

JFM319 Mühendislik Jeolojisi

Tünel ve Mühendislik Jeolojisi

Tünel Jeolojisi Çalışmaları

Tünelde maliyete etki yapacak koşulların başta geleni jeolojik koşullardır. Başlangıçta jeolojik çalışmalar iyi ve doğru yapılmışsa maliyet hesabı gerçeğe yakın yapılır, umulmayan güçlükler çıkmaz veya az çıkar. Gerekirse o güzergahtan vazgeçilir. Tünel açımı başladıktan sonra güzergah ve proje değişimleri, işin uzaması ve maliyetin artması, ilk jeolojik etütlerin yeterince yapılmamış olması sonucudur. Topoğrafyadaki vadilerin kırık veya faylara karşılık gelme olasılığı vardır. Bu kısımların altında ayrılmış ve sulu bölgeler bulunur. Jeolojik etüdlerle birlikte jeofizik etüdler ve sondaj çalışmaları da yapılır. **Sondajda kuyu aralıkları 500–1000 m' dir. Kuyu derinliği , tünelin 20–50 m altına inecek kadar olmalıdır.**

Ön jeolojik çalışmalar

Ön çalışmalara, topoğrafik haritaların ve önceki jeolojik çalışmaların incelenmesiyle başlanır. Varsa hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri çok yararlıdır. Tünel giriş ve çıkış, gelen yükler, olası kaymalar, örtü kalınlığı, hidrojeolojik şartlar, sıcaklık, gaz sorunları ele alınır.

- Kayaların cinsi, litolojik özellikleri ve ayrışma durumu
- Jeolojik yapı, süreksizlikler (kırık, çatlak, fay, tabaka kalınlıkları), yapının düşey ve yatay basınçlara etkisi
- Güzergahtaki kayaların fiziksel, mekanik, statik özellikleri, delinebilme kabiliyetleri
- Örtü kalınlığı ve tünele etkisi
- Hidrojeolojik durum: Yerüstü ve yeraltı durumu, kimyasal bileşimleri, akiferler, kaynaklar, debileri ve drenaj şekilleri.
- Sıcaklık ve gaz durumu
- Deprem durumu

Ayrıntılı Çalışmalar

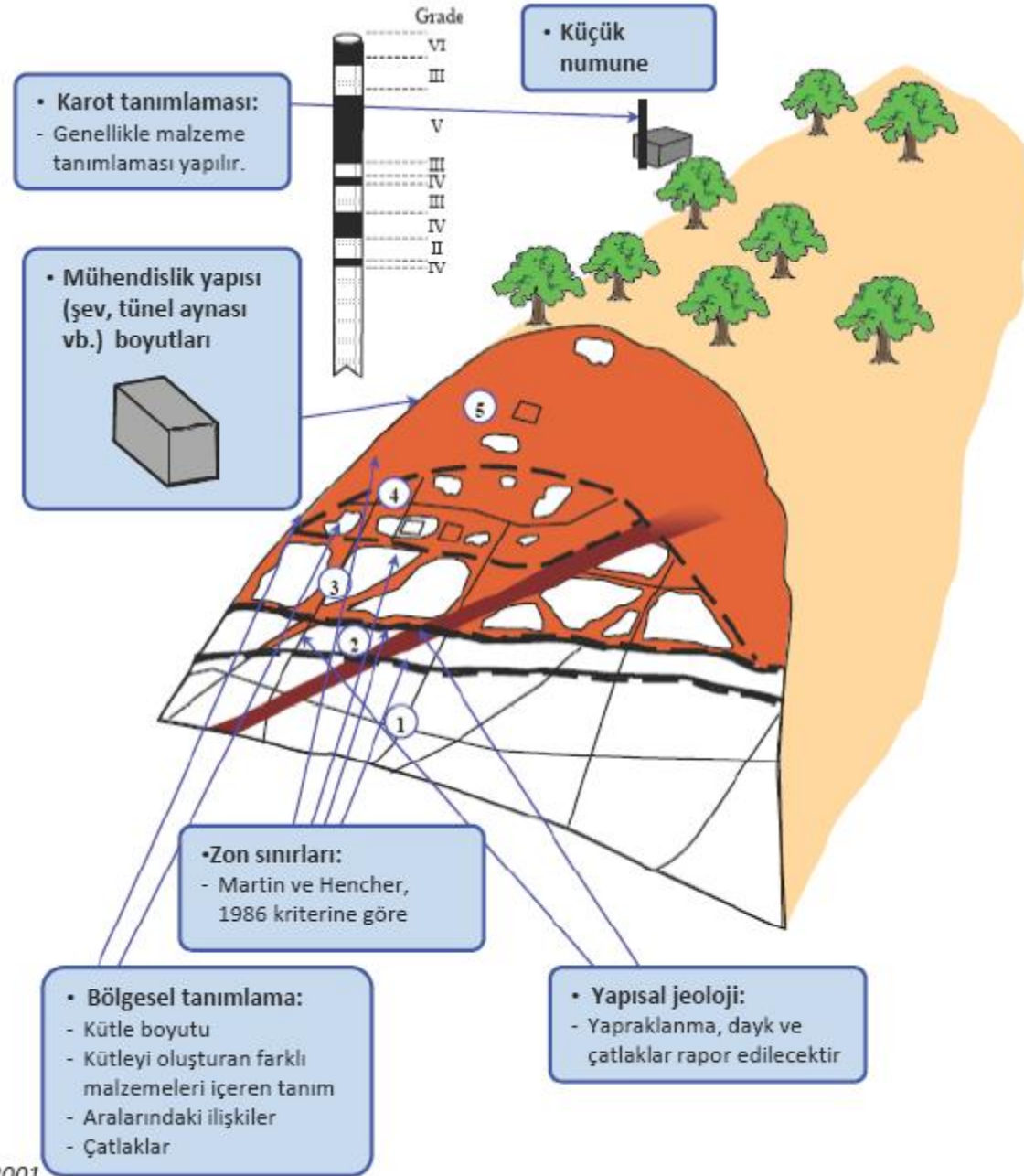
Ayrıntılı çalışmalar sırasında, tünel güzergahının 1 /5.000 ve 1/1.000 ölçekli jeoloji haritaları yapılır. Tünel içinde bulunması olası kayaların derinlikleri, litolojik ve yapısal özellikleri, mekanik özellikleri, ayrışma ve kazılabilme durumları tayin edilir. Çevrede sıcak su kaynakları varsa, tünel içinde de sıcak suya rastlanabilir. Tuz, jips, anhidrit, kireçtaşı, serpantin, kil gibi kayaların tünel boyunca bulunup bulunmayacağı saptanmalıdır. Kireçtaşında karstik durum; diğerlerinde şişme, kabarma, erime, göçme sorunları vardır. Tünel kazı malzemesinin kullanılıp kullanılmayacağı, yüzey ve yeraltısularının tünel ve kaplamaya etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Su altındaki tünellere su sızma durumu önemlidir. Ayrıntılı jeolojik çalışmalarda açılan kuyulardan su ve taş numuneleri alınır. Yerinde ve laboratuvarda numuneler incelenir, deneyler yapılır. Araştırma galerileri açılır. Tünel şekli ve maliyeti saptanır. Şartlar elverişli değilse başka güzergahlar araştırılır.

Tünel Açılırken Yapılan Jeolojik Çalışmalar

Tünel açılırken ya da açıldıktan sonra 1/50 veya 1/100 ölçekli tünel kesitleri çıkarılır. Tünel kesitlerinde litolojik özellikler ve bunların yanal ve düşey değişimleri, tabakalanma, eklem, kırık, fay, fay kili sürtünme yüzü ve fay breşi, çatlak dolguları, ayrışma zonları, erime boşlukları ve özellikleri, varsa dolguları, su sızıntıları, damlamalar, pınarlar, debileri, akma ve göçmeler gösterilir. Tünel kesitleriyle, jeoloji haritalarından yapılan kesitler karşılaştırılır.

Tünel Bittikten Sonra Yapılacak Çalışmalar

Tünel içindeki kayaların ayrışma derecesi, basınç dirençleri, elastisite modülleri, suya karşı duyarlılıkları göz önünde tutularak sınıflama yapılır. Bu çalışmalar sonuncu iksa tipi beton kaplama, kaya bulonu, püskürtme betonu, tel kafes, çelik kaplama gibi tedbirlerin hangisinin veya hangilerinin gerekli olduğuna karar verilir. Tünelin bitiminden sonra da zaman zaman gözlemler yapılmalı, kritik yerlerde olabilecek deformasyonlar gözden kaçırılmamalı, gerekli önlemler geç kalınmadan alınmalıdır.



Kullanım Alanlarına Göre Tüneller

A) Trafik tünelleri

Demiryolu, karayolu ve otoyol

Yaya tünelleri

Metrolar

B) Taşıma tünelleri

Hidroelektrik tesis tünelleri (basınç, dolusavak ve derivasyon tünelleri)

Su, Kanalizasyon tünelleri, Endüstri tesislerinde taşıma tünelleri

C) Arazi cinsine göre tüneller

a- Sert kayada açılan tüneller

b- Yumuşak zeminde açılan tüneller

1- Akıcı zemin

2- Çok hızlı akıcı zemin

3- Akan zemin

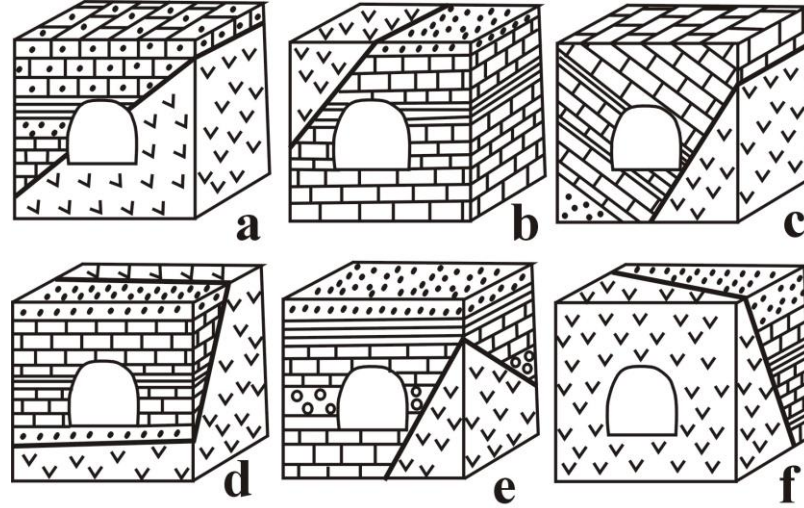
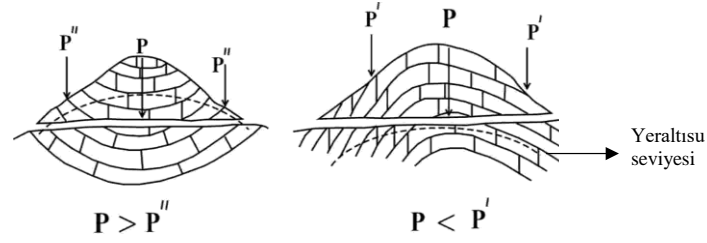
4- Sıkışan zemin

5- Şişen zemin

Jeolojik yapının etkisi

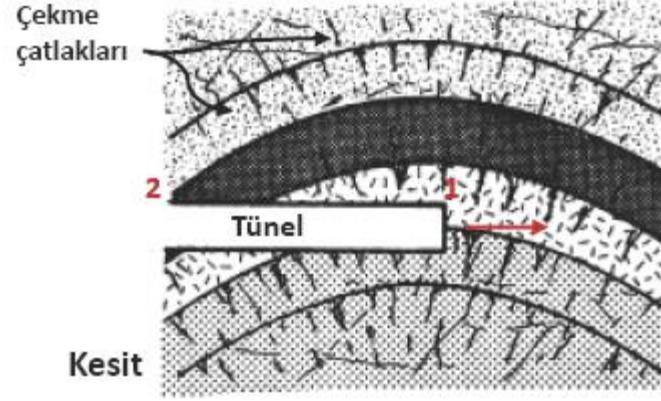
Tabakaların durumu, kıvrım şekilleri, antiklinal ve senklinaller, tünel eksenine ve kemerine farklı basınç gelmesine, yeraltısularının birikmesine veya kaçmasına etki yapar. Antiklinallerde kaplamaların üzerine gelecek basınç az, yeraltısı seviyesi düşüktür. Senklinallerde durum tersinedir.

Antiklinalde tünel açılınca giriş ve çıkışa; senklinalde ise orta kısma fazla basınç gelir. Faylı bölgelerde fayın aktif veya pasif oluşu, eğim ve doğrultusu, tünele göre durumu bilinmelidir.



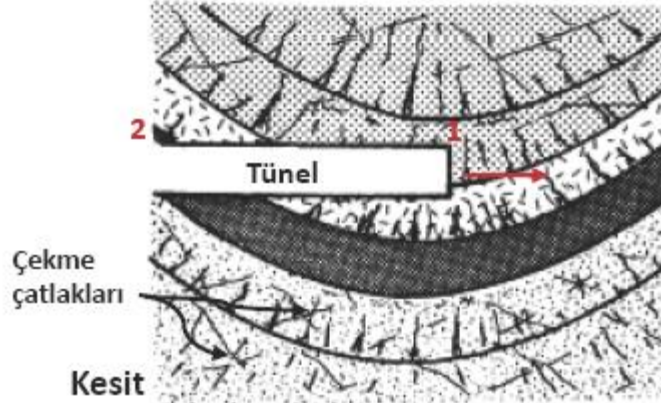
- Tünel fay zonunda
- Tünel taban blokunda
- Tünel tavan blokunda
- Tünel fayı verev keser
- Tünel fay kesişmez
- Tünel fayı verev keser

Antiklinal yapı – Tünel eksenini antiklinal eksenine dik –



- ❖ Arazi basıncı açısından tünelin açıldığı bölgede doğal kemerlenmeden dolayı basınç azdır. Buna karşın portal – tünel çıkışına doğru olan – kesimlerde ise derinlik basıncı göreceli olarak daha fazladır ($P_{0,1} < P_{0,2}$).
- ❖ Su geçirgenlik katsayısı fazla olan kaya kütlesi/zemin koşullarında çekme çatlaklarının varlığından dolayı “su geliri” söz konusudur.

Senklinal yapı – Tünel eksenini sentiklinal eksenine dik –

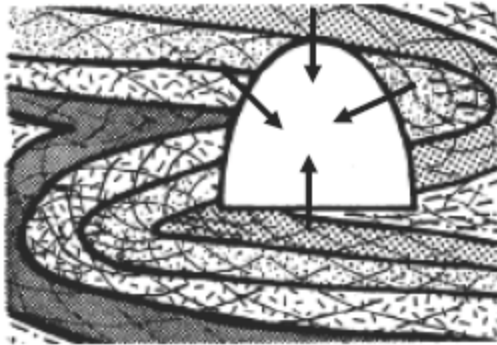
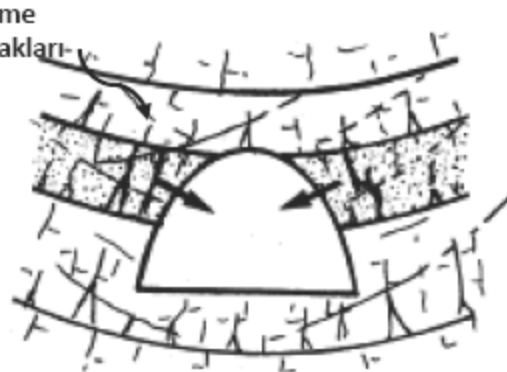


- ❖ Yukarıda belirtilen hususun tam tersi durum gözlenir. Diğer kelimelerle tünel açıldığı kesimdeki arazi basıncı doğal jeolojik yapıdan dolayı diğer kesimlere nazaran daha fazladır ($P_{0,1} > P_{0,2}$).
- ❖ Basınçlı akifer durumunda tabandaki çekme çatlaklarının su geliri beklenmelidir.

Kayma ve
çekme
çatlakları



Çekme
çatlakları



– Tünel eksenini antiklinal eksenine paralel –

- ❖ Gerilme büyüklüğüne ve çatlak geometrisine bağlı olarak tavanda kaya bloklarının düşme olasılığı yüksektir. Bu nedenle tavan stabilitesini arttırmak bakımından uygulanacak püskürtme betonunun kalınlığı artırılmalıdır.

– Tünel eksenini sentiklinal eksenine paralel –

- ❖ Gerilme büyüklüğüne ve çatlak geometrisine bağlı olarak tünelin yan cidarlarında blokların düşme olasılığı yüksektir. Bu nedenle yan cidarın stabilitesini arttırmak bakımından uygulanan saplamanın uzunluğu ve yoğunluğu artırılmalıdır.

