

İNS106

İnşaat Mühendisleri için Jeoloji

Tünel jeolojisi

Prof. Dr. İnan KESKİN

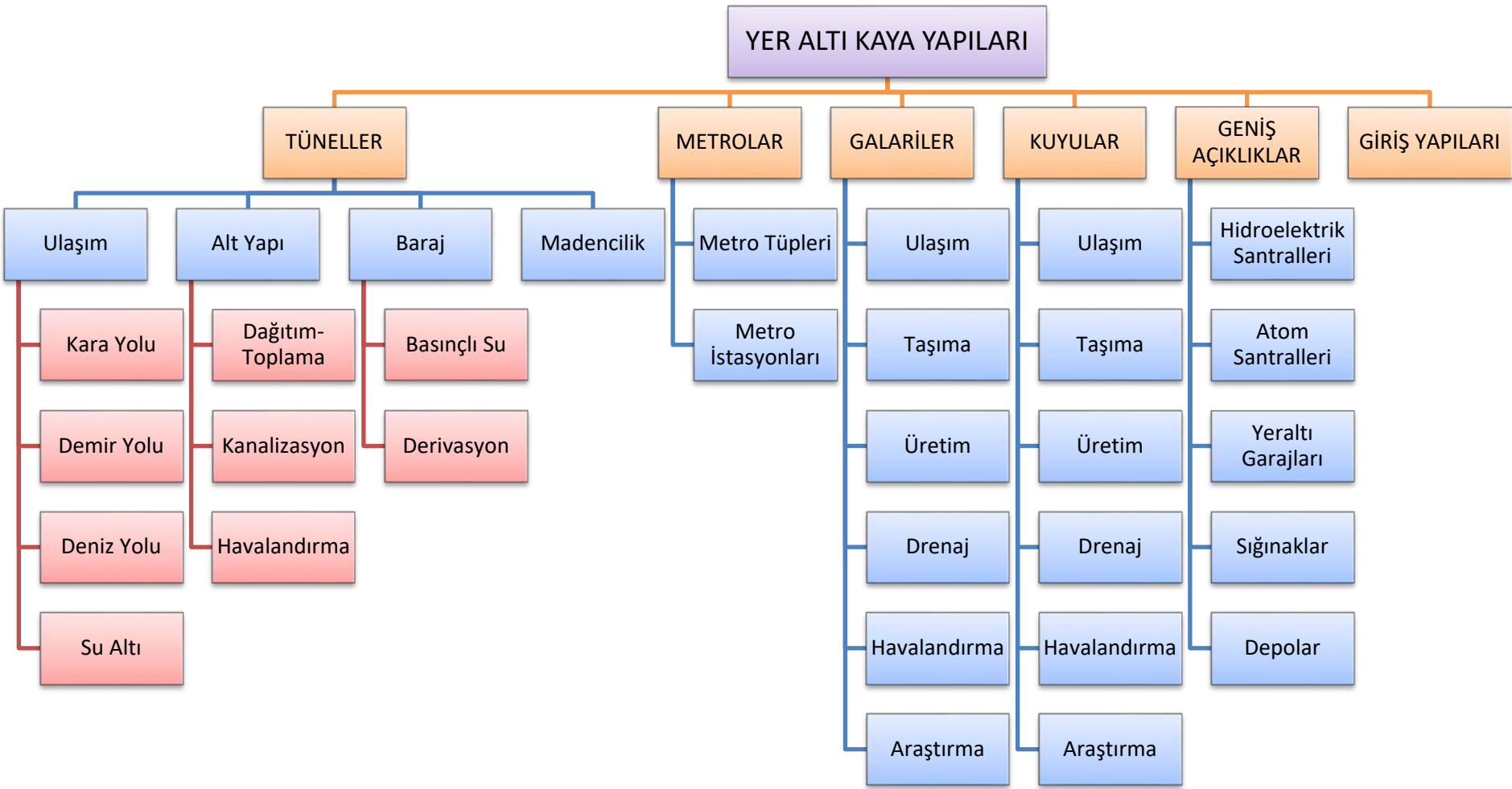
inankeskin@karabuk.edu.tr, inankeskin@gmail.com

www.inankeskin.com

Dersin Amacı Yer bilimlerinin temel kavramlarını inşaat mühendisliği temel perspektifinde aktarmak

İNS106 - İnşaat Mühendisleri için Jeoloji Haftalık Ders İçeriği	
Hafta 1:	Giriş; Jeolojinin tanımı-alt disiplinleri, İnşaat mühendisliği ile ilişkisi
Hafta 2:	Yerkürenin oluşumu, iç yapısı, bileşimi ve levha tektoniği
Hafta 3:	Yer kabuğunu oluşturan mineraller ve kayaç grupları
Hafta 4:	Kayaçların yapısı (birincil ve ikincil yapılar) ve Süreksizliklerin mühendislikteki önemi
Hafta 5:	Haritalar ve kesit çıkarımı (Jeoloji-Mühendislik Jeolojisi ve topografik haritalar)
Hafta 6:	Doğal afetlere giriş, Depremler
Hafta 7:	Kütle hareketleri ve heyelanlar
Hafta 8:	Yüzey suları ve Kıyı süreçleri
Hafta 9:	Yeraltı suları ve jeolojisi
Hafta 10:	Baraj ve rezervuar jeolojisi
Hafta 11:	Tünel jeolojisi
Hafta 12:	Sondaj tekniği ve korelasyonu
Hafta 13:	Kent planlamasında mühendislik jeolojisi
Hafta 14:	Çeşitli projeler kapsamında yapılan jeolojik çalışma örnekleri
Hafta 15:	Bu ders için Ara Sınav, 7. ve 15. haftalar arasındaki bir tarihte yapılır. Sınavın yapıldığı tarihten itibaren konular bir hafta ileri alınır.

YERALTI KAYA YAPILARI



TÜNEL

Giriş ve çıkış kısmındaki açıklıklar hariç tamamen kapalı yer altı geçitlerine tünel adı verilir. Daha geniş bir ifade ile Yer altındaki kalıcı açıklık ile bu açıklığın çevresindeki etkilenen ve etkileyen doğal ortamın, uygun kazı, iyileştirme, ve destekleme önlemleri ile birlikte oluşturduğu **güvenli, kalıcı ve denetlenebilir, ÜÇ BOYUTLU BİR TEKNİK SİSTEM** olarak tanımlanabilir.



TÜNEL

Mimar gözüyle TÜNEL;

“boyut ve biçimi ile kullanım ve görsel nitelikleri amaca göre tanımlanmış, içinden geçilebilen oyulmuş bir mekan”dır.

Bu yaklaşımda çevre kayaçları, ortam koşulları ve değişkenleri dikkate alınmamakta, çoğu kez taşıyıcı sistemler ve diğer teknik öğeler ile de doğrudan ilgilenilmemektedir.



TÜNEL

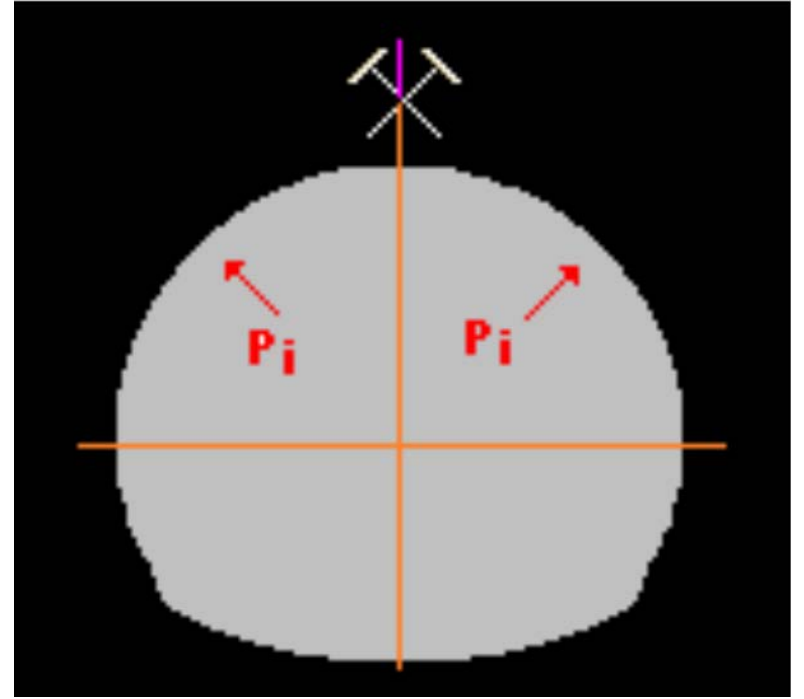
Madenci gözüyle TÜNEL

“içi boşaltılması (kazılması) gereken bir yeraltı açıklığı”dır.

- Tünel, bu kazı işlemleri sırasındaki desteklemenin (tahkimat), üretim ve imalat için gereken nakliye, havalandırma ve su atımı gibi çalışmaların yapıldığı bir yeraltı geçişidir.

- Madencilikte çevre kayaçları ve koşullarıyla ilgilenilmekle birlikte, temel hedef kazı-üretim verimliliği ve ilerleme hızı olduğundan, genelde deplasmanların küçük tutulması, konforun ve kalıcı stabilitenin sağlanması gibi beklentilerden uzaklaşmaktadır.

- Hatta bazen daha da ileri gidilerek, kazıyı kolaylaştırmak amacıyla gerilmeleri yoğunlaştıran köşeli kazı geometrileri ve oransız açıklık boyutları da seçilebilmektedir.

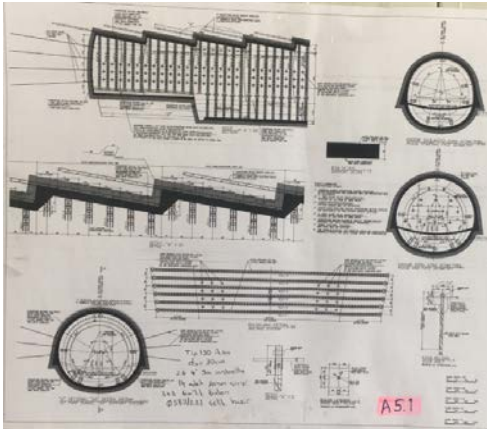
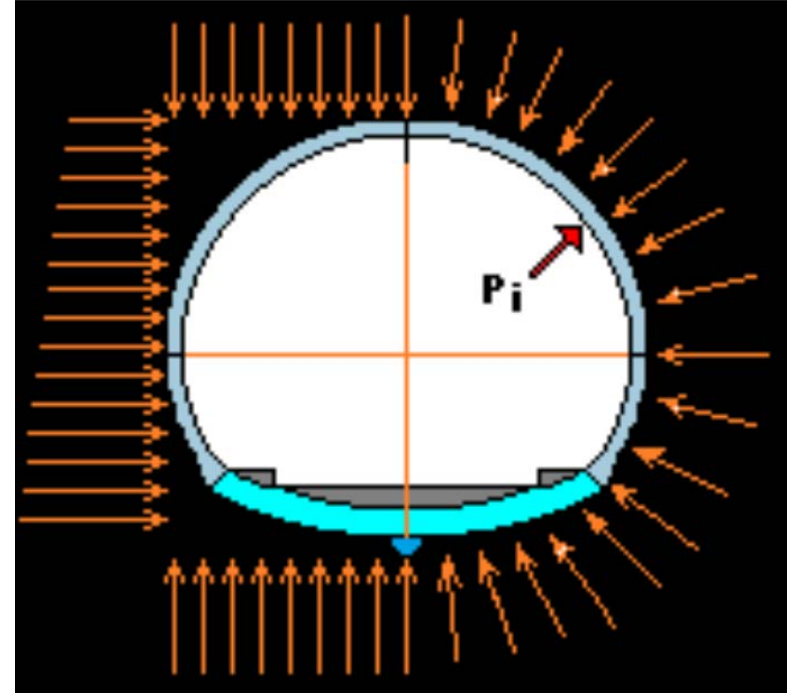


TÜNEL

İnşaatçı gözüyle TÜNEL

“Tanımlanmış olan yüklenme koşullarını karşılayan ve projesine uygun olarak dayanıklı ve nitelikli şekilde oluşturulması gereken bir TAŞIYICI SİSTEM” dir.

