, K_o aşırı konsolide kumun efektif yanal gerilmenin düşey gerilmeye oranı, $K_{o,NK}$ normal konsolide kumun efektif yanal gerimenin düşey gerilmeye oranı ($\approx$1-sinϕ) dır.	N_{60}= % 60 teorik mak. enerjiye göre düzeltilmiş N a= 0.3 (ortalama değer) b= 30 (ortalama değer)	Skempton (1986)
Çakıllı zeminler	$D_r = 22(N^*_{60})^{0.57}\sigma'^{-0.14}_v$ (İnce kum) $D_r = 18(N^*_{60})^{0.57}\sigma'^{-0.14}_v$ (Çakıl % 25) $D_r = 25(N^*_{60})^{0.44}\sigma'^{-0.13}_v$ (Çakıl % 50) $D_r = 25(N^*_{60})^{0.46}\sigma'^{-0.12}_v$ (Kumlar)	σ_v' = Efektif düşey gerilme (kPa)	Yoshida ve İkemi (1988)

Sıkılık

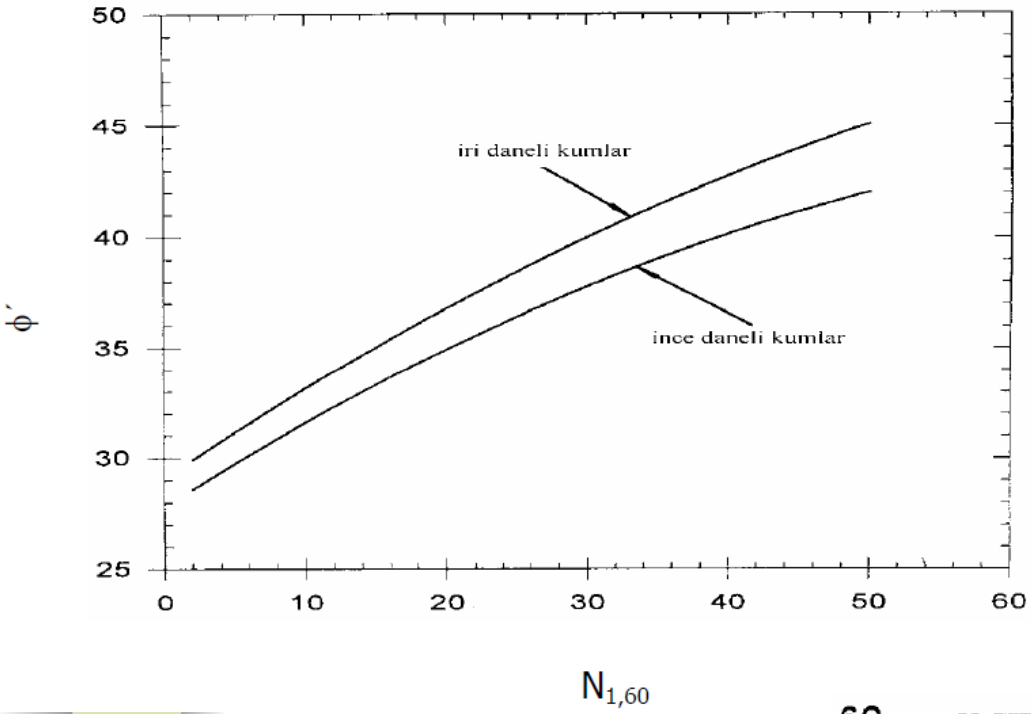
Tablo 3.16. Standart penetrasyon direnci ve izafi sıkılık aralarındaki ilişkiler.

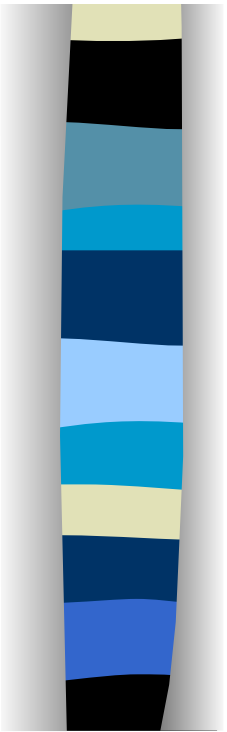
Dane yerleşim durumu	$^{1}N_{60}{}^{*}$ $^{2}N_{1,60}{}^{*}$	**İzafi sıkılık D_r (%)**			
		Meyerhof (1956)[1]	Bowles (1968)[1]	Duncan ve Buchignani (1976)[2]	Mitchell ve Katti (1981)[2]
Çok gevşek	< 4	< 20	< 15	< 15	< 15
Gevşek	4 - 10	20 - 40	15 - 35	13 - 35	15 - 35
Orta sıkı	10 - 30	40 - 60	35 - 65	35 - 65	35 - 65
Sıkı	30 - 50	60 - 80	65 - 85	65 - 85	65 - 85
Çok sıkı	> 50	> 80	85 - 100	85 - 100	85 - 100

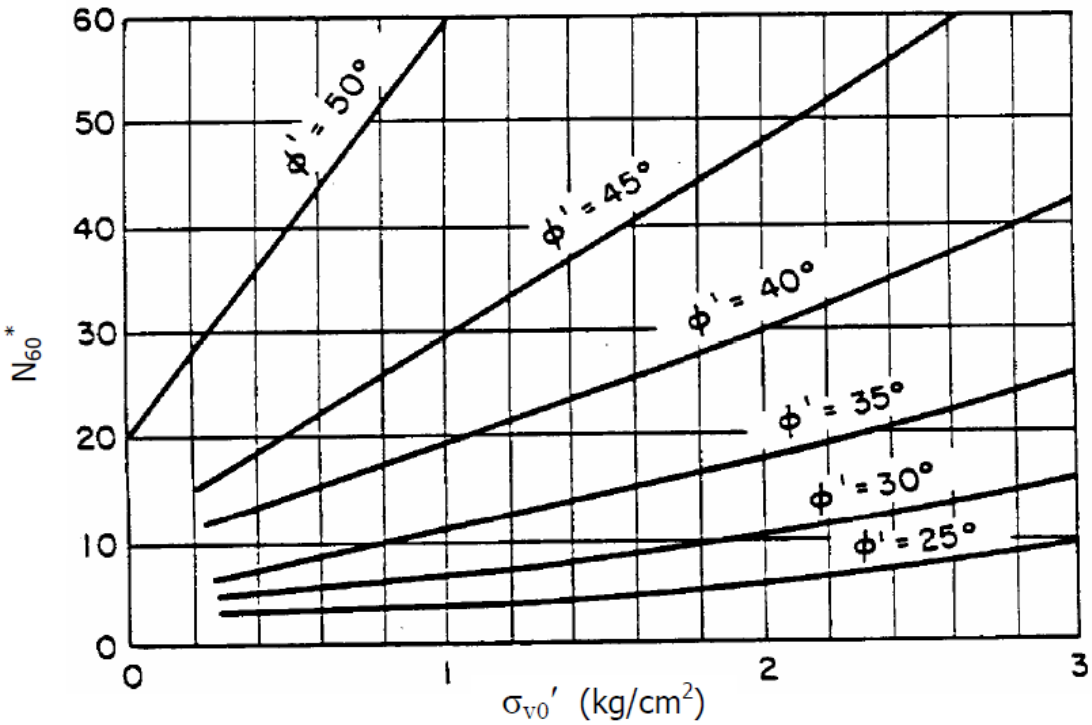


2- Kayma mukavemeti açısı, ϕ

Zemin Cinsi	ϕ' (°)	Referans
Köşeli ve iyi derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 25$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve iyi derecelenmiş veya köşeli ve üniform derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 20$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve üniform decelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 15$	Dunham (1954)
Kumlu	$\phi' = (12N_{60}^*)^{0.5} + 15$	Ohsaki ve diğ. (1959)
Kaba Daneli	$\phi' = 3.5(N_{60}^*)^{0.5} + 20$	Muromachi ve diğ. (1974)
Kumlu	$\phi' = (15N_{60}^*)^{0.5} + 15 > 45$ (N>5)	Japan Road Association (1990)
Kumlu	$\phi' = (20N_{1,60}^*)^{0.5} + 20$ $N_{1,60}^*$= SPT-N'nin Liao ve Whitman (1986) bağıntısını kullanarak 100 kPa jeolojik basıçla normalize edilmiş şekli. McGregor ve Duncan (1998) bu korelasyon için N_1 yerine $N_{1,60}$ yani $(N_1)_{60}$ kullanmayı tavsiye etmektedir.	Hatanaka ve Uchida (1996)


50
45
40
35
30
25
0
10
20
30
40
50
60
ϕ'
iri daneli kumlar
ince daneli kumlar
N1,60




60
50
40
30
20
10
0
0
1
2
3
N60*
ϕ' = 50°
ϕ' = 45°
ϕ' = 40°
ϕ' = 35°
ϕ' = 30°
ϕ' = 25°
σv0' (kg/cm2)

3- Serbest basınç mukavemeti, q_u

Yapılan Çalışmalar	Zemin Cinsi	q_u (kPa)
Sanglerat (1972) ve Tomlinson (1986)	Kil	25N
	Siltli Kil	20N
Sowers (1979)	Yüksek Plastisiteli Kil	25N
	Orta Plastisiteli Kil	15N
	Düşük Plastisiteli Kil	7.5N
Nixon (1982)	Kil	24N
Kulhawy ve Mayne (1990)	Killi zemin	$58N^{0.72}$

Kıvam

Tablo 3.23. SPT-N'e göre killi zeminlerin kıvamı ile q_u arasındaki değerler.

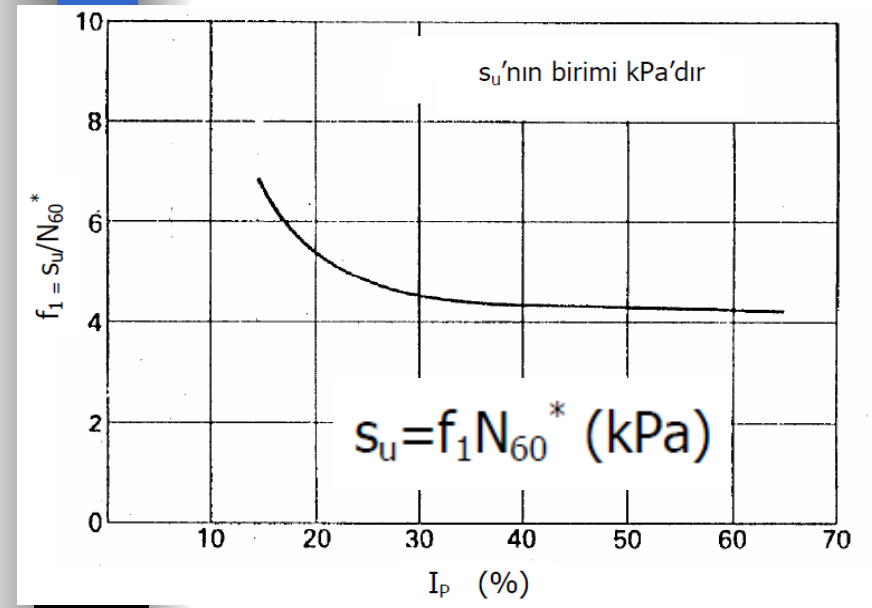
Zemin Kıvamı	Terzaghi ve Peck (1967)		Bowles (1968)	
	SPT-N_{60}*	q_u (kPa)	SPT-N_{60}*	q_u (kPa)
Çok Yumuşak	< 2	< 25	< 2	0 - 25
Yumuşak	2 - 4	25 - 50	2 - 4	25 - 50
Orta Katı	4 - 8	50 - 100	4 - 8	50 - 100
Katı	8 - 15	100 - 200	8 - 16	100 - 200
Çok Katı	15 - 30	200 - 400	16 - 32	200 - 400
Sert	> 30	> 400	> 32	> 400

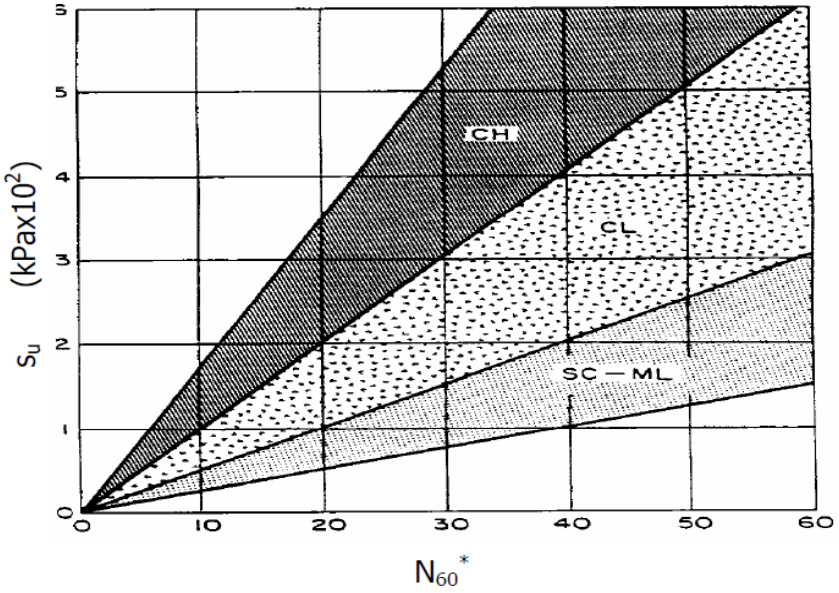
$$q_u = 12.5N_{60}$$

Sivrikaya ve Toğrol (2002)

Zemin sınıfı	Veri sayısı, n	q_u=aN	R	SE
CH	113	$q_u=9.70N_{arazi}$	0.83	±80 kPa
		$q_u=13.63N_{60}$	0.80	±86 kPa
CL	72	$q_u=6.70N_{arazi}$	0.76	±64 kPa
		$q_u=9.85N_{60}$	0.73	±68 kPa
Killer	185	$q_u=8.65N_{arazi}$	0.82	±82 kPa
		$q_u=12.38N_{60}$	0.77	±85 kPa
Killi zeminler	226	$q_u=8.64N_{arazi}$	0.80	±78 kPa
		$q_u=12.36N_{60}$	0.78	±81 kPa
	38	$q_u=(6.20+0.19Ip)N_{60}$ $N_{60}<25$		

4- Drenajsız kayma mukavemeti, c_u





Tablo 3.27. SPT- N ile s_u arasındaki ilişkiler (Sivrikaya ve Toğrol, 2007).

Zemin Cinsi	s_u kPa	s_u kPa	s_u^* kPa
	SB	KD	AV
CH	$6.8N_{60}$ R=0.80 SE=±86	$8.8N_{60}$ R=0.80 SE=±39	$8.3N_{60}$ R=0.87 SE =±10
CL	$4.9N_{60}$ R=0.73 SE=±68	$5.8N_{60}$ R=0.75 SE=±21	$4.9N_{60}$ R=0.83 SE=±5
Killer	$6.2N_{60}$ R=0.77 SE=±85	$7.6N_{60}$ R=0.76 SE=±36	$6.7N_{60}$ R=0.75 SE=±11
Killi Zeminler	$6.2N_{60}$ R=0.78 SE=±81	$7.0N_{60}$ R=0.71 SE=±35	$5.8N_{60}$ R=0.79 SE =±10

SPT'NİN TÜRKİYEDEKİ UYGULAMASI

- Literatürde mevcut birçok korelasyon bağıntılarında düzeltmelerin olup olmadığı, varsa hangilerinde olduğu konusunda net bir bilgi bulunmadığından bu formüllerin kullanımı bazan karmaşaya sebep olmaktadır. Dolayısıyla, korelasyon denklemleri kullanılmadan önce, korelasyon için hangi deney tipi sonuçları kullanıldığı, SPT düzeltmeleri içerip içermediği, hangi zeminler için geçerli olduğu ve istatistiksel anlamlılığının bilinmesi gerekir.
- Türkiye'de kullanılan aletler ve uygulama standartlarına göre, SPT düzeltme faktörleri C_C =1, C_B = 1, C_A = 0.85, C_S = 1.2, C_E = 0.75 olarak alınabilir. Ülkemizde killi zeminler için tüm düzeltmeleri içeren ifade SPT-N_{60} = $C_E C_R C_S C_A N_{arazi}$ şeklini almakla beraber daha basit ve aynı sonucu veren SPT-N_{60} = 0.75$C_R N_{arazi}$ kullanılabilir.
- Killi zeminler için geliştirilen s_u = aN ilişkisindeki "a" katsayılarının, gerek deney tipi ve gerekse SPT düzeltmeleri bakımından, Terzaghi ve Peck (1967) (a=6.25) ve Stroud (1974) (a=4~7)'in önerdikleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Diğer araştırmacıların önerdikleri katsayılar ise oldukça yüksek değerlerdir.
- N ile s_u arasında bulunan korelasyonlar, daha önceden tavsiye edilen korelasyonlardan oldukça farklı çıkmasının (Stroud 1974 ve Terzaghi ve Peck 1967 hariç), ülkeden ülkeye farklılık arz eden SPT aletleri ve prosedürden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Her deney türünden elde edilen s_u ile ham verilerden (N_{arazi}) elde edilen korelasyon sonuçların tüm zemin grubu için hiç bir zaman Terzaghi ve Peck (1967)'in önerdiği sonuçları aşmadığı gözlenmiştir. Ancak Terzaghi ve Peck (1967)'in önerdiği korelasyon kullanılırken, düzeltilmiş N değerleri kullanılmalıdır.
- SPT kullanılarak, serbest basınç mukavemeti (q_u) ve drenajsız kayma mukavemeti (s_u) gibi zemin özellikleri büyük bir doğrulukla belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ve sıkışma modülü (M_c) gibi zemin özelliklerinin belirlenmesi için önerilen korelasyonların kullanılmasının doğru olmayacağı belirlenmiştir. Ancak bu önerilen bağıntılar, projelerin ön tasarım aşamasında geoteknik mühendisine bir fikir vereceği düşünülerek dikkate alınabilir.

5- Kayma dalgası hızı, v_s

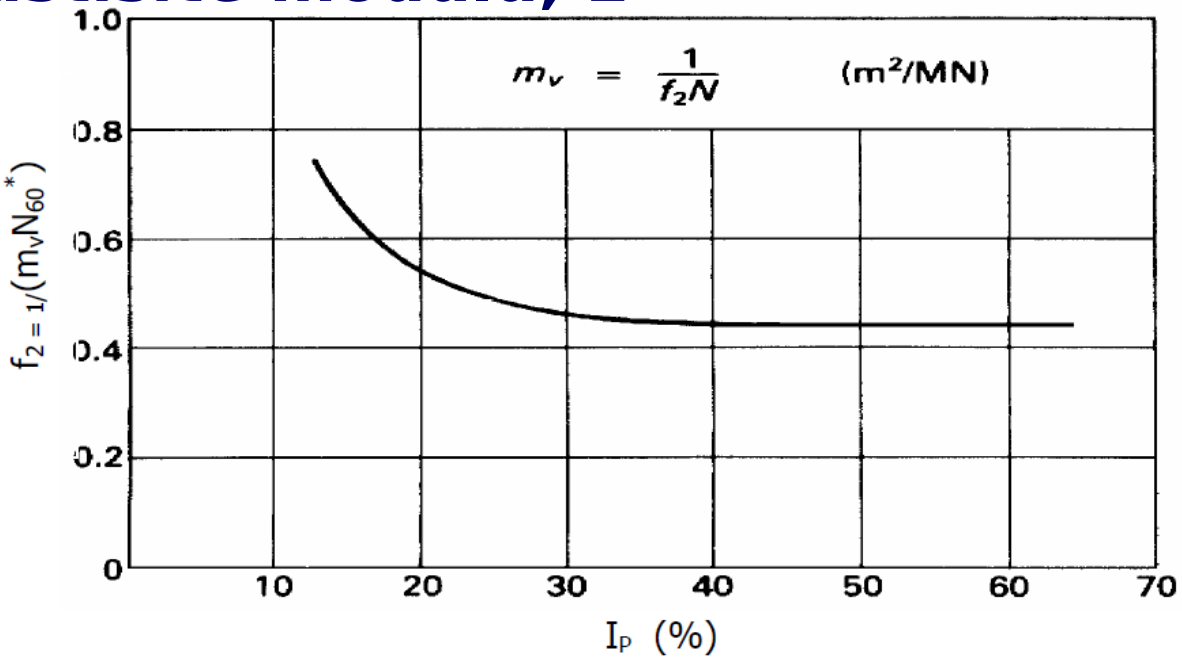
Yapılan Çalışmalar	Zemin Cinsi	v_s (m/sn)
İmai ve Yoshimura (1970)	Tüm	$76N^{0.33}$
İmai ve diğ. (1976)	Tüm	$89.8N^{0.341}$ n=756
İmai (1977)	Halosen (H) Kil	$102N^{0.29}$
	Halosen (H) Kum	$81N^{0.33}$
	Pleistosen (P) Kil	$114N^{0.29}$
	Pleistosen (P) Kum	$97N^{0.32}$
Ohta ve Goto (1978)		$69N^{0.17}D^{0.2}EF$, n=300
	Kil	F=1.00, E=1(H) veya 1.3(P)
	İnce kum	F=1.09, E=1(H) veya 1.3(P)
	Orta kum	F=1.07, E=1(H) veya 1.3(P)
	Kaba kum	F=1.14, E=1(H) veya 1.3(P)
	Çakıllı kum	F=1.15, E=1(H) veya 1.3(P)
	Çakıl	F=1.45, E=1(H) veya 1.3(P)
İmai ve Tonouchi (1982)	Tüm	$97N^{0.314}$, n=1654 r=0.868
Okamoto ve diğ. (1989)	Pleistosen (P) Kum	$125N^{0.3}$
İyisan (1996), Aşağı ve karşıt kuyu deneyleri yapılmıştır.	Tüm	$51.5N^{0.516}$ n=65 r=0.81
	Tüm	$61N^{0.267}(10\sigma_{v0}')^{0.283}$ n=65 r=0.83
	Kil (CL)	$47.3N^{0.324}(10\sigma_{v0}')^{0.27}$ n=65 r=0.90
	Kum (SM)	$54N^{0.332}(10\sigma_{v0}')^{0.221}$ n=65 r=0.64
	Çakıl (GP, GM)	$205.7N^{0.074}(10\sigma_{v0}')^{0.177}$ n=65 r=0.53

6- Dinamik kayma modülü, G_0

Tablo 3.21. Dinamik kayma modülü ile SPT-N arasındaki ilişkiler.

Yapılan Çalışmalar	Zemin Cinsi	G_0
NAVFAC (1982).	Tüm	$12000(N_{60}{}^{*})^{0.8}$ (kPa)
İmai ve Tonouchi (1982)	Tüm	$14400N^{0.68}$ n=1654, r=0.867 (kPa)
İmai ve Yokota (1982)	Kil (PS log)	$31800N^{0.37}$ (kPa)
	Kum (PS log)	$16800N^{0.51}$ (kPa)
	Kil (Rezonans Kolon)	$21900N^{0.28}$ (kPa)
	Kum (Rezonans Kolon)	$16700N^{0.38}$ (kPa)
Seed ve diğ., (1986)	Tüm	$20000(N_{1,60})^{1/3}(0.0479\sigma_0')^{1/2}$ (kPa) σ_0' = ortalama efektif gerilme (kPa)

7- Hacimsel sıkışma katsayısı,m_v ve Elastisite modülü, E



Young modülü (E) ile hacimsel sıkışma modülü ($M_c=1/m_v$) arasında aşağıdaki gibi ilişki vardır (McGregor ve Duncan, 1998).

Gevşek kumlar için $E = 0.65M_c$ (3.10)

Sıkı kumlar için $E = 0.85M_c$ (3.11)

Tablo 3.20. SPT yöntemi ile belirlenen gerilme - deformasyon modülü için formüller (Tan ve diğ., 1991).

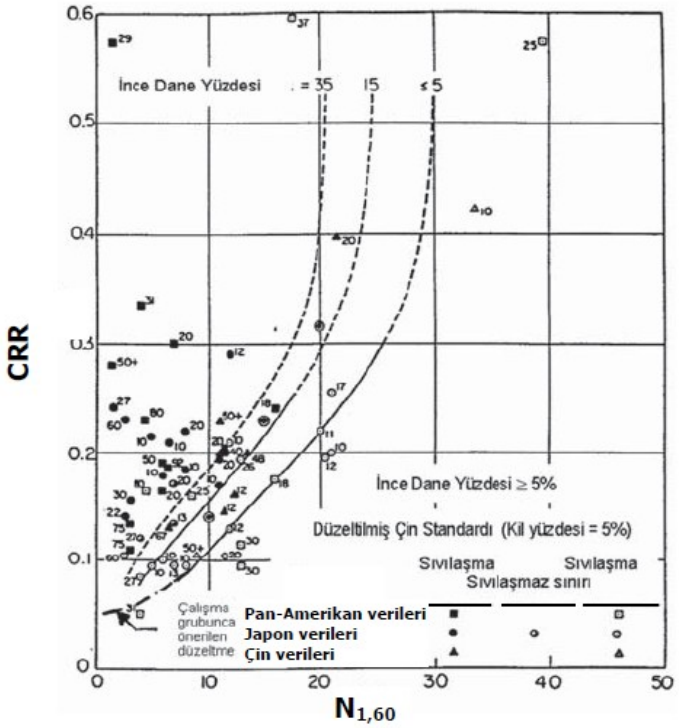
Zemin cinsi	**Gerilme-deformasyon modülü, E_s, (kPa)**
Normal konsolide kum	$E_s = 500\ (N_{60}^{*} + 15)$ $E_s = (15000 \sim 22000)\ \ln N_{60}^{*}$
Aşırı konsolide kum	$E_s = 18000 + 750 N_{60}^{*}$ $E_{s,AK} = E_{s,NK}(AKO)^{0.5}$
Çakıllı kum ve çakıl	$E_s = 600\ (N_{60}^{*} + 6), \quad N_{60}^{*} < 15$ $E_s = 600\ (N_{60}^{*} + 6) + 2000, \quad N_{60}^{*} > 15$
Killi kum	$E_s = 320\ (N_{60}^{*} + 15)$
Siltli kum	$E_s = 300\ (N_{60}^{*} + 6)$

8- Sıvılaşma potansiyeli analizleri

Depremin Neden Olduğu Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR)

$$CSR = \frac{\tau_{tek}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{maks}}{g} \right)$$

Tekrarlı Mukavemet Oranı (CRR)



Şekil 3.30. Temiz kum - siltler ve M_w = 7.5 için CRR grafiği (Seed ve diğ., 1985).

$$G_s = \frac{CRR}{CSR}$$

9- SPT ile Sığ Temellerin taşıma gücü

Meyerhof (1956) maksimum oturmayı 25 mm kabul ederek, müsade edilebilir taşıma gücünü kPa olarak aşağıdaki ifadelerle vermiştir:

$$q_a = 12Nk_d \qquad B \le 1.22\ m$$

$$q_a = 8N\left(\frac{B+0.305}{B}\right)^2 k_d \qquad B > 1.22\ m$$

Burada, $k_d = 1+0.33\left(\frac{D_f}{B}\right) \le 1.33$ olmalıdır.

Bu ifadelerde N, temel seviyesinin B/4 kadar üstü ile bu seviyenin 1.5B altı arasındaki kesimde ölçülen N'lerin ortalamasıdır.

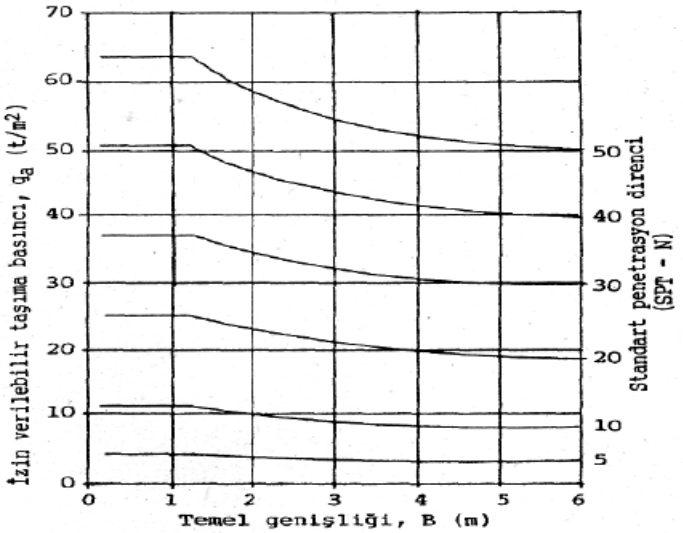
Bowles (1988) Meyerhof ifadelerine bir düzeltme getirerek, aşağıdaki şekle sokmuştur:

$$q_a = 20Nk_d \qquad B \le 1.22\ m$$

$$q_a = 12.5N\left(\frac{B+0.305}{B}\right)^2 k_d \qquad B > 1.22\ m$$

10- SPT ile Sığ Temellerin Oturma Hesabı

İlk olarak Terzaghi ve Peck (1948), YASS'nin temel altından 2B den daha derin durumlarda, 25 mm'lik oturma veren uygulanan basınç (q_{net}), SPT-N değeri ve temel genişliğine (B) arasındaki ilişkiyi temsil ederek SPT-N ile izin verilebilir (emniyetli) taşıma gücünü (q_a) veren ilişkiyi önermiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Emniyetli temel gerilmenin SPT-N ile belirlenmesi (Terzaghi ve Peck, 1967).

Herhangi bir oturma durumu için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir. Burada q_a Şekil 3.27'den bulunan müsaade edilebilir taşıma gücü, q_{net} net temel taban basıncıdır.

$$\Delta H_t = 25\frac{q_{net}}{q_a}$$

Meyerhof (1965), bu ilk çalışmaların çok tutucu sonuçlar verdiğini ileri sürerek aşağıdaki eşitlikleri önermiştir.

B < 1.22 m temeller için $$s = \frac{1.9q}{N}$$

B > 1.22 m temeller için $$s = \frac{2.84q}{N}\left(\frac{B}{B+0.33}\right)^2$$

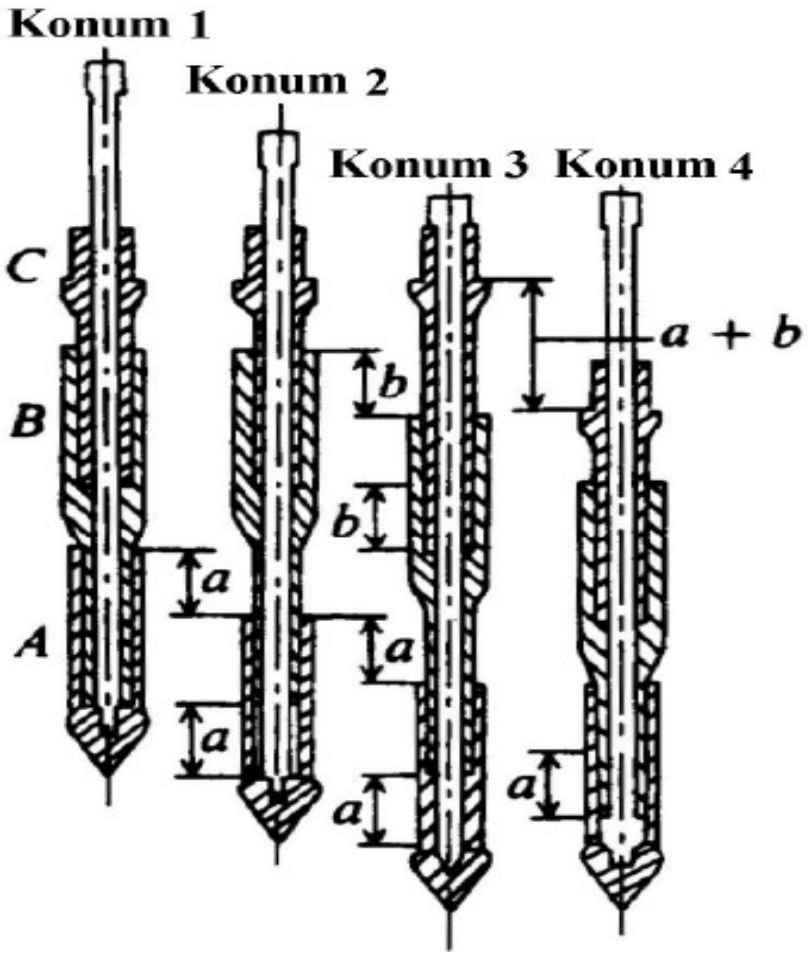
Geniş radye temeller için $$s = \frac{2.84q}{N}$$

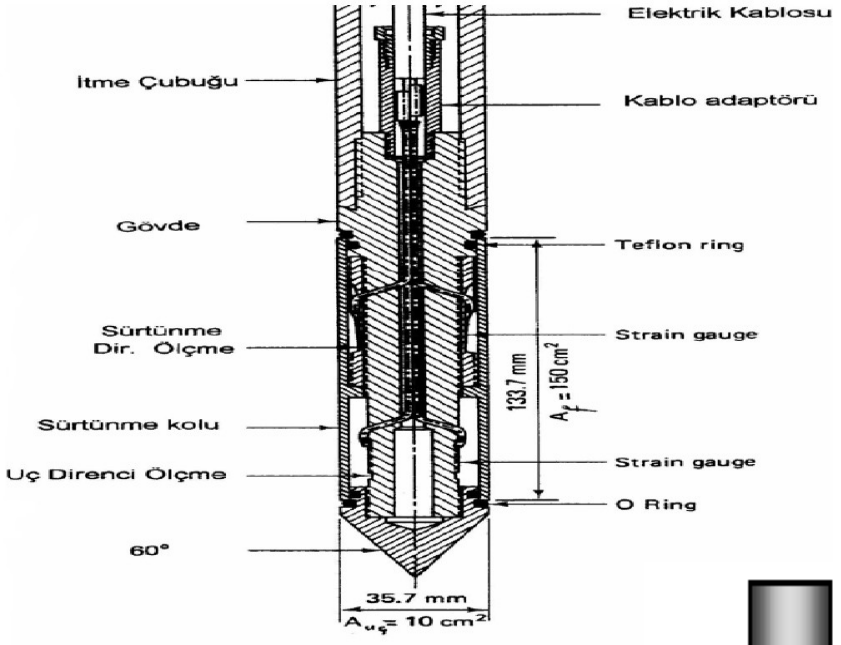
Burada q uygulanan temel basıncı (kPa), B temel genişliği (m), N temel altından 1B derinlik boyunca ortalama N değeri (N_{ort}), ve s oturma (mm)'dır. Meyerhof (1965) ve Peck ve Bazaraa (1969), Terzaghi ve Peck yaklaşımının oldukça tutucu sonuçlar verdiğini ve dolayısıyla q_a'nın % 50 artırılmasını tavsiye etmişlerdir. Peck ve Bazaraa (1969), ayrıca SPT-N değerinde jeolojik yük düzeltilmesi (C_N) yapılması gerektiğini ve YASS'ni dikkate alan yaklaşımı önermiştir.

Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)

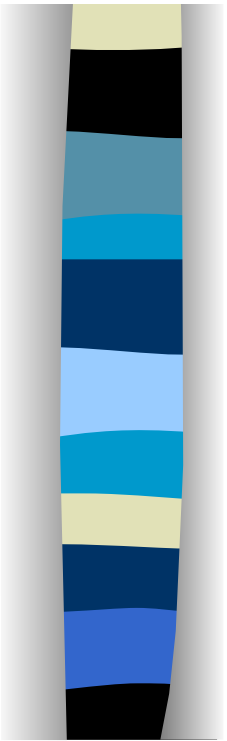
- İlk olarak 1930'larda Hollanda da ortaya çıkmış olup 1950'lerde daha da geliştirilmiştir.
- CPT türleri
  - Mekanik koni
  - Elektrik koni
  - Piezokoni
  - Sismikpiezokoni

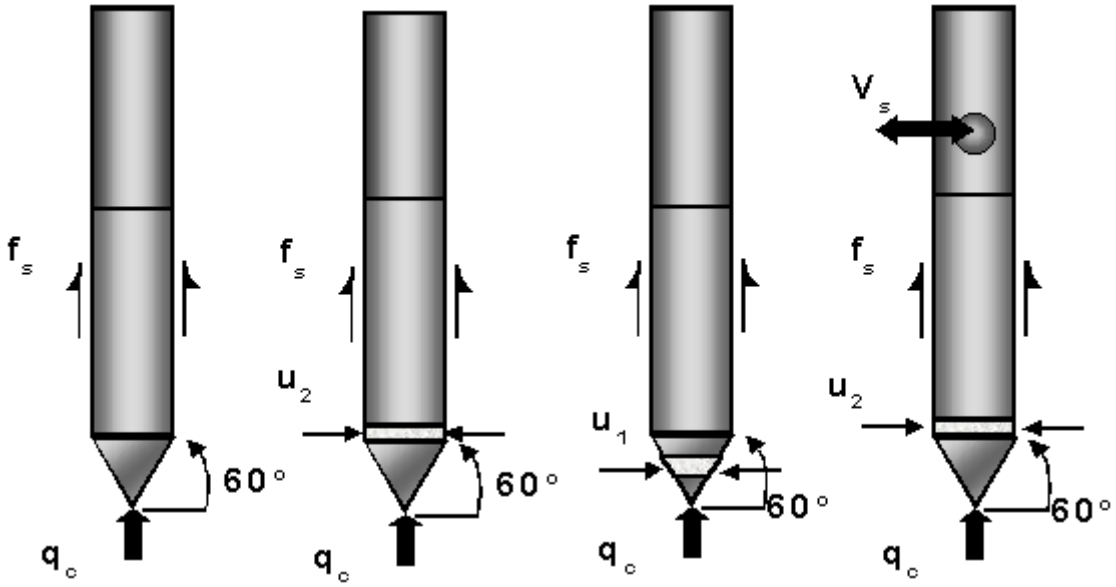
Mekanik Konik



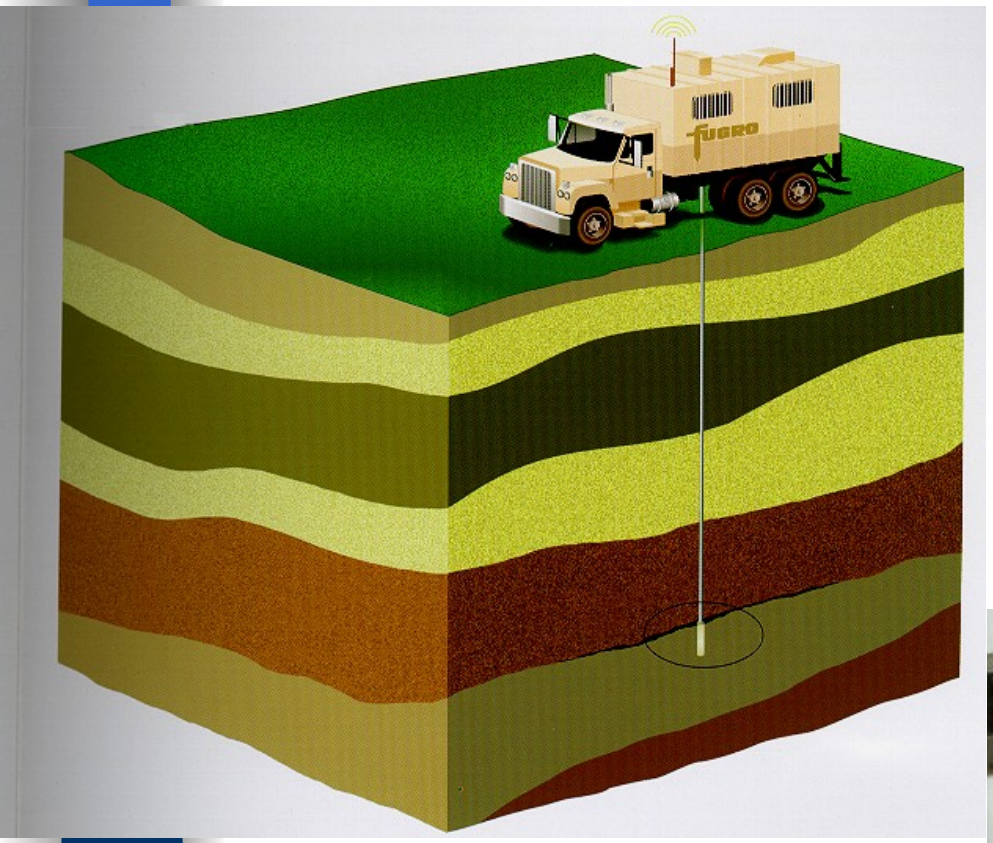


Elektrik Konik

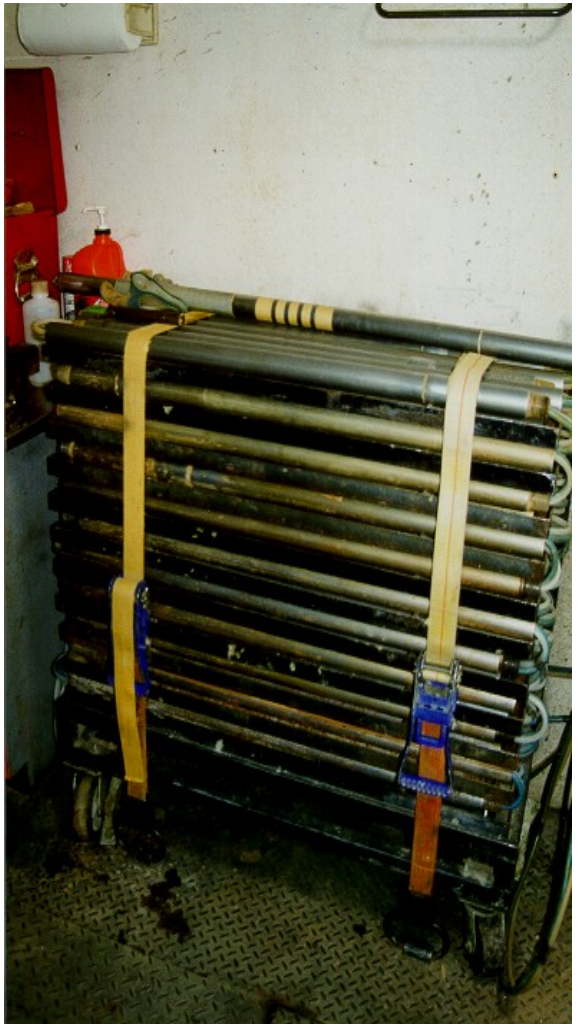




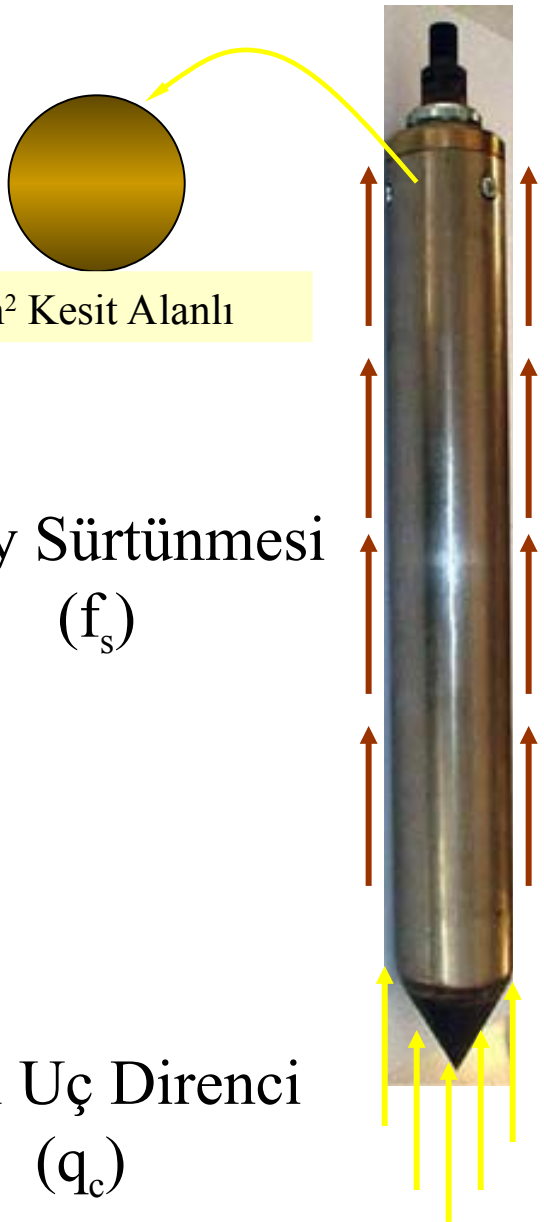
Elektrik koni Piezokoni
Sismikpiezokoni


FUGRO

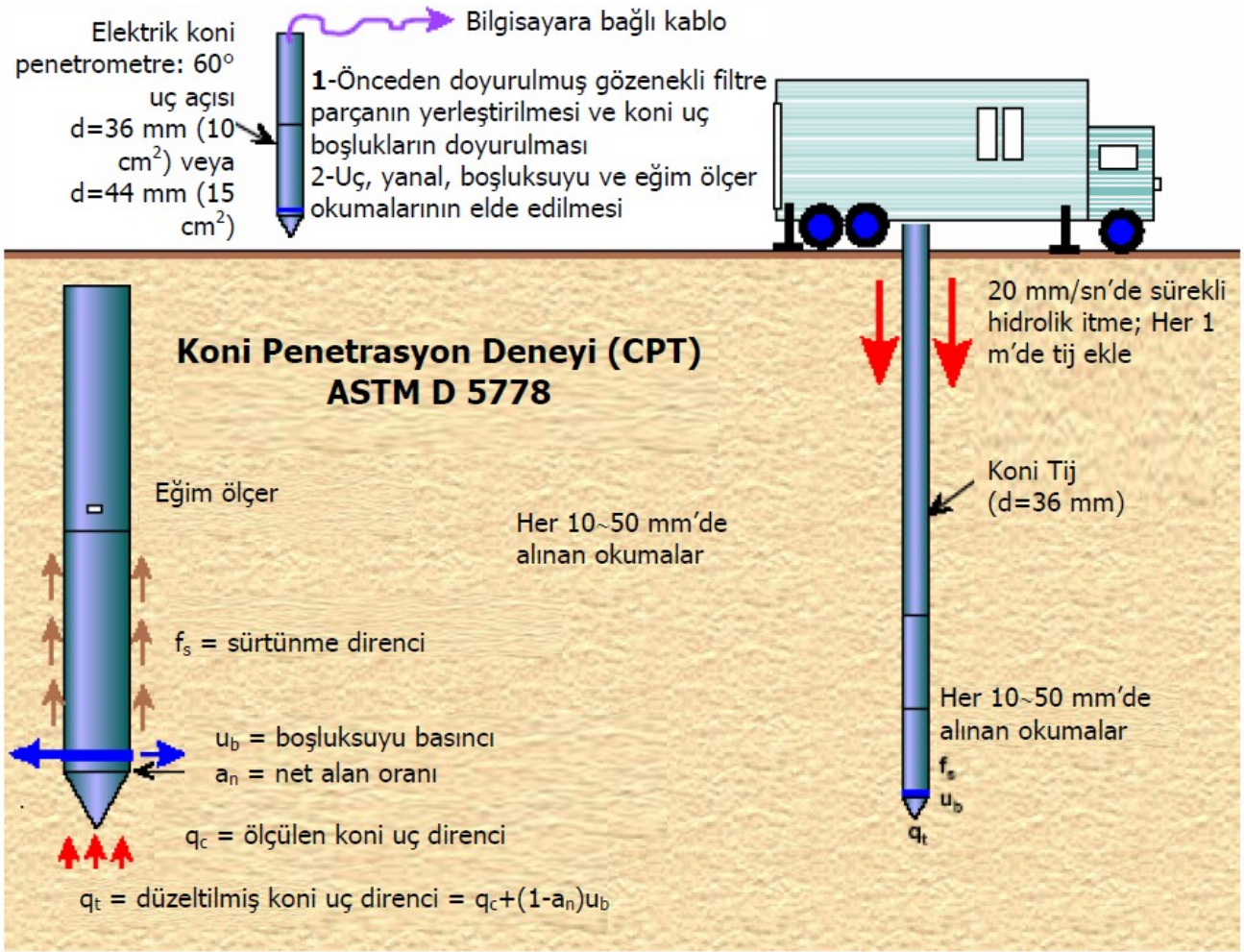
CPT Araçları



- **Zemine 2 cm/s hızla itilerek girdirilir.**
- **Derinlik boyunca sürekli yapılabilir.**
- **Yumuşak kil, silt ve ince orta kum zeminlerde uygundur.**



$$q_c = \frac{Q_{uç}}{10} \; (kg/cm^2)$$



Şekil 5.6. Deneyin Ekipmanı ve Uygulanması (Mayne ve diğ., 2001).