– Şarījaj – bindirme – jeolojik yapısı içinde açılan –

- ❖ Bu kompleks yapıda hem tavan, hem yan cidarlar önemli boyutta sıkışma hareketine maruzdur. Bu durumlarda beklenen tavan, yan cidar ve taban hareketlerin düzeyi, normal jeolojik koşullardakinden daha dramatik olduğu daima akılda tutulmalıdır.

The effects of joint orientations on overbreak/underbreak and pull in heading and benching operations during tunnel excavations are explained by Johansen (1998) in Figs 11.2 to 11.6.

A) Heading

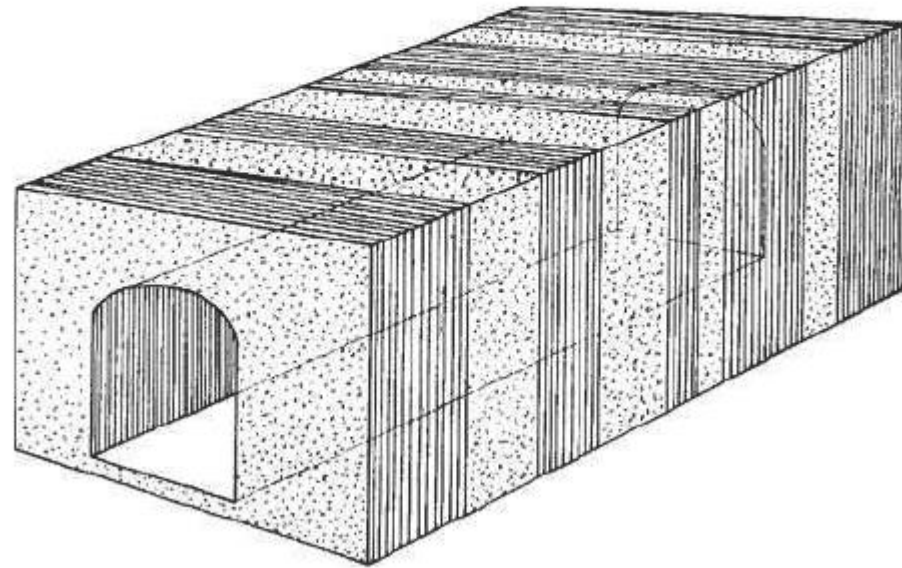


Fig. 11.2 Joints normal to tunnel direction favorable for good pull (Johansen, 1998).

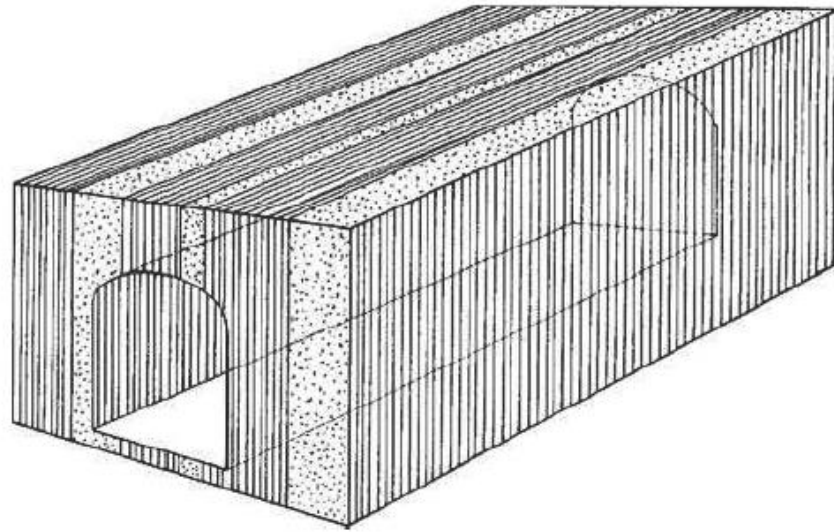


Fig. 11.3 Poor advance with joints striking parallel to tunnel advance direction (Johansen, 1998).

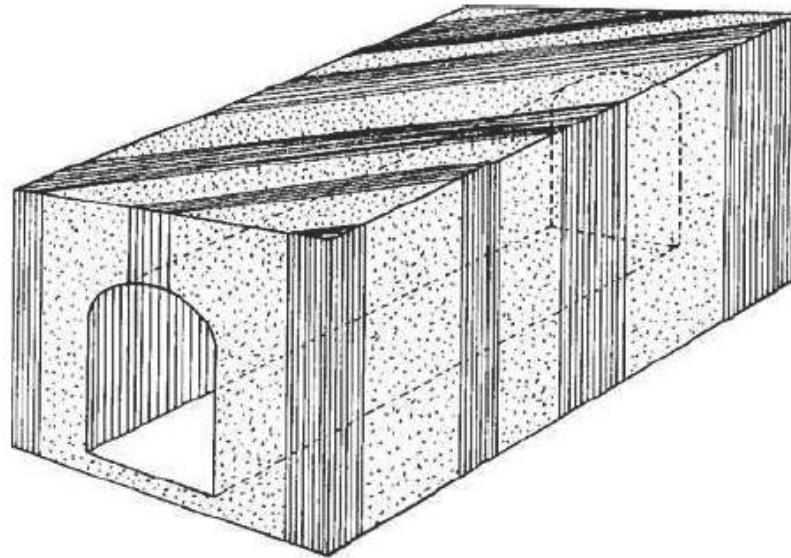


Fig. 11.4 Right side wall more prone to breakage due to obtuse angle between joints and tunnel direction (Johansen, 1998).

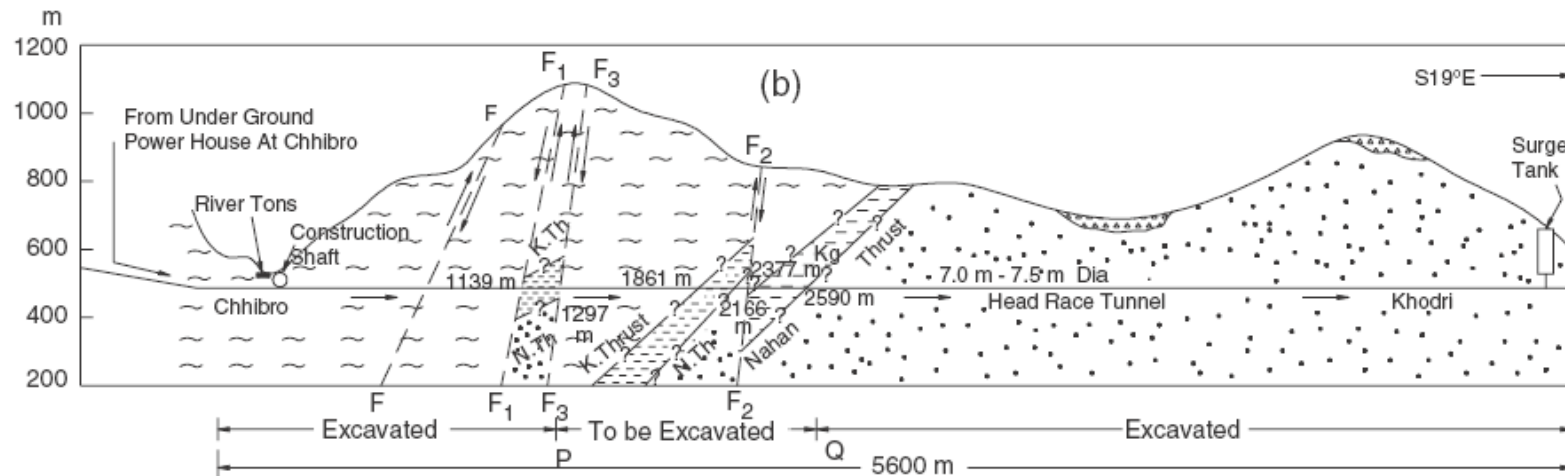
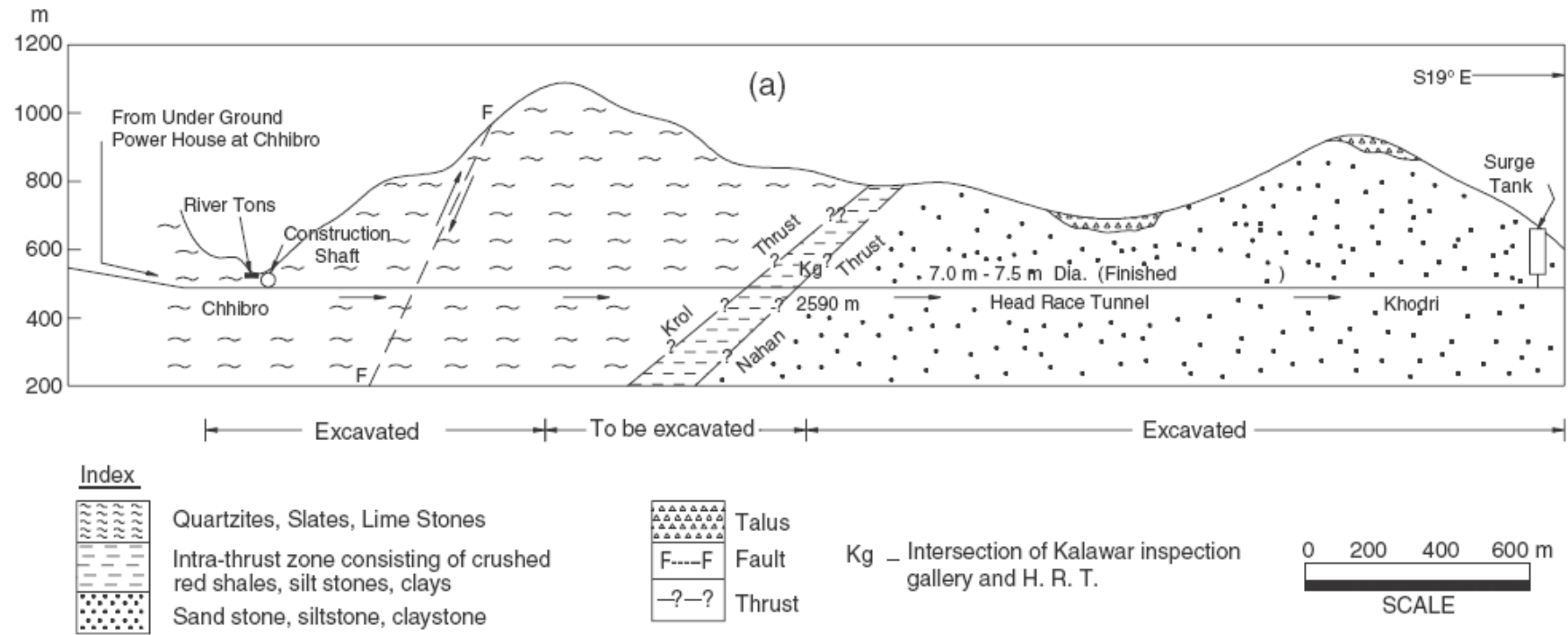


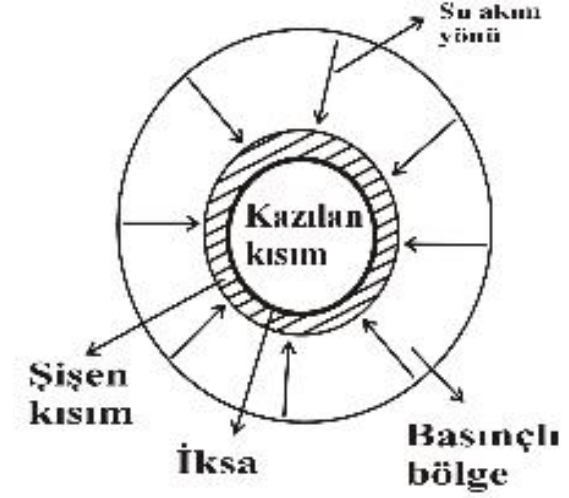
Fig. 20.2 (a) Original geological section along the Chhibro-Khodri tunnel (Auden, 1942); (b) Revised geological section along the Chhibro-Khodri tunnel (Jain et al., 1975).

Yumuşak zeminlerde tünel açılması

Yumuşak zeminlerde tünel açımı başlayınca, tavan ve yan duvarlar kendi kendilerini tutamazlar. Tabanda kabarma, çukurlaşma ve ondülasyon meydana gelir.

Tavan ve yanların desteksiz durabilme yeteneğine “**Kemerlenme**” denir. Bu özellik tavandaki kayaların içindeki gerilme ve makaslama kuvvetlerinin büyüklüğüne, litolojiye, yapıya ve basınç direncine bağlıdır. Sert killerin ve ayrılmış kayaların kemerlenme süresi 1 gündür. Kum ve çakılların kemerlenme süresi sıfıra yakındır.

Yumuşak zeminlerde yeraltısuyu büyük güçlük yaratır. Bu suyun motorla ya da çeşitli yollarla uzaklaştırılması gerekir. Şişen zeminlerde durum başkadır. Kil su ile temasta şişer, çevreye basınç yapar. Bunlarda açılacak tünelin dairesel kesiti olması önerilir. Sert kil ve kumtaşı yeterince makaslama ve gerilme direncine sahiptir, desteğe gerek olmayabilir. Akıcı zeminlerde destek gereklidir. Çok hızlı akıcı zeminlerde yanlar ahşap ve çelik kirişlerle ya da çelik levhalarla kaplanır. Sulu zeminlerde kalkan (ortası takviyeli çelik silindir) kullanılır.



Kemerlenme

Kayaların içinde depo edilmiş bir gerilme olmasa da, tünel açılınca kayalar boşluğa doğru hareket etmek isterler. Diğer yandan kayalar birbirine dayanarak bu hareketi bir ölçüde engellerler. Buna kemerlenme denir. Litoloji ve yapıya göre kemerlenme şöyledir:

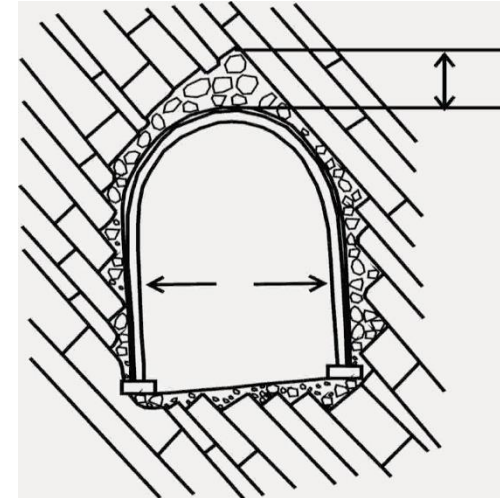
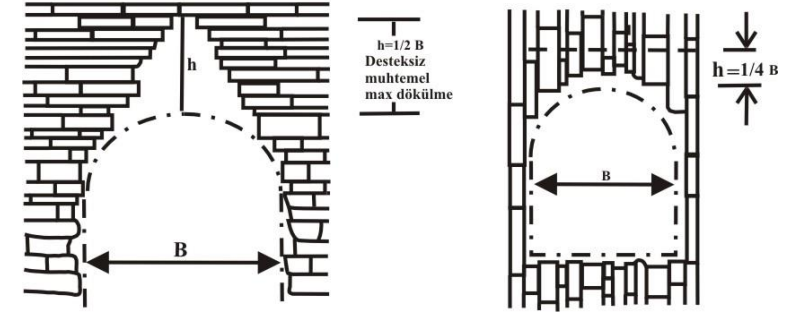
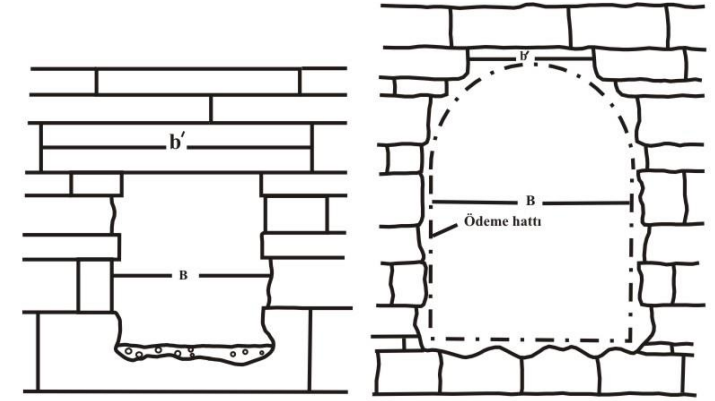
-Masif, çatlaksız, sert kayalarda kemerlenme fazladır. İksaya gerek yoktur.

-Tabakalar yatay, kalın ve çatlak araları tünel genişliğinden fazla ise kaplamasız ilerlenebilir. Çatlak aralıkları tünel genişliğinden az ise, üstten düşme olur. Kemer şekilli bir kaplama gerekir.