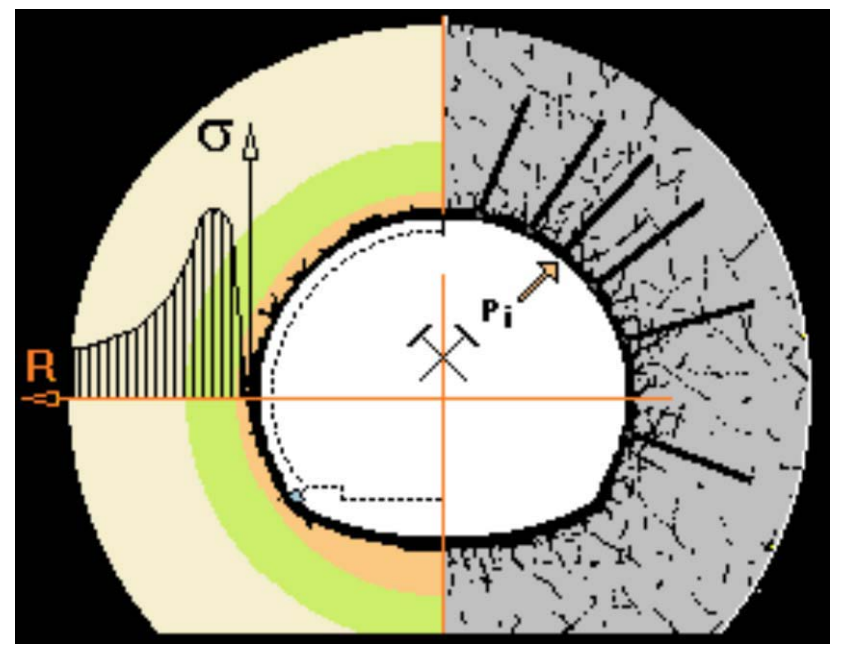
Bu yaklaşım tünellerin “içi boşaltılmış bir geçişin taşıyıcı iç ve dış kaplamaları” olarak anlaşılmasına ve statik hesapların doğru olması koşulunun tünelin yapımına yetebileceği anlayışına kadar varabilmektedir



TÜNEL

Günümüzün Gelişmiş Mühendislik Gözüyle TÜNEL

“Çevre kayaçlarıyla birlikte çalışan kalıcı nitelikteki bütünleşik bir jeoteknolojik sistem, **YERİÇİ GEÇİŞ YAPISI**”dır.

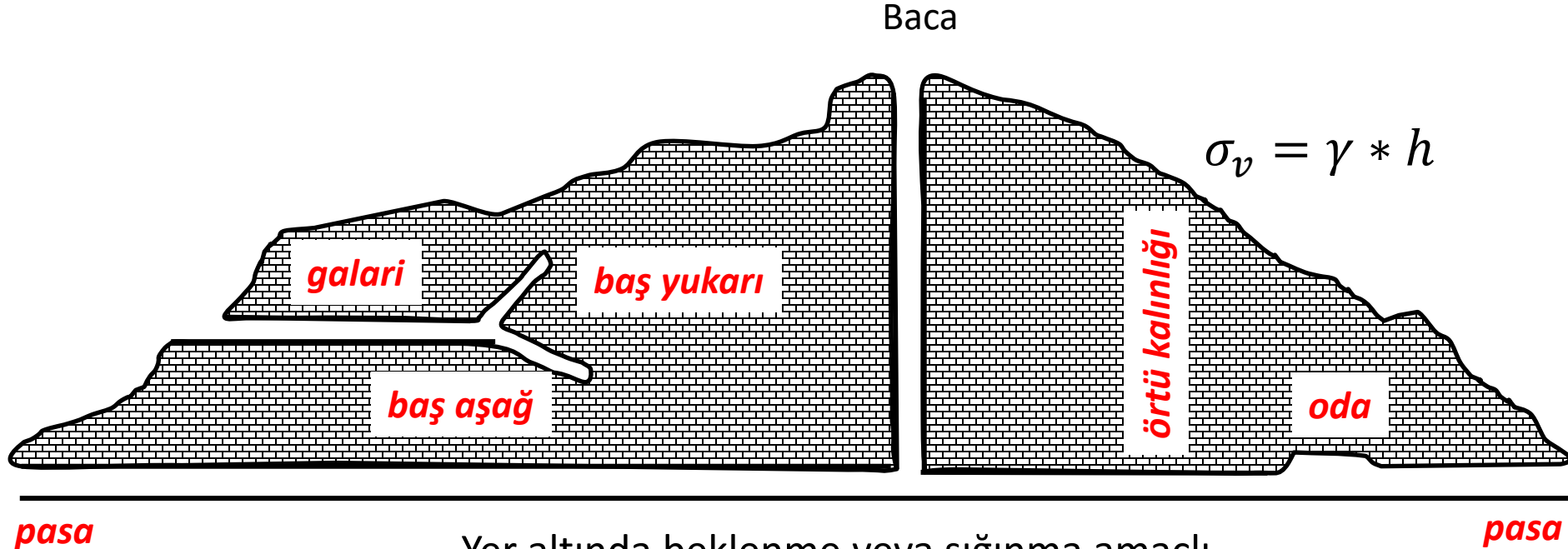


TÜNEL TERMİNOLOJİ

Tünelin üzerinde bulunan zemine **örtü**; bunun kalınlığına ise **örtü kalınlığı**, kazılarda çıkan malzemeye de **pasa** denir

Dik açılan yer altı kazılarına kuyu, **baca** veya **şaft** denir. Aşağıya eğimli olarak açılan galeriye **baş aşağı**; yukarıya doğru açılan galeriye ise **baş yukarı** adı verilir.

GALERİ: Çoğunlukla maden üretimi amacıyla açılan tek ucu açık yeraltı yapılarıdır.

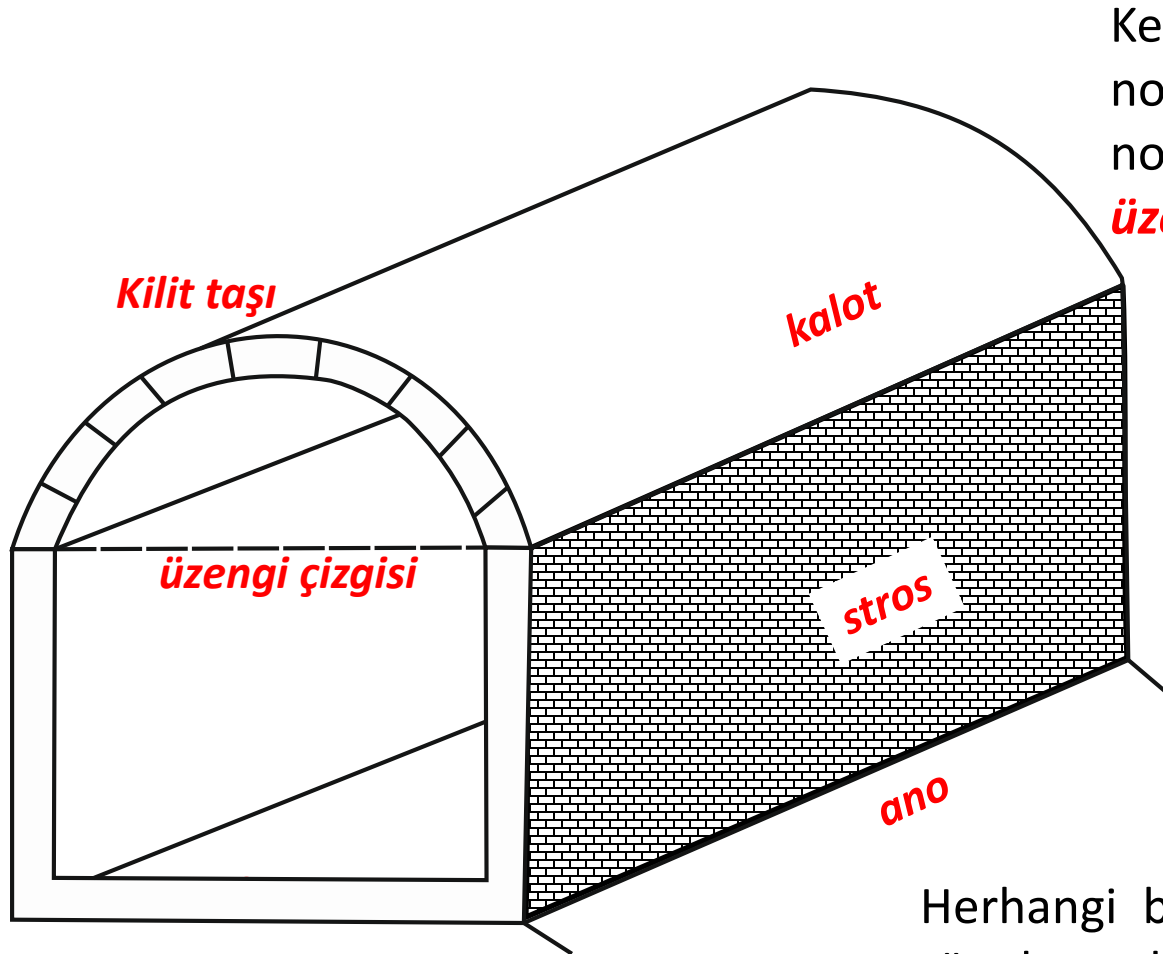


Yer altında beklenme veya sığınma amaçlı boşluklara **oda** veya **cep** adı verilir.

TÜNEL TERMİNOLOJİ

Tünelin Karakteristik Kısımları

Bir tünel kesitinin alt kısmına **taban (radye)**, üst kısmına **tavan (kemer)**, yan kısımlarına ise **ayak (duvar)** denir



Kemerin ayaklarla birleştiği noktaya **üzengi**, üzengi noktalarını birleştiren çizgiye **üzengi çizgisi** adı verilir.

Üzengi çizgisinin üstünde kalan kısma **kalot**, altında kalan kısma ise **stros** adı verilir.

Herhangi bir yöntemle bir defada açılan tünel uzunluğuna **ano** denir.

TERMINOLOJİ

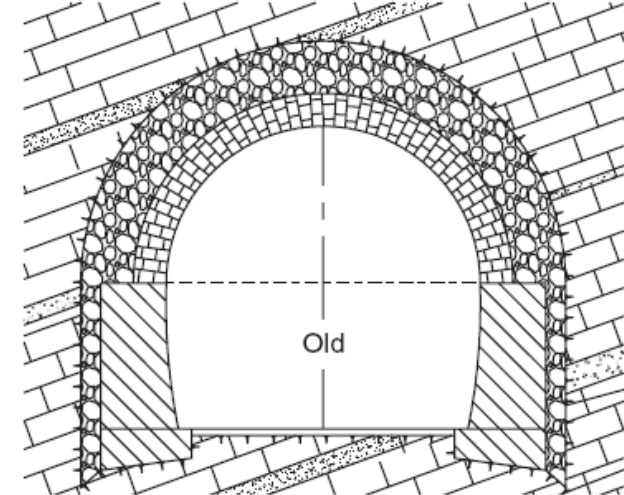
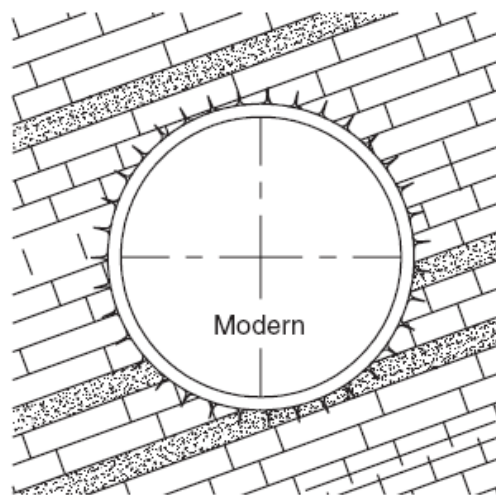
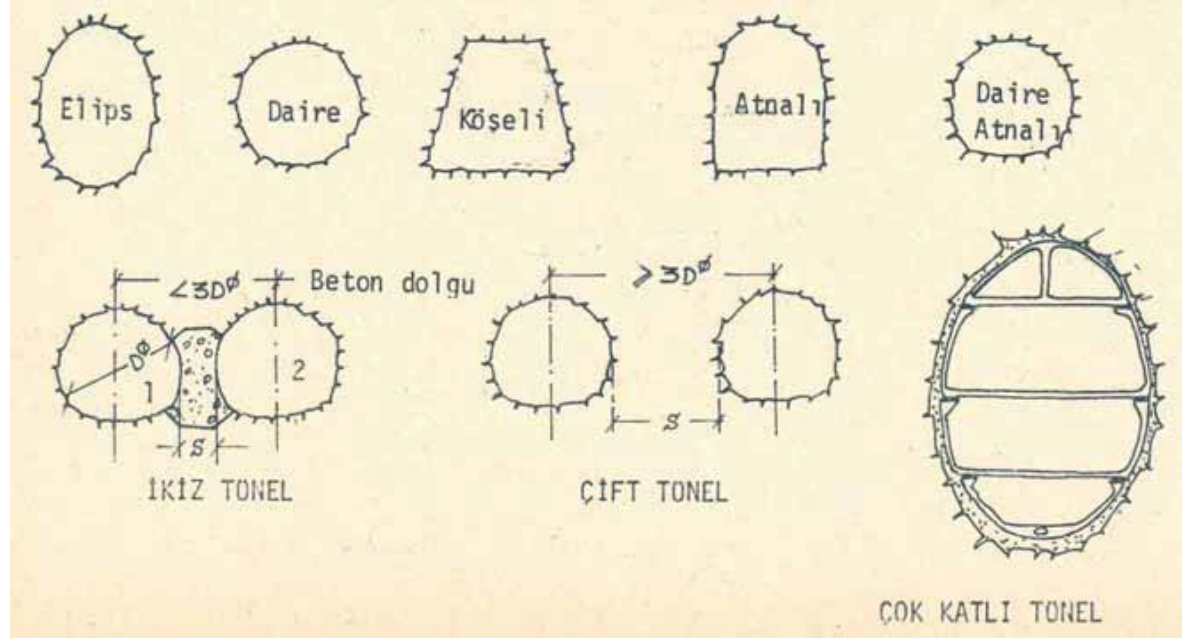