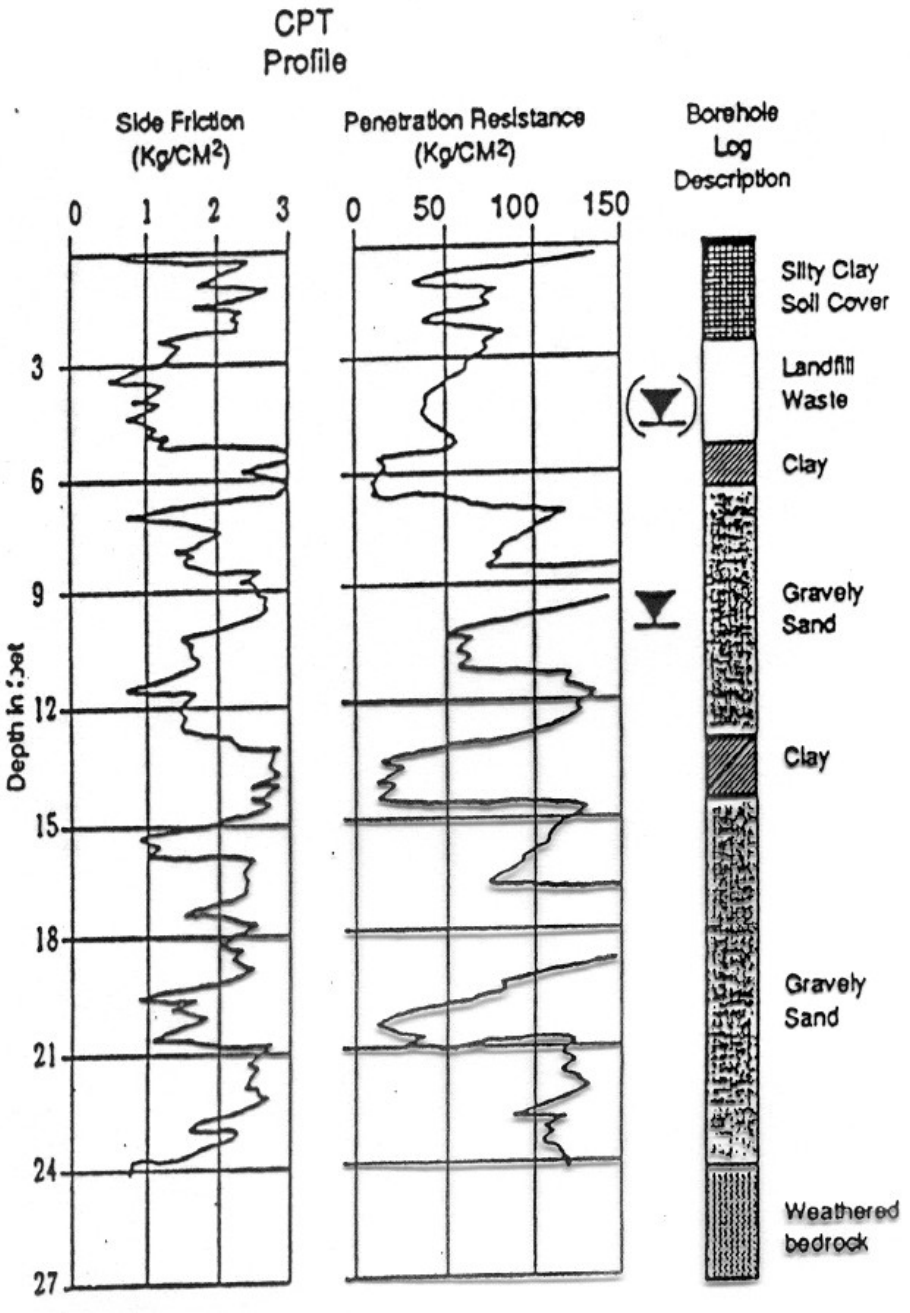
CPT Dataları

- Ölçülenler:
  - Koni uç direnci, q_c
  - Sürtünme direnci, f_c
  - Boşluksuyu basıncı, u
  - Kayma dalgası hısı, v_s

- Tipik CPT sonuçları

Sürtünme Oranı (R_f) $R_f = \frac{f_c}{q_c} 100$

Net uç direnci (q_n) $q_n = q_t - \sigma_v$

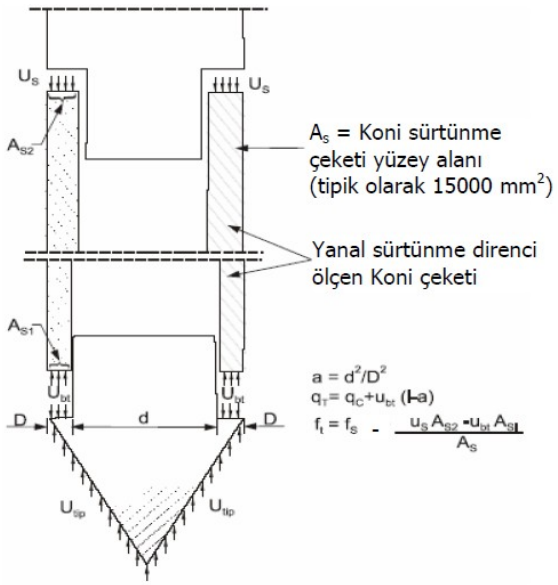


CPT'de Yapılan Düzeltmeler

Boşluk Suyu Basıncı Düzeltmesi

$$q_t = q_c - u_2(1 - a)$$

$$f_t = f_c - \frac{uA_{sb}}{A_s}$$

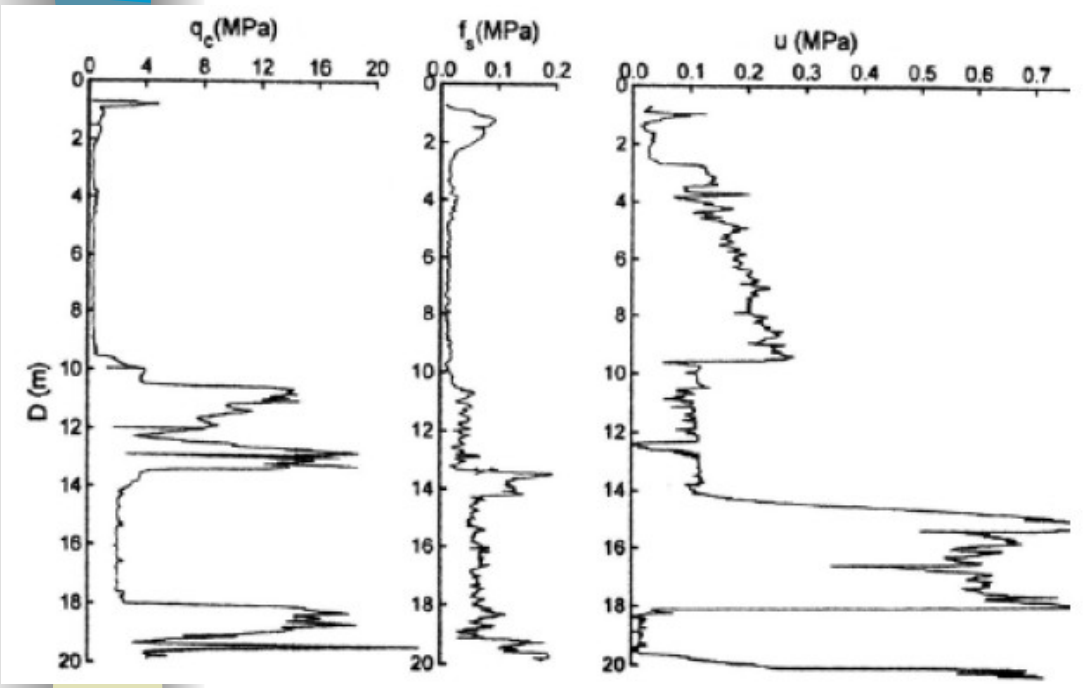


Tabakalaşma Düzeltmesi

$$q_c^* = q_{c2}K_c = q_{c2}\left[0.25\left(\frac{H}{17d_c} - 1.77\right)^2 + 1\right]$$

Jeolojik Gerilme Düzeltmesi

$$q_{c1} = C_N q_c = \left(\frac{100}{\sigma'_v}\right)^{0.5} q_c$$

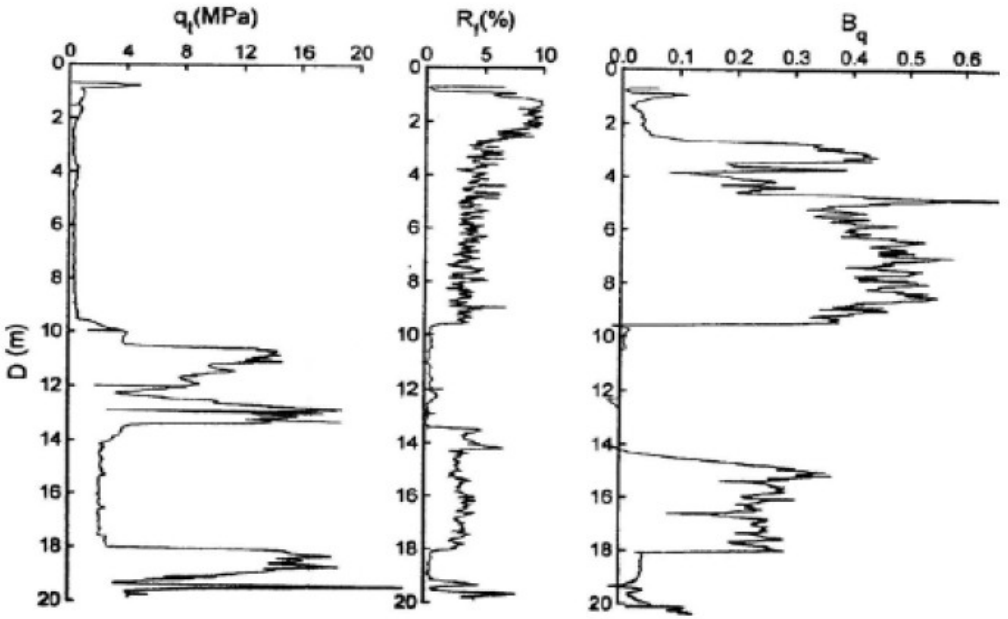


CPT sonuçları aşağıdaki gibi de normalize edilebilir:

Normalize edilmiş uç direnci $$Q_t = \frac{q_t - \sigma_v}{\sigma'_v}$$

Normalize edilmiş sürtünme oranı $$F_r = \frac{f_c}{q_t - \sigma_v}$$

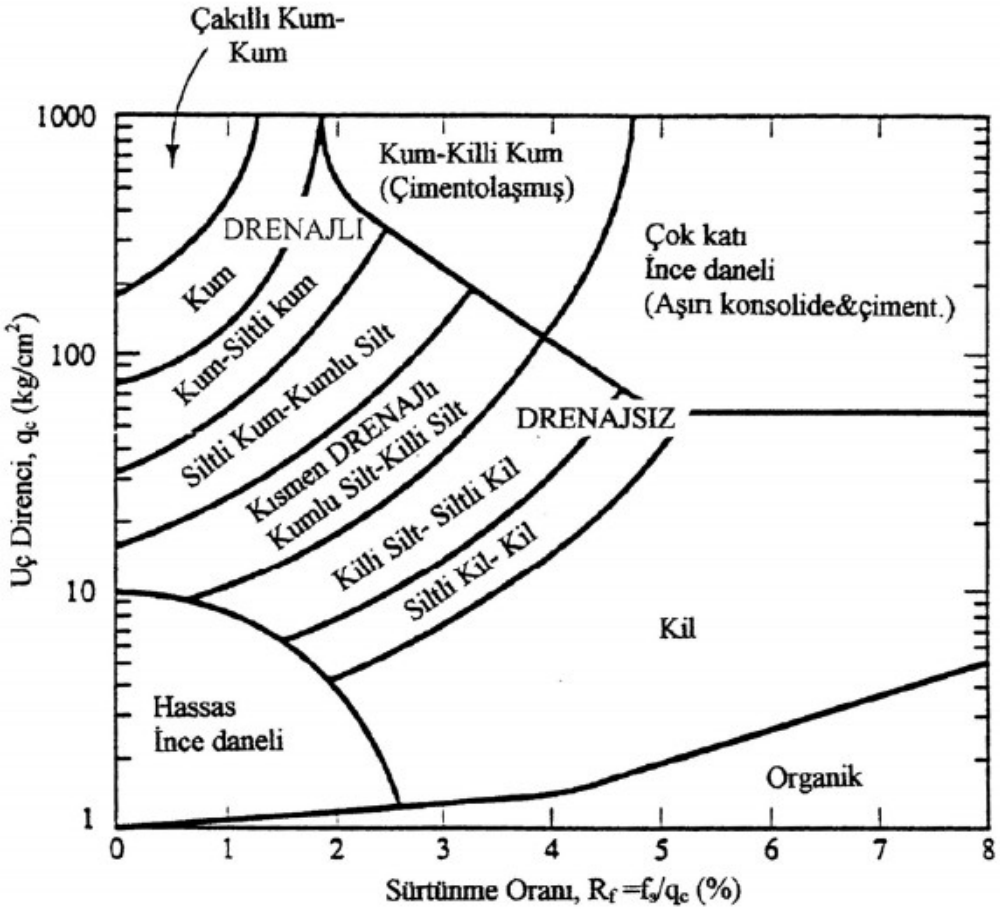
Boşluk suyu basıncı oranı $$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_v}$$



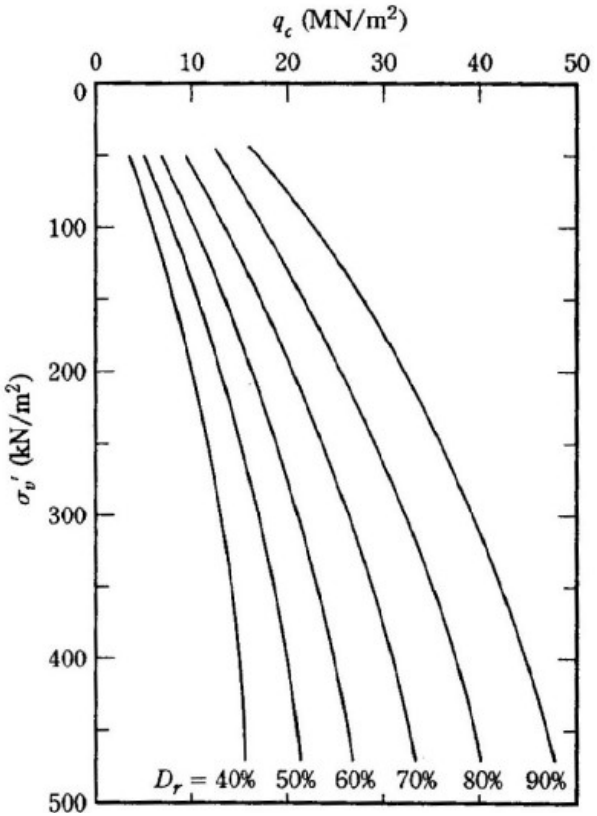
CPT Verilerinin Kullanımı

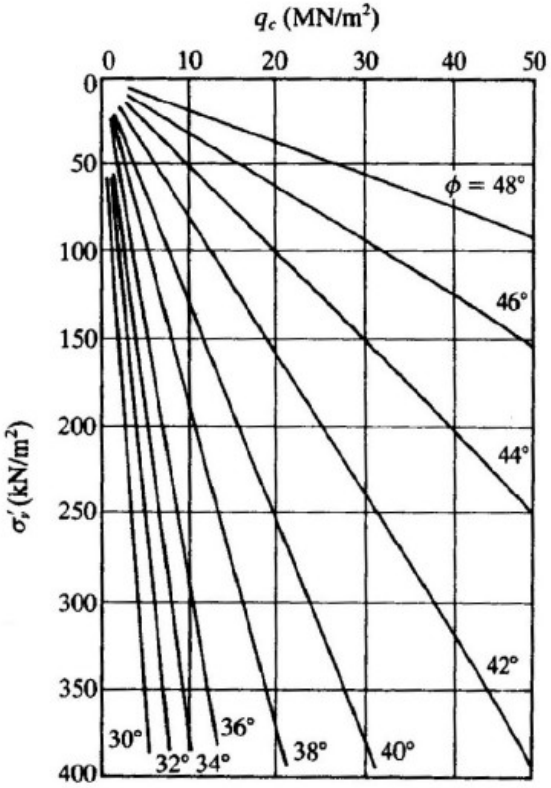
- **Zeminlerin sınıflandırılması**
- **Relatif sıkılık, D_r**
- **İçsel sürtünme açısı, ϕ**
- **Drenajsız kayma mukavemeti, c_u**
- **Ön konsolidasyon basıncı - AKO**
- **Zeminlerin sıvılaşma analizlerinde**
- **Kaba daneli/alüvyon zeminler üzerine inşa edilecek temellerin tasarımında**

1- Zeminlerin sınıflandırılması



2- Rölatif sıkılık, D_r





3- Kayma mukavemeti açısı, ϕ

$\phi = 29° + (q_c)^{0.5}$

Meyerhof (1976), ϕ ile q_c (MPa) arasında aşağıdaki eşitliği önermiş olup, bulunan değer, çakıllar için 5° artırılmalı, siltli kumlar için ise 5° azaltılmalıdır.

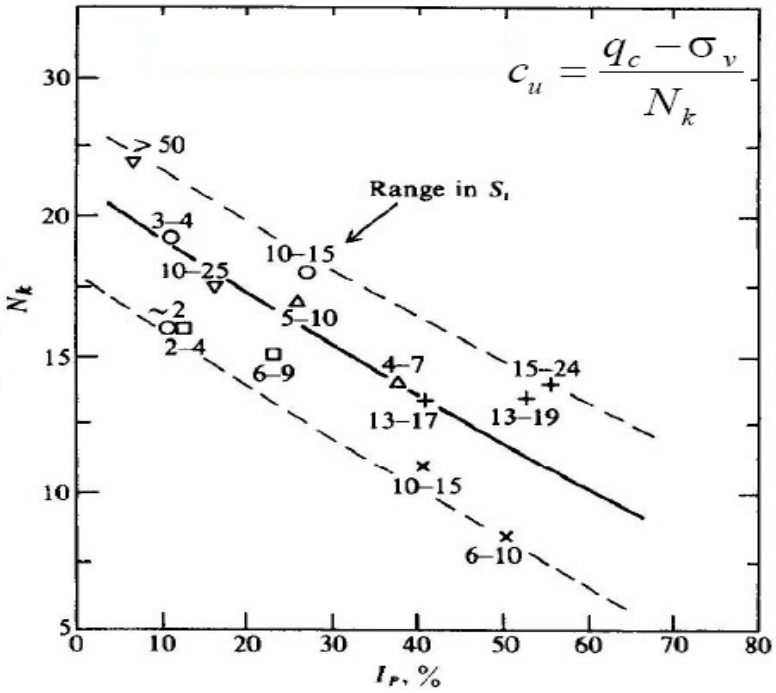
4- Drenajsız kayma mukavemeti, c_u

$$s_u = \frac{(q_c - \sigma_v)}{N_k}$$

$$s_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

$$N_{kt} = 13 + \frac{5.5}{50} I_p \qquad (\pm 2)$$

Burada q_c uç direnci, σ_v toplam gerilme ve N_k koni faktörüdür. N_k, genelde 10-30 çoğunlukla 15-20 arasındadır. N_k, I_p'ye bağlı bir parametredir (Şekil



Düşük hassalığa (S_t < 4) sahip ve I_p < %30 için normal konsolide killerde yaklaşık olarak N_k = 18 ve N_{kt} = 14 alınabilir.

5- Ön konsolidasyon basıncı, σ_p

$\sigma_p = 0.243 q_c^{0.96}$ Mayne ve Kemper (1988)

$\sigma_p = 0.33(q_t - \sigma_v)$

$\sigma_p = 0.47(u_1 - u_0)$ Kulhawy ve Mayne (1990)

$\sigma_p = 0.54(u_2 - u_0)$

6- Aşırı Konsolide Oranı, AKO

$$AKO = 0.37\left(\frac{q_c - \sigma_v}{\sigma'_v}\right)^{1.01}$$ Mayne ve Kemper (1988)

$$AKO = \frac{2.3B_q}{3.7B_q - 1}$$ Chang (1991), St < 8 killer için

- Sükunet halindeki yanal zemin basınç katsayısı, K_0

$$K_0 = 0.1\left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma'_v}\right)$$ Kulhawy ve Mayne (1990)

8- Deformasyon Özellikleri

Tablo 5.2. q_c ile E_s arasındaki ilişkiler (Bowles, 1996).

Kum (normal konsolide)	$E_s = 800(q_c)^{0.5}$
Kum (aşırı konsolide)	$E_s = (6\sim30)q_c$
Killi Kum	$E_s = (3\sim6)q_c$
Siltler, kumlu silt, killi silt	$E_s = (1\sim6)q_c$
Yumuşak Kil, killi silt	$E_s = (3\sim8)q_c$

Kulhawy ve Mayne (1990), sıkışma modülü ile uç direnç arasında aşağıda belirtilen eşitliği belirlemiştir. Burada M_c sıkışma modülü olup, $M_c = \alpha q_c = 1/m_v$ dır.

$$M_c = 8.25(q_T - \sigma_v)$$

Tablo 5.3. CPT deneyinde alfa değerleri (Sanglerat, 1972; Lunne ve diğ., 1997).

Zemin türü	**q_c MPa**	α
CL	≤ 0.7	3 - 8
	0.7 - 2	2 - 5
	≥ 2	1 - 2.5
ML	< 2	3 - 6
	≥ 2	1 - 3
CH ve MH	< 2	2 - 6
	> 2	1 - 2
OL	< 1.2	2 - 8
OH ve Turba	< 0.7 için	
	50<w<100	1.5 - 4
	100<w<200	1 - 1.5
	w≥300	< 0.4
Kum	< 5	2
	>1 0	1.5

9- Kayma dalgası hızı, v_s

Araştırmacı	Zemin türü	v_s (m/s)	
İyisan (1996)	Kil ve Kum	$55.3q_c^{0.377}$	q_c (kg/cm^2) R=0.80
		$41q_c^{0.212}\sigma_v^{461}$	q_c (kg/cm^2) R=0.82
Mayne ve Rix (1995)	Kil	$1.75q_c^{0.627}$	q_c (kPa)
İyisan ve diğ. (2000)	Tüm	$12.6q_c^{0.363}$	q_c (kPa) n=45, R=0.80

10- SPT-N ile q_c arasındaki ilişkiler

N_{60} ile q_c arasındaki ilişki (Robertson ve diğ., 1986)

Zemin Türü	$\frac{(q_c/p_a)}{N_{60}}$
İnce daneli hassas	2
Organik zeminler	1
Kil	1
Slitli kil-kil	1.5
Killi silt-siltli kil	2
Kumlu silt-killi silt	2.5
Siltli kum-kumlu silt	3
Kum-siltli kum	4
Kum	5
Çakıllı kum-kum	6
İnce daneli, sert	1
Kum-killi kum	2

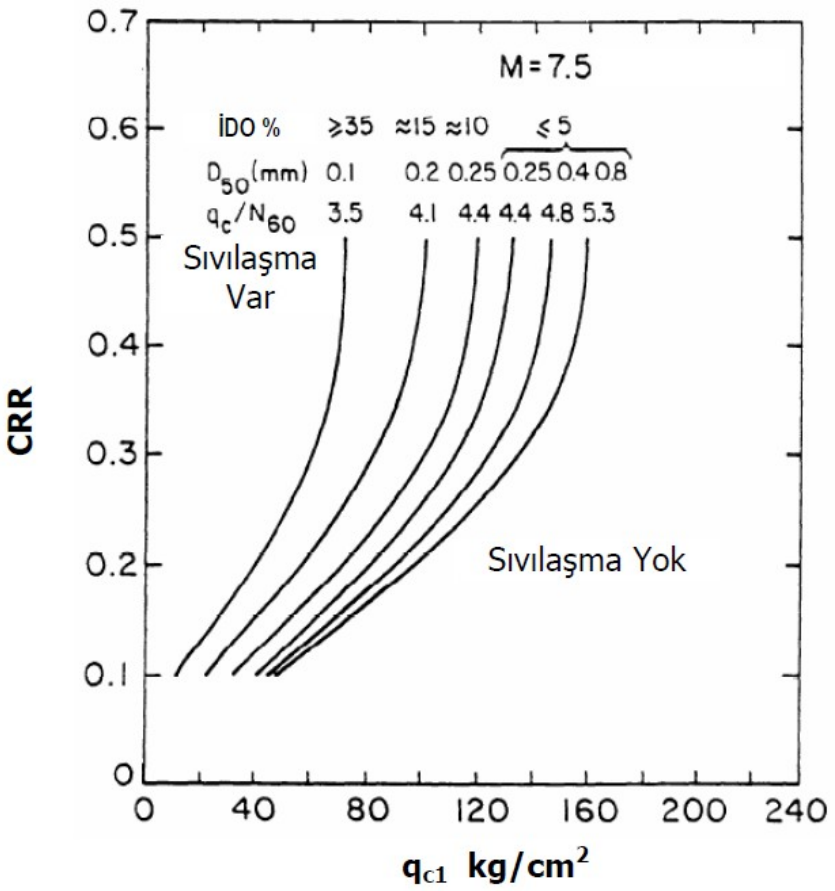
11- Sıvılaşma potansiyeli hesabı

Depremin Neden Olduğu Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR)

$$CSR = \frac{\tau_{tek}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}\right)\left(\frac{a_{maks}}{g}\right)$$

$$G_s = \frac{CRR}{CSR}$$

CPT'den Tekrarlı Mukavemet Oranı (CRR)



Şekil 5.14. M = 7.5 depreminde CRR ile q_{c1} arasında ilişki (Seed ve de Alba, 1986).

12- CPT ile Sığ Temellerin taşıma gücü

Killi zeminlerde:

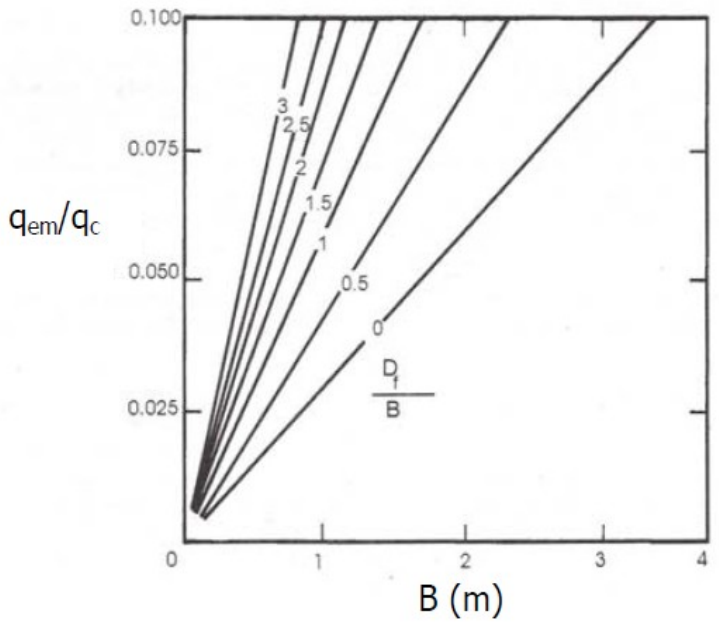
Şerit temel için, $q_{sınır} = 2 + 0.28 q_c$

Kare temel için, $q_{sınır} = 5 + 0.34 q_c$

Ayrık daneli zeminlerde:

Şerit temel için, $q_{sınır} = 28 - 0.0052(300 - q_c)^{1.5}$

Kare temel için, $q_{sınır} = 48 - 0.009(300 - q_c)^{1.5}$



Şekil 5.16. CPT ile taşıma gücü hesabı (CGS, 1985)

$$q_d = q_c \left(\frac{B}{C_1} \right) \left[1 + \frac{D_f}{B} \right] \approx R_k q_c + \sigma$$

Burada C_1=12.2m, R_k=0.14-0.2, s ise hesaplama derinliğinde etkiyen toplam gerilme değeridir. Formüldeki q_c temel altından en az B derinliğe kadar ölçülmüş koni uç dirençlerinin ortalaması olarak alınmalıdır.

13- CPT ile Kazık Temellerin taşıma gücü

Koni uç mukavemeti (q_c) ile çevre sürtünmesi (f_c), kazıkların uç mukavemeti (q_b) ve çevre sürtünmesinin (f_s) belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu, dolaylı olarak, önce zemin mukavemet parmetrelerinin belirlenmesi ve daha sonra bu parametrelerden kazık taşıma gücünün bulunması şeklinde olabilir. Ya da CPT sonuçlarını kullanarak kazık taşıma gücünün doğrudan belirlenmesi şeklinde yapılır.

Kazık taşıma gücünün doğrudan belirlenmesi amacıyla kullanılan, başlıca 6 yöntem bulunmaktadır (Eslami ve Fellenius, 1995):

- Schmertmann ve Nottingham yöntemi,
- deRuiter ve Beringen yöntemi,
- LCPC yöntemi,
- Meyehof yöntemi,
- Tümay ve Fakhroo yöntemi,
- Piyezokon için çıkartılan Eslami ve Fellenius yöntemi.

Nottingham (1975) ve Schmertmann (1978) tarafından geliştirilen bu yöntemde, kazık ucu seviyesinin üstünde 6D ile 8D (D, kazık çapı) kadar olan bölge ile, kazık ucu seviyesinin altında 0.7D ile 4D kadar olan bölgedeki ortalama koni uç mukavemeti q_c, ayrık daneli zeminlerde ve kilde kazık uç mukavemetine q_b eşit alınmaktadır. Maksimum değeri 15 MPa'ı geçemez.

$$q_{b\text{-kazık}} = q_c < 15 \text{ MPa} \qquad (5.41)$$

Kazık çevre sürtünmesi ise, koni çevre sürtünmesinden bulunmaktadır:

$$f_{s\text{-kazık}} = \lambda_1 f_c \qquad (5.42)$$

Burada λ_1 boyutsuz bir katsayıdır, kazığın biçimine, yapıldığı malzemeye, deney derinliğine bağlı olarak, ayrık daneli zeminlerde 0.8 ile 2.0 arasında, killi zeminlerde 0.2 ile 1.25 arasında değişen değerler alır.

Alternatif olarak ayrık daneli zeminlerde,

$$f_{s\text{-kazık}} = \lambda_2 q_c \leq 120 \text{ kPa} \qquad (5.43)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Böylece, kazık çevre sürtünmesi f_s, koni uç mukavemeti q_c ile ilişkilendirilmiş olmaktadır. λ_2'nin değeri kazık tipine bağlı olarak %0.8 ile %1.8 arasında değişir. Bu ifade ile belirlenen kazık çevre sürtünmesinin üst sınırı 120 kPa'dır.

14- CPT ile Sığ Temellerin oturması

Meyerhof (1974), CPT uç direnci sonuçlarını kullanarak kumlu zeminler üzerindeki temelin oturmasını doğrudan tahmin eden, basit fakat aynı zamanda muhafazakar bir yöntem önermiştir.

$$s = \frac{(q - \sigma'_v)B}{2\bar{q}_c}$$

Burada q temelin zemine uyguladığı ortalama taban basıncı, σ_v' temel tabanı seviyesindeki efektif gerilme, $\bar{q}_c$ temel tabanından B derinliğe kadar ölçülmüş koni uç dirençlerinin ortalamasıdır. Bu yaklaşım yaklaşık olarak Young modülünün $E = 2q_c$ kullanılmasına eşdeğerdir.

CPT günümüzde kumlu zeminlerde oturmaların hesaplanmasında en başarılı yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. En çok kullanılan Schmertmann (1970, 1978) ve Schmertman ve diğ., (1978) tarafından önerilen yöntemdir.

$$s = C_1 C_2 C_3 (q - \sigma'_{v1}) \sum_{i=1}^{n} \frac{I_{zi}}{E} \Delta z$$

Burada C_1 temel gömme derinliği düzeltme katsayısı, C_2 krip düzeltme katsayısı, C_3 temel boyut düzeltme katsayısı, q temelin zemine uyguladığı ortalama taban basıncı, σ_{v1}' temel tabanı seviyesindeki efektif gerilme, I_z deformasyon etki faktörü, I_{zi} zemin tabakanın ortasındaki I_z değeri, Δz tabaka kalınlığı ve $E = \alpha q_c$ olup eşdeğer Young modülüdür.

$$C_1 = 1 - 0.5\left[\frac{\sigma'_{v1}}{q - \sigma'_{v1}}\right] \geq 0.5$$

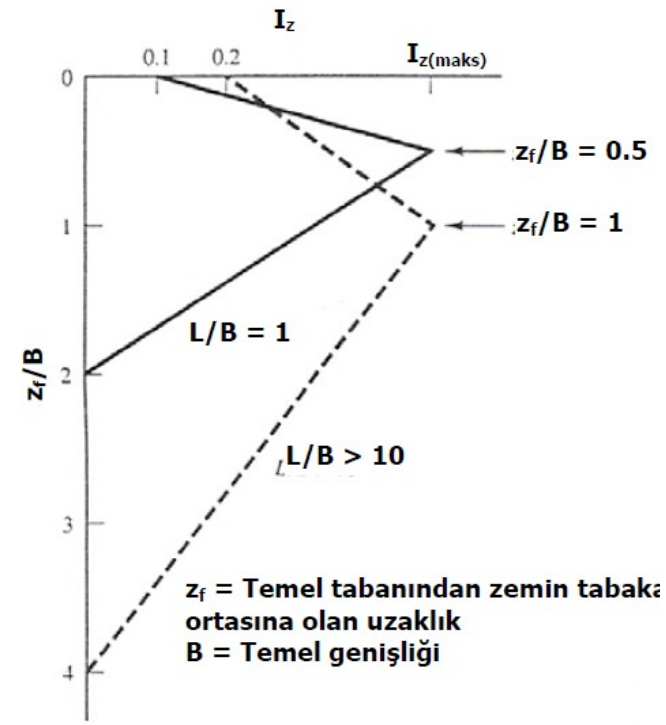
$$C_2 = 1 + 0.2\log\left(\frac{t}{0.1}\right)$$

$$C_3 = 1.03 - 0.03\frac{L}{B} \geq 0.73$$

Schmertmann (1978), kare temeller için C_3=1.25, şerit temel (L>10B) için C_3=1.75 önermiştir. Ayrıca genel kullanım için aşağıdaki önerilmiştir (Coduto, 1994).

Deformasyon etki faktörü (I_z) derinlikle değişmektedir. Maksimum I_z değeri ($I_{z(maks)}$) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_{z(maks)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\frac{q - \sigma'_{v1}}{\sigma'_{v2}}}$$



Tablo 5.8. CPT hesaplamaları için E_s değerleri (Mertol, 1984).

Kum Türü	Zemin Sınıfı (ASTM D2487)	E_s/q_c
Genç NL silisli kumlar(<100 yıl)	SW veya SP	2.5–3.5
Yaşlı NL temiz silisli kum(>3000 yıl)	SW veya SP	3.5–6.0
Aşırı konsolide kumlar	SW veya SP	6.0–10
NL siltli veya killi kumlar	SM veya SC	1.5
OC siltli veya killi kumlar	SM veya SC	3.0

Tablo 5.6. Temel tipine göre I_z'nin derinlikle değişimine ait ilişkiler

z_f	I_z
	Kare ve Daire Temeller için
0 - 0.5B	$0.1+(z_f/B)(2I_{z(maks)} - 0.2)$
0.5B - 2B	$0.67I_{z(maks)}(2-z_f/B)$
	Şerit temeller (L/B≥10) için
0 - B	$0.2+(z_f/B)(2I_{z(maks)} - 0.2)$
B - 4B	$0.33I_{z(maks)}(4 - z_f/B)$
	Dikdörtgen Temeller (1<L/B<10) için
B - 5B	$I_{zkare}+0.11(I_{z(şerit)} - I_{z(kare)})(L/B-1)$

CPT ile SPT Karşılaştırılması

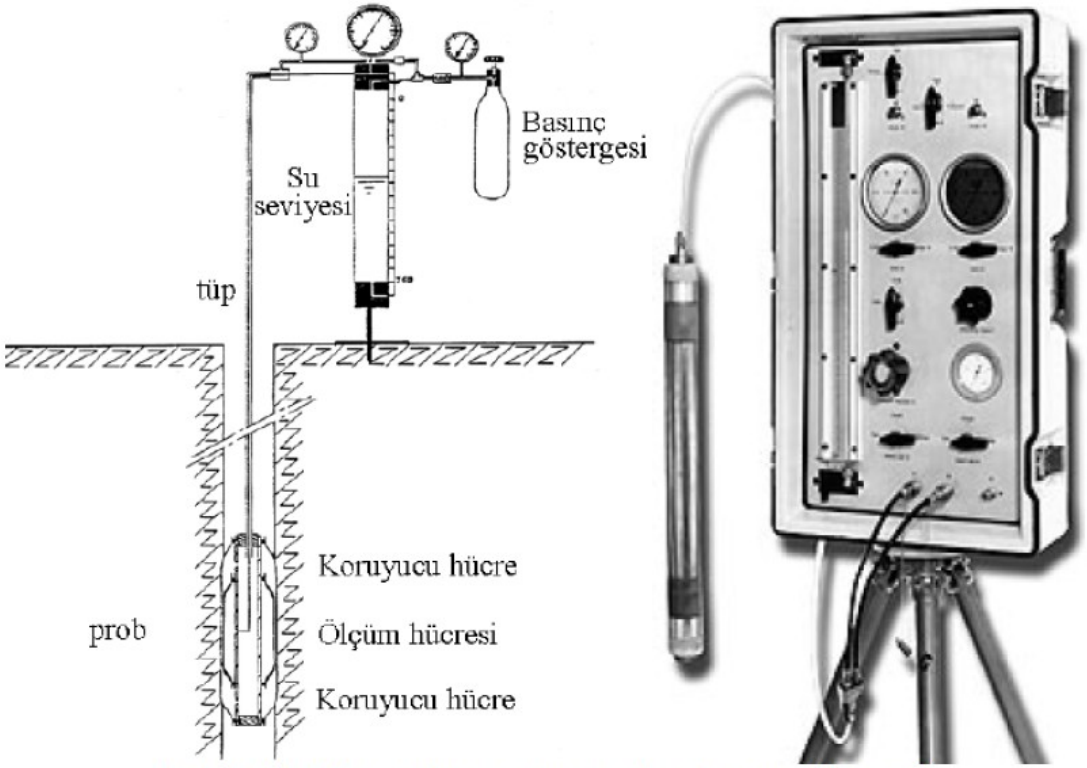
- **CPT’nin SPT’ye göre avantajları**
  - Daha hassas ve güvenilir sonuçlar verir
  - Çok yönlülük ; boşluksuyu basınçları, dinamik zemin özellikleri
- **CPT’nin Dezavantajları**
  - Numune alınamaz
  - Çakıllı zeminlerde uygulanamaz
  - Deneyin yapılışı için özel bir araca ihtiyaç vardır

Presiyometre Deneyi (PMT)

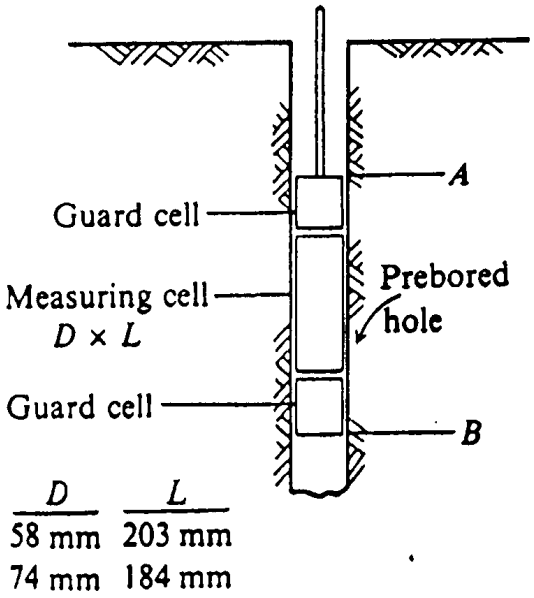
Pressiyometrelerin kapasiteleri genelde her türlü zemin koşullarında uygulanabilmesi açısından 2.5-10 MPa'dir. Sert zeminlerde ve zayıf kayaçlarda kapasitesi daha yüksek (10-20 MPa) olanlar kullanılmaktadır. Kaba çakıl içeren zeminlerde elastik membranın hasar görmesini önlemek için bu kısım bir koruyucu ile kaplanır. Elastik kısmın uzunluğu çapın 6 katından az olmamalıdır. Deney sonuçlarının yorumunda, kuyu duvarında genleşmeden dolayı oluşan oyuğun (cavity) deformasyon için yeteri kadar uzun ve silindirik olduğu kabul edilmektedir.

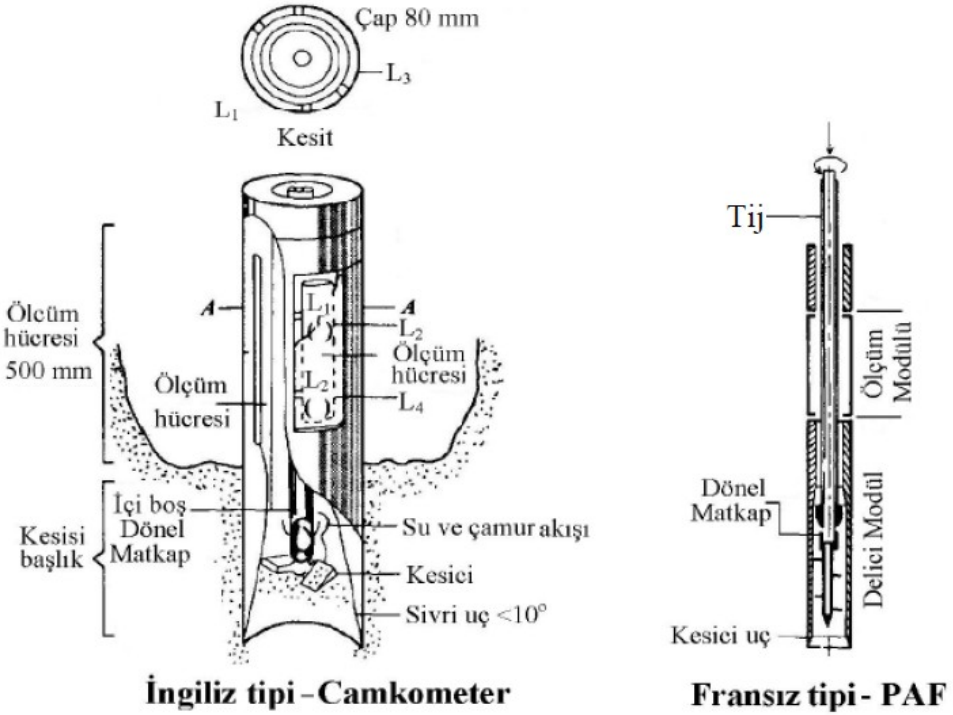
Presiyometrenin 4 temel tipi piyasada mevcuttur. Presiyometre çeşitleri arasındaki fark, zemine yerleştirme işleminden kaynaklanmakla birlikte çalışma prensipleri aynıdır. Bunlar:

- Menard tipi Pressiyometre, Kuyu Presiyometre (PBP)
- Kendinden delgili Pressiyometre (SBP)
- İtmeli Presiyometre (PIP)

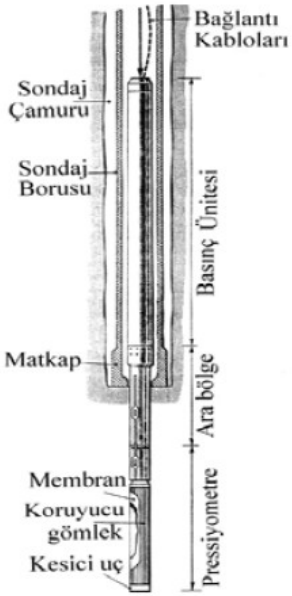


Şekil 7.1. Menard pressiyometre deney düzeneği





Şekil 7.2. Kendinden Delgili Pressiyometre



İtmeli pressiyometre (Henderson ve diğ., 1979

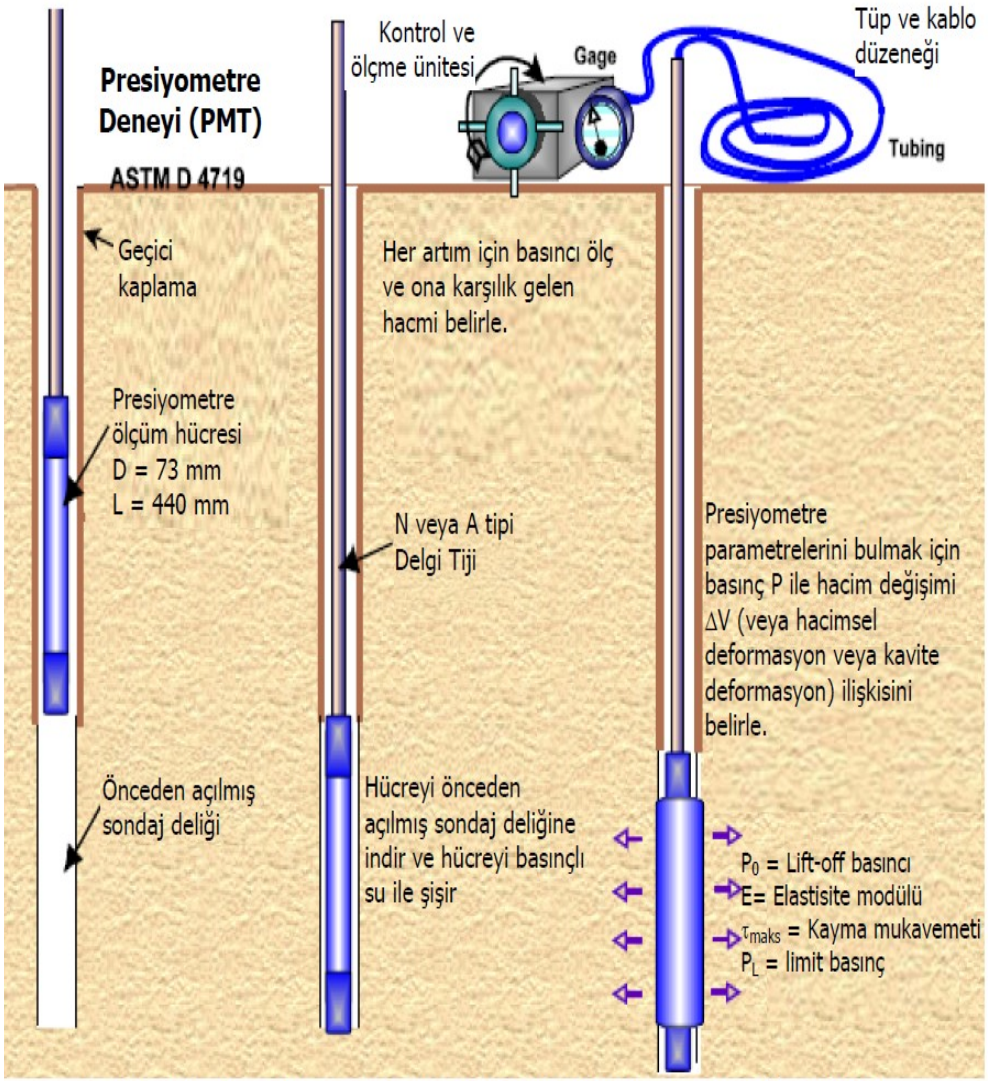
Ekipman ve Deney Prosedürü

Silindirik bir sonda ile sondaj kuyu içinde kaplanmamış alana elastik membran yardımı ile üniform bir radyal (yanal) basınç uygulanmaktadır. Membranın hacim değişiminden ve uygulanan gerilmeden zemin özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. PMT sistemi, silindirik bir sonda, alt ve üstte koruyucu hücre, ölçme hücresi ve basınç sisteminden oluşmaktadır (Şekil 7.4).

Kuyu çapı, sondanın 1.03 - 1.20 katı kadar olmalıdır. Yaygın olarak kullanılan Probun (sonda) çapı genelde 58 mm boyu ise 420 mm boyutundadır. Kuyu çapı 34 mm - 60 mm için ölçüm hücresi hacmi $V_{hücre}$ = V_c = 535 cm^3'tür. Ayrıca ölçme hücresinin hacmi V_c = 790 cm^3 için, kuyu çapı 76 mm olmalıdır (Gambin ve Rousseau, 1988). Pressiyometre deney sisteminin diğer sondalama deneyleri ile karşılaştırıldığında kalibrasyonu ve ölçümü açısından oldukça karmaşıktır. Uygun kalibrasyon, uygulama tekniği ve yorumlama ile geoteknik mühendisliği için çok yararlı veriler sunmaktadır. Sondajlar sırasında, 1-2 m ara ile sondaj kesilerek uygulanır.

Ölçme hücresinin hacmi (V_c) belirlenir ve sonda kuyuya indirilir. Düşey doğrultuda deformasyonunu önlemek için koruyucu hücreler basınçlı gaz (genelde CO_2) ile şişirilir. Ölçme hücresine basınçlı su veya gaz verilerek genleşmesi sağlanır. Hücrenin hacimsel genleşmesi ölçülür. Hücrenin yanlara temasından sonra verilen suyun hacminden yanal şekil değiştirmeler (Δr) hesaplanır. Yanal yüzeylerde kırılma oluşuncaya kadar yüklemeye devam edilir. Zeminde kırılma olmadığı durumda toplam genleşme hacminin (V), orijinal hacmin 2 katı olduğunda zemin göçmüş kabul edilir. Bir sonraki ölçüm derinliğine inilir. Genelde gerilme kontrollu uygulanır.

Pressiyometre deneyinde radyal doğrultuda yükleme yapıldığından bulunan deformasyon modülü, zeminin düşey yöndeki mödülünden farklıdır. Deneyde Poisson oranı (ν) ölçülemez. Gerilmeye bağlı olan bu değerin tahmin edilmesi gerekmektedir. Kuyu özellikleri deneye etkiyen önemli faktördür. Yüzeyin pürüzlü olması veya sondajdan hemen sonra deney yapılamaması sonucu deney bölgesinin gevşemesi veya kuruması sonuçları etkilemektedir. Küçük bir hacmi etkilemesinden dolayı tabakayı tam temsil edemeyebilir.

