

TÜNEL JEOLojisi



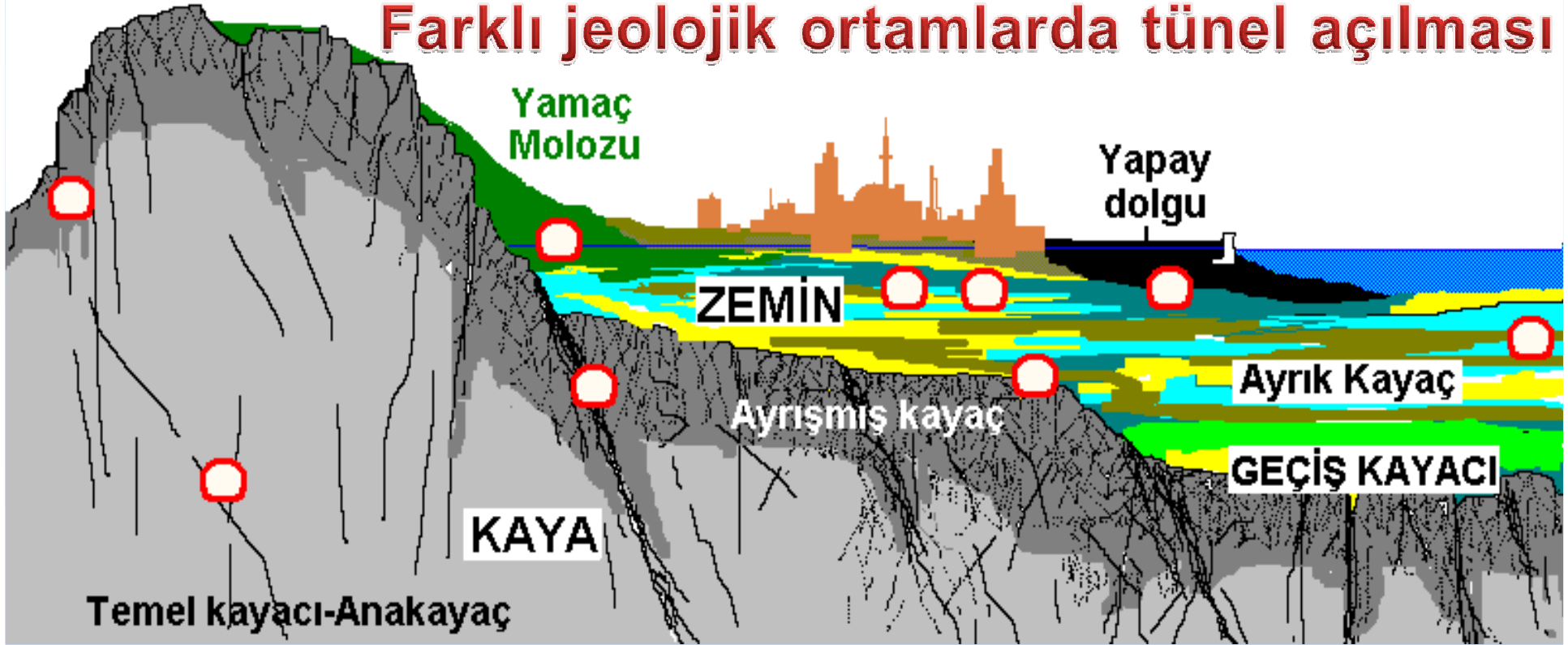


YERALTI KAYA YAPILARININ SINIFLANDIRILMASI

TÜNEL: Farklı jeolojik ortamlar içerisinde farklı kullanım amaçlarına yönelik olarak açılan iki ucu açık yeraltı yapılarıdır.

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

Farklı jeolojik ortamlarda tünellerin açılması



Farklı amaçlara göre açılan tüneller

- Ulaşım (Karayolu, Metro, Demiryolu)
- Kentsel altyapı ve iletişim sağlamak
- Alışveriş merkezleri
- Yeraltı maden işletmeciliği
- Yeraltısuyunu drene etmek
- Yer altı yapılarını havalandırmak
- Su getirmek
- Akarsu yatağını değiştirmek
- Atık suları toplamak
- Yer altı depoları
- Kanalizasyon atıkları
- Askeri amaçlı ve sığınak



**KARAYOLU
TÜNELİ**



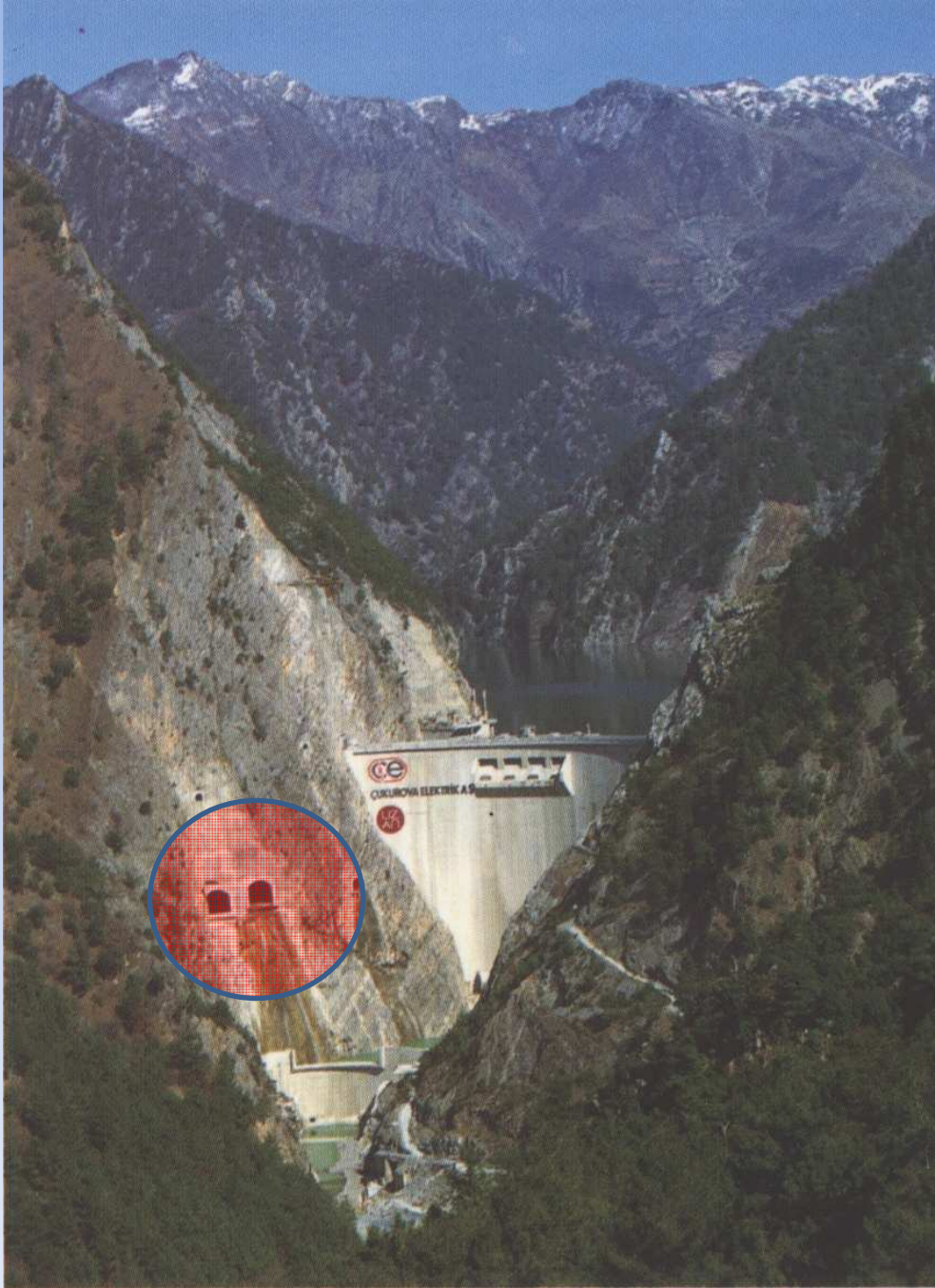
**DEMİRYOLU
TÜNELİ**



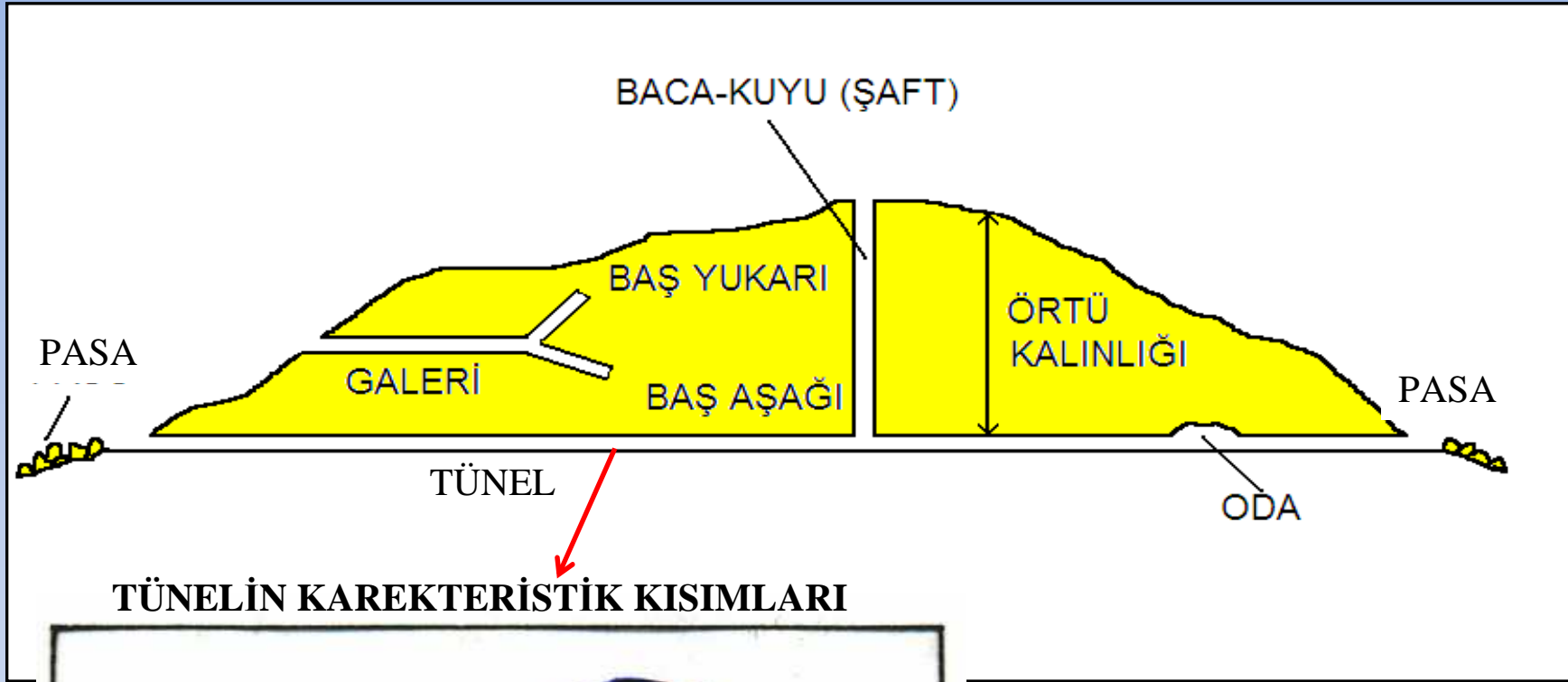
METRO TÜNELİ



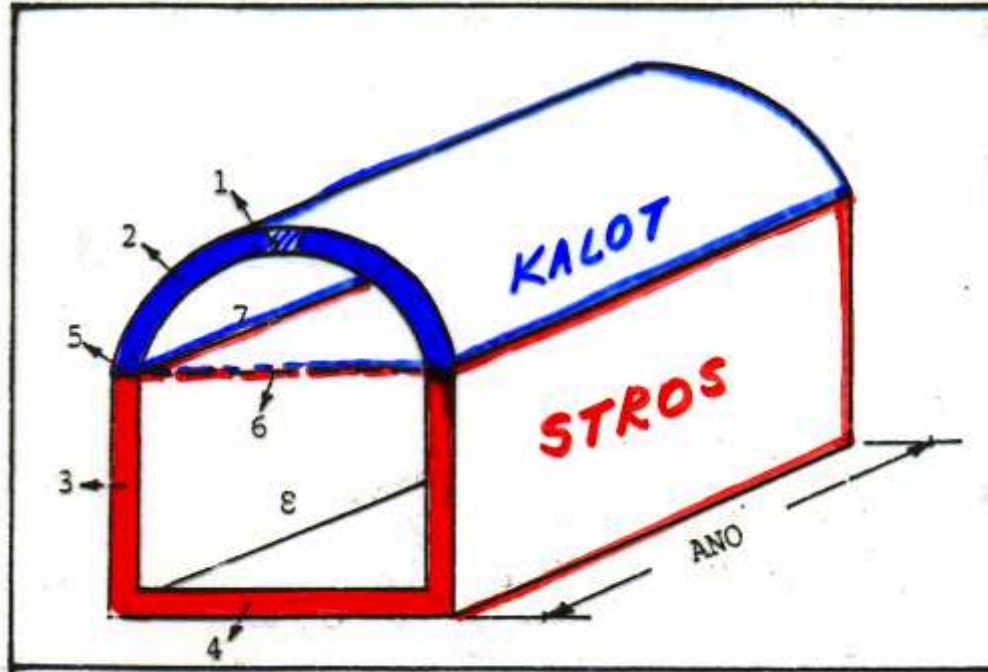
KANALİZASYON TÜNELİ



DERİVASYON TÜNELİ



TÜNELİN KAREKTERİSTİK KISIMLARI



- 1- Kilit (anahtar) taşı
- 2- Kemer
- 3- Ayak (duvar)
- 4- Taban
- 5- Üzengi
- 6- Üzengi çizgisi
- 7- Kalot
- 8- Stros
- 9- Ano

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

TÜNEL JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI

- Ön jeolojik araştırmalar
- Ayrıntılı jeolojik araştırmalar
- Tünel açılırken yapılan çalışmalar
- Tünel açıldıktan sonra yapılan çalışmalar

Ön Jeolojik Çalışmalar

Jeoloji- Mühendislik Jeolojisi modelinin oluşturulması

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

- Litolojik özellikleri
- Yapısal özellikleri
- Örtü kalınlığı ve doğal gerilmeler
- Kayaçların mühendislik özellikleri
 - Hidrojeolojik özellikler
 - Isı sorunu
 - Gaz sorunu
 - Depremsellik

Ayrıntılı Jeolojik Araştırmalar

Jeomekanik-jeoteknik modelin oluşturulması

Yeraltı araştırmaları; sondaj, yarma, kuyu, galeri ve jeofizik yöntemlerden yararlanır.