TERMİNOLOJİ

Tünel kesitleri değişken olmakla birlikte, çoğunlukla 6 m ile 8 m arasında değişmektedir. Kazıda tünelin dairesel (modern) olması daha ekonomiktir

Dairesel Kesitlerin Avantajları

- 1) Makina ile açılmaları daha kolaydır,
- 2) Köşesiz biçimde olduğundan, kazı kesitinde oluşan gerilme kemeri, büyük gerilme yoğunlaşmaları oluşturmaz,
- 3) Hidrostatik basınç altında en iyi davranışı gösterirler,
- 4) Teğetsel gerilmeler azdır,
- 5) Havalandırma açısından iyi, sürtünme kaybı daha azdır,
- 6) Enerji tasarrufu diğer kesitlere nazaran daha iyidir,
- 7) Daha fazla malzeme yerleştirilmesi mümkündür dolayısıyla ölü hacimler de kullanılabilir

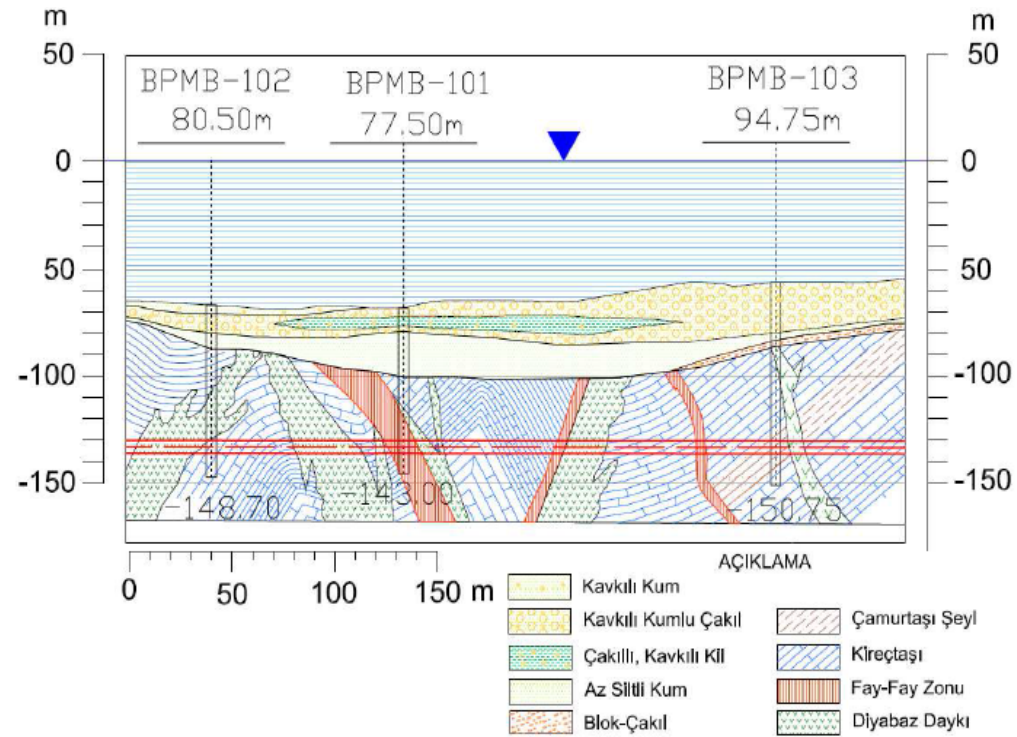


JEOLOJİK VE JEOMEKANİK TÜNEL İNCELEMELERİNİN TEMEL HEDEFLERİ

Herhangi bir tünel projesinde yeterli bir planlama yapmak ve ekstra maliyetlerden, kazalardan ve kestirilemeyen gecikmelerden kaçınmak için sahanın jeolojik bilgilerinin eksiksiz biçimde mevcut olması gerekir.

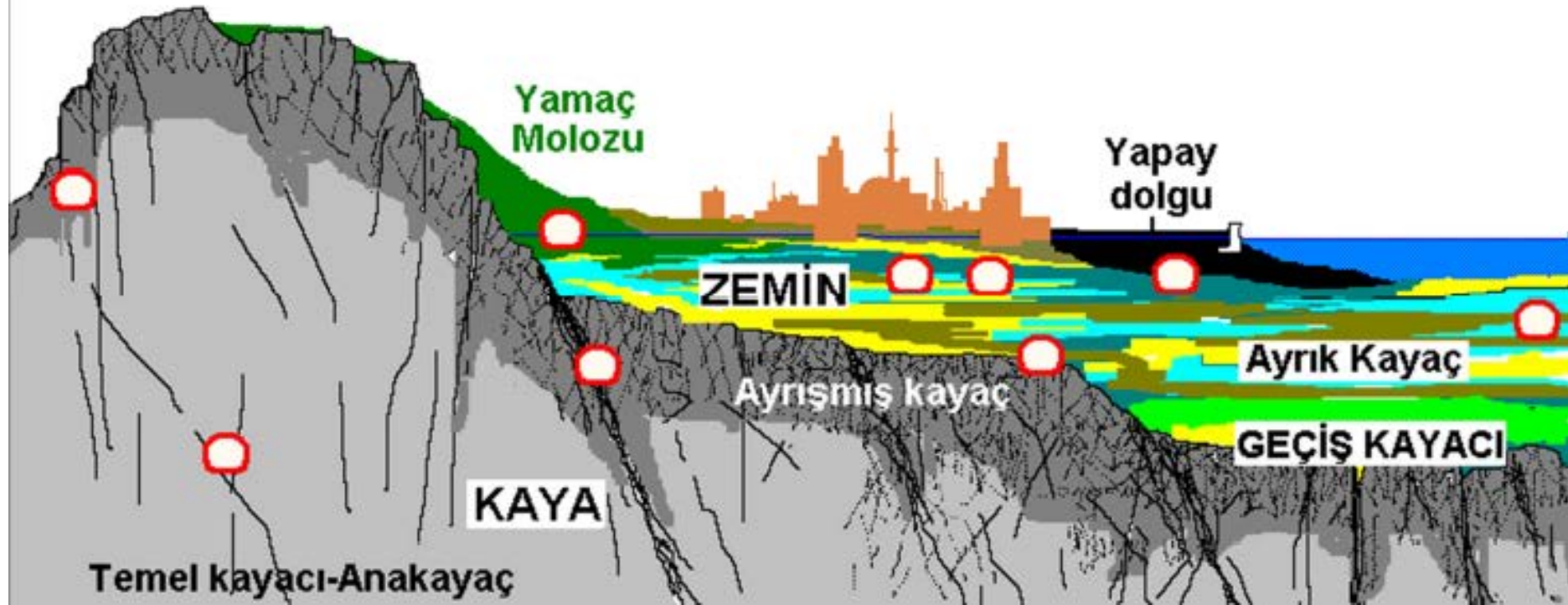
Tüneller için yapılan Jeolojik ve jeomekanik incelemelerin temel amacı

1. Jeolojik, jeomekanik ve hidrojeolojik koşulları anlamak,
2. Özel durumları veya daha karmaşık jeolojiye sahip alanları teşhis etmek,
3. Jeomekanik parametreleri ve zonları tanımlamak,
4. Kazı yöntemleri ve destek tasarımı için jeomekanik ölçütleri ortaya koymak
5. İyileştirme, güçlendirme, drenaj veya sızdırmazsızlık için yer iyileştirme yöntemleri önermek,
6. Kazı sırasında izleme ve kontrol sağlamak



Şeklinde sıralanabilir.

TÜNEL JEOLojİSİ ÇALIŞMALARI



Hiçbir tünel diğerine benzemez!

TÜNEL JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI

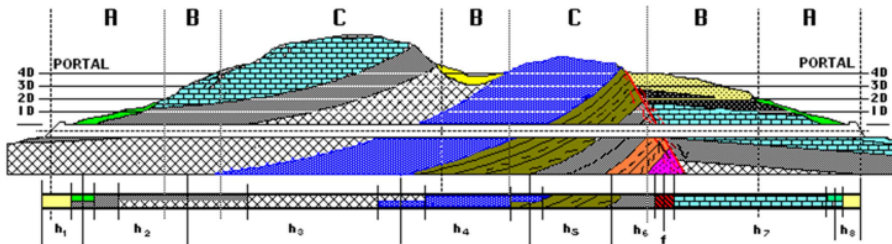
Tünel Jeolojisi Çalışmaları

Tünelde maliyete etki en önemli parametre jeolojik koşullardır. İnşa çalışması öncesinde jeolojik çalışmalar iyi ve doğru yapılmışsa maliyet hesabı gerçeğe yakın ve beklenmeyen durumlar ile karşılaşma olasılığı az olur. Düz yapılan jeolojik çalışmalar mevcut hattaki sorunların önceden tespit edilmesine olanak sağlayarak güzergahın değişmesine neden olabilir.

Bu çalışmalar kapsamında **Sondajda kuyu aralıkları 500–1000 m’ dir. Kuyu derinliği , tünelin 20–50 m altına inecek kadar olmalıdır.**

Jeolojik çalışmalar 4 ana bölüme ayırmak mümkün olmaktadır.

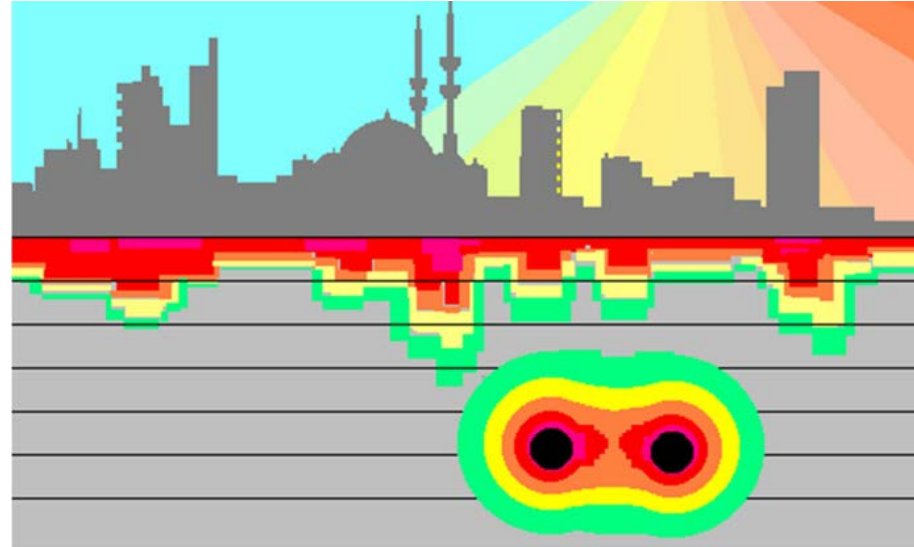
1. Ön jeolojik araştırmalar
2. Ayrıntılı jeolojik araştırmalar
3. Tünel açılırken yapılan çalışmalar
4. Tünel açıldıktan sonra yapılan çalışmalar



Tünel projelerinde bölgeleendirme - Project zones of a tunnel

A: Sığ Tünel veya Giriş Bölgesi
Shallow tunnel or portal area
B: Yüzeve Yakın Tünel (20<H<40)
Near surface tunnel
C: Az Derin, Derin, Çok Derin Tünel (H>>40)
Nearly deep, deep, very deep tunnel

$h_1 - h_8, f$:
HOMOJEN BÖLGELER
ve FAY ZONLARI
Homogeneous Zones
and Fault Zones



TÜNEL JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI

Ön Jeolojik Çalışmalar/ Jeoloji- Mühendislik Jeolojisi modelinin oluşturulması

Tünel güzergahının belirlenmesine yönelik çalışmalardır. Güzergah ve dolayında yüzey jeolojisi araştırmalarına odaklanır.

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
- Hidrojeolojik durum: Yerüstü ve yeraltı durumu, kimyasal bileşimleri, akiferler, kaynaklar, debileri ve drenaj şekilleri
- Güzergahtaki kayaların kayaçların mühendislik özellikleri (fiziksel, mekanik, statik özellikleri, delinebilme kabiliyetleri)
- Örtü kalınlığı ve doğal gerilmeler
- Isı sorunu
- Gaz sorunu
- Depremsellik

TÜNEL JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI

Ayrıntılı Jeolojik Araştırmalar/Jeomekanik-jeoteknik Modelin Oluşturulması

Ayrıntılı çalışmalar sırasında, tünel güzergahının 1/5.000 ve 1/1.000 ölçekli jeoloji haritaları yapılır. Yeraltı araştırmaları; sondaj, yarma, kuyu, galeri ve jeofizik yöntemlerden yararlanılır.