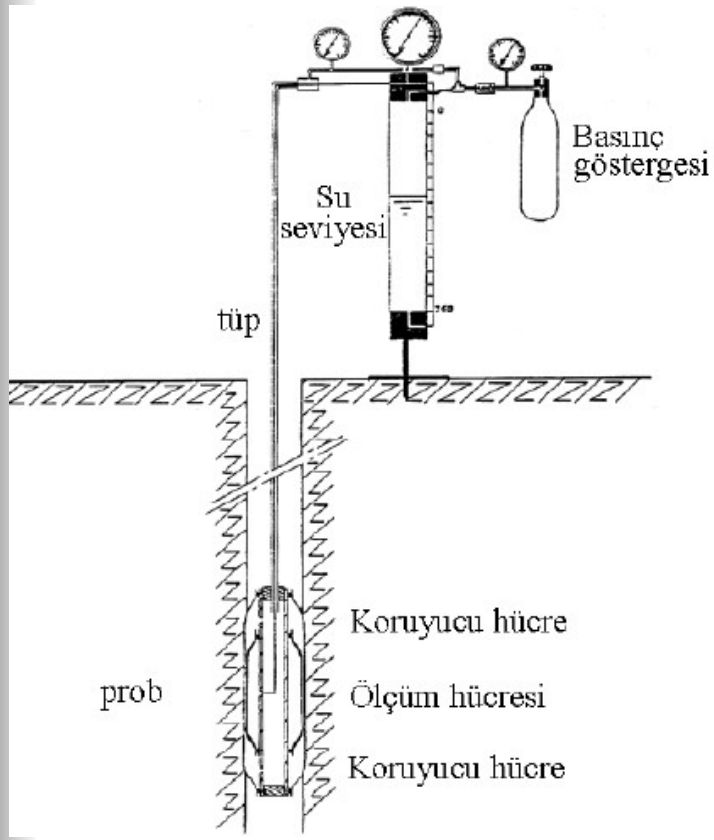


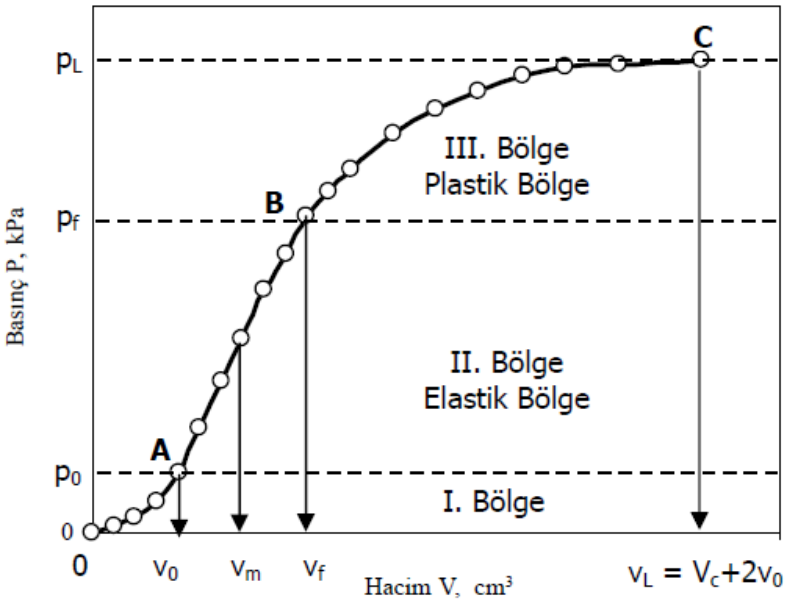
Şekil 7.4. Pressiyometre Deney Sistemi (Mayne ve diğ., 2001).

- **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 10-15 dakika sürer.

  (Bu killerde drenajsız, kum-çakıllarda ise drenajlı deney yapmak anlamına gelir ve bir yapının inşası düşünülürse temel zemininde ani yükleme durumuna uygundur)
- **Kayıtların alımından sonra hacim ve basınç artan değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılır.**
- **XY koordinat sisteminde Y ekseni basınç (bar, kg/cm^2), X ekseni hacim değişimlerini (cm^3) gösterecek şekilde basınç deformasyon eğrisi çizilir.**





$$E = 2(1+\nu)(V_c + v_m)\frac{\Delta P}{\Delta v}$$

$$v_m = \frac{v_f + v_0}{2}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = (V_c + v_m)\frac{\Delta P}{\Delta v}$$

$$\sigma_{ho} = p_0$$

$$p_L^* = p_L - \sigma_{ho} = p_L - p_0$$

PMT Verilerin Kullanımı

- **Yatay zemin basınç katsayısı (K_o)**
- **İçsel sürtünme açısı, ϕ**
- **Drenajsız kayma mukavemeti, c_u**
- **Deformasyon modülü, E**
- **Ön konsolidasyon basıncı – AKO**
- **Temellerin tasarımında**

1- Sukunet halindeki yanal zemin basınç katsayısı, K_0

$$K_0 = \frac{\sigma_{h0}}{\sigma_{v0}} = \frac{p_0}{\gamma z}$$

2- Drenajsız kayma mukavemeti, c_u

$$s_u = \frac{p_L - p_0}{N_p}$$

Burada $N_p=1+\ln(E/3s_u)$ olup, N_p 5-12 arasında değerler almaktadır. Ortalama olarak 8.5 alınabilir.

3- Kayma mukavemeti açısı, ϕ

$$(p_L-p_o)=b2^{(\phi-24)/4}$$

Burada, b ıslak kum olması durumunda 1.8, kuru kum olması durumda 3.5, ortlama 2.5 alınabilir.

4- Ön konsolidasyon basıncı, σ_p

$$\sigma_p = 0.45p_L$$

5- Deformasyon Modülü, E

Zemin tipine göre E ve p_L ilişkisi (Gambin ve Rousseau, 1988)

Zemin Tipi	E (kg/cm^2)	p_L (kg/cm^2)
Yumuşak kil	5-30	0.5-3
Orta katı kil	30-80	3-8
Katı kil	80-400	6-20
Sert kil	50-600	6-40
Gevşek siltli kum	5-20	1-5
Silt	20-100	2-15
Kum ve çakıl	80-400	12-50
Kireçtaşı	800-200000	30-100
Yeni dolgu	5-50	0.5-3
Eski dolgu	40-150	4-10

Zemin tipi ile E/p_L^* arasındaki ilişki (Baguelin ve diğ., 1978

E/p_L^*	Zemin Tipi
4-7	Doygun çok gevşek – gevşek kum
7-10	Sıkı – çok sıkı kum
8-10	Yumuşak – orta katı kil
10-20	Katı – çok katı kil
12-15	Lös zemin

Killer için $E_{PMT} = 1930N^{0.63}$ (kPa)

Kumlar için $E_{PMT} = 908\ N^{0.66}$ (kPa)

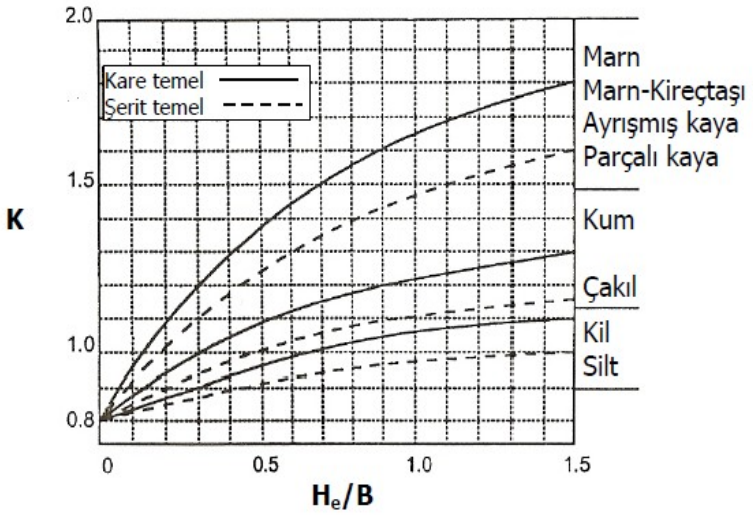
6- PMT ile Sığ Temellerin taşıma gücü

$$q_s = K(p_L - p_o) + \sigma_v = K p_L^* + \sigma_v$$

Tablo 7.3. K değerinin sabit olduğu Kritik derinlik ilişkisi (Clarke, 1995).

Zemin cinsi	p_L (kPa)	Kategori	D_k	
			Tekil Temel	Şerit Temel
Kil	0-1200	I	$2B_e$	$3B_e$
Silt	0-700	I	$2B_e$	$3B_e$
Sert kil, Marn	1800-4000	II	$5B_e$	$6B_e$
Sıkı silt	1200-3000	II	$5B_e$	$6B_e$
Gevşek kum	400-800	II	$5B_e$	$6B_e$
Yumuşak-ayrışmış kaya	1000-3000	II	$5B_e$	$6B_e$
Kum ve çakıl	1000-2000	III	$8B_e$	$9B_e$
Kaya	4000-10000	III	$8B_e$	$9B_e$
Sıkı kum ve Çakıl	3000-6000	IV	$10B_e$	$11B_e$

B_e = 4*Temelin alanı/Temelin çevresi= 4A/Ç



Şekil 7.6. Sığ temeller için Presiyometre Taşımagücü Katsayısı (Clarke, 1995).

Tablo 7.4. Zemin tipi için K değeri (ENV-1997-3, 2000).

Zemin cinsi		p_L (MPa)	K
Kil ve Silt	A	< 0.7	$0.8[1+0.25(0.6+0.4B/L)H_e/B]$
	B	1.2 - 2	$0.8[1+0.35(0.6+0.4B/L)H_e/B]$
	C	> 2.5	$0.8[1+0.50(0.6+0.4B/L)H_e/B]$
Kum ve Çakıl	A	< 0.5	$0.8[1+0.35(0.6+0.4B/L)H_e/B]$
	B	1 - 2	$0.8[1+0.50(0.6+0.4B/L)H_e/B]$
	C	> 2.5	$0.8[1+0.80(0.6+0.4B/L)H_e/B]$
Kireç taşı			$1.3[1+0.27(0.6+0.4B/L)H_e/B]$
Marn ve Ayrışmış kaya			$[1+0.27(0.6+0.4B/L)H_e/B]$

$$H_e = \frac{1}{p_{Lort}} \Sigma \left[(p_L - \sigma_v)_i z_i \right]$$

Burada σ_v temel seviyesinde toplam gerilme, p_0 temel seviyesindeki toplam yatay gerilme, K taşıma gücü faktörü olup zemin cinsine, temel derinliğine ve temelin geometrisine bağlıdır (Şekil 7.6 veya Tablo 7.4). Temelin zemin yüzeyinde olması durumunda, K=0.8 olup minimum değerdir. K derinlikle artmakta ve kritik derinliğin (D_k) altında ise sabit kalmaktadır. D_k, temelin eşdeğer boyutunun (B_e) fonksiyonu olup, Tablo 7.3'de özetlenmiştir.

Tablo 7.5. Temel tipi için K değeri (Clarke, 1995).

Temel tipi	K değeri
Kare veya Daire	K
Şerit	$\frac{K}{1.2}$
Dikdörtgen	$\frac{K}{1.2} + \frac{K}{0.6}\frac{B}{L}$

7- PMT ile Kazık Temellerin taşıma gücü

$$Q = K(p_L - p_0)A_b + f_s A_s$$

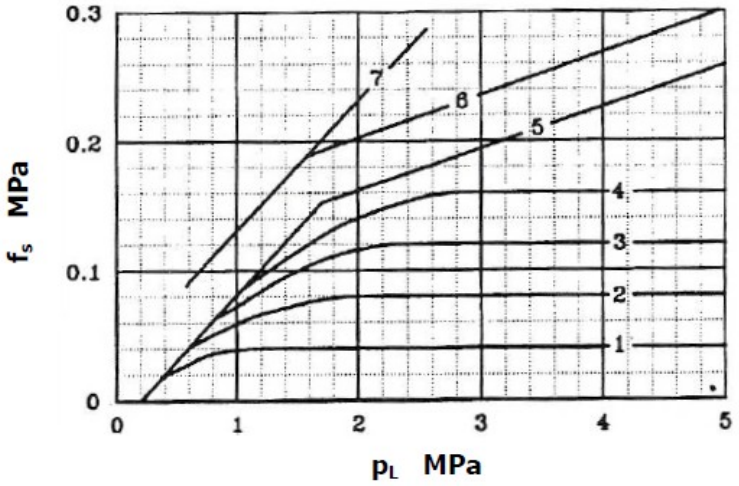
Burada A_b kazık temelin uç kesit alanı, A_s kazık temelin yan yüzey kesit alanı, f_s kazık temelin sürtünme direnci, PMT'den ölçülen p_L limit basınç, p_0 temel seviyesindeki toplam yatay gerilme, K taşıma gücü faktörü olup zemin cinsine, kazık temelin tipine bağlıdır (Tablo 7.6). f_s'nin belirlenmesi önce kazık tipi ve zemin tipi için uygun tasarım eğri (Tablo 7.7) belirlendikten sonra Şekil 7.7'den uygun tasarım eğrisi için f_s belirlenir.

Tablo 7.6. Zemin tipi için düşey yüklü kazıklar için K değeri (ENV-1997-3, 2000).

Zemin cinsi		p_L (MPa)	K	
			Fore kazıklar ve az yer değiştirmeli kazıklar	Tam yer değiştirmeli kazıklar
Kil ve Silt	A	< 0.7	1.1	1.4
	B	1.2 - 2	1.2	1.5
	C	> 2.5	1.3	1.6
Kum ve Çakıl	A	< 0.5	1.0	4.2
	B	1 - 2	1.1	3.7
	C	> 2.5	1.2	3.2
Kireç taşı	A	< 0.7	1.1	1.6
	B	1.2 - 2.5	1.4	2.2
	C	> 3	1.8	2.6
Marn	A	1.5 - 4	1.8	2.6
	B	> 4.5	1.8	2.6
Ayrışmış kaya	A	2.5 - 4	En yakın zemin sınıfı için seçilir.	En yakın zemin sınıfı için seçilir.
	B	> 4.5		

Tablo 7.7. Kazık sürtünme direnci için tasarım eğrilerinin seçimi (ENV-1997-3, 2000).

Zemin cinsi		Kil ve Silt			Kum ve Çakıl			Kireç taşı			Marn		Kaya
Kazık tipi		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
Fore Kazıklar ve Kesonlar	Desteksiz	1	1/2	2/3	1		-	1	3	4/5	3	4/5	6
	Çamur destekli	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	3	4/5	3	4/5	6
	Geçici kaplama	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	2	3/4	3	4	-
	Sürekli kaplama	1	1	1	1	1	2	1			2	3	-
Elle kazılan Keson		1	2	3	-	-	-	1	2	3	4	5	6
Yer değiştirmeli kazıklar	Kapalı uçlu	1	2	2	2	2	3	1	2	3	3	4	4
	Prefabrik	1	2	2	3	3	3				3	4	4
	Yerinde beton dökülmüş	1	2	2	2	2	3				3	4	-
	Kaplanmış kuyu cidarı	1	2	2	3	3	4				3	4	-
Enjeksiyon kazıklar	Düşük basınç	1	2	2	3	3	3	2	3	4	5	5	-
	Yüksek basınç	1	4	5	5	5	6	-	5	6	6	6	7



Şekil 7.7. Düşey yüklü kazıkların sürtünme direnci (ENV-1997-3, 2000).

8- PMT ile Sığ Temellerin oturma hesabı

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

Burada, q taban basıncı, B genişlik veya çap, B_o referans genişlik veya çap (60 cm), λ_c ve λ_d şekil katsayıları (Tablo 7.8), α zemin cinsine ve E/p_L oranına bağlı katsayı (Tablo 7.9), E_c ve E_d ise pressiyometre elastisite modülüne (E) bağlı modüllerdir.

Denklem (7.16), temel derinliğinin temel genişiğinin iki katından büyük olduğu (D_f > 2B) temellerde uygulanır. E_c temelin hemen altındaki E'nin ağırlık değeri, E_d ise temelin altından 8B kadar derinlikteki tabakaların harmonik ortalamasıdır.

Tablo 7.8. Sığ temel için Şekil Faktörleri (Clarke, 1995).

L/B	Daire	Kare	2	3	5	20
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

Tablo 7.9. Zemin Tipi Faktörleri (Clarke, 1995).

Zemin Tipi	Özelliği	E/p_L	α
Turba			1
Kil	Aşırı konsolide	< 16	1
	Normal konsolide	9 - 16	0.67
	Yoğrulmuş	7 - 9	0.50
Silt	Aşırı konsolide	> 14	0.67
	Normal konsolide	5 - 14	0.50
Kum		> 12	0.50
		5 - 12	0.33
Kum ve Çakıl		> 10	0.33
		6 - 10	0.25
Kaya	Aşırı çatlaklı		0.33
	Bozunmamış		0.50
	Ayrışmış		0.67

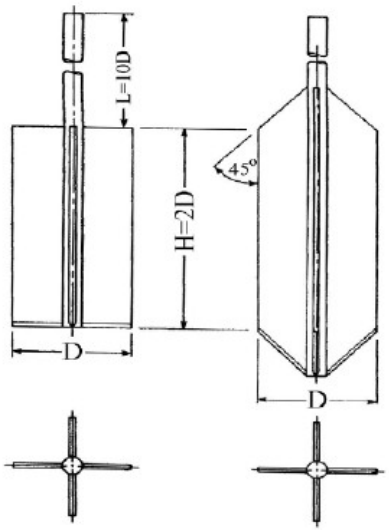
Zeminin homojen olması durumunda,

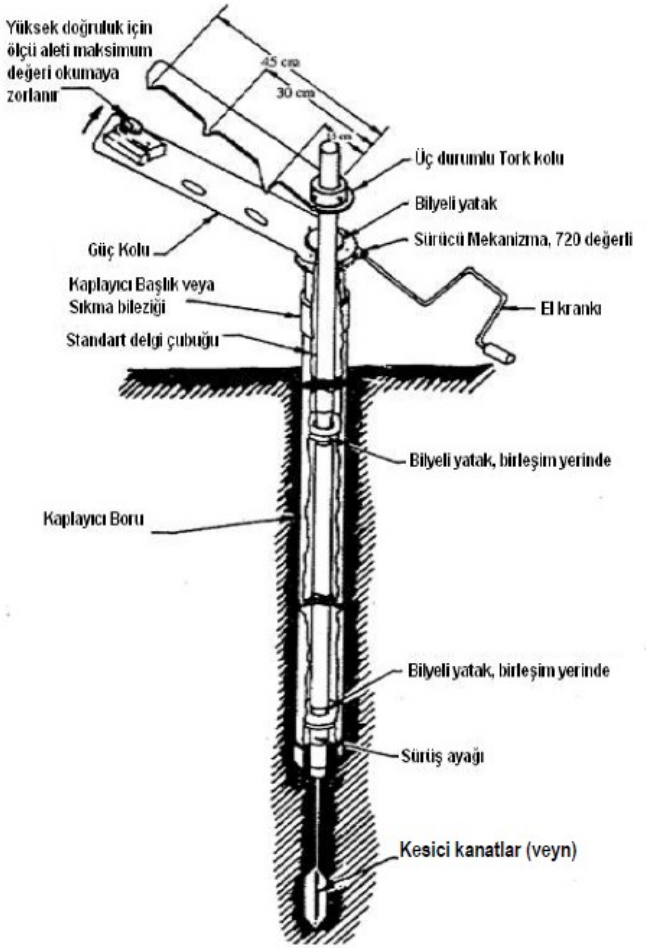
$$s = 1.33(q - \sigma_v)\frac{B_0}{6E}\left(\lambda_d \frac{B}{B_0}\right)^{\alpha} + (q - \sigma_v)\left(\frac{\alpha\lambda_c B}{9E}\right)$$

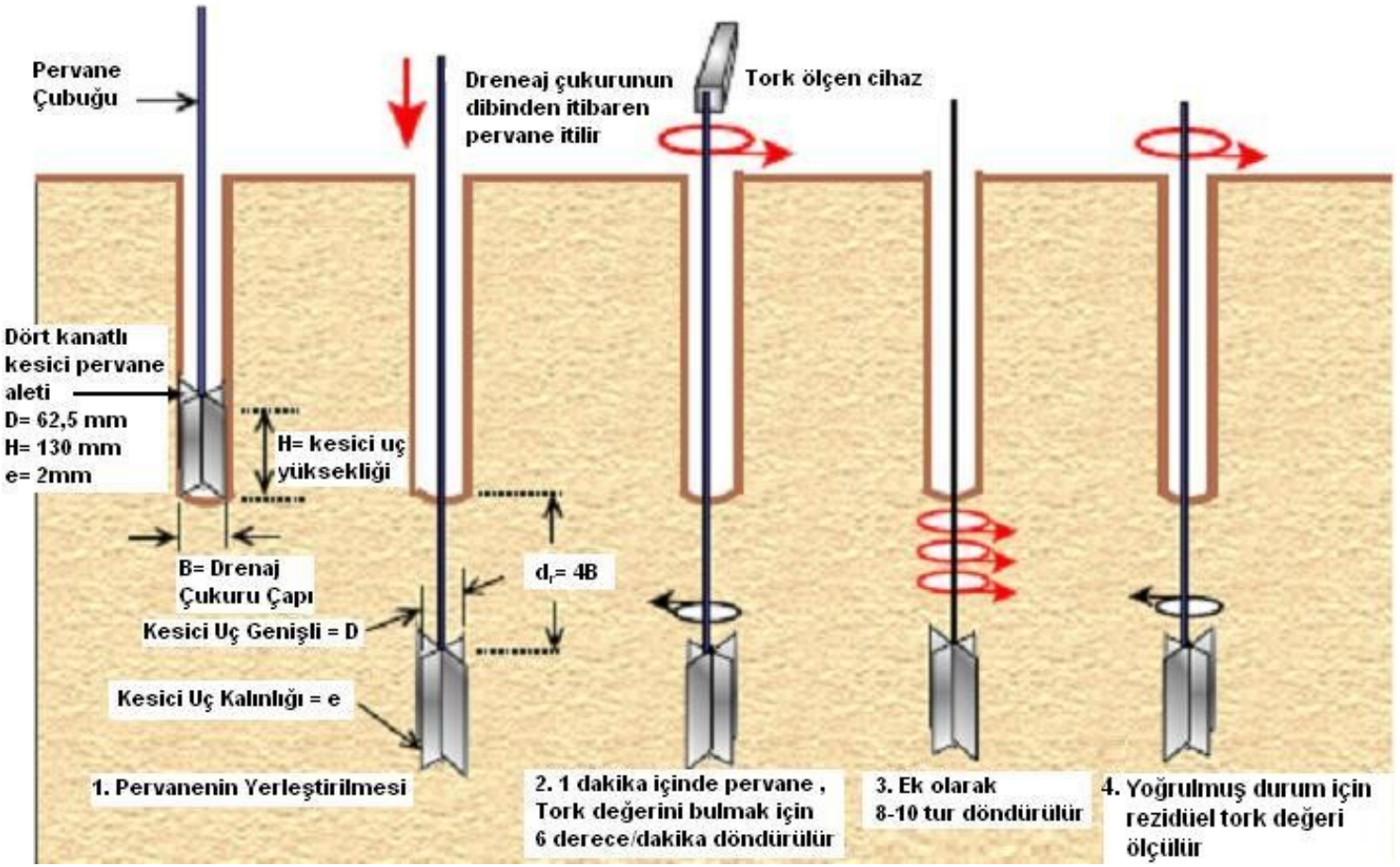
şeklinde kullanılabilir. Bu denklem D_f>B şartı için geçerlidir. Eğer D_f < B ise hesaplanan oturma, B/2 < D_f < B için % 5, D_f = B için % 10, D_f=0 için % 20 artırılmalıdır.

Veyn Kesme Deneyi (VST)

- **Orjinal olarak İsveçli mühendis, John Olsson, tarafından 1920'lerde geliştirildi.**
- **Şimdi standart halde, ASTM D2573.**
- **Özellikle yumuşak ve hassas killer için uygundur.**
- **Drenajsız kayma mukavemetini (c_u) bulmak için kullanılan HIZLI DENEY dir.**


L=10D
H=2D
45°
D
D


Yüksek doğruluk için ölçü aleti maksimum değeri okumaya zorlanır
45 cm
30 cm
Üç durumlu Tork kolu
Bilyeli yatak
Sürücü Mekanizma, 720 değerli
Güç Kolu
El kranki
Kaplayıcı Başlık veya Sıkma bileziği
Standart delgi çubuğu
Bilyeli yatak, birleşim yerinde
Kaplayıcı Boru
Bilyeli yatak, birleşim yerinde
Sürtüş ayağı
Kesici kanatlar (veyn)



$$M = \pi s_{u(arazi)} \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6}\right)$$

$$s_{u(arazi)} = \frac{M}{\pi\left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6}\right)}$$

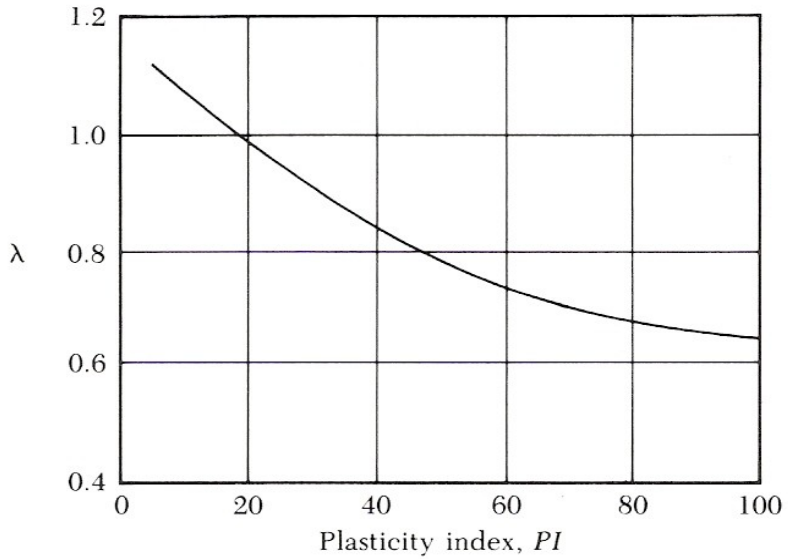
Standart dikdörtgen veyn (H/D=2) için

$$s_{u(arazi)} = \frac{6M}{7\pi D^3}$$

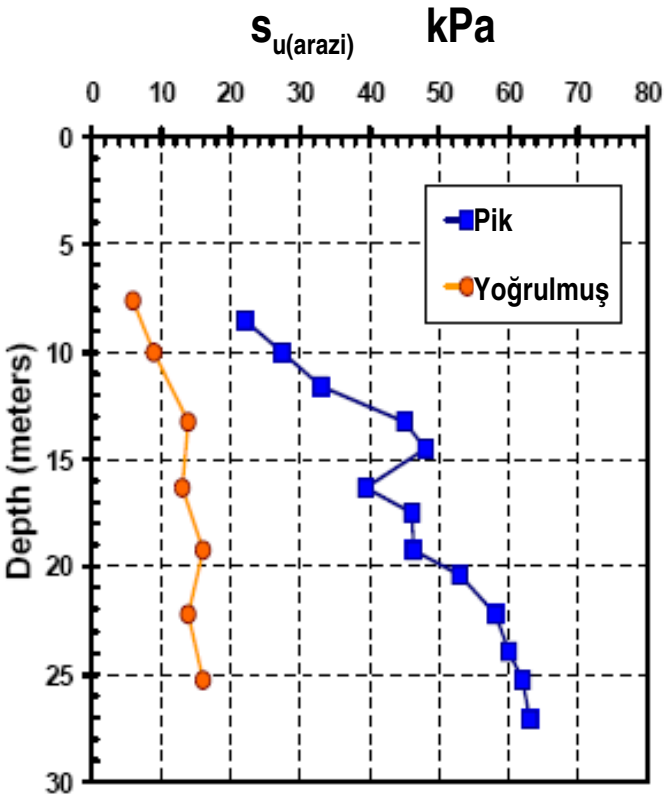
VST Verilerin Kullanımı

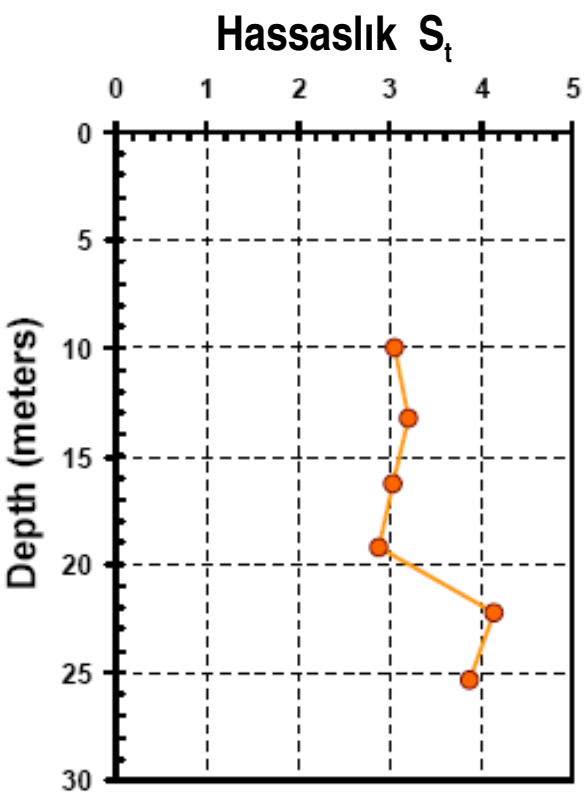
- **Drenajsız kayma mukavemeti, $s_{u(arazi)}$**
- **Yoğrulmuş drenajsız kayma mukavemeti, $s_{r(arazi)}$**
- **Hassaslık, S_t**
- **Ön konsolidasyon basıncı - AKO**

- c_u için arazi düzeltmesi (λ) yapılır:



$$s_{u(düz)} = \lambda^* s_{u(arazi)}$$

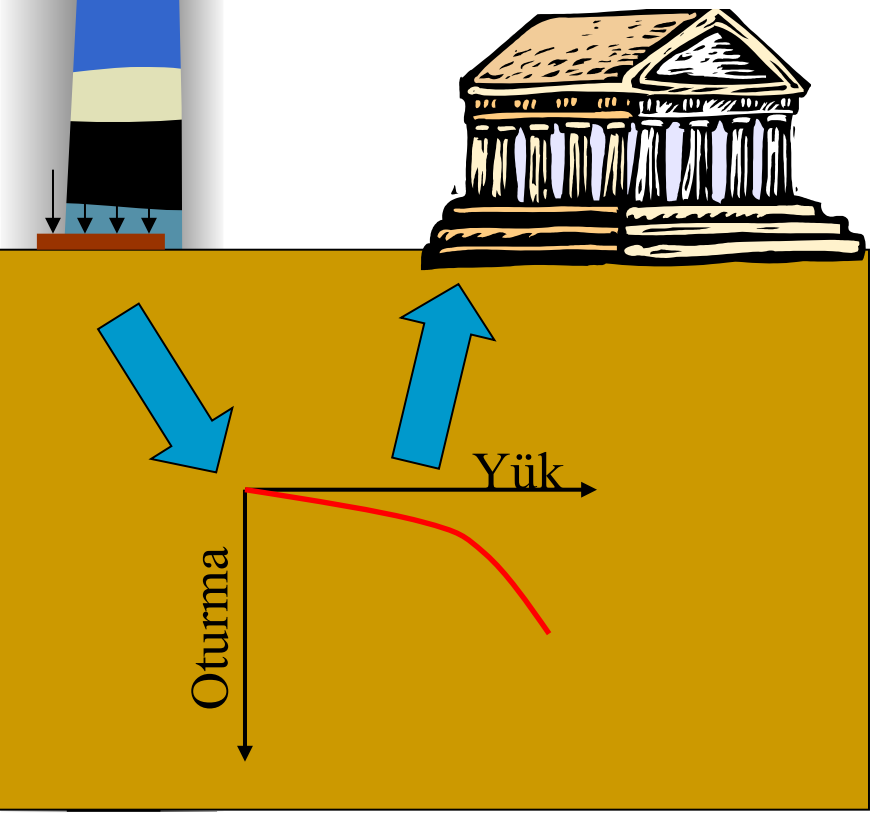




$$S_t = \frac{S_{u(arazi)}}{S_{r(arazi)}}$$

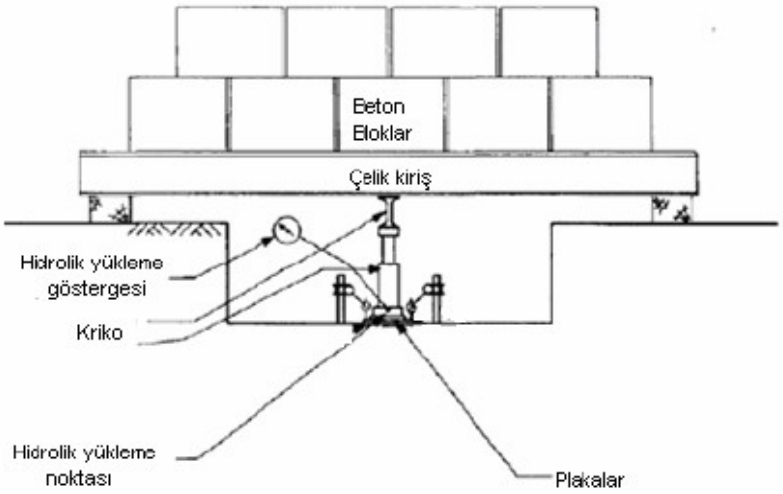
Plaka Yükleme Deneyi

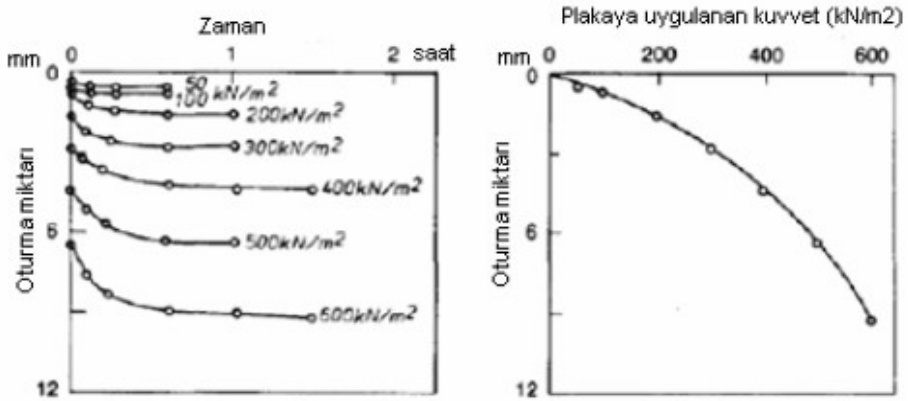
- Kare (daire) plaka (300 mm x 300 mm) yüzeye kadar yüklenir. Yük-Oturma grafiği çizilir. Temel boyutlarına dönüştürülür.
- Yol vb dolgular için idealdir.

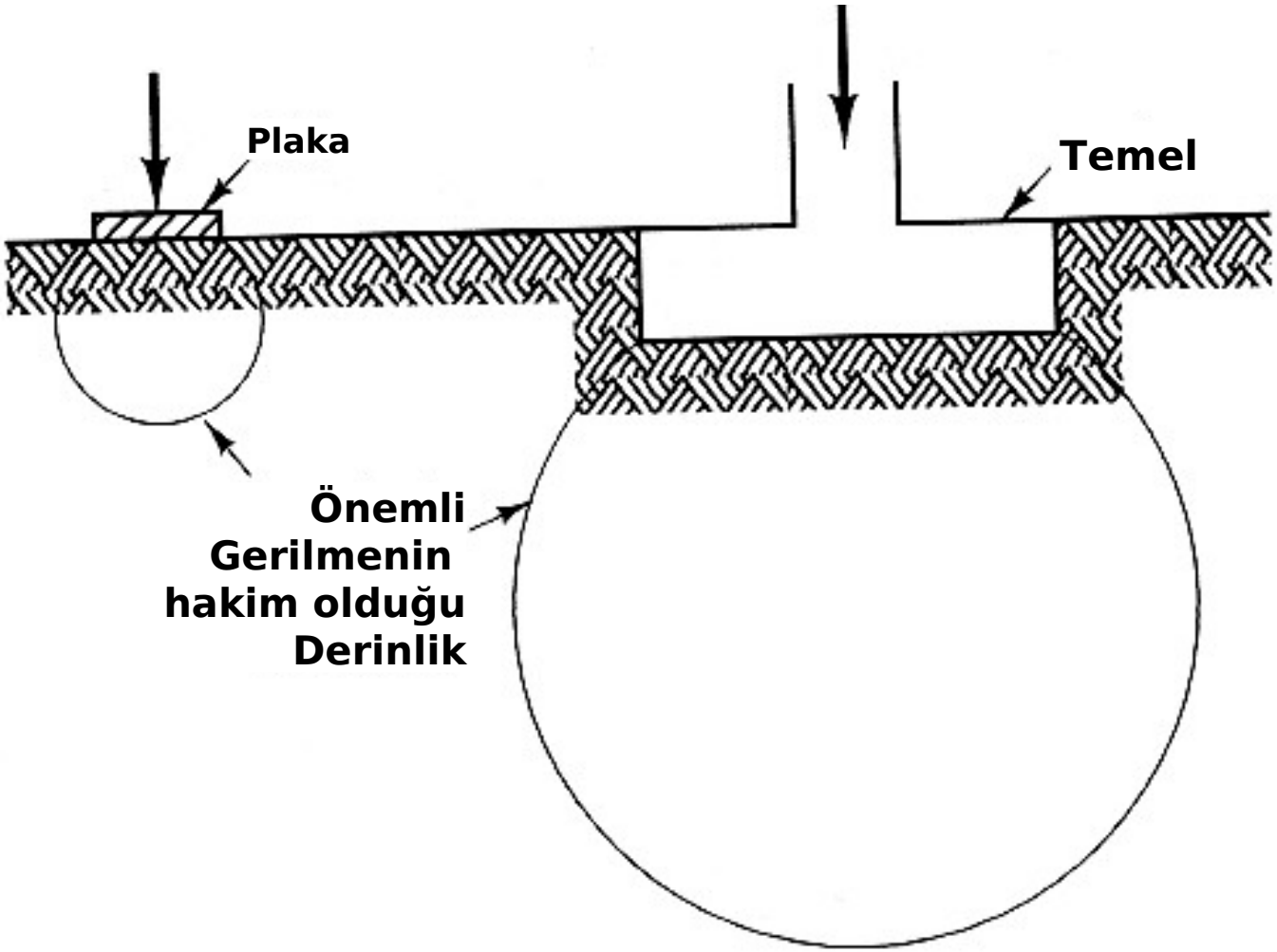


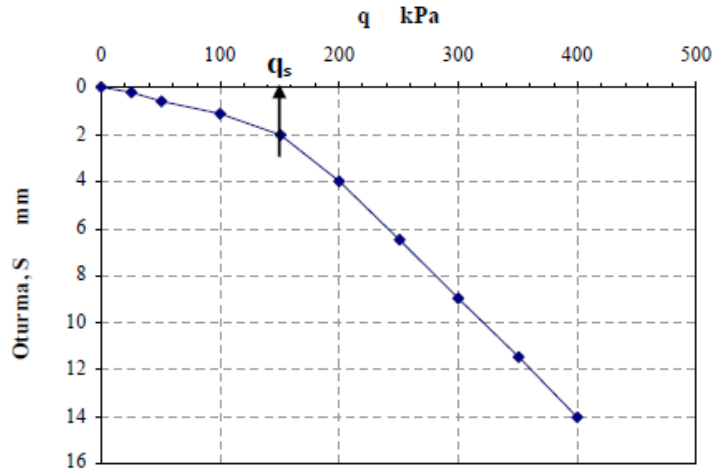
Deney düzeneği.

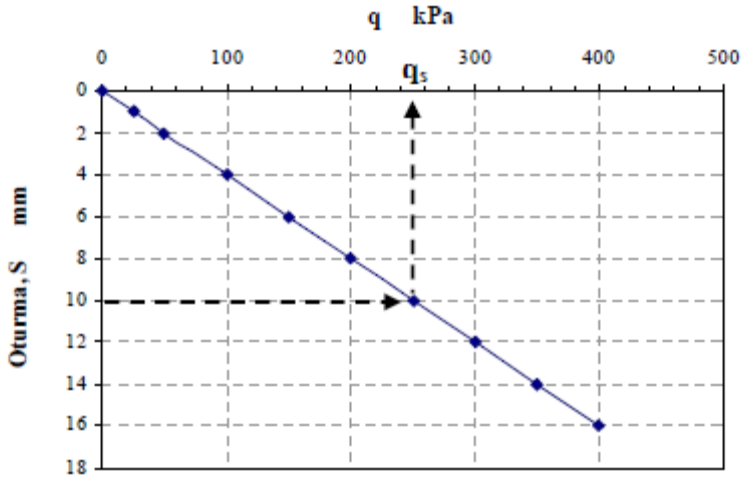
plaka


Beton
Bloklar
Çelik kiriş
Hidrolik yükleme
göstergesi
Kriko
Hidrolik yükleme
noktası
Plakalar


Zaman
mm
0
1
2 saat
50
100 kN/m2
200kN/m2
300kN/m2
400kN/m2
500kN/m2
600kN/m2
Oturma miktarı
6
12
Plakaya uygulanan kuvvet (kN/m2)
mm
0
200
400
600
Oturma miktarı
6
12


Plaka
Temel
Önemli
Gerilmenin
hakim olduğu
Derinlik





$$q_{em} = \frac{q_s}{G_s} = \frac{q_s}{2}$$

1- Sığ temellerin taşıma gücü

- Killi zeminlerde

$$q_{(em)t} = q_{(em)p}$$

- Kumlu zeminlerde

$$q_{(em)t} = q_{(em)p} \frac{B}{b}$$

2- Sığ temellerin oturması

- Killi zeminlerde

$$s_t = s_p \frac{B}{b}$$

- Kumlu zeminlerde

$$s_t = s_p \left(\frac{2B}{B+30} \right)^2 \qquad s_t = s_p \left(\frac{B}{b} \right)^2 \left(\frac{3.28b+1}{3.28B+1} \right)^2$$

3- Elastisite modülü, E

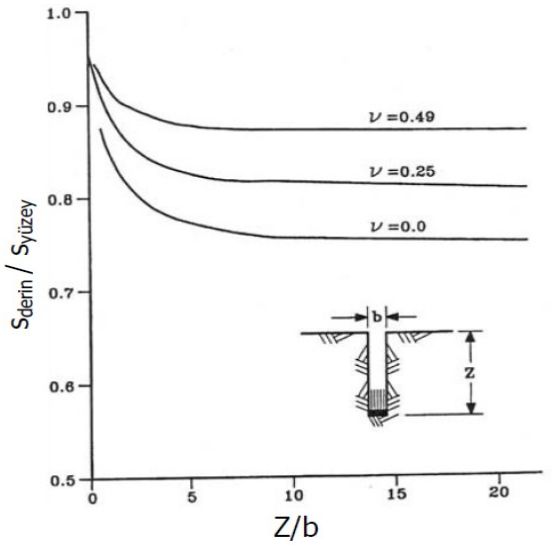
$$E = \left(\frac{\Delta q}{\Delta s}\right)\frac{\pi b}{4}\left(1-\nu^2\right)*C_z$$

Kumlu zeminlerde, ν=0,3

Killi zeminlerde, ν=0,5

$$E = 0.75b\left(\frac{\Delta q}{\Delta s}\right)$$

Pratik uygulamalarda



4- Yatak katsayısı, k

$$k_v = \frac{\Delta q}{\Delta s}$$

- **Killi zeminle** $k_t = \left(\frac{b}{B}\right)k_p$
- **Kumlu zeminl** $k_t = \left(\frac{B+30}{2B}\right)^2 * k_p$

Tablo 9.1. Zemin yatak katsayıları (Bowles, 1996).

Zemin türü	Zemin durumu	k_v (MN/m^3)
Kum (Kuru veya nemli)	Gevşek	8-25
	Orta sıkı	25-125
	Sıkı	125-375
Kum (Doygun)	Gevşek	10-15
	Orta sıkı	35-40
	Sıkı	130-150
Kil	Katı	15-25
	Çok katı	25-50
	Sert	>50

5- Drenajsız kayma mukavemeti, c_u

$$s_u = \frac{q_s - \gamma H}{N_c}$$

Burada γ plakaın test pozisyonun üst kısmındaki zeminin ortalama birim hacim ağırlığı, H deneyin yapıldığı derinlik ve N_c taşıma gücü faktörüdür.

Arazi Deneylerin Karşılaştırılması

	Standard Penetration Test	Cone Penetration Test	Pressuremeter Test	Dilatometer Test	Becker Penetration Test
Simplicity and Durability of Apparatus	Simple; rugged	Complex; rugged	Complex; delicate	Complex; moderately rugged	Simple, rugged
Ease of Testing	Easy	Easy	Complex	Easy	Easy
Continuous Profile or Point Values	Point	Continuous	Point	Point	Continuous
Basis for Interpretation	Empirical	Empirical; theory	Empirical; theory	Empirical; theory	Empirical
Suitable Soils	All except gravels	All except gravels	All	All except gravels	Sands through boulders
Equipment Availability and Use in Practice	Universally available: used routinely	Generally available; used routinely	Difficult to locate; used on special projects	Difficult to locate; used on special projects	Difficult to locate; used on special projects
Potential for Future Development	Limited	Great	Great	Great	Uncertain

Tablo 2. Yerinde Deneylerin Yararları ve Uygulanabilmesi

Grup	Alet	Toprak Parametreleri												Zemin Tipi						
		Toprak tipi	Profil	u	ϕ	s_u	Id	mv	cv	k	G_s	σh	OCR	σ-ε	Sert kaya	Yumuşak k.	Çakıl	Kum	Silt	Kil	O.Zemin
Penetrometreler	Dinamik	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-	-	C	B	A	B	B	B
	Mekanik	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-	-	C	C	A	A	A	A
	Elektrik (CPT)	B	A	-	C	B	A/B	C	-	-	B	B/C	B	-	-	C	C	A	A	A	A
	Piezokonik (CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C	-	C	-	A	A	A	A
	Sismik (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B	-	C	-	A	A	A	A
	Dilatometre (DMT)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C	C	C	-	A	A	A	A
	Standart Penetrasyon Testi (SPT)	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-	-	C	B	A	A	A	A
	Rezistivite Probu	B	B	-	B	C	A	C	-	-	-	-	-	-	-	C	-	A	A	A	A
Presiyo-metreler	Ön Sondaj (PBP)	B	B	-	C	B	C	B	C	-	B	C	C	C	A	A	B	B	B	A	B
	Sondaj içerisinde (SBP)	B	B	A	B	B	B	B	A	B	A	A/B	B	A/B	-	B	-	B	B	A	B
	Tam Yerdeğiştirme (FDP)	B	B	-	C	B	C	C	C	-	A	C	C	C	-	C	-	B	B	A	A
Diğerleri	Kanatlı Kesici	B	C	-	-	A/B	-	-	-	-	-	-	B/C	B	-	-	-	-	-	A	B
	Plaka Yükleme	C	-	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B	B	A	B	B	A	A	A
	Sondaj Geçirgenliği	C	-	A	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	B
	Hidrolik Kırma Deneyi	-	-	B	-	-	-	-	C	C	-	B	-	-	B	B	-	-	C	A	C
	Yüzey sismiği	C	C	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-	A	A	A	A	A	A	A

Uygulanabilirlik: A: yüksek, B: orta, C: düşük, --: hiç

Zemin parametreleri: **ϕ: efektif içsel sürtünme açısı** **su: drenajsız kesme mukavemeti**

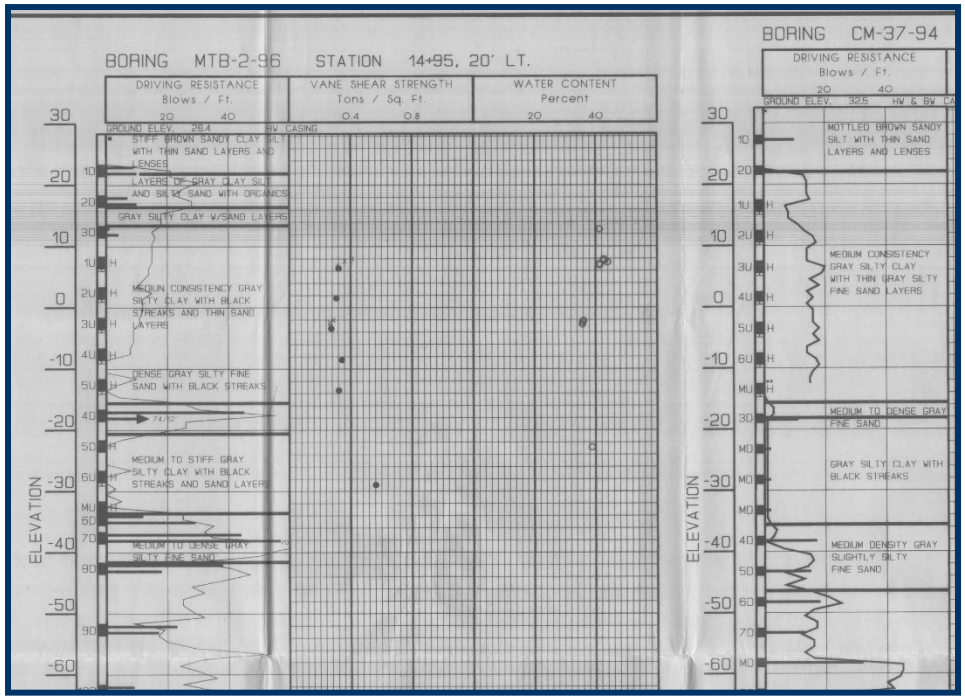
u: yerinde statik boşluk basıncı, **mv: Hacimsel sıkışma indisi**

cv: konsolidasyon katsayısı, k: permeabilite katsayısı, Gs: kesme modülü,

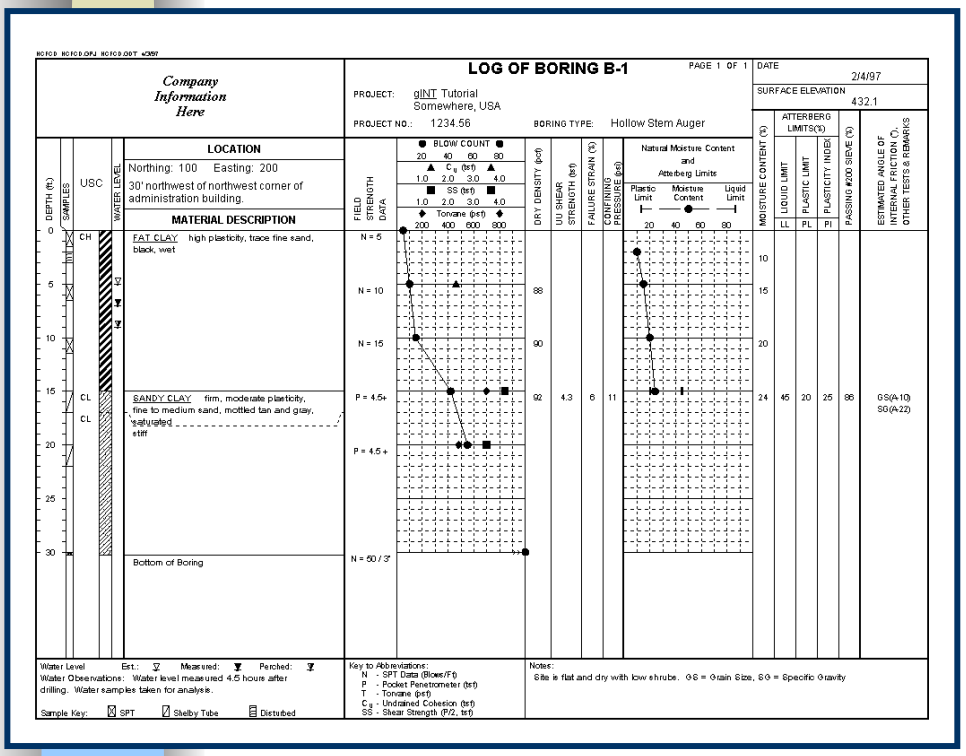
σh: yatay gerilme, OCR: aşırı konsolidasyon oranı **σ-ε: gerilme-sıkıştırma ilişkisi, Id: yoğunluk indeksi**

Arazi Penetrasyon Deney Verilerinin Güvenilirliği ve Geçerliliği

- Güvenilir sonuçlara sahip olduğunu BİLİYORMUSUN?
- HERHANGİBİR sonuca sahip olduğunu biliyormusun?
- Diğer deney metodları ile ilişkileri



Verilerin Sunumu



Company Information Here

LOG OF BORING B-1 PAGE 1 OF 1

PROJECT: gINT Tutorial Somewhere, USA

PROJECT NO.: 1234.56 BORING TYPE: Hollow Stem Auger

DATE 2/4/97

SURFACE ELEVATION 432.1

LOCATION

Northing: 100 Easting: 200

30' northwest of northwest corner of administration building.