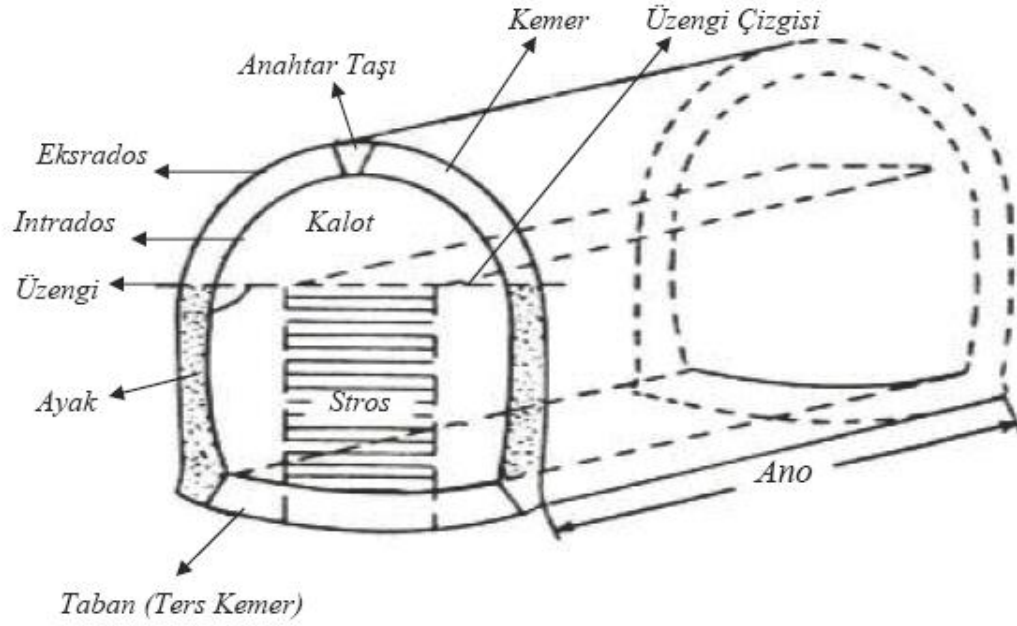
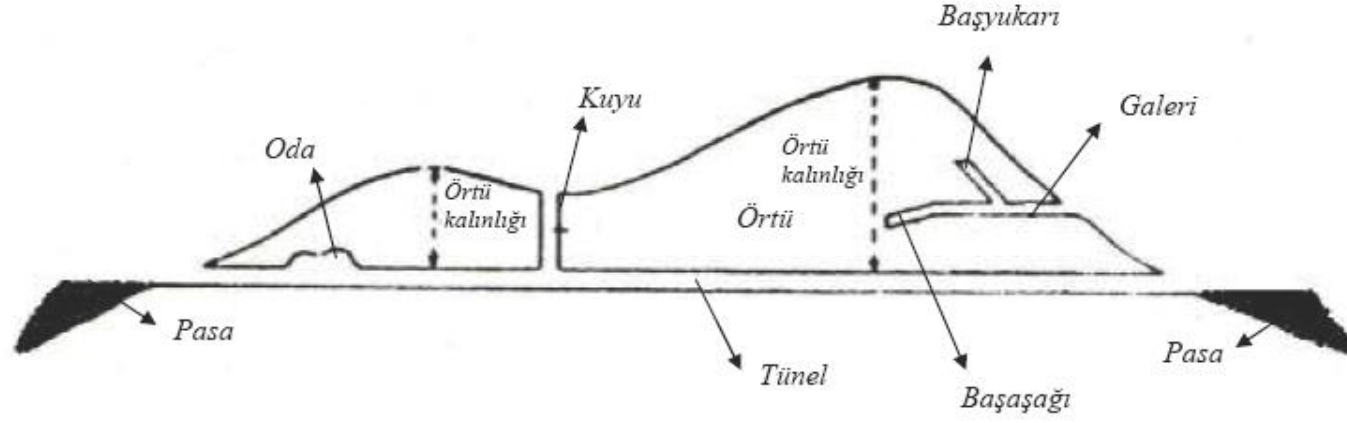
-Tabakalar çok ince ve çatlaklar sık ise, kemerlenme iyi değildir. Tavanda aşırı sökülme, tünel genişliğinin $\frac{1}{2}$ 'si kadar olabilir. Tavan sık desteklerle tutturulmalı, sonra çelik kaplama yapılmalıdır.

-Tabakalar dik ise, kemerlenme su durumuna ve tabaka yüzlerinin pürüzlülük derecesine bağlıdır. Tavanda tünel genişliğinin $\frac{1}{4}$ ü kadar aşırı sökülme görülür.

-Tabakalar eğimli olursa, aşırı sökülme çatlak sistemlerine, tabaka eğimine ve tünel üstündeki yüke bağlı olarak $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{4}$ tünel genişliği kadar olabilir.



Tünellerde Genel Terimler



Tünellerde Gerilme Koşulları

$$\sigma_v = h \cdot \gamma$$

σ_v : Düşey gerilme (N/m²)

γ : Birim hacim ağırlığı (N/m³)

h : Belirli bir derinlik (m)

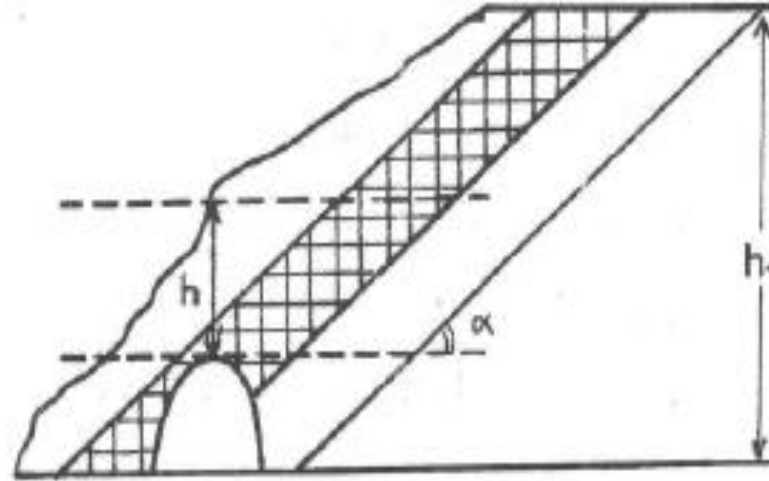
$$\sigma_h = \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_v$$

σ_h : yatay gerilme (N/m²)

ν : Poisson oranı

Tabakalı kayalarda ise düşey gerilme daha fazla artar. Şöyle ifade edilir

$$\sigma_v = \gamma \frac{h}{\sin \alpha}$$



Tünel Kesitleri

Kare Kesitli

Otoyol ve denizaltı tünellerinde, aç-kapa tünellerde tercih edilir.

Eliptik

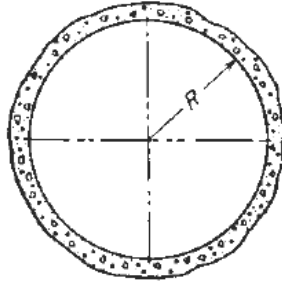
Özellikle kanalizasyonlarda veya su iletim tünellerinde tercih edilir. Kesit azaldıkça sıvının iletim hızı artar..

Dairesel kesitli

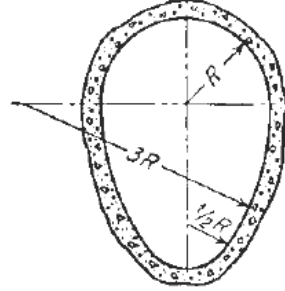
TBM ve Kalkan (shield) tünellerde tercih edilir. Çap ile çevre oranı en fazla olan tünellerdir.

At Nalı Kesitli

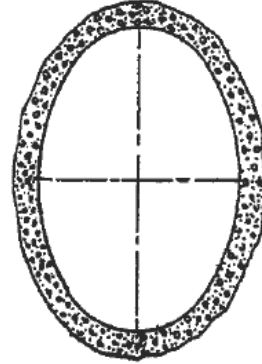
Kaya kütlelerinde açılan tünellerde tercih edilir. Tünel tavanında beton kaplama sayesinde sıkışma dayanımı karşılanmış olur.



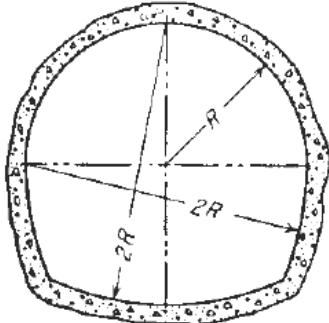
Circular



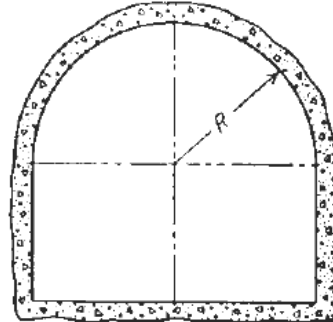
Egg-shaped



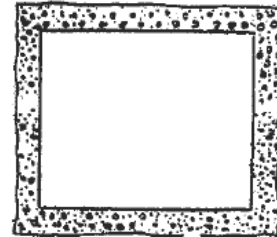
Elliptical cross-section.



Horseshoe



Vertical walls, arch roof

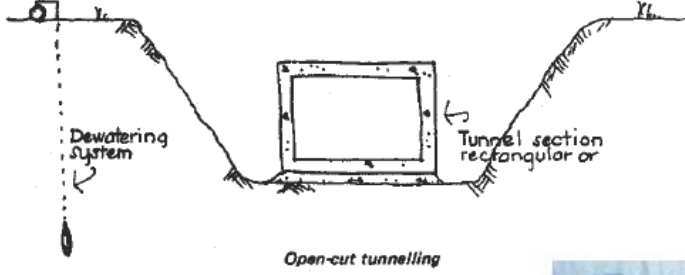


Box type cross-section.

Tünel Açma Yöntemleri

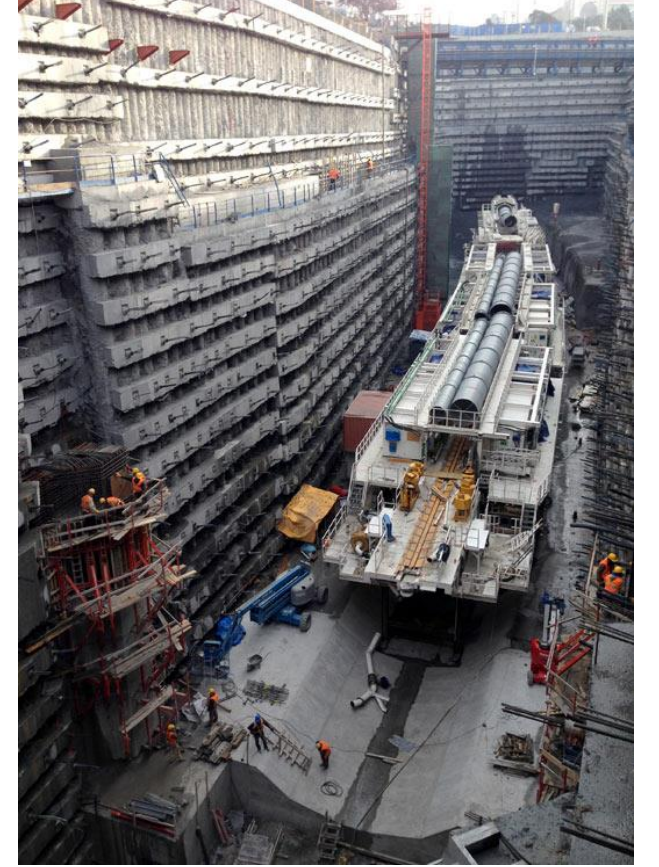
Açık Kazılar

Yanal gerilmelerin bulunmadığı ve şevlerin yeterli duraylılığının olduğu ortamlarda ve tünel yapısının çok derinde olmadığı ortamlarda tercih edilir. Kazı öncesinde ve sırasında drenaj yapılmalıdır. Yerleşim alanlarına tercih edilmez.



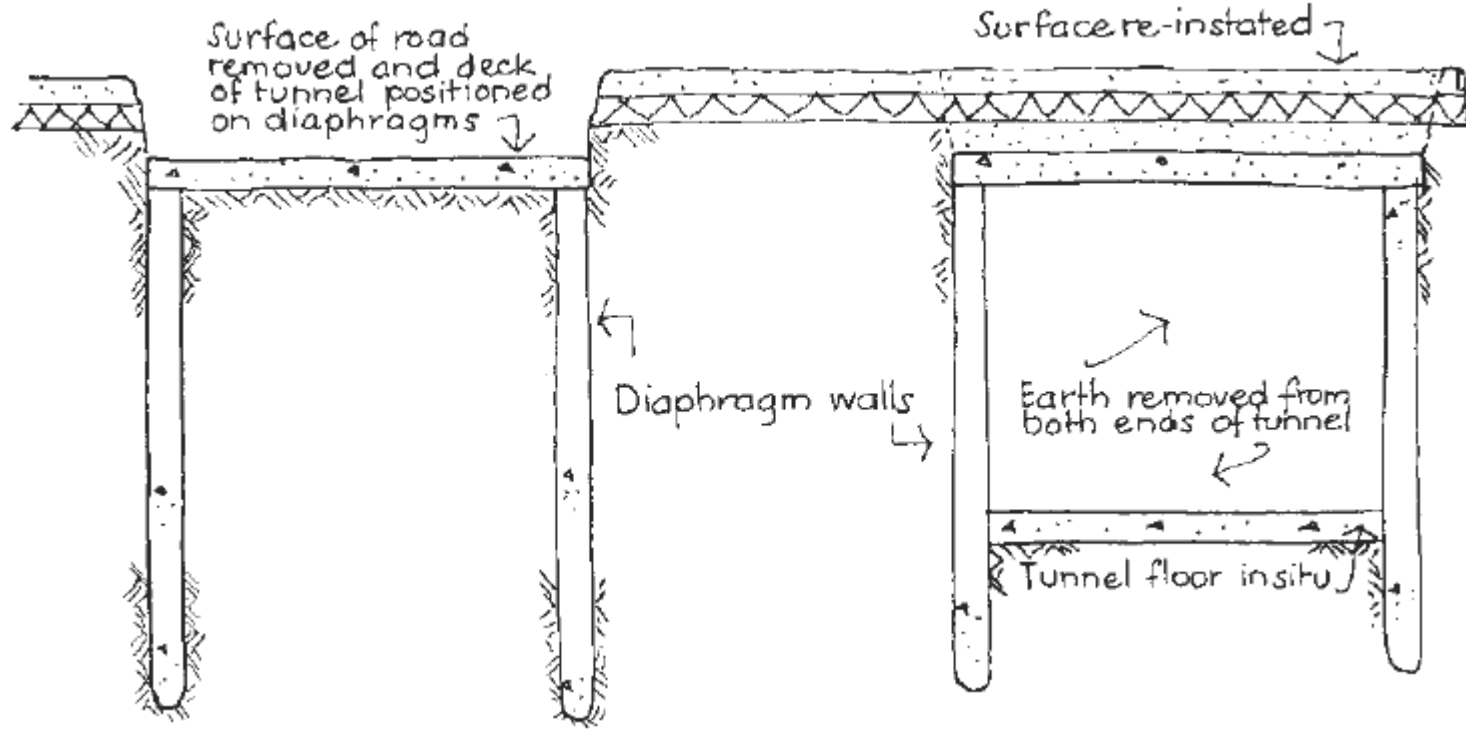
Kaz-Kapa (Aç-Kapa) Yöntemi

Açık kazılardan temel farkı kazı alanının yanlardan da desteklenmesidir. Özellikle yerleşim alanlarında ve zayıf zeminlerde destek metodunun ayrıca projelendirilmesi gereklidir.



