



MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

**BİR PROJE ALANININ YER ARAŞTIRMASI
NASIL YAPILIR?**

Prof Dr Şükrü ERSOY

YTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Konunun içeriği

1- JEOLOJİK ORTAMLAR

2- KAYA VE ZEMİN ORTAMLARI

3- YERİN ARAŞTIRILMASI (JEOLOJİK VE JEOTEKNİK İNCELEME)

4- BÜRO/MASA ÇALIŞMALARI

5- SAHA ÇALIŞMALARI

6- JEOLOJİK, JEOMORFOLOJİK VE JEOFİZİK SAHA ARAŞTIRMALARI

7- KAZI VE SONDAJ ÇALIŞMALARI

8- SONDAJ ÇEŞİTLERİ

9- SONDAJ DENEYLERİ

10- SONDAJ LOGU

Zemin ve kaya – kökeni ve temel terimler

Zemin (soil), İnşaat mühendisliği için, yer kabuğunun üst kısmındaki hayli sıkıştırılmış, güçsüz bir çimentoyla tutturulmuş, nispeten gevşek çökel maddeler anlamına gelir. Bu yüzden de genellikle kırma ve patlatma işlemi yapmaksızın parçalanabilir, dağılabilir.

Rezidüel (kalık) zemin ya da toprak (residual soils), katı kayaların ayrışma ürünleri hemen kayacın üstünde olup taşınmamışsa zemin olarak adlanır. Eğer buzullarla, rüzgarlarla ya da su ile taşınıp birikmişse çökel (**sediment**) adını alır. Organik zeminlerde mineral bileşenleri yanında organik madde artıkları bulunur.

Kaya, diğer bir deyişle, bileşenleri çimento ile tutturulmuş sert ve katı (**rijit**) bir birikimdir. Onun özellikleri çimentolanma ve çimentolanma işleminin tutturucu (kohezif) etkisini kaybettiği çatlak sistem (süreksizlikle) ile kontrol edilir.

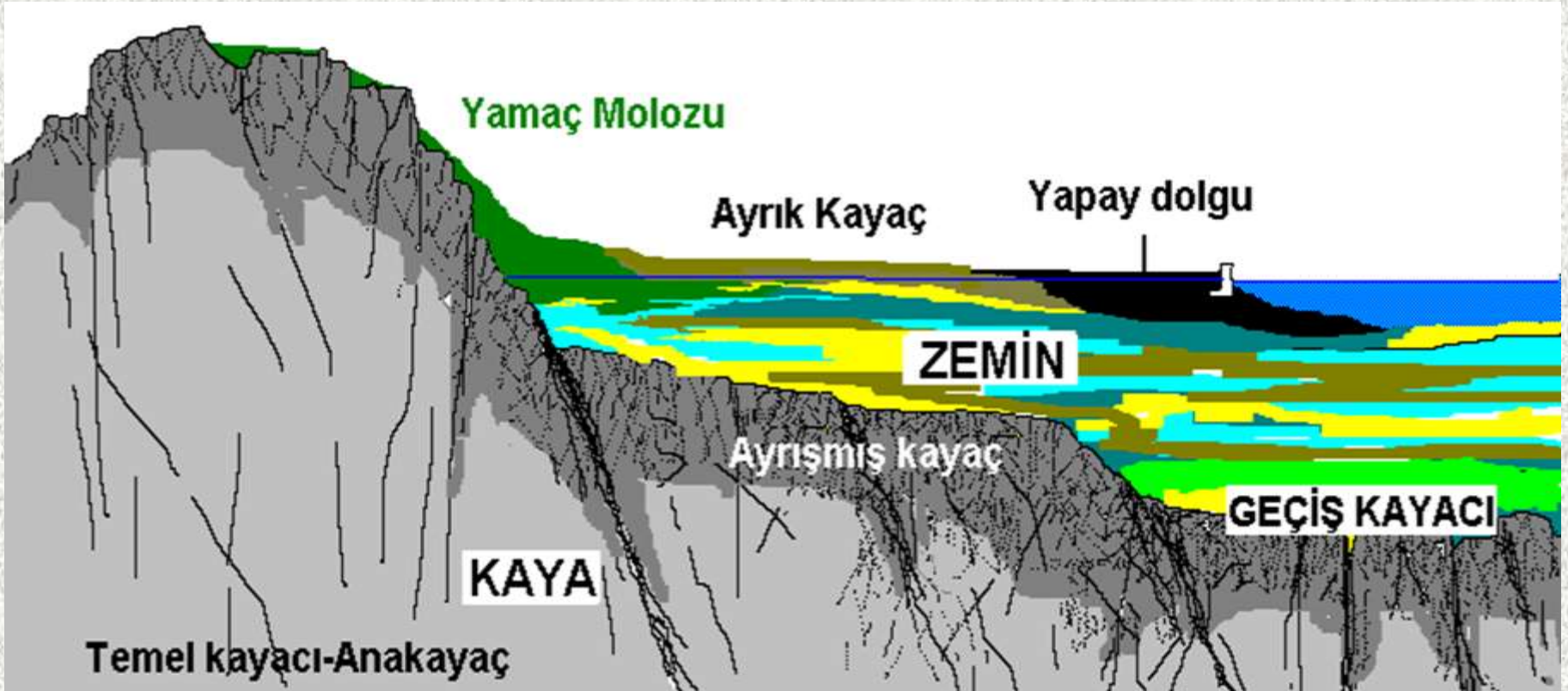
Sert Kayalar (solid rocks), oluşum tarzına göre üçe ayrılır

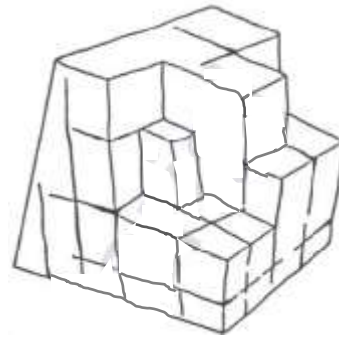
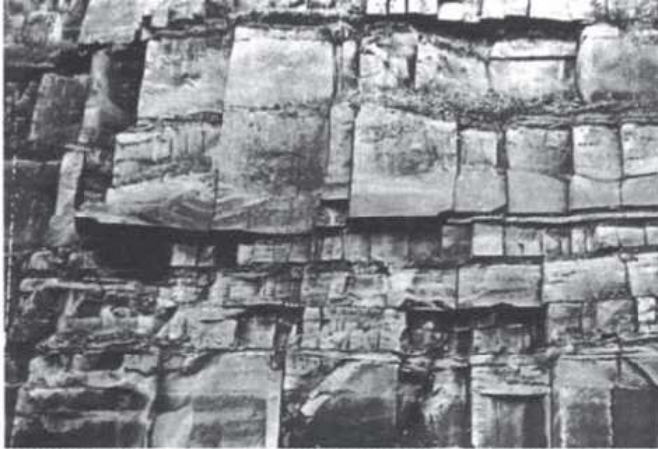
Magmatik kayalar (sözgelimi, granit) ergimiş maddeden türer.

Sedimenter kayalar (söz gelimi, kumtaşı) sudaki maddelerin çökmesiyle oluşur.

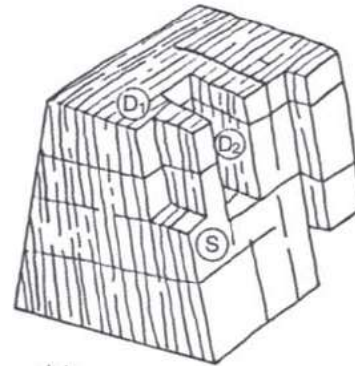
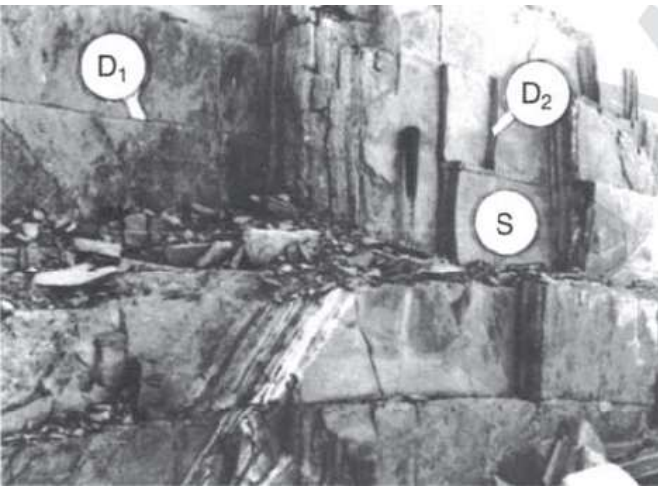
Metamorfik kayalar (sözgelimi, şist) herhangi bir kayacın tekrardan kristalleşmesi yani kayacın gerilim, basınç ve sıcaklıkta altında değişmesidir.