MATERIAL DESCRIPTION

0 CH FAT CLAY high plasticity, trace fine sand, black, wet

5

10

15 CL SANDY CLAY firm, moderate plasticity, fine to medium sand, mottled tan and gray, saturated stiff

20 CL

25

30 Bottom of Boring

DEPTH (ft)	USC	FIELD STRENGTH DATA	DRY DENSITY (pcf)	UU SHEAR STRENGTH (tsf)	FAILURE STRAIN (%)	CONFINING PRESSURE (psi)	MOISTURE CONTENT (%)	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT	PLASTICITY INDEX	PASSING #200 SIEVE (%)	ESTIMATED ANGLE OF INTERNAL FRICTION (°), OTHER TESTS & REMARKS
0	CH	N = 5										
5		N = 10	88									
10		N = 15	90									
15	CL	P = 4.5+	92	4.3	6	11	24	45	20	25	86	GS(A-10) SG(A-22)
20	CL	P = 4.5+										
25												
30		N = 50 / 3"										

Water Level Est.: Measured: Perched:

Water Observations: Water level measured 4.5 hours after drilling. Water samples taken for analysis.

Sample Key: SPT Shelby Tube Disturbed

Key to Abbreviations:
N - SPT Data (Blows/Ft)
P - Pocket Penetrometer (tsf)
T - Torvane (psf)
C_u - Undrained Cohesion (tsf)
SS - Shear Strength (P/2, tsf)

Notes:
Site is flat and dry with low shrubs. GS = Grain Size, SG = Specific Gravity

- **Sondaj Log (Kaydı)**
  - **Zemin deney sondaj kayıtları**
  - **Deney çukur kayıtları**
- **İçerilen veriler**
  - **Arazi**
  - **Laboratuvar**
- **Bilgisayar programlar**

Sondaj logunda (kaydında) olması gereken bilgiler

- **Sondaj delgisi, Numune alma derinlikleri, Numune alma Metodu**
- **Arazi deney verileri**
- **Zeminin görüntüsü, tabakalaşma**
- **“Tam bir kayıt…” eksiksiz olmalı.**

ENGINEERING SOIL TEST BORING RECORD

November 3, 2001

Elevation (ft-msl) +182.2	Stratum Depth (ft)	Visual Soil Description	Sample Depth (ft)	Sample Recovery (in)	Soil Sym. K	Penetration N 60 (blows/ft)	Remarks and raw SPT data
+180	0.3	Top soil, grass, and roots					
		Loose gray-brown clayey fine **SAND** (SC)	6.0	16		7	*(2+3+4)*
	7.0						
+170		Soft blue-tan clayey **SILT** (MH)	12.0	16		3	*(0+2+1)*
	14.5						*Groundwater z_w = 15.5 feet (Nov. 8, 2001)*
		Firm yellow-tan clean to slightly silty fine **SAND** (SP to SP-SM)	20.5	18		32	*(11+14+18)*
+160	21.5						
		Firm yellow-tan clean fine to medium **SAND** (SP)	28.0	11		28	*(+13+15+13)*
+150	30.0						
		Loose white to yellow slightly silty medium to coarse **SAND** (SP)	36.0	11		5	*(+2+3+2)*
	39.0						
+140		Very stiff green fine-medium sandy **CLAY** (CL)	43.5	16		20	*(+10+10+10)*
	45.5						
+130		Stiff green-gray silty to sandy **CLAY** (CL)	52.5	18		15	*(+6+7+8)*
	60.2						
+120		Dense white medium **SAND** (SP) with shells	63.5	10		42	*(+20+22+20)*
	64.0	*REFUSAL at 64 feet*					

Soil Symbols K (Unified Soil Classification System)

Top Soil
CL
MH
CH
SP

Other Symbols

Water Level

Driller:	E. Van Halen
Boring Number:	AGB-1
Date Drilled:	Oct/29/2001
Job Number	32335
Site Location:	Tampa Florida
Test Method:	ASTM D 1586
Hammer Type:	Diedrich Automatic (ER =82%)
Sampler:	Drive (split-barrel)
Drilling Method:	Hollow Stem Augers
Make of Drilling Rig:	CME-850 (truck mounted)

Notes:

N = Penetration in blows per foot (ASTM D-1586)

$N_{60} = (E_f/60) * N_{measured}$ = Energy-Corrected N-value

E_f = Energy Efficiency of Hammer Used

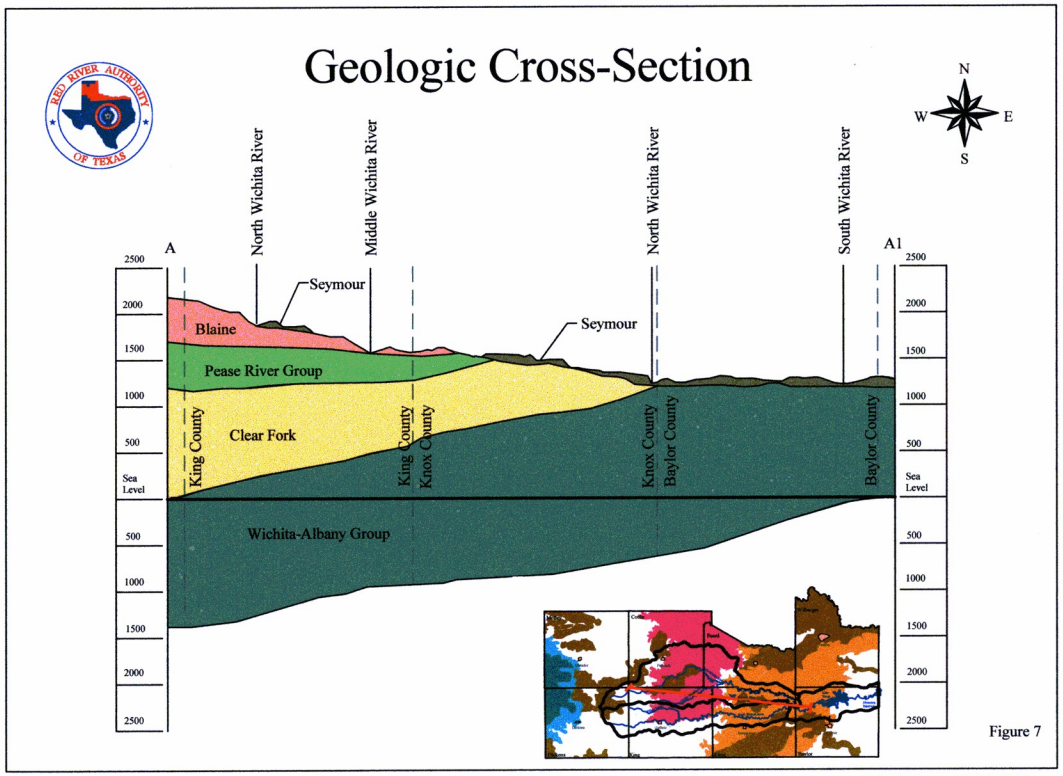
ER = energy ratio per ASTM D-4633

Jeofizik Yöntemler

- Geoteknik Mühendisliği dışında özel bir uzmanlık işi olup, alışılmış araştırma yöntemlerine göre daha kısa sürede jeolojik gözlemlerin yorumunda geniş alanları taramak için kullanılmaktadır.
- Jeofizik yöntemler tahribatsız ve hızlı olması avantajlı yöntemlerdendir.
- Geoteknikte uygulanan Jeofizik yöntemler arasında en etkili olanı **sismik yöntemlerdir.**
- Ölçümler balyoz ile vurma, patlatma veya özel vibratör kullanma gibi değişen yöntemlerle ortamda oluşturulan titreşimlerin oluşturduğu cisim (P-basınç ve S-kayma) ve yüzey dalgaların algılanması ile gerçekleştirilir.
- Deneyler zemin yüzeyinde yapılabildiği gibi sondaj kuyusu içerisinde de yapılabilir.
- Jeofizik yöntemler kayada **başarılı** ve yer altı suyu seviyesinin yüksek ve değişken olduğu alüvyon ortamlarda **yetersiz** olmaktadır.

En Kesitler

- Zemin sondaj kayıtları kullanılır
- Zeminin derinlikle 2D veya 3D görüntülenmesi
  - Interpolasyo
  - Ekstrapolasy
  - Tahmini



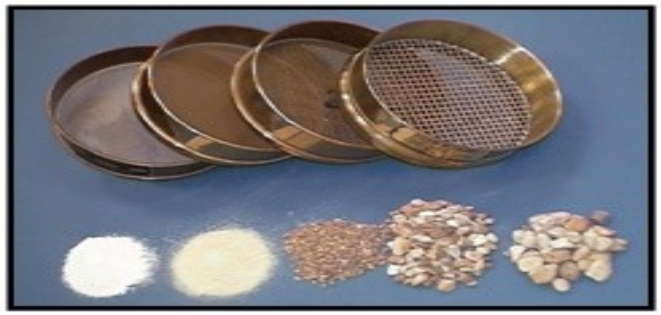
C- Laboratuvar Çalışmaları

- Endeks özelliklerine yönelik deneyler
- Kompaksiyon deneyleri
- Permeabilite deneyleri
- Kayma mukavemeti deneyleri
- Konsolidasyon deneyi

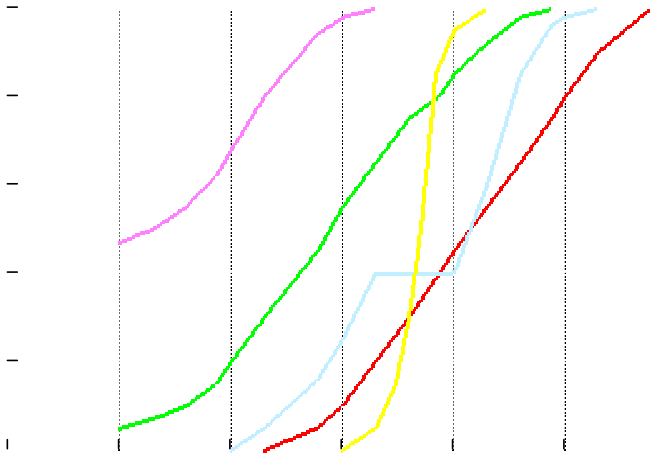
Endeks özelliklerine yönelik deneyler

Deney	Zemin türü	Elde edilen zemin özellikleri	Açıklama
Birim hacim ağırlık	Örselenmemiş numunelerin alınabildiği zeminler	**γ_n, γ_k, γ_d**	Örselenmemiş numunelerin alınamadığı durumda hesaplanamaz. Zemin tabakalara gelen jeolojik gerilmeleri (σ_{v0}) hesaplamada kullanılır.
Özgül ağırlık	Kum, silt, kil ve turba	**G_s**	Zeminin diğer fiziksel özelliklerini (e_0 vb.) belirlemede kullanılır.
Su muhtevası	Tüm zeminler	**w_n**	Özellikle kohezyonlu zeminler için önemlidir. e_0 ve γ hesaplanır
Kıvam limitleri	Kohezyonlu zeminler ile turba	**w_L w_P w_R**	Plastisite özelliği gösteren tüm zeminlerde belirlenmelidir. Zeminin kıvamı ve zemin sınıfı hakkında bilgi verir.
Elek	Tüm zeminler	**%G, %S, %M+C**	Kil ve silt yüzdeleri bilinmez. Kaba daneli zeminlerin granülometre eğrisi belirlenir.
Hidrometre	Kohezyonlu zeminler	**%M ve %C**	İnce daneli zeminlerin granülometre eğrisi belirlenir.
Organik içerik	Organik malzeme içeren tüm zeminler	**%O**	Organik zeminlerin tanımlanmış olması geoteknik tasarım açısından önem arzeder.
Rölatif sıkılık	Kohezyonsuz zeminler	**D_r**	Kaba daneli zeminlerin sıkılık durumunu belirtir.
Standart ve Modifiye Proctor deneyleri	Tüm zeminler	**W_{opt} ve $\gamma_{k,maks}$**	Dolgu olarak kullanılacak zeminin en iyi sıkıştırılması için gerekli parametreleri verir.
CBR deneyi	Tüm zeminler	**CBR (%)**	Asfalt/dolgu üstyapı tabakalarının kalınlıklarını hesaplamak için kullanılır.
Sabit seviyeli permeabilite deneyi	Geçirimliliği yüksek olan kaba daneli zeminler	**k**	Sonuçlar kısa süre içinde belirlenir.
Düşen seviyeli permeabilite deneyi	Geçirimliliği düşük olan ince daneli zeminler		Deneyler bir hafta veya daha uzun sürebilir.

Elek analizi



Hidrometre analizi

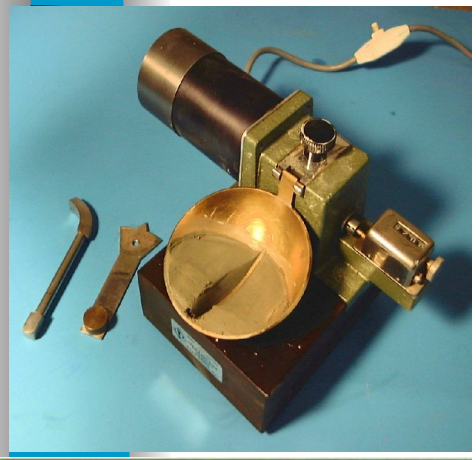


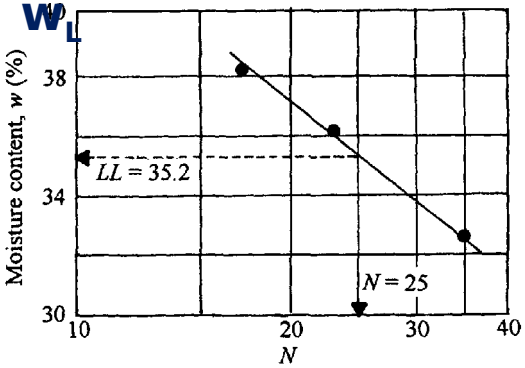
- **Dane Dağılımı eğrisi**
- **Zemin sınıflandırılması**

Su muhtevası,

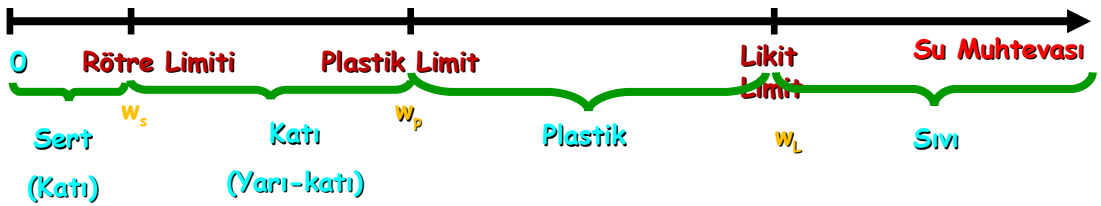
- Kıvam
- e_0, γ hesabında

Likit Limit, w_L

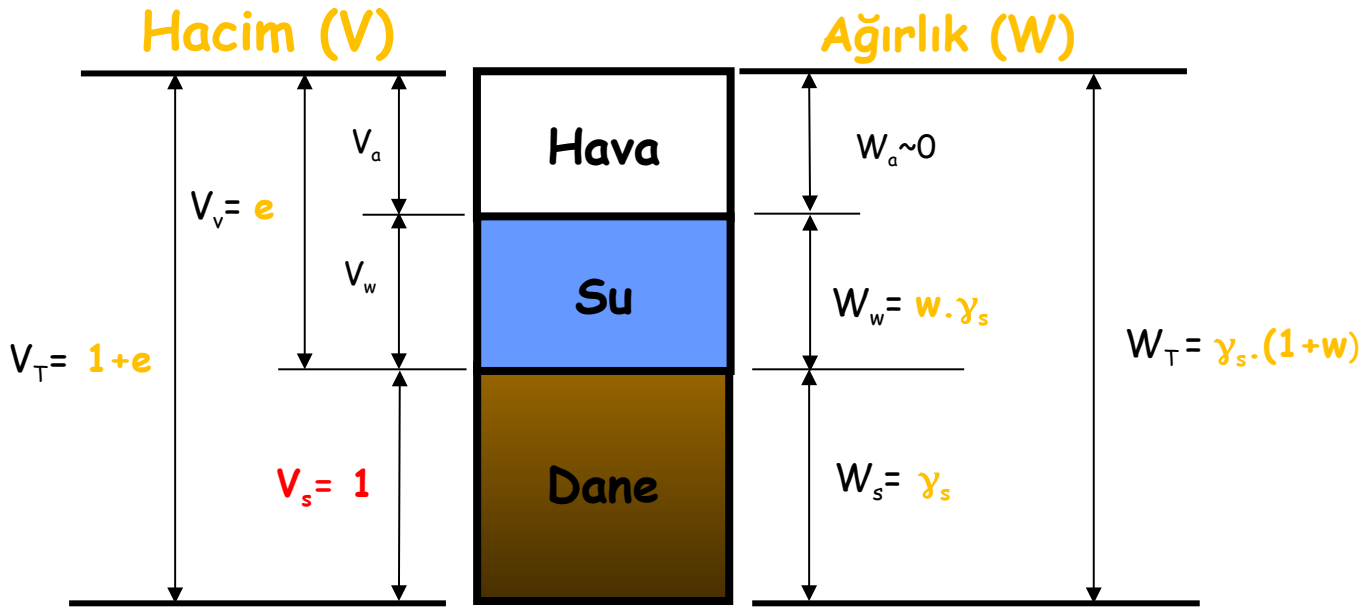




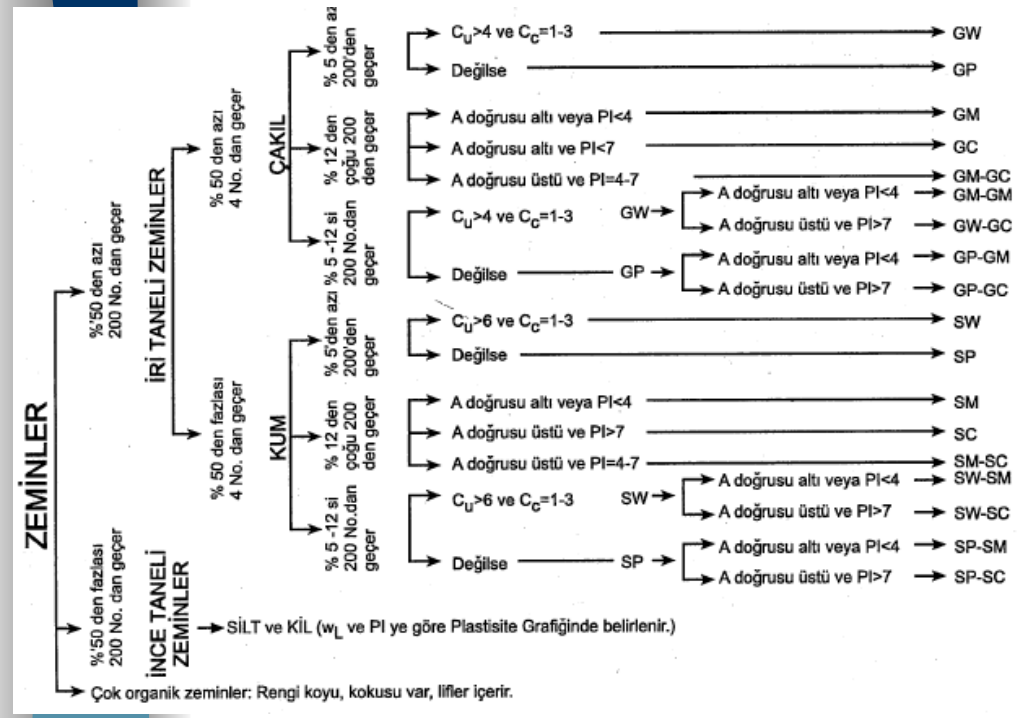
Plastik Limit, w_p

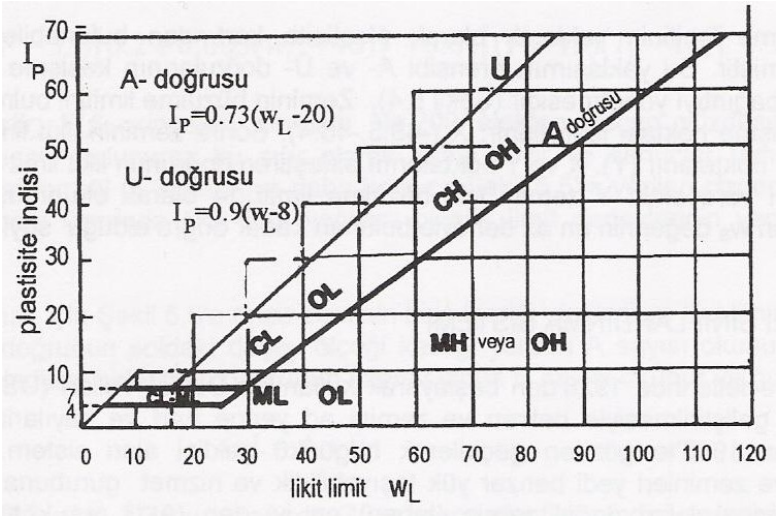


- Kıvam
- Zemin sınıflandırılması
- Korelasyonlar



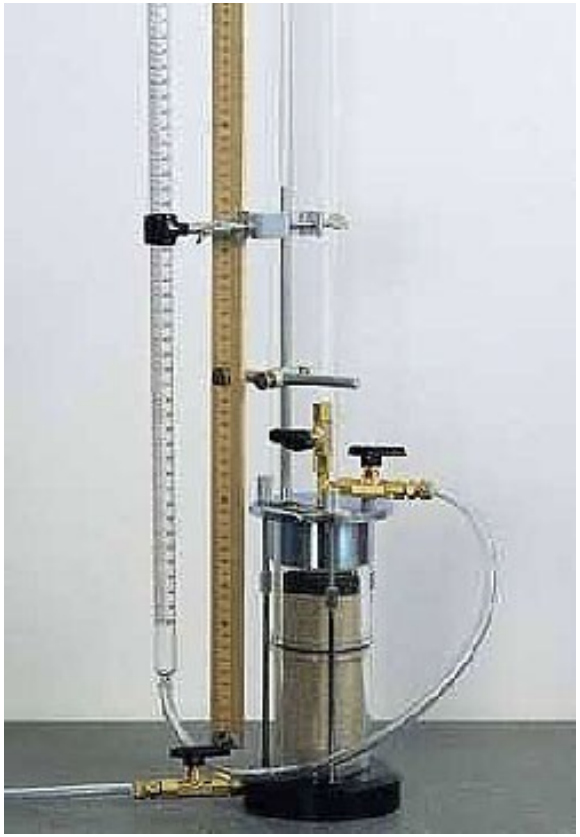
- Porozite , n $$n = \frac{V_v}{V_T} = \frac{e}{1+e}$$
- Doygunluk derecesi, S_r $$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w.\gamma_s}{e.\gamma_w} = \frac{w.G_s}{e}$$
- Kuru b.h. Ağırlığı, γ_k $$\gamma_k = \frac{W_s}{V_T} = \frac{\gamma_s}{1+e}$$
- Doğal b.h. Ağırlığı, γ_n $$\gamma_n = \frac{W_T}{V_T} = \frac{\gamma_s.(1+w)}{1+e}$$
- Doygun b.h. Ağırlığı, γ_d $$\gamma_d = \frac{W_s + W_w}{V_T} = \frac{\gamma_s + e.\gamma_w}{1+e}$$





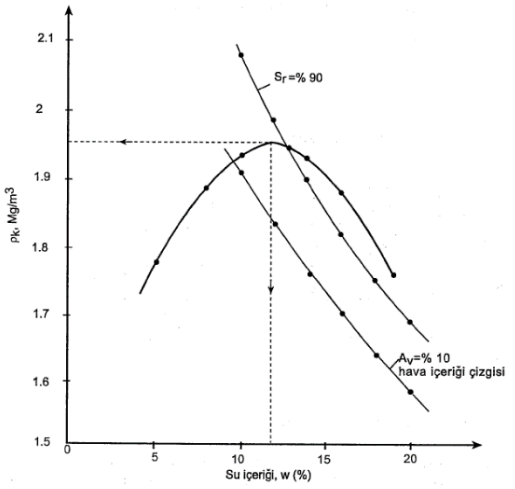
Zemin Sınıfı

Permeabilite deneyleri



- **Permeabilite katsayısı, k**

Kompaksiyon deneyleri

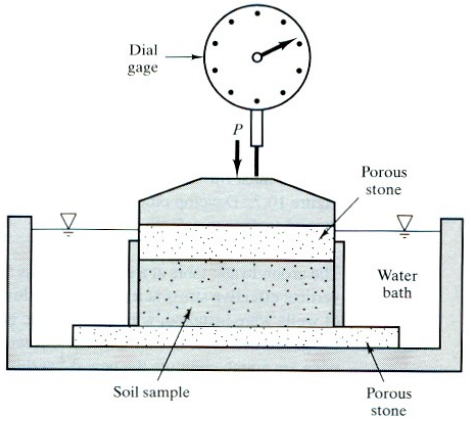


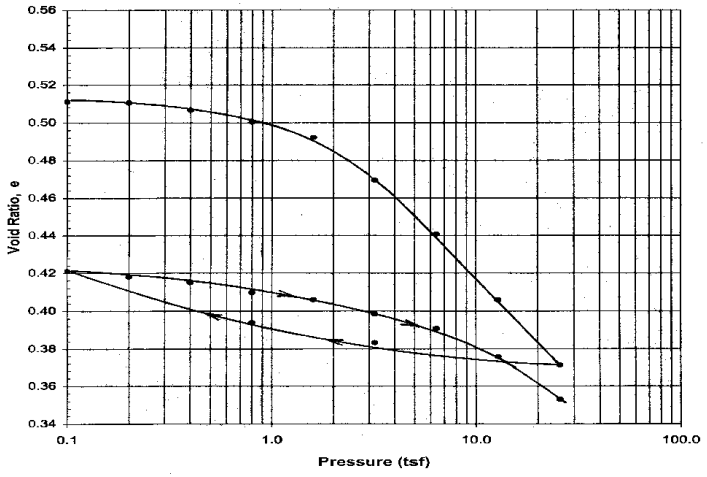
- **Kompaksiyon parametreleri, w_{opt} ve γ_{kmaks}**

Mekanik özelliklerine yönelik deneyler

Deney	Zemin türü	Elde edilen zemin özellikleri	Açıklama
Serbest basınç (UC)	Kendini tutabilen kohezyonlu zeminler	$\phi_u=0$, $c_u=q_u/2$, E_u	Suya doygun numunenin hızlı kesmeye zorlanması ile belirlenir. c_u'nun belirlenmesinde çevre basıncının olmaması UU deneyinden farkıdır.
Konsolidasyonsuz drenajsız (UU) üç eksenli basınç	Kumlar, siltler ve killer	$\phi_u=0$, c_u, E_u	Suya doygun numunenin hızlı kesmeye zorlanması ile yapılan deney türü olup elde edilen parametreler, kısa peryotlu (drenajsız) stabilite analizlerde kullanılır.
Konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç	Kumlar, siltler ve killer	ϕ_u, c_u, ϕ', c'	Deney sırasında boşluk suyu basıncının ölçümü yapılabildiğinden, kısa (drenajsız) ve uzun peryotlu (drenajlı) stabilite analizlerde kullanılır.
Konsolidasyonlu drenajlı (CD) üç eksenli basınç	Kumlar, siltler ve killer	ϕ', c', E_s	Uzun süren bir deney olup uzun peryotlu (drenajlı) stabilite analizlerde ve elastisite modülünü belirlemede kullanılır.
Kesme kutusu	Kum, silt, kil ve sıkıştırılmış dolgu zeminler	ϕ', ϕ_r'	Diğer tip deneylere göre daha kolaydır. Elde edilen parametreler uzun peryotlu (drenajlı) stabilite analizlerde kullanılır.
Konsolidasyon	Kohezyonlu zeminler	σ_p, AKO, $s_{şişme}$ C_c, C_r, C_α, m_v c_v, k	Killi ve siltli zeminlerin konsolidasyon oturması ve süresini, gerilme geçmişini, şişme basıncı ile permeabilite katsayının belirlenmesinde kullanılır.

Konsolidasyon Deneyi





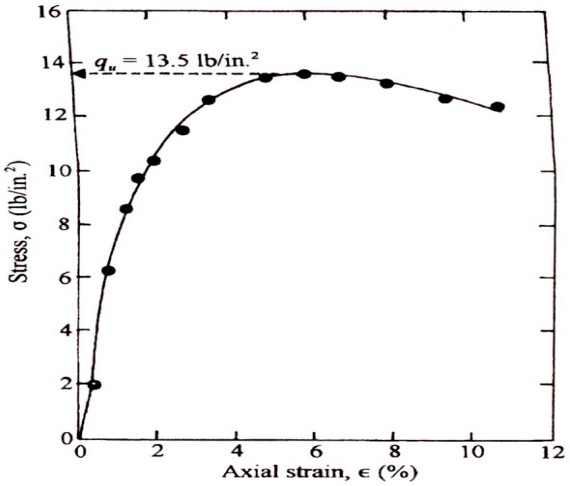
σ_p, AKO, $\sigma_{şişme}$

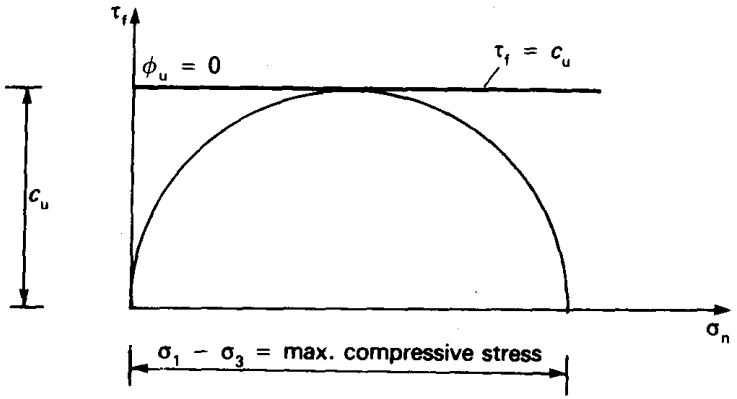
C_c, C_r, C_α, m_v

c_v, k

- **Kohezyonlu zeminlerin oturma hesabında**

Serbest Basınç Deneyi



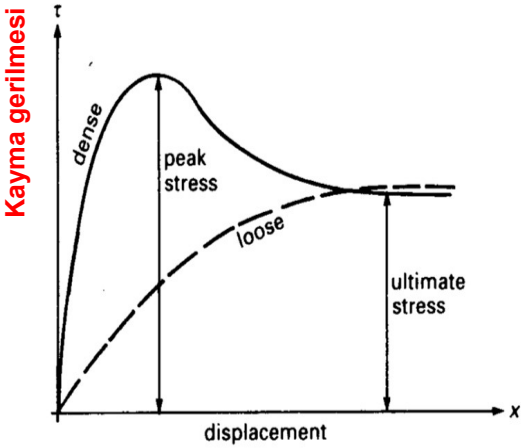


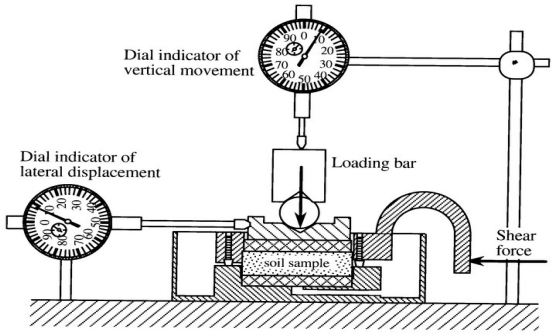
- **Kohezyonlu zeminlerin stabilite hesabında**

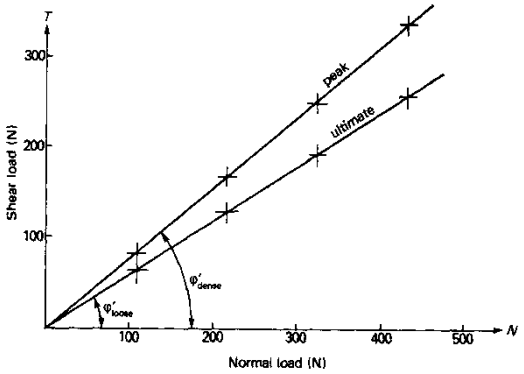
(temellerin taşıma gücü, şevlerin stabilitesi, dayanma yapıların

$$\phi_u=0,\ c_u=q_u/2,\ E_u$$

Kesme Kutusu Deneyi





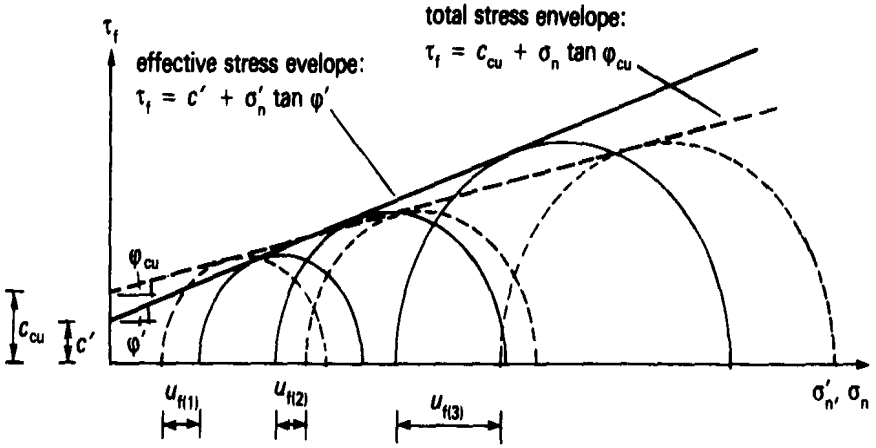


- **Genellikle kohezyonsuz zeminlerin stabilite hesabında**

ϕ', ϕ_r'

(temellerin taşıma gücü, şevlerin stabilitesi, dayanma yapıların stabilisinde)

Üç Eksenli Basınç Deneyi



- **Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin stabilite hesabında**

(temellerin taşıma gücü, şevlerin stabilitesi, dayanma yapıların stabilisinde)

UU → $\phi_u=0, c_u, E_u$

CU → ϕ_u, c_u, ϕ', c'

CD → ϕ', c', E_s

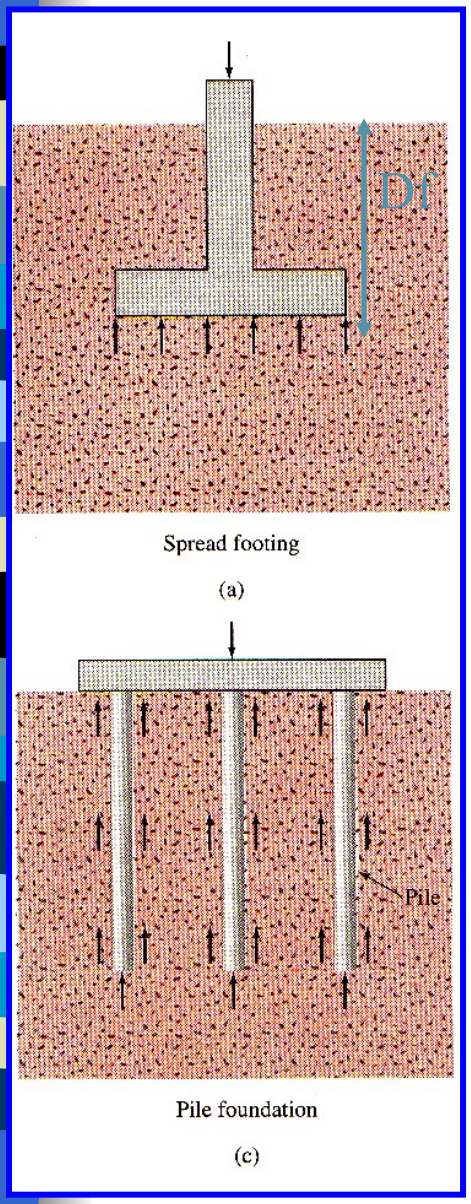
D- Geoteknik Analizler

Zeminlerin ve Temellerin Sağlaması Gereken koşullar

- Taşıma gücü kriteri koşulu
- Yatayda kayma koşulu (yüzeysel temeller)
- Oturma kriterleri koşulu
- Zeminin sıvılaşma potansiyeli
- Zeminin şişme potansiyeli
- Zeminin İyileştirilmesi ve İksa
- Ekonomik olma koşulu

- **Zemin profili ve geoteknik tasarım parametreleri belirlenir.**
- **Uluslararası kabul görmüş teorik bağıntılarla (Terzaghi, Meyerhof ve Vesic vb.) temele ait taşıma gücü ile yatayda kayma (yüzeysel temellerde) ve oturma hesabı yapılır.**
- **Taşıma gücü hesabı: Kohezyonsuz zeminlerde; teorik yaklaşımlar ile arazi deneylerine dayanan ampirik yada yarı ampirik bağıntılarla taşıma gücü hesaplanırken, kohezyonlu zeminlerde ise teorik yaklaşımlarla taşıma gücü belirlenir.**
- **Oturma hesabı: Kohezyonsuz zeminlerde; teorik yaklaşımlar ile arazi deneylerine dayanan ampirik yada yarı ampirik bağıntılarla oturma hesaplanırken, kohezyonlu zeminlerde ise teorik yaklaşımlarla oturma hesabı yapılmalıdır.**
- **Killerde (özellikle yüksek plastisiteli killer) şişme potansiyeli belirlenmelidir.**
- **Kumlu zeminlerde (özel durumda yumuşak killerde) sıvılaşma potansiyeli belirlenmelidir.**

Temeller



$D_f/B \leq 1 \Rightarrow$ Yüzeysel (Sığ) Temel

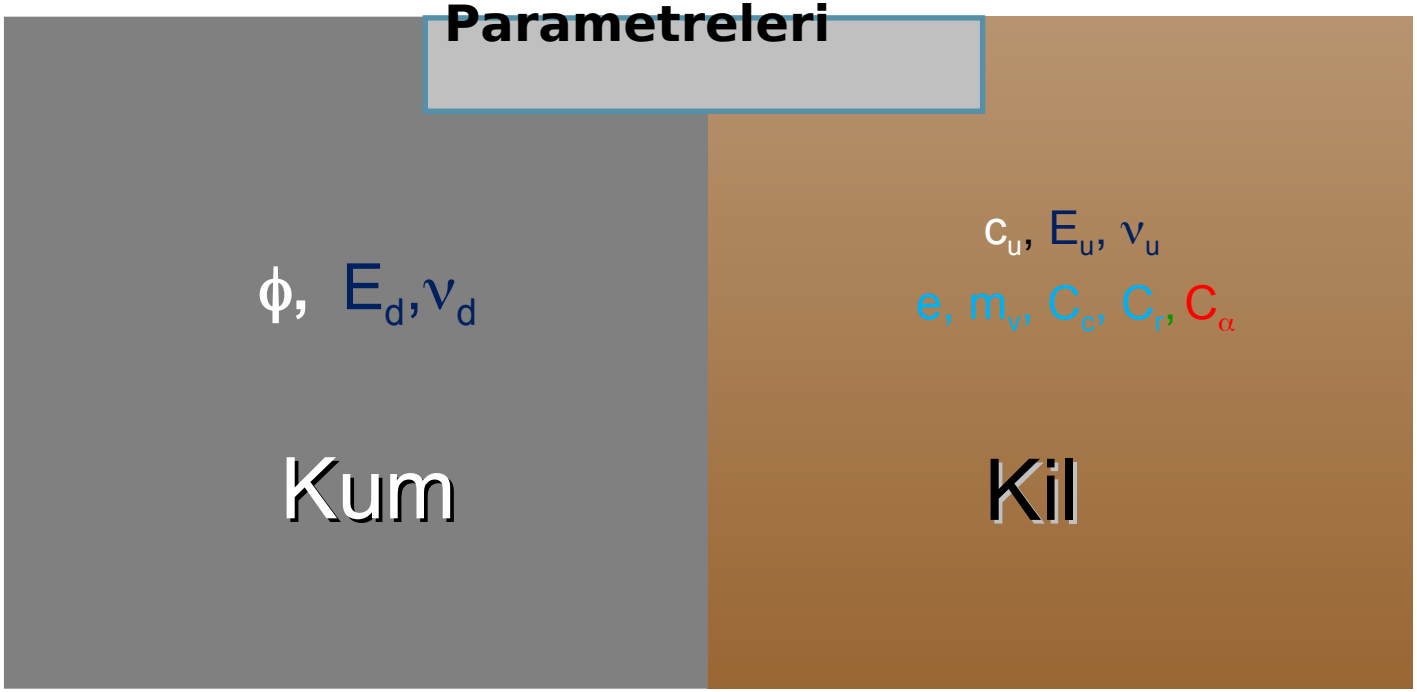
Tekil Mütemadi Radye

$D_f/B > 1 \Rightarrow$ Derin Temel

Kazık Ayak Keson

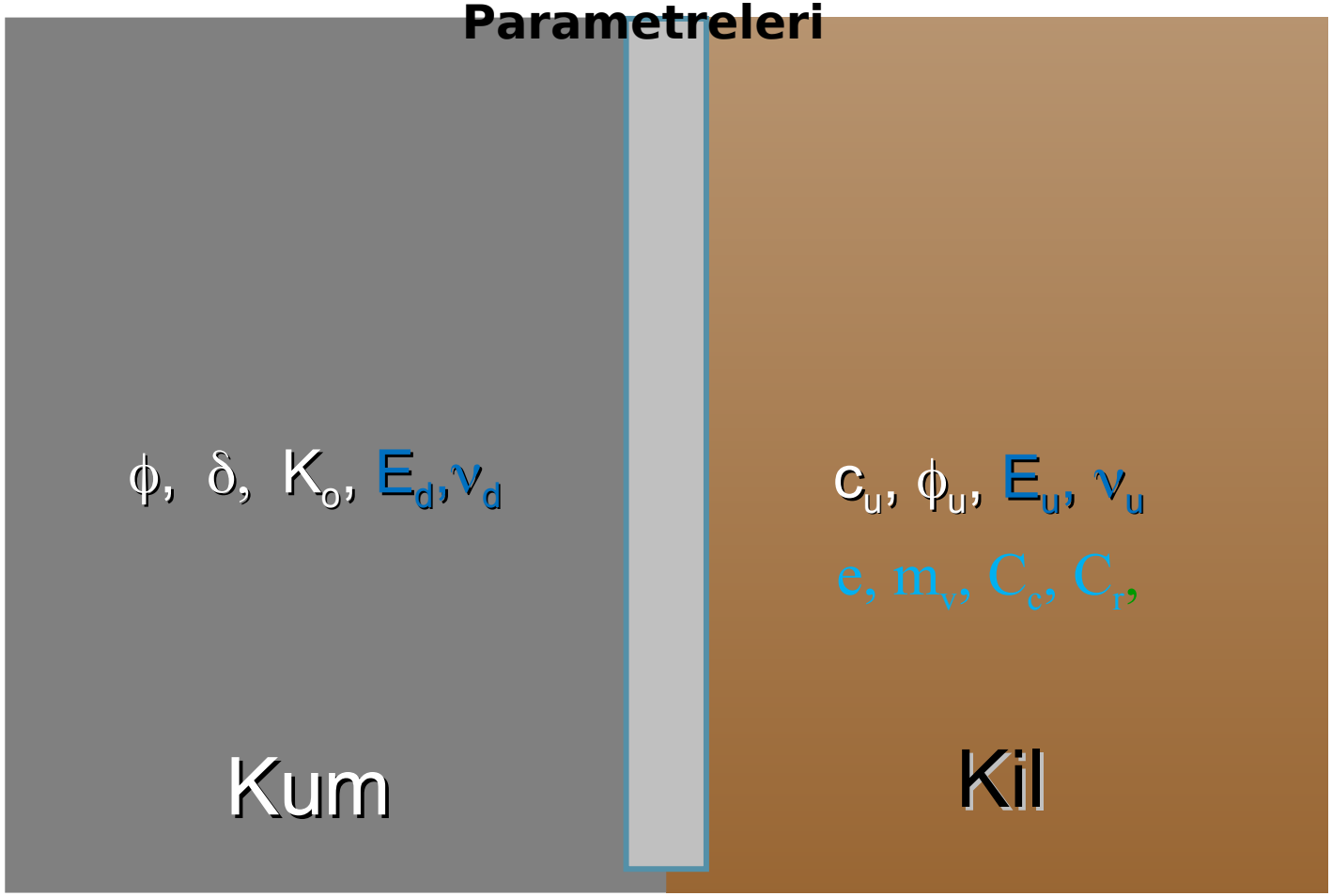
Yüzeysel Temel

Kum ve Kil Zeminler için Taşıma Gücü ve Oturma Parametreleri



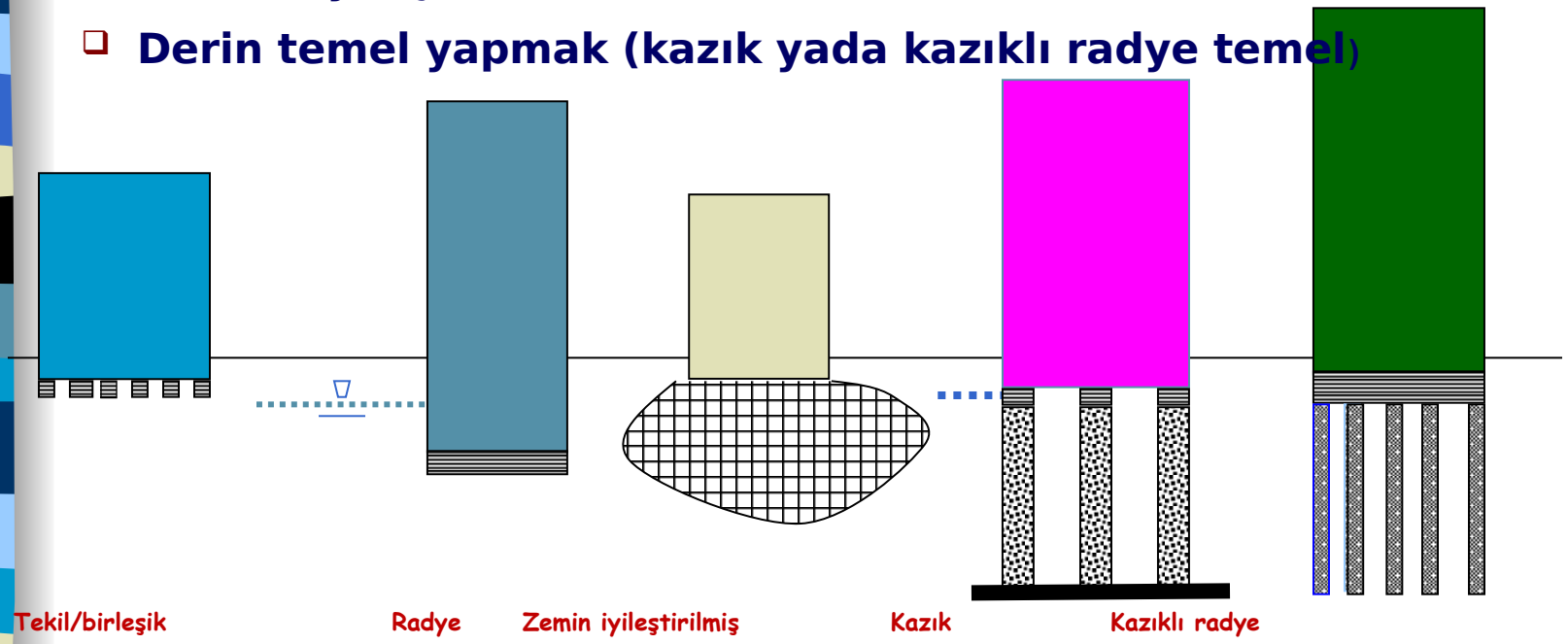
Derin Temeller

Kum ve Kil Zeminler için Taşıma Gücü ve Oturma Parametreleri



Önerilecek Geoteknik Tasarım

- Sığ temelin boyutlarını büyütmek (tekil, birleşik, mütemadi, radye temel)
- Temel derinliğini artırmak
- Zemini iyileştirmek
- Derin temel yapmak (kazık yada kazıklı radye temel)



- Önerilen bir yapıda beklenen oturma veya yanal hareketin çok büyük olduğu durumda, farklı temel desteği veya zemin stabilizasyonu tercihleri değerlendirilmelidir. Seçeneklerden biri, zemin iyileştirme yöntemidir.
- Zemin iyileştirme yerine, depremde olması beklenen zemin hareketine karşı koyacak bir temel tasarlanabilir. Örneğin radye temeller veya ön gerdirmeli plaklar, önemli hareketlerde bile binanın bütün olarak kalmasını sağlayabilir.
- Diğer tercih sıkışabilir veya sıvılaşabilir zemin tabakasını geçerek, yapısal yükleri elverişli taşıyıcı malzemeye aktaran bir derin temel sistemidir.
- Üçüncü bir tercih de yüzer temel inşa etmektir. Yapı ağırlığının, zeminin çıkarılması ve bir yeraltı bodrumu inşa edilmesi ile dengelendiği özel bir derin temel tipidir. Yüzer temel, depremin neden olduğu salınım hareketli oturma miktarını azaltmada yararlı olabilir.