Kayaçların;

- Litolojik ve petrografik özellikleri (Tuz, jips, anhidrit, kireçtaşı, serpantin, kil gibi kayaların tünel boyunca bulunup bulunmayacağı ve karstik oluşumların varlığı saptanmalıdır.)
- Süreksizliklerin mühendislik özellikleri
- Ayırışma derecesi ve derinliği,
- Sertlik ve kazılabilirlik özellikleri
- Kazı yöntemi ve makine seçimi
- Yeraltı su seviyesi, kaynaklar, suların kimyasal bileşiminin beton ve çimentoya etkileri, debileri ve ısıları, ortamın geçirgenliği
- Kayaçların suya karşı hassasiyetleri (erime, şişme-kabarma, karstlaşma)
- Sondaj ve kazılarda arazi deneyleri, alınan örneklerde ise laboratuvar deneyleri ile fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini
- Kazı malzemesinin (pasa), kaplamalarda agrega olarak kullanılabilirliği
- Tünel destek türleri ve yerleri

hakkında ayrıntılı sayısal veriler toplanır.

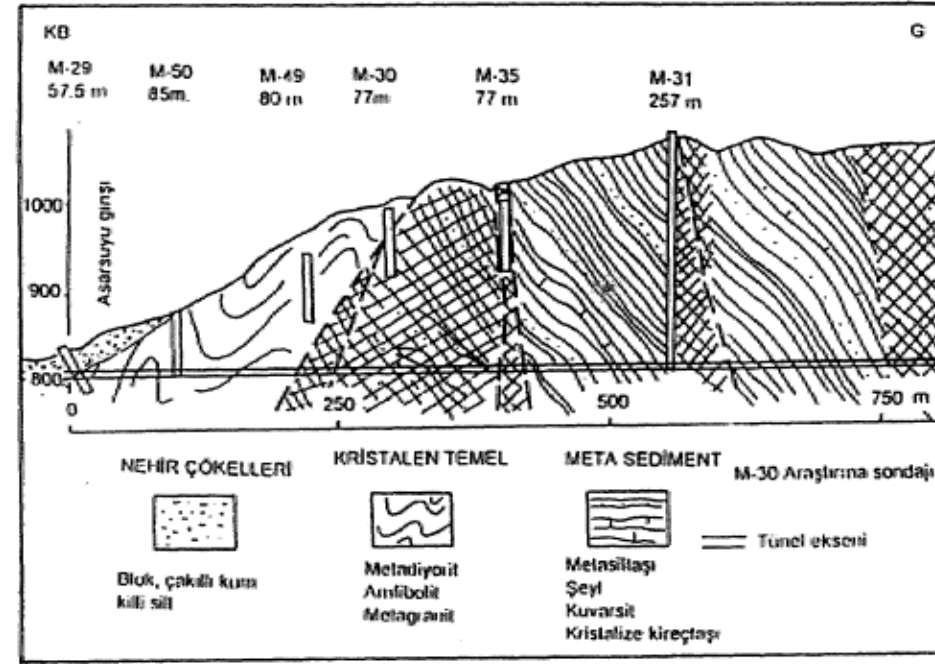
<http://www.youtube.com/watch?v=JiWwUCa4tfs>

<http://www.youtube.com/watch?v=E0JtYzDk9dc>

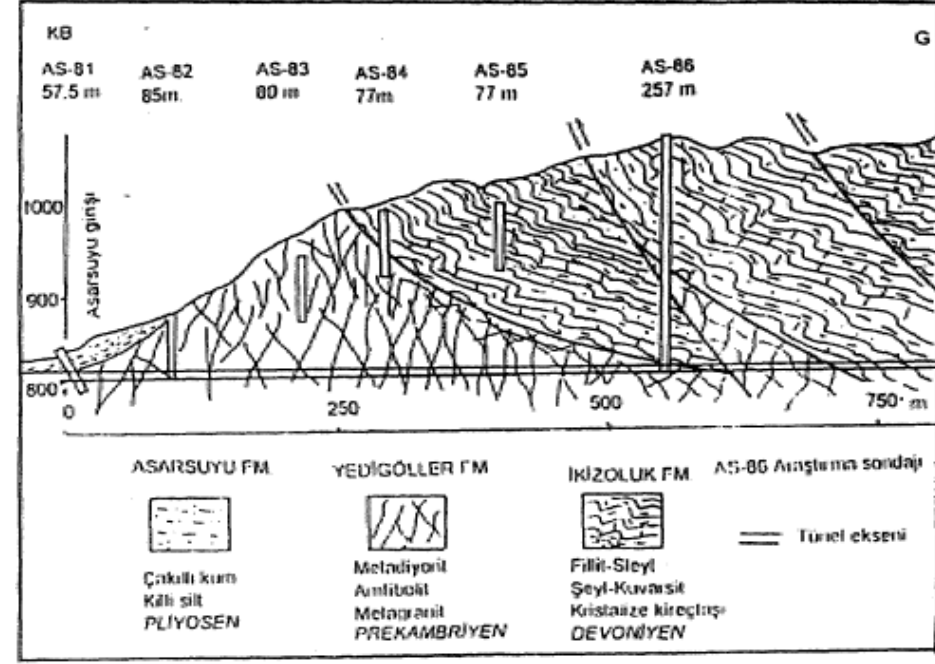
TÜNEL JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI

Ayrıntılı Jeolojik Araştırmalar/Jeomekanik-jeoteknik Modelin Oluşturulması

Tünel, jeoloji kesiti hazırlarken, başlıca güzergah ve çevresini etkileyen tektonizmanın mutlaka, değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Ancak bu durumlarda sondaj verilerine göre tahmin edilen jeolojik kesiflerin doğruluk derecesi, artmaktadır. Bolu tüneline bölgenin tektonik rejimi ve yeterli sayıda ve derinlikte-sondaj yapılmaması tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşullarının farklı olmasına neden olmuştur



Bolu tüneline tahmin edilen jeolojik kesit (Kleberger 1992)



Bolu tüneline gerçekleşen jeolojik kesit (Dalgıç ve Gözübol, 1996)

TÜNEL JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI

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 sonucu iksa tipi, beton kaplama, kaya bulonu, püskürtme betonu, tel kafes, çelik kaplama gibi tetbirlerin hangisinin veya hangilerinin gerekli olduğuna karar verilir.

Tünelin bitiminden sonra zaman zaman gözlemler yapılarak, kritik yerlerde olabilecek deformasyonlar izlenerek, gerekli önlemler süreç içinde uygun zamanlarda alınarak yapının mühendislik ömrü artırılır.

JEOLJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Kıvrımların Etkisi

Tünel güzergahının ve boyutlarının belirlenmesinde gerilmelerin şiddet ve doğrultusu önemli olmaktadır. Gerilmelerin şiddet ve doğrultuna da yapısal unsurlar etki etmektedir.

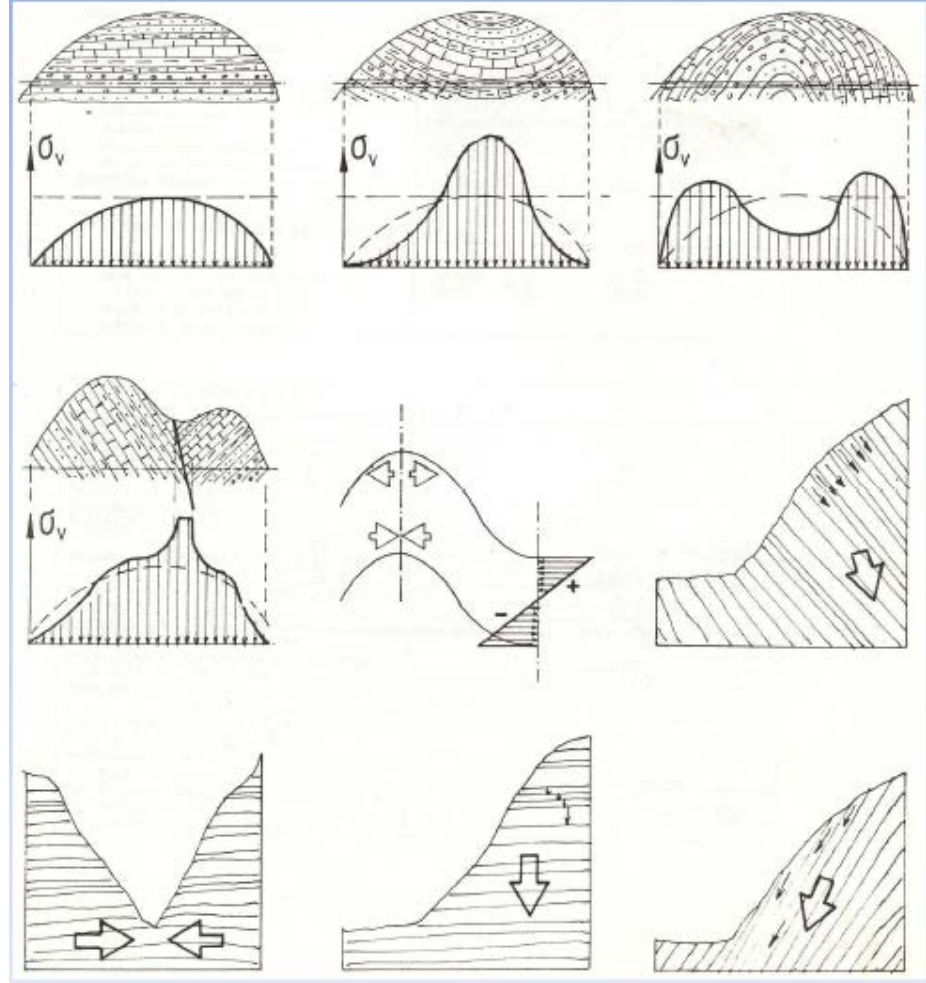
- ❖ Kıvrımlar
 - Senklinal
 - Antiklinal
- ❖ Faylar
- ❖ Tabakalar

Bu yapılar, tünel eksenine ve kemerine farklı basınç gelmesine sebep olur, aynı zamanda yeraltı sularının birikmesine veya kaçmasına da etki yaptıkları için sahadaki özellikleri tanımlanmalıdır.

Antiklinallerde kaplamaların üzerine gelecek basınç az, yeraltı su seviyesi düşüktür. Senklinalerde ise 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.

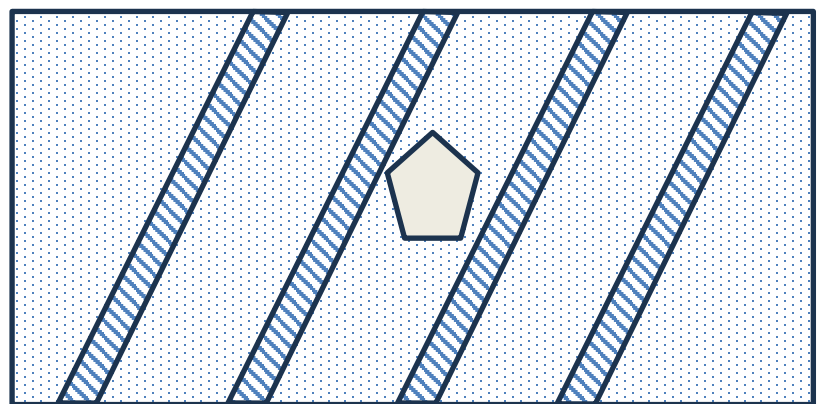


JEOLJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Kıvrımların Etkisi

Genel olarak ifade etmek gerekirse *jeolojik yapının tünel eksenine paralel olması duraylılık koşulları açısından elverişsiz* ortamları oluşturur. Ayrıca duraysızlık ile ilgili problemlerin çoğunluğu tüneli kesen süreksizliklerden ileri gelmektedir.