Mühendislik Jeolojisinde Ortamlar

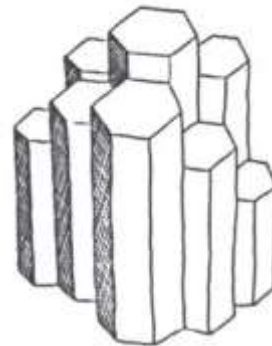
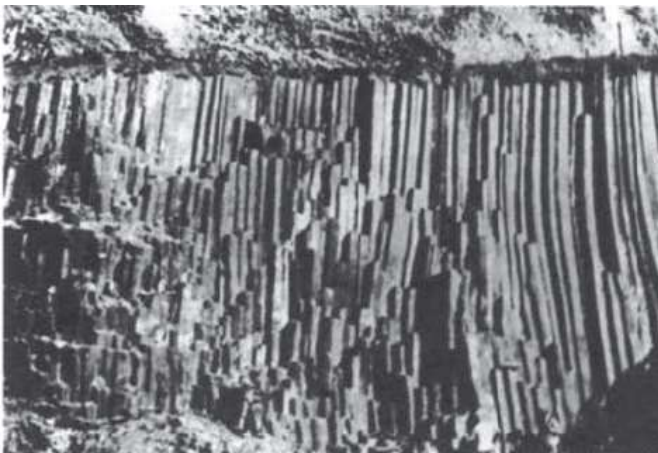




kumtaşı



Sleyt (metamorfik)

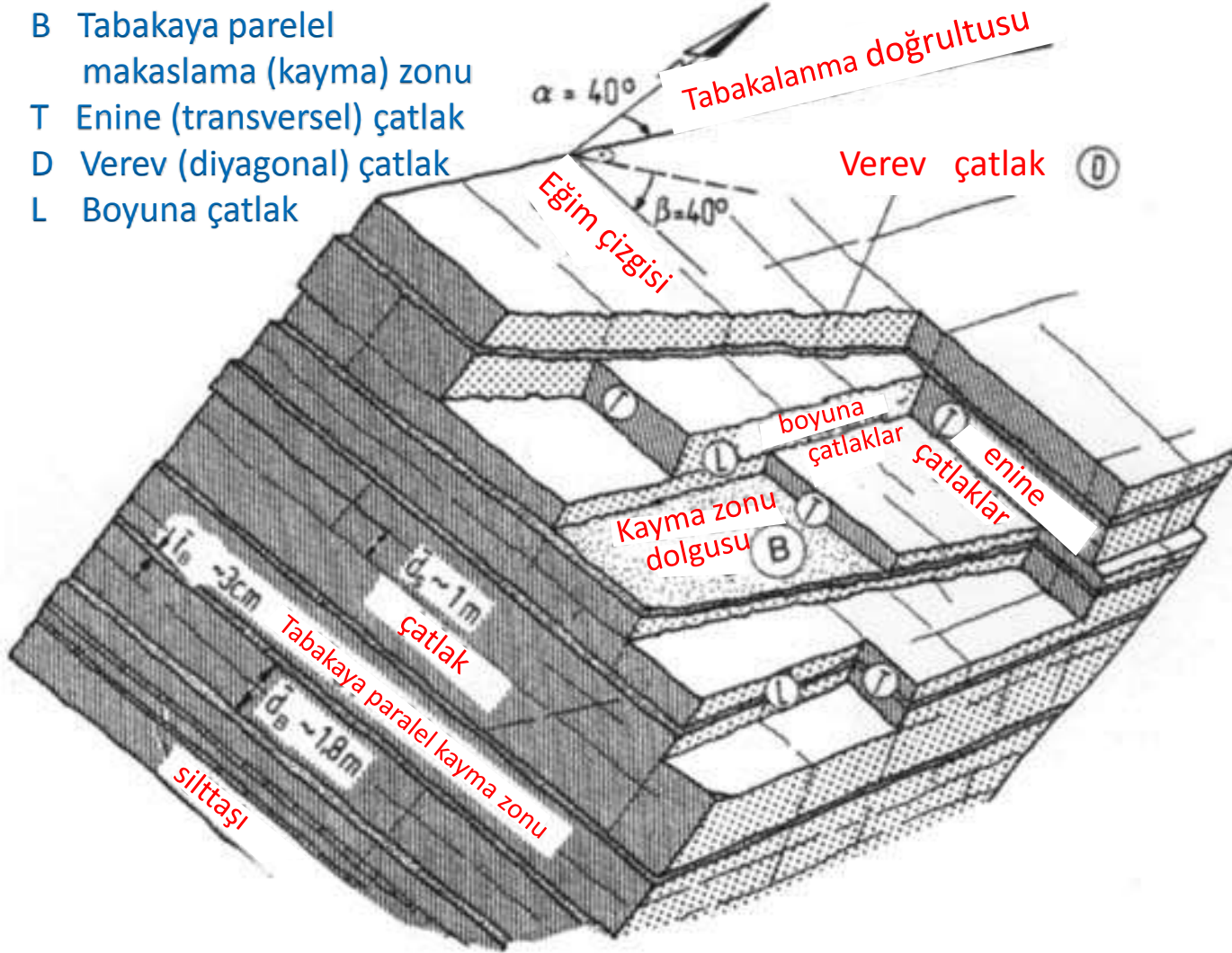


Bazalt /volkanik)

Farklı
kayaç
kütlesi
tipleri ve
bunların
yapısal
modelleri

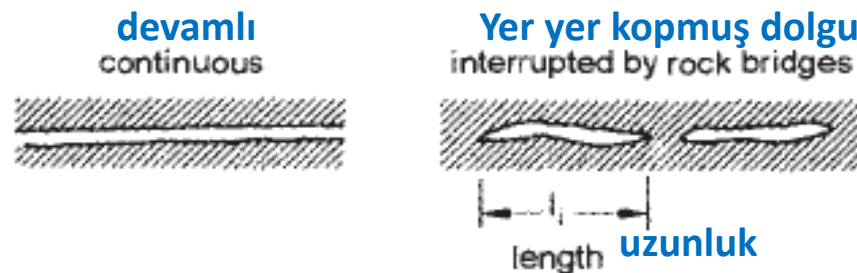
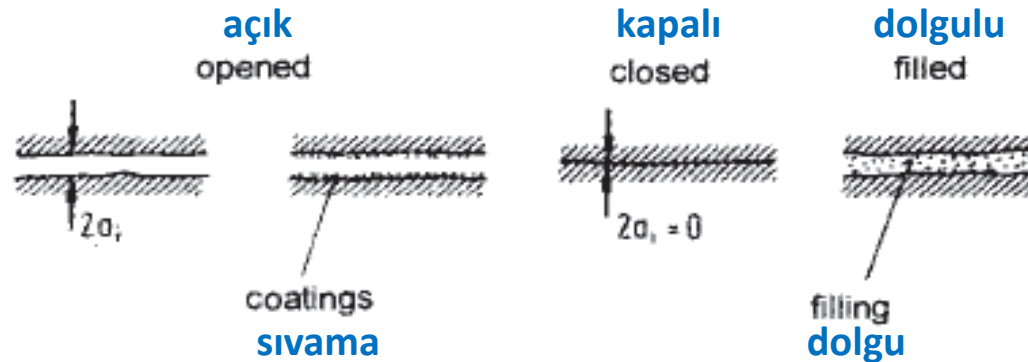
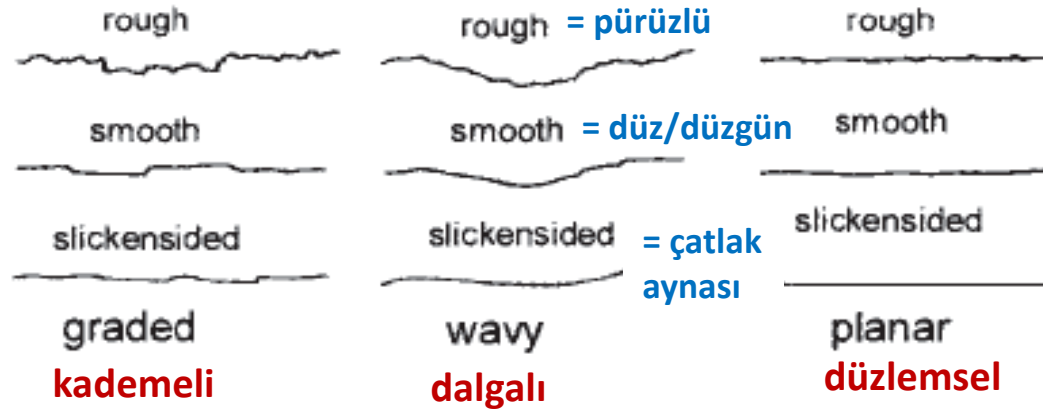
Çatlak türleri ve yapısal modeli