- **Temel tipinin seçimini** etkileyen tipik faktörler, aşağıda Tablo'da verilmiştir.

Konu	Açıklama
Temel tipinin seçimi	Aşağıda listesi verilen faktörlerin analizine dayalı olarak, geoteknik mühendisi tarafından özel bir temel çeşidi (sığ ya da derin) önerilir.
Yeterli derinlik	Don hasarını önlemek için temelin yeterli derinliğe inmiş olması gerekir. Köprü ayağı gibi temellerde taban oyulmasına karşı, temel yeterli derinlikte olmalıdır.
Taşıma kapasitesi yenilmesi	Taşıma kapasitesi yenilmesine karşı temel güvenli olmalıdır.
Oturma	Temel, yapıya zarar verecek kadar oturmamalıdır.
Kalite	Temel, sülfat etkisi gibi nedenlerden dolayı bozulmayacak kadar iyi kaliteli olmalıdır.
Yeterli dayanım	Temel, yapı yükleri altında çatlamayacak veya göçmeyecek şekilde yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Temel ayrıca tasarım planına uygun şekilde inşa edilmelidir.
Zeminde dramatik değişimler	Temel aynı zamanda uzun vadede zeminde meydana gelebilecek dramatik değişimlere karşı koyabilmelidir. Buna bir örnek, şişebilir zemindir. Bu zeminler genişleme veya büzülme şeklinde temelin hareketine ve dolayısıyla yapının zarar görmesine neden olabilir.
Sismik kuvvetler	Temel, aşırı oturma veya yanal hareket göstermeden bir deprem sırasında yapıyı destekleyebilmelidir.
Gerekli özel şartlar	Temel ayrıca devlet kurumunun veya yerel imar bürosunun öngördüğü şartları yerine getirebilmelidir.

SIĞ TEMELLER

- Sığ bir temel, çoğunlukla yapısal yük ve deprem etkilerinin alttaki zemin tabakalarının aşırı oturma veya yanal hareketine neden olmayacağı zaman seçilir. Genelde, sığ temellerin inşası, derin temellerden daha ekonomiktir.

- Depremde aşırı oturma veya yanal hareket beklendiği durumda genellikle tekil temeller arzu edilmez. Bunun nedeni, deprem anında yapının çökmesine neden olarak temelin parçalanabilmesidir. Bunun yerine, önemli hareketlerle bile binanın bütün olarak kalmasını sağlayabilen bir radye temel veya ön-gerdirmeli plak daha çok tercih edilir.

Sığ Temellerin Yaygın Tipleri

Konu	Açıklama
Tekil temeller	Tekil temeller plan görünümü itibariyle genellikle kare şeklinde olup, üniform kalınlıkta ve donatılı betondan imal edilir. Sömelin tam ortasına doğrudan gelen nokta yükleri desteklemede kullanılır.
Şerit temeller	Sürekli temel olarak da bilinen bu temeller, yük taşıyan duvarları desteklemede kullanılır. Genellikle uzun olup, üniform genişlikte, elemanları donatılı betondan meydana gelen sığ derinlikli temellerdir.
Birleşik temeller	Donatılı betondan oluşan birleşik temeller plan görünümü itibariyle genellikle dikdörtgen veya trapezoid şeklli olup, birden fazla kolon yükü taşırlar (Şekil 13.1).
Diğer temel tipleri	Şekil 13.1'de konsol temel, sekizgen temel ve bileşkesi üniform zemin basıncı verecek şekilde eksantrik yüklenmiş temel gibi diğer sömel çeşitleri görülmektedir.
Radye temeller	Yüzeyde veya yüzeye yakın derinlikte inşa edilen radye temeller, sığ temel olarak değerlendirilir. Şekil 13.2'de değişik radye temel tipleri görülmektedir. Ekonomik şartlara bağlı olarak, radye temeler genellikle aşağıdaki şartlara bağlı olarak inşa edilir (NAVFAC DM-7.2,1982): 1. *Geniş münferit sömeller*: Tekil temellerin oturduğu alan, toplam temel alanının yarısından büyük olduğu zaman genellikle radye temel inşa edilir. 2. *Yeraltı boşlukları veya sıkışabilir mercekler*: Saha incelemeleri temelin eşit olmayan oturmasına neden olabilecek küçük yeraltı boşluklarının veya sıkışabilir merceklerin varlığına işaret ettiğinde radye temel inşa edilebilir. Radye temel yükü daha geniş alana ve üniform bir şekilde yaymak suretiyle bu etkileri giderebilir. 3. *Sığ oturmalar*: Sığ oturmaların egemen olduğu durumda radye temel önerilebilir ve bu şekilde farklı oturmalar önlenebilir. 4. *Yüklerin eşit olmayan dağılımı*: Bazı yapılarda temelin farklı yerlerine büyük yüklemeler yapılabilir. Böyle durumlarda geleneksel tekil temel kullanılması halinde aşırı miktarda farklı oturmalar gelişebilir. Radye temeller bu çeşit yükleri eşit olarak dağıtmak suretiyle farkl oturmaları azaltır. 5. *Hidrostatik kaldırma*: Yüksek su tablasından dolayı temelin hidrostatik kaldırmaya maruz kaldığı durumda, kaldırma kuvvetine karşı koymada radye temel kullanılabilir.
Tesviye üzeri geleneksel plak	Sürekli, donatılı beton temel; taşıyıcı duvar temelleri ve tesviye üzeri plaktan oluşur. Beton donatısı genellikle sömeller içinde çelik inşaat çubuğu ve beton plak içinde tel kafes şeklindedir.

DERİN TEMELLER

- Derin temeller, bir deprem esnasında temel hareketini azaltmanın en etkin yöntemlerinden biridir.
- Hasar görmüş beton binaların çoğu, sığ temeller veya gevşek zeminde sürtünme kazıkları üzerine inşa edilmiştir. 20 m derinlikte sağlam tabaka üzerine dayanan kazıklar üzerine inşa edilen benzer beton binalar hasara uğramamıştır.
- Binaların yanı sıra, derin temeller hemen hemen her türlü yapıda kullanılabilir. Örneğin bir depolama tankını desteklemede kullanılan beton kazıklar gibi. Derin temellerin deprem koşullarında en yaygın olarak kullanılan iki çeşidi, fore kazık ve bağlantı kirişi sistemi ile ön gerilmeli (betonarme çakma) kazık temelleridir.

Konu	Açıklama
Kazık temeller	Kazıklar ahşap (kereste), H-kesitli çelik, prefabrik beton, yerinde dökülmüş beton, basınçla enjekte edilmiş beton, betonla doldurulmuş çelik boru ve birleşik tip kazıklardır (ayrıca bkz. Tablo 13.4). Kazıklar ya zemine çakılmakta veya önceden açılmış deliklere yerleştirilmektedir. Çakılan türde kazıklar kazığın çakılması sırasında yerdeğiştirmesi gerekli zemin miktarına göre genellikle düşük yerdeğiştirme veya büyük yerdeğiştirme kazıkları şeklinde değerlendirilmektedir. Düşük yerdeğiştirme kazıklarına örnekler H-kesitli çelik kazıklar ve ucunda zemin tıkanması söz konusu olmayan açık uçlu çelik boru şeklindeki kazıklardır. Yüksek yerdeğiştirme kazıklarına örnekler, yuvarlak kereste veya kare kesitli prefabrik beton kazıklar gibi içi dolu kazıklar ve ucu kapalı çelik boru kazıklarıdır. * *Eğimli kazık*: Yanal yüklere karşı yüksek direnç sağlayan ve düşey ile belirli bir açı yapacak şekilde çakılan kazıklardır. * *Uç taşıma kazığı*: Bu kazığın destek kapasitesi başlıca kazık ucunun oturmuş olduğu zemin malzemesinin direncinden ileri gelir. Uç taşıma kazıkları genellikle yumuşak bir katmanın altında sıkı veya sert bir katman olduğu zaman kullanılmaktadır. Üstteki yumuşak katmanın oturması durumunda, kazık, aşağı doğru çeken kuvvetlere maruz kalır ve kazık zeminden ileri gelen bu kuvvetlere karşı koyacak şekilde tasarlanmalıdır. * *Sürtünme kazığı*: Bu kazığın destek kapasitesi başlıca kazığın dış yüzeyi boyunca mobilize olan zemin sürtünme direncinden veya adezyondan ileri gelir. Sürtünme kazıkları, uç kısımda delici kesme yüzünden uç direncinin düşük olduğu yumuşak killerde sıkça kullanılmaktadır. Yukarı doğru olan kuvvetlere (örnek, çekme kuvvetleri) karşı koyan kazık da bir sürtünme kazığı olarak değerlendirilir. * *Uç taşıma ve sürtünme birleşik kazığı*: Bu kazığın destek kapasitesi başlıca kazığın ucunda gelişen uç taşıma direnci ile kazık yüzeyindeki sürtünme ve/veya adezyon direncinden ileri gelmektedir. Kazıklar genellikle belirli düzenlemeler yaparak zemine sürülür ve donatılı betondan yapılma kazık başlığını veya radye temeli desteklemede kullanılır. Sözgelimi, bir yapıdaki çelik kolona gelen yapı yükü, köşelere yakın dört kazık ile alttan desteklenen ve donatılı betondan yapılmış olan kazık başlığı tarafından karşılanabilir.
Betonla doldurulmuş çelik boru kazıklar	Bir diğer seçenek de, beton ile doldurulmuş çelik boru şeklindeki kazıklardır. Bu durumda, çelik boru zemine sürülmektedir. Çelik borunun ucu açık veya kapalı olabilir. Açık olması durumunda boru içine giren zemin çelik donatı ve beton konulmadan önce (jetleme ile) temizlenir. Tablo 13.4'de betonla doldurulmuş çelik boru kazıklara ait ayrıntılar verilmiştir.

Konu	Açıklama
Öngerdirmeli beton kazıklar	Tablo 13.4'de sahaya taşınan ve sonra çakılan tipik öngerdirmeli beton kazıkların ayrıntıları verilmiştir.
Diğer çeşit kazıklar	Tablo 13.4'de değişik tip kazıkların ayrıntıları verilmiştir.
Forekazıklar	Forekazıklar da derin temel sistemleri olarak tanımlanır. Yerinde imal edimiş kazıklara benzer tarzda, kolon şeklindeki donatılı beton elemanlarından oluşur. Çapları genellikle kuyu aşağıda gözlem yapmaya izin verecek kadar genişitir. Forekazıklar çoğu zaman sondaj şaftları, sondaj kazıkları ve sondaj kesonları olarak da adlandırılır.
Kesonlar	Büyük çaplı forekazıklar bazan keson olarak adlandırılmaktadır. Keson ayrıca içinde çalışma yapılabilen su geçirmez yeraltı yapısı şeklinde de olabilir.
Radye veya tabla temeller	Bir radye veya tabla temel zemin seviyesi altında inşa edildiği zaman veya radye ya da tabla temel kazıklar veya kesonlarla desteklendiği zaman derin temel sistemi olarak gözönüne alınır.
Yüzen temel	Yüzen temeller, yapı ağırlığının kazılan zemin ile dengelendiği ve yeraltında bodrum katı inşa edildiği durumdaki özel bir derin temel tipidir.

E- Zemin ve Temel Etüdü

…… SAHASI
PARSEL BAZINDA ZEMİN VE TEMEL ETÜDÜ
VERİ RAPORU

Rapor No: ……
Tarih: ……

I- Veri Raporu

1. GİRİŞ

1.1. Etüdün amacı ve kapsamı

1.2. İnceleme alanının tanıtılması

a) Jeomorfolojik ve Çevresel bilgiler

b) İmar planı durumu

c) İmar adası ile ilgili bilgiler

d) İklim Bilgileri

e) Doğal afet tehlikeleri

f) Yapı hakkında bilgiler

2. JEOLOJİ

2.1. Bölgesel jeoloji

2.2. Yapısal jeoloji ve Aktif tektonik

3. ARAZİ ÇALIŞMALARI

3.1. Jeofizik çalışmalar

3.2. Araştırma çukurları

3.3. Sondajlar

3.4. Arazi deneyleri

4. HİDROJEOLOJİ

5. LABORATUVAR DENEYLERİ

6. İNCELEME ALANI MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

7. JEOLOJİK KESİT

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

9. YARARLANILAN KAYNAKLAR

10. EKLER

EK LİSTESİ:

Ek-1 : Araştırma Noktaları Vaziyet Planı
Ek-2: Araştırma Çukuru ve Sondaj Logları, Karot Sandığı Fotoğrafları, Araştırma Çukuru ve Çıkan Malzeme Fotoğrafları
Ek-3: Arazi Deneyleri Sonuç Föyleri
Ek-4 : Jeolojik Kesitler
Ek-5 : Laboratuvar Deney Sonuçları
Ek-6 : Jeofizik Ölçüm Kayıtları ve Düzeltilmemiş Saha Verileri
Ek-7 : Fotoğraflar
Ek-8 : Tapu, İmar Planı, İmar Çapı Sureti
Ek-9 : 1/1000 ya da 1/5000 Ölçekli Münhanili Mühendislik Jeolojisi Haritası
Ek-10: İlgili Tutanaklar
Ek-11: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları Bilgileri
Ek-12: Video çekimi (CD/ sondajlar, jeofizik çalışmalar, araştırma çukuru kazımı ve çıkan malzemenin görüntüleri)

TABLO LİSTESİ:

Tablo-1: Sondaj Derinlikleri (ağız kotları ve dip kotları ile birlikte) (Sayfa No)
Tablo-2: Sondaj Karot Yüzdeleri (her sondajın her derinliği için) (Sayfa No)
Tablo-3: Standart Penetrasyon Testi Sonuçları (Sayfa No)
Tablo-4: Presiyometre Deney Sonuçları (Sayfa No)
Tablo-5: Koni Penetrasyon Testi Sonuçları (Sayfa No)
Tablo-6: Bölgenin Deprem Parametreleri (jeofizik araştırma sonuçları) (Sayfa No)
Tablo-7: Bölgenin Dinamik Elastik Parametreleri (jeofizik sonuçları) (Sayfa No)
Tablo-8: Yeraltı Su Seviyesi Ölçümleri (Sayfa No)
Tablo-9: Zemin Tabakalarına Göre Arazi Ve Laboratuvar Deney Sonuçları (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka tablolar eklenebilir veya bazıları çıkartılabilir)

ŞEKİL LİSTESİ:

Şekil-1 : Yer Bulduru Haritası (Sayfa No)
Şekil-2 : Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeoloji Haritası (Sayfa No)
Şekil-3 : Jeolojik Harita Lejantı (Sayfa No)
Şekil-4: Mühendislik Jeolojisi Haritası (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka şekiller eklenebilir)

Raporu hazırlayan firma ismi ve iletişim bilgileri, proje adı, sahaya ait imar bilgileri, rapor numarası ve rapor tarihi raporun ön kapağında da belirtilmelidir.

…….. SAHASI

PARSEL BAZINDA ZEMİN VE TEMEL ETÜDÜ

GEOTEKNİK RAPORU

Rapor No: ……

Tarih: ……

II- Geoteknik Raporu

1. GİRİŞ
2. İNŞAAT SAHASI HAKKINDA BİLGİLER
3. YAPI HAKKINDA BİLGİLER
4. MEVCUT ZEMİN ARAŞTIRMALARI
5. İLAVE ZEMİN ARAŞTIRMALARI
6. İDEALİZE ZEMİN PROFİLİ (ARAZİ ZEMİN MODELİ) VE YERALTI SUYU DURUMU
7. GEOTEKNİK TASARIM PARAMETRELERİNİN TESPİTİ

8. DEPREMSELLİK

9. YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN İRDELENMESİ

9.1. Temel Sistemine İlişkin Geoteknik Analiz ve Değerlendirmeler

9.1.1. Yüzeysel Temeller

a) Taşıma gücü ve yatayda kayma analizi

b) Oturma analizi

9.1.2. Derin Temeller

a) Taşıma gücü analizi

b) Oturma analizi

9.2. Zemin İyileştirme Alternatifleri

9.3. Önerilen Temel Sistemi

9.4. Yapı Temelleri ile ilgili Diğer Hususlar

10. İKSA SİSTEMLERİ-ŞEV DURAYLILIK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

12. YARALANILAN KAYNAKLAR

EK LİSTESİ:

Ek-1 : Araştırma Noktaları Vaziyet Planı
Ek-2: Sondaj Logları
Ek-3: Laboratuvar Deney Sonuçları Özet Tabloları

(Ayrıca sahaya ve/veya binaya özel olarak yapılan çalışmalarla ilgili ekler de burada belirtilmelidir)

TABLO LİSTESİ:

Tablo-1: Sıvılaşma Analizi Değerlendirmeleri (Sayfa No)

(Yapılan analiz ve değerlendirmelerin kapsamına göre başka tablolar eklenebilir veya çıkartılabilir)

ŞEKİL LİSTESİ:

Şekil-1: İdealize Zemin Kesiti (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka şekiller eklenebilir)

Raporu hazırlayan firma ismi ve iletişim bilgileri, proje adı, sahaya ait imar bilgileri, rapor numarası ve rapor tarihi raporun ön kapağında da belirtilmelidir.

Aşağıda verilen başlıklar ve açıklamalar Geoteknik Rapor'da bulunması gereken asgari hususları içermektedir. Bunların dışında sahanın ve binanın nitelikleri itibarıyla gerek kısa gerekse uzun vadede yapı-zemin etkileşimi açısından önem arz eden özel konulara da ayrıca değinilmelidir.

III-ZEMİN VE TEMEL ETÜD RAPORLARINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

- Eğitim-Öğretimden Kaynaklanan Problemler
- Uygulama ile İlgili Problemler
- Zemin Etüd Raporlarında Sıkça Karşılaşılan Hatalar/Eksiklikler

A- Eğitim-Öğretimden Kaynaklanan Problemler

- **Geoteknik Mühendisliği ile ilgili derslerin yeterli derecede öğretilememesi/öğrenilmemesi**
  - * **Zemin Mekaniği, İnşaat Müh. için Jeoloji**
  - * **Temel Mühendisliği**
  - * **Geoteknik Tasarım**
  - * **Geoteknik Mühendisliğinde Bilgisayar Uygulamaları**

- **Piyasada Yeterli Sayıda ve Kalitede Geoteknik Mühendisin Olmaması**
  - * **Jeoloji Mühendisi**
  - * **Jeofizik Mühendisi**
  - * **Maden Mühendisi**

B- Uygulama ile İlgili Problemler

- **Zemin İncelemesinin Yeterli Derecede Yapılmaması**
  - * **Arazinin bizzat yerinin gezilmemesi**
  - * **Sondajların yetersiz yada gelişi güzel hazırlanması**
  - * **Temsili zemin profilinin doğru tespit edilememesi**

- **Yetersiz Zemin ve Temel Etüd Raporları**
  - * **Raporların ehliyetli kişiler (Yetkin/Deneyimli) tarafından hazırlanmaması**
  - * **Gereksiz bilgiler yığını, Gerekli bilgilerin yetersizliği**
  - * **Verilerin birbirleri ile tutarsızlığı**

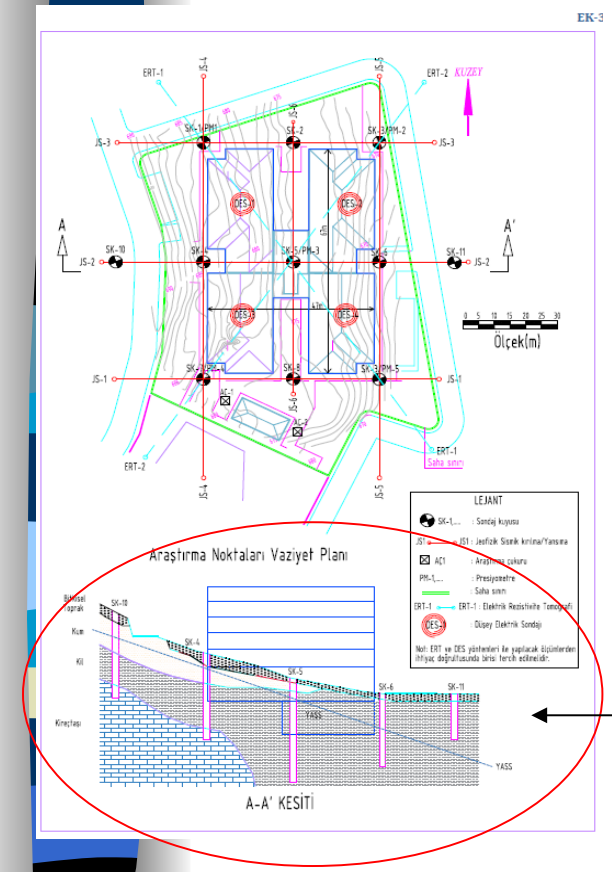
- **Sondaj, Arazi ve Laboratuvar çalışmalarında denetim mekanizmasının yetersiz olması**

- **Bazı onay makamlarında etüt işlerinin ve onayın subjektif kriterlerle yapılması**

- **Raporu kontrol eden/onaylayan mühendisin, teknik/mesleki olarak yetersizliği**

C- Zemin ve Temel Etüd Raporlarında Sıkça Karşılaşılan Hatalar/Eksiklikler

- **İnşası planlanan yapının oturum alanı, kat sayısı, temel-bodrum derinliği gibi bilgilerin zemin etüt raporunda verilmemesi.**
- **Sondaj yerlerinin planda gösterilmemesi yada gelişigüzel gösterilmesi.**
- **Sondaj sayıları ve derinliklerinin yetersiz olması.**
- **Numune alımında, çoğunlukla yüzeyden 2-3 m. derinlikte, 1-2 adet örselenmemiş numune alınıp, daha derinlerden alınmaması.**
- **Zemin tipine uygun arazi deneyinin seçilmemesi, uygulanmaması, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)'nin her türlü zemin ve kaya ortamında uygulanması ve Standart Penetrasyon Vuruş Sayısı (SPT-N) değerine yapılacak düzeltme faktörleri için gerekli verilerin tam olarak bulunmaması.**
- **Zemin davranışını (drenajlı uzun dönem, drenajsız kısa dönem davranış vb.) ve nihai bina yüklerini göz önüne almadan, arazi ve laboratuvar deneylerinin yapılması.**
- **Laboratuvar deneylerinin (konsolidasyon, üç eksenli**



- **Sondaj yerine daha ucuz yöntemlere başvurulması**
- **Geoteknik tasarım parametrelerinin yalnızca jeofizik-jeolojik araştırmalara dayanması**
- **Kohezyonlu zeminlerde SPT deneyleri ile taşıma gücünün hesaplanması**
- **Kohezyonlu zeminlerde oturma hesabında, kumlu zeminler için geliştirilen bağıntıların kullanılması**
- **Geoteknik uzmanın arazi çalışmalarına hiç katılmaması**
- **Temel kazısında karşılaşabilecek sorunlar ve iksa sistemi hakkında bilgilendirme yapılmaması**
- **Uygun olmayan zeminlerde, zemin veya temel açısından alınabilecek önlemlerin belirtilmemesi**
- **Arazi ve laboratuvar çalışmalarının çoğunun yanlış veya eksik yapıldığı ve bu verilere dayalı olarak yanlış-**

Doğru bir şekilde verilmemesi

IV- ZEMİN ETÜDÜ İLE İLGİLİ MEVZUATLAR VE KAYNAKLAR

Þ Mart 2019

Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı

ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
YAPI İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

18 Mart 2018 PAZAR — Resmî Gazete — Sayı : 30364

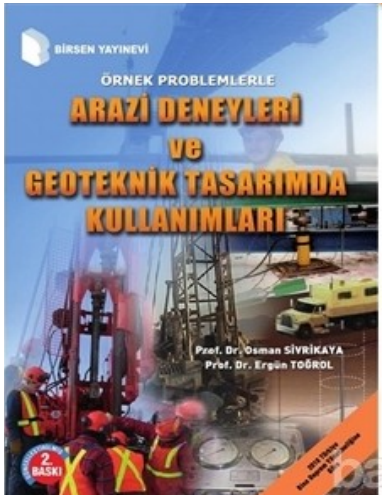
YÖNETMELİK

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığından:

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ

EK

DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN TASARIMI İÇİN ESASLAR



1- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)

1.3. ÖZEL KONULARDA TASARIM GÖZETİMİ VE KONTROLÜ

1.3.1. Tanım

1.3.1.1 – Bu Yönetmeliğin uygulanmasına ilişkin değerlendirme ve tasarım süreçlerinde, özel uzmanlık gerektiren konularda projenin başlangıcından tamamlanmasına kadar ilgili tüm tasarım aşamalarında görev yapacak şekilde, ilgili alanda teorik ve mesleki bilgi ve deneyim sahibi inşaat mühendislerinden "*tasarım gözetimi ve kontrolü*" hizmeti alınmak zorundadır.

1.3.1.2 – Bu tür hizmetleri yerine getireceklerin eğitim koşulları, mesleki yeterlilik ve deneyim konuları ve bunların belgelendirilmesi ile hizmetin yürütülmesine ilişkin usul ve esaslar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenir.

1.3.2. Kapsam

Bu Yönetmeliğin uygulanmasında aşağıda **(a)** ila **(g)**'de belirtilen konular **1.3.1**'de tanımlanan "*tasarım gözetimi ve kontrolü*" hizmetine tabidir:

(a) Bölüm 2 kapsamında **2.4.1**'de belirtilen Sahaya Özel Deprem Tehlikesi Analizleri

(b) Bölüm 2 kapsamında **2.5**'e göre Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması

(c) Bölüm 2 ve **Bölüm 16** kapsamında **2.4.2** ve **16.5**'e göre Sahaya Özel Zemin Davranışı Analizleri

(d) Bölüm 5 kapsamında **5.6.6**'ya göre Çok Modlu İtme Yöntemleri ve **5.7**'ye göre Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Hesabı

(e) Bölüm 13'e göre Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Deprem Hesabı ve Tasarımı

(f) Bölüm 14'e göre Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Deprem Hesabı ve Tasarımı

(g) Bölüm 16 kapsamında **16.10**'a göre Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi Hesapları

Bölüm 2. DEPREM YER HAREKETİ

A- Deprem Tehlike Haritaları

2.1.2 – **2.2**'de tanımlanan dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları* ile tanımlanmıştır. Bu haritalara https://tdth.afad.gov.tr/ adresli internet sitesinden erişilebilir.

B- Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Bu Yönetmelik kapsamında aşağıda belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

2.2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu *çok seyrek* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu *seyrek* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *standart tasarım deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu *sık* deprem yer hareketini nitelemektedir.

2.2.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu *çok sık* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *servis deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

C- Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, **2.3.2**, **2.3.3**, **2.3.4** ve **2.3.5**'te açıklandığı üzere *harita spektral ivme katsayıları*'na ve *yerel zemin etki katsayıları*'na bağlı olarak standart biçimde veya **2.4.1**'e göre *sahaya özel deprem tehlikesi analizleri* ile özel olarak tanımlanırlar.

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen *harita spektral ivme katsayıları*, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [$(V_S)_{30}$=760 m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için *harita spektral ivmeleri*'nin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile *boyutsuz katsayılar* olarak tanımlanmıştır.

→ Kısa periyot *harita spektral ivme katsayısı* S_S

1.0 saniye periyot için *harita spektral ivme katsayısı* S_1

S_S ve S_1 = f (Konum koordinatı ve Deprem Yer Hareket Düzeyi)

→ *tasarım spektral ivme katsayıları* S_{DS} ve S_{D1}

$$S_{DS} = S_S F_S$$
$$S_{D1} = S_1 F_1$$

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_S					
	$S_S \le 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \ge 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \le 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \ge 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

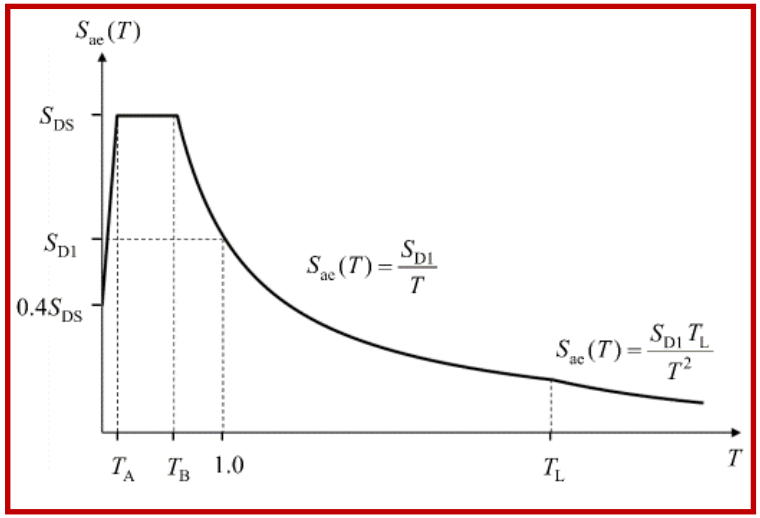
$_{DS}$ ve S_{D1} = f (Konum koordinatı, Deprem Yer Hareket Düzeyi ve Yerel Ze

2.3.3.2 – Tablo 2.1 ve/veya **Tablo 2.2**'ye göre ZF yerel zemin sınıfına giren zeminler için *sahaya özel zemin davranış analizleri* **16.5**'e göre yapılacaktır.

C1- Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

…areketi düzeyi için *yatay elastik tasarım ivme spektrumu'*nun ordinatları olan *yatay elastik tasarım spektral ivmeleri* $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden **Denk.(2.2)**'de tanımlanmıştır (**Şekil 2.1**):

$$
\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} && (0 \le T \le T_A) \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} && (T_A \le T \le T_B) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} && (T_B \le T \le T_L) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} && (T_L \le T)
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.2)}
$$



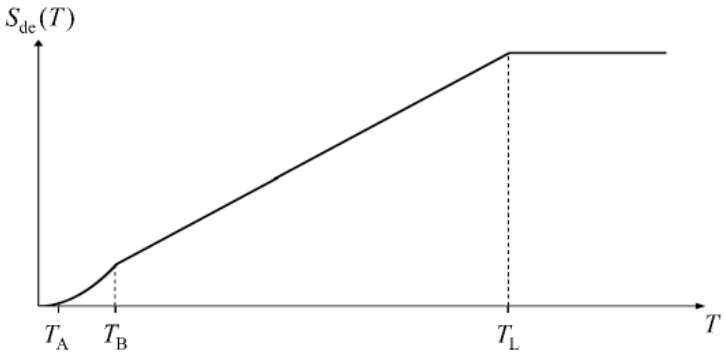
Burada S_{DS} ve S_{D1} **2.3.2.2**'de tanımlanan *tasarım spektral ivme katsayıları*'nı, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu *köşe periyotları* T_A ve T_B **Denk.(2.3)** ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$
T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \qquad \textbf{(2.3)}
$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınacaktır.

2.3.4.2 – Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için *yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu'*nun ordinatları olan *yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri* $S_{de}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre [m] cinsinden **Denk.(2.4)** ile tanımlanır (**Şekil 2.2**):

$$
S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g\, S_{ae}(T) \qquad \textbf{(2.4)}
$$



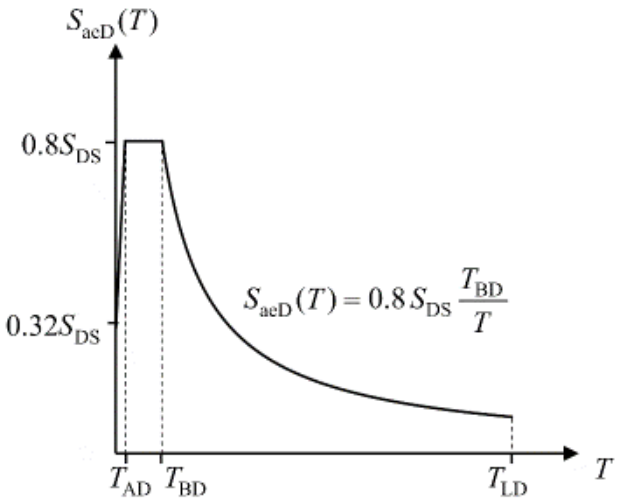
C2- Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için *düşey elastik tasarım ivme spektrumu*'nun ordinatları olan *düşey elastik tasarım spektral ivmeleri* $S_{aeD}(T)$, yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden **Denk.(2.5)** ile tanımlanır **(Şekil 2.3)**:

$$
\begin{aligned}
S_{aeD}(T) &= \left(0.32 + 0.48\frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} && (0 \le T \le T_{AD}) \\
S_{aeD}(T) &= 0.8\, S_{DS} && (T_{AD} \le T \le T_{BD}) \\
S_{aeD}(T) &= 0.8\, S_{DS}\frac{T_{BD}}{T} && (T_{BD} \le T \le T_{LD})
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.5)}
$$

Denk.(2.5)'te yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey spektrum *köşe periyotları* ile T_{LD} periyodu **Denk.(2.6)**'da verilmiştir.

$$
T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \qquad \textbf{(2.6)}
$$



D- Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu

2.4.1. Sahaya Özel Elastik İvme Spektrumu

2.4.1.1 – Bazı özel durumlarda, *sahaya özel deprem tehlikesi analizleri* ile *sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları* tanımlanabilir. Bu tür spektrumlar proje mühendisinin tercihine bağlı olarak her durumda kullanılabilir.

2.4.1.2 – Sahaya özel deprem *yer hareketi* spektrumlarının ordinatları, hiçbir zaman **2.3.4** veya **2.3.5**'te tanımlanan tasarım spektrumu ordinatlarının % 90'ından daha küçük olmayacaktır.

2.4.2. Sahaya Özel Zemin Davranış Analizleri

16.4'e göre yapılan yerel zemin sınıflandırmasında ZF sınıfı olarak tanımlanan zeminlerde **16.5**'e göre *sahaya özel zemin davranış analizleri* yapılacaktır. Bu tür analizler, proje mühendisinin tercihine bağlı olarak diğer sınıflardaki zeminlerde de yapılabilir.

E- Zaman Tanım alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması

Bu yönetmeliğe göre bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında bir veya iki boyutlu ve üç boyutlu deprem hesabında gerekli deprem yer hareketlerinin tanımlanması için kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve *basit ölçeklendirme* yöntemi ile ölçeklendirilmesi veya *spektral uyuşum* sağlanacak şekilde dönüştürülmesi için uygulanması gerekli kurallar **2.5.1**, **2.5.2** ve **2.5.3**'te tanımlanmıştır.

2.5.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi

2.5.2. Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirilmesi

2.5.3. Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi

3. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN DEĞERLENDİRİ VE TASARIMI İÇİN GENEL ESASLAR

A- Bina Kullanım Sınıfları (BKS) ve Bina

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. **c)** Müzeler **d)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	**Diğer binalar** BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

B- Deprem Tasarım

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

DTS = f (BKS, Deprem Yer Hareket Düzeyi ve S_{DS})

C- Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik [illegible]YS)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

BYS = f (DTS ve Bina yüksekliği H_N)

3.3.1. Bina Tabanı ve Bina Yüksekliği

3.3.1.1 – Aşağıda **(a)** ve **(b)**'de verilen koşulların her ikisini de sağlayan *bodrumlu binalar*'da *bina tabanı*, bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır.

(a) Rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi,

(b) Birbirine dik bina eksenlerinin herbirinin doğrultusundaki hakim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan *doğal titreşim periyodu*'nun, aynı taşıyıcı sistemde zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütleleri hesaba katılmaksızın aynı doğrultuda hesaplanan *doğal titreşim periyodu*'na oranının 1.1'den küçük olması ($T_{p,tüm} \leq 1.1\ T_{p,üst}$).

3.3.1.2 – **3.3.1.1**'de verilen koşullardan herhangi birini sağlamayan bodrumlu binalar ve *bodrumsuz binalar*'da *bina tabanı* temel üst kotunda tanımlanır.

3.3.1.3 – Deprem hesabı bakımından *bina yüksekliği* H_N , **3.3.1.1** veya **3.3.1.2**'ye göre tanımlanan *bina tabanı*'ndan itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanır. Bu tanımda, çatı döşemesinin üzerinde yer alan asansör makine dairesi ve benzeri küçük kütleli uzantılar dikkate alınmayabilir.

3.3.2. Bina Yükseklik Sınıfları

3.3.2.1 – Deprem etkisi altında tasarımda binalar yüksekliklerı bakımından sekiz *Bina Yükseklik Sınıfı*'na (BYS) ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için **3.3.1.3** esas alınarak tanımlanan yükseklik aralıkları, **Tablo 3.2**'deki *Deprem Tasarım Sınıfları*'na bağlı olarak **Tablo 3.3**'te verilmiştir.

3.3.2.2 – **Tablo 3.3**'te BYS = 1 olarak belirtilen binalar **Bölüm 13**'e göre *yüksek binalar* olarak sınıflandırılacaktır.

lüm 4. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN DAYANIMA TASARIMI İÇİN HESAP ESASLARI

4.4.2. Yatayda Birbirine Dik Doğrultulardaki Deprem Etkilerinin Birleştirilmesi

4.4.2.1 – Yatay deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin deprem hesabının **4.7** veya **4.8.2**'de verilen yöntemlerden biri ile yapılması durumunda, yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularında tanımlanan depremlerden oluşan deprem etkileri **Denk.(4.9)**'da tanımlandığı şekilde birleştirilecektir:

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3 E_d^{(Y)}$$
$$E_d^{(H)} = \pm 0.3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \qquad \textbf{(4.9)}$$

Burada $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$, herhangi bir kesitte birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki depremlerin etkisi altında **4.10**'a göre tanımlanan ve ayrı ayrı hesaplanan deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ ise *doğrultu birleştirmesi* uygulanmış *tasarıma esas yatay deprem etkisi*'ni simgelemektedir.

4.4.2.2 – Yatay deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin deprem hesabının **4.8.3**'te verilen yöntemle *zaman tanım alanında* yapılması durumunda, yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem bileşenleri **2.5**'e göre birlikte eş zamanlı olarak tanımlandığından, birleştirilmiş yatay deprem etkisi $E_d^{(H)}$, bu hesap sonucunda doğrudan elde edilmektedir.

4.4.3. Düşey Deprem Etkisi

4.4.3.1 – DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki elemanları içeren binalarda düşey deprem hesabı, bu elemanların *yerel düşey titreşim modları* esas alınarak *sadece bu elemanlar için* **2.3.5**'te tanımlanan *düşey elastik ivme spektrumu*'na göre **4.8.2**'de verilen yöntemle yapılacaktır. *Düşey deprem etkisi* $E_d^{(Z)}$'in bu şekilde hesabında tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınacaktır.

(a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,

(b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,

(c) Kirişlere oturan kolonları içeren binalar,

(d) Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar.

4.4.3.2 – 4.4.3.1'de belirtilen elemanların dışındaki taşıyıcı sistem kısımlarında ve **4.4.3.1**'deki tanımın dışında kalan binalarda *düşey deprem etkisi* $E_d^{(Z)}$, özel bir hesap yapılmaksızın, **Denk.(4.10)** ile yaklaşık olarak hesaplanacaktır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)\, S_{DS}\, G \qquad \textbf{(4.10)}$$

Burada G sabit yük etkisini, S_{DS} ise **2.3.2**'de tanımlanan *kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı*'nı göstermektedir.

4.4.4. Deprem Etkisinin Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

4.4.4.1 – Taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında esas alınmak üzere, deprem etkisini içeren yük birleşimleri **Denk.(4.11)** ve **Denk.(4.12)** ile tanımlanmıştır:

$$G + Q + 0.2\,S + E_d^{(H)} + 0.3\,E_d^{(Z)} \qquad \textbf{(4.11)}$$

$$0.9\,G + H + E_d^{(H)} - 0.3\,E_d^{(Z)} \qquad \textbf{(4.12)}$$

Burada Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, H ise **Bölüm 16**'da tanımlanan yatay zemin itkisini simgelemektedir. Yatay deprem etkisi $E_d^{(H)}$ **4.4.2**'ye göre, düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ ise **4.4.3**'e göre belirlenecektir.

4.4.4.2 – Çelik ve hafif çelik binalarda;

(a) *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım* (YDKT) yaklaşımının uygulanması durumunda **Denk.(4.11)**'de G yerine $1.2G$ alınacak, **Denk.(4.12)** aynen kullanılacaktır.

(b) *Güvenlik Katsayıları ile Tasarım* (GKT) yaklaşımının uygulanması durumunda, **Bölüm 16**'ya göre temel tasarımı dışında, **Bölüm 9** ve **Bölüm 10**'da verilen yük birleşimleri kullanılacaktır.

4.10.3. Temellere Aktarılan Kuvvetler

Bölüm 16 kapsamında temellerin taşıma gücü yaklaşımı ile tasarımında esas alınmak üzere, binadan temele aktarılacak kuvvetler aşağıdaki şekilde belirlenecektir.

4.10.3.1 – **3.3.1**'de verilen tanıma göre bodrumsuz binalarda veya bodrumlu binalarda kritik perde yüksekliğinin temel üst kotundan başladığı durumlarda,

(a) Perdeden temele aktarılan eğilme (devrilme) momenti, perde taban kesitindeki eğilme momentinin *üst bölüm*'e ait $D_{üst}$ katsayısı ile çarpımından elde edilecektir. Ancak bu eğilme momenti, *süneklik düzeyi yüksek* perdelerde perde tabanındaki akma momentinden daha büyük alınmayacaktır. Betonarme perdeden temele aktarılan kesme kuvveti, perde taban kesitinde **7.6.6.3**'e göre tanımlanan kuvvettir.

(b) Bu tür binalarda perdelerin diğer iç kuvvet bileşenleri ve perdeler dışındaki diğer elemanlardan temele aktarılacak iç kuvvetler, **4.10.1.1**'e göre sünek tasarıma karşı gelen iç kuvvetlerin $0.6D_{üst}$ ile çarpılarak büyütülmesi ile elde edilecektir.

4.10.3.2 – **3.3.1**'de verilen tanıma göre bodrumlu binalarda, kritik perde yüksekliğinin temel üst kotundan daha yukarıda başladığı durumlarda, perdelerden aktarılan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri de dahil olmak üzere, tüm elemanlardan temele aktarılacak iç kuvvetler **4.10.1.5**'e göre hesaplanacaktır.

4.10.4. Kazıklı Temeller İçin Yapı – Kazık – Zemin Etkileşimi

Kazıklı temeller için dayanıma göre tasarım kapsamında yapılan *yapı – kazık – zemin etkileşimi* hesaplarının ayrıntıları **16.10** ve **EK 16C**'de verilmiştir.

Bölüm 16. DEPREM ETKİSİ ALTINDA TEMEL ZEMİNİ VE TEMELLERİN TASARIMI İÇİN ÖZEL KURALLAR

A- Zemin Koşullarının Belirlenmesi

İnşaat alanı zemin koşullarının tanımlanması, yapısal tasarım için gerekli geoteknik parametrelerin belirlenmesi ve raporlanması için yapılacak çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

16.2.1. Zemin Araştırmaları

16.2.1.1 – Zemin koşullarının belirlenmesi için, arazi ve laboratuvar çalışmalarını içeren zemin araştırmaları yapılacaktır. Zemin araştırmalarının kapsamı, yapı ve bileşenlerinin özellikleri, jeolojik yapı ve zemin birimlerinin özellikleri, civar yapıların durumu, yeraltı suyu durumu ile bölgesel deprem özellikleri ve çevre koşulları dikkate alınarak planlanacak, yeterli sayı ve derinlikte sondaj kuyuları ve/veya muayene çukurları açılacak, gerekli arazi deneyleri yapılacak, örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınarak laboratuvar deneyleri uygulanacaktır.

16.2.1.2 – Zemin araştırmaları **EK 16A**'da tanımlanan kurallara göre yapılacaktır.

16.2.2. Zemin ve Temel Etüd Raporları

Zemin ve Temel Etüd Raporları, zemin araştırmaları sonuçlarının sunulacağı *Veri Raporu* ve tasarıma yönelik olarak hazırlanacak *Geoteknik Rapor*'dan oluşacaktır.

16.2.2.1 – *Veri Raporu*, arazi ve laboratuvarda gerçekleştirilmiş zemin araştırmalarında elde edilen verilerin sunulduğu rapordur. Bu rapor kapsamında, bölgenin jeolojik yapısı ve proje sahasının jeolojik özellikleri, araştırma sondajları ve muayene çukuru logları, zemin kesitleri ve yeraltı su düzeyi, arazi ve laboratuvar deneyleri sonuçları, jeofizik araştırma bulguları vb. zemin araştırma sonuçları sunulacaktır.

16.2.2.2 – *Geoteknik Rapor*, statik, dinamik ve deprem etkileri göz önüne alınarak, arazi zemin modelinin oluşturulduğu, zemin tabakaları için geoteknik tasarım parametrelerinin verildiği, temel tipleri seçimine ilişkin seçeneklerin irdelendiği, mühendislik analizleri ve değerlendirmeler ile temel tasarımına ilişkin önerilerin sunulduğu rapordur. Geoteknik raporun içeriğine ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir:

(a) Veri raporunda sunulan arazi zemin araştırmaları bulguları değerlendirilerek, arazi zemin modeli oluşturulacak, yapı yükleri ve deprem etkisi altında zemin tabakalarının davranışı irdelenecek, yapının ve temellerinin tasarımına ilişkin geoteknik tasarım parametreleri verilecektir.

(b) Yapı özellikleri ve beklenen performans düzeyi ile uyumlu temel sistemi seçilecek, taşıma gücü ile kısa ve uzun süreli zemin yerdeğiştirme-oturma değerleri verilecek, bu kapsamda zeminlerin şişme davranışı, net temel basınçları ve olası kaldırma kuvvetleri dikkate alınacaktır.

(c) Zemin iyileştirme ve/veya güçlendirmesine gereksinim duyulması halinde, olası yöntemler irdelenecek, önerilen yönteme ilişkin uygulama esasları tanımlanacak, iyileştirilmiş zemin için hedeflenen zemin özellikleri, temellerin taşıma gücü ve yerdeğiştirme değerleri verilecektir.