ELVERİŞSİZ YAPISAL YÖNELİM

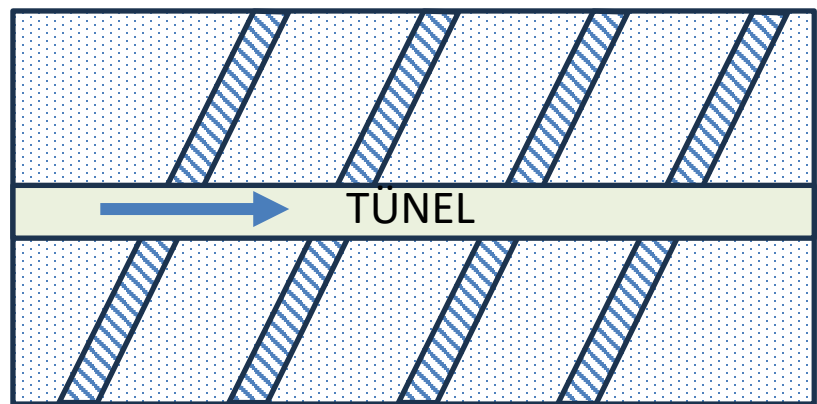


Yapıya paralel tünel

SENKLİNAL

- * Elverişsiz gerilme dağılımı
- * Kıvrım eksenine doğru su akımı

UYGUN YAPISAL YÖNELİM



Yapıya dik tünel

ANTİKLİNAL

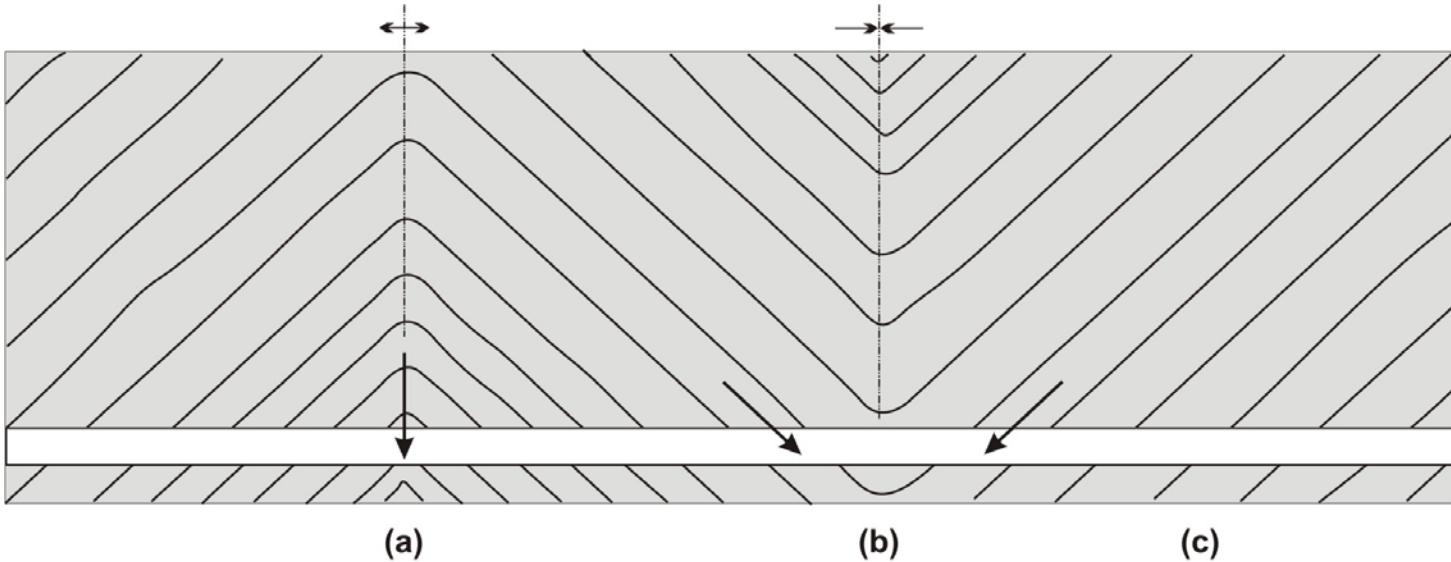
- * Uygun Gerilme Dağılımı
- * Kıvrım ekseninden uzağa doğru su akımı

JEOLJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Kıvrımların Etkisi

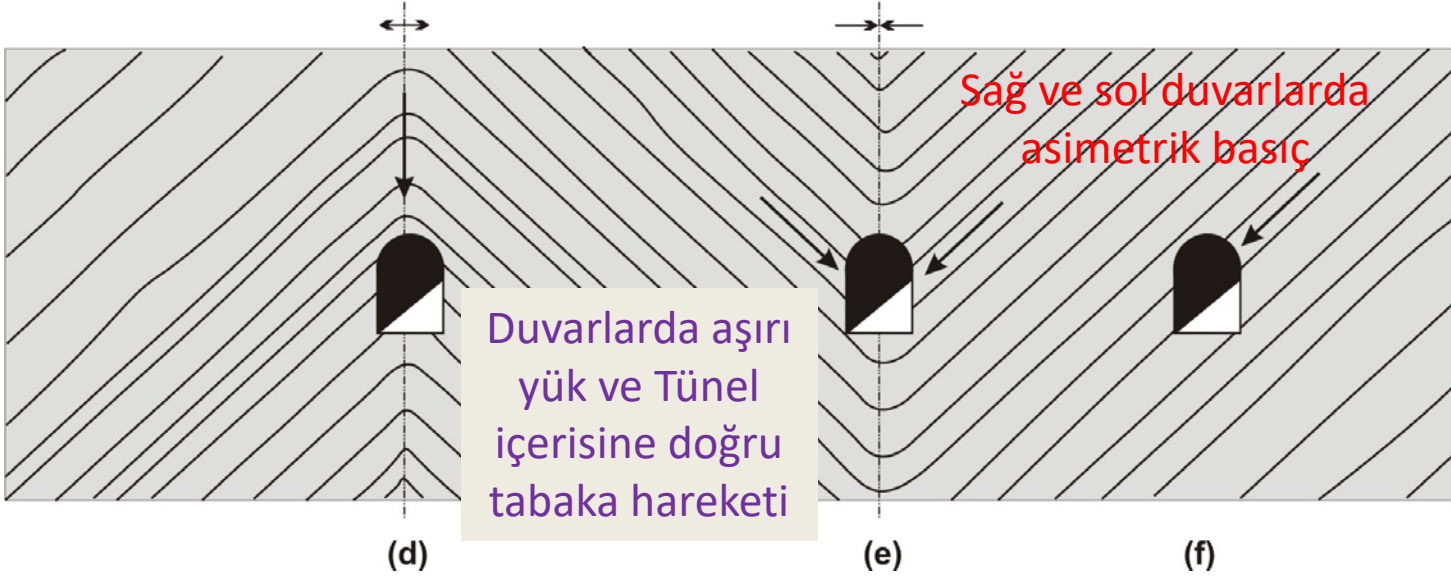
Kıvrım Eksenine İle İlerleme Yönü Dik ve İlerleme Yönünde Tabaka Eğimleri Mevcut

Tabakalanma tünelle girişine doğru ise ilerleme kolay ancak tünelle içine doğru blok kayması muhtemel



Kıvrım Eksenine İle İlerleme Yönü Paralel

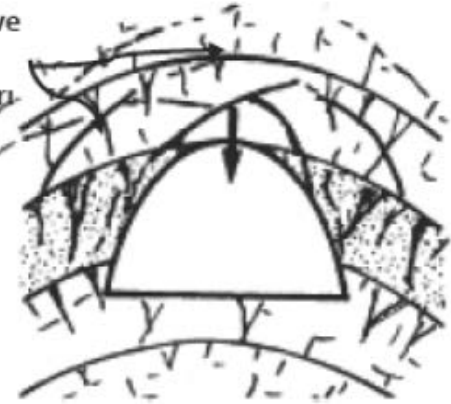
Tünelle tavanında büyük yükleme ancak duvarlar daha duraylı



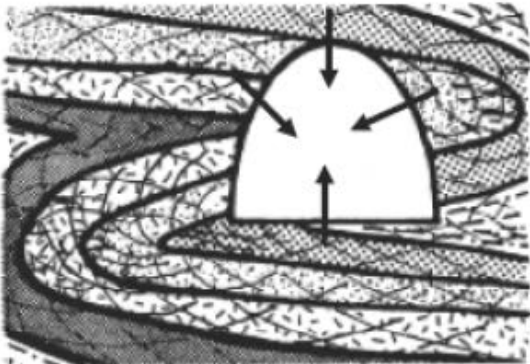
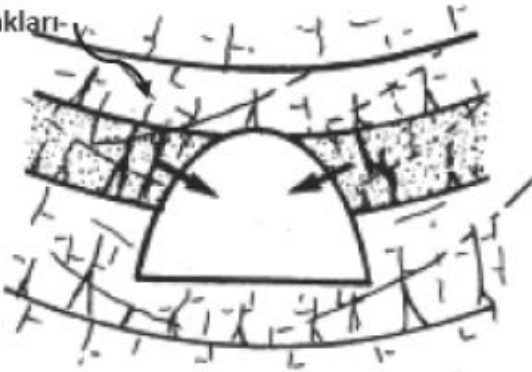
JEOLJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Kıvrımların Etkisi

Kayma ve
çekme
çatlakları



Çekme
çatlakları



– Tünel eksenini antiklinal eksenine paralel –

- ❖ Gerilme büyüklüğüne ve çatlak geometrisine bağlı olarak tavan ve yan cidarların düşme olasılığı yüksektir. Bu nedenle tavan stabilitesini arttırmak bakımından uygulanacak püskürtme betonunun kalınlığı arttırılmalıdır.

– Tünel eksenini sentiklinal eksenine paralel –

- ❖ Gerilme büyüklüğüne ve çatlak geometrisine bağlı olarak tavan ve yan cidarların düşme olasılığı yüksektir. Bu nedenle yan cidarın stabilitesini arttırmak bakımından uygulanan saplamanın uzunluğu ve yoğunluğu arttırılmalıdır.

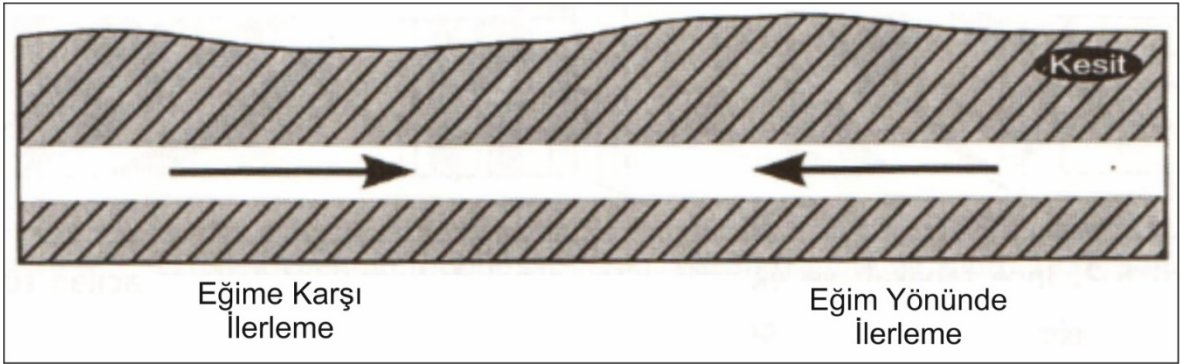
– Şariyaj – bindirme – jeolojik yapısı içinde açılan –

- ❖ 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.

JEOLJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Tabakaların Etkisi

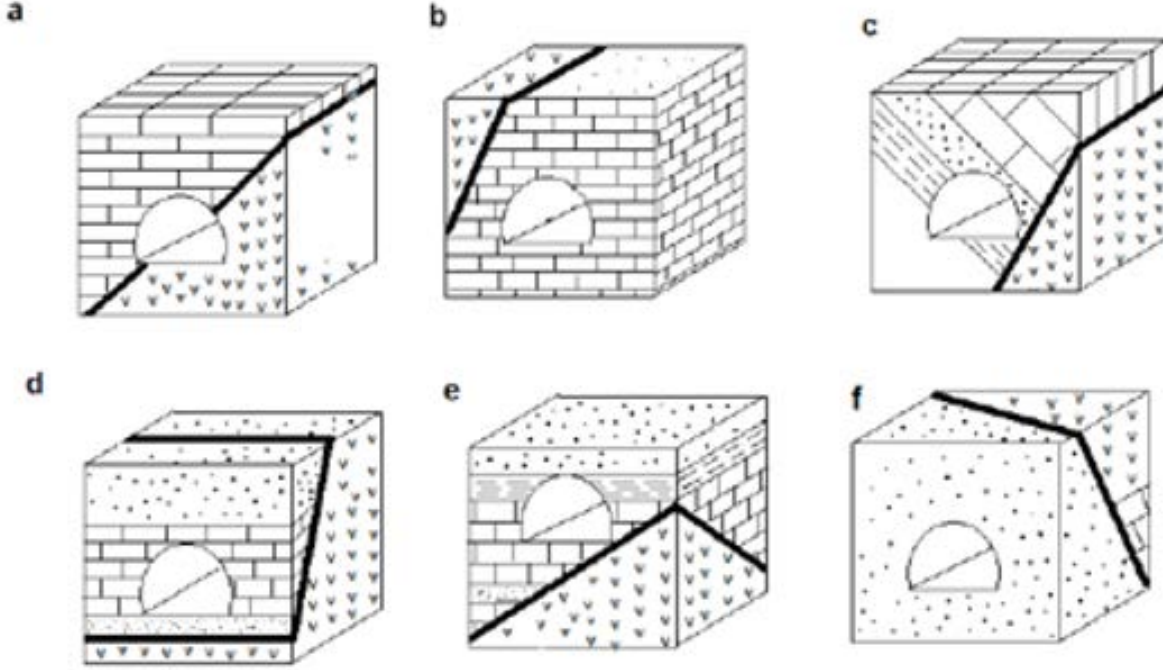
Tünellerde eklem veya tabakanın eğiminin, 30 derece veya daha fazla bir eğimle tünel duvarına doğru olduğu durumda, eğim yukarı duvarda duraylılık sorunu ile karşılaşılması muhtemeldir. Eklemlerin ve tabakaların tünel eksenine paralel ve eğiminin 45 dereceden büyük olduğu koşullar özellikle tehlikeli olup, tavandan itibaren kaya düşmeleri ile duvarda dilinimlenmeye neden olabilir.