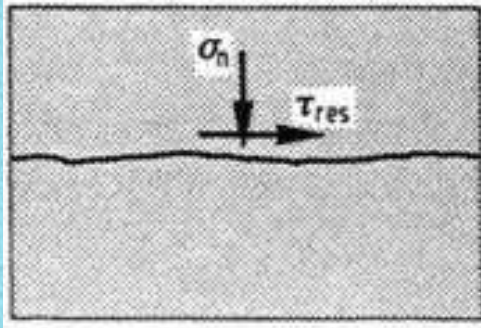
- B Tabakaya paralel makaslama (kayma) zonu
- T Enine (transversel) çatlak
- D Verev (diyagonal) çatlak
- L Boyuna çatlak



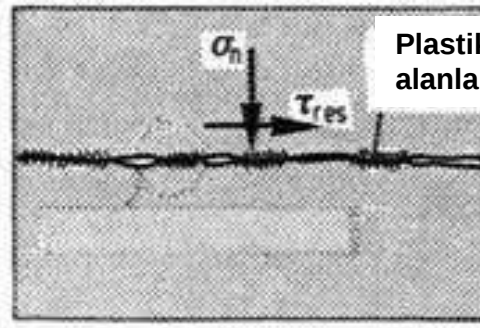
Çatlak Tipleri

Karakteristik Çatlak Yüzeyleri

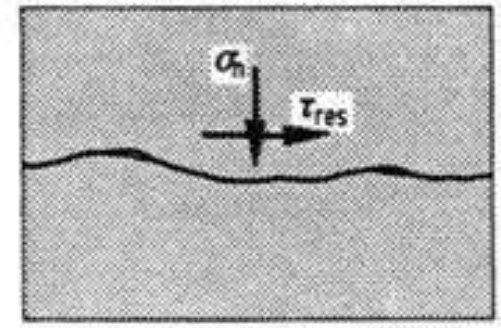




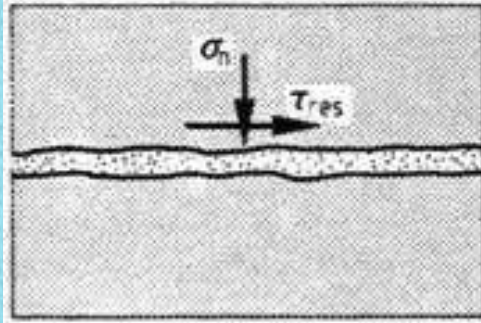
a)



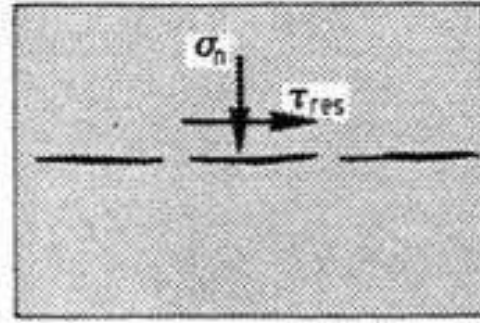
b)



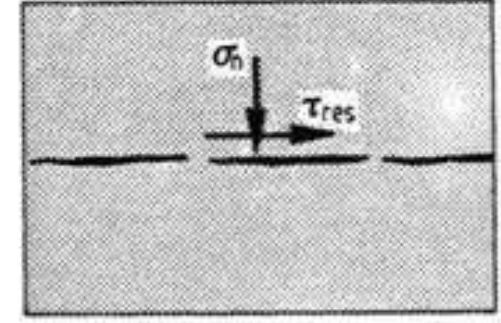
c)



d)



e)



f)

Çatlakların karakteristikleri :

- a) Devamlı çatlak, düzlemsel, düzgün ve pürüzlü, çatlak arası kapalı
- b) Devamlı çatlak: düzlemsel, pürüzlü, çatlaklar kısmen açık
- c) Devamlı çatlak: dalgalı, kapalı ya da kısmen kapalı
- d) Devamlı çatlak: çatlaklar dolgulu
- e) Aralıklı çatlak: çatlak arası kapalı
- f) Aralıklı çatlak: açık ve dolgulu

Yer Araştırması

Mühendislik jeolojisinin en büyük hedefi tasarım ve inşaatın önce yer koşullarının belirlenmesidir. Buna yer araştırması denir. Sonuçta, jeofizik, jeomorfolojik yöntemlerden de yararlanarak alanın Jeolojik ve Jeoteknik bilgileri rapor haline getirilir.

Bunun için;

- 1-** Jeolojik bilgiler toplanır
- 2-** Kayaların ya da zeminlerin dayanım ve davranış karakteristikleri ortaya konur
- 3-** Tehlikeli zeminlerin potansiyeli belirlenir

Bu bilgilerde;

- 1-** İnşaat yerinin ya da güzergah hattının seçimi
- 2-** Tasarım özelliklerinin oluşturulması
- 3-** Tasarım ve materyallerin seçimi
- 4-** Çalışma programının oluşturulması
- 5-** Maliyet analizi yapılır

Yer araştırmalarının aşamaları

Yapılacak Çalışmalar

1- Masa/Büro çalışmaları **2-** Saha çalışmaları

Masa/büro çalışması;

- 1-** Yayınlanmış/yayınlanmamış materyaller (*jeoloji, jeomorfoloji ve zemin konusunda harita, rapor, makaleler*)
- 2-** Tarihsel haritalar (*arazinin daha önce nasıl kullanıldığı ve değişimini gösteren*)
- 3-** Topografik haritalar (*yamaç eğimleri ve drenaj hatları konusunda bilgi*)
- 4-** Hava ve uydu fotoğrafları
- 5-** Çeşitli haritalar (*sözgelimi, bir galeri gibi yerin altındaki boşluklar*)
- 6-** Sondaj logları
- 7-** Ulusal veri bankaları (*Çevre Bakanlığı, Belediye, MTA, DSİ, AFAD vb kuruluşlar*)
- 8-** Maden sahası kayıtları (*Bazı yerler terkedilmiş maden sahası olabilir*)

Masa/Büro çalışmaları sonucunda bir sentez yapılır ve saha çalışması başlar

Yer araştırmalarının aşamaları

SAHA ÇALIŞMASI

- 1- Jeolojik haritalama
- 2- Jeomorfolojik haritalama (kütle hareketleri gibi bazı tehlikelerin ortaya konmasını sağlar)
- 3- Jeofizik araştırmalar (*Jeoradar, elektrik rezistivite/özdirenç, sismik, gravite ve manyetik yöntem gibi çalışmalarla jeolojik bilgilere katkı koyar*)
- 4- Kazı ve araştırma çukurları (*2-3 metre derinlikte*)
- 5- Sondajlar (*burgu, darbeli ve rotari sondajla delme ve örnekleme*)

Yer araştırmalarında kullanılan bazı jeofizik yöntemler

- **Gravimetrik Yöntemler** : Belli bir derinlikteki toprak altında saklı bulunan cisimlerin ya da yeraltındaki mağara gibi anormal sapma gösteren boşlukların ölçülmesidir. Birim mgal'dir. Yerin çekim kuvvetindeki değişimlerin kaydı. Maliyeti yüksek, hassas cihaz; 1 kişi kullanabilir; yeraltı boşlukları, gömülü vadi ve düşük yoğunlukları çökeller negatif anomali verir; hassas değil; boşlukları doğasını ve şeklini anomalinin şeklinden yorumlamak zordur
- **Elektromanyetik Yöntemler** : Yerin içinde oluşan elektromanyetik alan şiddetinin ölçülmesidir; elektromanyetik iletkenliğin kaydı; bazalt, kil, su için yüksek iletkenlik gösterirken kum ve kireçtaşı için iletkenlik düşüktür; düşük maliyet, tek kişi kullanımlı alet; kil dolu fissür, çatlak zonları içindeki sığ yanal değişimleri haritalamak için kullanılır
- **Elektrik Yöntemler (*rezistivite ve iletkenlik*)** : Birbirinden farklı çökel, zemin ve kaya türlerinin elektrik özelliklerinin belirlenmesidir. Mineral araştırmalarında sıkça kullanılır. Yer araştırmalarında kullanılmaktaysa da sonuçların yorumlanmasında zorluklar ve farklılıklar vardır. Temel prensibi A ve B gibi iki noktadan yeraltına gönderilen elektrik akımının M ve N gibi iki noktada yeraltında oluşan gerilimin ölçülmesi esasına dayanır.