(d) Geçici veya kalıcı temel kazılarında uygulanacak iksa sistemlerinin tasarımı için gereken zemin parametreleri verilecektir. Şev duraysızlığı tehlikesi olan eğimli arazilerde inşa edilecek yapılar için, kazı ve inşa adımları dikkate alınarak, şev duraylılık analizleri yapılacak ve kaymaya karşı alınacak uygun önlemler belirlenecektir.

EK 16A – ZEMİN ARAŞTIRMALARI İÇİN GENEL KURALLAR

Zemin araştırmaları aşağıda tanımlanan genel kurallara göre yapılacaktır.

16A.1. ZEMİN ARAŞTIRMA SONDAJLARI

16A.1.1 – *Sondaj kuyuları*, zeminlerde burgu, kum veya kil kovası ile darbeli veya dönel (rotary) sistemlerle, kayada ise kaya yüzeyinden itibaren sürekli karot alınarak ilerlenen dönel sistemlerle açılacaktır.

16A.1.2 – *Sondaj Sayıları*: Zemin koşullarının değişkenliği, yapının taban alanı ve aktardığı yükler ile çevresindeki koşullar dikkate alınarak her 300 m^2'lik taban alanı için en az bir adet olmak üzere belirlenecektir. Ancak *Bina Yükseklik Sınıfı* BYS $\leq$ 3 olan binaların inşa edileceği alanlarda sondaj sayısı üçten az olmayacaktır. Sondaj sayısı, taban alanı 1000 m^2'yi geçen binalarda birer adet bina köşelerinde ve bir adet ortada olmak üzere en az beş adet olacak şekilde planlanacaktır.

16A.1.3 – *Sondaj Yerleri*: Topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar özel yerlere işaret etmiyorsa, en az yapı planının köşeleri ve ortasında sondaj yerleri seçilecektir. Geniş alanlarda yapı tipleri ve yerleri belirli ise, yapı yerleşimine uygun olarak sondaj noktaları seçilecektir. Yerleşimi belirsiz proje sahalarında, bir karelaj (grid) üzerinden sondaj yerleri planlanacaktır. Şev duraysızlığı potansiyeli olan eğimli arazilerde, sondaj yerleri yamaç duraylılık (stabilite) analizine veri sağlayacak hatlar boyunca planlanacak, yapı alanı dışında da sondaj yerleri seçilecektir.

16A.1.4 – *Sondaj Derinlikleri*: Sondaj derinliği, bina temelleri için temel tabanından başlayarak yapı genişliğinin en az 1.5 katı veya net temel taban basıncından kaynaklanan zemindeki gerilme artışının $(\Delta\sigma)$ zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan efektif gerilmenin (σ'_{vo}) % 10'una eşit olduğu derinlikten $(\Delta\sigma = 0.10\sigma'_{vo})$ daha elverişsizi olacak şekilde seçilecektir.

(a) Yüksek dayanıma ve rijitliğe sahip bir tabakanın daha sığ derinliklerde rastlanması durumunda sondaj, bu tabaka içine en az 3 metre girerek tabaka sürekliliğinin belirlenmesi ile sonlandırılabilir.

(b) Kazıklı temel uygulamasının gerekebileceği durumlarda, sondaj derinliği kazık taşıma gücü ve oturma hesaplamalarını yapmaya olanak sağlayacak şekilde seçilecektir.

(c) Sondajlar, şev duraylılığı çalışmalarında olası kayma yüzeyi derinliklerinin yeterince altına kadar, derin kazılarda ise kazı tabanından kazı derinliğinin en az yarısı kadar derinliklere inecektir.

(d) Deprem tasarım sınıfları DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=1a olan bölgelerde, yeraltı suyu düzeyi temel tabanından itibaren 10 metre derinlikten daha yukarıda ve gevşek yerleşimli iri (kaba) daneli zeminlerin yer aldığı sahalarda, sondaj derinliği zemin yüzünden itibaren en az 20 m olacaktır.

16A.2. ARAZİ DENEYLERİ

16A.2.1 – Sondaj kuyularında zemin koşulları ile uyumlu ve proje gereksinimlerini karşılayacak şekilde uygun aralıklarla (örneğin her 1.50 m'de bir adet) arazi deneyleri (SPT, kanatlı kesici, presiyometre, vb.) yapılacaktır. Zemin profili ve özelliklerinin sürekli ve sağlıklı olarak tayini için, sondajlarla paralel şekilde planlanmış, Koni Penetrasyon Deneyleri (CPT ve boşluk suyu basıncı ölçümlü -CPTu) yapılması yararlı olacaktır.

16A.2.2 – *Örnek Alma*: Sondaj kuyularında zemin koşulları ile uyumlu ve proje gereksinimlerini karşılayacak şekilde uygun aralıklarla örselenmiş ve örselenmemiş zemin/kaya örnekleri alınacaktır.

16A.2.3 – *Örselenmiş Örnekler*: Sondaj kuyularında, her cins zeminden, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sırasında örselenmiş örnekler alınacaktır. Yeraltı su düzeyi altında, iri daneli veya plastik olmayan silt zeminlerde, SPT kaşığından yeterli miktarda örselenmiş örnek elde edilemiyorsa, ağzına zemin tutucu takılmış (sepet-basket tipi) özel tüpler ile incesi yıkanmamış örselenmiş örnekler alınacaktır.

16A.2.4 – *Örselenmemiş Örnekler*: Sondaj kuyularında, kohezyonlu zeminlerden, **16A.1.4**'de tanımlanan etki derinliği içinde her zemin tabakasının mühendislik özelliklerini belirlemeye yeterli olacak sayıda örselenmemiş örnek alınacaktır. Örselenmemiş zemin örnekleri, zeminin kıvamına uygun olarak ve ince cidarlı (alan oranı=et kalınlığı/iç tüp alanı<10 %) ve iç çapı en az 76 mm olan tüp veya pistonlu tüp kullanılarak alınacaktır. Ayrıca araştırma çukurları ve hendeklerden, uygun şekilde kesilip alınan bloklardan da örselenmemiş örnekler hazırlanabilecektir.

16A.2.5 – Kaya sondajlarında karotiyer ve vidye tipi, litolojik birimlerin özelliklerine göre seçilecek ve karotların çapı en az NX (54 mm) veya NQ (47.6 mm) olacaktır.

16A.2.6 – *Yeraltı Su Düzeyinin Ölçülmesi*: Sondaj kuyusu içinde yapılacak ölçümlerle yeraltı su seviyesi belirlenecektir. Etüt derinliği içinde kohezyonlu ve kohezyonsuz birden fazla tabaka ve/veya su taşır katman (akifer) seviyenin bulunması durumunda, yeraltı suyu düzeyinin veya basıncının ölçülmesi için standart piyezometrelerden yararlanılması uygun olacaktır. Her durumda sondaj kuyusundaki gözlemler ve ölçümler yeraltı suyu düzeyinin kuyuda dengeye ulaşmasına yetecek kadar uzun bir süre boyunca yapılacaktır.

16A.3. LABORATUVAR DENEYLERİ

16A.3.1 – Laboratuvar deneyleri, araştırma alanındaki zemin özelliklerini en çok 2 m aralıklar ile tanımlamaya yeterli sayı ve derinliklerde, yapı ve zeminin özelliklerine göre projeden sorumlu inşaat mühendisi tarafından planlanacak ve yetkili laboratuvarlarda yapılacaktır.

16A.3.2 – *Sınıflandırma Deneyleri*: Örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde, tabakaların zemin sınıflandırmasına olanak verecek sayıda kıvam limitleri, doğal su içeriği (korunmuş örnekler üzerinde), elek, pipet/hidrometre ve özgül ağırlık deneyleri yapılacaktır. Örselenmemiş örnekler üzerinde doğal su içeriği ve birim hacim ağırlığı tayini deneyleri de yapılacaktır. Sorunlu zeminlerde (sıvılaşma, şişme, göçme, yumuşama, hassas killer vb.) ilk 15 m'den alınan tüm örnekler üzerinde sınıflandırma deneyleri (pipet/hidrometre dahil) yapılacaktır.

16A.3.3 – *Mühendislik Özellikleri Deneyleri*: Örselenmemiş örnekler üzerinde, tabakaların mühendislik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak mukavemet (tek eksenli basınç, kesme kutusu, üç eksenli basınç-UU/CU) deneyleri yapılacak, proje gereksinimlerine uygun olarak drenajlı ve drenajsız kayma mukavemeti parametreleri belirlenecektir. Ayrıca, oturma hesaplarına yönelik parametrelerin belirlenmesi için, killi zeminlerden alınmış örselenmemiş örnekler üzerinde ödometre-konsolidasyon deneyleri yapılacaktır.

B- Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

Deprem etkisi altında bina temellerinin tasarımı, yerel zemin sınıflarının tanımlanması ve istinat yapıları ile şevlerin analizlerinde kullanılacak zemin parametrelerinin belirlenmesinde aşağıdaki esaslara uyulacaktır.

16.3.1 – Değerlendirmelerde yükleme hızı ve saha zeminlerinin geçirimlilik koşullarına göre belirlenecek drenajlı veya drenajsız koşullarla uyumlu mukavemet parametreleri kullanılacaktır.

16.3.2 – Kohezyonlu zeminlerde, deprem etkisinde oluşabilecek mukavemet kayıpları/yumuşama gözönüne alınarak, toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değeri kullanılacaktır.

16.3.3 – Kohezyonsuz zeminlerde, deprem etkisinde oluşacak boşluk suyu basıncı artışları ve içsel sürtünme açısı değeri azalışları dikkate alınarak, toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma mukavemeti ($\tau_{cy,u}$) değeri kullanılacaktır.

16.3.4 – Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için geçerli olmak üzere, deprem etkileri altında boşluk suyu basınçlarının belirlenebilmesi durumunda, efektif gerilme parametreleri kullanılarak analizler yapılabilecektir.

16.3.5 – Kayalar için en az tek eksenli basınç mukavemeti q_u , jeolojik mukavemet indisi (GSI) değerleri vb. kaya kütle sınıflandırma parametreleri kullanılarak uygun mukavemet parametreleri belirlenecektir.

16.3.6 – Analizlerde kullanılacak maksimum kayma modülü, G_{maks} **Denk.(16.1)**'den elde edilecektir.

$$G_{maks} = \rho V_S^2 \qquad \textbf{(16.1)}$$

Kayma dalgası hızının (V_S) jeofizik yöntemlerle belirlenmesi esastır. Bununla birlikte, standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) gibi arazi deney sonuçları ve genel kabul gören bağıntılar kullanılarak dolaylı yoldan da hesaplanabilir.

16.3.7 – 16.4'e göre yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde kayma dalgası hızı V_S , SPT darbe sayısı N ve kohezyonlu zeminler için c_u değeri kullanılabilir.

16.3.8 – Sahaya özel zemin davranış analizleri ve dinamik zemin-yapı etkileşimi analizlerinde, deprem dalgalarının zemin profili içinde yayılımı sırasında oluşan *kayma birim şekildeğiştirmesi ile uyumlu kayma modülü* ve *eşdeğer histeretik sönüm katsayısı* kullanılacaktır (**Bkz.16.5.2**).

C- Yerel Zemin Sınıflarının Belirlenmesi

16.4.1 – Bölüm 2'ye göre deprem tasarım spektrumlarının tanımlanmasında esas alınacak *yerel zemin sınıfları*, bu Bölüm'e göre yapılacak zemin araştırmaları ile belirlenecektir.

(a) *Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler*, ZF sınıfı zeminler olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıftaki zeminlere ilişkin tanımlar **Tablo 16.1**'in son satırında verilmiştir.

(b) ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE olarak tanımlanan diğer yerel zemin sınıflarının belirlenmesi için, bu sınıflara ilişkin özellikler **Tablo 16.1**'in diğer satırlarında verilmiştir.

Tablo 16.1 – Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_S)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%\ 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $(c_u < 25\ \text{kPa})$ içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

30 m temel zemini

16.4.2 – Tablo 16.1'de verilen zemin parametreleri, zemin profilinin temel veya kazık başlığı alt kotundan itibaren aşağıya doğru en üst 30 m kalınlığındaki kısmı için belirlenecektir. Birbirinden belirgin şekilde farklı zemin ve kaya tabakalarını içeren zemin profillerinde üst 30 metredeki tabakalar, yeteri kadar alt tabakaya ayrılarak en üstte i = 1 ve en altta i = N olacak şekilde sıralanacaktır. Üst 30 metredeki *ortalama kayma dalgası hızı* $(V_S)_{30}$, *ortalama standart penetrasyon darbe sayısı* $(N_{60})_{30}$ ve *ortalama drenajsız kayma dayanımı* $(c_u)_{30}$ **Denk.(16.2)** ile hesaplanacaktır:

$$(V_S)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{h_i}{V_{S,i}}\right)} \quad ; \quad (N_{60})_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{h_i}{N_{60,i}}\right)} \quad ; \quad (c_u)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{h_i}{c_{u,i}}\right)} \qquad \textbf{(16.2)}$$

Burada h_i değeri (i) numaralı alt tabakanın kalınlığını [m], $V_{S,i}$, $N_{60,i}$ ve $c_{u,i}$ değerleri ise, sırası ile, aynı alt tabakanın kayma dalgası hızını [m/s], standart penetrasyon deneyi darbe sayısını [darbe/30 cm] ve drenajsız kayma dayanımını [kPa] göstermektedir.

16.4.3 – Yüzeysel temellerde, temel taban kotu ile kaya üst kotu arasında kalınlığı 3 m'den fazla zemin bulunması durumunda ZA ve ZB sınıfı tanımlaması yapılmayacaktır.

D- Deprem Etkisi Altında Sahaya Özel Zemin Davranış Analizleri

16.5.1. Kapsam

16.5.1.1 – *Sahaya özel zemin davranış analizleri*, taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinin zemin tabakaları boyunca değişimini ve zemin yüzeyindeki deprem yer hareketini belirlemek üzere yapılır.

16.5.1.2 – Bina temeli ve yakın çevresinde zemin ortamının yaklaşık olarak yatay tabakalardan oluştuğu durumlarda, sahaya özel zemin davranış analizleri için **16.5.2**'de esas alınan tek boyutlu *yatay tabakalı serbest zemin modeli* kullanılabilir. Aksi durumlarda iki veya üç boyutlu zemin modelleri kullanılacaktır.

16.5.1.3 – **Tablo 16.1**'e göre ZF sınıfı olarak tanımlanan zeminlerin yüzeyindeki deprem yer hareketini belirlemek üzere sahaya özel zemin davranış analizinin yapılması zorunludur.

16.5.1.4 – Sahaya özel *serbest zemin analizleri*'nin sonuçları, kazıklı temeller için **16C.3.2** ve **16C.4.2**'de açıklanan *kinematik etkileşim analizleri*'nde deprem verisi olarak kullanılacaktır.

16.5.2. Doğrusal Olmayan Serbest Zemin Modeli ve Deprem Analizi

16.5.2.1 – Sahaya özel zemin davranış modelinin oluşturulması amacı ile, yatay zemin tabakalarında *kayma birim şekildeğiştirmesi*'ne bağlı olarak *kayma modülleri*'nin ve *eşdeğer histeretik sönüm katsayıları*'nın doğrusal olmayan değişimlerinin tanımlanması gereklidir. Bu parametreler, arazi ve laboratuvar deneylerine ve benzer zemin koşulları için literatürde yer alan ve genel kabul gören bilgilere göre tanımlanacaktır.

16.5.2.2 – Zemin davranış analizleri, yatay tabakalı *serbest zemin modeli* çerçevesinde taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketi altında **16.5.2.1**'de tanımlanan *doğrusal olmayan* dinamik zemin parametreleri esas alınarak aşağıdaki analiz yöntemlerinden biri ile yapılacaktır:

(a) Zaman tanım alanında *doğrusal olmayan* analiz,

(b) Kayma birim şekildeğiştirmesinin %1'i aşmaması koşulu ile, frekans tanım alanında *eşdeğer doğrusal hesap modeli* kullanılarak ardışık yaklaşımla *doğrusal olmayan analiz*.

E- Deprem Etkisi Altında Zeminin Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi

16.6.1 – **Bölüm 3**'e göre *Deprem Tasarım Sınıfı* DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olan binalar için **Tablo 16.1**'de ZD, ZE veya ZF grubuna giren, sürekli bir tabaka veya kalın mercekler halinde bulunan ve **16.6.6**'da tanımlanan durumlar dışındaki kumlu zeminlerde *sıvılaşma potansiyeli*'nin bulunup bulunmadığının, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve analiz sonuçlarının ayrıntılı olarak rapor edilmesi zorunludur.

16.6.2 – Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu (PI<%12) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış olarak tanımlanacaktır.

16.6.3 – Zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesine yönelik olarak yapılacak zemin araştırma çalışmaları en az, standart penetrasyon deneyi, (SPT) ve/veya koni penetrasyon deneyinin (CPT)'nin yapımına ek olarak, ilgili zemin tabakalarındaki dane çapı dağılımı, su muhtevası ve Atterberg limit değerlerinin belirlenmesini içerecektir.

16.6.4 – Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı su tablasının altında yer alan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak tanımlanacaktır.

16.6.5 – Temel altı zeminlerinin potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminlerden oluştuğu ve bu zemin tabakalarında düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 30 darbe / 30 cm değerinden küçük olduğu durumlarda zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi yapılacaktır.

16.6.6 – *Deprem Tasarım Sınıfı*'nın DTS = 4 olduğu ve aynı zamanda aşağıdakilerden en az birinin sağlandığı durumlarda sıvılaşma tetiklenme analizi yapılmayabilir:

(a) Kil içeriğinin %20'den fazla ve plastisite indisinin %10'dan yüksek olduğu kumlu zeminlerde;

(b) ince dane yüzdesinin % 35'den fazla ve düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 20 vuruş / 30 cm'den yüksek olduğu kumlu zeminlerde;

16.6.7 – Zemin sıvılaşması değerlendirmesinde sıvılaşma tetiklenmesi riski yanında, sıvılaşma sonrası zemin mukavemeti ve rijitlik kaybı ile temel zemininde oluşabilecek yerdeğiştirmelerin dikkate alınması gereklidir.

16.6.8 – Zemin sıvılaşma değerlendirmesinin SPT deney sonuçları kullanılarak yapılmasına dayanan yöntem **EK 16B**'de verilmiştir. Değerlendirmenin CPT veya kayma dalgası hızına göre yapılması durumunda uygulamada genel kabul gören yöntemler kullanılabilir.

16.6.9 – Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu **Denk.(16.3)**'te tanımlanmıştır.

$$\frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1.10 \qquad \textbf{(16.3)}$$

Burada τ_R ve τ_{deprem}, sırası ile, sıvılaşma direncini ve zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesini ifade etmektedir. **Denk.(16.3)**'te verilen koşulun sağlanamaması durumunda, sıvılaşması beklenen tabakaların dayanım ve rijitlik özelliklerindeki azalma, olası taşıma gücü kayıpları, duraylılık bozuklukları ile oturma ve yanal yayılma türündeki zemin hareketleri değerlendirilecektir.

16.6.10 – Belirlenen sıvılaşma sonrası yerdeğiştirmelerin üstyapı/altyapı davranışına etkileri değerlendirilerek ihtiyaç duyulması halinde üstyapı ve/veya zemin iyileştirmeleri uygulanacaktır.

F- Temellerin Tasarımı için Genel Kurallar

16.7.1. Amaç

16.7.1.1 – Deprem etkisi altında bina temel tasarımının amacı, temel taşıma gücünün aşılmaması ve zemin yerdeğiştirmelerinin izin verilebilir sınırlar altında kalmasının sağlanmasıdır. Temel tasarımında aşağıdaki genel ilkelere uyulacaktır.

16.7.1.2 – Temellerin, şevler, heyelan bölgeleri, kazılar, tüneller, yeraltı ve maden kazıları yakınlarında bulunması durumunda, temel genel stabilite ve/veya etkileşim analizleri yapılmalıdır. Genel stabilite analizleri **16.13**'te verilen esaslar uyarınca yapılacaktır. Etkileşim analizlerinin kapsamı ve tasarım koşulları bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

16.7.2. Temel Tasarımında Taşıma Gücü İlkesi

Bu yönetmelikte, yüzeysel ve derin temellerin geoteknik tasarımı için *taşıma gücü ilkesi* esas alınmıştır. Temel zeminin, olası göçme mekanizmalarına karşı gelen *tasarım taşıma gücü*'nün yeterliliği **Denk.(16.4)**'te verilen genel ifade ile sağlanacaktır:

$$E_t \le R_t \qquad \textbf{(16.4)}$$

Burada E_t statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin *tasarım etkileri*'ni, R_t ise ilgili göçme mekanizmasına karşı gelen *tasarım dayanımı*'nı ifade etmektedir.

16.7.3. Tasarım Etkileri

16.7.3.1 – Statik yük birleşimleri, ilgili yönetmeliklerden alınacaktır. Deprem etkisini içeren yük birleşimleri ise **4.4.4**'te verilmiştir. Temel zemininde oluşan etkiler, E_t, düşey yük etkileri ile birlikte **4.10.3**'e göre depremde bina taşıyıcı sisteminden temele aktarılan kuvvetler esas alınarak hesaplanacaktır.

16.7.3.2 – Tasarıma esas eksenel kuvvet ve eğilme momenti, temel tabanında düşey doğrultudaki *temel taşıma gücü* ile karşılanacaktır.

16.7.3.3 – Tasarıma esas yatay kesme kuvveti, zemin ile temel tabanı arası *sürtünme direnci* ile birlikte temel yan yüzünde oluşan *pasif toprak basıncı*'nın en çok %30'u dikkate alınarak karşılanacaktır.

16.7.4. Tasarım Dayanımları

Statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin *tasarım dayanımı* (R_t), *karakteristik dayanım* (R_k)'nın *dayanım katsayısı* (γ_R)'ye bölünmesi ile bulunacaktır.

$$R_t = \frac{R_k}{\gamma_R} \qquad (16.5)$$

Dayanım katsayısı'nın değerleri temel türüne ve hesaplanan dayanım bileşenine göre **16.8.2** (**Tablo 16.2**) ve **16.9.3** (**Tablo 16.4**)'te verilmistir.

Tablo 16.2. Yüzeysel Temeller Için Dayanım Katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1.1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1.4

Tablo 16.4. Kazıklı Temeller İçin Dayanım Katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri	
		Kazık yükleme deneyi yapılmamış ise	Kazık yükleme deneyi yapılmış ise
Çevre sürtünmesi (basınç)	γ_{Rsb}	1.5	1.3
Çevre sürtünmesi (çekme)	γ_{Rsc}	1.6	1.4
Uç direnci	γ_{Ru}	2.0	1.5
Toplam taşıma gücü (basınç)	γ_{Rt}	–	1.4

16.8. YÜZEYSEL TEMELLER

16.8.1. Kapsam

Yüzeysel temellerin boyutlandırılmasında aşağıdaki kurallara uyulacaktır. Burada verilen tasarım ilkeleri tekil, sürekli (şerit) ve radye (plak) temelleri kapsamaktadır.

16.8.1.1 – Yüzeysel temellerin taşıma gücü ve yatayda kaymaya karşı gelen tasarım dayanımları hesaplanarak, statik ve depremi içeren yükleme durumlarındaki tasarım etkilerini karşıladığı gösterilecektir.

16.8.1.2 – Depremde aşırı boşluk suyu basıncı artışı meydana gelebilecek zeminlerde, toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma dayanımı üzerinde olası etkiler, efektif gerilme analizlerinde ise boşluk suyu basıncı dikkate alınmalıdır.

16.8.3. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

16.8.3.1 – Statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumlarının her birinde **Denk.(16.6)**'daki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$q_o \le q_t \qquad (16.6)$$

Burada q_o temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncıdır. q_t ise tasarım dayanımı R_t 'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığıdır ve **Denk.(16.7)** ile tanımlanır:

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}}$$

Tablo 16.2. Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1.1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1.4

16.8.3.2 – Temel taşıma gücünün *karakteristik dayanımı* q_k **Denk.(16.8)** ile hesaplanacaktır.

Efektif gerilmeye (drenajlı, uzun peryotlu) analiz

!

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \qquad (16.8a)$$

Denk.(16.8a)'da yer alan taşıma gücü katsayıları **Denk.(16.8b)**'de tanımlanmıştır:

$$N_q = e^{\pi \tan\phi'} \tan^2(45 + \phi'/2) \quad ; \quad N_c = (N_q - 1)\cot\phi' \quad ; \quad N_\gamma = 2(N_q - 1)\tan\phi' \qquad \textbf{(16.8b)}$$

Denk.(16.8a)'da boyutsuz *düzeltme katsayıları* olarak yer alan *temel şekli katsayıları* s_c, s_q, s_γ ; *derinlik katsayıları* d_c, d_q, d_γ ; *yükleme eğikliği katsayıları* i_c, i_q, i_γ ; *temel zemini eğimi katsayıları* g_c, g_q, g_γ ve *temel taban eğimi katsayıları* b_c, b_q, b_γ literatüre dayanan ve genel kabul görmüş bağıntılar kullanılarak hesaplanacaktır.

Tablo 5.11. Farklı araştırmacılara göre taşıma gücü katsayıları

Yöntem	Terzaghi			Meyerhof			Hansen			Vesic		
ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_c	N_q	N_γ	N_c	N_q	N_γ	N_c	N_q	N_γ
0	5.70	1.00	0.00	5.14	1.00	0.00	5.14	1.00	0.00	5.14	1.00	0.00
2	6.30	1.22	0.04	5.63	1.20	0.01	5.63	1.20	0.01	5.63	1.20	0.15
4	6.97	1.49	0.10	6.19	1.43	0.04	6.19	1.43	0.05	6.19	1.43	0.34
6	7.73	1.81	0.20	6.81	1.72	0.11	6.81	1.72	0.11	6.81	1.72	0.57
8	8.60	2.21	0.35	7.53	2.06	0.21	7.53	2.06	0.22	7.53	2.06	0.86
10	9.61	2.69	0.56	8.35	2.47	0.37	8.34	2.47	0.39	8.34	2.47	1.22
12	10.76	3.29	0.85	9.28	2.97	0.60	9.28	2.97	0.63	9.28	2.97	1.69
14	12.11	4.02	1.26	10.37	3.59	0.92	10.37	3.59	0.97	10.37	3.59	2.29
16	13.68	4.92	1.82	11.63	4.34	1.38	11.63	4.34	1.43	11.63	4.34	3.06
18	15.52	6.04	2.59	13.10	5.26	2.00	13.10	5.26	2.08	13.10	5.26	4.07
20	17.69	7.44	3.64	14.83	6.40	2.87	14.83	6.40	2.95	14.83	6.40	5.39
22	20.27	9.19	5.09	16.88	7.82	4.07	16.88	7.82	4.13	16.88	7.82	7.13
24	23.36	11.40	7.08	19.32	9.60	5.72	19.32	9.60	5.75	19.32	9.60	9.44
26	27.09	14.21	9.84	22.25	11.85	8.00	22.25	11.85	7.94	22.25	11.85	12.54
28	31.61	17.81	13.70	25.80	14.72	11.19	25.80	14.72	10.94	25.80	14.72	16.72
30	37.16	22.46	19.13	30.14	18.40	15.67	30.14	18.40	15.07	30.14	18.40	22.40
32	44.04	28.52	26.87	35.49	23.18	22.02	35.49	23.18	20.79	35.49	23.18	30.22
34	52.64	36.51	38.04	42.16	29.44	31.15	42.16	29.44	28.77	42.16	29.44	41.06
36	63.53	47.16	54.36	50.59	37.75	44.43	50.59	37.75	40.05	50.59	37.75	56.31
38	77.50	61.55	78.61	61.35	48.93	64.07	61.35	48.93	56.17	61.35	48.93	78.03
40	95.66	81.27	115.31	75.31	64.20	93.69	75.32	64.20	79.54	75.32	64.20	109.41

- Toplam gerilme analizinde, $c=c_u$ ve $\phi_u=0$'dır. $\phi=0$ için $N_c=5.14$, $N_q=1$ ve $N_\gamma=0$ dır.

Toplam gerilmeye (drenajsız, kısa peryotlu) analiz

!

$$q_k = 5.14 c_u (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + \sigma_v'$$

Hansan ve Vesic

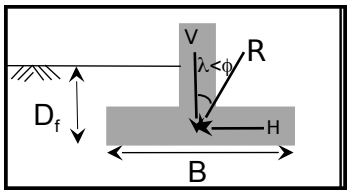
Meyerhof

	Temel şekil katsayıları **(s)**	Derinlik katsayıları **(d)**	Yük eğim katsayıları **(i)**
$\phi \geq 0$	$s_c=1+0.2(B/L)K_p$	$d_c=1+0.2(D_f/B)K_p^{0.5}$	$i_c=i_q=(1-\lambda°/90°)^2$ $\lambda°=\tan^{-1}(H/V)$
$\phi=0°$	$s_q=s_\gamma=1$	$d_q=d_\gamma=1$	$i_\gamma=0$ $\lambda°>0$
$\phi>10°$	$s_q=s_\gamma=1+0.1(B/L)K_p$	$d_q=d_\gamma=1+0.1(D_f/B)K_p^{0.5}$	$i_\gamma=(1-\lambda°/\phi°)^2$ $\lambda°=\tan^{-1}(H/V)$

*$K_p=\tan^2(45+\phi/2)$
(Bowles, 1996)

Temel şekil katsayıları **(s)**	Derinlik katsayıları **(d)**	Yük eğim katsayıları **(i)**
$s_c=1+(B'/L')(N_q/N_c)$ $s_q=1+(B'/L')\tan\phi$ $s_\gamma=1-0.4(B'/L')$ Sürekli temellerde, $s_c=s_q=s_\gamma=1$	$\phi=0°$ $D_f \leq B$ için $d_c=1+0.4(D_f/B)$, $d_q=d_\gamma=1$ $D_f>B$ için $d_c^*=1+0.4\tan^{-1}(D_f/B)$, $d_q=d_\gamma=1$ $\phi>0°$ $D_f \leq B$ için $d_c=d_q-[(1-d_q)/(N_c\tan\phi)]$, $d_q=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2(D_f/B)$, $d_\gamma=1$ $D_f>B$ için $d_c=d_q-(1-d_q)/(N_c\tan\phi)$, $d_q^*=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\tan^{-1}(D_f/B)$, $d_\gamma=1$	$i_c=i_q=(1-\lambda°/90°)^2$ $i_\gamma=(1-\lambda°/\phi°)^2$ $\lambda°=\tan^{-1}(H/V)$ $\lambda°=\tan^{-1}[(H_B^2+H_L^2)^{0.5}/V]$

*$\tan^{-1}(D_f/B)$ değeri radyan olarak alınacaktır.
(Meyerhof, 1963; Hansen, 1970; Vesic, 1973)



Hansen

Şekil katsayıları **(s)**	Derinlik katsayıları **(d)**	Yük eğim katsayıları **(i)**
$\phi=0°$ için $s_c=0.2(B'/L')$ $\phi>0°$ için $s_c=1+(N_q/N_c)(B'/L')$ Sürekli temel için $s_c=1$	$\phi=0°$ için $D_f \leq B$ ise $d_c=0.4k$, $k=D_f/B$ $D_f>B$ ise $d_c=0.4k$, $k=\tan^{-1}(D_f/B)$ (rad.) $\phi>0°$ için $D_f \leq B$ ise $d_c=1+0.4k$, $k=D_f/B$ $D_f>B$ ise $d_c=1+0.4k$, $k=\tan^{-1}(D_f/B)$ (rad.)	$\phi=0°$ için $i_c=0.5-[1-H/(A_f c_a)]^{0.5}$ $\phi>0°$ için $i_c=i_q-(1-i_q)/(N_q-1)$ A_f: Efektif alan ($B'xL'$) H: Yatay yük, c_a: Adezyon $(0.6\sim1)c_u$
$\phi \geq 0°$ için $s_q=1+(B'/L')\sin\phi$ Sürekli temel için $s_q=1$	$D_f \leq B$ ise $d_q=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2k$, $k=D_f/B$ $D_f>B$ ise $d_q=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2k$, $k=\tan^{-1}(D_f/B)$ (rad.)	$i_q=[1-(0.5H)/(V+A_f c_a\cot\phi)]^a$, $2 \leq a \leq 5$ V:Düşey yük A_f: Eksantrik yükte etkili (efektif) alan (A_f:BL veya $B'L'$) $B'=B-2e_B$, $L'=L-2e_L$
$s_\gamma=1-0.4(B'/L') \geq 0.6$ Sürekli temel için $s_\gamma=1$	$d_\gamma=1.0$	Taban eğimi (α)=0 ise $i_\gamma=[1-(0.7H)/(V+A_f c_a\cot\phi)]^b$, $2 \leq b \leq 5$ Taban eğimi (α)>0 ise $i_\gamma=[1-(0.7-\alpha°/450°)H/(V+A_f c_a\cot\phi)]^b$ Not: i_q, $i_q>0$

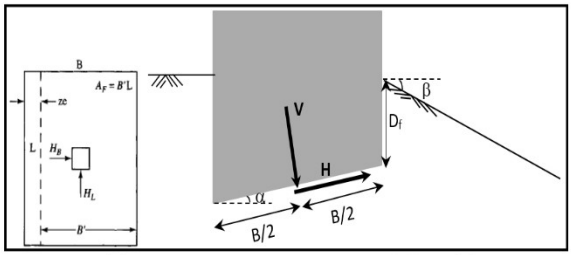
Zemin eğimi katsayıları **(g)**	Temel taban eğimi katsayıları **(b)**
$\phi=0°$ için $g_c=\beta°/147°$ $\phi>0°$ için $g_c=1-(\beta°/147°)$	$\phi=0°$ için $b_c=\alpha°/147°$ $\phi>0°$ için $b_c=1-(\alpha°/147°)$
$g_q=(1-0.5\tan\beta°)^5$	$\phi>0°$ için $b_q=e^{-2\alpha\tan\phi}$, α (rad.)
$g_\gamma=g_q$	$\phi>0°$ için $b_\gamma=e^{-2.7\alpha\tan\phi}$, α (rad.)

(Hansen, 1961; Meyerhof, 1963; Hansen, 1970; Vesic, 1973)

Vesic

Şekil katsayıları **(s)**	$\phi=0°$ için $s_c=0.2B/L$ $\phi>0°$ için $s_c=1+(N_q/N_c)(B/L)$ Şerit temel için $s_c=1$	$\phi \geq 0°$ için $s_q=1+(B/L)\tan\phi$ Şerit temel için $s_q=1$	$s_\gamma=1-0.4(B/L) \geq 0.6$ Şerit temel için $s_\gamma=1$
Derinlik katsayıları **(d)**	$\phi=0$ için $d_c=0.4D_f/B$ $\phi>0°$ için $D_f \leq B$ ise $d_c=1+0.4k$, $k=D_f/B$ $D_f>B$ ise $d_c=1+0.4k$, $k=\tan^{-1}(D_f/B)$, k (rad.)	$D_f \leq B$ ise $k=D_f/B$ $D_f>B$ ise $k=\tan^{-1}(D_f/B)$, k (rad.) $d_q=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2k$	$d_\gamma=1$
Yük eğimi katsayıları **(i)**	$\phi=0°$ için $i_c=1-[(mH)/(A_f c_a N_c)]$ $\phi>0°$ için $i_c=i_q-[(1-i_q)/(N_q-1)]$	$\phi>0°$ için $i_q=[1-H/(V+A_f c_a\cot\phi)]^m$	$\phi>0°$ için $i_\gamma=[1-H/(V+A_f c_a\cot\phi)]^{m+1}$
Taban eğimi katsayıları **(b)**	$\phi=0°$ için $b_c=\alpha°/147°$ $\phi>0°$ için $b_c=1-\alpha°/147°$	$b_q=(1-\alpha\tan\phi)^2$, α (rad.)	$b_\gamma=b_q$
Zemin eğimi katsayıları **(g)**	$\phi=0°$ için $g_c=\beta/5.14$, β (rad.) $\phi>0°$ için $g_c=i_q-(1-i_q)/(5.14\tan\phi)$ $g_c=1-\beta/147°$	$g_q=(1-\tan\beta)^2$, β (rad.)	$g_\gamma=g_q$

(Hansen, 1961; Meyerhof, 1963; Hansen, 1970; Vesic, 1973; Vesic, 1973)



Şekil 5.17. Hansen ve Vesic taşıma gücü modeli

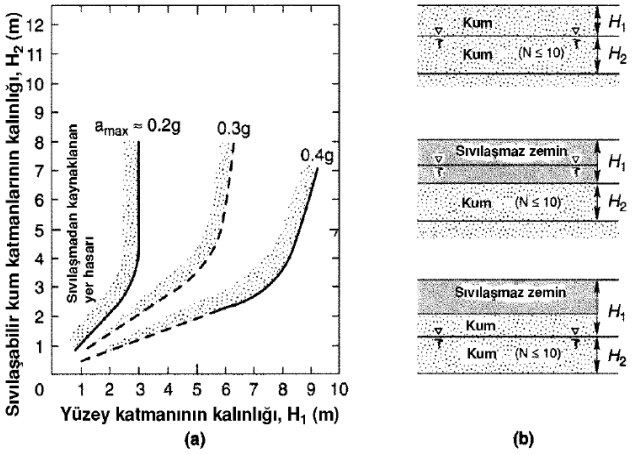
Sıvılaşmaya Duyarlı Zeminlerde Taşıma Gücü Analizleri

A. Şartlar: İşlemde ilk adım, iki şartın (Tablo) yerine getirilip getirilmediğinin tespit edilmesidir. Bu şartlar yerine getirilmediği durumda temel, tasarım deprem anında yenilmeye duyarlı olup, derin temeller kullanımı veya zemin iyileştirmesi gibi özel tasarım hususları gereklidir.

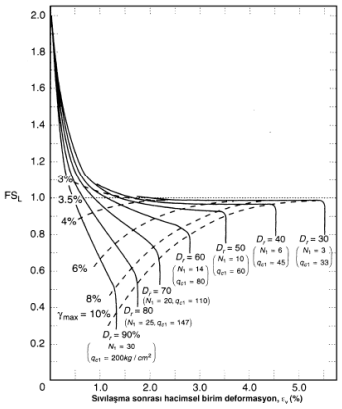
B. Oturma Analizi: İki tasarım şartının karşılanması koşuluyla, bir sonraki adımda oturma analizi yapılır. Bazı durumlarda oturma analizinin güvenli olmadığına (örneğin, temel tabanına yakın bir seviyede sıvılaşabilen zemin bulunan ağır binalara)

Sıvılaşmaya duyarlı zeminler için gerekli şartlar ve analizler

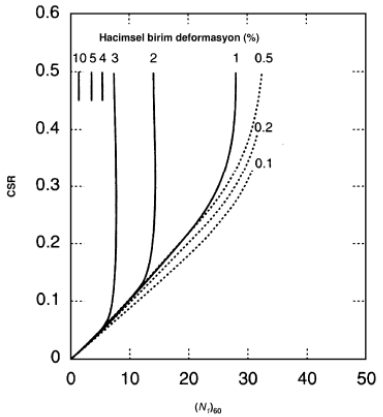
Şartlar	1. *Temeli taşıyacak olan yer*: Temel, deprem sırasında sıvılaşabilir bir zemin üzerine oturtulmamalıdır. Hafifçe yüklenmiş yapılar bile sıvılaşan zemine batabilir. 2. Yüzey katmanı H_1: Altbölüm 7.3'de tartışıldığı gibi, kum kaynamaları ve yüzeyde fisürlenmeyi önlemek amacıyla, sıvılaşmayan zemin katmanı (H_1) yeterli kalınlıkta olmalıdır (Şekil 7.3). Bu katmanın olmadığı durumda sığ temellerde, yol kaplamalarında, diğer kaplama alanlarında ve yeraltı nakil hatlarında zarar meydana gelebilir.
Oturma analizi	Aşağıdaki şartlar için Şekil 7.1 ve 7.2'yi kullanınız: 1. *Hafif yapılar*: Sığ temelli ahşap yapılar gibi hafif yapılarda oturma. 2. *Düşük net taşıma gerilmesi*: Zemine düşük bir net taşıma gerilmesi uygulayan diğer yapıların oturması. 3. *Yüzen temel*: Sıvılaşma zonunun temelin altında olması ve yüzen temelin zemine önemli bir net gerilme uygulamaması şartıyla, yüzen temellerde oturma. 4. *Ağır yapılar ve derinde sıvılaşma*: Yapısal yükün neden olduğu gerilme artışı nispeten düşük olacak şekilde, sıvılaşma zonunun yeteri kadar derinde olması şartıyla sığ temeller üzerine inşa edilen masif binalar gibi ağır yapılarda oturma. 5. Farklı oturma: Yapının altta sıvılaşma zonu ile desteklenen derin temele sahip olduğu durumda yapı ile müştemilatı arasında farklı hareket.



Şekil 7.6 (a) H_1, H_2 ve pik yer ivmesi a_{max}'a dayalı olarak, sıvılaşmadan kaynaklanan yer hasarı potansiyelini değerlendirmede kullanılan diyagram. (b) Diyagramın hazırlanmasına esas teşkil eden üç durum. Burada, H_1=deprem sırasında sıvılaşmayan yüzey katmanının kalınlığı ve H_2=sıvılaşabilir katmanın kalınlığı (*İlk olarak Ishihara, 1985 tarafından geliştirilmiş; Kramer, 1996'dan çoğaltılmıştır*).



Şekil 7.1 Temiz kumda sıvılaşmaya karşı emniyet faktörünün (FS_L) fonksiyonu olarak zemin yüzeyi oturmasını bulmada kullanılan diyagram. Bu şekli kullanmak için, arazideki zeminin relatif sıkılık değeri (D_r), tasarım depremin oluşturacağı maksimum kayma birim deformasyonu (γ_{max}), düzeltilmiş konik uç direnci (q_{c1}, kg/cm²) veya Japon standart penetrasyon değeri (N_1) gibi özelliklerden biri tanımlanmış olmalıdır. Kolaylık olması bakımından, Japon standart penetrasyon değeri N_1'in (5.2) eşitliğindeki $(N_1)_{60}$ değerine eşit olduğunu varsayınız (*İlk olarak Ishihara ve Yoshimine, 1992 tarafından geliştirilmiş; Kramer, 1996'dan çoğaltılmıştır*).



Şekil 7.2 Temiz kumda sıvılaşmaya karşı emniyet katsayısı1,0'e eşit veya küçük (devamlı çizgiler) ve 1,0'den büyük olduğu zaman, zemin yüzeyi oturmasını bulmada kullanılan diyagram. Bu şekli kullanmak için, (6.6) eşitliğindeki devirsel gerilme oranı veya (5.2) eşitliğinden $(N_1)_{60}$ değeri gibi özelliklerden biri tanımlanmış olmalıdır (*İlk olarak Tokimatsu ve Seed, 1984 tarafından geliştirilmiş; Kramer, 1996'dan çoğaltılmıştır*).

C. Taşıma Gücü Analizi: Taşıma gücü analizinde iki değişik yol vardır. Birincisi, temelin sıvılaşan zemin tabakası zımbalama yaptığı bir kayma yenilmesi ile ilgilidir. İkinci durum ise, altta bulunan sıvılaşan zemin tabakasının kayma mukavemetinin kaybını dikkate almada, taşıma gücü faktörlerinde bir azaltma yapmak suretiyle geleneksel Terzaghi taşıma gücü denkleminin kullanılmasıdır.

D. Özel Hususlar: Yapının yüzmeye maruz kalması veya eğimli bir zemin yüzeyin varlığı söz konusu ise özel hususlar gerekli olabilir.

Sıvılaşmaya duyarlı zeminler için gerekli şartlar ve analizler

	1. *Altında sıvılaşabilir zemin bulunan ağır yapılar*: Temelin altında tasarım deprem sırasında sıvılaşabilir zemin katmanı bulunduğu zaman bir taşıma kapasitesi analizi yapınız. Bu durumda, zemin sıvılaştığı takdirde temeldeki yük sıvılaşan zemini delebilir veya gömülebilir ve sonuçta taşıma kapasitesi yenilmesi gerçekleşir (bkz. Altbölüm 8.2). 2. *Taşıma kapasitesini kontrol et*: Sömelin zemine net bir basınç uyguladığı durumda ve altta tasarım deprem sırasında sıvılaşabilir bir zemin bulunduğunda bir taşıma kapasitesi analizi yap (bkz. Altbölüm 8.2). 3. *Pozitif boşluk suyu basıncı oluşması*: Zeminin tasarım deprem sırasında sıvılaşmayacağı fakat aşırı boşluk suyu basıncının gelişeceği durumlarda bir taşıma kapasitesi analizi yap (bkz. Altbölüm 8.2).
Özel durumlar	1. *Suyun kaldırma etkileri*: Olası kaldırma etkilerini dikkate alınız. Bunun için örnekler; sıvılaşabilir zemin zonunda gömülü depolama tankları ile geniş boru hatlarıdır. Gömülü depolama tankları ve geniş boru hatları zemin sıvılaşması durumunda oturma yerine yüzeye çıkabilir. 2. *Eğimli zemin yüzeyi şartları*: Sahanın sıvılaşmadan kaynaklanan akma kaymasına veya yanal yayılmaya duyarlı olup olmadığını ortaya koyunuz (bkz. Bölüm 9).

16.8.4. Yüzeysel Temellerin Yatayda Kayması

16.8.4.1 – *Yatayda kayma* ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde **Denk.(16.9)**'daki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$V_{th} \le R_{th} + 0.3R_{pt} \qquad (16.9)$$

Burada V_{th} temel tabanında etkiyen *tasarım yatay kuvveti*'ni, R_{th} *tasarım sürtünme direnci*'ni, R_{pt} ise *tasarım pasif direnci*'ni göstermektedir.

16.8.4.2 – *Tasarım sürtünme direnci* R_{th} drenajlı durumda **Denk.(16.10)** ile hesaplanabilir:

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan\delta}{\gamma_{Rh}} \qquad (16.10)$$

Burada, P_{tv} temel tabanına etkiyen tasarım düşey basınç kuvvetini, δ ise temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısını göstermektedir.

16.8.4.3 – Sürtünme katsayısı $\tan\delta$, saha deneyleri ile aksi belirlenmedikçe, **Tablo 16.3**'te verilen değerlerden daha büyük alınmayacaktır.

Tablo 16.3. Yüzeysel Temeller ile Zemin Arasındaki Sürtünme Katsayısı

Sürtünme Ara Yüzeyi	$\tan\delta$
Yerinde Dökme Beton – Sıkıştırılmış Temel Taban Zemini	0.6
Önüretimli Beton – Sıkıştırılmış Temel Taban Zemini	0.4
Yerinde Dökme Beton – Beton	0.5
Beton – Taban Kayası	0.5

16.8.4.4 – *Tasarım sürtünme direnci* R_{th} kohezyonlu zeminlerde (drenajsız durumda) **Denk.(16.11)** ile hesaplanabilir.

$$R_{th} = \frac{A_c\, c_u}{\gamma_{Rh}} \qquad (16.11)$$

Burada, A_c temel altında basınç gerilmelerinin oluştuğu toplam alanı ifade etmektedir.

16.8.4.5 – *Tasarım pasif direnci* R_{pt}, *karakteristik pasif direnç* R_{pk}'nın *dayanım katsayısı*'na bölünmesi ile hesaplanacaktır:

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \qquad (16.12)$$

16.9. KAZIKLI TEMELLER

16.9.1. Kapsam

Kazıklı temellerin boyutlandırılmasında aşağıdaki kurallara uyulacaktır. Burada verilen tasarım ilkeleri yerinde dökme ve çakma kazıkları kapsamaktadır.

16.9.1.1 – Kazıklı temellerin düşey ve yanal taşıma güçleri hesaplanarak, statik ve depremi içeren yükleme durumlarındaki tasarım etkilerini karşıladığı gösterilecektir.

16.9.1.2 – Kazıklı temellerin taşıma gücü hesabında aşağıdaki yaklaşımlarından biri uygulanabilir. Taşıma gücü;

(a) Statik yükleme deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak hesaplanabilir.

(b) Zemin araştırmalarından elde edilen zemin özellikleri kullanılarak hesaplanabilir.

(c) Statik yükleme deneyleri ile geçerliliği sağlanmış dinamik yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanabilir.

16.9.2. Kazıklı Temeller İçin Dayanım Katsayıları

16.9.2.1 – Kazıklı temellerin düşey taşıma gücü hesabında, zemin araştırmaları ve yükleme deneyleri sonuçlarından elde edilen zemin özellikleri kullanılarak hesaplanacak *çevre sürtünmesi* Q_s ve *uç direnci* Q_u'nun hesabında **Tablo 16.4**'te verilen dayanım katsayıları γ_R uygulanacaktır.

16.9.2.2 – **Tablo 16.4**'te kazık yükleme deneyi yapılması durumu için verilen dayanım katsayısı değerleri, her bina altında en az bir adet yükleme deneyi ve proje sahasında kullanılan kazıkların en az %1'i üzerinde yükleme deneyi yapılması durumunda kullanılabilir. Bu minimum sayılardan daha fazla deney yapılması halinde, bölgesel deneyimlerin ışığında dayanım katsayılarında en fazla 0.10 kadar azaltma yapılabilir.