Kayaçların;

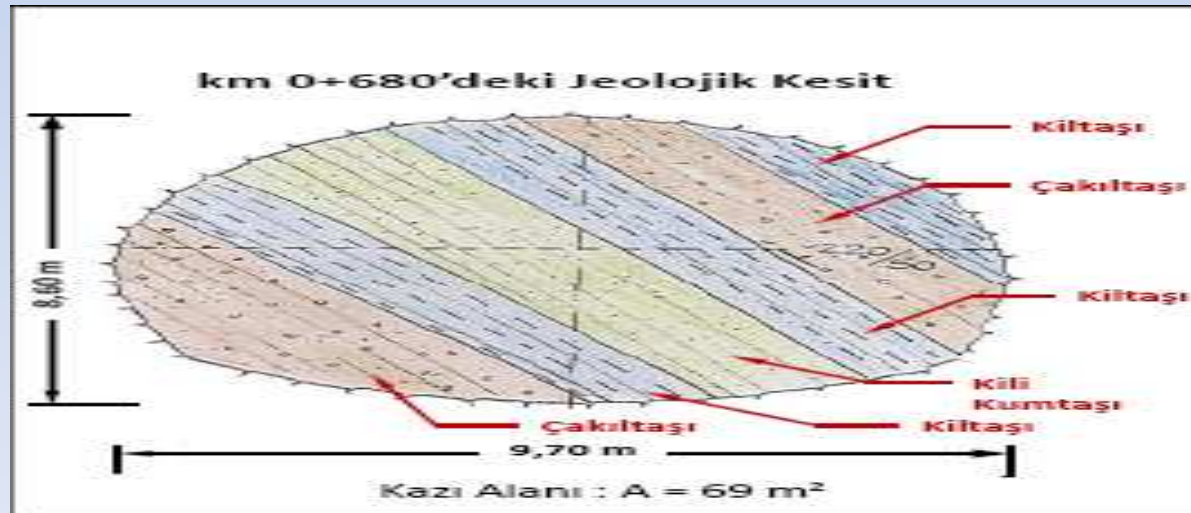
- Litolojik ve petrografik özellikleri
- Ayrışma derecesi ve derinliği,
- Sertlik ve kazılabilirlik

- Kazı yöntemi ve makine seçimi
- Süreksizliklerin mühendislik özellikleri
- 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.

Tünel Açılırken Yapılan Çalışmalar

- * Tünel güzergahının harita ve kesitlerinin oluşturulması (1/100 – 1/50 ölçekli)
- * Taban, tavan, yan duvarlar ve aynada görülen yapısal ve litolojik özelliklerin harita ve kesitlere işlenmesi
- * Açım sırasında karşılaşılan sorunların türleri (kaya patlaması, aşırı sökülmeler), ve yerlerinin kesitlere işlenmesi. Su gelirleri, debileri ve kimyasal analizler
- * Taban, tavan, yan duvarlar ve aynada görülen süreksizliklerin özelliklerinin, konum ve geometrilerinin (doğrultu-eğim) ölçülmesi ve kesitlere işaretlenmesi



KAYA KÜTLE SINIFLAMALARI

- RQD
- RMR
- Q

❖ Kaya Kalitesi Göstergesi (RQD)

- RQD, bir ilerleme aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış, boyu 10 cm. Ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzde olarak ifade edildiği kantitatif bir indekstir.
- Deere (1964) tarafından önerilen RQD , aşağıda verilen ifade ile belirlenmektedir.

$$RQD = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L}$$

n= ilerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı

l_i = RQD' ye dahil edilen ve boyu 10 cm. ve daha büyük olan karot parçalarının boyları

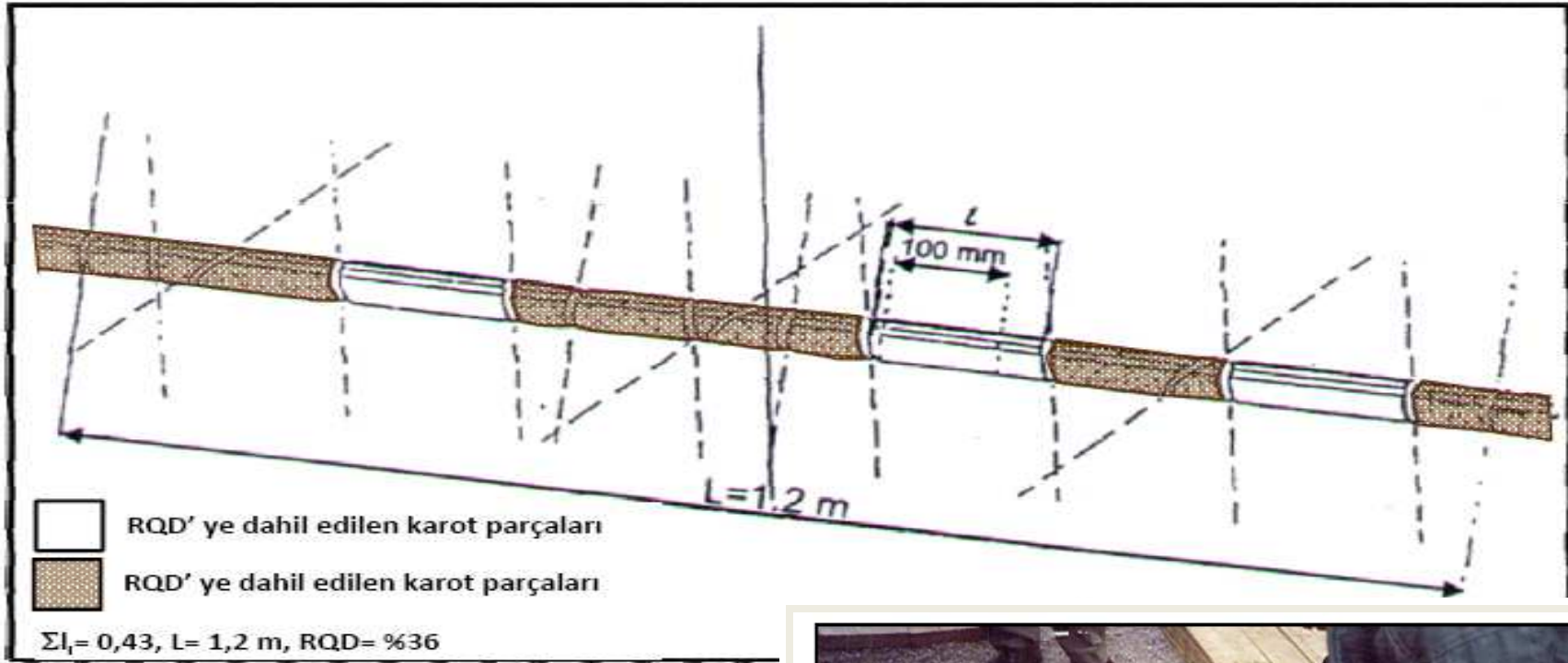
L= ilerleme uzunluğudur.

❖ RQD Sınıflandırması

RQD	Kaya Kalite Göstergesi
0 – 25	A. Çok zayıf
25 – 50	B. Zayıf
50 – 75	C. Orta
75 – 90	D. İyi
90 – 100	E. Çok iyi

Kaynak: Deere, 1964' den alıntılan Ulusay, R. Ve Sönmez, 2007.

❖ RQD (Kaya kalite göstergesi) Kavramı ve RQD' nin Belirlenmesi



Kaynak: Ulusay, R. Ve Sönmez, 2007.



RMR SINIFLAMASI

1 Basınç Direnci (MPa) Puan

>250	15
100-250	12
50-100	7
25-50	4
5-25	2
<5	1

2 Kaya Kalitesi (RQD) Puan

0-25	3
25-50	8
50-75	13
75-90	17
90-100	20

3 Süreksizlik Aralığı (m) Puan

>2	20
0,6-2	15
0,2-0,6	10
0,06-0,2	8
<0,05	5

4 Süreksizlik Durumu Puan

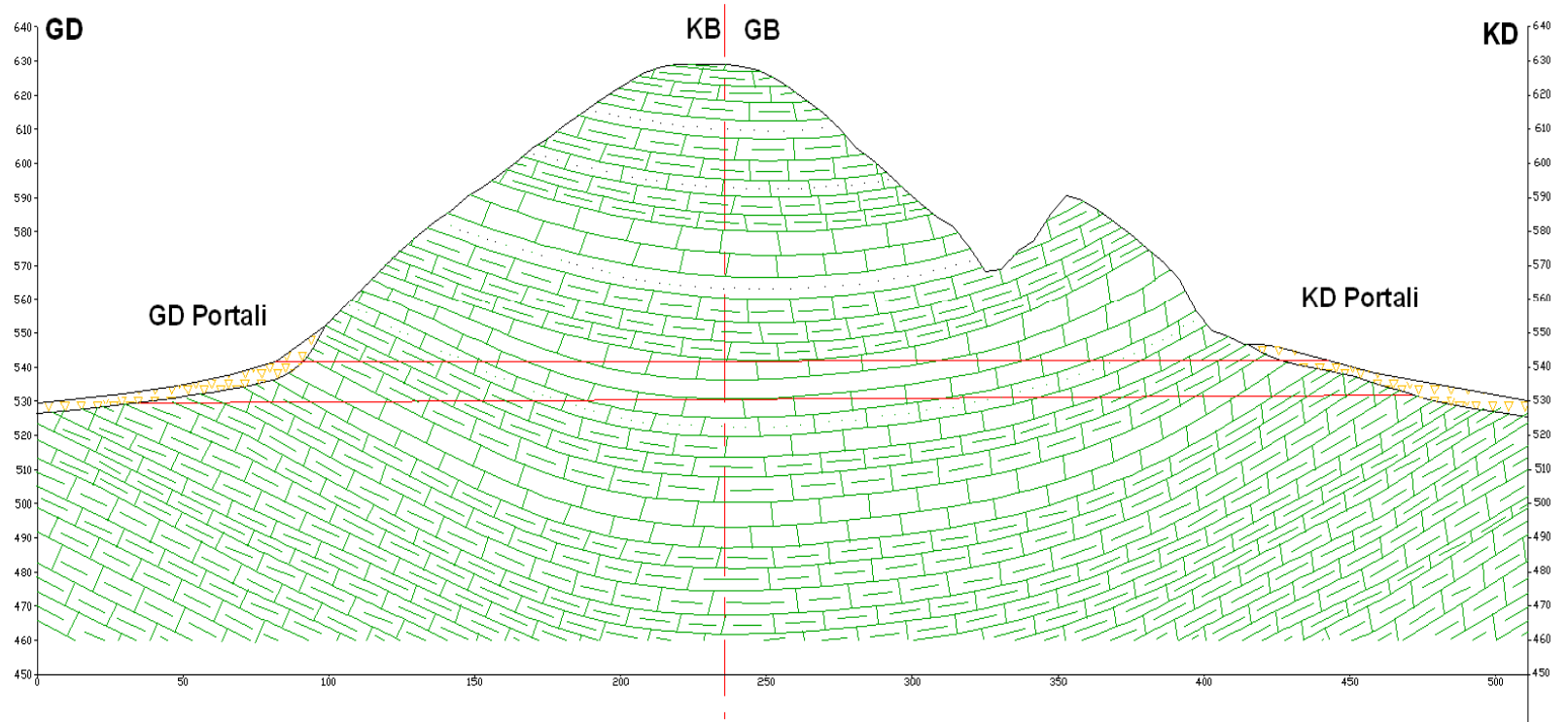
S1 Az pürüzlü, az ayrılmış, dolgunuz ve açıklığı <1 mm	25
S2 Az pürüzlü-az kaygan, az-orta ayrılmış, dolgunuz, açıklık < 5 mm	20
S3 Kaygan, çok ayrılmış, kil dolgululu, açıklık >5 mm	0