Yer araştırmalarında kullanılan jeofizik yöntemlerin bazılarının kısa tanımları

- **Jeoradar :** El arabasına monte alıcı ve verici antenle yerin içindeki zıtlıklardan yansıyan ya da kırılan elektromanyetik mikrodalganın radar sinyallerini kaydeder. Yüksek maliyetten dolayı kullanımı sınırlıdır. Penetrasyon derinliği sınırlıdır. Kuru zeminlerde 10-20 metre; nemli kilde 1-3 metredir. Özellikle yüzeysel boşluklu yapıların ve çökellerin anlaşılmasında kullanılır.
- **Manyetik Yöntemler :** Manyetometre yerin manyetik alanının değişimini kaydeder. Kullanımı basittir; bir kişi kullanılabilir; dipol, negatif ve pozitif, manyetik anomaliler yeraltında gömülü olan baca, çöküntü, metal kafes, drenaj ya da güç hatları gibi düşey çizgisel özellikleri ortaya koyar. Kullanımı sınırlıdır.
- **Sismik Yöntemler :** Çekiç darbesi ya da patlayıcıyla üretilen şok dalgaları yerin altındaki jeolojik yapılardan kırılır ya da yansır. Düşük maliyetli olduğundan çok sık kullanılır. Cihaz iki kişiyle kullanılır. Kolay yorumlanır. Bozucu etkiler oluşursa yorum zorlaşabilir. Sismik kırılma yöntemi, P ve S dalgası tespitine yönelik bir çalışmadır. S dalgasına ulaşmak için bir kaynak kullanılarak **MASW** yöntemi ya da doğal titreşim ölçüm şekli olan **REMİ** yöntemleri uygulanır.

Jeofizik yöntemler ve cihazları



REZİSTİVİTE CİHAZI



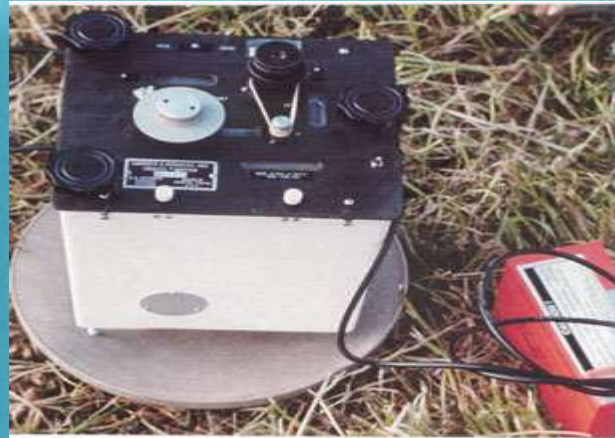
GRAVİMETRİ CİHAZI



ELEKTROMAGNETİK CİHAZ



JEORADAR CİHAZI



GRAVİMETRİ CİHAZI



SİSMİK CİHAZI

Yer araştırmasının aşamaları

SONDAJLA KAYIT EDİLEN BİLGİLER

Sondaj yeri ve sayısı inşaatın projesine bağlıdır. Her bina altına 3-4 sondaj, yol güzergahlarında 30 ya da 300 metre aralıkla yapılır. Bu durum sorunlara da bağlıdır. Bazen 5 metre aralıkla bile olabilir. Sondaj derinlikleri genellikle temellin altında 10-15 metre olabilir. Kat sayısına da bağlıdır. Sondajın taşıyıcı zeminde ya da sağlam kayada sonlanması önemlidir.

- 1- Litolojik (kaya türü) tanımlama
- 2- Tabakaların Kalınlığı
- 3- Penetrasyon Testi (**SPT**) Bilgisi
- 4- Nokta Yüğü Dayanımı
- 5- Yeraltı Su Düzeyi
- 6- Permeabilite (geçirimsilik) Testi Bilgisi
- 7- Presiyometre
- 8- Çatlak ve Eklemler Sıklığı
- 9- Kaya Kalitesinin (**RQD**) belirlenmesi
- 10- Toplam Karot Yüzdesi (**TCR**)
- 11- Sağlam Karot Yüzdesi (**SCR**)
- 11- Örnek yerleri

Yer araştirmasının aşamalarında SONDAJ VE ARAşTIRMA ÇUKURU



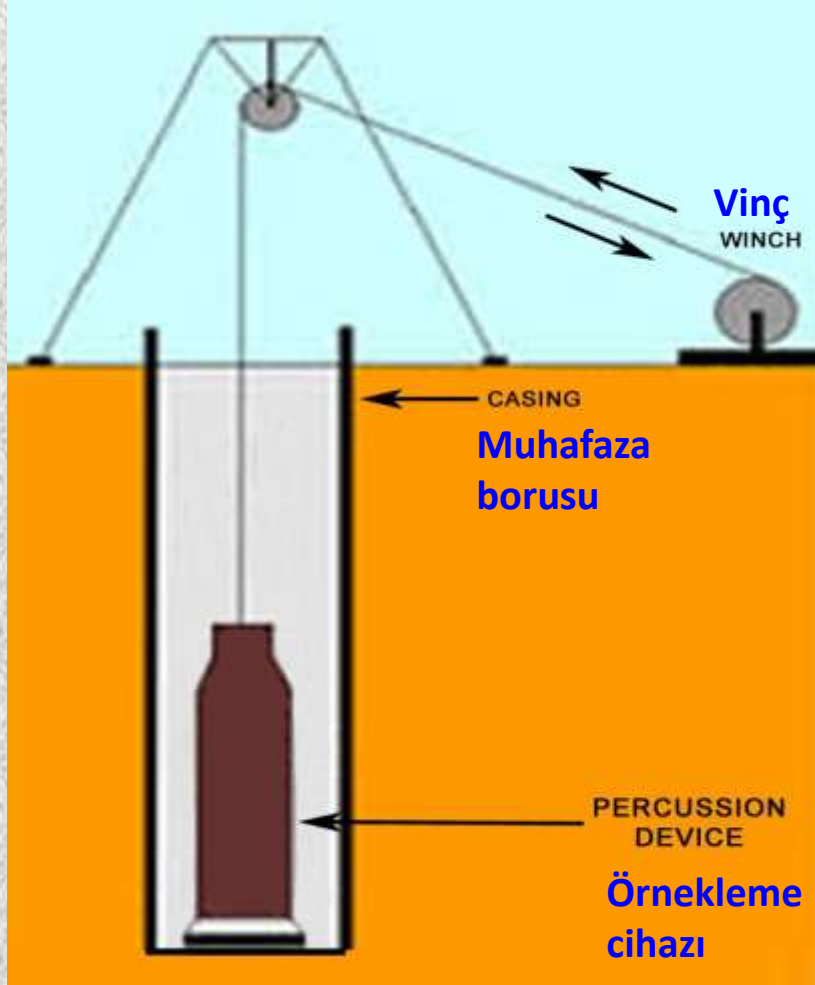
Araştırma ukuru



Sondaj Türleri

Darbeli Sondaj (percussion drilling)

Suya doymun alüvyon zeminler için kullanılır



Sondaj Türleri

Burgulu Tip Sondaj (Auger drilling)

Sığ derinlikteki yumuşak toprak ya da kil zeminler için kullanılır



Sondaj Türleri

Rotari Tip Sondaj (Rotary Type Drilling)

Yumuşak, sert çökeller ve kaya zeminler için kullanılır

Kızaklı Rotari
Sondaj İşlemi



Sondaj delme işlemlerinde kullanılan elmas matkaplar



Yer araştırması

Saha Deneyleri



Sondaj örnekleri - in situ deneyler

Sondaj işlemiyle yerin içinden A- Sert kaya karot örnekleri ile B- taşlaşmamış zeminin bozulmuş ve bozulmamış örnekleri alınır