Doğrultu Tünel Eksenine Dik				Doğrultu Tünel Eksenine Paralel	
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı ilerleme			
Eğim	Eğim	Eğim	Eğim	Eğim	Eğim
45-90°	20-45°	45-90°	20-45°	45-90°	20-45°
çok uygun	uygun	orta	Uygun değil	Çok kötü	orta
Eğim= 0-20°, doğrultuya bakılmaksızın uygun olmayan koşuldur.					

JEOLJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

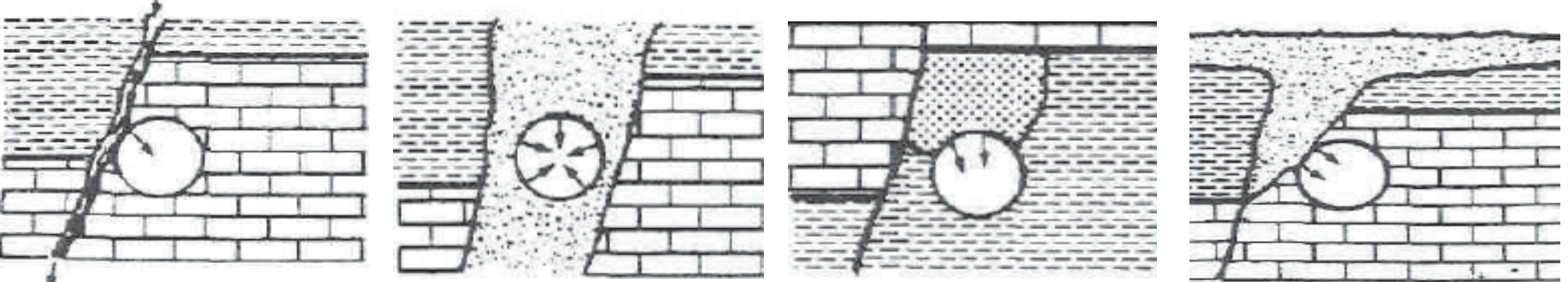
Fayların Etkisi



- a. Tünel fay zonunda
- b. Tünel taban blokunda
- c. Tünel tavan blokunda
- d. Tünel fayı verev keser
- e. Tünel fay kesişmez
- f. Tünel fayı verev keser

Faylar tünel üzerinde düzensiz kaya basınçlarına neden olurlar. Fayın her iki bloğunda meydana gelen farklı hidrostatik basınç meydana gelen bu düzensiz basınçların nedenidir. Ayrıca fay boyunca bulunan killi seviyeler çeşitli jeomühendislik problemlere neden olabilir.

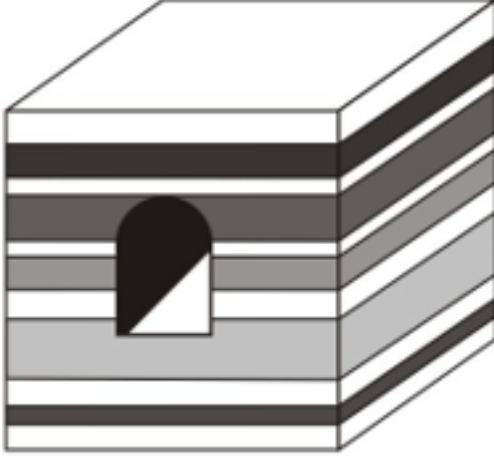
Fayların ve oluşturdıkları farklı ezik zonların tünel stabilitesine olumsuz etkileri.



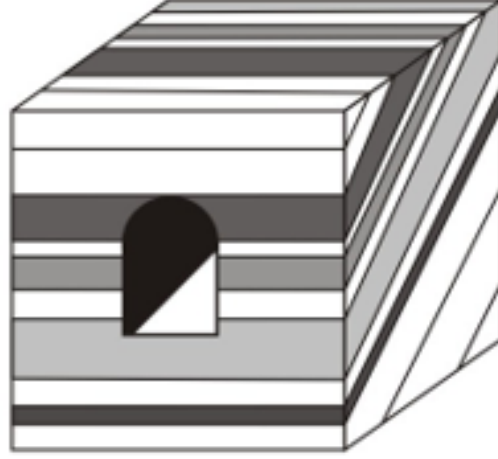
JEOLOJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Tabakalanmanın Tünel Üzerine Etkisi

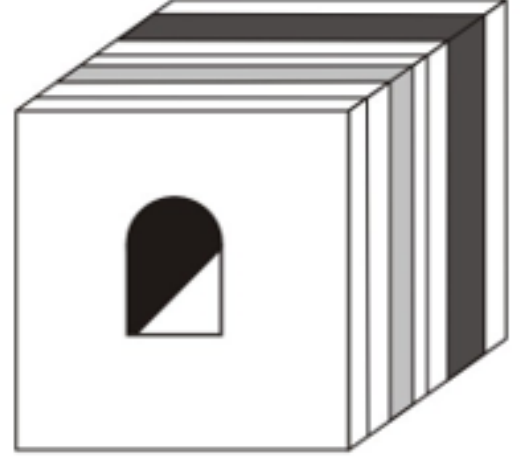
Tünel eksenine dik doğrultuda tabakalanmanın olduğu tünellerde tünel tavanında yaklaşık uniform basınç



(a)

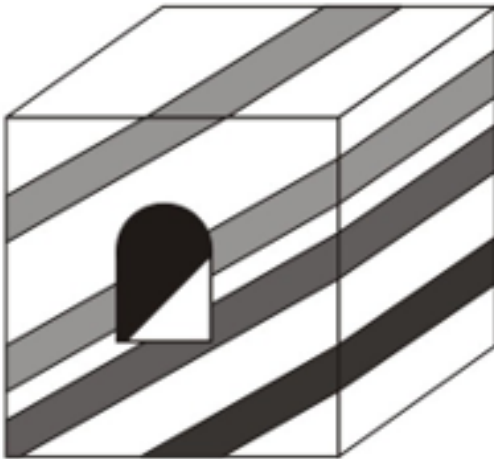


(b)

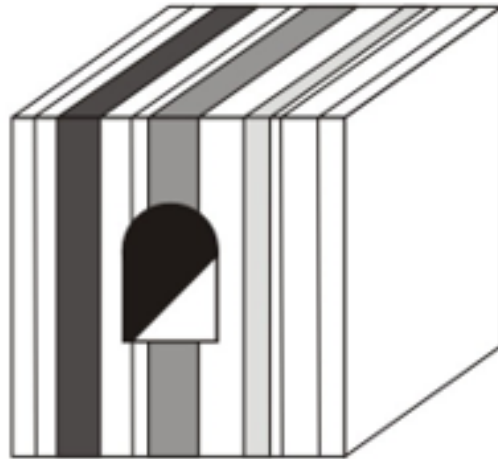


(c)

Tünel eksenine ile tabaka doğrultusunun bir birine paralel olduğu dik tabakalanma durumunda tünel tavanında büyük basınç söz konudur.



(d)



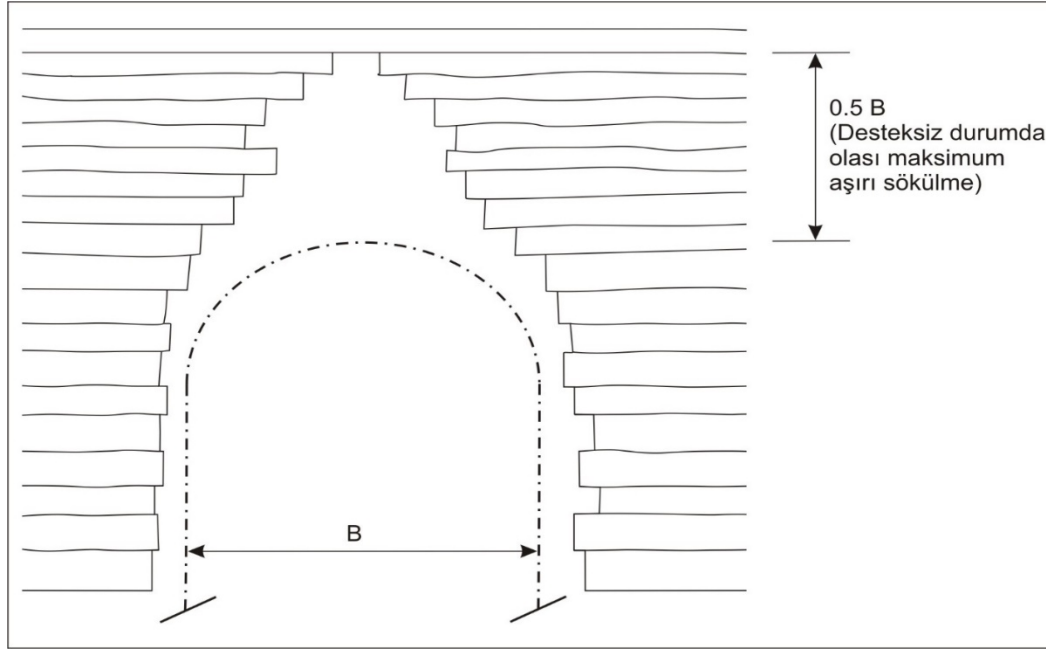
(e) En büyük basınç



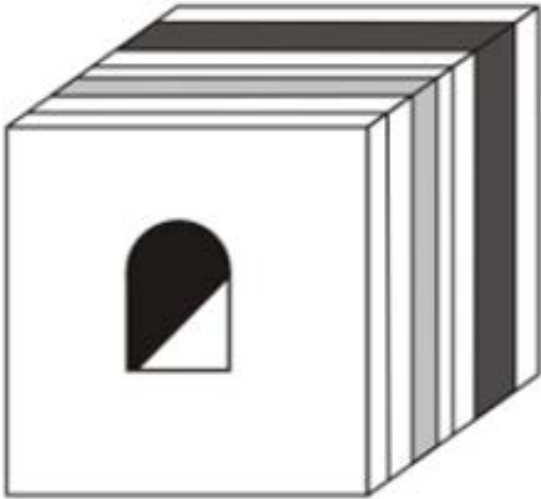
(f)

JEOLJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Tabakalanmanın Tünel zerine Etkisi



Tünel yöneliminin eklemlı kayanın doğrultusuna dik olduğu ve eğimin 15 deceden az olduğu durumda tavanda büyük blok serbestleğmesi oluğabilir.



Tünel doğrultuya dik yönde açıldığı ve eğimin dike yakın olduğu durumda ve dik tabaka koğulunda her tabaka tünel kesatine eğit açıklığa sahip bir kiriş rolü oynar. Ancak bu koğullarda patlama çalışmaları verimli olmaz tünel eksenı dike yakın eğimli eklemin doğrultusuna paralel ise tünel tavanının üzerindeki kaya kütlesi tabaka düzlemleri boyunca oluğan sürtünme ile tutulur.

JEOLOJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

Yamaca Yakın Açılan Tüneller

Yatay



(a)

Yamaç dışına eğimli



(b)



(c)



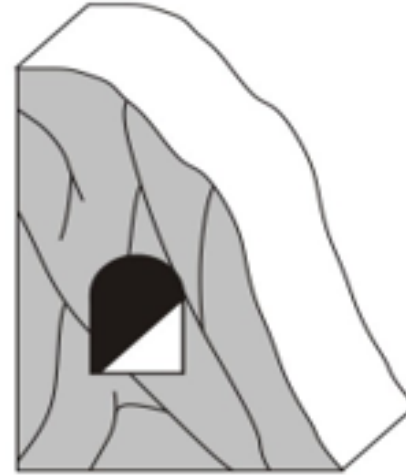
(d)

Dik



(e)

Yamaç içine eğimli



(f)