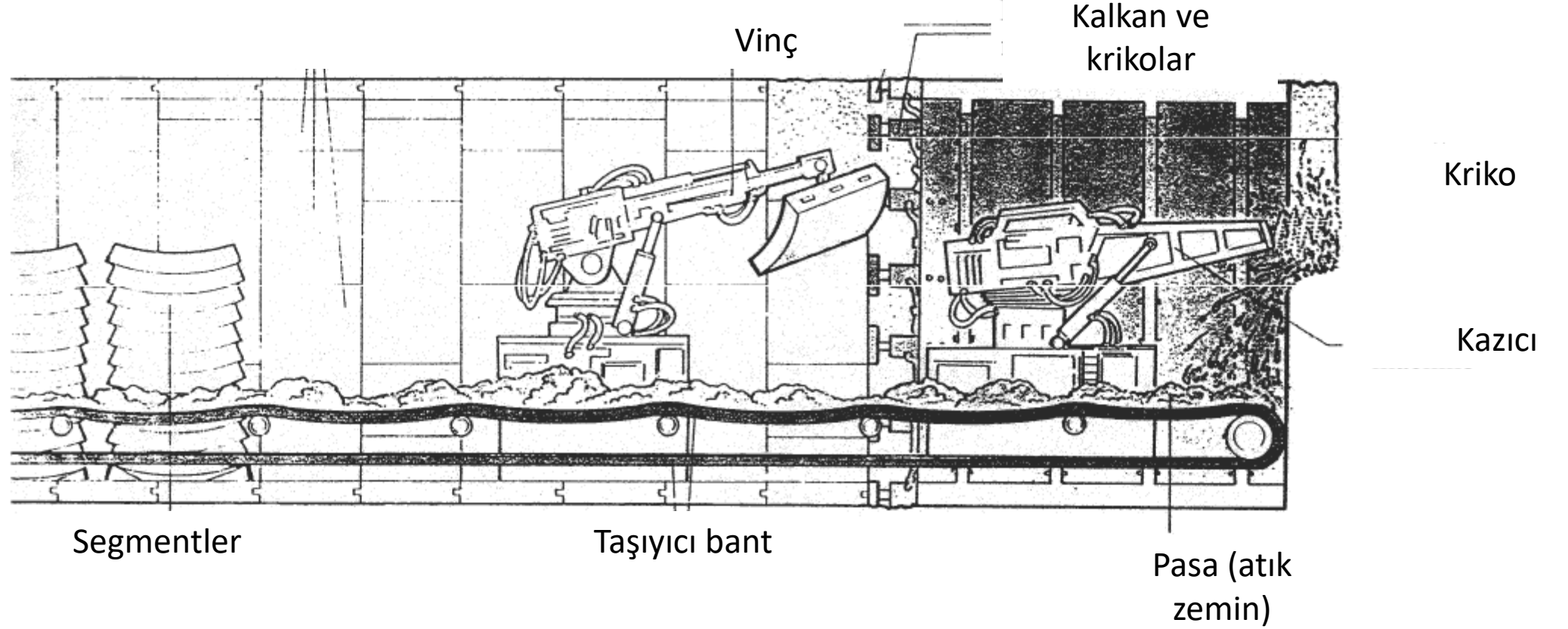
Diyafram Duvarlı Tünel Kazı Yöntemi (Pre-Deck)

Otoyollarda tercih edilen türdür. Tünel duvarları diyafram duvarlar şeklinde imal edilir ve tünel bu duvarlar arasında konumlandırılır. Yukarıdan aşağı kazılarak diyafram duvarlar arasında kalan kesim kazılarak uzaklaştırılır. Bu sayede tünelde göçme riski ortadan kaldırılmış olur.



Kalkan Tünel Metodu

Özellikle silt ve yumuşak killerde suyun uzaklaştırılmasında tercih edilir. İlerleme sırasında yeraltı suyu basıncını karşılamak için basınçlı hava kullanılır. Genellikle 2 bar basınç (en çok 3.4 bar) ilerleme için yeterlidir. Geride kalan kesimlerin desteklenmesi için beton segmentler kullanılmalıdır.



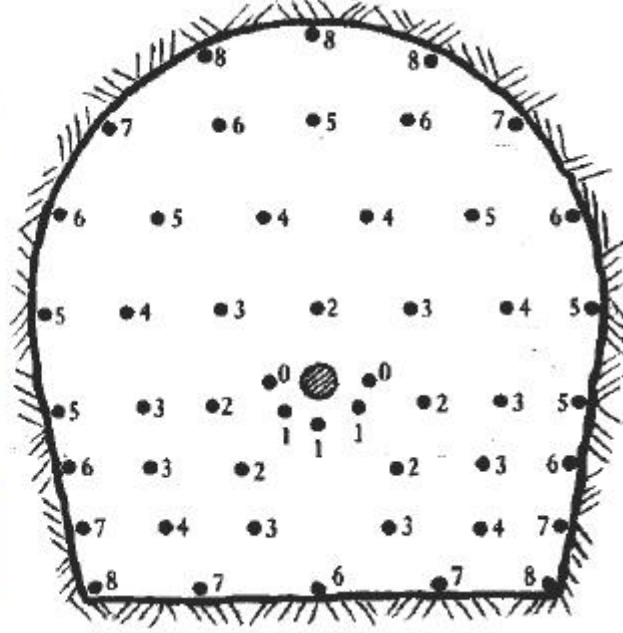
Sağlam Zeminlerde Tünel Açma

Tünel açımında sağlamlık, tavanın desteklenmeye gerek göstermemesi anlamında kullanılır. Sağlam zeminler az çatlaklı, çatlaklı, kırıklı, faylı, ezilmiş, parçalanmış, ayrılmış olabilir ya da aralarında yumuşak tabakalar, killi, kömürlü düzeyler, su gelen yerler bulunabilir. Zayıf kısımlar destek gerektirir. Tünel açma yöntemi, hızı ve destek sistemlerinin belirlenmesi için kaya kütle sınıflamasının dikkatli şekilde yapılması gereklidir.

- RMR (Bienawski ,1976; 1989) “Rock Mass Rating”
- Q (Barton et al. 2002)
- RSR (Wickham et al. 1974) ”Rock Structure Rating”
- RMi (Palmström, 1995) “Rock Mass Index”
- GSI (Marinos and Hoek, 2005). Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünü (Hoek, 1980) esas alan “Geological Strength Index”

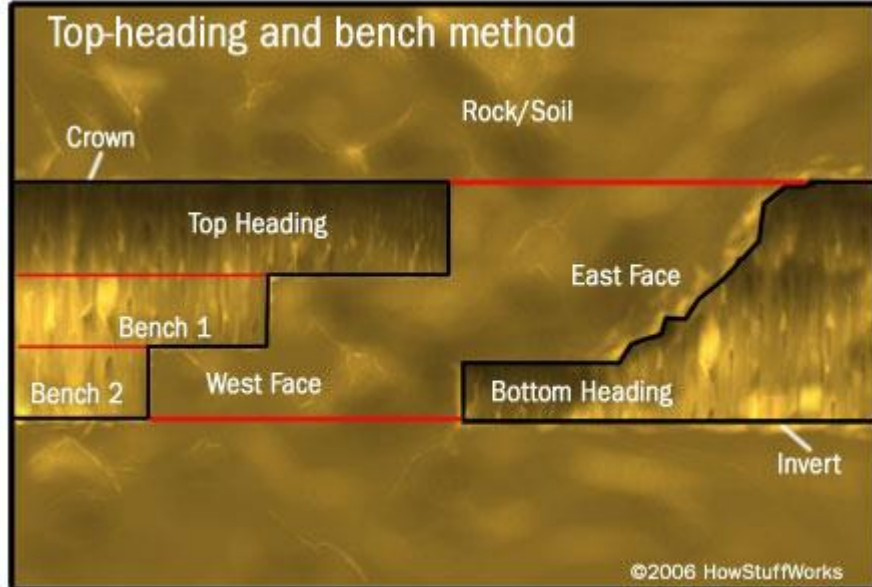
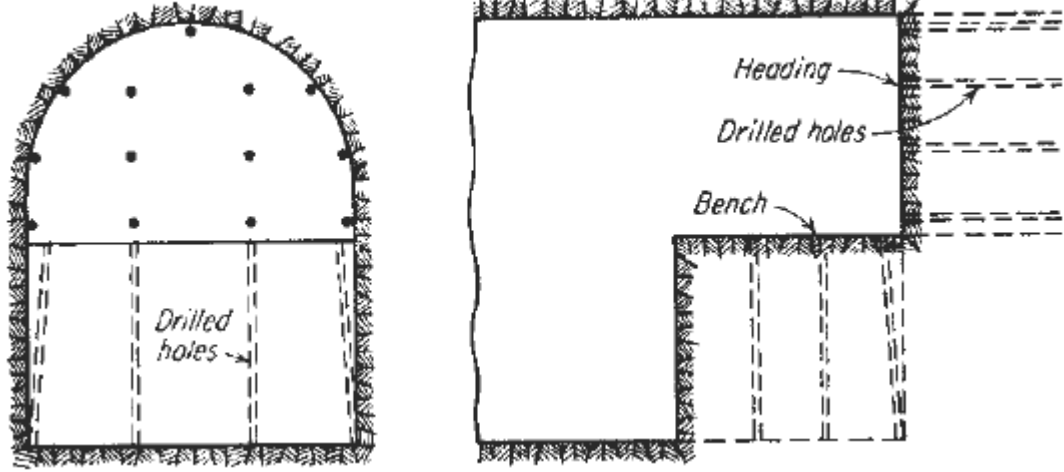
Del-Patlat Yöntemi

Özellikle orta-sağlam kaya kütlelerinde tercih edilir. Tünel aynasında hidrolik krikolar veya ankraj delikleri açılarak patlatıcılar yerleştirilir.



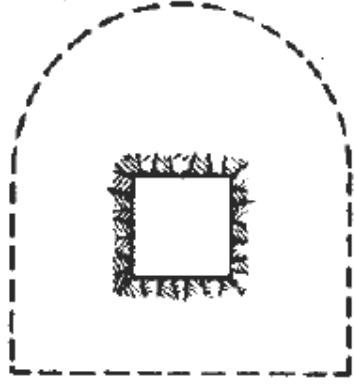
Kademeli Kazı Yöntemi

Anizotropik ve heterojen kaya kütlelerinde tercih edilir. Önce tünelin üst kısmı kazılarak gerekirse tavan veyanlar desteklenir. Kaya kütlesi sınıflarına göre kazı veya patlatma ile kademeli şekilde aşağıya doğru kazılarak ilerleme sağlanır.

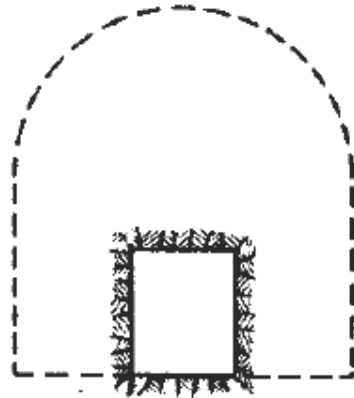


Şaşırtmalı Kazı Yöntemi

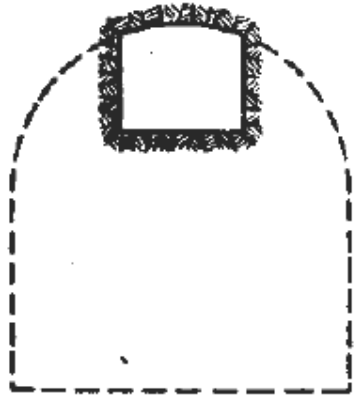
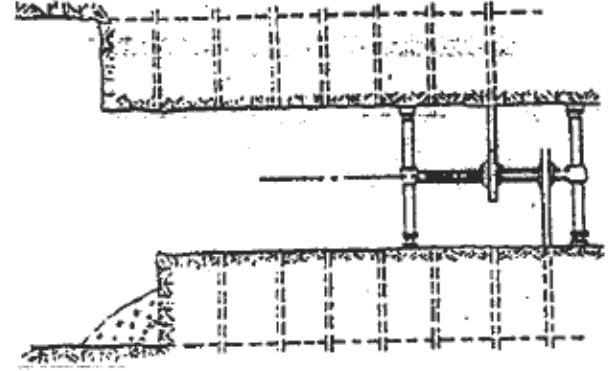
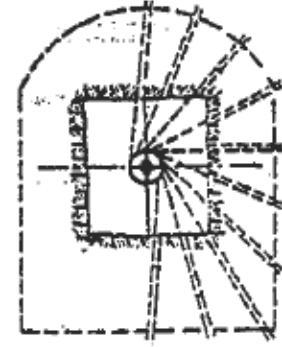
Çok geniş kesitli veya zayıf kaya ortamlarında tünel aynası küçük kesitlerden genişletilerek kazılır. Bu sayede kaya kütleindeki zayıf zonlar daha dikkatli şekilde belirlenir ve fay zonları, ezilme/makaslama zonları, ayrışma zonlarında yan duvar ve/veya tavan destekleri kullanılarak tam ayna desteklenmiş olur.



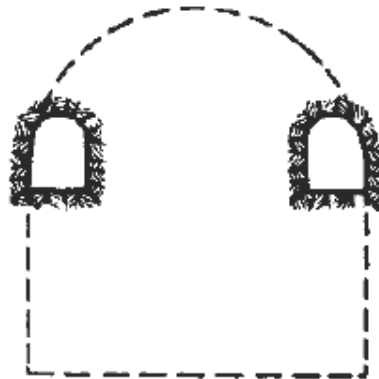
Center drift



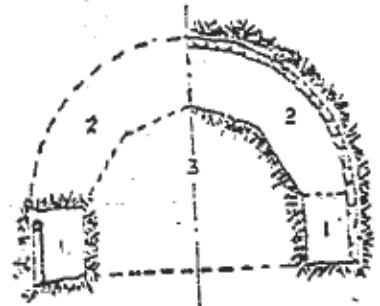
Bottom drift



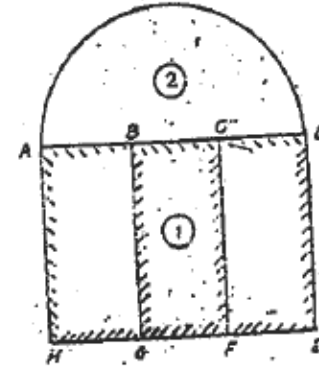
Top drift



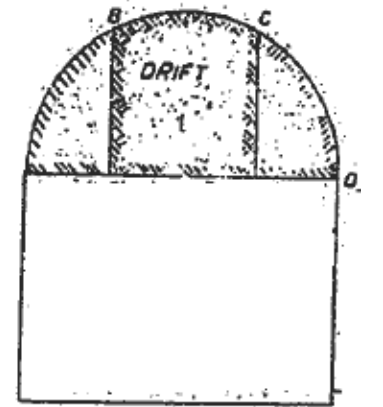
Side drifts



SIDE DRIFT METHODS



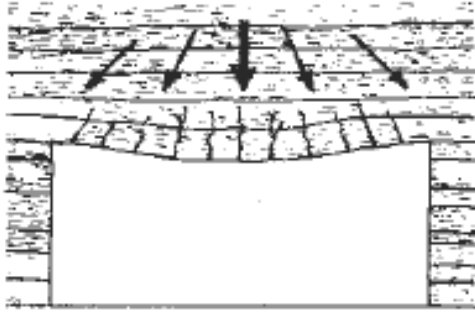
Bottom drift method.



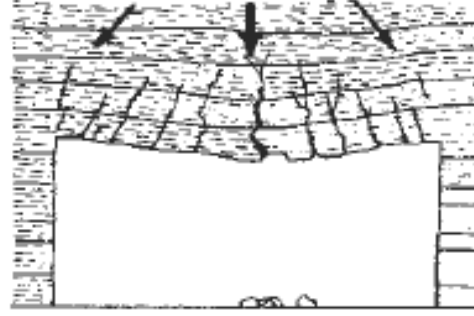
Top drift method.

Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemi (NATM)

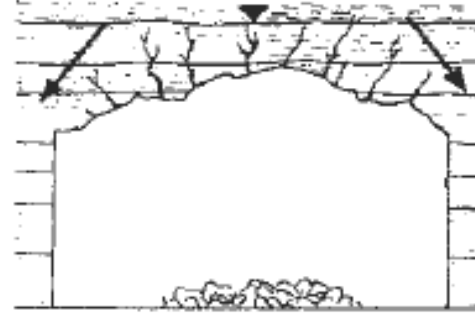
Geleneksel yöntemlerde jeolojik yük ve yanal gerilmelerin rijid desteklerle karşılanması esastır. NATM'de ise tek bir destek yerine yükü esnek şekilde karşılayacak olan kompozit sistemler tercih edilir. Aktif destekler ile (kaya bulonu, çelik ağ ve demir kirişler) iksa tercih edilir. Ayrıca tünel kazısı ve sonrasında deformasyon görüntülenmesi sistemde şart olarak sunulmuştur. Aynanın olası deformasyonlarına karşı geçici bir kaplama (püskürtme beton) kullanılır. **Sistemin en önemli kısmı ise ilerleme ve destek projelendirilmesinin kaya kütle sınıfına göre yapılması gerekliliğidir.**



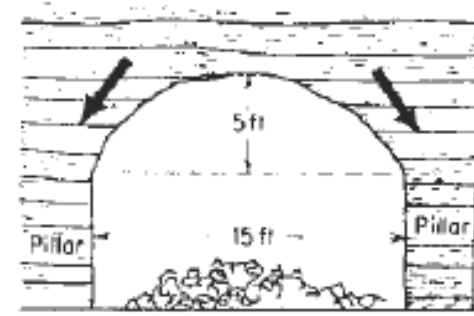
Natural forces on roof rock ...



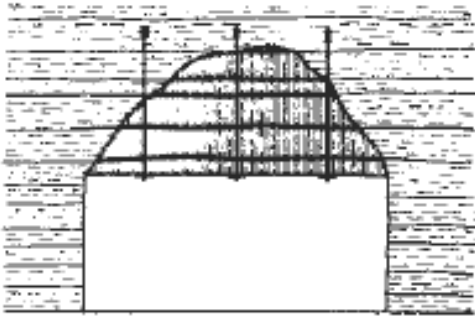
cause it to crack, followed by ...