5 Yeraltı Suyu Durumu Puan

K: Kum	15
N: Nemli	10
I : Islak	7
D: Damlama	4

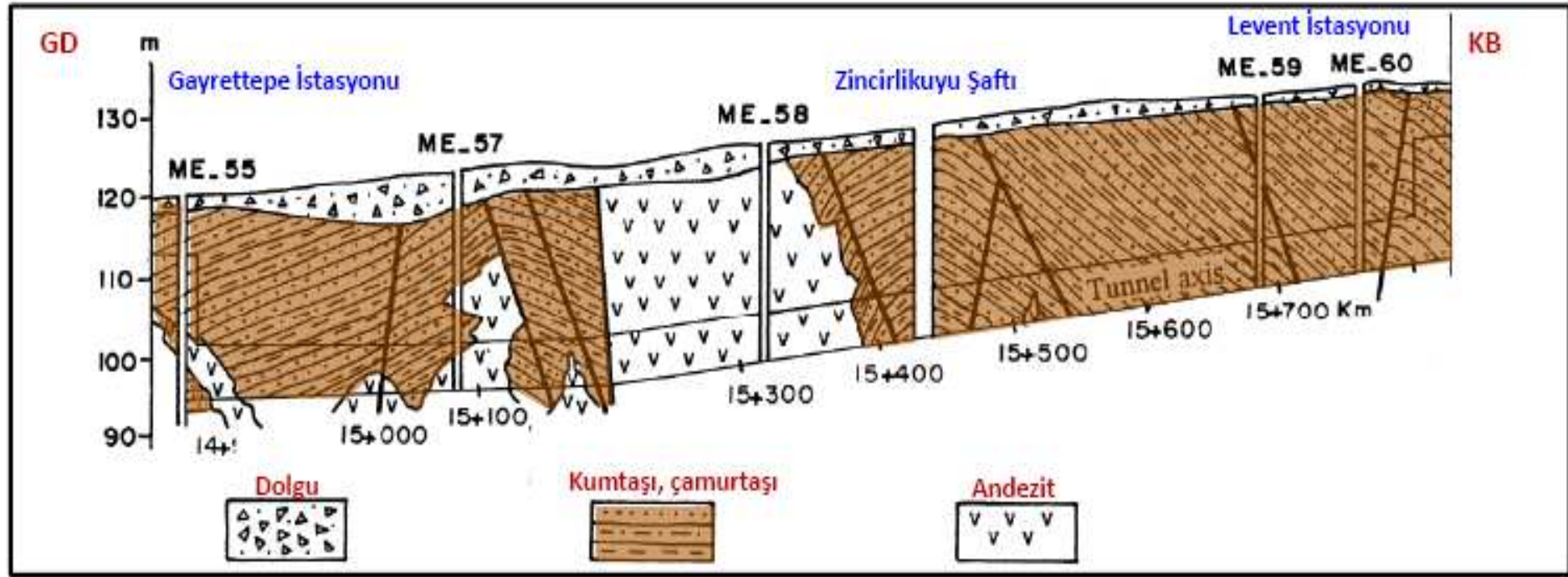
6 Süreksizlik Yönelimi Puan

ÇG: Çok Güvenli	0
G : Güvenli	-2
ZG: Zayıf	-5
GZ: Güvenilmez	-10
ÇGZ: Çok Güvenmez	-12



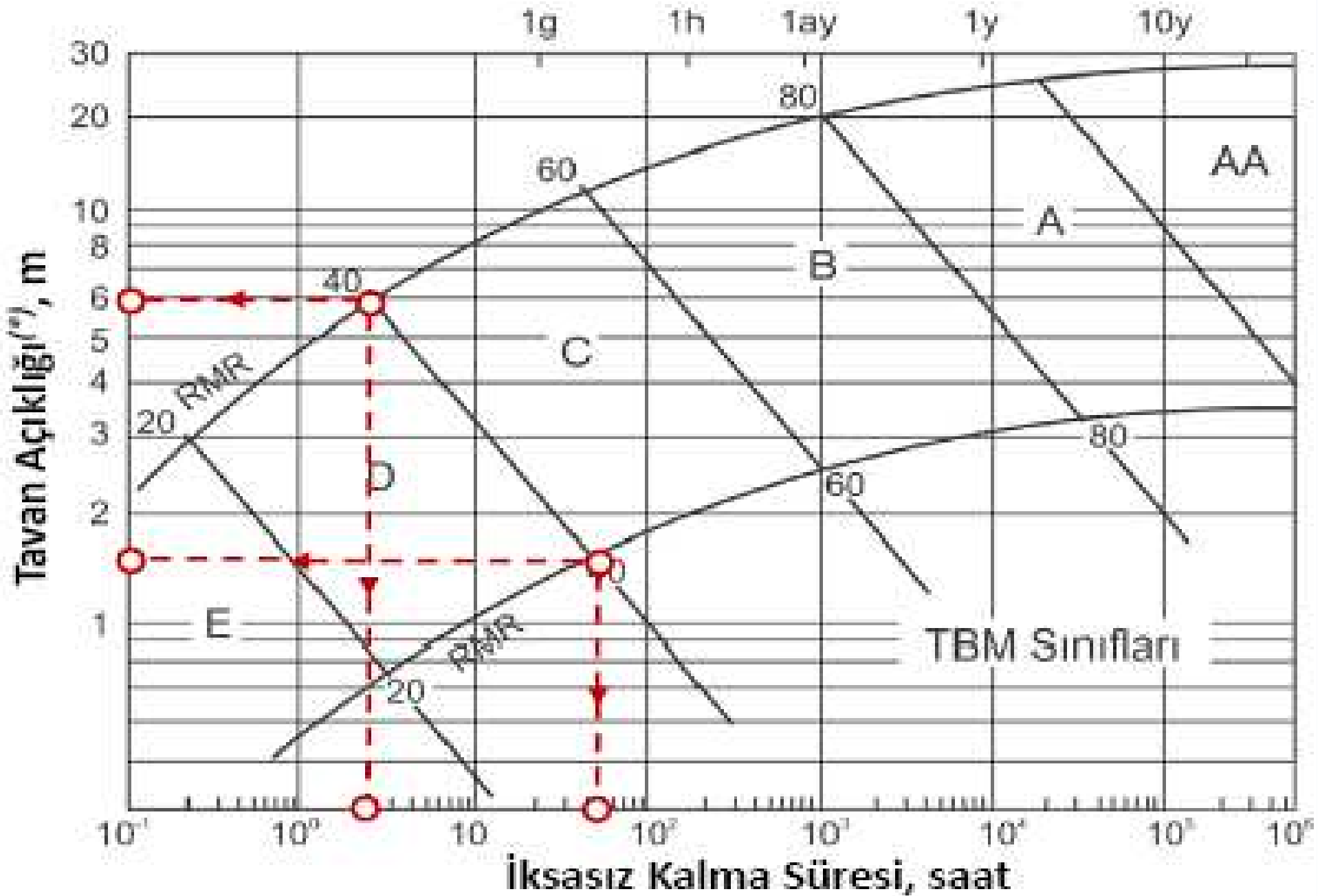
Sınıflandırma Kriteri	Litoloji	Yamaç molozu, mam	Killi, kumlu kireçtaşı	Kireçtaşı, killi kireçtaşı	Masif, kalın tabakalı kireçtaşı	Kumlu kireçtaşı	Killi, kumlu kireçtaşı	Mam, yamaç molozu	
1	Kaya Malzemesi Özellikleri	γ (ton/m ³); n (%)	1,85-2,46; 8,2-31,05	2,4-2,6; 9-23	2,45-2,63; 3-8	>2,6; 3-5	2,4-2,6; 9-23	2,4-2,6; 9-23	1,85-2,4; 8-30
		σ _b (kg/cm ²)	< 400	500-800	700-900	800-1000	700-900	500-800	< 400
		c (kg/cm ²)	< 30	58-80	80-100	>100	80-100	58-80	< 30
		φ (°)	44-48	48-52	52-58	>58	52-58	48-52	44-48
2	Süreksizlik Durumu	RQD (%)	< 35	35-70	70-90	>90	70-90	35-70	< 35
		Çatlak aralığı (m)	0,06-0,2	0,2-0,6	0,2-0,8	0,6-2,0	0,2-0,8	0,2-0,6	0,06-0,2
4	Süreksizlik Durumu	Açıklık (mm)	>3	1-3	1-2	<1	1-2	1-3	>3
		Dolgu/Pürüzlülük	Kil, karbonat	Kil ve karbonat	Kil ve karbonat	Kil ve karbonat	Kil ve karbonat	Kil ve karbonat	Kil ve karbonat
		Ayrıntı Derecesi	W2	W2	W2	W1	W2	W2	W2
5	Su Durumu	Nemli	Nemli	Islak	Islak	Islak	Nemli	Nemli	
6	Süreksizlik yönelimi	Zayıf	Güvenli	Güvenli	Çok güvenli	Güvenli	Güvenli	Zayıf	
Kaya Sınıfı (RMR)		Zayıf (27)	Orta (53-58)	Orta (57-61)	Sağlam (69-79)	Orta (57-61)	Orta (53-58)	Zayıf (27)	

❖ Bir tünel projesi – İstanbul Metro Tüneli – için kaya puanlama sisteminin “RMR₈₉” uygulaması:



Kaya kütle parametreleri	Kumtaşı		Çamurtaşı		Fay zonu geçişleri	
	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak	Min
Tek eksenli basınç dayanımı	136,4 MPa (12)	55 MPa (7)	37,5 MPa (4)	31 MPa (4)	9,4 MPa (2)	9,0 MPa (2)
RQD	50-75% (13)	25-50% (8)	50-75% (13)	25-50% (8)	25-50% (8)	<25% (3)
Süreksizlik aralığı	0,6-2 m (15)	60-200 mm (8)	200-600 mm (10)	60-200 mm (8)	200-600 mm (10)	<60 mm (5)
Süreksizliklerin durumu	Çok pürüzlü yüzeyler (20)	Çok pürüzlü yüzeyler (20)	Çok pürüzlü yüzeyler (20)	Pürüzlü yüzeyler (10)	Pürüzlü yüzeyler (10)	Az oyuklu >5 mm (0)
Yeraltı suyu	Islak (7)	Nemli (10)	Nemli (10)	Nemli (10)	Damlama (4)	Damlama (4)
Puan düzenlemesi	Çok uygun (0)	Orta (-5)	Çok uygun (0)	Orta (-5)	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)
Toplam Puan	(67)	(48)	(57)	(35)	(24)	(4)
Sınıf numarası	II	III	III	IV	IV	V
Tanımlama	İyi kaya	Orta kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya

Kaynak: Dalgıç, S, 2002.



Tünel Açılması Sırasında Karşılaşılan Sorunlar

- Kemerlenme
- Aşırı Sökülme
- Kaya Patlaması
- Yeraltı suyu
- Isı
- Gaz

KEMERLENME-AŞIRI SÖKÜLME-KAYA PATLAMASI

Ana etmen doğal gerilmelerdir.

Kazı sonucu

Doğal gerilmelerin

Yer, yön ve Őiddeti değişir.

Oluşan yeni gerilmelere ikincil gerilme adı verilir.

İkincil (sekonder) gerilme koşulları altında;

Tünel yan duvarları, taban ve tavanında

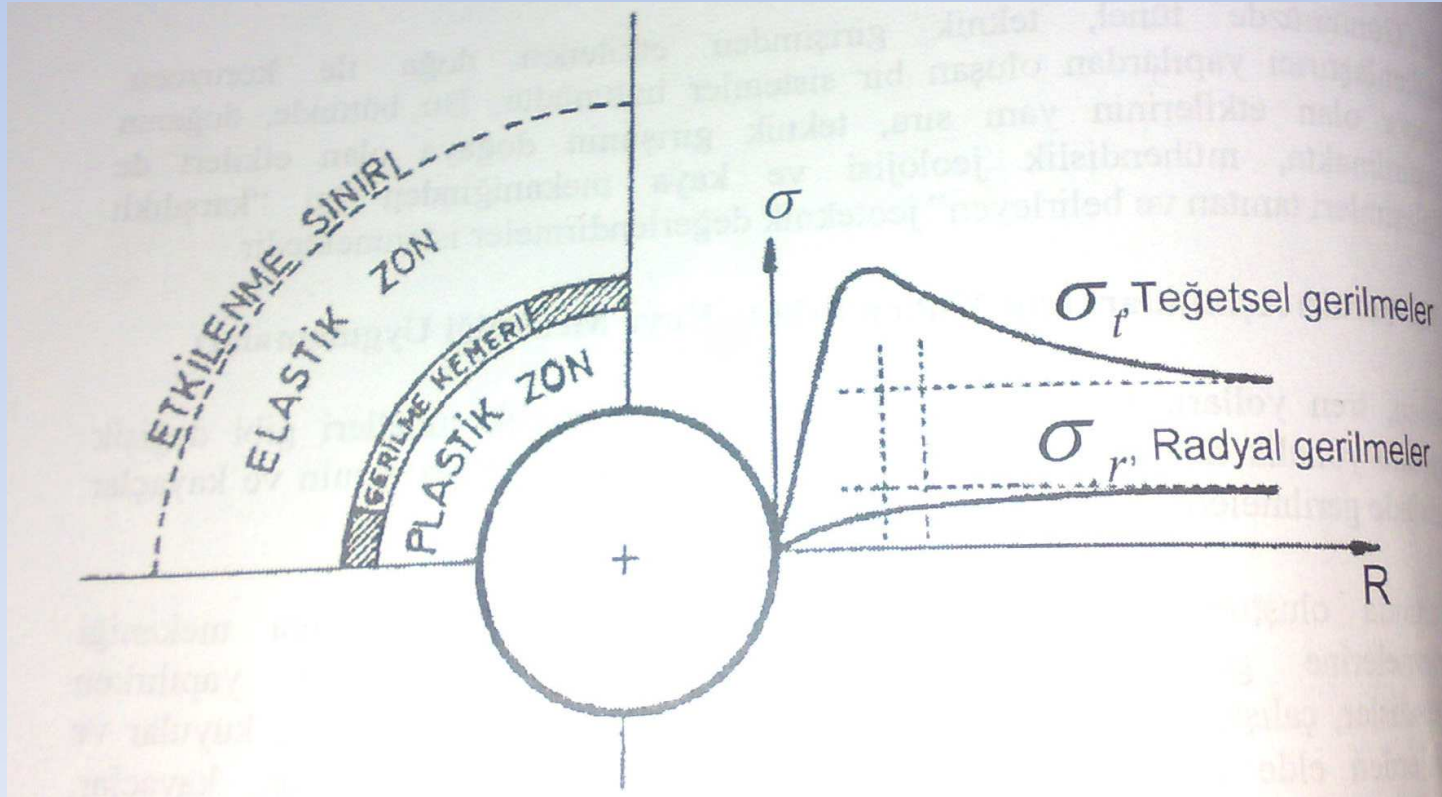
Sert kayalarda kaya patlamaları ve aşırı sÖkülme

AyrımiŐ ve yumuşak kayalarda Şişme ve kabarma türü olaylar ile karŐılaŐılabilir.