A- Sert Kaya Testleri

- 1- Serbest basınç deneyi
- 2- Nokta yükü deneyi
- 3- Schmidt çekici deneyi

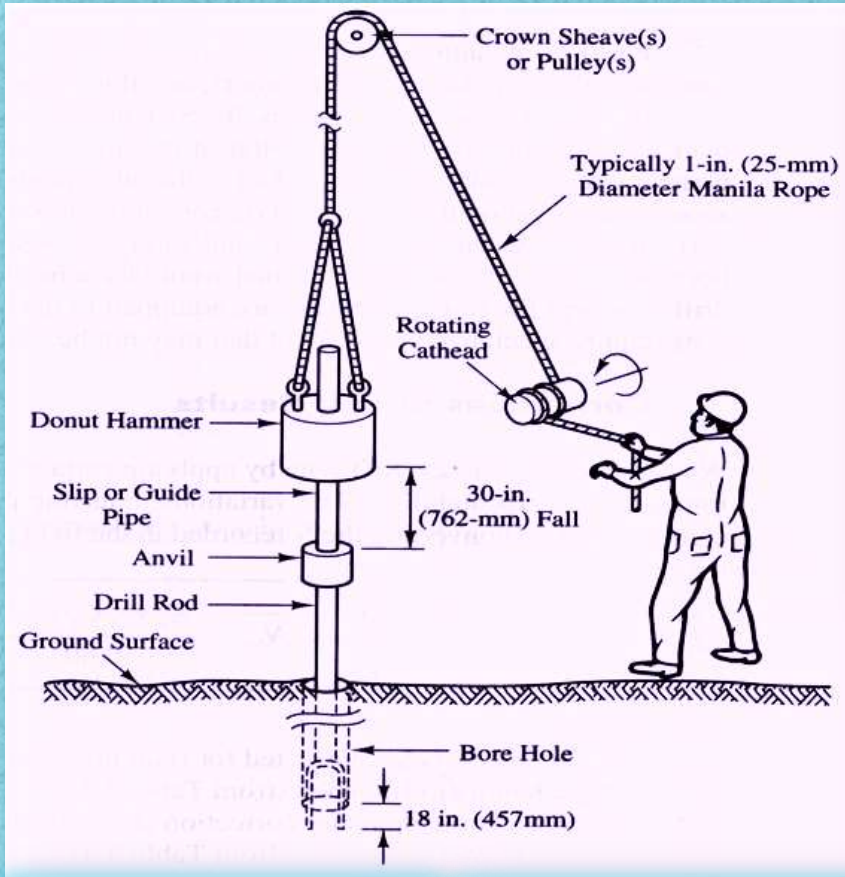
Kaya kütle dayanımının etkili bir biçimde belirlenmesi için kayanın ayrışma durumunun ve çatlak/eklem modelinin de ortaya konmasında yarar vardır. Bunun için karot yüzdesi (**TCR** ve **SCR**) ve kayaç kalitesinin (**RQD**) belirlenmesi gerekir.

A- Zemin Testleri

- 1- SPT (*Standart Penetrasyon deneyi*)
- 2- CPT (*Konik Penetrasyon deneyi*)
- 3- Torvane Kayma deneyi
- 4- Presiyometre deneyi
- 5- Şerit (ve kalem şerit) deneyi (Killer için)
- 6- Plaka yükleme deneyi (doğal zemin ve yapay dolgu)
- 7- Cep penetrometresi deneyi

Zeminin fiziksel özellikleri laboratuvarında belirlenir. Bunlar, birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, porozite, permeabilite, su emme, doygunluk derecesi, boşluk oranı, kıvam (*Atterberg*) limitleri vb'dir. *Mekanik özellikler* (Tek ve üç eksenli basınç, burma ve kesme dirençleridir), *Elastik özellikler* (Elastisite modülü, Poisson oranı, rijidite modülü vb), *Teknolojik özellikler* (Delinebilme, kazılabilme, patlatılabilme vb)

SPT, Standart Penetrasyon Deneyi



Standart Penetrasyon deneyi, kısaca SPT deneyi şahmerdanlı yöntem ile 762,0 mm yükseklikten, 63.5 Kg ağırlığındaki şahmerdanın bir mil içerisinde otomatik olarak kaldırılıp serbest düşme yaptırılması ile gerçekleştirilir. SPT, zemin koşullarına bağlı olarak, ASTM D-1586 uyarınca gerçekleştirilmekte olup SPT/N darbe sayıları belirlenerek temsili ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmaktadır. SPT numune alıcısı dış çapı 50.8 mm olup, sabit iç çapı 35 mm, boyu ise 600 mm'dir.



Şerit Deneyi

Sadece # 40 numaralı elekten geçen ve örselenmiş killi zemin örneği için uygulanabilir

- Plastik bir kap içinde zemin ile suyu karıştırınız
- Örneği 1.5-2.0 cm kalınlığa gelen dek yuvarlayarak inceltin
- Şeridi avuçlarınızın içine yatırın
- İşaret parmağınızın ikinci boğumu ile başparmağınız arasında basın



Şerit Deneyi (devam..)

- Kil şeridi parmaklarınızın arasından geçirin
- Kalın kil şeridini -1/4 ile 1/8 inç arası- incelene kadar iyice sıkın
- Kil şeridin serbestçe elinizden sarkmasına izin verin
- Zemin killi loam ise zor şerit haline gelir ve kolayca kırılır
- Kil içeriği çoksa 15-20 cm'den fazla uzunlukta şerit oluşturabilir
- Silt daha kısa şerit oluşturabilir ve kopma eğilimindedir



Kalem Şerit Deneyi



Cep Penetrometresi Deneyi

- Kırmızı astarlı halkanın altındaki serbest basınç dayanımını oku
- Okuma, kayma direncinin metrekareye 2 ton olduğunu gösterir
- Bu değer sıkı ile çok sıkı arasındaki bir değere karşılık gelmektedir



Cep Penetrometresi Deneyi

- Cihaz doygun kil üzerinde kullanmak için tasarlanmıştır
- Ölçüm, zeminin serbest basınç dayanımını gösterir
- Bu, zeminin kayma dayanımı (direnci) değerinin iki katıdır
- Cihazın üzerindeki kırmızı halkanın $\frac{1}{4}$ (çeyrek) inç olduğunu not edin



Cep Penetrometresi Deneyi (devam..)

- Kırmızı halkayı silindirin sonuna kadar itin
- Cihazın milini kırmızı halka hareket edene dek zemin içine doğru itiniz
- Cihazın içindeki yay sabitlenene dek mili zemin içinde tutunuz
- Kırmızı halka hareket ettikten sonra zorlamayı bırakın ve kırmızı halkanın altındaki değeri not edin



Torvane Kayma Deneyi

- Doygun kohezif killi zeminler üzerinde uygulanmak üzere tasarlanmıştır
- Vane çarkları zemin içine sokulur
- Kil içindeki kanatlar çevrilerek döndürülür ve değer okunur



Torvane Kayma Deneyi (devam..)

- Örselenmemiş örnekten taze bir kil parçası alın
- Kilin üzerinde düzgün bir yüzey kesin
- Cihazın kanatlarını zeminin içinde sokun,
- Oluşan izi görmek için kanatları geri çekin
- Sıfır göstergesini ayarlayın
- Cihazı sıkıca tutun ve zemin kayma durumunda yenilene kadar saat yönünde döndürün



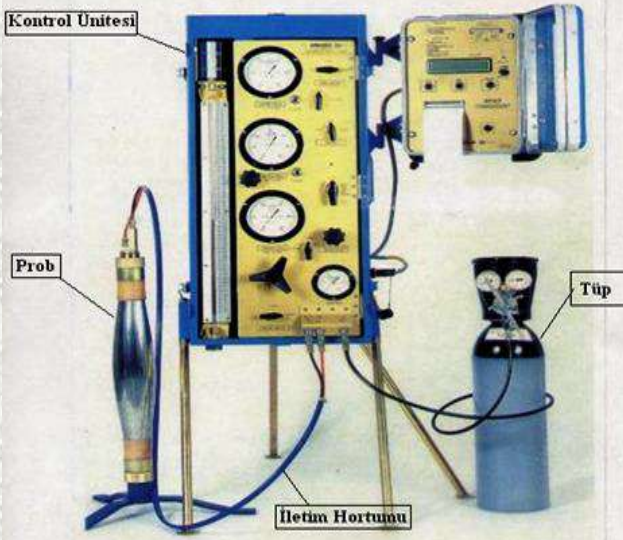
Torvane Kayma Deneyinin değerlendirmesi

Kıvam Terimi	Kayma Direnci psf	Tek Eksenli basınç Direnci psf	Zemin Tipi
Çok yumuşak	<250	<500	A Tipi
Yumuşak	250- 500	500-1000	
Orta Sıkı	500-1000	1000-2000	B Tipi
Sıkı	1000-1500	2000-3000	
Sıkı	1500-2000	3000-4000	
Çok Sıkı	2000-4000	4000-8000	C Tipi
Sert	>4000	>8000	