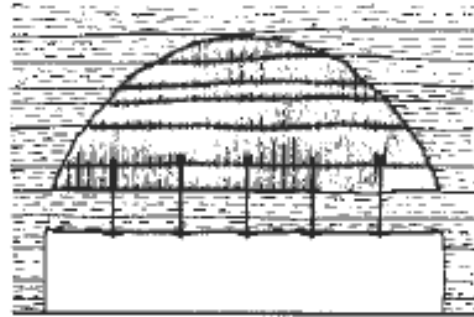
rock falls that enlarge excavation until ...



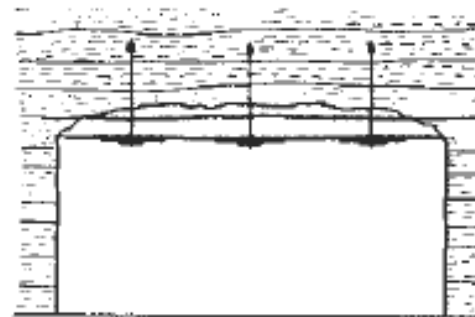
natural arch forms and falls stop.



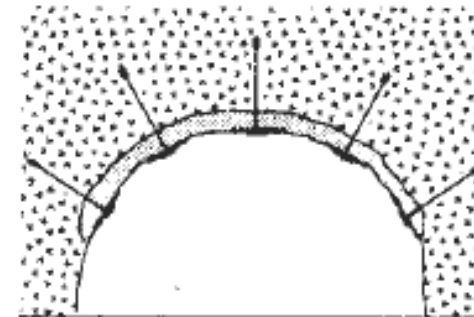
Remedy: Rock bolts can suspend roof;



pin strata to form a rock beam;



stabilize rock that tends to spall;



prevent rock burst in rock under pressure.

TÜNEL DELME MAKİNELERİNİN (TBM-TDM)GELİŞİMİ VE ÇEŞİTLERİ

Kömür madenciliğinin dışında inşaat sektöründeki ilk modern gelişme 1884 yılında Albay Beaumont'un Manş denizinin altından geçecek 2,14 m çapında ki bir tünel için tasarımılandırdığı tam cepheli bir tünel delme makinesi ile başlamıştır. 1955 yılında ilk serbest dönen kesikli tünel delme makineleri ABD deki Oahe barajı tünellerinde başarı ile kullanılmıştır [Bilgin, 1989].

Kısmi Cepheli Tünel Delme Makineleri

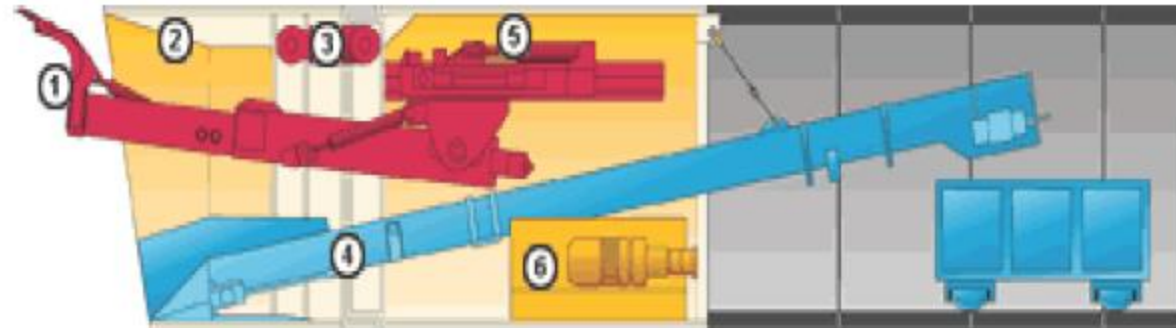
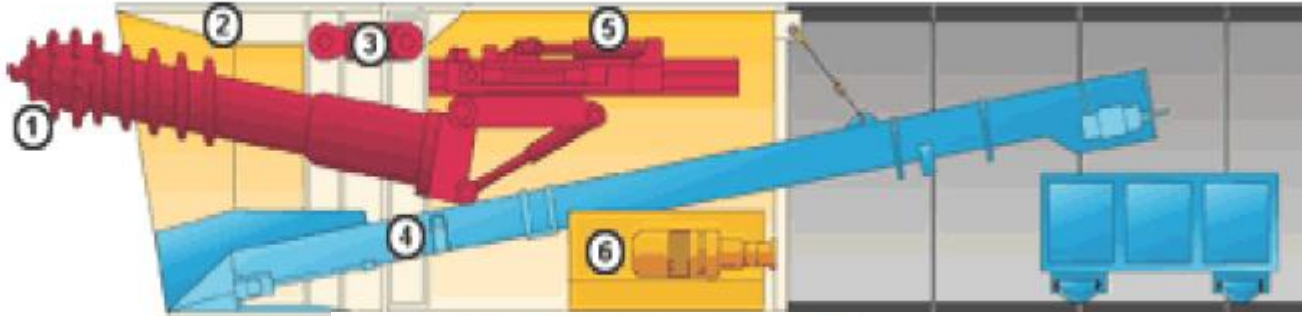
Bunlar genel olarak daha çok yumuşak ve orta sert özellikli zeminlerde ve özelliklede madencilik sektöründe kullanılırlar.

a.Burgulu kazıcılar

Burgulu kazıcılar kazılacak yüzey boyunca değişik yönlerde hareket ederek malzemenin kazılmasını sağlar. Yumuşak formasyonlarda kullanılır.

b.Kollu kazıcılar

Kollu kazıcılar kazılacak yüzey boyunca değişik yönlerde hareket ederek malzemenin kazılmasını sağlar.



Tam Cepheli TBM

Şehir içi raylı sistemler ve hidroelektrik santral projeleri olmak üzere uzun güzergah boyunca sürekli ve yüksek performans gerektiren tünel açma işlerinde kullanılmaktadır. Tünelin çapına, zeminin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine göre tasarlanan TBM'ler, her proje için özel olarak üretilir (Fruguglietti vd, 2000, Koçbay vd, 2004 ve Koçbay, 2007). Derivasyon ve enerji tünelleri, genellikle baraj gövdesinin yanal olarak dayandığı sağlam kayalar içinde açılır. Dolayısıyla tünel açma işleminde kayanın, kazı sırasında oluşan ikincil gerilmelerden en az derecede etkilenmesi ve bu sayede en az tahkimat ile donatılması istenmektedir. **TBM ile tünel açma yöntemi ise sahip olduğu kazı performansı ve eş zamanlı tahkimat desteği sayesinde klasik del-patlat ve küçük çaplı mekanik kazıcıların kullanıldığı konvansiyonel tünel açma yöntemlerine nazaran daha ekonomik ve verimlidir.** Günümüzde proje için uygun TBM seçimi, toplam proje maliyetleri üzerinde doğrudan belirleyici bir durum almıştır (Alber vd, 2000).

Kuru ve az nemli zeminler için

Bu tip zeminlerde kullanılacak makinelerde kafa kısmı, kesicilerin adedi ve konumu zeminin özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Genellikle kesme ve itme gücünde bir problem yaşanmaz.



Balçık zeminler için TBM

Bu tip zeminlerde kullanılacak makinelerde kafa kısmının zemin içerisinde sıkışmasını önlemek, üstteki malzemenin akışını engellemek için gelen suyun drenajını sağlayan ve basıncı dengeleyen sistemler yer alır. Kesici sayısı oldukça azdır.

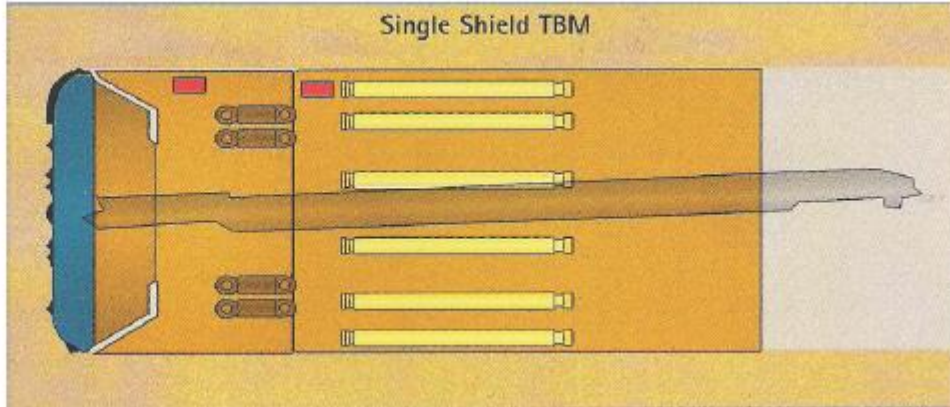
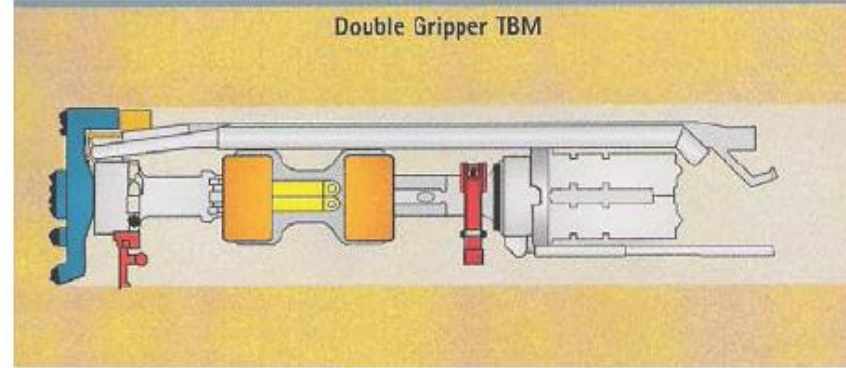
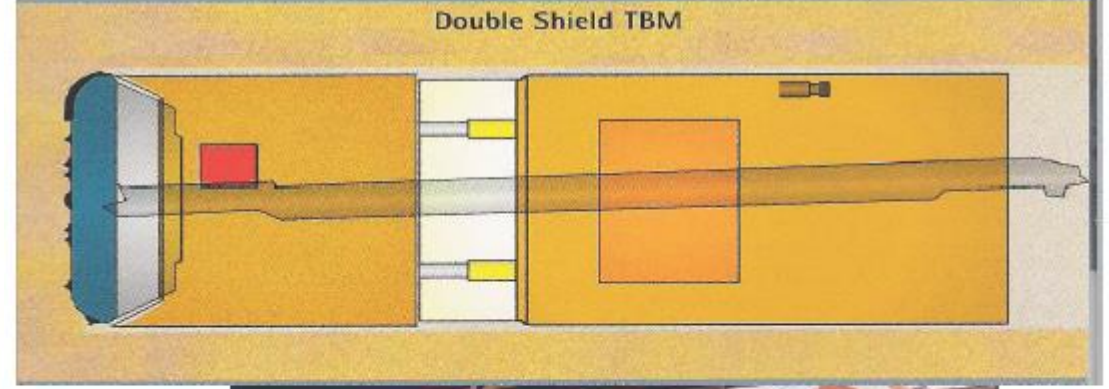
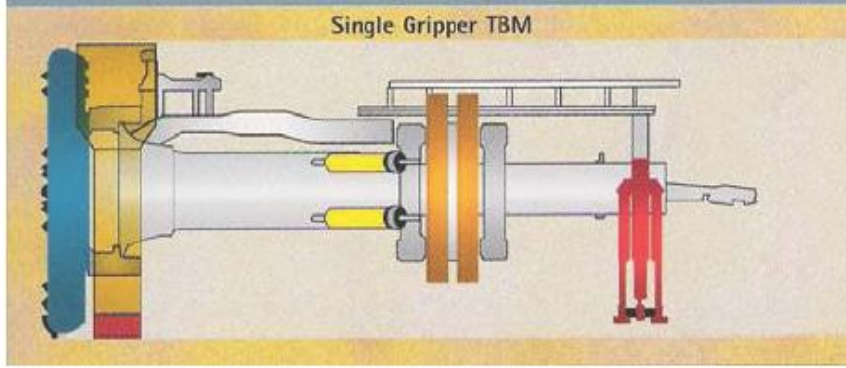
Kalkansız TBM

Bu makinelerde sadece öndeki kesici kafa kısmının üzerinde bir koruyucu bölüm vardır. Kafa kısmının arkasında yer alan yanlara yaslanıp ilerlemeyi sağlayan ve gripper adı verilen ekipmanın tipine göre tek veya çift tutuculu olarak adlandırılırlar. Daha çok sağlam kendini tutma süresi yüksek olan zeminlerde kullanılır ve tünel kazısı sonrası iç kaplama yapılır.



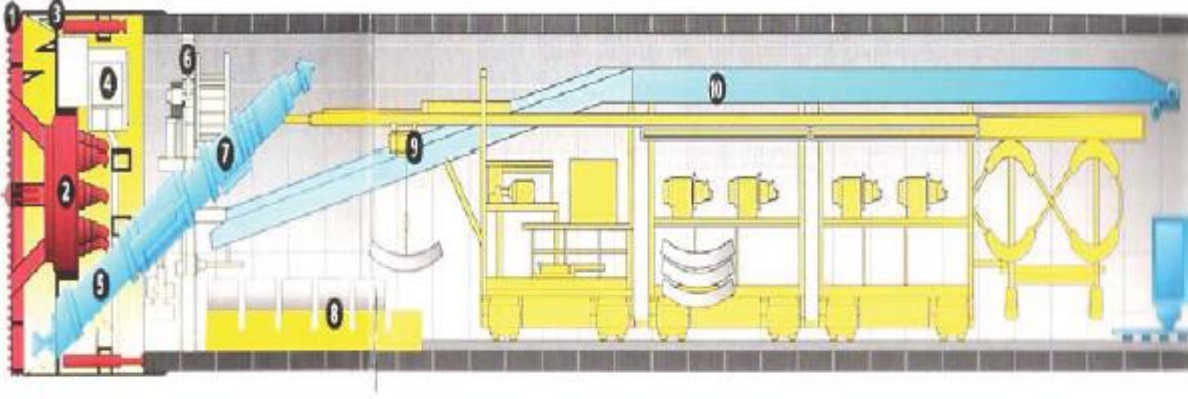
Kalkanlı (Shield) TBM

Bu makinelerde öndeki kesici kafa kısmının üzerinde ve arkasındaki kısımda koruyucu bölüm vardır. Diğer bölümleri ise açıktır. Kafa kısmının arkasında yer alan bu koruyucu bölümün tipine göre tek kalkanlı veya çift kalkanlı olarak adlandırılırlar. Daha çok sağlam kendini tutma süresi az olan zayıf zeminlerde kullanılır ve tünel kazısına paralel olarak iç kaplama yapılır.



Zemin basınç dengeleyicili (Earth pressure balance-EPB) TBM

Zayıf zeminlerde kullanılan zemin basınç dengeleyici tipte olan makinelerde kalkanlı makineler grubunda yer alırlar. Bu makinelerde ön bölümde yer alan bir sistem ile kimyasal madde yada bentonit türü malzemeler kullanılarak bir piston sistemi ile zeminden gelen basınç ile makinenin uygulayacağı basınç dengelenir.