Kayaçların içerisinde bulunan gerilmeler;

- Yerçekimi gerilmesi
- Su basıncı
- Buzul erimesi,
- Kayaların erozyonu
- Tektonik hareketler

- Magmatik faaliyetler
- Metamorfizma
- Yeniden kristallenme



Jeolojik Yapıların Gerilme Durumuna Etkisi

Kıvrımlar

Senklinal

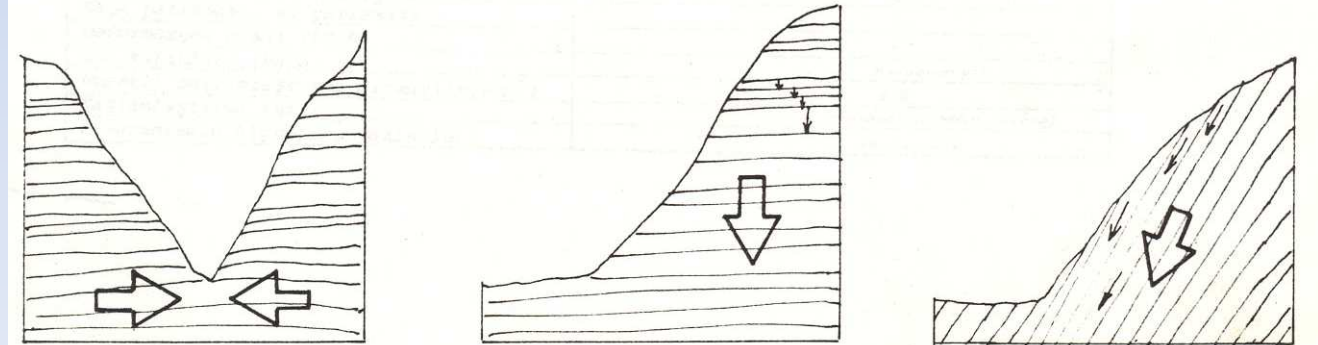
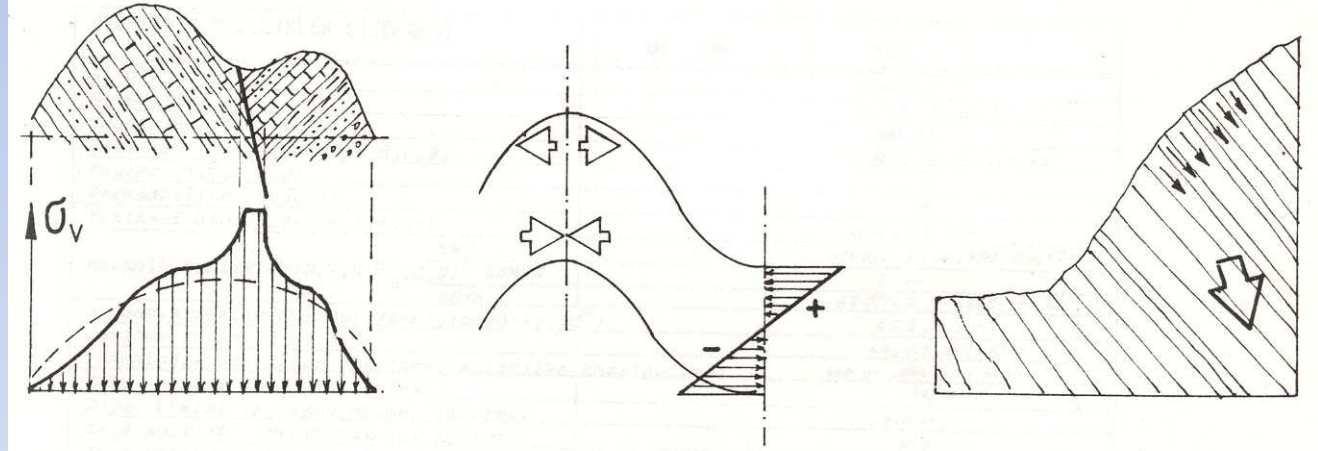
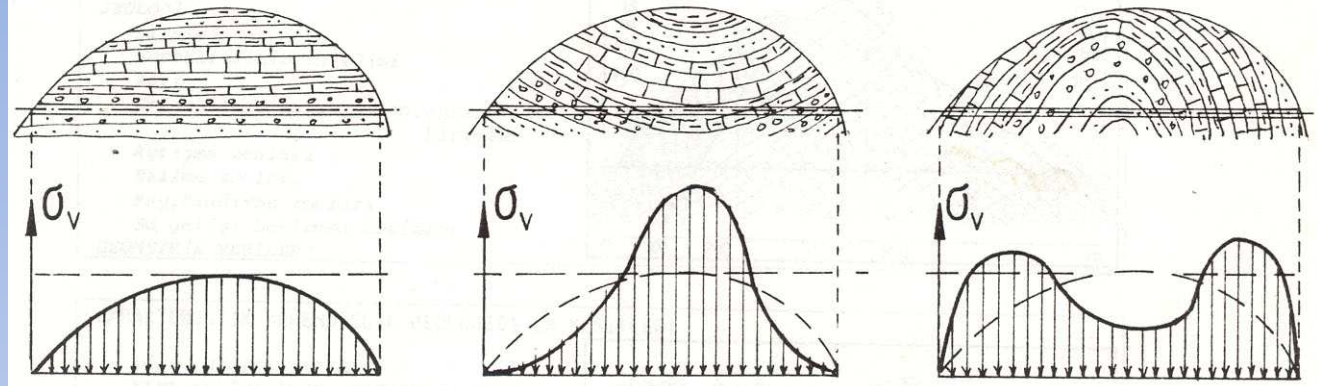
Antiklinal

Faylar

Tabakalar

yeraltında gerilme dağılımında etkindir.

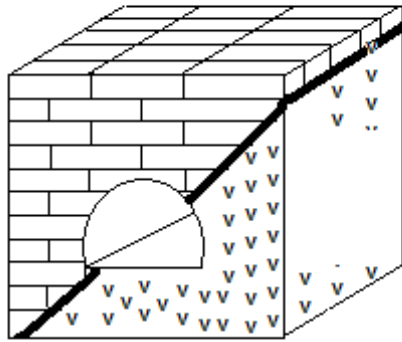
Gerilmelerin şiddet ve doğrultusunun, tünel güzergahının ve boyutlarının belirlenmesi zorunludur.



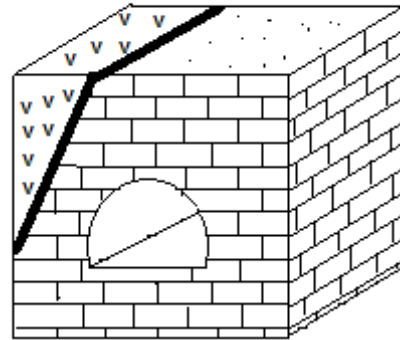
JEOLOJİK YAPILARIN TÜNEL KAZISINA ETKİSİ

FAYLARIN ETKİSİ

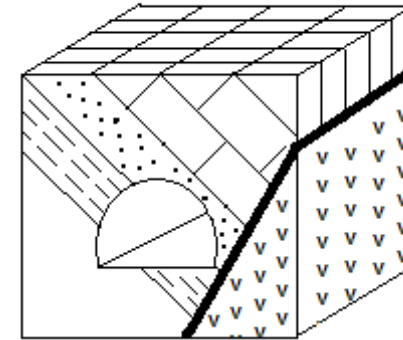
a



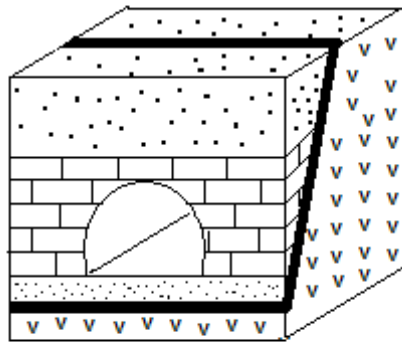
b



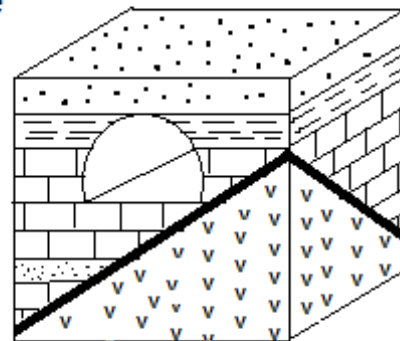
c



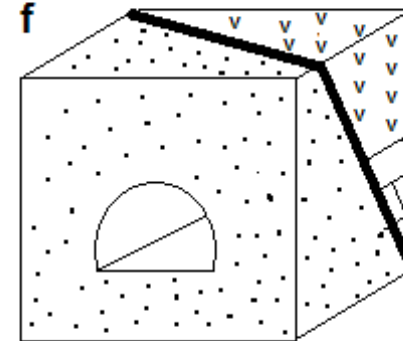
d



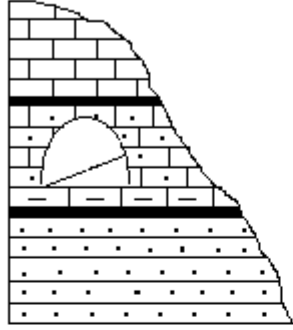
e



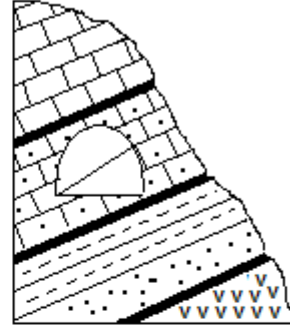
f



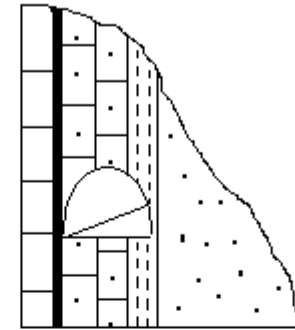
YAMAÇLARDA AÇILAN TÜNELLER



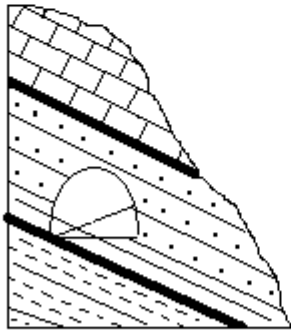
Yatay



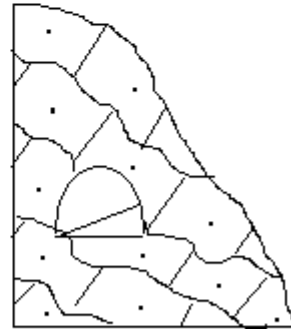
Yamaç içine eğimli



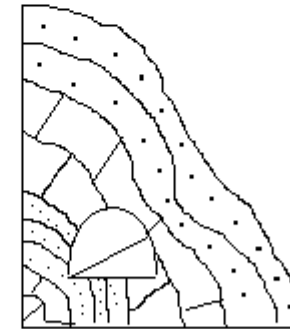
Dik



Yamaç dışına eğimli

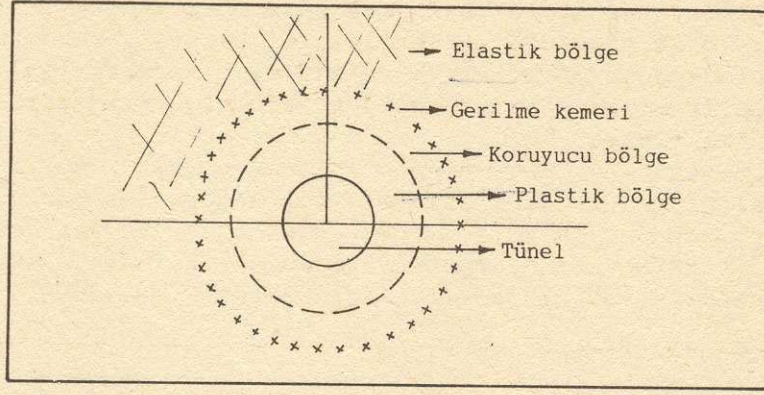


Yamaç dışına eğimli

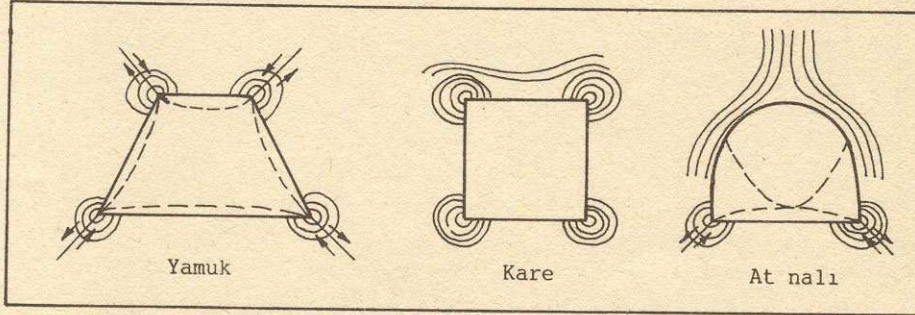


Kıvrımlı (dalgalanmalı)

KEMERLENME



Şekil 6.8: Yeraltı kazılarında oluşan çeşitli bölgeler.



Şekil 6.9: Değişik kazı kesitlerinde gerilme dağılımları.