16.9.3. Kazıkların Düşey Taşıma Gücü

16.9.3.1 – Statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumlarının her birinde **Denk.(16.14)**'deki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$P_{tv} \le Q_{tv} \qquad \textbf{(16.14)}$$

Burada P_{tv} kazığa etkiyen düşey tasarım kuvvetidir. Q_{tv} ise kazığın düşey tasarım dayanımını göstermektedir ve **Denk.(16.15a)** veya **Denk.(16.15b)** ile tanımlanır:

$$Q_{tv} = \frac{Q_{ks}}{\gamma_{Rs}} + \frac{Q_{ku}}{\gamma_{Ru}} \qquad \textbf{(16.15a)}$$

$$Q_{tv} = \frac{Q_{ktv}}{\gamma_{Rt}} \qquad \textbf{(16.15b)}$$

Burada Q_{ks} ve Q_{ku} kazığın karakteristik çevre sürtünmesi direncini ve karakteristik uç direncini, Q_{ktv} ise karakteristik toplam kazık taşıma gücünü göstermektedir.

Tablo 16.4. Kazıklı Temeller İçin Dayanım Katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri	
		Kazık yükleme deneyi yapılmamış ise	Kazık yükleme deneyi yapılmış ise
Çevre sürtünmesi (basınç)	γ_{Rsb}	1.5	1.3
Çevre sürtünmesi (çekme)	γ_{Rsc}	1.6	1.4
Uç direnci	γ_{Ru}	2.0	1.5
Toplam taşıma gücü (basınç)	γ_{Rt}	–	1.4

Kumlu zeminler için

$$\beta = K \cdot \tan\delta$$

$$f_s = \beta \cdot \sigma'_v$$

$$f_b = N_q \cdot \sigma'_v$$

Table 6.4.3-1—Design Parameters for Cohesionless Siliceous Soil*

Density	Soil Description	Soil-Pile Friction Angle, δ Degrees	Limiting Skin Friction Values kips/ft² (kPa)	N_q	Limiting Unit End Bearing Values kips/ft² (MPa)
Very Loose	Sand	15	1.0 (47.8)	8	40 (1.9)
Loose	Sand-Silt**				
Medium	Silt				
Loose	Sand	20	1.4 (67.0)	12	60 (2.9)
Medium	Sand-Silt**				
Dense	Silt				
Medium	Sand	25	1.7 (81.3)	20	100 (4.8)
Dense	Sand-Silt**				
Dense	Sand	30	2.0 (95.7)	40	200 (9.6)
Very Dense	Sand-Silt**				
Dense	Gravel	35	2.4 (114.8)	50	250 (12.0)
Very Dense	Sand				

*The parameters listed in this table are intended as guidelines only. Where detailed information such as in situ cone tests, strength tests on high quality samples, model tests, or pile driving performance is available, other values may be justified.
**Sand-Silt includes those soils with significant fractions of both sand and silt. Strength values generally increase with increasing sand fractions and decrease with increasing silt fractions.

Killi zeminler için

$$f_s = \alpha \cdot c_u$$

- API Fonksiyonu

s_u < 25 kPa için, $\alpha = 1.0$

25 kPa < s_u < 75kPa için,

$$\alpha = 1.0 - 0.5\left(\frac{s_u - 25kPa}{50kPa}\right)$$

s_u > 75 kPa için, $\alpha = 0.5$

$$\varphi \le 1.0 \; ise \; \alpha = 0.5 \cdot \varphi^{-0.5}$$

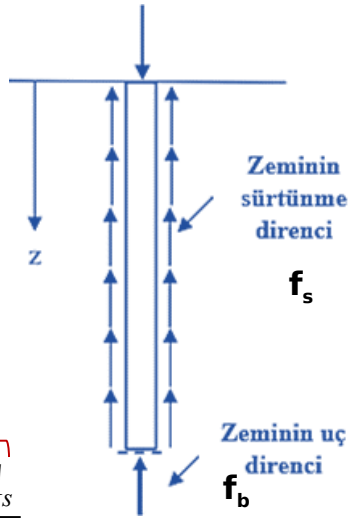
$$\varphi > 1.0 \; ise \; \alpha = 0.5 \cdot \varphi^{-0.25}$$

$$\varphi = c_u / p'_0$$

$$f_b = 9 \cdot c_u$$

Burada; p'_0 efektif basınçtır.

$$Q_{em} = \frac{\overbrace{f_b A_b}^{Q_b} + \overbrace{\sum f_s A_s}^{Q_s}}{G_s}$$



2- Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı

Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı

ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
YAPI İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

İÇİNDEKİLER

1 AMAÇ ... 4
2 KAPSAM ... 4
3 TANIMLAR ... 4
4 GENEL ESASLAR ... 4
5 ETÜT KATEGORİLERİ ... 5
5.1 Kategori 1 ... 5
5.1.1 Yapı ve Bileşenlerinin Özellikleri ve Büyüklükleri Yönünden ... 5
5.1.2 Zemin Birimlerinin Özellikleri Yönünden ... 5
5.1.3 Civar Yapılar Yönünden ... 5
5.1.4 Yeraltı Suyu Yönünden ... 6
5.1.5 Çevre Koşulları Yönünden ... 6
5.2 Kategori 2 ... 6
5.2.1 Yapı ve Bileşenlerinin Özellikleri ve Büyüklükleri Yönünden ... 6
5.2.2 Zemin Birimlerinin Özellikleri Yönünden ... 6
5.2.3 Civar Yapılar Yönünden ... 6
5.2.4 Yeraltı Suyu Yönünden ... 6
5.2.5 Bölgesel Deprem Özellikleri Yönünden ... 6
5.2.6 Çevre Koşulları Yönünden ... 6
5.3 Kategori 3 ... 7
5.3.1 Yapı ve Bileşenlerinin Özellikleri ve Büyüklükleri Yönünden ... 7
5.3.2 Zemin Birimlerinin Özellikleri Yönünden ... 7
5.3.3 Civar Yapılar Yönünden ... 7
5.3.4 Yeraltı Suyu Yönünden ... 7
5.3.5 Bölgesel Deprem Özellikleri Yönünden ... 7
5.3.6 Çevre Koşulları Yönünden ... 7
6 ETÜTLERİN PLANLANMASI ... 8
6.1 Amaç ... 8
6.2 Ön Bilgilerin Toplanması ... 9
6.3 Saha Ön İncelemesi ... 9
6.3.1 Hazırlık ... 9
6.3.2 Genel Bilgilerin Toplanması ... 10
6.3.3 Zeminle İlgili Bilgilerin Toplanması ... 10
6.3.4 Zemin ve Temel Etüt Çalışmalarında Kolaylık Sağlayacak Bilgilerin Toplanması ... 10
6.4 Toplanan Bilgilerin Değerlendirilmesi ... 11
7 ZEMİN VE TEMEL ETÜTLERİNİN KAPSAMI ... 11
7.1 Kategori 1 İçin Etüt Kapsamı ... 11
7.2 Kategori 2 İçin Etüt Kapsamı ... 12
7.2.1 Ön Etütler ... 12
7.2.2 Tasarım Etütleri ... 13
7.2.3 Kontrol Etütleri ... 32
7.3 Kategori 3 İçin Etüt Kapsamı ... 32
8 ZEMİN VE TEMEL ETÜT RAPORLARI FORMATI ... 32
9 EKLER ... 34
Kısaltmalar ... 35
Standartlar ... 35
Tablolar ... 37

A- ETÜT KATEGORİLERİ ve ETÜT KAPSAMI

Kategori 1

- Bu kategoride yer alan zemin ve temel etütleri için EK-1'de yer alan form doldurulacaktır.

EK-1

KATEGORİ 1 İÇİN TESPİT FORMU					
İşin Sahibi					
Proje Adı					
Yapı Kullanım Amacı					
İl / İlçe	...../.....	Köy / Mahalle	...../.....	Ada / Parsel	...../.....
Yapı ve Bileşenlerin Özellikleri ve Büyüklükleri Yönünden					
Yapı Bodrumlu □		Yapı Bodrumsuz □			
Yapı 1 bodrum (Bodrum kat yüksekliği 3m.'yi geçmeyen) ve en fazla 2 katlı		Yapı en fazla 2 katlı		Evet □	Hayır □
Bodrum kat dahil toplam yüksekliği 10.5 m'yi geçmeyen bina		Toplam yüksekliği 7.5 m'yi geçmeyen bina		Evet □	Hayır □
Bina kullanım sınıfı 3, bina önem katsayısı I=1		Bina kullanım sınıfı 3, bina önem katsayısı I=1		Evet □	Hayır □
Bodrum kat dahil toplam inşaat alanı 500 m^2'den az		Toplam inşaat alanı 300 m^2'den az		Evet □	Hayır □
Zemin Birimlerinin Özellikleri Yönünden					
Plana Esas Jeolojik-Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Etüt Raporuna göre yerleşim ve yapılaşmaya uygun alan (UA)		Plana esas rapor yoksa: şişme ve/veya yüksek oturma potansiyeli bilinen zemin yok, yumuşak / gevşek / organik madde içeren zeminler yok		Evet □	Hayır □
Eğimi %5'i geçmeyen saha				Evet □	Hayır □
Tabii (dolgu olmayan) zemin/saha				Evet □	Hayır □
Sağlam, sert kayalar, az ayrışmış, orta sağlam kayalar, ayrışmış-çok çatlaklı zayıf kayalar ve sert kil tabakaları				Evet □	Hayır □
V_{S30} dalga hızı 360 m/sn'den büyük				Evet □	Hayır □
Civar Yapılar Yönünden					
Komşu yapılara, yollara ve altyapı şebeke sistemlerine zarar riski yok				Evet □	Hayır □
Yeraltı Suyu Yönünden					
Maksimum yeraltı su seviyesi temel etki derinliği içerisinde değil				Evet □	Hayır □
Çevre Koşulları Yönünden					
Yapı alanı ve yakın çevresinde hidrojeoloji, tabii bitki örtüsü, yüzeysel su rejimi, şev/yamaç duraysızlığı, çökme ve yer değiştirme hareketleri sorunları yok				Evet □	Hayır □
Yukarıda belirtilen hususların hepsine 'Evet' cevabı verilmiş ise yapıya ait etüt kategorisi Kategori 1 olarak belirlenir.					
Etüt kategorisi KATEGORİ 1'dir.				**Evet** □	**Hayır** □
Yüklenici		**Kontrol Mühendisi**		**İdare Onayı**	
İsim - Ünvan - İmza		İsim - Ünvan - İmza		İsim - Ünvan - İmza	

- **Yapı ve Bileşenlerinin Özellikleri ve Büyüklükleri Yönünden:** Bu kategoride; bodrum kat yüksekliği en fazla 3.00 m. olan en çok 1 bodrumlu, bodrum kat hariç toplam 2 katlı, bodrum kat dahil toplam yüksekliği 10.50 m.'yi geçmeyen, bodrum kat olmaması durumunda toplam bina yüksekliği 7.50 m.'yi geçmeyen, Bina Kullanım Sınıfı (BKS)=3, bina önem katsayısı (I)=1 ve bodrum kat dahil toplam inşaat alanı 500 m²'yi geçmeyen, bodrum kat olmaması durumunda toplam inşaat alanı 300 m²'yi geçmeyen, küçük, basit konut tipi yapılar (site tipi müstakil yapılar, endüstri yapıları, oteller vb. yapılar hariç), derin temel sistemi veya zemin iyileştirmesi gerektirmeyen yapılar, tarım ve hayvancılık amaçlı yapılar yer alır.

- **Zemin Birimlerinin Özellikleri Yönünden:** 1- Bina oturum alanında sağlam, sert kayalar, az ayrışmış, orta ayrışmış, orta sağlam kayalar, ayrışmış-çok çatlaklı zayıf kayalar ve sert kil tabakalarına rastlanan sahalar bu kategori içinde yer alır. 2- Plana Esas Jeolojik-Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Etüt çalışmaları sonucu düzenlenen raporlarda yerleşim ve yapılaşmaya uygun görülen alanlar (UA), eğimi %5'i geçmeyen tabii sahalar bu kategori içinde değerlendirilir. Önlem alınması suretiyle yerleşime uygun görülen Önlemli Alan (ÖA) ile dolgu sahalar bu kategori içinde değerlendirilmez. 3- Şişme ve/veya yüksek oturma potansiyeli bilinen zeminler, dolgu zeminler, yumuşak, gevşek veya organik madde içeren zeminler ile kütle hareketi tehlikesi (heyelan, kaya düşmesi vb.) olan sahalar bu kategori içerisinde değerlendirilmez.

- **Civar Yapılar Yönünden:** Komşu yapılara, yollara ve altyapı şebeke sistemlerine (su, kanalizasyon, gaz, telefon, elektrik vb.) zarar riski olmamalıdır.

- **Yeraltı Suyu Yönünden:** Mevsimsel değişimler göz önüne alınarak belirlenen maksimum yeraltı su seviyesi temel etki derinliği içerisinde olan sahalar bu kategori dışındadır.

- **Çevre Koşulları Yönünden:** Yapı alanı ve yakın çevresinde; hidrojeoloji, tabii bitki örtüsü, yüzeysel su rejimi, sev/yamaç duraysızlığı, çökme ve yer değiştirme hareketleri vb. doğal süreçlerle ilgili sorunların olmadığı alanlar bu kategori içinde değerlendirilir.

Kategori 1 – Örnek Yapılar: Yukarıda tanımlanan maddelerin hepsini sağlamak şartıyla konut tipi yapılar, basit atölye tipi yapılar, alt ve üst zemin seviyeleri arasında yükseklik farkının 2.00 m.'yi geçmediği istinat yapıları ve kazı iksaları, tarım ve hayvancılık amaçlı basit ziraat yapılar ile köy yerleşim alanı içerisinde yer alan bakkal, manav, berber, köy fırını, köy kahvesi, köy lokantası, tanıtım ve teşhir büfeleri, kooperatif işletme binaları bu kategoriye giren yapılara örnektir. Site tipi müstakil yapılar, endüstri yapıları, oteller, okullar, sağlık ocakları Kategori 1 içerisinde yer almaz.

Kategori 1 için Etüt Kapsamı

- Etüdün, Kategori 1 kapsamına girebilmesi için 'Kategori 1' başlığı altında yer alan maddelerin hepsini sağlaması zorunludur.
- Ayrıca, 'Kategori 1'de belirtilen zemin birimlerinin arazi yüzeyinde, temel taban kotunda ve temel etki derinliği içerisinde, araştırma çukurlarında gözlenmesi gereklidir. Etüt kapsamı belirlenirken öncelikle Plana Esas Jeolojik-Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Etüt Raporunun ilgili parselin bulunduğu alana ilişkin bölümleri temin edilmelidir. Yapı alanı ve çevresinde gözlem yapılmalı ve yerel bilgiler toplanmalıdır (jeoloji, morfoloji, yüzey suları, arazi kullanımı, civar yapılar ve çevre koşulları vb.).
- Kategori 1 kapsamında değerlendirilen yapılardan zemine aktarılan maksimum temel taban gerilmesi, gerek statik gerekse de dinamik yükleme durumunda 200 kN/m²'yi aşmamalıdır.
- Yapı etki alanı ve çevresini kapsayacak şekilde yapılan gözlemsel incelemeler ile temel taban seviyesindeki zemin sınıfı hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde aşağıda belirtilen çalışmalar ile belirlenmelidir.
  - ✓ Arazi koşulları ve bina oturum alanına göre; en az 3 adet olacak şekilde sayısı belirlenen araştırma çukurlarında karşılaşılan zemin birimlerinden yeterli nitelik ve nicelikte örselenmiş ve/veya örselenmemiş numuneler alınmalıdır.
  - ✓ Çukur aynasında görülen killi birimlerde arazide cep penetrometresi ve el tipi kanatlı kesici (hand vane) deneyleri yapılmalıdır.
  - ✓ Killi birimlerden alınan numuneler üzerinde laboratuvarda elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri yapılmalıdır. Örselenmemiş numune alınmış ise doğal su muhtevası, doğal birim hacim ağırlığı belirlenmeli ve tek eksenli basınç deneyi yapılmalıdır.
  - ✓ Örselenmemiş numuneler TS EN ISO 22475-1 standardına uygun olarak alınmalıdır.
  - ✓ Kaya numuneleri üzerinde laboratuvarda nokta yükleme ve/veya tek eksenli basınç deneyi yapılmalıdır.
  - ✓ Araştırma çukurlarının kesitleri, alınan deney (yeraltı suyu ve zemin/kaya) numunelerinin yer, adet ve derinliklerini gösteren ve EK-2'de verilen Araştırma Çukuru Logunda belirtilen asgari bilgileri sağlayacak şekilde kayıt altına alınmalı, araştırma çukurlarında karşılaşılan zemin birimleri TS ISO 710 serisi baz alınarak tanımlanmalı (EK-6), çizim ve kesitler ile arazi araştırmaları sırasında çekilen fotoğraflar raporda sunulmalıdır.
  - ✓ Araştırma çukurlarında kaya biriminin gözlenememesi halinde; sismik yöntemler, sondaj veya sondalama yöntemleri kullanılarak da zemin sınıfı belirlenebilir. Jeofizik yöntemlerin kullanılması halinde profillerin birbirini çapraz kestiği en az 2 adet sismik

EK-2

ARAŞTIRMA ÇUKURU LOGU

Firma Adı				Çukur No:	
Proje Adı		Koordinatlar	X	Y	
İl		Tarih			
İlçe		Çukur Derinliği			
Ada		Kazıcı Tipi			
Parsel		Zemin Kotu			
Yeraltı Suyu (m)		Operatör			

Derinlik (m)	Örnek Tipi Nosu	Profil	YASS	Zemin Tanımlaması	USCS	NEM	PP	Laboratuvar Sonuçları					
								Wn %	LL %	PL %	PI %	+4 %	-200 %
0													
1.0													
2.0													
3.0													
4.0													
5.0													

Açıklamalar

PP	Cep Penetrometresi	VM	Çok Nemli
V	Veyn Deneyi	SM	Az Nemli
UD	Örselenmemiş Örnek	W	Islak
DS	Örselenmiş Örnek	Wn	Doğal Su İçeriği
BN	Blok Örnek	LL	Likit Limit
SN	Silindir Örnek	PL	Plastisite İndeksi
TN	Torba Örnek	+4	4 nolu elekte kalan
D	Kuru	-200	200 nolu elekten geçen
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi		

Araştırma Çukuru Fotoğrafı

Düşünceler:

Logu Hazırlayan	Kontrol

EK-6

LEJANT

	bt	Bitkisel toprak	Renksiz
	al	Alüvyon	Renksiz
	eal	Eski Alüvyon	Renksiz
	tr	Taraça	Sarı
	ym	Yamaç Molozu	Açık Kahverengi
	brk	Birikinti Konisi	Açık Kahverengi
	kl	Kil	Açık Gri
	s	Silt	Gri
	k	Kum	Sarı
	ç	Çakıl	Koyu Sarı
	kit	Kiltaşı	Koyu Gri
	şy	Şeyl	Koyu Gri
	st	Silttaşı	Turuncu
	çmt	Çamurtaşı	Turuncu
	kt	Kumtaşı	Turuncu
	çt	Çakıltaşı (Konglomera)	Koyu Turuncu

Kategori 2

- **Yapı ve Bileşenlerinin Özellikleri ve Büyüklükleri Yönünden:** Bu kategori; Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 4-8 arasında kalan yapılar, yüksek risk taşımayan, alışılmamış taşıyıcı sistem ve yükler içermeyen, nicel yöntemlerle elde edilen parametrelerden yararlanılarak yapımı gerçekleştirilebilen yapıları kapsar.
- **Zemin Birimlerinin Özellikleri Yönünden:** Plana Esas Jeolojik-Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Etüt Raporlarında yerleşime uygunluk değerlendirmesinde, yapı inşasında sakınca görülmeyen (varsa gerekli önlemler alınarak) ve temel tasarımı için gerekli zemin parametrelerinin; araştırma çukurları, sondajlar, jeofizik araştırmalar, arazi ve laboratuvar çalışmaları ile belirlenebildiği sahalar bu kategori içinde değerlendirilir.
- **Civar Yapılar Yönünden:** Yapılacak/mevcut olan yapının ve yapı ile ilgili uygulamaların (her türlü kazılar, iksa sistemleri, yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi ve drenaj gibi faaliyetler vb.) civar yapılara zarar vermeyeceği durumlar bu kategori içerisinde değerlendirilir.
- **Yeraltı Suyu Yönünden:** Yeraltı suyu seviyesinin ve bileşiminin gerek binanın kendisi gerekse de inşaat faaliyetleri bakımından özel önlemler alınmasını gerektirmediği durumlar bu kategoride değerlendirilir.
- **Bölgesel Deprem Özellikleri Yönünden:** Sahaya özel zemin davranışı analizleri gerektirmeyen etütler bu kategori içerisinde değerlendirilir.
- **Çevre Koşulları Yönünden:** Yapı alanı ve yakın çevresinde; hidrojeoloji, tabii bitki örtüsü, yüzeysel su rejimi, sev/yamaç duraysızlığı, çökme ve yer değiştirme hareketleri vb. doğal süreçlerle ilgili sorunların alışılmış yöntemlerle çözülebildiği durumlar bu kategori içinde değerlendirilir.

Kategori 2 - Örnek Yapılar: Yüzeysel (tekil, sürekli veya radye) temelli yapılar, zemin iyileştirmesi gerektiren yapılar, derin temeller, alt-üst seviye farkı 2.00 m. yi geçen istinat yapıları, zemin veya kaya ankraj ve bulonları gibi yapı veya yapı kısımları bu kategoriye giren işlere örnektir.

Kategori 2 için Etüt İçeriği

Kategori 2'de yer alan yapılar için zemin ve temel etütleri,

a) Ön etütler,
b) Tasarım etütleri,
c) Kontrol etütleri,

a) Ön Etütler

Ön etütler; yapı yerinin genel uygunluk değerlendirmesi veya gerekiyorsa alternatif yapı yerlerinin belirlenmesi, inşaat faaliyetlerinin yapı alanı ve çevresindeki muhtemel etkilerinin tahmin edilmesi, yapı davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olacak zemin özelliklerinin belirlenmesi ile tasarım ve kontrol araştırmalarının planlanması (6. Bölüm: Etütlerin Planlanması) amacıyla yapılır. Ön etütler, büro ve arazi çalışmaları olmak üzere 2 aşamada yapılır. Bu kapsamda toplanacak veriler ve yapılacak çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

a) Büro çalışmaları sırasında:
   1) İmar çapı ve kroki gibi imar bilgileri ve plan notları,
   2) Plankote,
   3) Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları,
   4) Bölgenin jeolojisi hakkında daha önce yapılan çalışmalar ve jeolojik haritalar,
   5) Varsa, bina ve çevresinde önceden yapılmış zemin ve temel etüt çalışmalarına ilişkin raporlar,
   6) Plana Esas Jeolojik-Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Etüt Raporunun parselin bulunduğu alana ilişkin bölümleri,
   7) İnsan sağlığı açısından önem arz eden jeoloji haritaları (radyoaktivite veya tıbbi jeoloji amaçlı haritalar vb.) ile ilgili raporlar,
   8) Eski haritalar,
   9) Bölgenin depremselliği,
   10) Yerel iklim koşulları,

   hakkında bilgi ve belgeler toplanmalıdır.

b) Arazi çalışmaları sırasında:
   1) Topoğrafik durumun belirlenmesi,
   2) Komşu yapıların ve kazıların incelenmesi,
   3) Varsa civarda mostra vermiş jeolojik birimlerin incelenmesi,
   4) Yüzey ve yeraltı su kaynaklarının tespiti,
   5) Araştırma çukurları açılması,
   6) Sahanın büyüklüğüne göre ihtiyaç duyulması halinde jeofizik araştırmalar ve/veya zemin türlerinin ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesine yetecek sayı ve derinlikte sondaj yapılması,

   gereklidir.

Ön etütlerin sonuçlarına göre planlama aşamasında belirlenen etüt kapsamı yeniden değerlendirilmeli, gerekirse revize edilmelidir. Ön etüt kapsamında yapılan arazi çalışmaları nitelik ve nicelik açısından uygun olduğu takdirde tasarım etütleri sırasında da veri olarak değerlendirilebilir.

b) Tasarım Etütleri

Tasarım etütleri, mevcut/inşa edilecek yapının etkilediği zemin/kaya ortamına ilişkin tüm veri ve özellikler ile yapının beklenen performansı karşılama yeteneğine etki eden faktörlerin güvenilir bir şekilde saptanması ve tanımlanması amacıyla yapılır. Bu etütler TS EN 1997-1 ve TS EN 1997-2 standardında belirtilen hususlar göz önüne alınarak belirlenmelidir.

Tasarım etütleri kapsamında zemin ve kaya birimlerine ait aşağıdaki özelliklerin belirlenmesi gereklidir.

a) Zemin sınıfı, kıvamı, sıkılığı, indeks ve fiziksel özellikleri,
b) Yanal ve düşey yöndeki değişimleri,
c) Litolojik ve stratigrafik özellikleri,
d) Mukavemet parametreleri,
e) Gerilme-deformasyon ilişkileri ve modüller,
f) Sıkışabilirlik özellikleri,
g) Şişme, oturma, çökme, karstik boşluk, sıvılaşma potansiyeli vb.,
h) Kayalardaki ayrışma durumu, kaya kalitesi, kayaların dayanımı,
i) Faylar ve süreksizliklerin durumu,
j) Atık veya yapay dolgu varsa özellikleri,
k) V_{S30} kayma dalgası hızı, yerin altının esneklik direnişleri, zeminin iletkenliği ve korozyon etkisi.

Tasarım etütleri kapsamında yeraltı suyu ile ilgili aşağıdaki özelliklerin belirlenmesi gereklidir.

a) Yeraltı suyunun varlığı ve derinliği,
b) Yeraltı suyunun ve zeminin, betona ve betonarme yapı elemanlarına olası zararlı etkileri.

Ayrıca gerekli olması durumunda aşağıdaki özellikler de belirlenmelidir.

a) Yeraltı suyu taşıyan birimin niteliği (serbest akifer, basınçlı akifer, tünek akifer, mercek/sızıntı suyu vb.) ve olası zararlı çevresel etkileri,
b) Yeraltı suyu depolama ve iletme (permeabilite) özellikleri,
c) Bölgesel don derinliği.

Tasarım etütlerinde yapının oturacağı alandaki zemin birimlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları; standartlaşmış ve genel kabul gören, araştırma çukurları, sondajlar, jeofizik çalışmalar, arazi ve laboratuvar deneylerini kapsar. Bu kapsamdaki bütün çalışmalar ilgili standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Tasarım araştırmaları kapsamında uygulanacak yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

Araştırma Çukurları (EK-2, EK-3, EK-4)

EK-2

ARAŞTIRMA ÇUKURU LOGU					
Firma Adı				Çukur No:	
Proje Adı		Koordinatlar	X	Y	
İl		Tarih			
İlçe		Çukur Derinliği			
Ada		Kazıcı Tipi			
Parsel		Zemin Kotu			
Yeraltı Suyu (m)		Operatör			

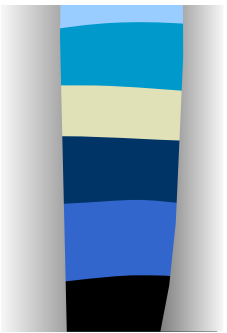
Derinlik (m)	Örnek Tipi Nosu	Profil	YASS	Zemin Tanımlaması	USCS	NEM	PP	Laboratuvar Sonuçları					
								Wn %	LL %	PL %	PI %	+4 %	-200 %
0													
1.0													
2.0													
3.0													
4.0													
5.0													

Açıklamalar			
PP	Cep Penetrometresi	VM	Çok Nemli
V	Veyn Deneyi	SM	Az Nemli
UD	Örselenmemiş Örnek	W	Islak
DS	Örselenmiş Örnek	Wn	Doğal Su İçeriği
BN	Blok Örnek	LL	Likit Limit
SN	Silindir Örnek	PL	Plastisite İndeksi
TN	Torba Örnek	+4	4 nolu elekte kalan
D	Kuru	-200	200 nolu elekten geçen
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi		

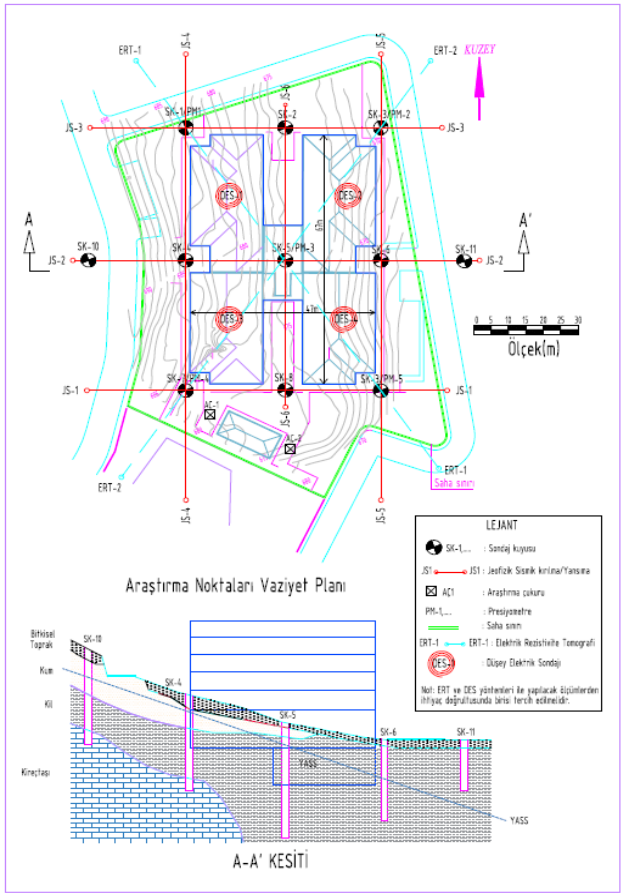
Araştırma Çukuru Fotoğrafı

Düşünceler:

Logu Hazırlayan	Kontrol



EK-3



Araştırma Noktaları Vaziyet Planı

A-A' KESİTİ

EK-4

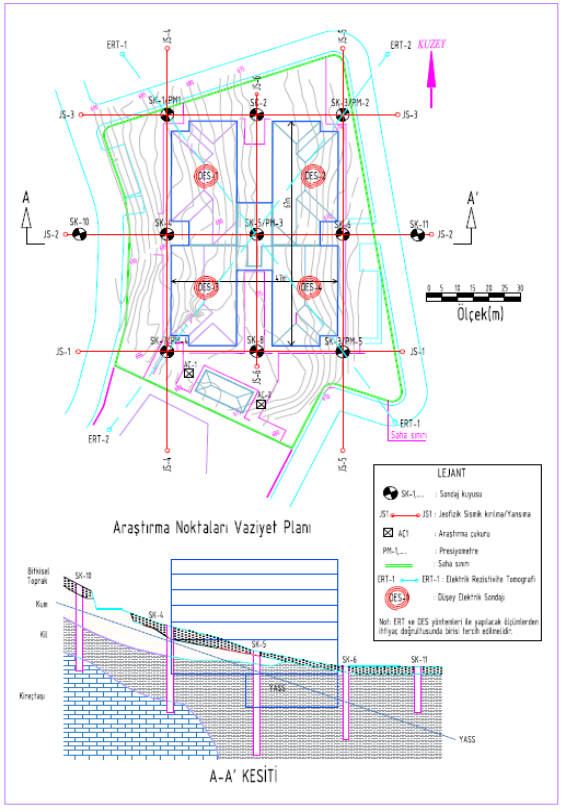
ARAŞTIRMA ÇUKURU KABUL TUTANAĞI		
İşin Adı		
Araştırma Çukuru Numarası	AÇ - …	
Arsa Plankotesine Göre Kuyu Üst Kotu (m)		
Araştırma Çukurunun Koordinatları	X	Y
Araştırma Çukuru Açılma Tarihi		
Araştırma Çukuru Derinliği (m)		
Alınan Örselenmiş Numune Sayısı (adet)		
Alınan Örselenmemiş Numune Sayısı (adet)		
Yeraltı Suyu Seviyesi Derinliği (m)		
Zeminin boyuna kesiti ve zemin birimlerinin litolojik özellikleri		

Yukarıda belirtilen araştırma çukuru ..... tarafından ..../..../..... tarihinde açılarak gerekli tespitler ve inceleme yapılmış olup, iş bu tutanak ... nüsha olarak tanzim ve imza edilmiştir. ..../..../.....

Yüklenici Firma	Kontrol Mühendisi
İmza	İmza

NOT: Araştırma çukurundaki zemin ve kaya tanımlamaları TS EN ISO 14688-1,14688-2,14689 standartlarına uygun olarak hazırlanmalıdır.

EK-3



Araştırma Noktaları Vaziyet Planı

A-A' KESİTİ

EK-5

Yüklenici Firma	SONDAJ LOGU	İşveren
Proje Adı		
İl	Sondaj Derinliği (m)	Sondaj No
İlçe	Başlama Tarihi	Sayfa No
Mahalle/Köy	Bitiş Tarihi	Sorumlu Jeoloji Mühendisi
Pafta	Makine Tipi/Metodu	
Ada	SPT Şahmerdan Tipi: Otomatik	Adı Soyadı İmza
Parsel	Delgi Çapı	
Sondaj Kotu	Yeraltı Suyu (m) — Derinlik / Tarih / Açıklama	Sondör Belge No
X		
Koordinatlar Y		Adı Soyadı

Sondaj derinliği (m)	Muhafaza borusu derinliği	Kuyu içi deneyler	Örnek derinliği (m)	Örnek türü ve no	Standart Penetrasyon Testi (SPT) Darbe sayısı 0-15	15-30	30-45	N	Presiyometre Deneyi: Elastisite Modülü (kg/cm²)	Limit Basınç (kg/cm²)	Kaya özellikleri: TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma derecesi	Çatlak aralığı	Dayanım	Zemin profili	Zemin tanımlaması	Sondaj derinliği (m)
0,0																			0,0
0,5																			0,5
1,0																			1,0
1,5																			1,5
2,0																			2,0
2,5																			2,5
3,0																			3,0
3,5																			3,5
4,0																			4,0
4,5																			4,5
5,0																			5,0
5,5																			5,5
6,0																			6,0
6,5																			6,5
7,0																			7,0
7,5																			7,5
8,0																			8,0
8,5																			8,5
9,0																			9,0
9,5																			9,5
10,0																			10,0
10,5																			10,5
11,0																			11,0
11,5																			11,5
12,5																			12,5
13,0																			13,0
13,5																			13,5
14,0																			14,0
14,5																			14,5
15,0																			15,0

Kıvam durum (ince daneli)		Sıkılık (iri daneli)		Oranlar		Kırıklar / 30 cm.	
N 0-2	Çok yumuşak	N 0-4	Çok gevşek	0-10 %	Pek az	< 1	Seyrek
N 3-4	Yumuşak	N 5-10	Gevşek	10-20 %	Az	1-2	Orta
N 5-8	Orta katı	N 11-30	Orta sıkı	20-35 %	Çok	2-10	Sık
N 9-15	Katı	N 31-50	Sıkı	35-50 %	Ve	10-20	Çok sık
N 16-30	Çok katı	N >50	Çok sıkı			>20	Parçalı
N >30	Sert						

Dayanımlılık		Ayrışma Derecesi		Kaya kalitesi tanımı (RQD)		Kısaltmalar	
I	Çok zayıf	I	Taze	0-25 %	Çok kötü	UD	Örselenmemiş örnek
II	Zayıf	II	Az ayrışmış	25-50 %	Kötü	DS	Örselenmiş örnek
III	Orta	III	Orta ayrışmış	50-75 %	Orta	SPT	Standart Penetrasyon Testi
IV	Dayanımlı	IV	Çok ayrışmış	75-90 %	İyi	TCR	Toplam Karot Yüzdesi
V	Çok dayanımlı	V	Tamamen ayrışmış	90-100 %	Çok iyi	SCR	Çapsın Korunan Karot Yüzdesi
		VI	Kalıntı			VST	Veyn deneyi
						P	Presiyometre deneyi
						K/C	Karot örneği
						RQT	Rebtech ve deneyi

EK-6

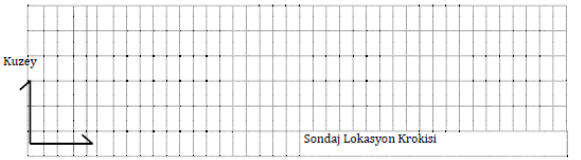
LEJANT

	bt	Bitkisel toprak	Renksiz
	al	Alüvyon	Renksiz
	eal	Eski Alüvyon	Renksiz
	tr	Taraça	Sarı
	ym	Yamaç Molozu	Açık Kahverengi
	brk	Birikinti Konisi	Açık Kahverengi
	kl	Kil	Açık Gri
	s	Silt	Gri
	k	Kum	Sarı
	ç	Çakıl	Koyu Sarı
	kit	Kiltaşı	Koyu Gri
	şy	Şeyl	Koyu Gri
	st	Silttaşı	Turuncu
	çmt	Çamurtaşı	Turuncu

EK-7

SONDAJ KUYUSU KABUL TUTANAĞI		
İşin Adı		
Sondaj Numarası	SK -	
Arsa Plankotesine Göre Sondaj Üst Kotu (m)		
Sondajın Türü (Zemin / Kaya)		
Sondajın Uygulama Şekli (Burgulu–burgusuz /sulu-susuz)		
Sondaj Makinesinin Türü (Marka/Model)		
Başlama Tarihi		
Bitiş Tarihi		
Sondaj Derinliği (m)		
Sondaj Noktalarının Koordinatları	X	Y
Kuyu Çapı/Karot Çapı		
Alınan Örselenmiş Numune Sayısı (adet)		
Alınan Örselenmemiş Numune Sayısı (adet)		
SPT Adedi		
Presiyometre Adedi		
BST / Permeabilite Adedi		
Kuyu İçi Veyn Adedi		
Muhafaza Borusu Boyu		
Yeraltı Suyu Seviyesi Derinliği (m)		

Yukarıda belirtilen sondaj kuyusu ..... tarafından .... /.... / ..... tarihinde açılarak gerekli tespit ve deneyler yapılmış olup, iş bu tutanak ... nüsha olarak tanzim ve imza edilmiştir. ..../..... /.....



Yüklenici Firma	Kontrol Mühendisi
İmza	İmza

Sondajlar: Sondaj sayısı, Sondaj yerleri, Sondaj derinlikleri (EK-3, EK-5, EK-6, EK-7)

Numune Alma (EK-10)

EK-9

YERALTI SUYU NUMUNE ALMA TUTANAĞI	
Firma Adı	
Projenin Adı	
Sondaj/Araştırma Çukuru Numarası	
Tarih	
Numune Numarası	
Derinlik	
Yüklenici Firma İmza	Kontrol Mühendisi İmza

EK-10

NUMUNE ALMA ETİKETİ	
Firma Adı	
Projenin Adı	
Sondaj/Araştırma Çukuru Numarası	
Tarih	
Numune Numarası	
Derinlik	
Numunenin Türü (Blok/karot/örselenmemiş/örselenmiş)	
Numunenin Kategorisi/Sınıfı	
Örselenmiş Numune İçin SPT Darbe Sayısı	
Örselenmemiş Numune İçin Örnek Boyu	
Karot Numune İçin RQD Değeri	
Yüklenici Firma İmza	Kontrol Mühendisi İmza

- **Jeofizik Araştırmalar:**
  - Elektrik Yöntemler
  - Mikrotremör Ölçümü
  - SPAC Yöntemi
  - Sismik Kırılma Yöntemi
  - Sismik Yansıma Yöntemi
  - Aktif ve Pasif Kaynaklı Yüzey Dalgası Analizi
  - Yer Radarı (GPR) Yöntemi
  - Kuyu Logu ve Kuyu İçi Sismik Ölçümü
- **Arazi Deneyleri:**
  - Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)
  - Koni Penetrasyon Deneyi
  - Presiyometre Deneyi (PM
  - Kanatlı Kesici (Veyn) Den
  - Plaka Yükleme Deneyi (Pl
  - Kayalarda Dilatometre De
  - Hidrojeoloji çalışmaları

Hidrojeolojik araştırmalar; gerekli olduğu durumlarda:

1) Yeraltı suyu bulunan zemin ve kaya birimlerinin derinliği, yayılımı, kalınlığı, gözeneklilik ve hidrolik iletkenlik durumu,
2) Kaya zeminlere ait gözeneklilik ve geçirgenlik bilgilerinin elde edilmesinde kullanılmak üzere kırık ve çatlak, eklem sistemi ile tabaka düzlemlerine ilişkin (aralık, açıklık, sıklık, dolgu varlığı ve türü vb.),
3) Yeraltı suyunun veya akiferlerin piyezometrik seviyelerinin kotu, bunların seviyelerindeki farklılıkların zamanla değişimleri ve gerçekleşmesi muhtemel ekstrem koşullardaki yeraltı su seviyesi ve bunların oluşma sıklıkları,
4) Yeraltı suyunun debisi, kimyasal özellikleri ve sıcaklığı ile boşluk suyu basıncı dağılımı,

bilgilerini sağlayacak şekilde düzenlenmelidir.

- **Laboratuvar Deneyleri:**
  - Zemin Sınıflama ve Tanımlama Deneyleri
  - Zeminlerde Gerilme-Deformasyon ve Dayanım Deneyleri
  - Zeminlerin Sıkışabilirlik Deneyleri
  - Permeabilite Deneyleri
  - Zemin ve Yeraltı Suyu numuneleri üzerinde yapılan Kimya
  - Kaya zeminlerin Sınıflamasına ilişkin Deneyler
  - Kaya zeminlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin tayinine

Zemin Sınıflama ve Tanımlama Deneyleri

- Boşluk oranı veya porozite
- Su içeriği ve doygunluk derecesi
- Doğal birim hacim ağırlık
- Özgül ağırlık
- Dane boyu dağılımı (elek ve hidrometre/pipet analizleri)
- Kıvam limitleri (Atterberg limitleri)
- Rölatif (göreli) sıkılık
- Dona karşı hassasiyet

Zeminlerde Gerime-Deformasyon ve Dayanım Deneyleri

- Tek eksenli basınç deneyi
- Üç eksenli basınç deneyi (UU, CU, CD)
- Kesme kutusu deneyi
- Konsolidasyon deneyi

Zeminlerin Sıkışabilirlik Deneyleri

- Konsolidasyon deneyleri
- Kaliforniya Taşıma Oranı Deneyi (CBR deneyleri)
- Proktor deneyleri (standart veya modifiye)
- Şişme potansiyeli (şişme basıncı ve yüzdesi)

Permeabilite Deneyleri

- Düşen seviyeli permeabilite
- Sabit seviyeli permeabilite

Zemin ve Yeraltı Suyu Numuneleri Üzerinde Yapılan Kimyasal Deneyler

- Organik madde içeriği
- Karbonat içeriği (aşındırıcı karbondioksit)
- Sülfat içeriği
- pH değeri (asitlik ve alkalite)
- Klorür içeriği

Kaya Zeminlerin Sınıflamasına İlişkin Deneyler

- Kaya tanımlaması
- Su içeriği ve birim hacim ağırlık
- Porozite

Kaya Zeminlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Tayinine İlişkin Deneyler

- Geçirgenlik/hidrolik iletkenlik
- Şişme basıncı ve yüzdesi
- Tek eksenli basınç deneyi
- Nokta yükü dayanım indeksi
- Disk makaslama dayanım indeksi
- İğne batma indeksi (iğne penetrometresi) deneyi
- Çekme dayanımı deneyi (Dolaylı tayin için "Brazilian" deneyi)
- Üç eksenli basınç deneyi
- Direkt kesme deneyi

Araştırma çukuru veya sondaj çalışmaları sırasında alınan deney numuneleri (zemin, kaya veya yeraltı suyu) TS EN ISO 22475-1'e uygun biçimde alınmalı ve en kısa sürede yetkilendirilmiş laboratuvarlardan birine, EK-9 ve EK-10'da verilen numune alma tutanağı ile birlikte iletilmelidir. Laboratuvar deneyleri, yapı ve zeminin özelliklerine göre projeden sorumlu inşaat mühendisi tarafından planlanmalı ve deney sonuçları rapor ekinde verilmelidir.

c) Kontrol Etütleri

Arazi çalışmalarının üzerinden 1 yıldan fazla zaman geçmesi, parsel topoğrafyasının değişmesi (dolgu veya kazı nedeniyle), çevredeki yapılaşma nedeni ile parsele komşu iksa yapılarının yapılması, yeraltı suyu seviyesinde değişiklik olması, parselin doğal afetlerden etkilenmesi, komşu parsellerdeki yapılaşmaya bağlı geri dolgu yapılması durumunda, ilave kontrol etütleri yapılmalıdır.

Ayrıca; tasarım etütleri safhasında belirlenen zemin ve yeraltı suyu koşullarının teyidi ve/veya proje revizyonundan dolayı ihtiyaç duyulan ilave zemin incelemeleri (arazi ve laboratuvar deneyleri, jeofizik çalışmalar vb.) için kontrol etütleri yapılabilir.

Zemin ve Temel Etüdü çalışmaları sırasında tespit edilen zemin birimleri ile yapım aşamasındaki kazılarda görülen zemin birimleri, yeraltı suyu vb. farklılıkların tespit edilmesi veya önerilen zemin iyileştirme, jetgrout, kazık, ankraj vb. imalatların yapımı sırasında karşılaşılan (kazık için yapılan forajdan çıkan zemin birimleri gibi) ve projelendirme sırasında öngörülen veya seçilen parametrelerin yetersiz olması durumunda da kontrol etütleri yapılabilir.

Kontrol etütlerinde, '7.2.2. Tasarım Etütleri' başlığı altında belirtilen araştırma yöntemlerinden bir veya birkaçı bir arada kullanılmalıdır.

Kategori 3

- **Yapı ve Bileşenlerinin Özellikleri ve Büyüklükleri Yönünden:** Kategori 1 ve 2'ye girmeyen tüm binalar, özel veya büyük risk taşıyan, çok büyük açıklıklı, özel taşıyıcı sistemli, alışılmamış ve/veya karmaşık yük durumlarına sahip yapılar, Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 1-3 arasında kalan yapılar ile deprem yalıtımlı binalar bu kategoride yer alır.
- **Zemin Birimlerinin Özellikleri Yönünden:** Mühendislik tasarımı için alışılmamış ve ender olarak karşılaşılan problemli zemin koşulları, çok gevşek-gevşek kum-çakıl ve çok yumuşak-yumuşak kil zeminler, sahaya özel değerlendirme ve araştırma gerektiren zemin koşulları (turba, yüksek organik içerikli, karstik bölgeler, zemin profilinde ani yanal değişimli zeminler, çöken-şişen zeminler, sıvılaşabilir zeminler, hassas killer, kalın kontrolsüz yapay dolgu alanları, göçebilir zayıf çimentolu zeminler, doğal radyoaktivite ve tehlikeli gaz çıkışları vb.), tasarıma ilişkin çok özel deneysel yöntemleri ve model çalışmalarını gerektiren, özel hesap, irdeleme ve yorum gerektiren işler, ayrı araştırmalar veya özel önlemler gerektiren, muhtemel kütle hareketleri ya da sürekli zemin hareketleri içeren sahalar bu kategori içindedir.
- **Civar Yapılar Yönünden:** Yapılacak/mevcut olan yapının ve yapı ile ilgili uygulamaların (her türlü kazılar, iksa sistemleri, yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi ve drenaj gibi faaliyetler vb.) civar yapılara zarar verebileceği durumlar bu kategori içerisinde değerlendirilir.
- **Yeraltı Suyu Yönünden:** Yeraltı suyu seviyesinin altında yapılan veya yeraltı suyundan kaynaklanan risk etkilerine (basınçlı akiferler, temel çukuruna gelecek ve standart yöntemlerle bertaraf edilemeyecek su girişleri, jeotermal sahalar) maruz yapılar bu kategori içinde değerlendirilir.
- **Bölgesel Deprem Özellikleri Yönünden:** Çalışma sahasında aktif fayın görülebildiği veya sahaya özel deprem tehlike analizi gerektiren sahalar bu kategoride değerlendirilir.
- **Çevre Koşulları Yönünden:** Çevre yönünden aşılması güç ve karmaşık sorunlara neden olabilecek yapılar bu kategori içerisinde değerlendirilir.

Kategori 3 – Örnek Yapılar: Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 1-3 arasında kalan yapılar, yerleşim bölgelerinde civar yapıları etkileyebilecek çok bodrumlu derin kazılar, ağır dinamik yük etkisi altındaki makine temelleri, zararlı kimyasal maddeler içeren ve depolayan tesisler, silolar bu kategoriye giren işlere örnektir.

Kategori 3 için Etüt Kapsamı

Kategori 2'ye giren etütlerin kapsamına ilaveten Kategori 3'e giren etütlerde işin özelliğinin gerektirdiği ek çalışmalar yapılmalıdır. Özel bir deney veya etüt uygulandığında takip edilen yöntem, deney usulleri ve yorumu ile ilgili hususlar belgelenmeli ve kaynak gösterilmelidir.

Ayrıca; sahaya özel deprem tehlikesinin belirlenmesi, deprem etkisi altında doğrusal olmayan zemin davranış analizleri, deprem etkisi altında doğrusal olmayan yapı-kazık-zemin etkileşimi analizleri için yapılan zemin ve temel etütleri de Kategori 3 kapsamında olup, Zemin ve Temel Etüdünün planlanması aşamasında, belli ise Tasarım Gözetimi ve Kontrolü hizmetini veren kişinin görüşlerinin alınması önerilir.

Etüt kapsamı belirlenirken yapının yukarıda Madde 5.3'e göre hangi yönden (yapı bileşenlerinin özellikleri, zemin birimlerinin özellikleri, civar yapılar, yeraltı suyu, bölgesel deprem özellikleri veya çevre koşulları) Kategori 3'e girdiği dikkate alınmalı ve yapılacak ilave araştırmalar bu doğrultuda gerekli bilgileri elde edecek şekilde planlanmalıdır.