Avantajları

- Yüksek ilerleme hızı
- Kazı ve tahkimatta devamlılık
- Aşırı sökülme az
- Desteklemenin az olması
- Pasada üniformalığın sağlanabilmesi
- Pasa naklinde hız ve kolaylık
- Yüksek iş güvenliği
- Otomatik işletme ve uzaktan kumanda imkanı

Dezavantajları

- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması
- Sabit dairesel geometri
- Farklı jeolojik durumlarda kısıtlı esneklik
- Sert ve aşındırıcı kayalarda keski masrafı
- Mobilizasyonun uzun süreli olması
- Ekipman temini
- Güç temini
- Tecrübeli ekip temini

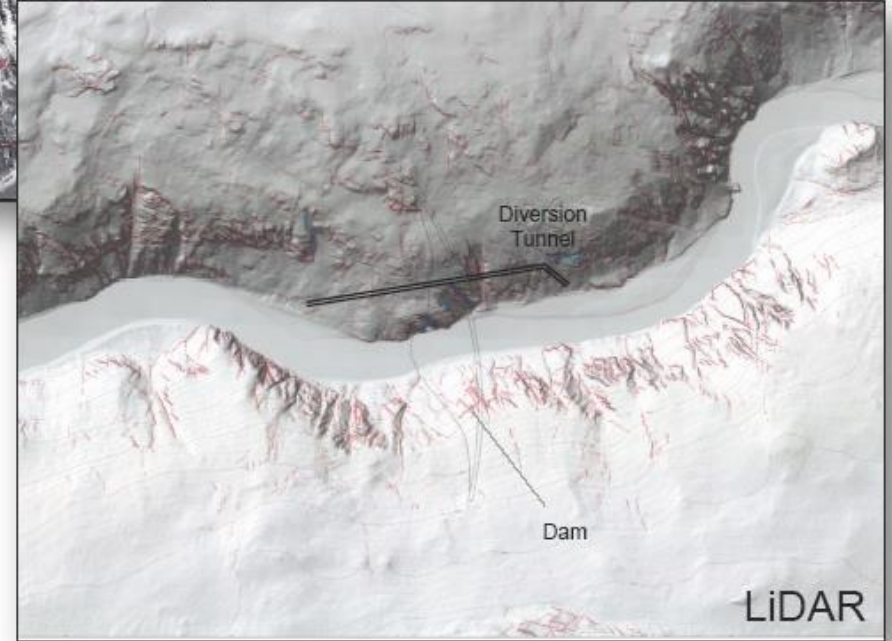
Tünellerde Mühendislik Jeolojisi İncelemeleri

-Önceki çalışmaların derlenmesi

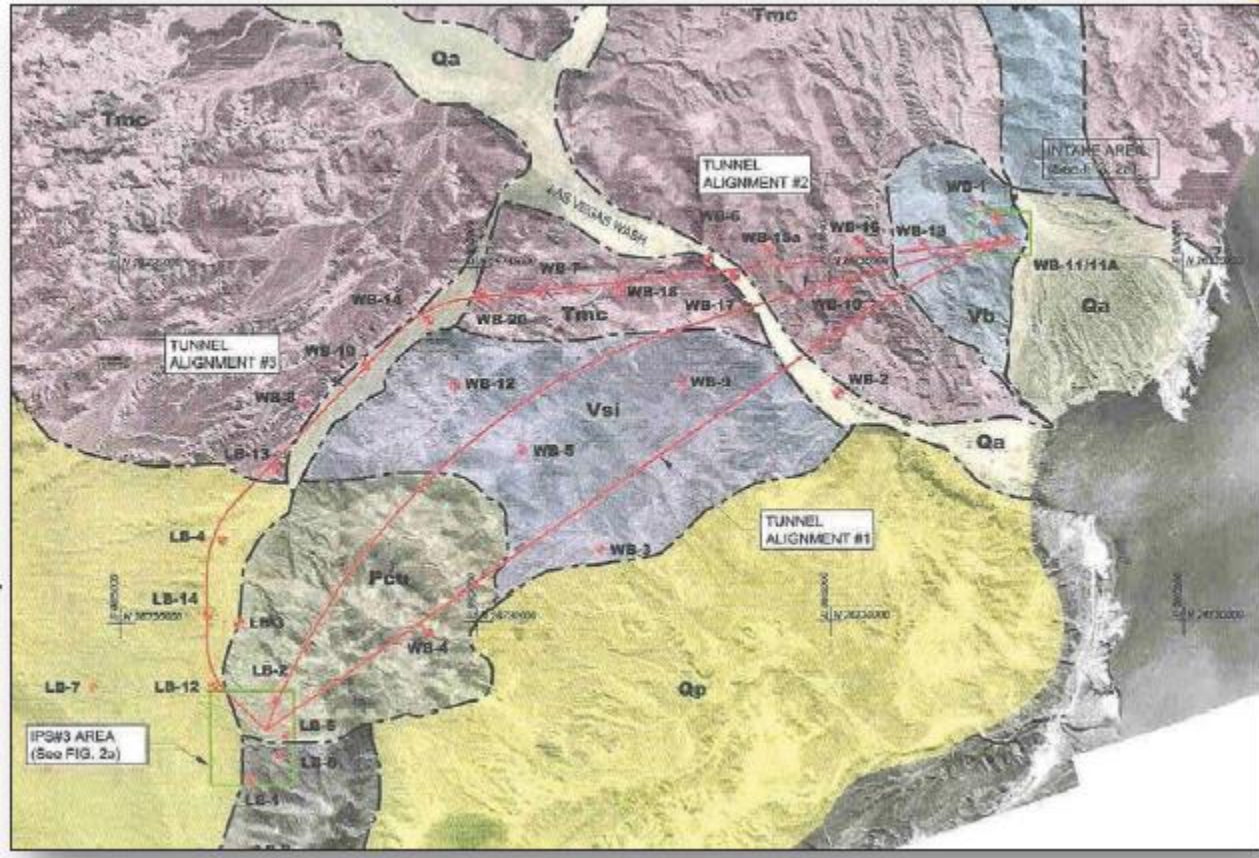
-Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, Lidar vb . incelenmesi



Use digital imagery/LiDAR to map local features prior to field mapping.

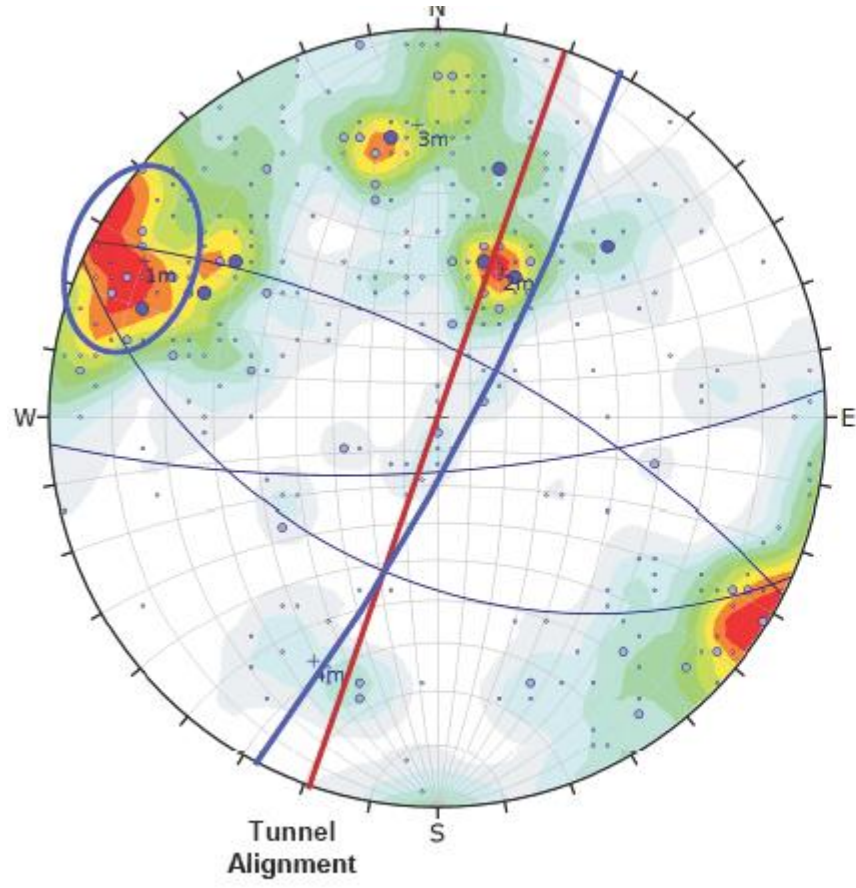


Tünellerde Mühendislik Jeolojisi İncelemeleri



-Yüzey topoğrafyası, rölyef, yükseklik modeli, vb. Çalışmalar

-Mühendislik jeolojisi haritasının hazırlanması ve yapısal unsurların belirlenmesi (fay, alterasyon zonları)



Symbol	Scatter
+	1 Pole Vectors
o	2 Pole Vectors
●	3 Pole Vectors

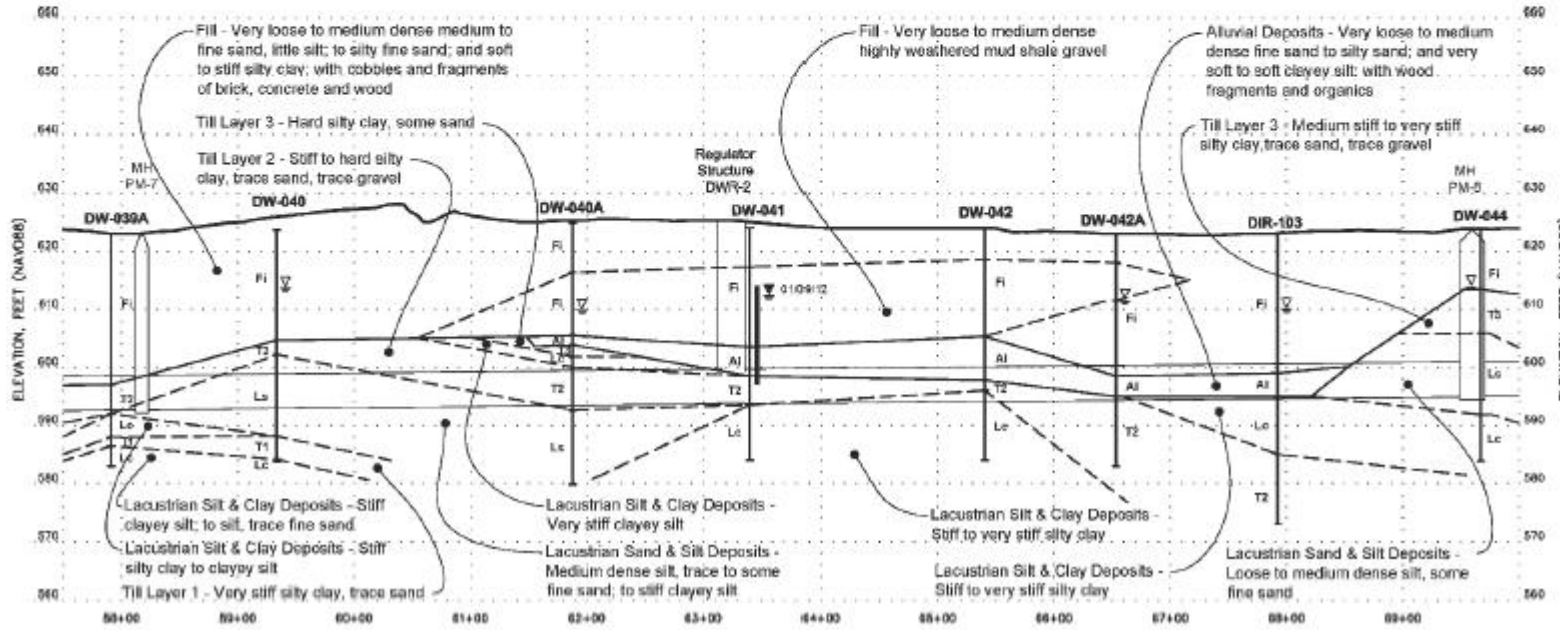
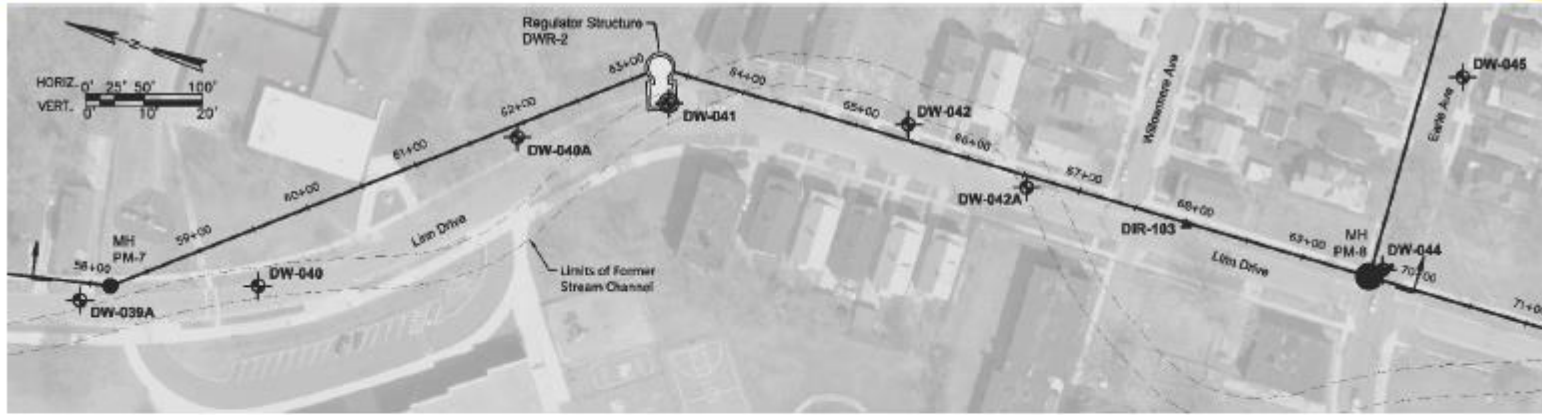
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.50
	0.50 - 1.00
	1.00 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 2.50
	2.50 - 3.00
	3.00 - 3.50
	3.50 - 4.00
	4.00 - 4.50
	4.50 <

Maximum Density	5.12%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

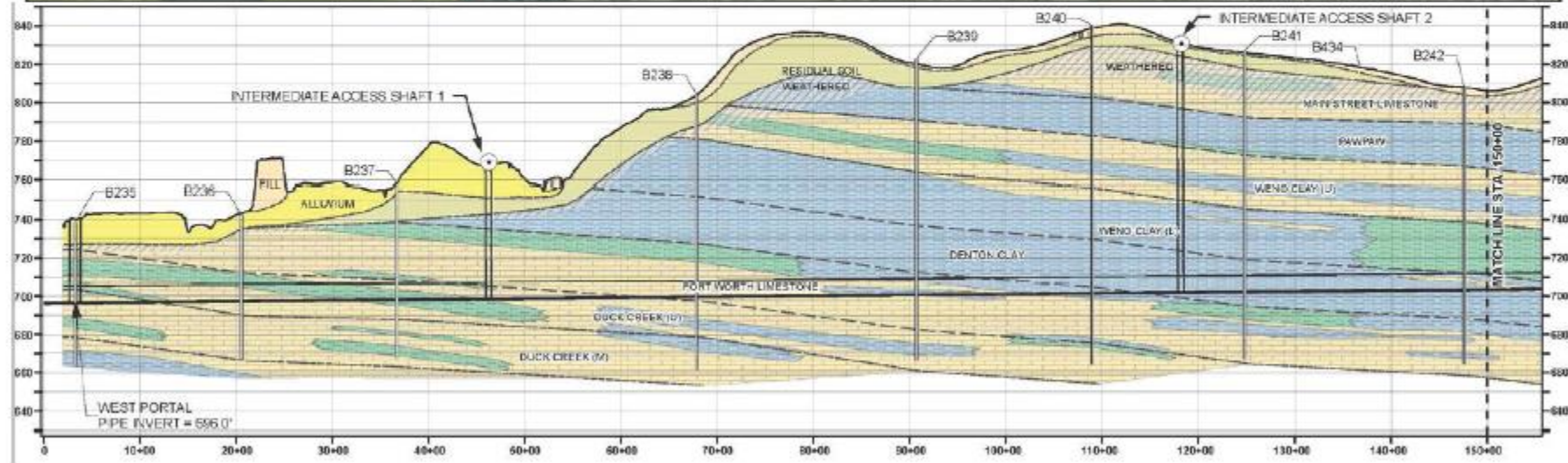
Plt Mode	Pole Vectors
Vector Count	358 (358 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



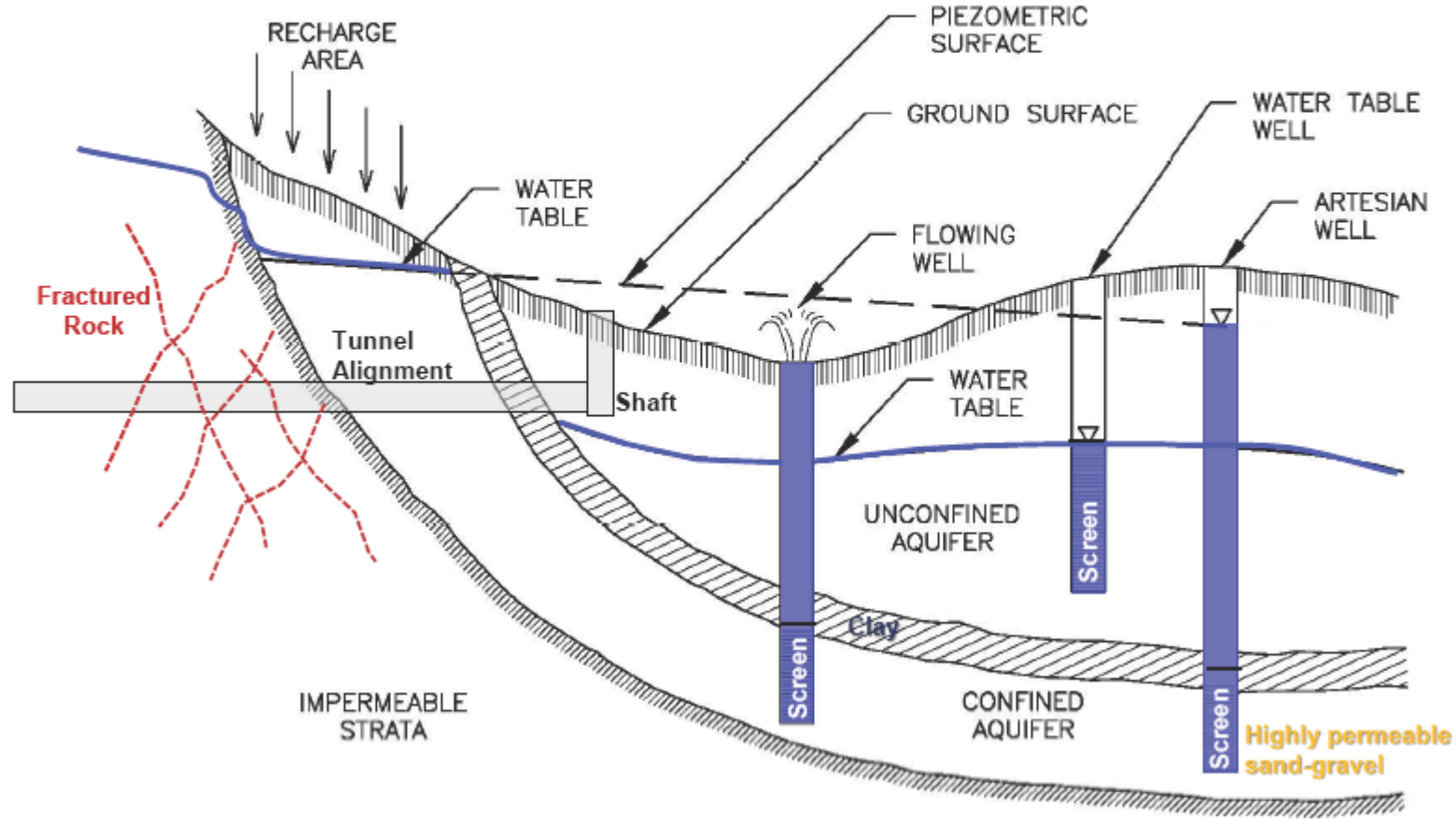
- Kaya kütlelerinde süreksizlik karakterizasyonu
- Kinematik analiz