Yeraltında açılan bir boşluk çevresinde 3 zon oluşur. Bu zonlar dıştan içe doğru;

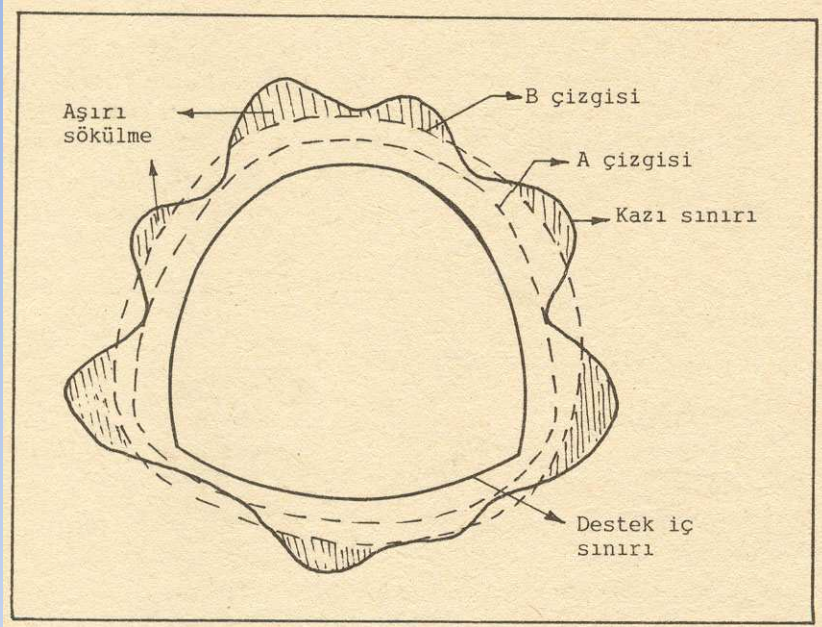
1. Elastik Bölge (Kazıdan etkilenmemiş)
2. Koruyucu bölge
3. Plastik bölge (gevşeme zonu)

Gevşeme zonunun mekanik dayanım parametreleri (kohezyon, c ve içsel sürtünme açısı, ϕ), elastik bölgeninkinden daha küçüktür.

Kazı kesitinin şekli gerilme dağılımı üzerinde etkilidir. Köşeli kesitlerde gerilme yoğunlaşması yüksektir. Duraylılık açısından risk oluşturur. Oysa dairesel kesitli tünellerde, gerilme kemerlenmesi büyük gerilme yoğunlaşması olmaksızın oluşur.

Yeraltı kazısı yapıldığında, kazı boşluğunun etrafındaki kayalar gerilmelerin etkisi ile açılan boşluğa doğru hareket etmek isterler. Bu hareket, süreksizlikler boyunca kayaların birbirlerine dayanması ile bir dereceye dek kendiliğinden önlenir ve denge oluşur. Bu denge haline kemerlenme adı verilir. Kemerlenme; kayalarda açılan boşlukların destek (iksa) gerekmeden durabilme özelliği olarak da tariflenir. Kemerlenme; 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.

AŞIRI SÖKÜLME



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

A çizgisi: Açılmak istenen tünelin çeperine teğet olan çizgidir.

B çizgisi: A çizgisi ile kazılan tünel ortasından geçen çizgidir. Ödeme çizgisi olarak da adlandırılır. B çizgisi dışında kalan kazılar için ödeme yapılmaz.

Aşırı sökülmenin diğer bir tanımı de; B çizgisi dışında kalan dökülme, oyulma ve kazılardır. Bu tür aşırı sökülmelere profil fazlası da denir.

Tünelin tamamlanması için, kaplamanın dış kısmındaki boşlukların doldurulması ve ana kaya ile bağlantısının yapılması gerekir. Kayanın türüne, ayrışma derecesine, süreksizliklere, tünel çapına, açma yöntemine, patlayıcı etkisine bağlı olarak değişik oranlarda oluşur. Değişik türdeki kayalarda aşırı sökülmenin ortalama değerleri;

Sedimanter kayalarda % 9-11

Granitlerde % 10-12

Bazaltlarda % 8-15

Gnayslarda % 8-11

Diğer metamorfiteerde % 11 dolayındadır.

KAYA PATLAMALARI

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.

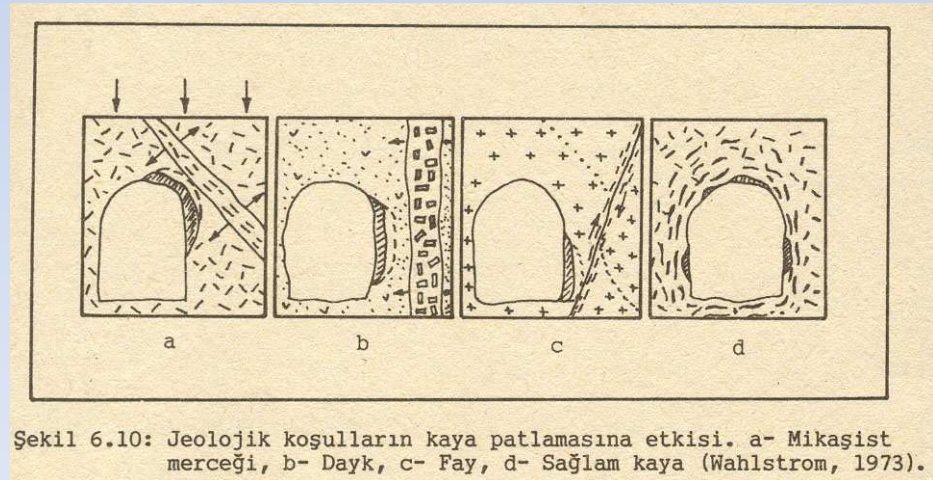
Küçük parçalar halinde ise;

kaya fırlamaları

Büyük parçalar halinde ise;

kapak atma adını alır. Mal ve can kaybına neden olur. Ek maliyet getirir.

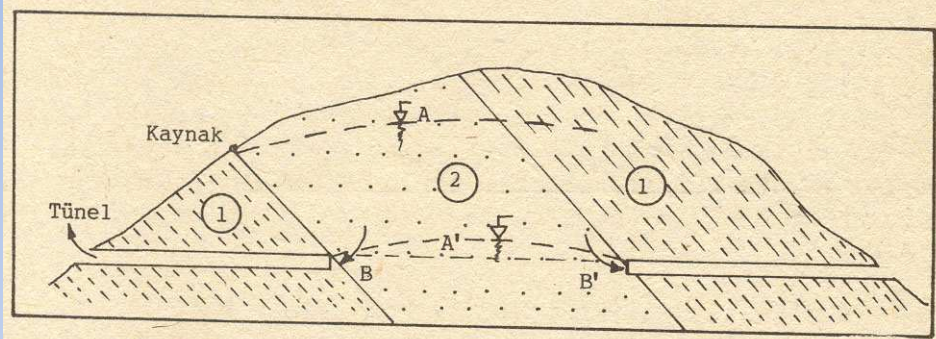
Doğal gerilmelerin yanı sıra jeolojik koşullarında rolü büyüktür. Farklı dayanıma sahip kayaların birlikteliği ve kırıkların varlığı etken faktördür. Kırık çevresinde gerilme yoğunlaşması. Farklı türdeki kayalarda farklı gerilmelerin oluşması.



Şekil 6.10: Jeolojik koşulların kaya patlamasına etkisi. a- Mikasıst merceği, b- Dayk, c- Fay, d- Sağlam kaya (Wahlstrom, 1973).

YER ALTI SUYU SORUNU

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.



Şekil 6.21: Farklı litolojideki sahalarda tünel açılması ve yeraltı su seviyesine etkisi. 1- Geçirimsiz kayaç, 2- Geçirimli kayaç, A- Tünel açılmadan önceki Y.A.S. seviyesi, A'-Tünel açıldıktan sonraki Y.A.S. seviyesi, B, B'- Tünel açılmasıyla su akımının artması (tünelin drenaj galerisi gibi çalışması).

Boşluk suyu basıncının oluşumu nedeniyle dayanım azalması.

Eriyebilen ve şişen kayaçlar.

Çalışma koşullarının zorlaşması.

Mal ve can kaybı riski, maliyet artışı.

Killi ortamlarda şişme ve kazı boşluğuna akma.

CaSO_4 , NaSO_4 , MgSO_4 , H_2S , CO_2 ve $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ içeren sular, desteklemede kullanılan çelik be beton üzerinde olumsuz etki yapar. Bu maddelere;

Jipsli

Anhidritli

Piritli

Kömürlü ve kükürtlü

sahalardan gelen sulara daha çok rastlanır.

ISI SORUNU

Yerkabuğunda, derine doğru her 100 metre sıcaklık 3C derece artış gösterir.

Çalışma koşullarını güçleştirir.

Problemin çözümünde etkin yol havalandırmadır.

Havalandırma;

hava basan veya emen motorlarla (komprasör, aspiratör)

tünele açılan bacalar ile sağlanır.

GAZ SORUNU

Karbondioksit (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.

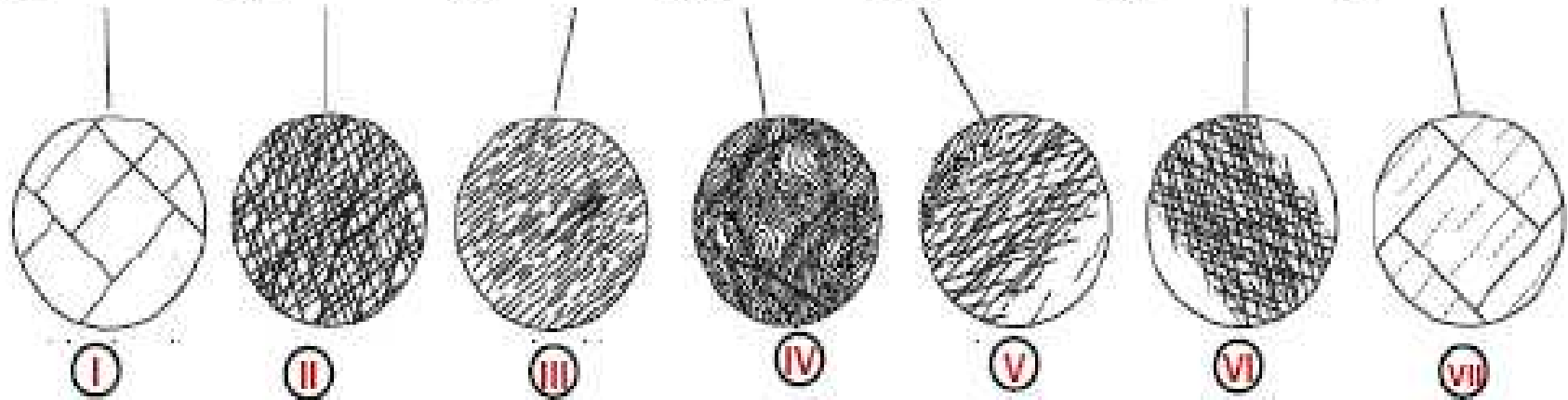
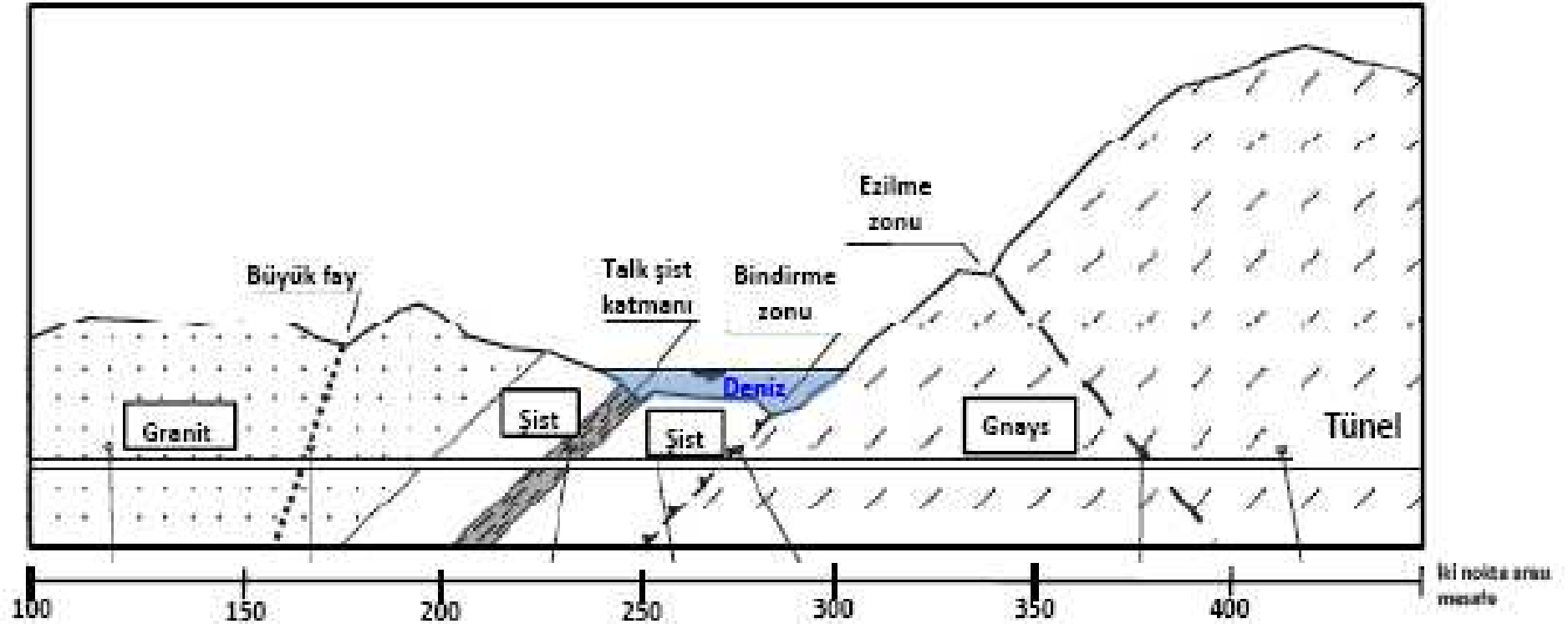
Metan (CH_4):Hava ile karışımındaki oran %5 civarında ise patlayıcıdır (Grizu).