Kategori 3'e giren zemin ve temel etütlerinde, yukarıda Madde 7.2'de Kategori 2 için belirtilen zemin ve temel etüdü çalışmalarına ilave olarak, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), madde 16.5'te belirtilen 'Deprem Etkisi Altında Sahaya Özel Zemin Davranış Analizleri' için gerekli tüm arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmalıdır.

B- ZEMİN VE TEMEL ETÜT

Zemin ve Temel Etüt Raporları, zemin araştırmaları sonuçlarının sunulduğu Veri Raporu ile tasarıma yönelik değerlendirmelerin yapıldığı Geoteknik Rapor olarak iki bölümden oluşur. Her iki rapor tek bir kapak sayfası altında ('..... Sahası Parsel Bazında Zemin ve Temel Etüdü' gibi) verilmelidir.

Veri Raporu bölümünde, bölgenin jeolojik yapısı ve proje sahasının jeolojik özellikleri, mevcut veya yeni yapılacak yapının gereklerine uygun olarak adet, yer/konum ve derinlikleri tespit edilen sondaj ve araştırma çukurlarının logları, zemin kesitleri ve yeraltı su düzeyi, arazi ve laboratuvar deney sonuçları, jeofizik araştırma bulguları vb. zemin araştırma sonuçları verilecektir.

Geoteknik Rapor bölümünde;

a) Veri raporunda sunulan arazi zemin araştırmaları bulguları değerlendirilerek, arazi zemin modeli oluşturulacak, yapı yükleri ve deprem etkisi altında zemin tabakalarının davranışı irdelenecek, yapının ve temellerinin tasarımına ilişkin geoteknik tasarım parametreleri verilecektir.
b) Yapı özellikleri ve beklenen performans düzeyi ile uyumlu temel sistemi seçilecek, taşıma gücü ile kısa ve uzun süreli zemin yerdeğiştirme-oturma değerleri verilecek, bu kapsamda zeminlerin şişme davranışı, net temel basınçları ve olası kaldırma kuvvetleri dikkate alınacaktır.
c) Zemin iyileştirme ve/veya güçlendirmesine gereksinim duyulması halinde, olası yöntemler irdelenecek, önerilen yönteme ilişkin uygulama esasları tanımlanacak, iyileştirilmiş zemin için hedeflenen zemin özellikleri, temellerin taşıma gücü ve yerdeğiştirme değerleri verilecektir.
d) Geçici veya kalıcı temel kazılarında uygulanacak iksa sistemlerinin tasarımı için gereken zemin parametreleri verilecektir. Şev duraysızlığı tehlikesi olan eğimli arazilerde inşa edilecek yapılar için, kazı ve inşa adımları dikkate alınarak, şev duraylılık analizleri yapılacak ve kaymaya karşı alınacak uygun önlemler belirlenecektir.

Geoteknik Raporun, Veri Raporunun tamamlanmasını takiben hazırlanması esas olup, Geoteknik Raporda gerekli değerlendirmelerin yapılabilmesi için üst yapıdan gelen yüklerin ön tasarıma olanak sağlayacak şekilde elde edilmiş olması gerekir. Veri Raporu ile Geoteknik Raporun hazırlandığı tarihler raporların başlık bölümünde belirtilmelidir.

Zemin ve Temel Etüt Raporlarının hazırlanmasında öncelikle etüt kategorisinin gerektirdiği çalışmalar belirlenir. Yapılan etüt ve mühendislik hesapları sonucu hazırlanan raporların, yapılan çalışmanın içeriği bakımından Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin 57 nci maddesinde tanımlanan ilgili mühendislik disiplinlerince imzalanması esastır.

Veri Raporunun içeriği ve etüt kategorisinin gerektirdiği çalışmalar Zemin ve Temel Etüt Ekibi tarafından planlanmalı, Veri Raporu kapağı ile sonuç ve öneriler bölümünde, çalışmada yer alan mühendislerin imzası bulunmalıdır. Ayrıca, çalışmaya katılan her mühendis Veri Raporu içinde kendi mesleki disiplini ile ilgili sayfaları da paraflamalıdır.

Geoteknik Raporun kapağı ile sonuç ve öneriler bölümü, raporun içeriğine uygun olarak çalışmada katkısı olan ilgili mühendislerce imzalanır. Mühendislik disiplinleri rapor içeriğinde kendi meslek disiplini ile ilgili sayfaları da paraflamalıdır.

Sahaya özel deprem tehlikesinin belirlenmesi, deprem etkisi altında doğrusal olmayan zemin davranış analizleri, deprem etkisi altında doğrusal olmayan yapı-kazık-zemin etkileşimi analizleri Tasarım Gözetimi ve Kontrolü Hizmetine tabidir.

Zemin ve temel etütlerinde; Kategori 1 kapsamındaki çalışmalar jeoloji mühendisleri ile etüt planlamasına göre ilaveten jeofizik mühendisleri tarafından, Kategori 2'dekiler jeoloji ve inşaat mühendisleri ile etüt planlamasına göre ilaveten jeofizik mühendisleri tarafından, Kategori 3'dekiler ise jeoloji, inşaat ve jeofizik mühendisleri tarafından ilgili oldukları rapor bölümlerine göre ortaklaşa yürütülür. Kategori 1 ve kategori 2 kapsamındaki çalışmalara, etüdün amacına, zemin koşullarına, çevre yapılara, yeraltı suyu durumuna, yapılacak/mevcut yapı karakteristiklerine, sahanın büyüklüğüne göre etüt planlamasında veya tasarım etütleri esnasında diğer meslek disiplinleri de dahil edilir.

Veri Raporu Formatı EK-11'de, Geoteknik Rapor Formatı da EK-12'de verilmiş olup, Kategori 1 kapsamındaki etütler için ayrı ayrı Veri ve Geoteknik Rapor hazırlamak yerine istenirse EK-13'de yer alan formatta da etüt hazırlanabilir.

..... SAHASI
PARSEL BAZINDA ZEMİN VE TEMEL ETÜDÜ VERİ RAPORU

Rapor No: .....
Tarih: .....

İÇİNDEKİLER

1 GİRİŞ ..... (Sayfa No)
1.1 Etüdün Amacı ve Kapsamı ..... (Sayfa No)
1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması ..... (Sayfa No)
1.2.1 Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler ..... (Sayfa No)
1.2.2 İmar Planı Durumu ..... (Sayfa No)
1.2.3 İmar Adası İle İlgili Bilgiler ..... (Sayfa No)
1.2.4 İklim Bilgileri ..... (Sayfa No)
1.2.5 Doğal Afet Tehlikeleri ..... (Sayfa No)
1.2.6 Yapı Hakkında Bilgiler ..... (Sayfa No)
2 JEOLOJİ ..... (Sayfa No)
2.1 Bölgesel Jeoloji ..... (Sayfa No)
2.2 Yapısal Jeoloji ve Aktif Tektonik ..... (Sayfa No)
3 ARAZİ ÇALIŞMALARI ..... (Sayfa No)
3.1 Jeofizik Çalışmalar ..... (Sayfa No)
3.2 Araştırma Çukurları ..... (Sayfa No)
3.3 Sondajlar ..... (Sayfa No)
3.4 Arazi Deneyleri ..... (Sayfa No)
4 HİDROJEOLOJİ ..... (Sayfa No)
5 LABORATUVAR DENEYLERİ ..... (Sayfa No)
6 İNCELEME ALANI MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ ..... (Sayfa No)
7 JEOLOJİK KESİT ..... (Sayfa No)
8 SONUÇ VE ÖNERİLER ..... (Sayfa No)
9 YARARLANILAN KAYNAKLAR ..... (Sayfa No)
10 EKLER ..... (Sayfa No)

Firma Logosu

Proje Adı: .....
İmar Bilgileri: ..... İli, ... İlçesi, ... Mahallesi, ...Pafta, ...Ada, ...Parsel

EK LİSTESİ:

Ek-1 : Araştırma Noktaları Vaziyet Planı
Ek-2: Araştırma Çukuru ve Sondaj Logları, Karot Sandığı Fotoğrafları, Araştırma Çukuru ve Çıkan Malzeme Fotoğrafları
Ek-3: Arazi Deneyleri Sonuç Föyleri
Ek-4 : Jeolojik Kesitler
Ek-5 : Laboratuvar Deney Sonuçları
Ek-6 : Jeofizik Ölçüm Kayıtları ve Düzeltilmemiş Saha Verileri
Ek-7 : Fotoğraflar
Ek-8 : Tapu, İmar Planı, İmar Çapı Sureti
Ek-9 : 1/1000 ya da 1/5000 Ölçekli Münhanili Mühendislik Jeolojisi Haritası
Ek-10: İlgili Tutanaklar
Ek-11: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları Bilgileri
Ek-12: Video çekimi (CD/ sondajlar, jeofizik çalışmalar, araştırma çukuru kazımı ve çıkan malzemenin görüntüleri)

TABLO LİSTESİ:

Tablo-1: Sondaj Derinlikleri (ağız kotları ve dip kotları ile birlikte) (Sayfa No)
Tablo-2: Sondaj Karot Yüzdeleri (her sondajın her derinliği için) (Sayfa No)
Tablo-3: Standart Penetrasyon Testi Sonuçları (Sayfa No)
Tablo-4: Presiyometre Deney Sonuçları (Sayfa No)
Tablo-5: Koni Penetrasyon Testi Sonuçları (Sayfa No)
Tablo-6: Bölgenin Deprem Parametreleri (jeofizik araştırma sonuçları) (Sayfa No)
Tablo-7: Bölgenin Dinamik Elastik Parametreleri (jeofizik sonuçları) (Sayfa No)
Tablo-8: Yeraltı Su Seviyesi Ölçümleri (Sayfa No)
Tablo-9: Zemin Tabakalarına Göre Arazi Ve Laboratuvar Deney Sonuçları (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka tablolar eklenebilir veya bazıları çıkartılabilir)

ŞEKİL LİSTESİ:

Şekil-1 : Yer Bulduru Haritası (Sayfa No)
Şekil-2 : Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeoloji Haritası (Sayfa No)
Şekil-3 : Jeolojik Harita Lejantı (Sayfa No)
Şekil-4: Mühendislik Jeolojisi Haritası (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka şekiller eklenebilir)

Raporu hazırlayan firma ismi ve iletişim bilgileri, proje adı, sahaya ait imar bilgileri, rapor numarası ve rapor tarihi raporun ön kapağında da belirtilmelidir.

Firma İletişim Bilgileri
(Sayfa No)

..... SAHASI

PARSEL BAZINDA ZEMİN VE TEMEL ETÜDÜ

GEOTEKNİK RAPORU

Rapor No: .....
Tarih: .....

İÇİNDEKİLER

1 GİRİŞ ..... (Sayfa No)
2 İNŞAAT SAHASI HAKKINDA BİLGİLER ..... (Sayfa No)
3 YAPI HAKKINDA BİLGİLER ..... (Sayfa No)
4 MEVCUT ZEMİN ARAŞTIRMALARI ..... (Sayfa No)
5 İLAVE ZEMİN ARAŞTIRMALARI ..... (Sayfa No)
6 İDEALİZE ZEMİN PROFİLLERİ (ARAZİ ZEMİN MODELİ) VE YERALTI SUYU DURUMLARI ..... (S.No)
7 GEOTEKNİK TASARIM PARAMETRELERİNİN TESPİTİ ..... (Sayfa No)
8 DEPREMSELLİK ..... (Sayfa No)
9 YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN İRDELENMESİ ..... (Sayfa No)
9.1 Temel Sistemine İlişkin Geoteknik Analiz Ve Değerlendirmeler ..... (Sayfa No)
9.1.1 Yüzeysel Temeller ..... (Sayfa No)
a) Taşıma Gücü Analizi ..... (Sayfa No)
b) Oturma Analizi ..... (Sayfa No)
9.1.2 Derin Temeller ..... (Sayfa No)
a) Taşıma Gücü Analizi ..... (Sayfa No)
b) Oturma Analizi ..... (Sayfa No)
9.2 Zemin İyileştirme Alternatifleri ..... (Sayfa No)
9.3 Önerilen Temel Sistemi ..... (Sayfa No)
9.4 Yapı Temelleri İle İlgili Diğer Hususlar ..... (Sayfa No)
10 İKSA SİSTEMLERİ - ŞEV DURAYLILIK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMESİ ..... (Sayfa No)
11 SONUÇ VE ÖNERİLER ..... (Sayfa No)
12 YARARLANILAN KAYNAKLAR ..... (Sayfa No)
13 EKLER ..... (Sayfa No)

Firma Logosu

Proje Adı: .....
İmar Bilgileri: ..... İli, ... İlçesi, ... Mahallesi, ...Pafta, ...Ada, ...Parsel

EK LİSTESİ:

Ek-1 : Araştırma Noktaları Vaziyet Planı
Ek-2: Sondaj Logları
Ek-3: Laboratuvar Deney Sonuçları Özet Tabloları

(Ayrıca sahaya ve/veya binaya özel olarak yapılan çalışmalarla ilgili ekler de burada belirtilmelidir)

TABLO LİSTESİ:

Tablo-1: Sıvılaşma Analizi Değerlendirmeleri (Sayfa No)

(Yapılan analiz ve değerlendirmelerin kapsamına göre başka tablolar eklenebilir veya çıkartılabilir)

ŞEKİL LİSTESİ:

Şekil-1: İdealize Zemin Kesiti (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka şekiller eklenebilir)

Raporu hazırlayan firma ismi ve iletişim bilgileri, proje adı, sahaya ait imar bilgileri, rapor numarası ve rapor tarihi raporun ön kapağında da belirtilmelidir.

Aşağıda verilen başlıklar ve açıklamalar Geoteknik Rapor'da bulunması gereken asgari hususları içermektedir. Bunların dışında sahanın ve binanın nitelikleri itibarıyla gerek kısa gerekse uzun vadede yapı-zemin etkileşimi açısından önem arz eden özel konulara da ayrıca değinilmelidir.

Firma İletişim Bilgileri
(Sayfa No)

..... SAHASI

KATEGORİ 1 ZEMİN ve TEMEL ETÜT RAPORU

Rapor No: .....
Tarih: .....

İÇİNDEKİLER

1 GİRİŞ ..... (Sayfa No)
1.1 Etüdün Amacı ve Kapsamı ..... (Sayfa No)
1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması ..... (Sayfa No)
1.2.1 Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler ..... (Sayfa No)
1.2.2 İmar Planı Durumu ..... (Sayfa No)
1.2.3 İmar Adası ile İlgili Bilgiler ..... (Sayfa No)
1.2.4 İklim Bilgileri ..... (Sayfa No)
1.2.5 Yapı Hakkında Bilgiler ..... (Sayfa No)
1.2.6 Doğal Afet Tehlikeleri ..... (Sayfa No)
2 JEOLOJİ ..... (Sayfa No)
2.1 Bölgesel Jeoloji ..... (Sayfa No)
2.2 Yapısal Jeoloji ve Aktif Tektonik ..... (Sayfa No)
3 ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI ..... (Sayfa No)
3.1 Araştırma Çukurları ..... (Sayfa No)
3.2 Jeofizik Çalışmalar ..... (Sayfa No)
3.2.1 Sismik Çalışmalar ..... (Sayfa No)
3.2.2 Elektrik Çalışmalar ..... (Sayfa No)
3.3 Sondajlar ..... (Sayfa No)
3.4 Arazi Deneyleri ..... (Sayfa No)
3.5 Laboratuvar Deneyleri ..... (Sayfa No)
3.6 İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi ..... (Sayfa No)
4 YERALTI VE YERÜSTÜ SULARI ..... (Sayfa No)
5 JEOLOJİK KESİT ..... (Sayfa No)
6 SONUÇ VE ÖNERİLER ..... (Sayfa No)
7 YARARLANILAN KAYNAKLAR ..... (Sayfa No)
8 EKLER ..... (Sayfa No)

Firma Logosu

Proje Adı: .....
İmar Bilgileri: ..... İli, ... İlçesi, ... Mahallesi, ...Pafta, ...Ada, ...Parsel

EK LİSTESİ:

Ek-1 : Kategori 1 İçin Tespit Formu (form doldurulmuş ve imzalanmış olarak verilmelidir)
Ek-2: Araştırma Noktaları Vaziyet Planı
Ek-3: Tapu, İmar Planı, İmar Çapı Sureti
Ek-4 : Araştırma Çukuru Logları, Araştırma Çukuru ve Çıkan Malzeme Fotoğrafları
Ek-5 : Arazi Deneyleri Sonuç Föyleri
Ek-6 : Jeolojik Kesitler
Ek-7 : Laboratuvar Deney Sonuçları
Ek-8 : Jeofizik Ölçüm Kayıtları
Ek-9 : Fotoğraflar
Ek-10: 1/1000 ya da 1/5000 Ölçekli Münhanili Mühendislik Jeolojisi Haritası
Ek-11: İlgili Tutanaklar
Ek-12: Video çekimleri

TABLO LİSTESİ:

Tablo-1: Arazi ve Laboratuvar Deney Sonuçları (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka tablolar eklenebilir veya bazıları çıkartılabilir)

ŞEKİL LİSTESİ:

Şekil-1 : Yer Bulduru Haritası (Sayfa No)
Şekil-2 : Araştırma Noktaları Vaziyet Planı (Sayfa No)
Şekil-3 : Tapu, İmar Planı, İmar Çapı Sureti (Sayfa No)

(Yapılan çalışmaların kapsamına göre başka şekiller eklenebilir)

Raporu hazırlayan firma ismi ve iletişim bilgileri, proje adı, sahaya ait imar bilgileri, rapor numarası ve rapor tarihi raporun ön kapağında da belirtilmelidir.

Firma İletişim Bilgileri
(Sayfa No)

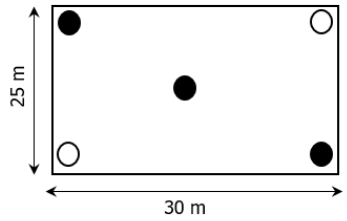
Örnek Uygulama: 3 bodrum, 1 zemin kat ve 6 normal kattan oluşan S=10 katlı konut binası tasarlanması planlanmaktadır. Yapının yüksekliği 35 m ve yapının taban alanı 25 m x 30 m olup temel derinliği 7.5 m olarak seçilmiştir. Yapının temel tabanında ortalama 200 kPa taban basıncı hesaplanmıştır. Bu verilenlere göre yapının yapılacağı sahada zemin incelemesi amaçlı yapılacak sondaj yerlerini, sondaj sayısını ve sondaj derinliği Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı (2021) açsından değerlendiriniz.

Çözüm: Zemin incelemesi için gerekli sondaj yerinin, sayısının ve derinliğinin belirlenmesi; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı (2021) açısından, aşağıda sırasıyla değerlendirilmiştir.

a) Sondaj yeri ve Sondaj sayısı

- Yapının taban boyutları B=25 m ve L=30 m'dir. Tabanı alanı 25*30=750 m^2 olur.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre **sondaj sayısı**, "Zemin koşullarının değişkenliği, yapının taban alanı ve aktardığı yükler ile çevresindeki koşullar dikkate alınarak; her 300 m^2'lik taban alanı için en az bir adet olmak üzere belirlenecektir. *Bina Yükseklik Sınıfı* BYS≤3 olan binaların inşa edileceği alanlarda sondaj sayısı üçten az olmayacaktır. Sondaj sayısı, taban alanı 1000 m^2'yi geçen binalarda birer adet bina köşelerinde ve bir adet ortada olmak üzere en az beş adet olacak şekilde planlanacaktır." Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre **sondaj yerleri**, "Topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar özel yerlere işaret etmiyorsa, en az yapı planının köşeleri ve ortasında sondaj yerleri seçilecektir."

  Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) uygun olarak, 300 m^2 için bir adet sondaj, 600 m^2 için iki adet sondaj ve 750 m^2 için üç adet sondaj gerekir. Böylece binanın taban alanının köşelerine iki ve ortasına bir adet olmak üzere üç adet sondaj yapılması planlanır. Sondajın yerleri, içi dolu daireler sondaj olarak yerleşim (konum) planında gösterilmiştir.
- Zemin ve Temel Etüt Uygulama Esasları ve Rapor Formatı'na (2021) göre **sondaj sayısı**, "Temel taban alanı 300 m^2'den az olan ve tek bloktan oluşan yapılarda en az 3 adet sondaj yapılmalıdır. Taban alanının her 300 m^2 artışında bir sondaj ilave edilmelidir."



Zemin ve Temel Etüt Uygulama Esasları ve Rapor Formatı'na (2021) uygun olarak, 300 m^2 için üç adet sondaj, 600 m^2 için dört adet sondaj ve 750 m^2 için beş adet sondaj gerekir. Böylece binanın taban alanının köşelerine ve ortasına olmak üzere beş adet sondaj yapılması planlanır. Sondaj yerleri, içi dolu ve boş dairelerle gösterilen beş adet sondaj olarak yerleşim (konum) planında gösterilmiştir.

b) Sondaj derinliği

- Zeminin birim hacim ağırlığı γ=18 kN/m^3 olarak alınmıştır. Konut binası S=10 katlı, kat yüksekliği H_N=35 m, temel boyutları B=25 m ve L=30, taban basıncı q_t=200 kPa ve temel terinliği D_f=7.5 m'den oluşmaktadır.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) ve Zemin ve Temel Etüt Uygulama Esasları ve Rapor Formatı'na (2021) göre **sondaj derinliği**, "Bina temelleri için temel tabanından başlayarak yapı genişliğinin en az 1.5 katı veya net temel taban basıncından kaynaklanan zemindeki gerilme artışının ($\Delta\sigma$) zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan efektif gerilmenin (σ_{v0}') %10'una eşit olduğu derinlikten ($\Delta\sigma=0.1\sigma_{v0}'$) daha elverişsizi (araştırmaya uygun) olacak şekilde seçilecektir."

  İlk yönteme göre sondaj derinliği, D_{s1}=1.5B=1.5*25=37.5 m'dir.

  İkinci yönteme göre $\Delta\sigma=0.1\sigma_{v0}'$ ve σ_{v0}'=18*(7.5+z)'dir.

$$\Delta\sigma=\frac{q_{t,net}BL}{(B+z)(L+z)}=\frac{(200-18*7.5)*25*30}{(25+z)(30+z)}=\frac{48750}{(25+z)(30+z)}$$

$$\frac{48750}{(25+z)(30+z)}=0.1*18*(7.5+z)=13.5+1.8z,\ z=D_e\cong 11\ m$$

  İkinci yönteme göre sondaj derinliği, $D_{s2}=D_f+D_e$=7.5+11=18.5 m'dir. Sondaj derinliği, ilk yöntemde 37.50 m, ikinci yöntemde 18.50 m olarak bulunmuştur. Bu durumda sondaj derinliği, geoteknik mühendisinin yorumuna bırakıldığından en büyük değere yakın olan 30 m kabul edilebilir.

Örnek Uygulama: Aşağıda Sakarya ilinde bir araziye ait zemin profili verilmiştir. Yapılan sondaj kuyusundan örselenmiş (D1, D2, D3) ve örselenmemiş (UD1) numuneler alınmıştır. Bu arazi üzerine yapılacak bir konut için 3 m temel derinliğine sahip bir binanın temel tasarımında,

a) Her bir tabaka için gerekli zemin parametreleri nelerdir ve nerede kullanılacaktır?

b) Her bir tabaka için gerekli zemin parametreleri, hangi numune türleri (D/UD) kullanılarak hangi laboratuvar deneyleri veya hangi arazi deneyleri ile nasıl belirlenir?

a) Her bir tabakanın indeks özellikleri/parametreleri, mukavemet parametreleri ve oturma parametreleri belirlenmelidir. Zemin profili, 10 m kalınlığında suya doygun kaba daneli zemin tabakası, altında ise 5 m suya doygun kohezyonlu zemin tabakası ve onunda altında kiltaşından oluşmaktadır.

Gevşek siltli kum tabakası için indeks özellikler

- %G, %S, %(M+C), Likit limitleri (w_L), Plastik limit (w_p): Kaba daneli zeminlerin zemin sınıfını belirlemede kullanılır.
- Doygun birim hacim ağırlığı (γ_d): Düşey gerilmenin, temelin taşıma gücü ve oturma hesabında kullanılır.
- Boşluk oranı (e): Rölatif sıkılığın hesabında kullanılır.
- Rölatif sıkılık (D_r): Zemin tabakasının sıkılığı hakkında bilgi verir. Ayrıca zeminin taşıma gücü ve oturması hakkında yorum yapmamızı kolaylaştırır.

Orta katı killi zemin tabakası için indeks özellikler

- %G, %S, %(M+C): Zemin sınıfını belirlemede kullanılır.
- Su muhtevası (w_n) ve kıvam limitleri (w_L, w_p): Kohezyonlu zeminlerin davranışını kontrol eden fiziksel özellik kıvamdır. Zeminin su muhtevası ve kıvam limitleri bulunarak zemin tabakasının kıvamı belirlenir ve böylece zeminin yükler altında nasıl davranış göstereceği (taşıma gücü, oturma) hakkında bilgi verir. Zeminin kıvamını belirlemede enerji düzeltilmesi yapılmış SPT-N değeri (N_{60}) de kullanılır. Ayrıca kıvam limitleri hem zeminin sınıflandırılmasında hem de çeşitli zemin parametrelerin tahmininde kullanılır.
- Doygun birim hacim ağırlığı (γ_d): Düşey gerilmenin, temelin taşıma gücü ve oturma hesabında kullanılır.
- Boşluk oranı (e): Konsolidasyon oturma hesabında kullanılır.

Gevşek siltli kum tabakası için mukavemet ve oturma parametreleri: Bu tür zeminlerde kayma mukavemeti parametreleri c=0 ve ϕ' olup yalnızca elastik oturma meydana gelir.

- Kayma mukavemeti açısı (ϕ): Temelin taşıma gücü hesabında kullanılır.
- Eşdeğer Elastisite modülü (E_s) ve Poisson oranı (ν): Elastik oturma hesabında kullanılır.

Orta katı killi zemin tabakası için mukavemet ve oturma parametreleri: Bu tür zeminlerde kayma mukavemeti parametreleri; drenajsız (kısa periyotlu, toplam gerilme cinsinden) kayma mukavemeti parametreleri (c_u ve ϕ_u) ve drenajlı (uzun periyotlu, efektif gerilme cinsinden) kayma mukavemeti parametreleri (c' ve ϕ') kullanılır. Bu tür zeminlerde kritik olan drenajsız kayma mukavemeti parametreleridir. Ayrıca bu tür zeminlerde elastik, birincil konsolidasyon ve ikincil konsolidasyon oturmaları meydana gelir.

- Drenajsız kayma mukavemeti parametreleri (c_u ve ϕ_u): Kısa periyotlu taşıma gücü hesabında kullanılır.
- Drenajlı kayma mukavemeti parametreleri (c' ve ϕ'): Uzun periyotlu taşıma gücü hesabında kullanılır.
- Drenajsız elastisite modülü (E_u) ve Drenajsız Poisson oranı (ν_u=0.5): Elastik (ani) oturma hesabında kullanılır.
- Sıkışma indisi (C_c), yeniden sıkışma indisi (C_r) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v): Birincil konsolidasyon oturma hesabında kullanılır.
- Konsolidasyon katsayısı (c_v): Konsolidasyon oturma süresini ya da belli sürede ne kadar oturma meydana geleceğini belirlemede kullanılır.
- Ön konsolidasyon basıncı (σ_p): Birincil konsolidasyon oturma hesabında ve zemin tabakasının gerilme geçmişini (AKO) belirlemede kullanılır.

Gevşek siltli kum ve Orta katı killi zemin tabakaları:

- Drenajsız kayma mukavemeti (c_u), kayma dalgası hızı (v_s) ve enerji düzeltilmesi yapılmış SPT-N değeri (N_{60}): TBDY (2018) göre zemin profilinin Yerel Zemin Sınıfını tanımlamada kullanılır.
- Enerji ve derinlik düzeltilmesi yapılmış SPT-N değeri ($N_{1,60}$): TBDY (2018) göre zemin yüzeyinden itibaren 20 m derinlik boyunca suya doygun gevşek siltli kum, sıvılaşma potansiyeline sahiptir. $N_{1,60}$ sıvılaşma analizinde kullanılır. Ayrıca ϕ'nin ve D_r'nin de tahmininde kullanılır (Bölüm 3'te verilmiştir).

Kil taşı tabakası:

- Kaya kalite değeri (RQD): Kayanın kalitesi hakkında bilgi verir.

b) Kaba daneli zemin tabakasında SPT deneyleri yapılarak hem ham SPT-N değerleri (SPT-N_1 ve SPT-N_2) hemde örselenmiş numuneler (D1, D2) elde edilmiştir. İnce daneli zemin tabakasında ise hem ham SPT-N değeri (SPT-N_3) hem de örselenmiş (D3) ve örselenmemiş (UD) numuneler elde edilmiştir.

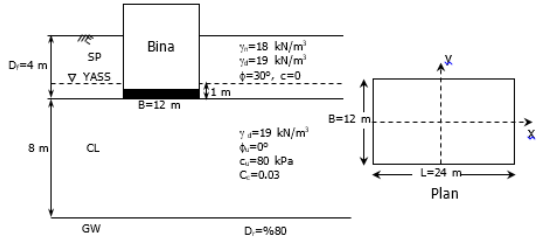
Gevşek siltli kum tabakası: Bu tür zeminlerde indeks özellikler örselenmiş numuneler (D) ile mekanik özellikler ise arazi deneyleri veya zeminin özelliklerine göre tablolar yardımıyla belirlenir.

- %G, %S, %M, %C: D1 ve D2 örselenmiş numuneler kullanılarak elek analiz ve hidrometre deneyi ile belirlenir.
- Likit limitleri (w_L), Plastik limit (w_P): D1 ve D2 örselenmiş numuneler kullanılarak Casagrande veya Düşen koni yöntemiyle w_L ve Rulo deneyi ile w_P belirlenir.
- Doygun birim hacim ağırlığı (γ_d): N_1 ve N_2 ham SPT-N değerlerinden SPT-N_{60} hesaplanarak bu değere göre karşılık gelen değerler, yaklaşık olarak tablolar yardımıyla (Bölüm 3'te verilmiştir) belirlenir.
- Boşluk oranı (e): Granülometre eğrisinden ve SPT deneyinden belirlenebilir.
- Rölatif sıkılık (D_r): Arazi deneyleri (SPT, CPT) yardımıyla belirlenir. Burada N_{60} değerine göre tablolar ya da korelasyonlar yoluyla belirlenebilir (Bölüm 3'te verilmiştir).
- Kayma mukavemeti açısı (ϕ): Arazi deneyleri (SPT, CPT) yardımıyla belirlenir. Burada N_{60} veya $N_{1,60}$ değerine göre tablolar ya da korelasyonlar yoluyla belirlenebilir (Bölüm 3'te verilmiştir).
- Eşdeğer Elastisite modülü (E_s) ve Poisson oranı (ν): Arazi deneyleri (SPT, CPT) yardımıyla belirlenir. Burada N_{60} veya $N_{1,60}$ değerine göre tablolar ya da korelasyonlar yoluyla belirlenebilir (Bölüm 3'te verilmiştir).

Orta katı killi zemin tabakası: Bu tür zeminlerde

- %G, %S, %M, %C: D3 örselenmiş numune kullanılarak elek analiz ve hidrometre deneyi ile belirlenir.
- Su muhtevası (w_n): D3 örselenmiş numune kullanılarak, zemin mekaniği bilgileri kapsamında ($w_n=W_{su}/W_{kuru}$) hesaplanır.
- Likit limitleri (w_L), Plastik limit (w_P): D3 örselenmiş numune kullanılarak Casagrande veya düşen koni yöntemiyle w_L ve rulo deneyi ile w_P belirlenir.
- Doygun birim hacim ağırlığı (γ_d): UD örselenmemiş numune kullanılarak zemin mekaniği bilgileri kapsamında (ağırlık-hacim ilişkisinden) hesaplanır. Bölüm 3'te farklı zemin türleri için birim hacim ağırlıklarının değişimi tablolar halinde verilmiştir.
- Boşluk oranı (e): Zemin mekaniği bilgileri kapsamında ($e=w_nG_s$) hesaplanır.
- Drenajsız kayma mukavemeti (c_u): UD örselenmemiş numuneden serbest basınç deneyi, üç eksenli UU deneyi veya üç eksenli CU Deneyi ile belirlenir. Ayrıca arazi deneyleri (SPT, CPT, FVT, PMT) ile belirlenebilir. Burada N_3 den bulunan N_{60} değerinden c_u yaklaşık tablolar ya da korelasyonlar yardımıyla da tahmin edilebilir (Bölüm 3'te verilmiştir).
- Drenajlı kayma mukavemeti açısı (ϕ'): UD örselenmemiş numuneden üç eksenli CD deneyi ile belirlenir. Ayrıca plastisite indisine bağlı olarak grafikten hareketle de tahmin edilebilir (Bölüm 3'te verilmiştir).
- Drenajsız elastisite modülü (E_u): UD örselenmemiş numuneden serbest basınç, üç eksenli UU veya üç eksenli CU deneylerinin σ-ε ilişkisinden belirlenebilir. Ancak numunenin örselenme etkisinden bu değer ciddi şekilde etkilendiğinden pratikte sıkça c_u, I_p ve AKO bağlı olarak korelasyonlardan belirlenir (Bölüm 3'te verilmiştir).
- Sıkışma indisi (C_c), yeniden sıkışma indisi (C_r), hacimsel sıkışma katsayısı (m_v), Konsolidasyon katsayısı (c_v) ve ön konsolidasyon basıncı (σ_p): UD örselenmemiş numuneden ödometer deneyi ile bu parametreler belirlenir. Ayrıca arazi deneyleri (SPT, CPT, FVT, PMT) souçları kullanılarak tablolardan, grafiklerden ya da korelasyonlardan tahmin edilebilir.

Örnek Uygulama: Aşağıda verilen zemin özelliklerine sahip zemin profilinde, konut amaçlı yapılması planlanan 12 mx24 m boyutlarında rijit radye temele sahip binanın TBDY (2018)'e göre taşıma gücü, yatayda kayma ve oturma tahkiklerini yapınız. Üst yapının statik ve deprem yükleri altındaki analizi yapılmış ve radye temel üzerine gelen yükler tablo olarak aşağıda verilmiştir.



Yük bileşenleri	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
1) **G+Q+0.2S+E_{dx}+E_{dy}**	1100	4200	45300	40200	60500
2) **0.9G+E_{dx}+0.3E_{dy}**	1150	4300	36600	40100	58400

Çözüm: Burada temele etkiyen düşey yükler F_z=N, yatay yükler F_x=H_L ve F_y=H_B, momentler M_x=M_B ve M_y=M_L'dir. Rijit temele göre taban basınçları ve temelin taşıma gücü hesaplanıp taşıma kapasitesi değerlendirilecektir. Daha sonra yatayda kayma ve oturma tahkikleri yapılacaktır.

Taşıma Gücü Kontrolü

- Temel boyutları B=12 m, L=24 m olup temelin momentlere maruz kalması nedeniyle, taşıma gücü ve taban basıncı hesabında kullanılmak üzere, efektif boyutlar (B' ve L') ve alan (A') belirlenir.
  e_B=e_y=M_x/N=40200/45300=0.89 m
  e_L=e_x=M_y/N=60500/45300=1.34 m
  B'=B-e_B=12-2*0.89=10.22 m
  L'=B-e_L=24-2*1.34=21.32 m
  A'=B'L'=10.22*21.32=217.9 m²
- İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 7'deki (7.11) bağıntısından maksimum ve minimum taban basınçları (q_0) bulunur.

$$q_0 = q_{max} = \left(\frac{N}{BL} - u\right)\left(1 + \frac{6e_B}{B} + \frac{6e_L}{L}\right) = \left(\frac{45300}{12*24} - 1*10\right)\left(1 + \frac{6*0.89}{12} + \frac{6*1.34}{24}\right) \cong 262 \text{ kPa}$$

$$q_0 = q_{min} = \left(\frac{N}{BL} - u\right)\left(1 - \frac{6e_B}{B} - \frac{6e_L}{L}\right) = \left(\frac{45300}{12*24} - 1*10\right)*\left(1 - \frac{6*0.89}{12} - \frac{6*1.34}{24}\right) \cong 32 \text{ kPa}$$

İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 7'deki (7.21) bağıntısından da azaltılmış alan yöntemine göre yaklaşık tabancı taban basıncı bulunur.

$$q_t = \left(\frac{N}{B'L'} - u\right) = \frac{45300}{10.22*21.32} - 1*10 \cong 198 \text{ kPa}$$

- Temel zemin incelendiğinde, iyi derecelenmiş sıkı çakıllı zemin üzerinde 8 m kalınlığında düşük plastisiteli kil tabakası mevcuttur. Temelin etki derinliği yaklaşık D_e≅1.5B=1.5*12=18 m'dir. Bu durumda hem CL ve hem de GW zemini içeren taşıma gücü hesabı yapılmadır. Ancak bu soruda, sıkı GW zemini taşıma gücü açısından problem oluşturmayacağından, kolaylık ve güvenli tarafta kalmak adına CL zemini dikkate alınarak taşıma gücü hesabı yapılacaktır.
- İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 5'teki (5.31) bağıntısı kullanılarak karakteristik taşıma dayanım (q_k) hesaplanır. Ancak CL zeminin c_u=80 kPa ve ϕ_u=0 şartından dolayı İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 5'teki (5.33) Hansen taşıma gücü bağıntısı kullanılarak karakteristik dayanım hesaplanır.

$$q_k = 5.14c_u(1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + \sigma_v'$$

- Adezyon faktörü, c_a=(0.6~1)c_u=0.6*80=48 kPa bulunur.
  ϕ_u=0 için N_c=5.14, N_q=1 ve N_γ=0'dır.

İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 5'teki Tablo 5.9'dan ve (5.35) bağıntılarından hareketle α=0, β=0, ϕ_u=0 ve D_f=4 m≤B=12 m için g_c, b_c, d_c ve s_c bulunur.
g_c=β/147=0/147=0
b_c=α/147=0/147=0
$d_{c,B}$=0.4(D_f/B)=0.4*(4/12)=0.133
$d_{c,L}$=0.4(D_f/L)=0.4*(4/24)=0.067
$i_{c,B}$=0.5-[1-H_B/(A'c_a)]$^{0.5}$=0.5-[1-4200/(217.9*48)]$^{0.5}$=-0.274
$i_{c,L}$=0.5-[1-H_L/(A'c_a)]$^{0.5}$=0.5-[1-1100/(217.9*48)]$^{0.5}$=-0.446
$s_{c,B}$=0.2($Bi_{c,B}$/L)=0.2*[12*(-0.274)/24]=-0.027
$s_{c,L}$=0.2($Li_{c,L}$/B)=0.2*[24*(-0.446)/12]=-0.178

- İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 5'teki (5.31) bağıntısında kullanılarak üzere istenilen faktörler belirlendikten sonra kısa ve uzun kenar doğrultusundaki etkiler gözönüne alınarak, $q_{k,B}$ ve $q_{k,L}$ değerleri hesaplanır ve küçük olan değer karakteristik dayanım olarak kabul edilir.

$$q_{k,B} = 5.14c_u(1 + s_{c,B} + d_{c,B} - i_{c,B} - g_c - b_c) + \sigma_v'$$

$$q_{k,B} = 5.14*80*(1 - 0.027 + 0.133 - (-0.274) - 0 - 0) + (3*18 + 1*9) \cong 630 \text{ kPa}$$

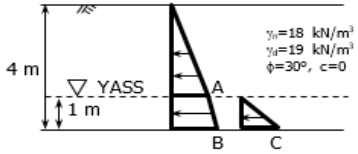
$$q_{k,L} = 5.14c_u(1 + s_{c,L} + d_{c,L} - i_{c,L} - g_c - b_c) + \sigma_v'$$

$$q_{k,L} = 5.14*80*(1 - 0.178 + 0.067 - (-0.446) - 0 - 0) + (3*18 + 1*9) \cong 612 \text{ kPa}$$

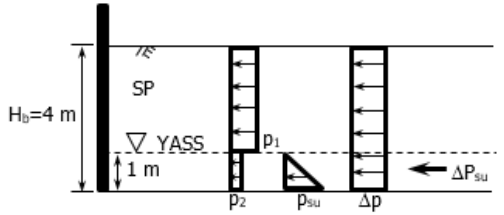
- Tasarım dayanım q_t, İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 7'deki (7.79) bağıntısından hesaplanır.
  q_t=q_k/γ_R=612/1.4=437 kPa
- Taşıma açısından uygun olup olmadığı q_0≤q_t şartı kontrol edilir.
  q_0=262 kPa≤q_t=612 kPa olduğundan, taşıma gücü açısından problem oluşmamaktadır.

Yatayda Kayma Kontrolü

- Yüzeysel temellerde yatayda kayma tahkiki, statik ve depremsellik durumunda İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 7'deki (7.80) bağıntısı ile aşağıdaki şart sağlanması istenir.
  $V_{th} \le R_{th} + 0.3R_{pt}$
- Burada yapının temelinin oturduğu zemin kohezyonlu zemin olmasından dolayı tasarım sürtünme direnci (R_{th}), İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 7'deki (7.82) bağıntısından bulunur.
  $R_{th} = \frac{A_c c_u}{\gamma_{Rh}} = \frac{B'L'c_u}{\gamma_{Rh}} = \frac{10.22 * 21.32 * 80}{1.1} \cong 15847 \text{ kN}$
- Tasarım pasif direnci R_{pt}, karakteristik pasif direnç R_{pk}'nın pasif direnç dayanım katsayısı γ_{Rp}'na bölünmesi ile İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 7'deki (7.83) bağıntısından hesaplanır.
  $R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}}$
- Karekteristik pasif direnç R_{pk}, kaba daneli zemin SW için hesaplanabilmesi için pasif yanal zemin basıncı (σ_h') dağılımı ve daha sonra birim boydaki pasif yanal zemin bileşke kuvvet (P_p) aşağıdaki gibi bulunur:
  Pasif yanal zemin basınç katsayısı,
  $K_p=\tan^2(45+\phi/2)=\tan^2(45+30/2)=3$ bulunur.



  $\sigma_{h,A}'=h_1\gamma_n K_p=3*18*3=162$ kPa
  $\sigma_{h,B}'=\sigma_{h,A}'+h_2(\gamma_d-\gamma_{su})K_p=162+1*(19-10)*3=189$ kPa
  $\sigma_{h,C}'=h_2\gamma_{su}=1*10=10$ kPa
  $P_p=0.5*3*162+0.5*(162+189)*1+0.5*1*10=243+175.5+5=423.5$ kN/m
- Kritik kesit (boyut) olarak, temelin uzun tarafına (L=24 m) yani y yönüne dik bodrum perdesine etki eden toplam karakteristik pasif direnç (R_{pk}) ve daha sonra da tasarım pasif direnci (R_{pt}) aşağıdaki gibi bulunur.
  $R_{pk}=P_pL=423.5*24=10164$ kN
  $R_{pt}=R_{pk}/\gamma_{Rp}=10164/1.4=7260$ kN
- Zeminin doğrusal olmayan biçimde idealleştirildiği, aşırı boşluk suyu basınçlarının dikkate alındığı ve çevre bodrum perdelerini oluşturan yapısal elemanları içeren duvar-zemin etkileşim modelleri ile hesap yapılmadığı durumlarda, binaların rijit bodrum çevre perdelerine etkiyen zemin basınçları aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilir:
- YASS'nin üzerinde perdeye etkiyen kohezyonsuz zemin SP için statik yanal zemin basıncı (p), $p=0.2(\gamma H_b+q)$ ve YASS altındaki statik yanal zemin basıncı $p=0.2[(\gamma_d-\gamma_{su})H_b+q)]$ bağıntılarından bulunur. H_b bodrum yüksekliği ve q ise sürşarj yüküdür.
  $p_1=0.2(\gamma H_b+q)=0.2*(18*3+0)=10.8$ kPa
  $p_2=0.2[(\gamma_d-\gamma_{su})H_b+q)]=0.2*[(19-10)*1+0)]=1.8$ kPa
- Statik su basıncı (p_{su}), $p_{su}=h_{su}\gamma_{su}=1*10=10$ kPa olur.
- Deprem etkisi altında ek zemin basınçları (Δp), (3.1) bağıntısıyla bulunur. Bağıntıdaki S_{DS} zemin yüzeyinde tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı olup binanın yapılacağı sahanın koordinatları, deprem yer hareket düzeyi (DD-2) ve yerel zemin sınıfına bağlı olarak https://tdth.afad.gov.tr/ adresli internet sitesinden erişilebilir (Bölüm 2 Örnek problem 1'e bakınız). Bu soruda $S_{DS}=0.65$ olarak verilmiştir.
  $\Delta p = 0.4S_{DS}\gamma H_b = 0.4*0.65*18*4 \cong 19$ kPa



- Bileşke statik-eşdeğer ek dinamik su kuvveti (ΔP_{su}), (3.3) bağıntısıyla bulunur.
  $\Delta P_{su} = \frac{7}{12}(0.4S_{DS})\gamma_{su}d_{su}^2 = \frac{7}{12}*(0.4*0.65)*10*1^2 \cong 2 \text{ kN/m}$
- Yük bileşenleri kontrol edilerek,
  1) $H_L/N=1100/45300 \cong 0.02428$ ve $H_B/N=4200/45300 \cong 0.09272$'dir.
  2) $H_L/N=1150/36600 \cong 0.03142$ ve $H_B/N=4300/36600 \cong 0.1175$'tir.
  $0.02428<0.03142$ ve $0.09272<0.1175$ olduğundan, "2. Yük bileşeni" hesaplamalarda dikkate alınacaktır. Böylece $F_z=N=36600$ kN,
  $F_x=H_L=1150$ kN ve $F_y=H_B=4300$ kN olur.
- Birim genişlikteki toplam statik ve dinamik yanal zemin kuvveti (P), kritik taraftaki (uzun kenar L) yatay kuvvet (H) ve temel tabanını etkileyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) sırasıyla bulunur.
  $P=h_1p_1+h_2p_2+0.5h_2p_{su}+H_b\Delta p+\Delta P_{su}=3*10.8+1*1.8+4*19+2=112.2$ kN/m
  $H=PL=112.2*24 \cong 2693$ kN
  $V_{th}=F_y+H=4300+2693=6993$ kN
- Temelin yatayda kayması
  $V_{th} = 6993 \text{ kN} \le R_{th} + 0.3R_{pt} = 15847 + 0.3*7260 = 18025$ kN
  olduğundan, temelin yatayda kayma dayanımı uygundur.

Oturma Kontrolü

- GW zemin sıkı olduğu için oturma beklenmez. CL zemininde ise elastik oturma ve konsolidasyon oturması meydana gelir. İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 6'daki (6.64) bağıntısıyla elastik oturma, (6.65) bağıntısıyla ise konsolidasyon oturması hesaplanır.

- İlk önce elastik oturma hesaplanmıştır. İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 7'deki (7.2) bağıntısından net taban basıncı, $q_{t,net}=q_t-\sigma_{v0}'=198-(3*18+1*9)=135$ kPa bulunur.
  İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 6'daki Şekil 6.23 veya Tablo 6.14'ten I_1 ve I_2 katsayıları bulunur. $D_f/B=4/12=0.33$ için $I_1=0.98$, $H/B=8/12=0.67$ ve $L/B=24=12=2$ için $I_2=0.22$ belirlenir.
  CL zemini normal konsolide zemin olduğu kabul ediilmiştir. Drenajsız elastisite modülü (E_u), $c_u=80$ kPa olduğu için CL zemini katı kıvamındadır. İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 3'teki Tablo 3.39, Tablo 3.40 veya Şekil 3.20'den hareketle c_u ve katı kıvamına göre $E_u=60$ MPa olarak belirlenmiştir. Böylece İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 6'daki (6.64) bağıntısından elastik oturma,

  $$s_e=\frac{q_{t,net}B}{E_u}I_1I_1=\frac{135*12}{60000}*0.98*0.22\cong 0.00582\,\text{m}=5.82\,\text{mm}$$ bulunur.

- Konsolidasyon oturması, İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 6'daki (6.65) bağıntısından hesaplanır.
  CL zemininin ortasındaki efektif gerilme,
  $\sigma_{v0}'=3*18+1*(19-10)+4(19-10)=99$ kPa bulunur.
  İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 6'daki (6.13) bağıntısı kullanılarak, kil tabakasının ortasında (z=4 m) meydana gelen gerilme artışı hesaplanır.

  $$\Delta\sigma_v=\frac{q_{net}BL}{(B'+z)(L'+z)}=\frac{135*10.22*21.32}{(10.22+4)(21.32+4)}\cong 82\,\text{kPa}.$$ Böylece konsolidasyon oturması,

  $$s_c=\frac{H}{1+e_0}C_c\log\left(\frac{\sigma_{v0}'+\Delta\sigma_v}{\sigma_{v0}'}\right)=\frac{4}{1+0.8}*0.03*\log\left(\frac{99+82}{99}\right)\cong 0.01747\,\text{m}=17.47\,\text{mm}$$

  bulunur.

- Radye temelde oluşan toplam oturma (s), $s=s_e+s_c=5.82+17.47=23.29$ mm olarak bulunur. Bu oturma miktarı, izin verilen sınırlar içinde kaldığından ($s=23.29$ mm<50 mm) oturma açısından problem gözükmemektedir.

V- SORU CEVAPLAR BÖLÜMÜ

Sabrınız İçin Teşekkürler