- Sondajlı çalışmalar ve Arazi deneyleri (litoloji, deformasyon, dayanım parametrelerinin kaya kütlelerinde yerinde tayin edilmesi)
- Sondaj verileri ve jeolojik incelemelere dayalı mühendislik jeolojisi kesitlerinin hazırlanması



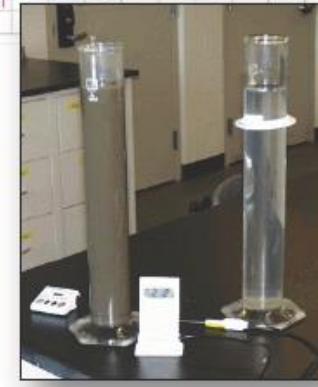
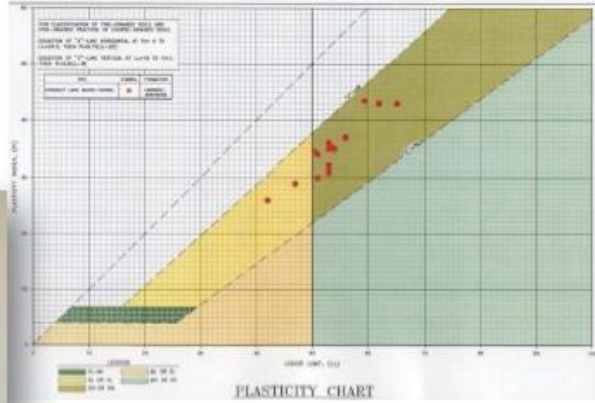
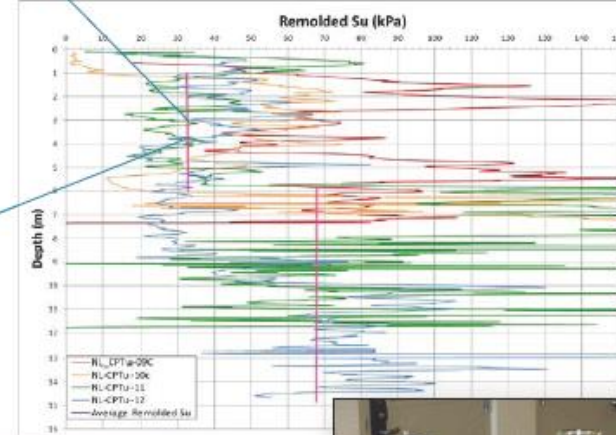
ZONE	ZONE 2 (STATION 102+00 TO 194+00) (70% SHALE, 27% MARL, 3% LIMESTONE)	ZONE 3 - (STATION 194+00 TO 234+00) (72% LIMESTONE, 17% SHALE, 11% MARL)	ZONE 2 (STATION 234+00 TO 265+00) (70% SHALE, 27% MARL, 3% LIMESTONE)	
RECOVERY				
RMR	25 - 70	30 - 75	25 - 70	RANGE
Q	0.1 - 8.0	0.2 - 8.0	0.1 - 8.0	RANGE
GSI	40 - 50	40 - 55	40 - 50	RANGE
DURABILITY	VERY LOW TO MEDIUM	MEDIUM TO HIGH	VERY LOW TO MEDIUM	(LOW - HIGH)



Yüzey ve yeraltı suyu seviyesinin belirlenmesi ve hidrojeolojik modelin hazırlanması

• Soil

- USCS classification
- Strength & Modulus
- Moisture/density
- Plasticity
- Gradation
- Hydrometer



Laboratuvar deneyleri ile zemin ve kaya malzemesinin karakterizasyonu

Tünellerde Aletsel Ölçümler

- Bulonlara gelen yükler
- Kaplama betonunun deformasyonu
- Kaplama betonunda oluşan gerilmeler
- Tünel etrafındaki gevşeme bölgelerinin sınırları
- Kaplama betonu üzerindeki su basıncı
- Yüzey ve yer altı oturmaları
- Yatay yer değiştirmeler belirlenmektedir.



NATM DESTEK ELEMANLARI

- Püskürtme Beton
- Hasır Çelik
- Kaya Bulonu
- Çelik İksa
- Çelik Levha
- Süren
- Kablo Ankraji
- Enjeksiyon



Çelik hasır



Ankrajda kullanılacak olan öngerilmeli çelik

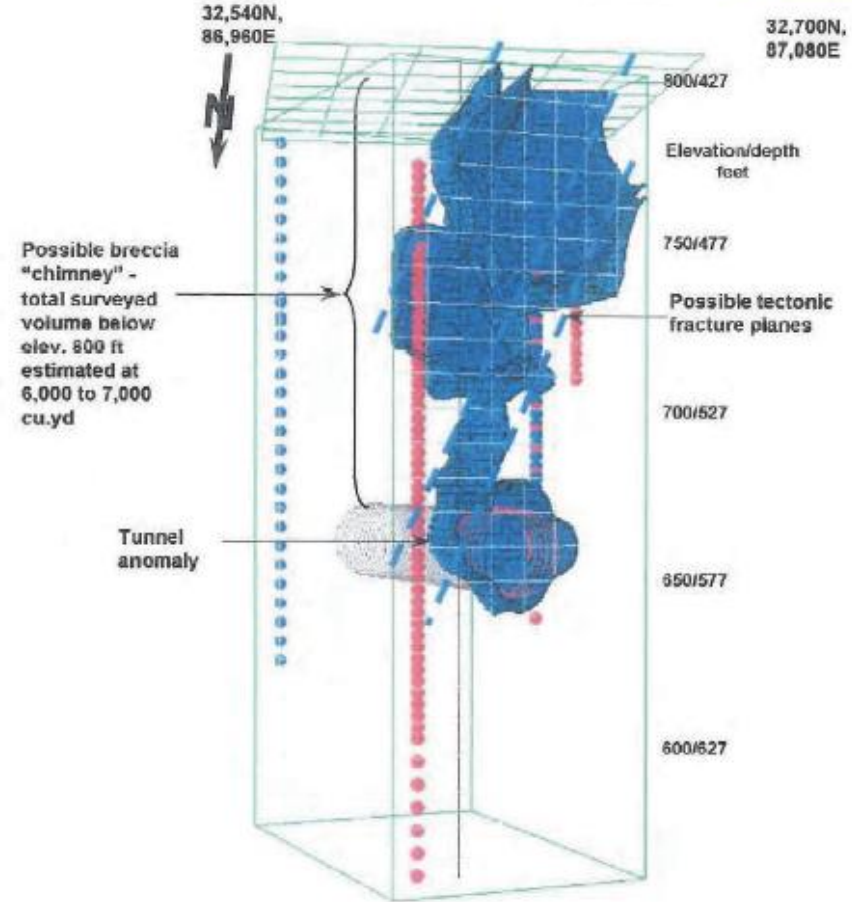
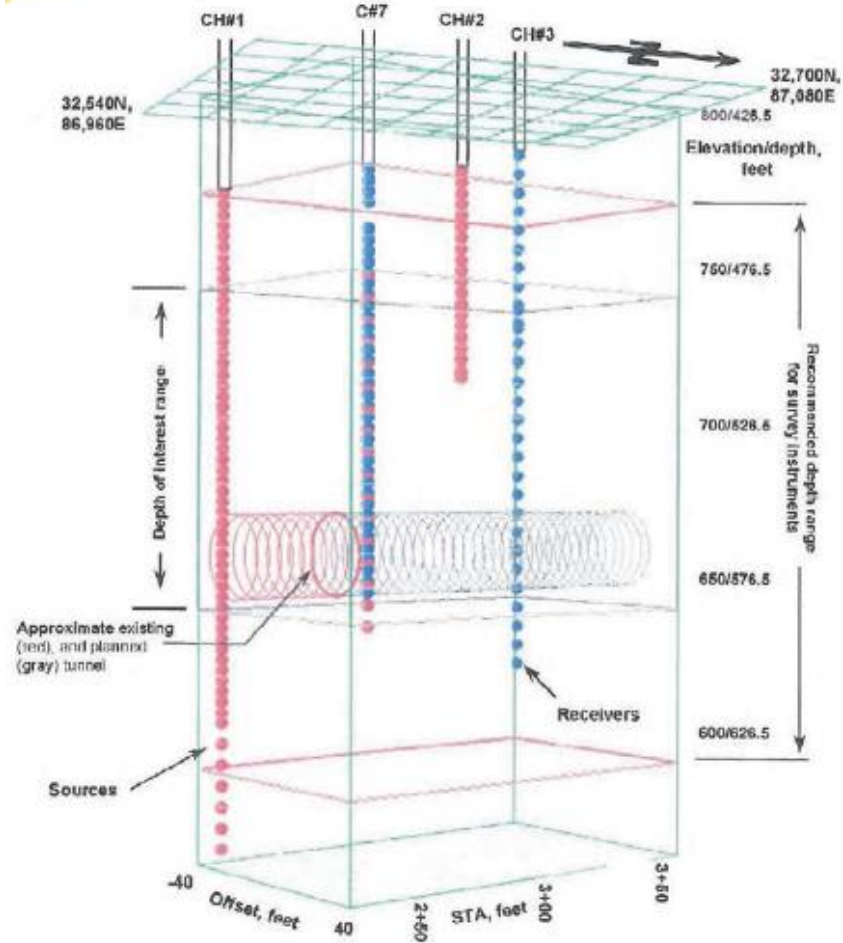


Çelik iksa

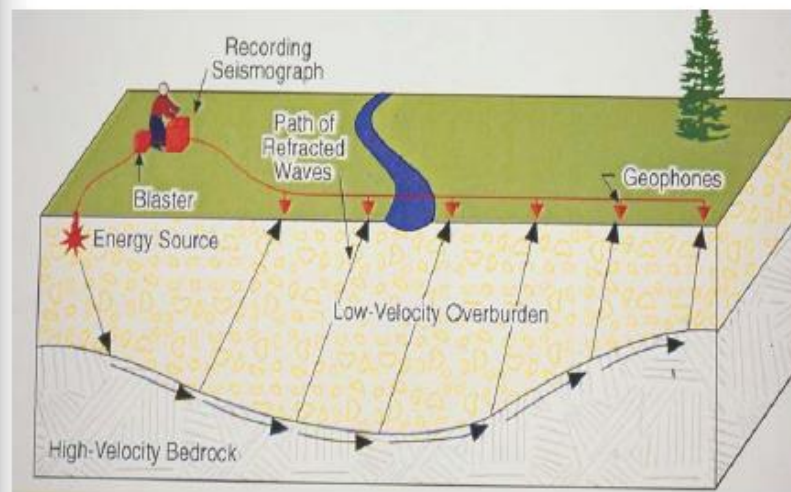
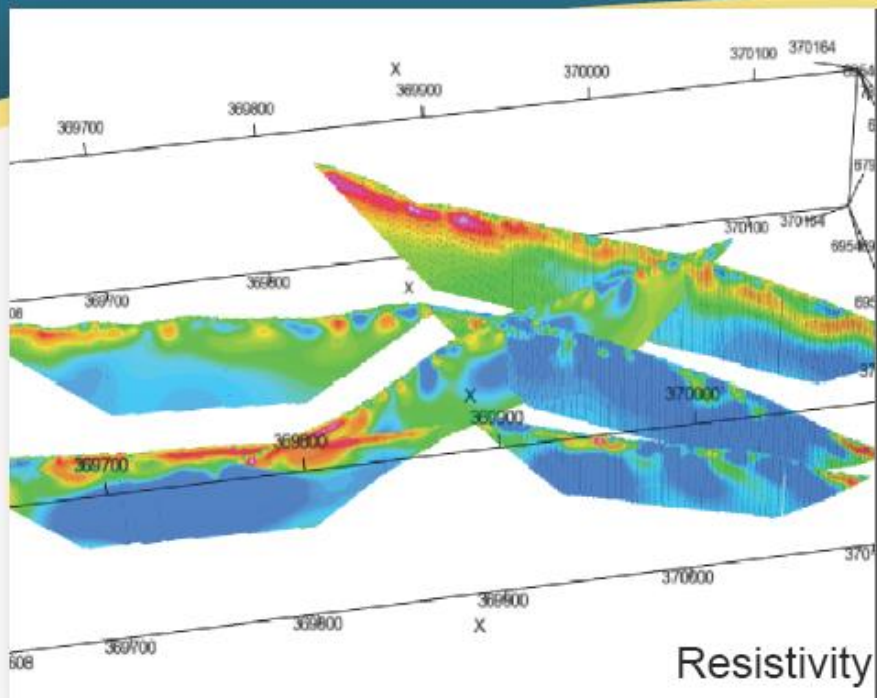