Kükürtdioksit (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.

❖ Uzun bir tünel projesinde karşılaşılabilecek jeolojik ortamlara örnekler



I Çatlaklı granit (blok yapılı) **II** Büyük fay sistemi (zayıflık zonu) **III** Zayıf kaya katmanı (zayıflık zonu) **IV** Çatlaklı şist (bloklı yapı) **V** Bindirme zonu (zayıflık zonu) **VI** Minör fay sistemi (zayıflık zonu) **VII** Çatlaklı gneys (blok yapılı)

❖ Uzun bir tünel projesinde karşılaşılabilecek jeolojik ortamlara örnekler

I) Çatlaklı Granit (blok yapılı)

- Tam cepheli makineli kazı durumunda, gerek iksa gerekse kazı ilerlemeleri bakımından herhangi bir teknik sıkıntı sözkonusu değildir.
- Granitin bileşimi içinde aşındırıcılık özelliğine sahip olan **kuvars**, **feldspat** gibi minerallerin kimyasal bileşimde bulunma miktarlarına bağlı olarak disk keski aşınır. **Disk keski değiştirme giderlerini azaltmak için geçilen formasyonların aşındırıcılık bakımından kritik olan mineralleri, petrografik analizlerle önceden belirlenmelidir.**

II) Büyük fay sistemi (zayıflık zonu)

- Tam cepheli delme makinelerinin (TBM) kullanıldığı tünellerde fay geçişlerinde gerek **stabilite** açısından, gerekse **ilerleme hızı** açısından önemli teknik problemler gözlenir. Diğer kelimelerle tünelin ilerleme hızları, normal koşullardaki ilerleme hızının belirgin şekilde altında olacaktır. Özellikle bu zonların yumuşak olmasından dolayı, kazı makinelerinde yan cidarlara gömülmeler oluşur.
- Buradaki problemlerin büyüklüğü fay sisteminin yataydaki kalınlığına ve fay breş malzemesinin yerinde mekanik büyüklüklerine bağlıdır.

III) Zayıf kaya katmanı(zayıflık zonu)

- II. zonda belirtilen hususlar, III zonda da geçerlidir. Bu zonda oluşacak bir tavan boşalmasında, tünelin su geliri artabilir.

IV) Çatlaklı şist (bloklu yapı)

- III. zon için söylenenler bu zon için de geçerlidir.

V) Bindirme Zonu

- III. zon için söylenenler bu zon için de geçerlidir. Beklenen **su gelir artışları** için tedbirler alınması gerekir.

VI) Minör fay sistemi

- Bu bölgede beklenen problemler II. zon için sıralanan sorunlardan **daha az** şiddette gözlenecektir.

VII) Çatlaklı gnays (bloklu yapı)

- Bu bölgedeki ilerleme hızları ve iksaya ilişkin problemler **hemen hemen sorunsuzdur**. Ancak artan derinlik durumlarında radyal yerdeğiştirme/kazı yarı çapı büyüklüğünde artışlar sözkonusu olabilir.

TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Tüneller genel olarak üç yöntemle inşa edilir:

- Aç - Kapa
- Delme – Patlatma
- Mekanize tünel açma

TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

a. Kayada tünel açma

- * Gerilmeler fazla
- * Duraylılık fazla
- * Geçici su sorunu
- * Masraf az

b. Zeminde tünel açma

- * Gerilmeler az
- * Duraylılık az
- * Devamlı su sorunu
- * Masraf fazla

Gerek kayada gerekse zeminde tünel açarken değişik işlemler yapılır.

Bunlar ;

Tünelin kazılması

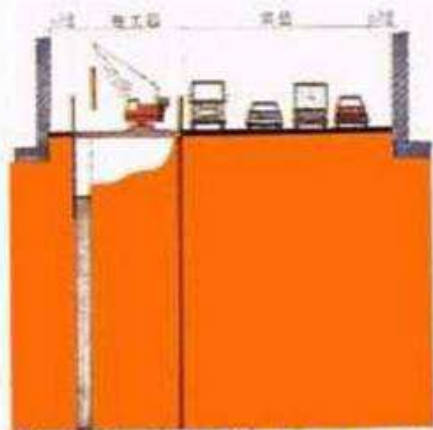
Gerekli hallerde destek uygulanması

Kazılan malzemenin taşınması

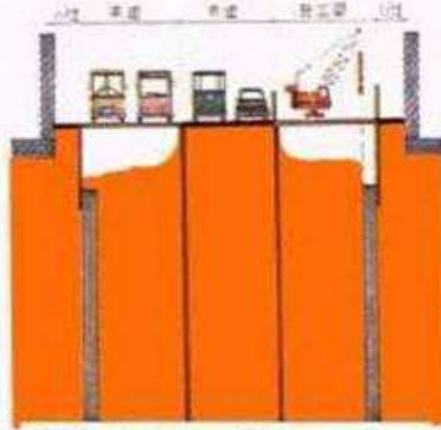
Drenaj, havalandırma, aydınlatma, kaplama ve izolasyon

Aç-Kapa Tünel Açma Yöntemi

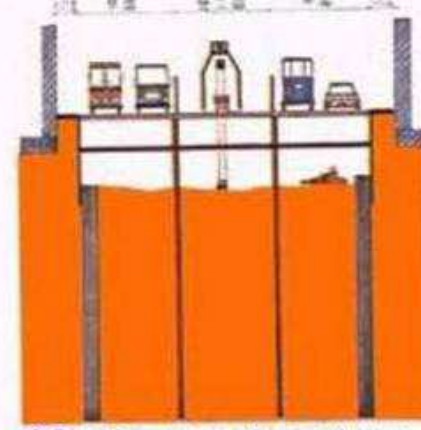
Cut and Cover Construction Illustration



1. Construction of diaphragm wall decking, and pin piles at left area.



2. Construction of diaphragm wall decking, and pin piles at right area.



3. Decking, excavation, and strut installation at central area



4. Construction of main structure (down - up)



5. Pavement restoration in section



6. Completion of underground station

Delme ve Patlatma ile Tünel Açma Yöntemi

- Tünel ve tünel kayası özelliklerine göre deliklerin açılması,
- Deliklere patlayıcı madde türlerine göre hesaplanmış miktarda patlatıcıların yerleştirilmesi,
- Patlatma sırasına göre deliklerin ateşlenmesi,
- Patlatma sonucu gaz ve tozların temizlenmesi için havalandırma yapılması
- Düşme tehlikesi olan blokların düşürülmesi,
- Koparılan malzemelerin (pasa) dışarı taşınması,

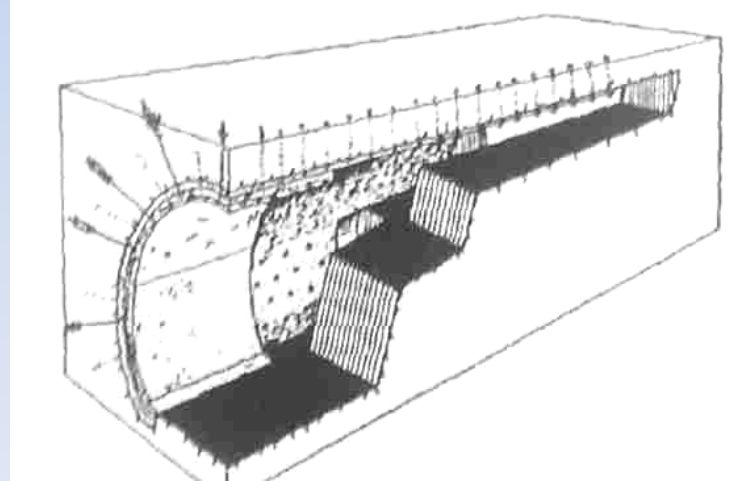
Bu işlemler tünel bitene kadar tekrarlanır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi

Tünelcilikte, yeni bir anlayışın ortaya çıkmasına yol açan "*Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM)*" tünelin, içinde açıldığı kaya ortamına kendi kendini taşıma ilkesine dayanır.

Yöntemin prensibi, en uygun kazı ve sağlamlaştırma yöntemleri kullanılarak kazı sonrasında oluşacak ikincil gerilme ve deformasyonların, kaya yapısının stabilizesini bozmayacak şekilde denetlenmesi, yönlendirilmesi ve kayaçların ilk sağlamlığını olabildiğince koruyarak boşluğu çevreleyen bölgenin kendi kendini tutan ve taşıyan bir statik sistem oluşturulmasıdır.

Yöntemde kayacın yük taşıma kapasitesi kullanılır hale getirilerek kayaç yük oluşturulan ortamdan yük taşıyıcı ortama dönüştürülür .



Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi Ana İlkeleri

Modern anlamda tüneller dairesel kesitli yapılardır. Dağın içinde, boşluk gerisinde oluşturulan gerilme halkası (taşıyıcı zon) ile boşluk duvarına yapıştırılan sağlamlaştırma kabuğu birlikte çalışan bir halka oluştururlar. Statik bakımdan tünel duraylık araştırmalarında iki boyutlu bir çember, üç boyutta ise bir tüptür.

1. Yeraltı yapısının ana malzemesi, dağın kendisidir.
2. Kayacın ilkel (primer) dayanımlılığı korunmaya çalışılmalıdır.
3. Kayanın taşıma direncini azalttığından, gevşemeler önlenmelidir.
4. Koruyucu zon, kayanın taşıma direnci azaltılmaksızın oluşturulmalıdır.
5. Sağlamlaştırma işlemleri tam zamanında ve gerekli esneklikte yapılmalıdır
6. Sağlamlaştırma, kuvvetleri bağlayıcı türde (püskürtme beton) olmalıdır.
7. Sağlamlaştırma kaplamaları ince kabuk şeklinde, bükülebilir esneklikte olmalıdır.
8. Sağlamlaştırma, çelik hasır, ankraj ve çelik bağlarla yapılmalıdır.
9. Sağlamlaştırma zamanı ve araçları ölçümlerle saptanmalıdır (Konverjans ve Ekstansometre
10. Sağlamlaştırma kabuğu kapalı halka şeklinde olmalıdır.
11. Halka, en kısa zamanda oluşturularak, taşıma direncini azaltan plastik zonun oluşumu sınırlanmalıdır. Dağ olabildiğince az kurcalanmalıdır.