Presiyometre Deneyi



MENARD PRESSUREMETER WITH SPAD DATA LOGGER

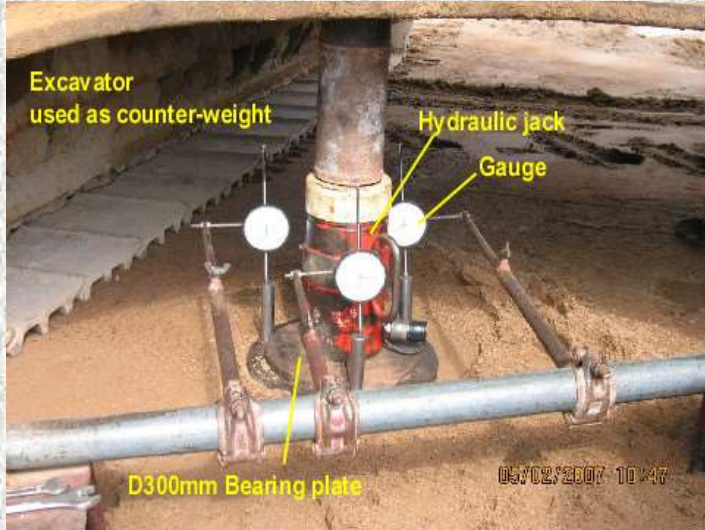


Presiyometre Deneyi yerli yerinde (in-sitü) yapılan bir deneydir. Açılan sondaj kuyusu içerisinde zemine yanal yönde basınç uygulanması ve uygulanan basıncın zeminde oluşturduğu deformasyonların ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Arazide presiyometre deneyi ile;

- Zeminin mukavemet parametreleri,
- Zeminin taşıma gücü ve emniyet gerilmesi,
- Zeminde uygulanacak yük biliniyorsa, bu yük altında temel zeminindeki oturmalar hesaplanabilir

Plaka yükleme deneyi



Plaka Yükleme Deneyi, rijit bir plakaya uygulanan yük ile oluşacak oturma ve göçmenin ölçülmesine dayanır. Deney sıg derinliklerde ya da araştırma çukuru içerisinde gerçekleşir. Yükleme genelde kademeli olarak yükün arttırılıp, oturmaların ölçülmesi şeklinde, hidrolik kriko ile gerçekleştirilir. Plakanın oturması 120° açı ile yerleştirilmiş üç adet deformasyon ölçerden okunur. Test tekrarsız statik yükleme ve tekrarlı yüklemeli olarak yapılabilir. Plaka yükleme testi sonucunda **taşıma kapasitesi, oturma, yatak katsayısı ve elastisite modülü** gibi parametreler hesaplanabilmektedir. Plaka yükleme testi ASTM D 1196/1196M-12 ve TS 5744:1998 şartnameleri doğrultusunda yapılmaktadır.

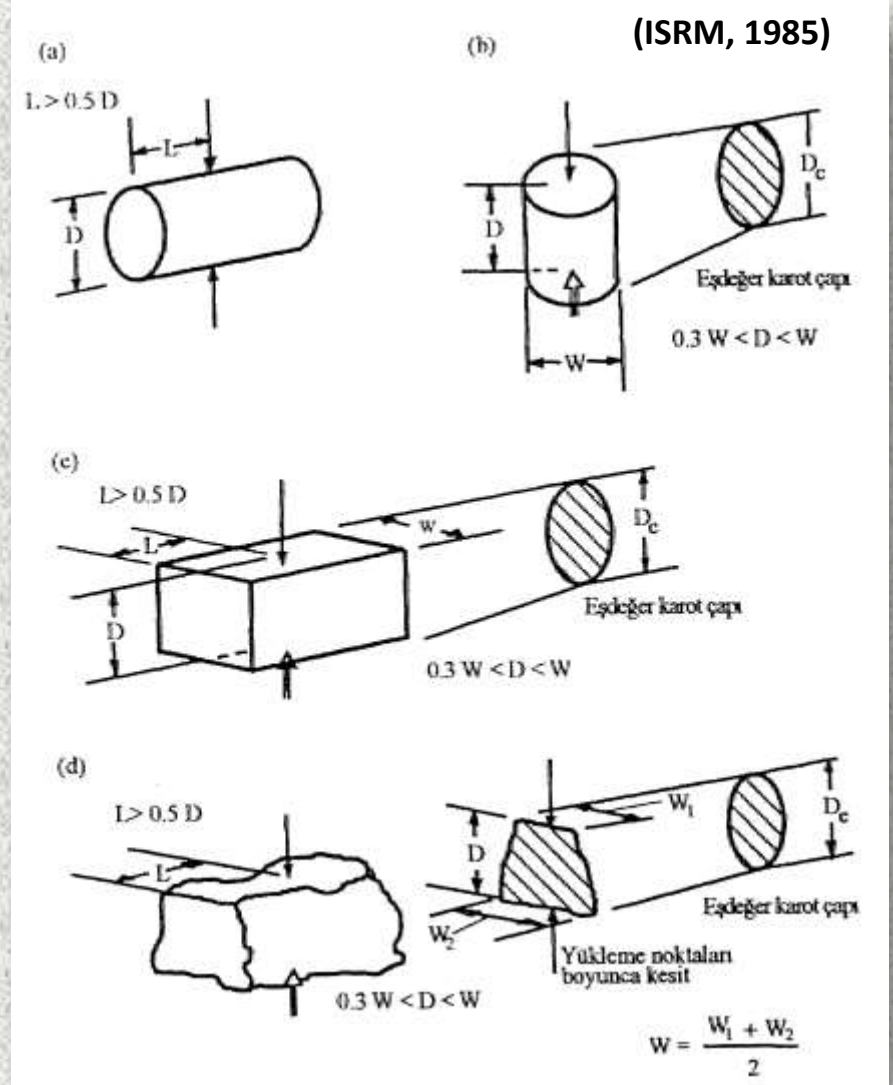
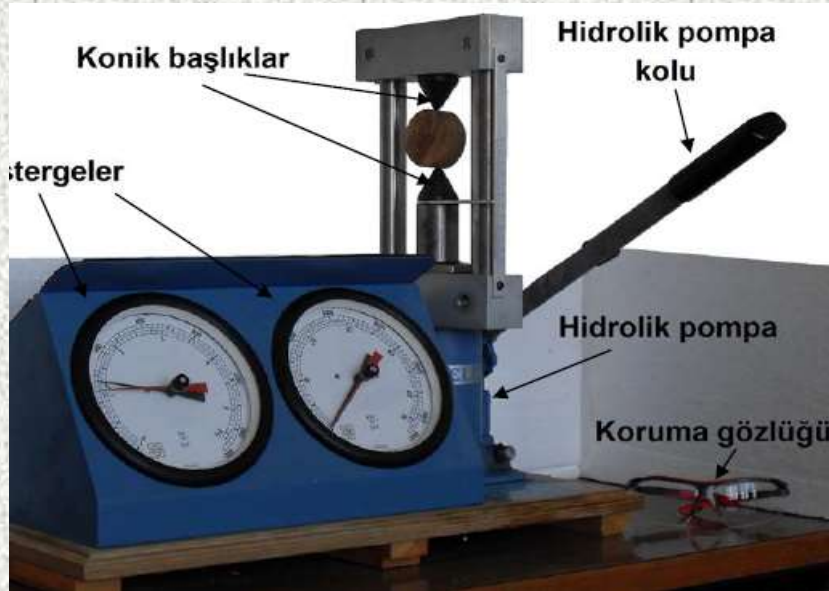
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Tek eksenli sıkışma dayanımı (**UCS**) kaya mühendisliği alanında sık kullanılan, kolay uygulanan bir yöntem olmakla birlikte, zayıf ve çok zayıf kayalardan karot alınması genellikle güçtür. Bu nedenle, tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesinde genellikle nokta yükleme dayanım indeksi deneyi ve Schmidt çekici deneyi gibi dolaylı yöntemler kullanılır.