Ankraj

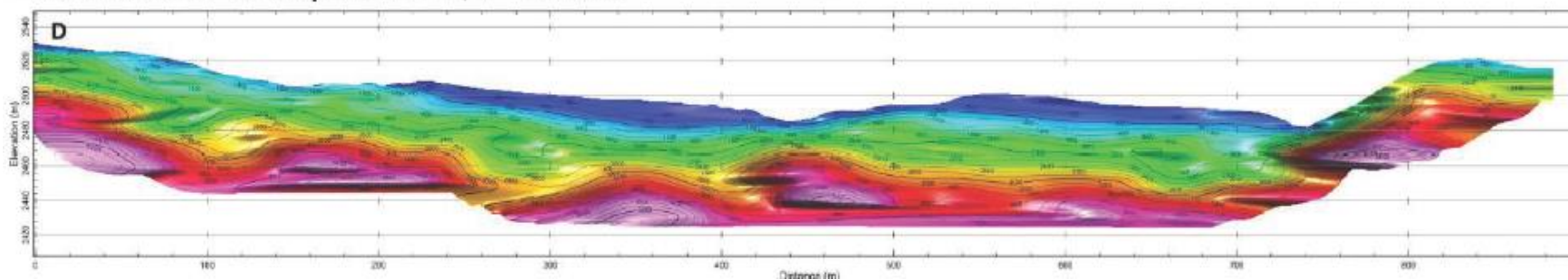
Cross Hole Geophysics/Tomography



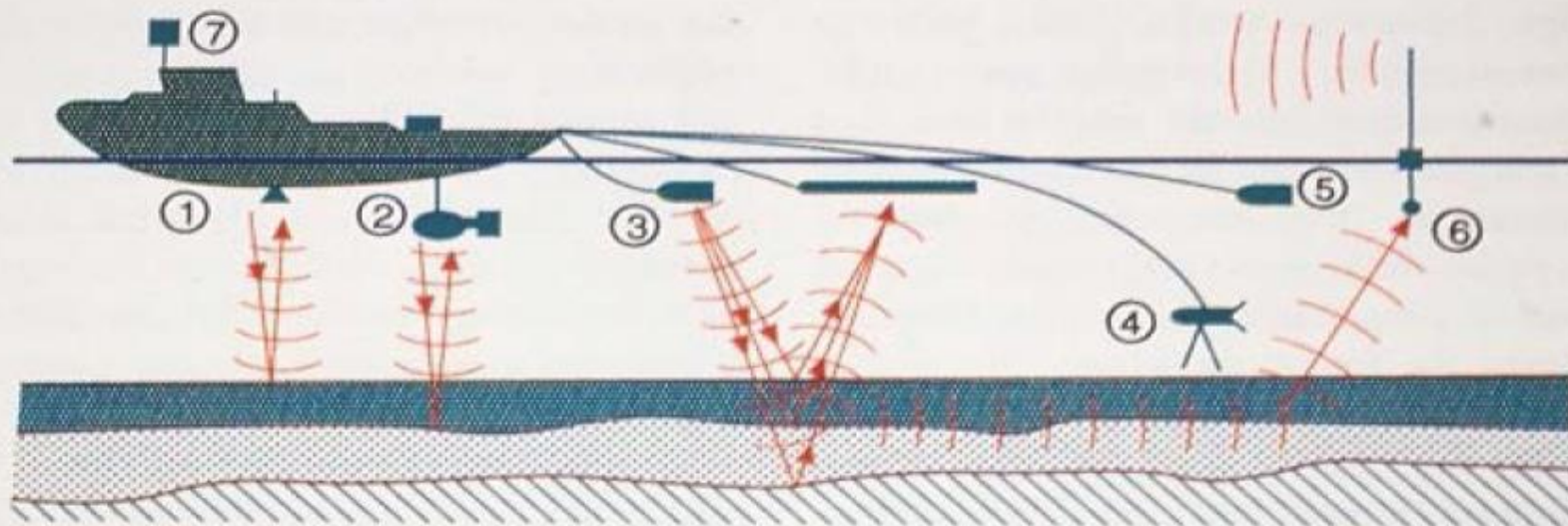
Seismic Refraction and Resistivity



Refraction Compression, P-Wave

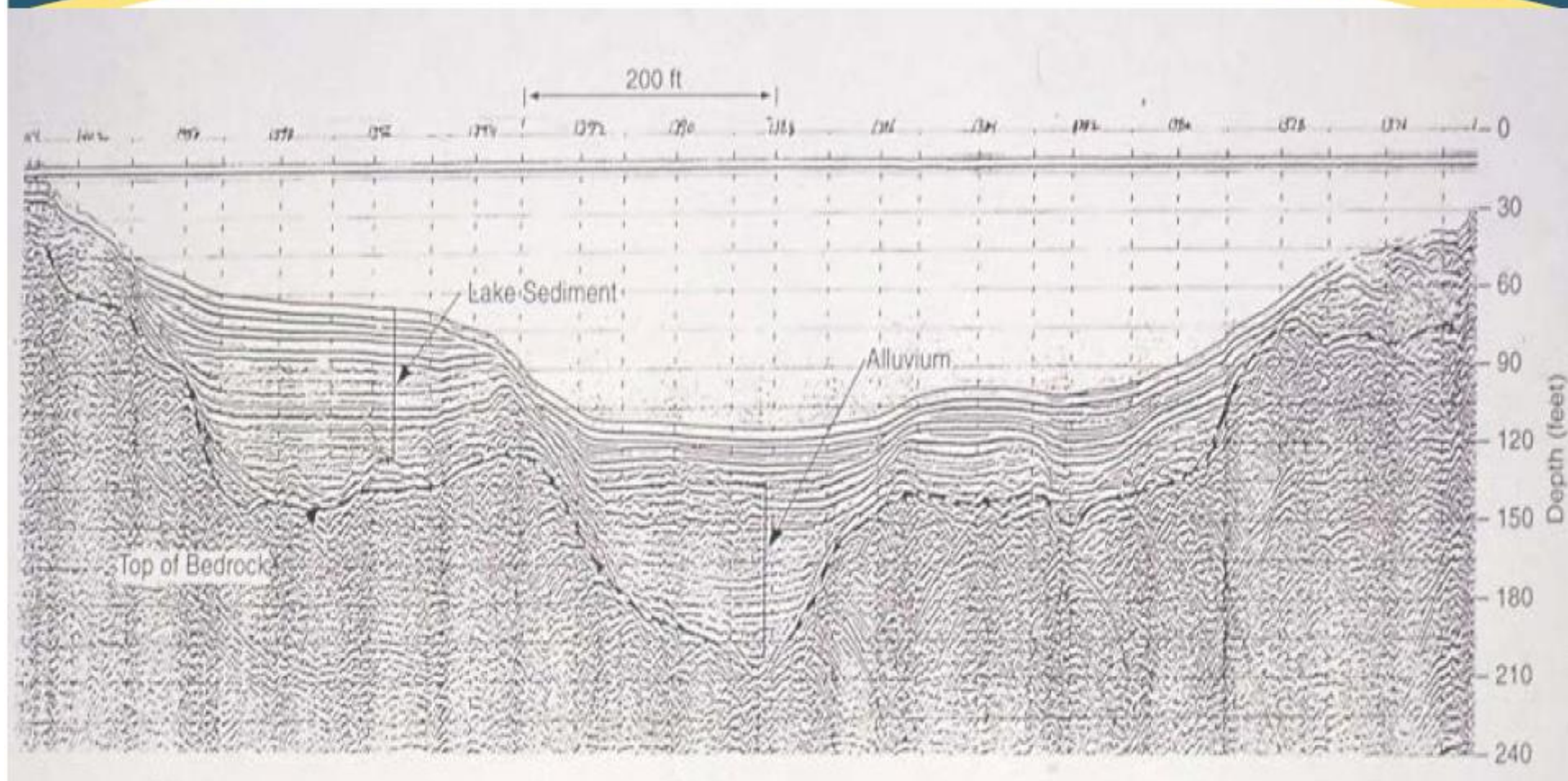


Marine Geophysics

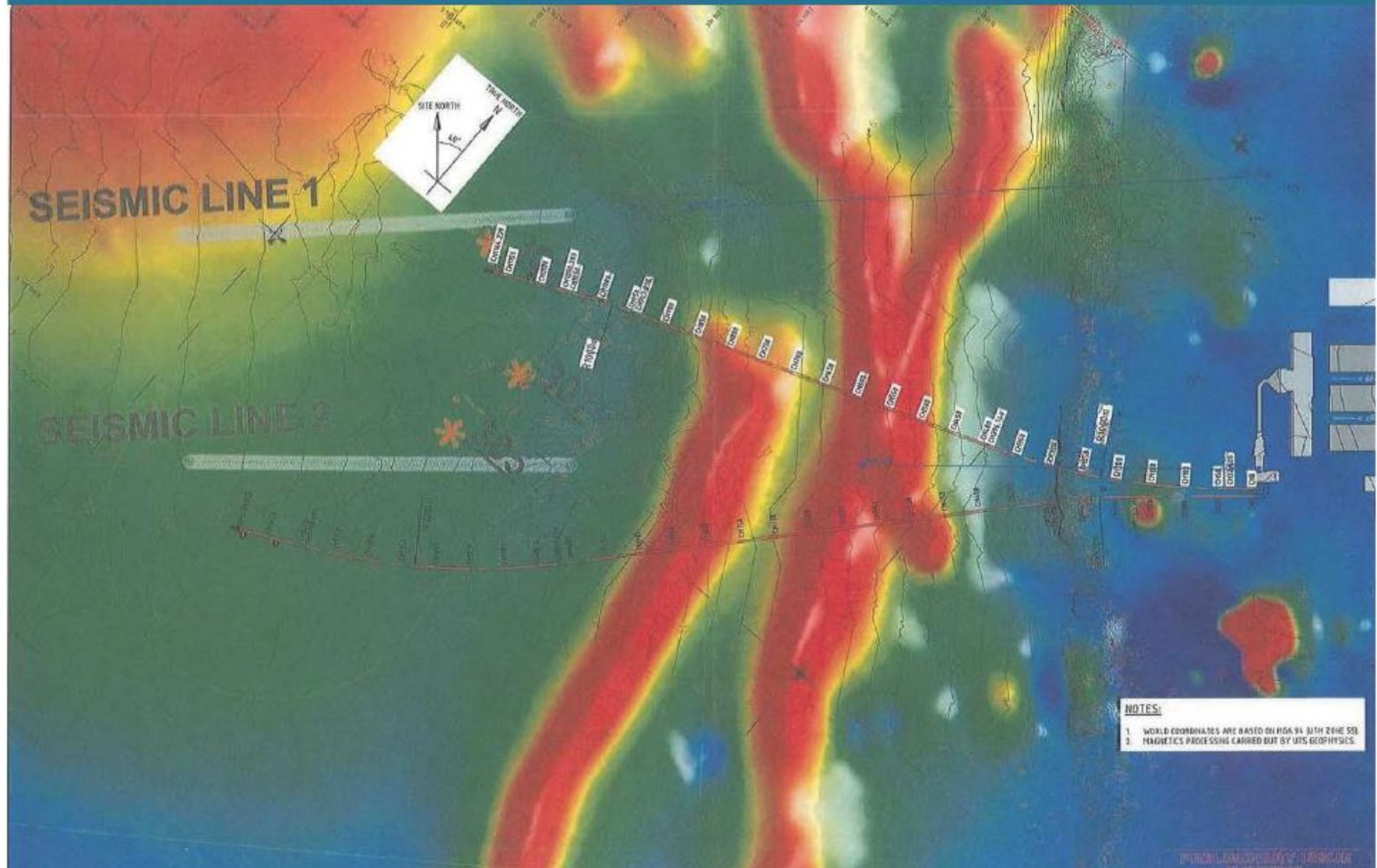


SYSTEM	INFORMATION	DEPTH/RANGE
① Echo Sounder	Water Depth	0-10 km below water surface
② High-Resolution Sub-Bottom Profiler	Shallow Geology	2-20 m below sea floor
③ Seismic Reflection Profiling System	Medium to Deep Geology	10-1000 m below sea floor
④ Side Scan Sonar	Sea-Floor Topography and Discrete Objects	50-500 m left and right of trackline
⑤ Magnetometer	Magnetic Characteristics of Geology or Discrete Objects	Variable depending on feature
⑥ Sonobuoy	Compressional Velocity of Geologic Units	10-1000 m below sea floor
⑦ Navigation System	Horizontal Position	10-200 km range

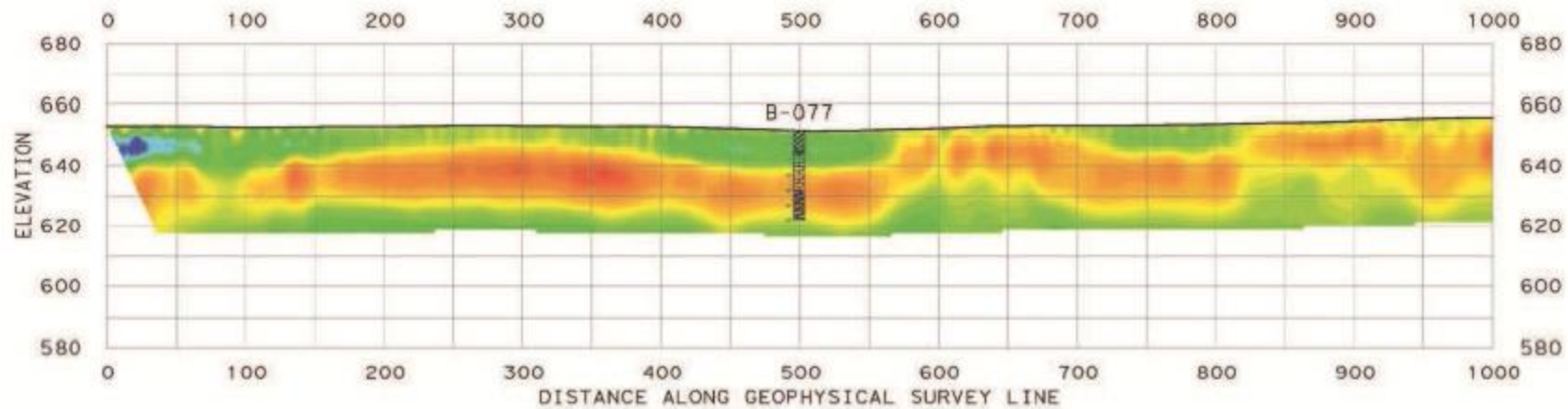
Seismic Reflection Profile



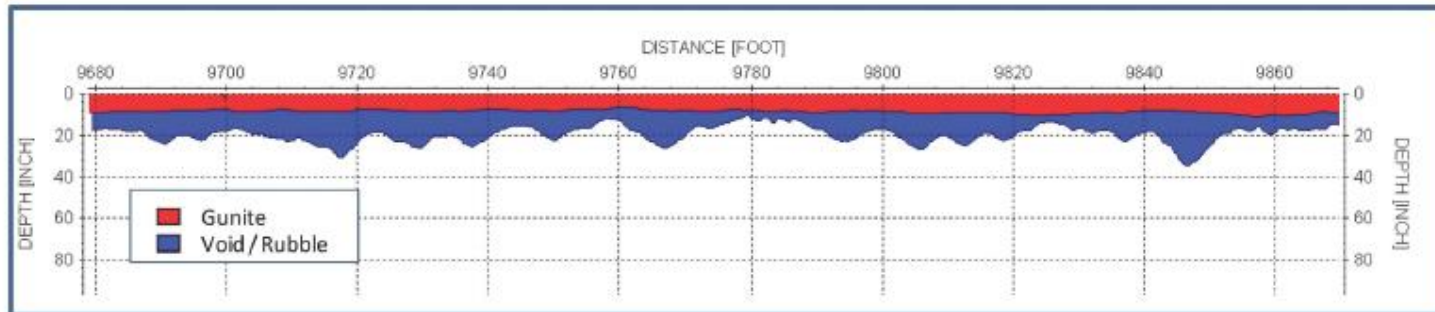
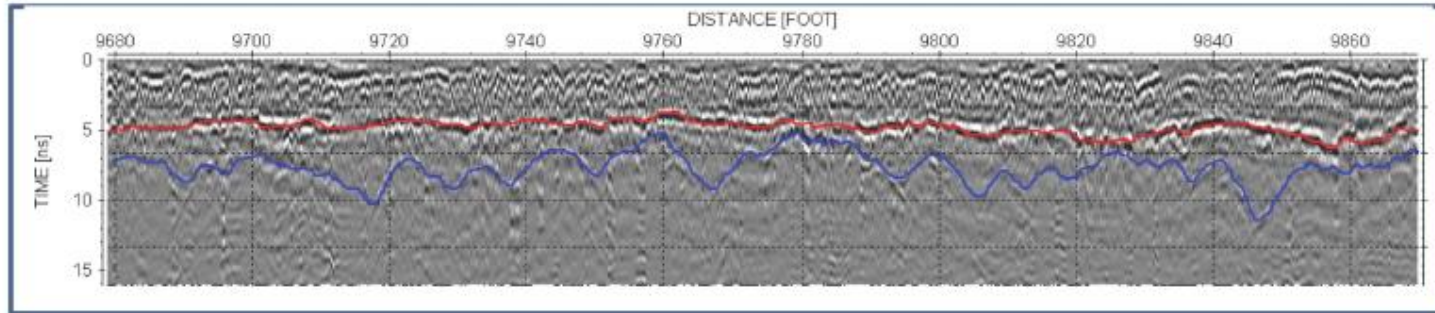
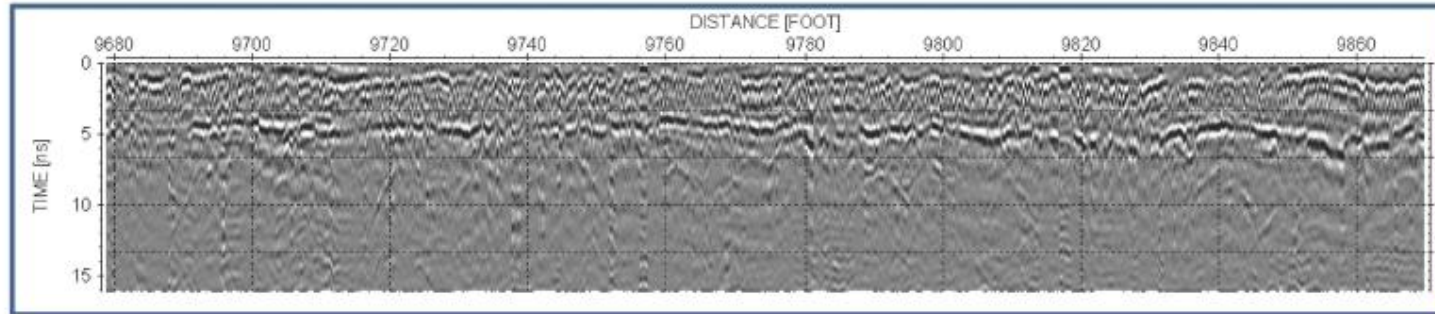
Magnetic Survey



3D Resistivity Imaging



Ground Penetrating Radar – (Example: Performed Inside Tunnel)



Pilot Tunnels

Buried Valley

Mill Valley

Chagrin Shale

Mill Creek

Mainline Mill Creek Tunnel, 23'-10" Dia.

To be Mined Mill Creek Main Tunnel, 23'-10" Dia.

Probe Holes

55 ft.

20 degrees

9-ft Dia. Exploratory Tunnel

Core hole 110-ft long

30 ft.