TBM





Tünellerde Yapılan Sağlamlaştırma Yöntemleri

Püskürtme beton

Tel kafes

I profil

Püskürtme beton

Çelik hasır

Ankraj

Püskürtme beton

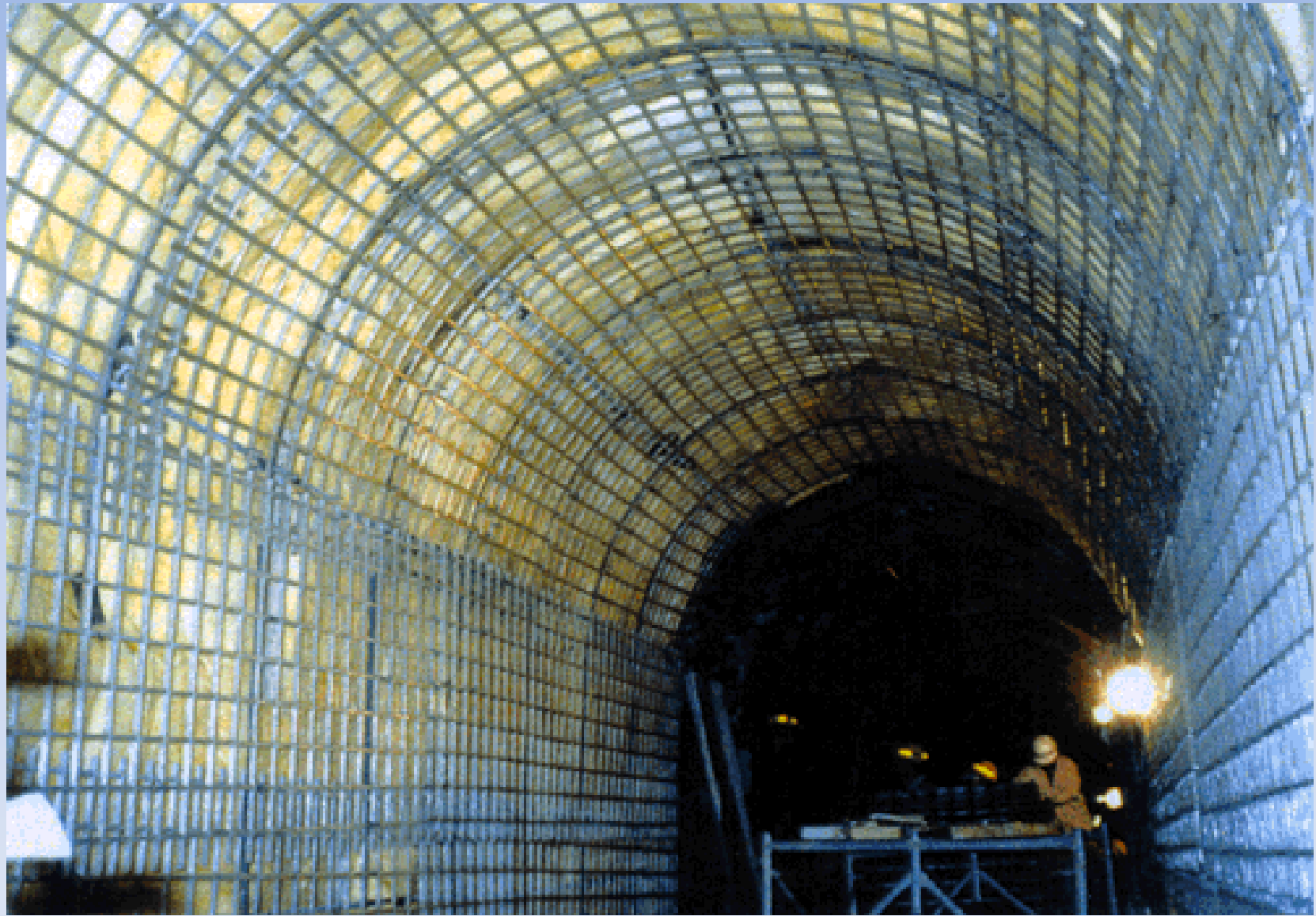
Yalıtım

Beton kaplama









Çelik boru



Kaya Saplaması



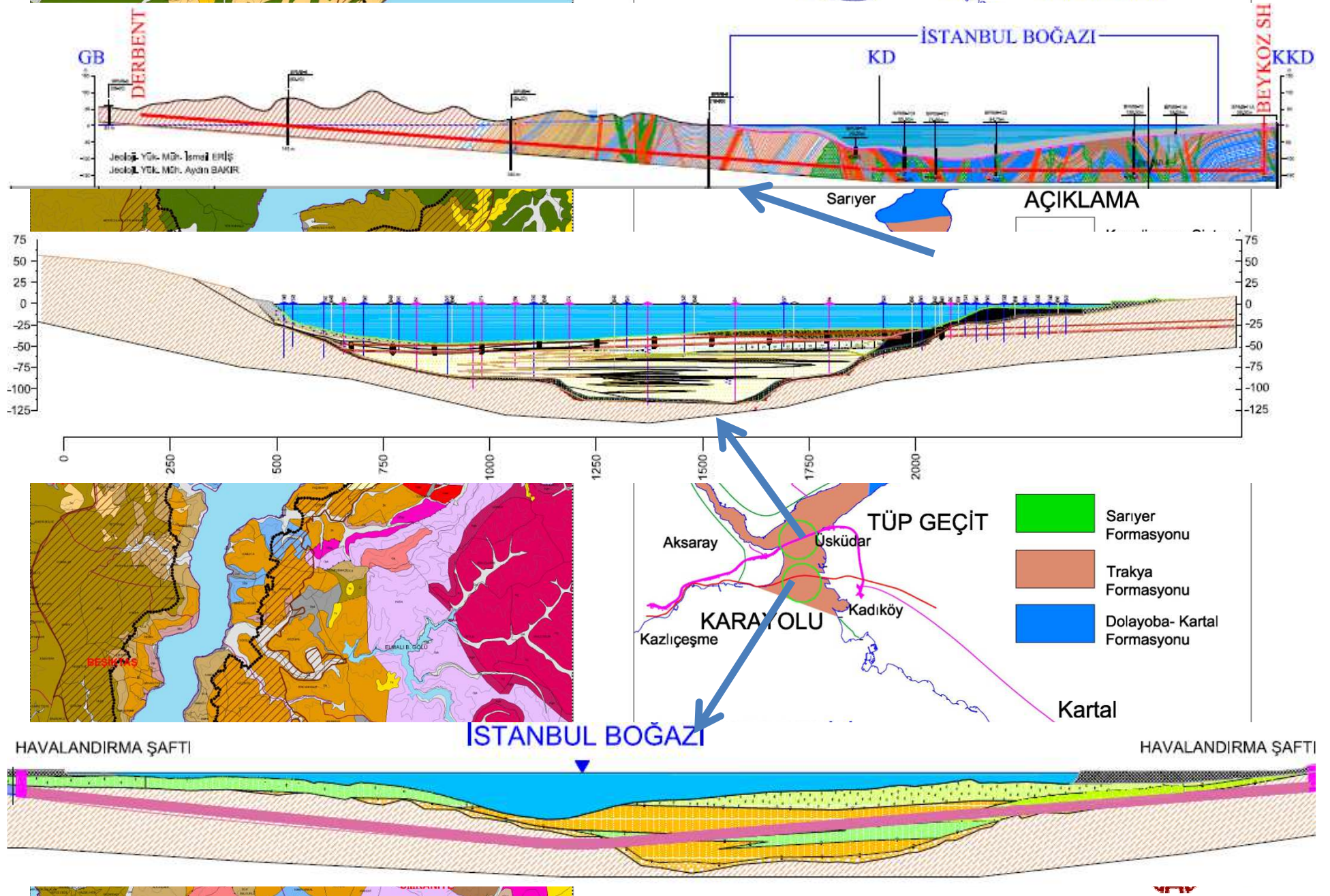








BOĞAZ GEÇİŞİ SUALTI TEMEL KAYA JEOLojİSİ

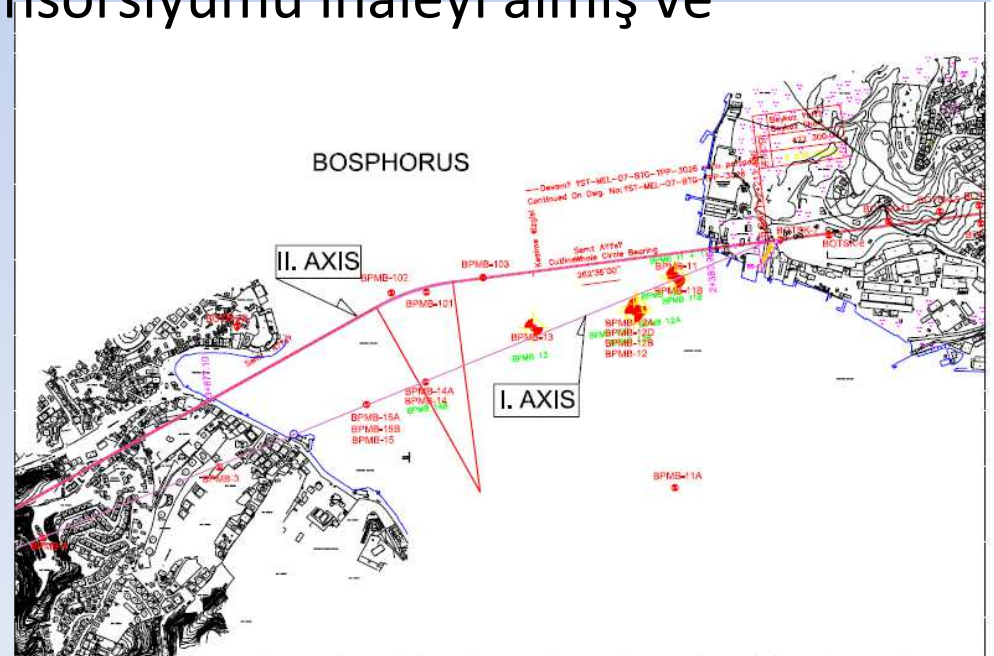
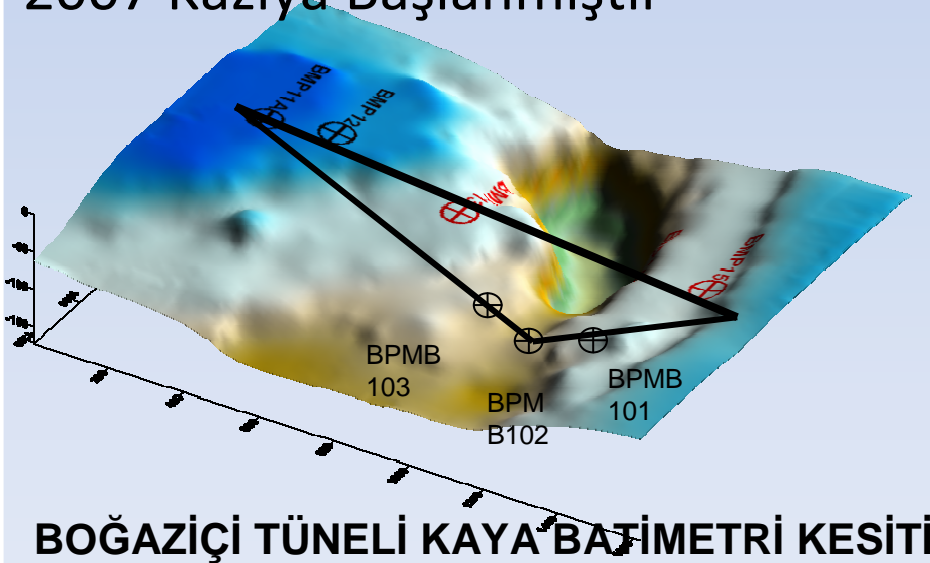




MELEN (SP7) TÜNELİ GÜZERGAH ÇALIŞMALARI

- 1993 – 1995; ilk jeolojik araştırmalar yapılmıştır.
- 1997; ilk ihalesi gerçekleştirilmiştir.
- 1997; Jeolojik riskler nedeniyle ihale iptal edilmiştir.
- 1997–2002; Ek jeolojik araştırmalar ile güzergâh değişikliği yapılmıştır.

➤ **MOSMETROSTROY-STFA-ALKE** konsorsiyumu ihaleyi almış ve 2007 Kazıya Başlanmıştır





MELEN (SP7) TÜNELİ

Boğaziçi Tüneli;

- Ortaçeşme (Beykoz) Giriş
- Derbent (Sarıyer) Çıkış
- Beykoz Şaftı; olmak üzere üç ağızdan oluşmaktadır.

Boğaz geçişi; deniz seviyesinin yaklaşık 137 m altından geçen, 6,15 m çaplı 3145 m uzunluğunda olan TDM tünelinin üzerinde 14 atm basınç bulunmaktadır.

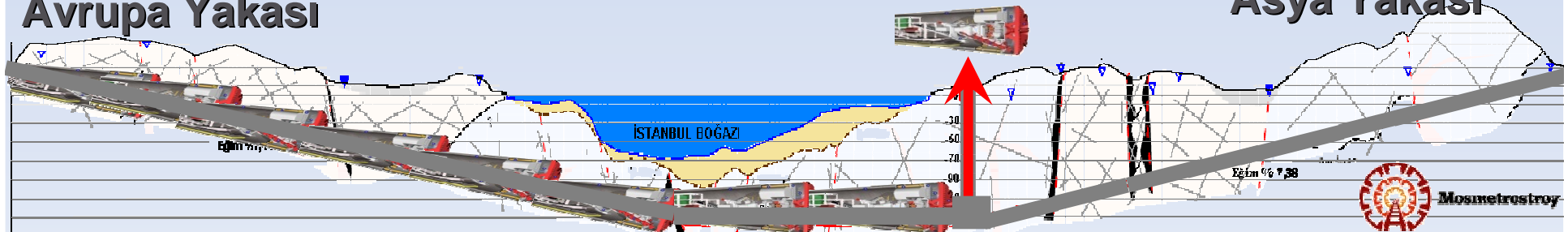
Ortaçeşme Giriş Portalı; del patlat yöntemi ile 5,5 m çapında, 2123 m uzunluğunda ve %7,38 eğimle açılacak olan tünel yaklaşık -137 m kotunda Beykoz Şaftı ile birleşecektir.

Beykoz Şaftı; 8 m çapında ve 145 m derinliğinde olup su hattında yapılacak bakım, ulaşım ve su boşaltmak, inşaat sonrasında Tünel Delme Makinesini (TBM) dışarı çıkarmak amacıyla inşa edilmiştir.



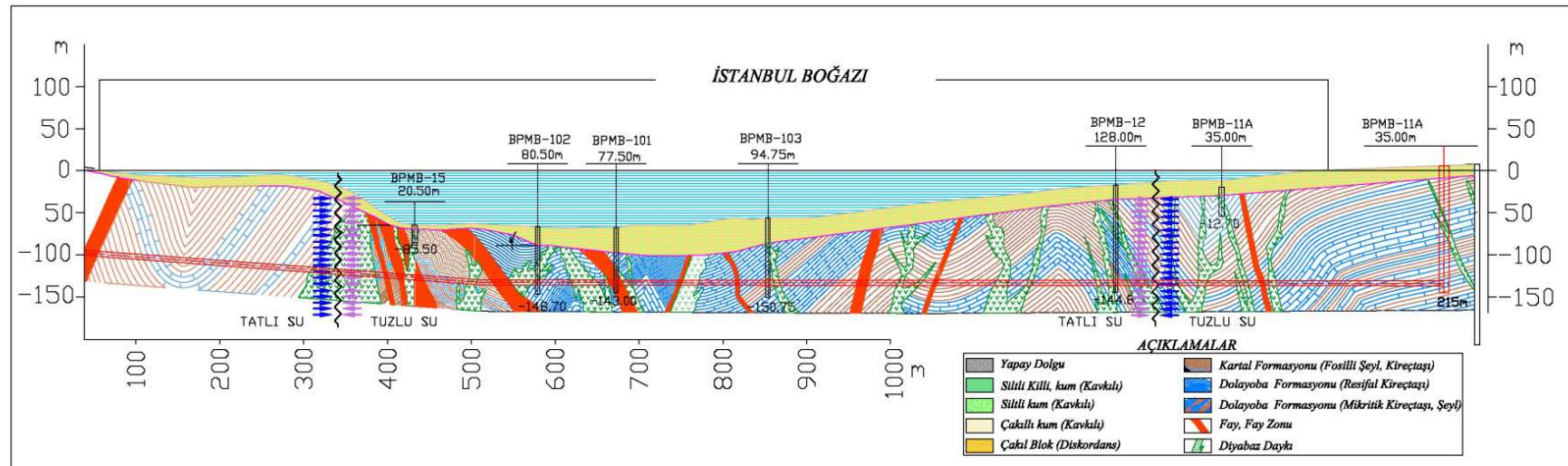
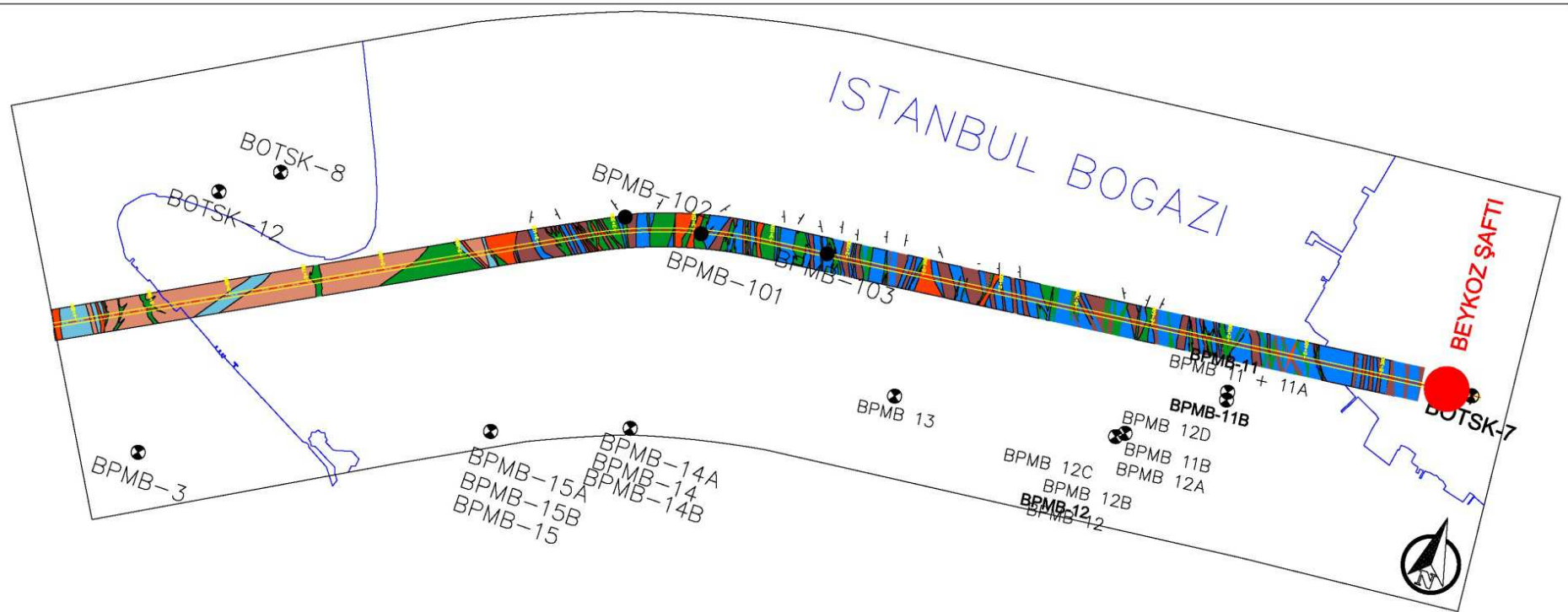
Avrupa Yakası