Nokta Yükleme Deneyi

Nokta yükleme deneyi, iki konik uç arasında yerleştirilen kayaç örneğinin kırılması esasına dayanmaktadır. Nokta yükleme deneyinden, elde edilen yük (**P**) ve örnek boyutları (**D**, **W**) kullanılarak, öncelikle düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı indeksi (**Is**) bulunur



Schmidt Çekici (Kaya Sertliği Belirleme) Deneyi

Schmidt geri sıçrama (**Schmidt sertliği**) sertliğinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımlarının saptanması amacıyla yapılır (Ulusay vd., 2001). Schmidt sertlik çekici, düşük dayanımlı kayalarda (**UCS<10 MPa**) ve bozunmuş yüzeylerde kullanımı sağlıklı olmayan bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

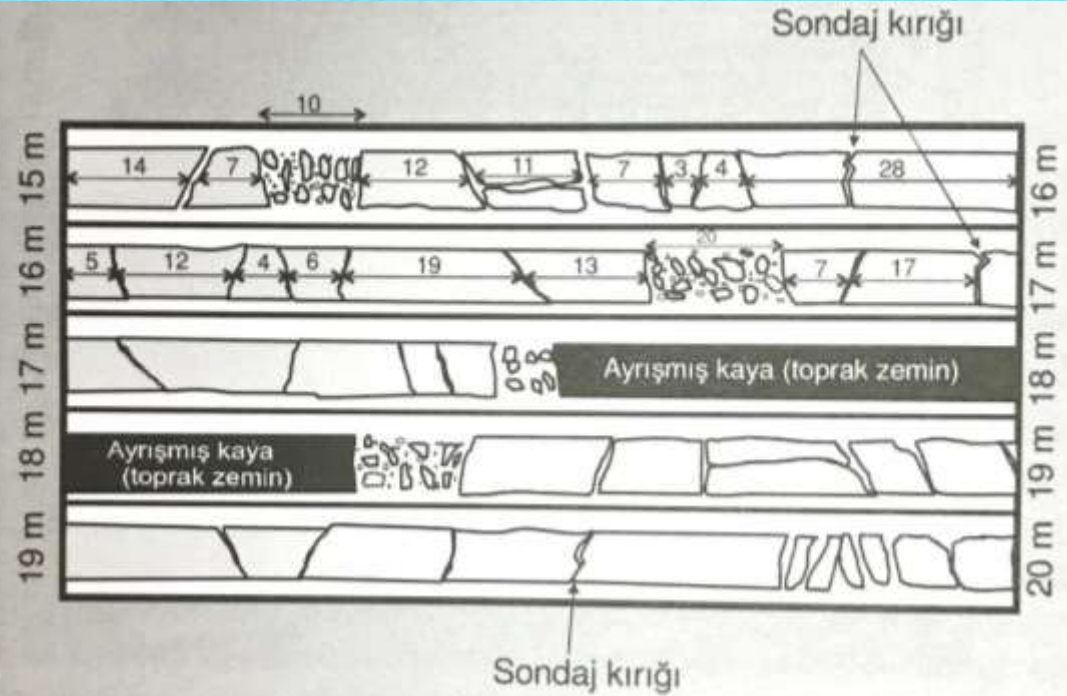
Klasik bir Schmidt çekici



Dijital Schmidt çekici



Toplam Karot Verimi (TKV veya TCR), Sağlam Karot Verimi (SKV veya SCR), Kaya Kalite Göstergesi (RQD) ve Eklem Sıklığı (FF)



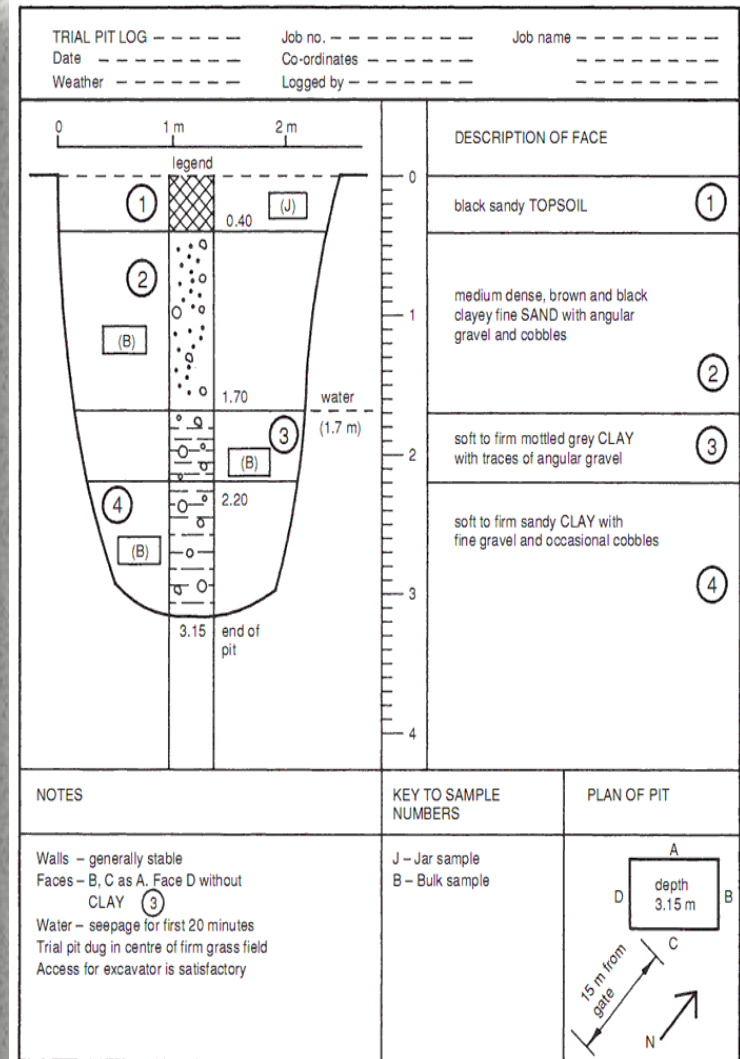
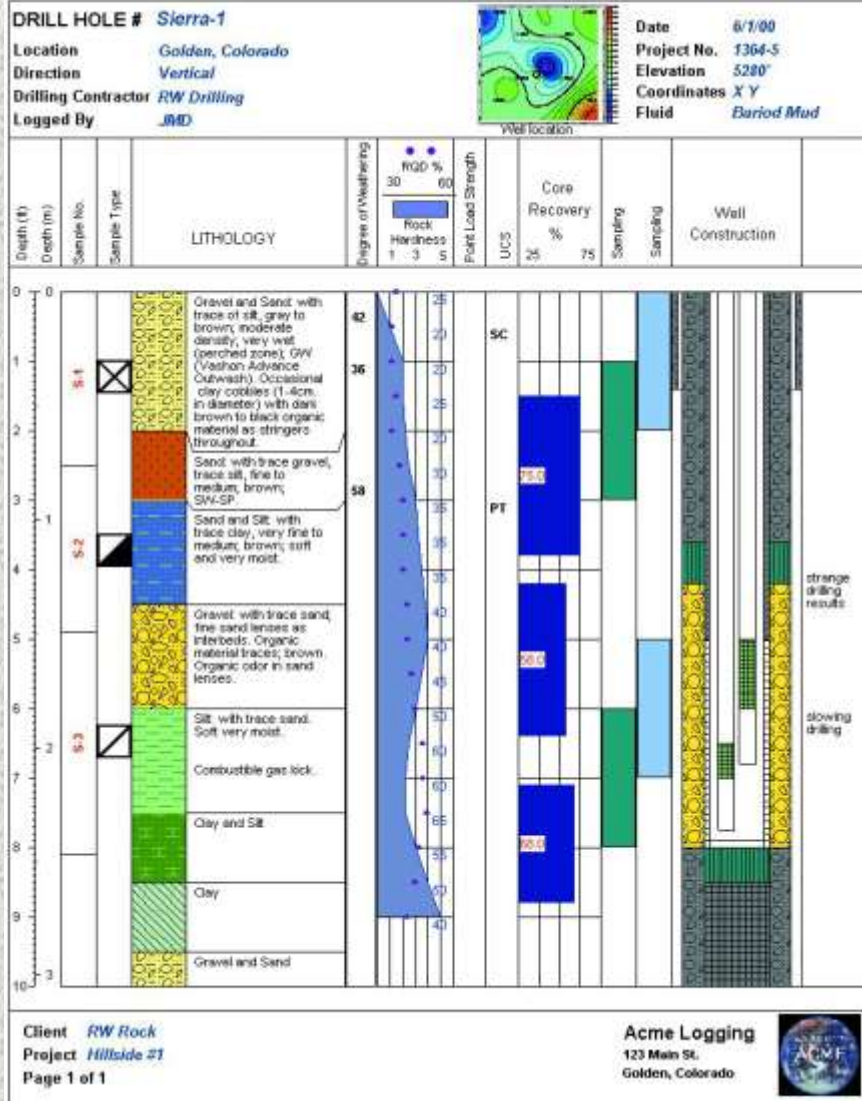
$$TKV = \frac{14 + 7 + 10 + 12 + 11 + 7 + 3 + 4 + 28}{100} = \frac{96}{100} = \% 96$$