Eklemlili kaya

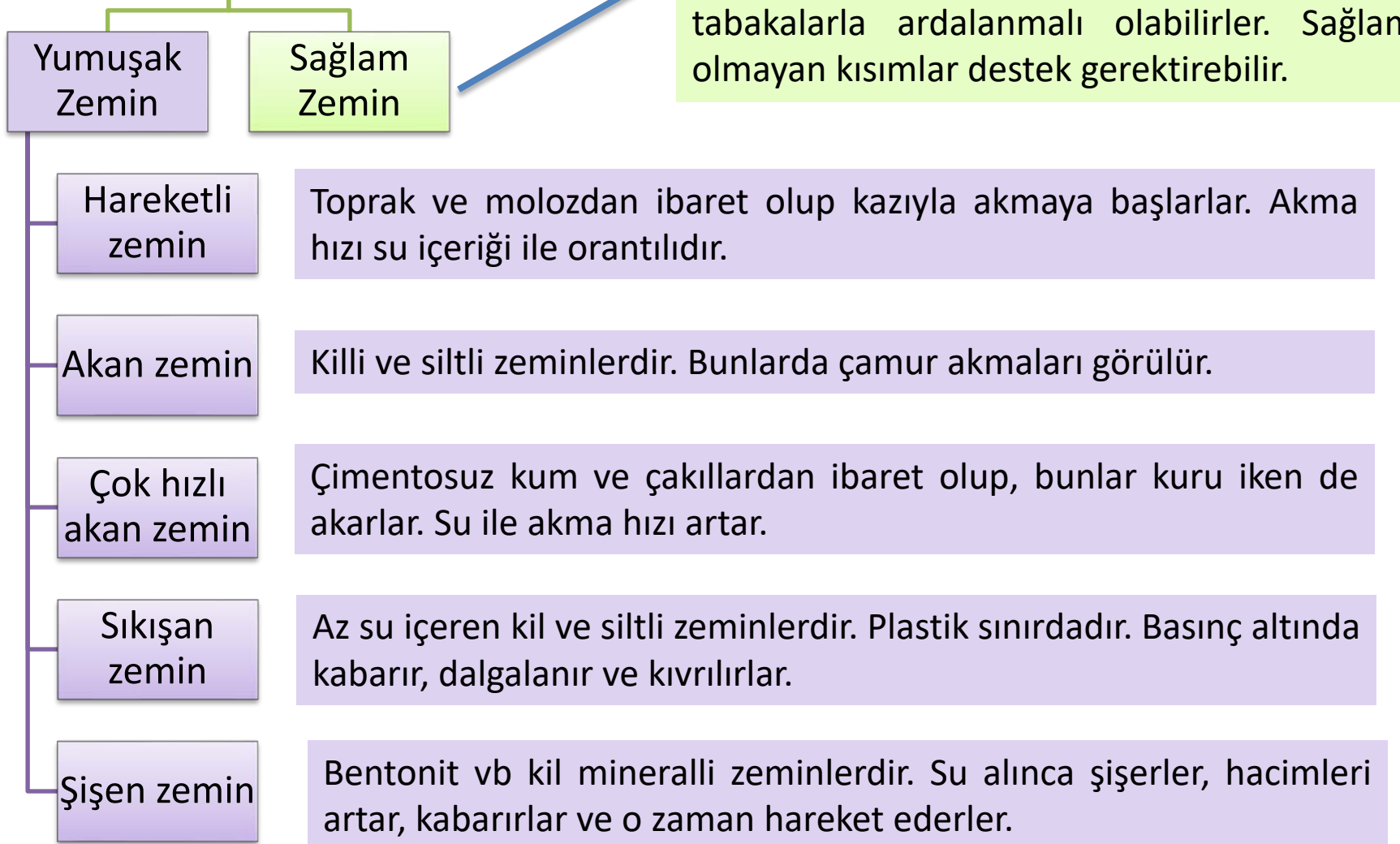
Özellikle;
b, c, d ve f deki
yamaçlarda
duraylılık
sorunları ile
karşılaşılması
muhtemeldir.

b deki durumda
düzlemsel
kayma,
c ve d'deki
koşullarda
devrilme sorunu
gerçekleşebilir.
f deki
yamaçlarda
eklemlerin
durumlarına
göre düzlemsel
ve kama tipi
yenilmeler
gözlenebilir.

TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Zemin Ortamlarında Açılan Tüneller

ZEMİNLERİN TÜNEL AÇMA YÖNÜNDEN SINIFLANDIRILMASI



TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Zemin Ortamlarında Açılan Tüneller

Tünelde tavan ve yanların desteksiz durabilme kabiliyetine kemerlenme özelliği denir. Bu özellik tavandaki kayaların litolojisine, yapısal durumuna, içindeki gerilme ve makaslama kuvvetlerine, büyüklüğüne ve basınç dirençlerine bağlıdır. Sert killerin kemerlenme müddeti bir gündür. Kum ve çakılların ise sıfırdır.



Yumuşak zeminlerde tünel açılmaya başlanınca tavan ve yan duvarlar kendi kendilerini tutamazlar. Killi zeminler su ile temasta şişer, kabarır, hacmi artar ve etrafa basınç yapar. Tabanda da kabarma ve çukurlaşmalar oluşur.

Özellikle kum ve çakıllı yumuşak zeminlerde tünel açılırken basınç farkından dolayı tünele su dolabilir bu suyun pompalarla atılması gerekir. Kumtaşı ve çakıltası desteğe ihtiyaç duymaz. Çünkü bunlar yeterince makaslama ve gerilme dirençlerine sahiptir. Ancak tam emniyet düşüncesi ile iksa konabilir. Çimentosuz kum ve çakıllar çok hızlı akıcı zeminleri oluşturduğundan bunlarda açılacak tünellerin yanları ahşap ve çelik kirişlerle desteklenmeli veya çelik levhalarla kaplanmalıdır.

TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

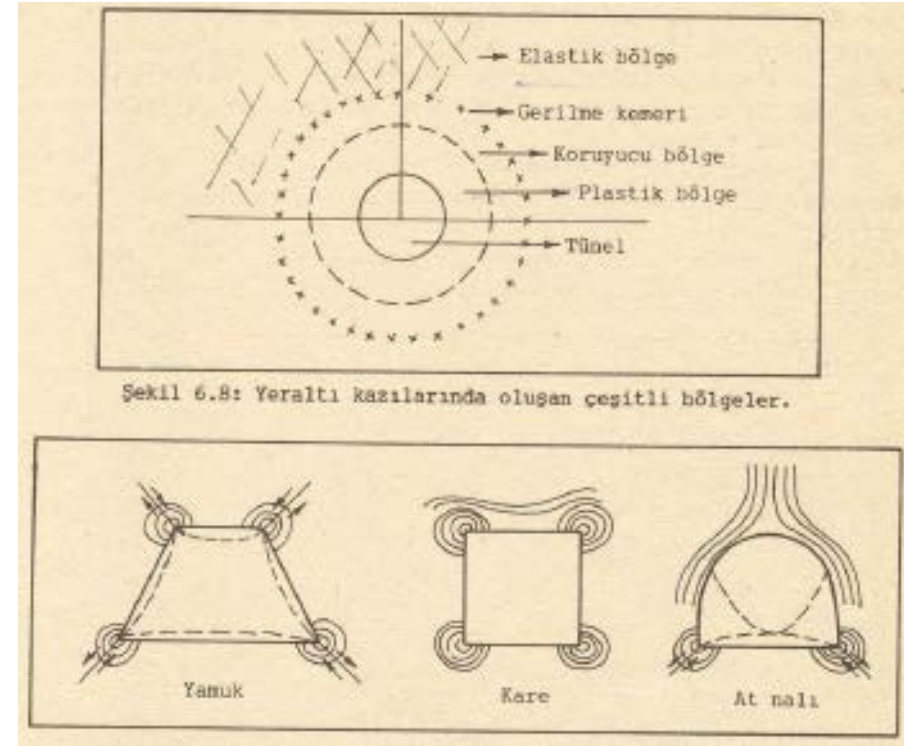
Kaya Ortamlarında Açılan Tüneller

Kemerlenme

Kayalarda tünel açıldığında süreksizliklerle gevşemiş olan blokların tünel boşluğuna doğru hareket ederken birbirlerine kenetlenerek duraylı konuma gelmelerine kemerlenme denir.

- litolojik ve yapısal özelliklere,
- yapısal özelliklerin (süreksizlikler: fay, tabakalanma düzlemi, kıvrım eksenleri, vb.) doğrultu eğimi ile tünel doğrultusu arasındaki ilişkiye,
- desteksiz kalan kısmın uzunluğuna bağlı olarak değişir.

Köşeli kesitlerde gerilme yoğunlaşması yüksektir. Duraylılık açısından risk oluşturur. Oysa dairesel kesitli tünellerde, gerilme kemerlenmesi büyük gerilme yoğunlaşması olmaksızın oluşur.



TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Kaya Ortamlarında Açılan Tüneller

Aşırı Sökülme

Yeraltı kazılarında profil fazlası kazılara aşırı sökülme ismi verilir. Olması istenmeyen bir olaydır ve maliyet artışında en önemli faktördür.

1. kayaç cinsi,
2. ayrışma derecesi,
3. süreksizlik ara uzaklığı ve sıklığı,
4. tünel açma yöntemi,
5. kullanılan patlayıcı madde miktarı,
6. tünel çapı
7. patlayıcı etkisi
8. destek şekli gibi faktörlere bağlıdır.

Bazaltlarda % 8-15

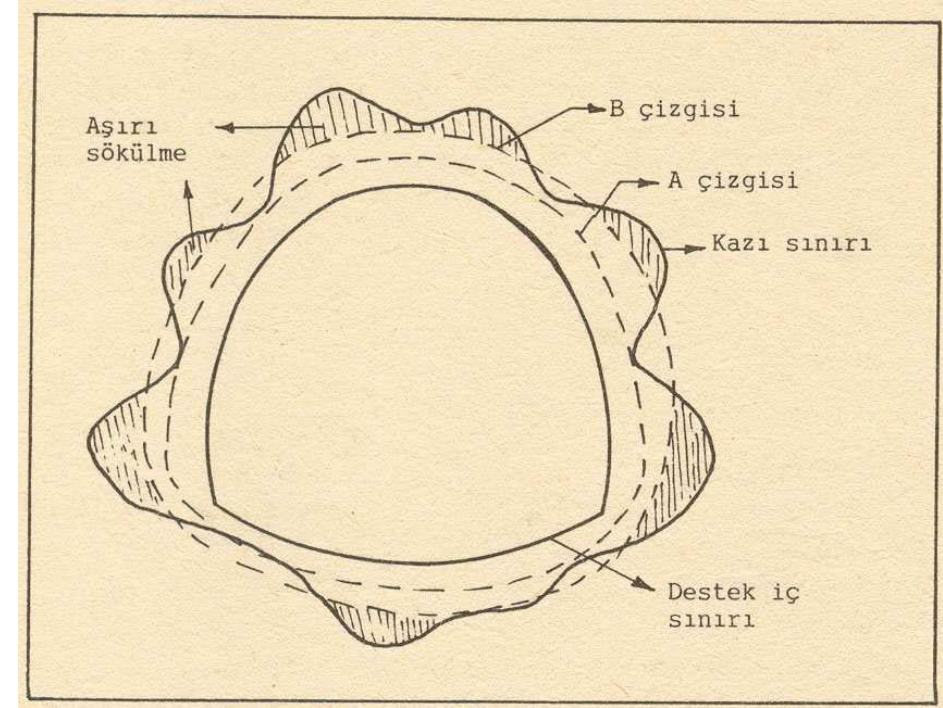
Sedimanter kayaçlarda % 9-11

Granitlerde % 10-12

Gnayslarda % 8-11

Diğer metamorfitlelerde % 11 dolayındadır.

Farklı kayaçlarda aşırı Sökülme oranları (Judd, 1957)



A çizgisi: Açılmak istenen tünelin çeperine teğet olan çizgidir.

B çizgisi: A çizgisi ile kazılan tünel ortasından geçen çizgidir. Bu çizgi **Ödeme Çizgisi** olarak da adlandırılır. B çizgisi dışında kalan kazılar için ödeme yapılmaz. Aşırı sökülmenin diğer bir tarifi de; B çizgisi dışında kalan dökülme, oyulma ve kazılardır. Bu tür aşırı sökülmelere profil fazlası da denir.

TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Kaya Ortamlarında Açılan Tüneller

Kaya Patlamaları

Doğal gerilmeler etkisinde bulunan kayalarda açılan tünellerde, kazı türü ve hızına bağlı olarak, tavan, taban ve yan duvarlardaki kayaların aniden patlayarak kazı boşluğuna düşmesi olayıdır.

Küçük parçalar halinde ise; kaya fırlamaları

Büyük parçalar halinde ise; kapak atma adını alır.



Doğal gerilmelerin yanı sıra jeolojik koşullarında rolü büyüktür. Farklı dayanıma sahip kayaların birlikteliği ve kırıkların varlığı etken faktördür. Kırık çevresinde gerilme yoğunlaşması ve farklı türdeki kayalarda farklı gerilmelerin oluşması etkindir.

TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Kaya Ortamlarında Açılan Tüneller

Su Problemleri

Yeraltı su seviyesi altında açılan tünellerde yeraltı suyu tünel içine hareket eder. Tünel drenaj galerisi gibi çalışır. Kayaçların permeabilitesi, süreksizlikleri ve kazı civarındaki karstik boşluklar (kireçtaşları) önemlidir.

- Boşluk suyu basıncı nedeniyle dayanım azalması.
- Eriyebilen ve şişen kayaçlar.
- Çalışma koşullarının zorlaşması.
- Mal ve can kaybı riski, maliyet artışı.
- Killi ortamlarda şişme ve kazı boşluğuna akma.



Çağlayan Tüneli

TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Kaya Ortamlarında Açılan Tüneller

Isı Sorunu

Tünellerde ısı yer yuvarının jeotermik gradyanına bağlıdır. Bu değer ortalama her 30-40 m derinlikte sıcaklığın 1 °C artmasına neden olur. Bu sıcaklık artışı uniform olmayıp kayaçların ısı iletkenliğine, örtü kalınlığına, tünelin uzunluğuna ve yer altı suyuna bağlı olarak değişir. Problemin çözümünde etkin yol havalandırmadır.