$$SKV = \frac{14 + 7 + 12 + 11 + 7 + 3 + 4 + 28}{100} = \frac{86}{100} = \% 86$$

$$RQD = \frac{14 + 12 + 11 + 28}{100} = \frac{65}{100} = \% 65$$

$$FF = \frac{9}{1m} = 9m^{-1}$$

Kuyu Loğu Örnekleri



Jeoloji Mühendisi Saha Gereçleri

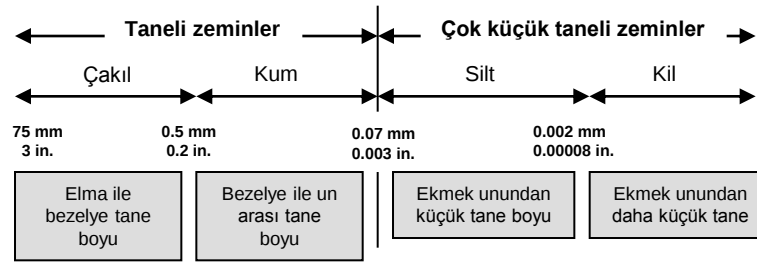


Jeolog
Pusulası

Jeolog
Çekici

Lup (10X)
=büyüteç

Ek Bilgiler



Mercek olmaksızın teneler gözle görülür ve tane boyu eleklerle ölçülebilir

Taneler yapışık toprak kütle halini almaz, hatta ıslak olduğunda bile -kohezyonsuz

Plastik değildir-Su içeriğinin olmadığı durumda toprak çatlama veya ufalanma olmadan deforme olabilir.

Geçirgenlik (Permablite) ortadan yüksektir (10-6 - 10-1 m/s). Boşluklardan su akışı kolaydır

Deprem gibi dinamik yüklemeler dışında, drenaj hızla oluşur. Drenaj direnci deprem yükü ya da heyelan olamayan diğer koşullar için önemlidir.

Mekanik davranışın en önemli göstergesi rölatif sıkılık (D_r) ve uygulanan serbest dayanım basıncıdır (confining pressure)

$D_r = 0$ to 20% Çok gevşek
 $D_r = 20$ to 40% Gevşek
 $D_r = 40$ to 60% Orta yoğun
 $D_r = 60$ to 80% Yoğun
 $D_r = 80$ to 100% Çok yoğun

Çok gevşek- sıkıştırılabilir. İçsel sürtünme açısı 30 derece olduğunda depremde sıvılaşabilir

Çok yoğun- çok az sıkışabilir. Deprem sırasında sıvılaşmaz. İçsel sürtünme açısı 45 dereceden fazla

Büyüteç olmaksızın taneler gözle görülmez. Tane boyu eleklerle ölçülemez, çökeltme hızı ile ölçülür

Tanelerin arasındaki gözeneklerdeki su emildiğinde fizikokimyasal olarak sıvı ile mineral etkileşimi olur ve taneler birbirine yapışır-kohezif

Plastik- Malzemede su içeriği, likit limit ve plastik limit arasında bir aralıkta ise çatlamadan deforme olur

Likit (krep/pancake kıvamı) Likit Limit (LL)

Plastik (kil modeli) Plastik Limit (PL)

Yarı katı (çikolata kıvamı) Büzülme Limit

Katı (tebesir)

Geçirgenlik (Permablite) düşük-çok düşük (<10-7 m/s).

Su gözenek boşluklarının içinde yavaşça akar.

Drenaj haftalardan yıllara kadar sürer

Hem drenaj, hem de drenajsız mukavemet önemlidir

Ön Konsolidasyon basıncı düşükse drenajsız mukavemet de düşüktür

Siltlerin davranışı tane boyu küçülürken kumdan kile doğru değişir

En önemli mekanik davranış "ön konsolidasyon basıncı p_p " ile uygulanan hapsolmuş basıncıdır

$p_p = 0$ to 50 kPa Çok yumuşak

$p_p = 50$ to 100 kPa Yumuşak

$p_p = 100$ to 200 kPa Katı

$p_p = 200$ to 400 kPa Sıkı

$p_p = 400$ to 800 kPa Çok sıkı

$p_p = 0.8$ to 1.6 MPa Sert

Çok yumuşak — <12.5 kPa'dan az drenajsız kayma gerilmesi altında son derece fazla sıkışabilir

Çok yoğun -100 kPa'dan fazla drenajsız kayma gerilmesi altında az miktarda sıkışabilir

ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zeminin değişimi	Kompaksiyon		Güçlendirme (Reinforcement)		
	Statik yöntemler	Dinamik Yöntemler	Yer değiştirme etkisi olan	Yer değiştirme etkisi olmayan	
				Mekanik Giriş	Hidrolik Giriş
	Ön Yükleme Konsolidasyonlu ön yükleme destekli kompaksiyon grouting Yeraltı suyunu etkileme	-Titreşimle kompaksiyon - Derin vibratör -Vibratör çekici kullanma Çarpma Kompaksiyon - Ağırlık düşürme -Patlatma Air pulse Yöntemi	Vibro taş sütunlar Vibro beton sütunlar ~Kum kompaksiyon Kazıklar Kireç/çimento stablite sütunları	MIP metot FMI yöntemi Sürekli Grouting Dondurma	Jet grouting



Haziran 1964'de Japonya, Niigata Depremi sırasında oluşan sıvılaşmanın neden olduğu kum topları (*Photograph from the Steinbrugge Collection, EERC, University of California, Berkeley.*)

Sıvılaşma Tehlikesine Karşı Zemin İyileştirme

- 1. Sıvılaşabilir Hassas zeminlerden Kaçınma:** İlk seçenek sıvılaşabilir hassas zeminlerde yapı inşa etmekten kaçınılmalıdır. Sıvılaşabilir zeminlerin kalınlığı fazlaysa güvenlik faktörü düşük olacağından bu tür yerler açık alan ya da park alanı olarak bırakılmalıdır. Yapılar ve diğer tesisler yeraltı koşullarının daha uygun olduğu alanlarda inşa edilmelidir.
- 2. Zeminin iyileştirilmesi veya kaldırılması:** İkinci seçenek olarak hassas zeminin iyileştirilmesi veya kazılıp atılması ile sıvılaşma tehlikesinden kaçınılabılır. Yani sıvılaşmaya karşı zemin daha yoğunlaştırılarak veya drenaj uygulamalarıyla iyileştirilerek güvenlik faktörü artırılabilir. Bunun için çeşitli zemin iyileştirme teknikleri kullanılabilir: zeminin kazılıp atılması, ötelenmesi, yerinde enjeksiyon, yoğunlaştırma, drenaj, yanal yayılmayı engelleme gibi teknik kullanılabilir.
- 3. Sıvılaşmaya dayanıklı yapılar inşa etmek:** Yeterince uygun arazinin bulunmaması gibi çeşitli nedenlerle sıvılaşmaya hassas zeminler üzerinde yapı inşa etmek zorunda kalınabilir. Bu durumda koşullara uygun yapı teknikleri kullanılmalıdır.

Taşıma Gücü Kaybı

- Bina temelleri taşıma gücüne göre boyutlandırılır.
- Taşıma gücü azalması (kaybı) temel boyutlarını yetersiz duruma getirerek, yapının yatmasına, dönmesine, göçmesine yol açabilir.
- Temellerin taşıma gücü zeminin kayma mukavemeti ile doğrudan ilişkilidir.
- Depremler sırasında killi zeminlerde meydana gelecek drenajsız kayma mukavemetinde azalma, kumlu zeminlerdeki sıvılaşma taşıma gücü kaybına neden olabilir.