Havalandırma;
hava basan veya emen motorlarla (komprasör, aspiratör)
tünele açılan bacalar ile sağlanır.

Gaz Sorunu

Karbondiyoksit (CO_2): %15-25 oranında öldürücü etki. %4-6 oranında solunum güçlüğü.

Su ile reaksiyonunda karbonik asit, tünel kaplama ve metallerde korosiftir.

Karbonmonoksit (CO): % 0.025 den fazlası zehirlenmelere %0.04-0.06 oranı ise ölümlere yol açar.

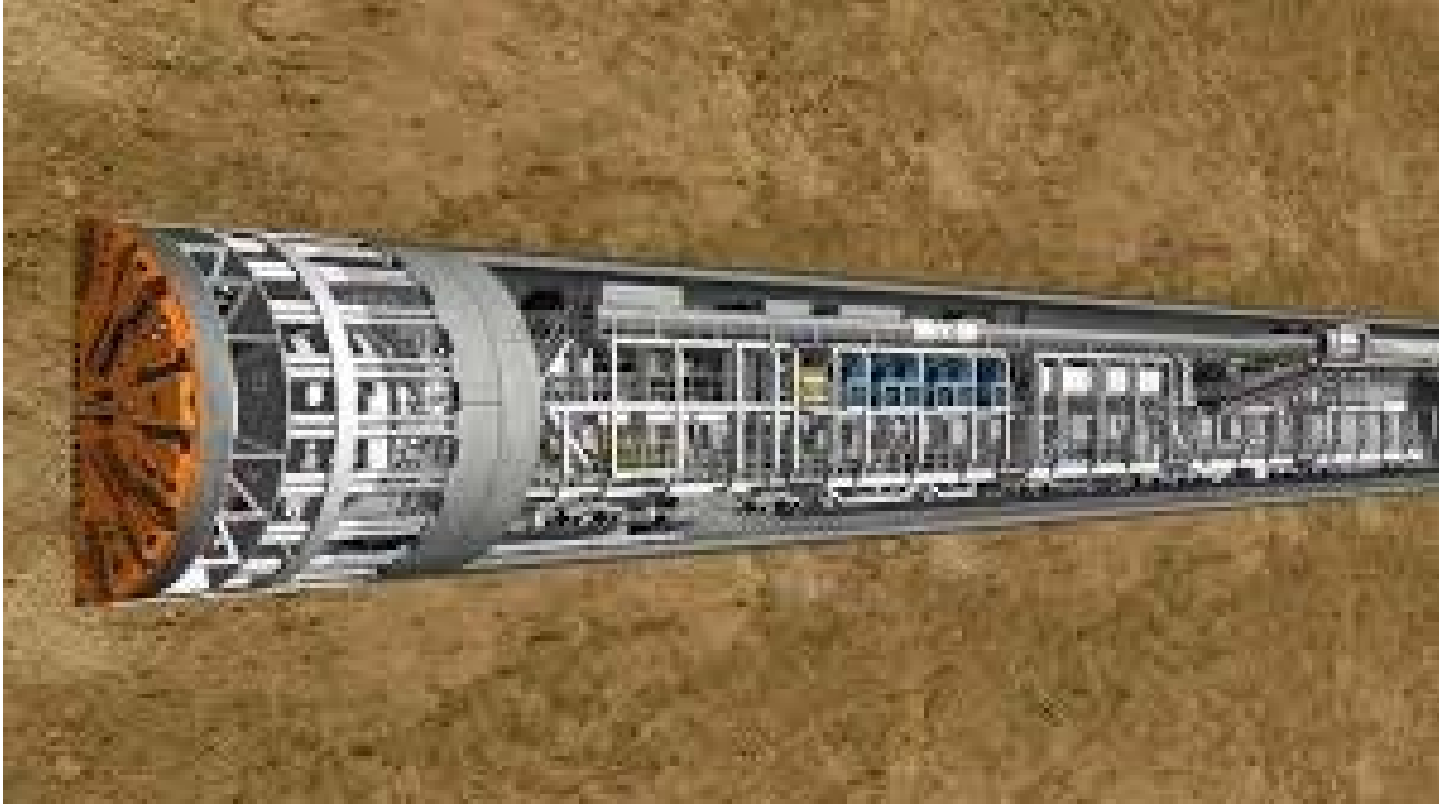
Metan (CH_4):Hava ile karışımındaki oran %5 civarında ise patlayıcıdır (Grizu).

Kükürtdiyoksit (SO_2): Suda erimesiyle oluşan sülfiröz asit kaplama betonunu etkiler.

Hidrojen sülfür (H_2S): Havada %1'den az orandaki karışımı zehirleyicidir. %6 oranından fazla ise patlayıcıdır.

Gazların olumsuz etkilerinden kurtulmanın etkin yolu havalandırmadır.

TÜNEL AÇILMASI SIRASINDA MALİYETİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER



- 1 -Tünel güzergahının jeolojik ve hidrojeolojik durumu
- 2 -Tünelin desteklenmesi ve destek türü
- 3 -Tünelin yüzeyden derinliği
- 4 -Tünelin çapı ve şekli
- 5 -Tünelin uzunluğu
- 6 - İşçilik
- 7 - Çalışılan günler
- 8 – Makine arızaları

KAYA SINIFLAMALARI

JHPC	A			B			C I			C II			D I	D II	E									
CRIEPI	CH-B															C M			DL			D		
JRC	VN						IV N						III N			II N			IL, IS		Spe S		Spe L	
RSR	100	EXCELLENT 1			75	GOOD 2			59	58	FAIR 3			44	43	POOR 4			29	28	VERY POOR 5			
RMR CSIRO (BLANKAVSIO)	100	EXCELLENT 1			80	GOOD 2			60	FAIR 3			40	POOR 4			<20	VERY POOR 5						
Q BARTON	PERFECT	>100 EXCELLENT			100	VERY GOOD			40	GOOD			10	4	FAIR			1	0.1			0.0001		
NATM CLASS	A				B						C													
	A1		A2		B1		B2		B3		C1		C2		C3		C5		C4					
NATM Ö-NORM 2203	1 INTACT		2 FRAGILE in TIME		3 SLIGHTLY FRAGILE		4 FRAGILE OR SLIGHTLY SQUEEZING		5 VERY FRAGILE OR SQUEEZING		6 VERY SQUEEZING		7 FLOWING											
NATM OLD	I INTACT		SLIGHTLY PEELING in TIME		II FRAGILE		III VERY FRAGILE		IV SQUEEZING		V VERY SQUEEZING		VI FLOWING		VII SP. SITUA									
İTÜ MJKM VARDAR	1 $\sigma \leq \sigma_{cri}$ INTACT		2 $\sigma_{cri} < \sigma < \sigma_b$ FAILURE IN TIME				3 $\sigma \geq \sigma_b$ IMMEDIATE FAILURE				4 FLOWING													
	A		B		C		D		E		F		G		H									
TERZAGHI	NEW (PROSE)	n=0		0.25		0.4		1.2		5		8												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11												
	OLD Hp	0	0-0.15 B		0.25-0.35 (B+H)		0.75-1.1 (B+H)		2.1-4.5 (B+H)		4.5(B+H) 75m		>75m		A(KCI)									
		0.15-0.25 B		0.35-0.75 (B+H)		1.1-2.1 (B+H)																		
RQD DEER	90		75		50		25		0															
	VERY GOOD		GOOD		FAIR		POOR		VERY POOR															

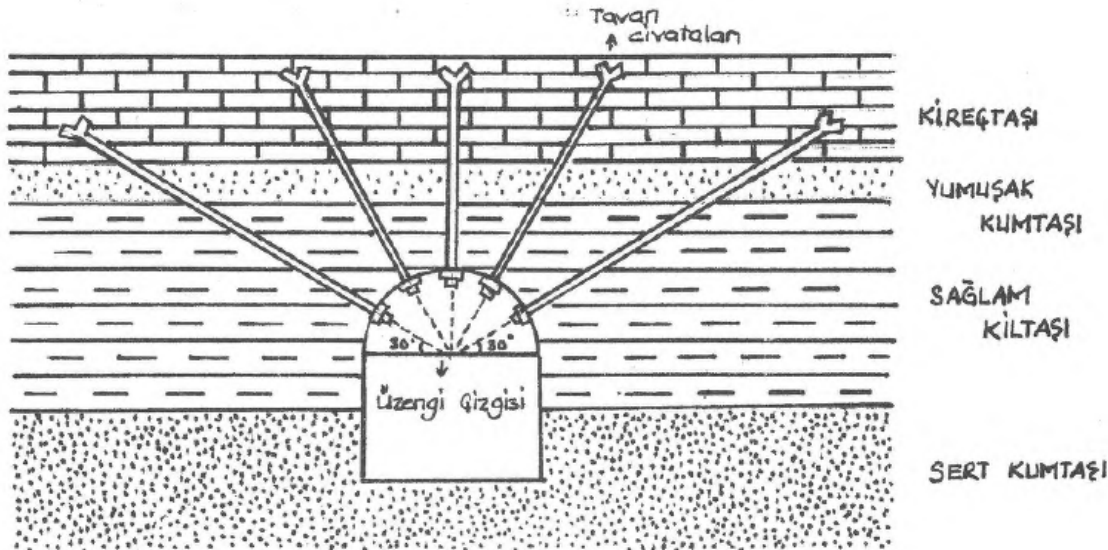
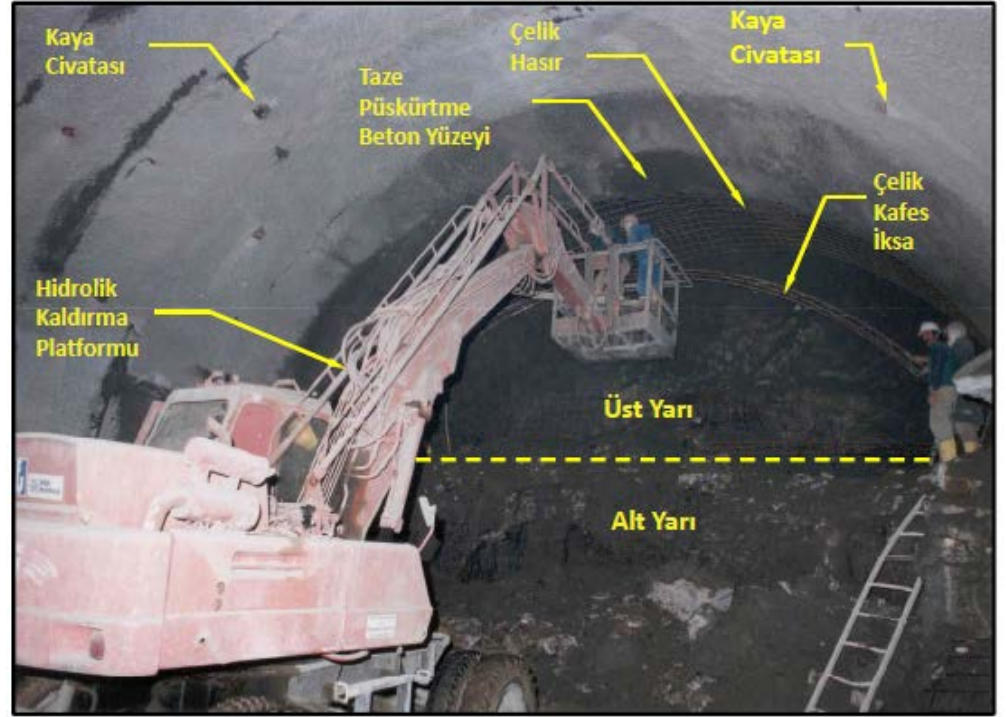
JHPC JAPAN HIGHWAY PUBLIC CORPORATION
CRIEPI CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY (Kikuchi, Saito)
JRC JAPAN RAILWAY CORPORATION

KAYA SINIFLAMALARI/NATM uygulaması

Çelik Hasır	Püskürtme Beton PB	Saplama SN Blon	İksa	İnvert
Q 188/188 (221/221)	10 cm C 25	Ƨ Ø 26,3m	I 120 + 5 cm PB 12 adet İŞBAN	Q 188/188, I 120, 15 cm PB
HER ZAMAN				
A2		GEREKTİĞİNDE	HER ZAMAN	
B1			GEREKTİĞİNDE	
B2			HER ZAMAN	HER ZAMAN
B3				
C				

TÜNELLERDE YAPILAN SAĞLAMLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

- Püskürtme beton
- Tel kafes
- I profil
- Püskürtme beton
- Çelik hasır
- Ankraj
- Püskürtme beton
- Yalıtım
- Beton kaplama



Πρόσφατη εφαρμογή της «κλασσικής» μεθόδου (2002)



Σήραγγα εκτροπής φράγματος
Αγιονερίου Ν. Λάρισας











<https://www.youtube.com/watch?v=z38JlqGDZVU>