Asya Yakası



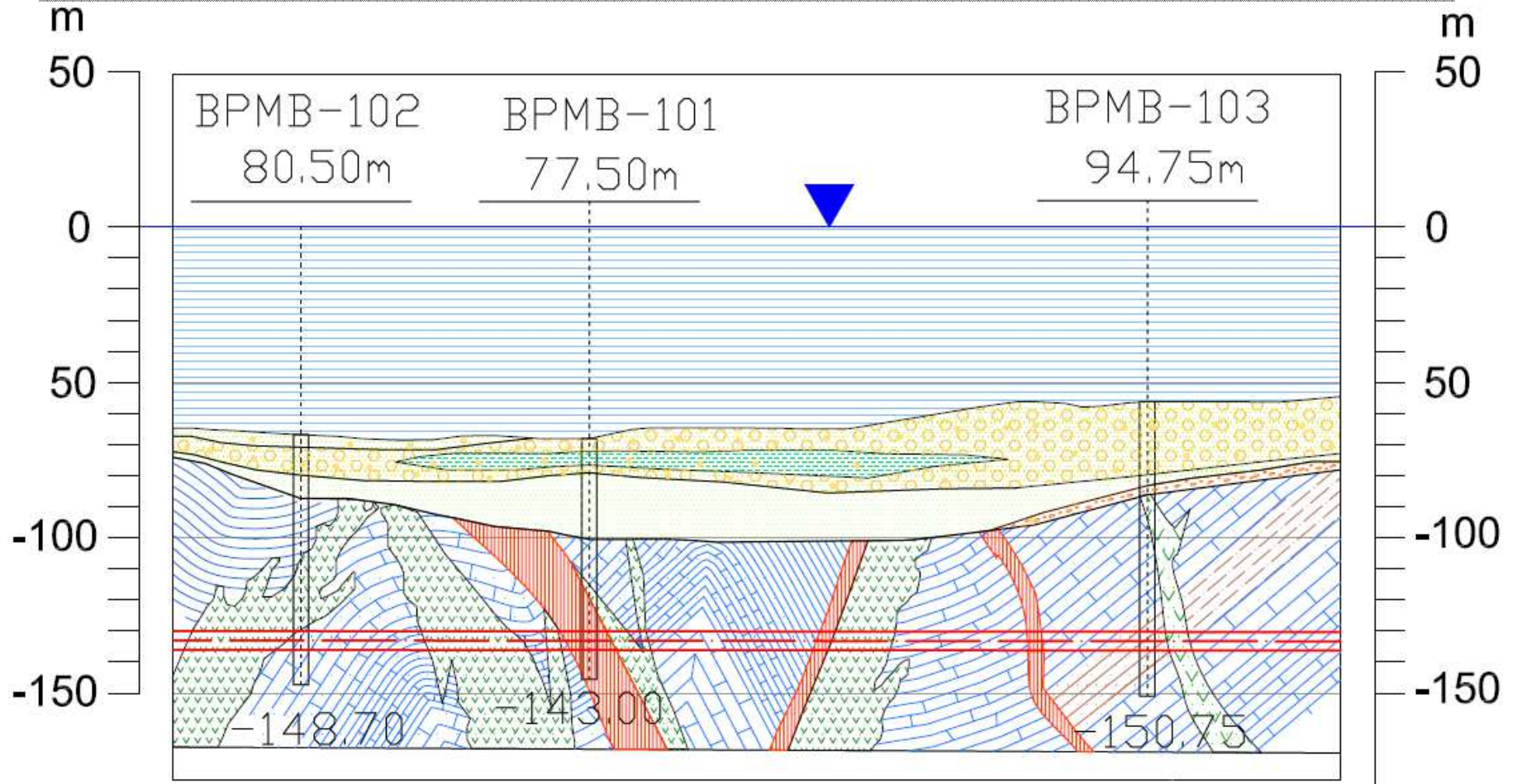


TÜNEL AÇILIMI VE JEOLojİSİ





TÜNEL AÇILIMI VE JEOLojİSİ



AÇIKLAMA

0 50 100 150 m



Trakya Formasyonu ve Diyabaz Dayklarına Ait Kaya Sınıfları ve Tasarım Parametreleri

AÇIKLAMA	Jeolojik Dayanım İndeksi			FORMASYON/Litoloji
	<i>GSI</i>	<i>RMR</i>	<i>Q</i>	
Max	53	58	2.45	TRAKYA/Çamurtaşı (Az Ayrışmış)
Min	18	23	0.05	
Ort	42	47	0.73	
Max	40	45	0.58	TRAKYA/Çamurtaşı (Ayrışmış)
Min	12	17	0.03	
Ort	30	35	0.19	
Max	58	63	4.26	TRAKYA/Kumtaşı (Az Ayrışmış)
Min	38	43	0.47	
Ort	47	52	1.26	
Max	48	53	1.41	TRAKYA/Kumtaşı (Ayrışmış)
Min	23	28	0.09	
Ort	28	33	0.15	
Max	66	71	10.33	Diyabaz
Min	58	63	4.26	
Ort	64	69	8.28	

Tek Eksenli Dayanım	Jeolojik Dayanım İndeksi	Malzeme Sabiti	Örseleme Faktörü	Elastisite Modülü	Birim Hacim Ağırlık	Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı	Deformasyon Modülü	FORMASYON/Litoloji
<i>UCS</i>				<i>E_t</i>	<i>γ</i>	<i>c</i>	<i>φ</i>	<i>E_m</i>	
(Mpa)	<i>GSI</i>	<i>m_i</i>	<i>D</i>	(MPa)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(MPa)	
25	40	6	0	22700	25	183	45	3624	TRAKYA Çamurtaşı (Ayrışmış)
9	12	6	0	7140	25	42	26	233	
16	30	6	0	15135	25	104	39	1232	
136	58	18	0	59100	25	1282	66	28053	TRAKYA Kumtaşı (Az Ayrışmış)
67	38	18	0	7140	25	309	60	994	
90	47	18	0	23271	25	521	63	5928	
64	66	15	0	6390	25	1080	63	4200	Diyabaz
31	58	15	0	3250	25	450	58	1550	
46	64	15	0	4550	25	750	61	2800	



Kartal ve Dolayoba Formasyonlarına Ait Kaya Sınıfları ve Dayanım Parametreleri.

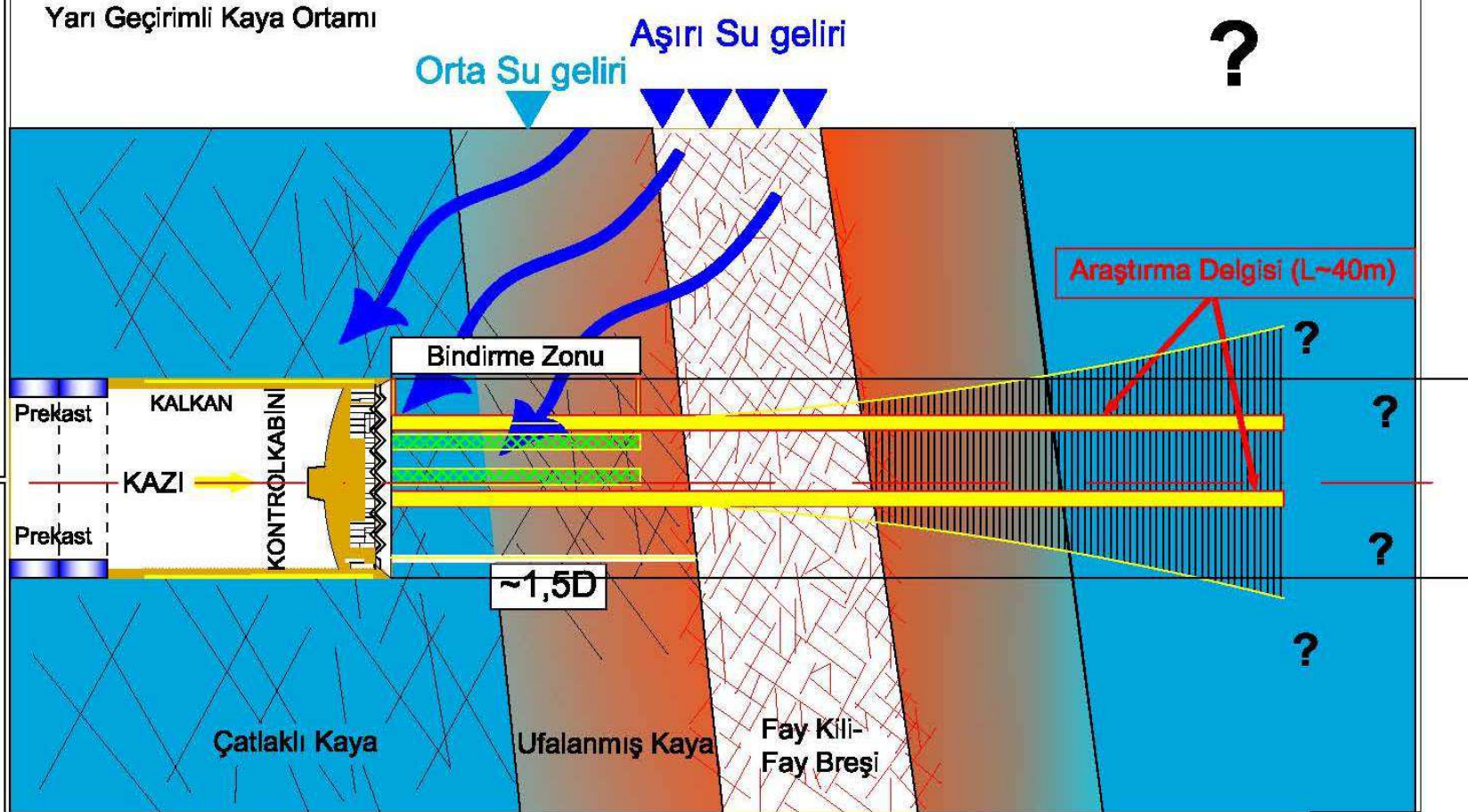
		Tek eksenli dayanım	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Örseleme faktörü	Elastisite modülü	Birim hacim ağırlık	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü
		<i>UCS</i>	<i>GSI</i>	<i>mi</i>	<i>D</i>	<i>E_i</i>	<i>γ</i>	<i>c</i>	<i>φ</i>	<i>E_m</i>
		(<i>Mpa</i>)				(<i>MPa</i>)	(<i>kN/m³</i>)	(<i>kPa</i>)	(°)	(<i>MPa</i>)
Yumrulu	Max	64	58	6	0	16.3	26	1.000	52	7800
	Min	11,7	18	6	0	2.2	26	75	29	150
	Ort	32	48	6	0	5.3	26	350	47	1.500
Mikritik	Max	85	56	8	0	21.8	26	1.000	58	9.400
	Min	41	37	8	0	6.6	26	200	52	850
	Ort	65	45	8	0	15.3	26	400	56	3.500
Resifal	Max	75	63	8	0	34.5	26	1.400	57	20.00
	Min	34	46	8	0	5.9	26	270	52	1.400
	Ort	61	61	8	0	14.1	26	1.000	56	7.700
Kaya Sınıfı									Açıklama	
RMR			Q			GSI				
Max	Min	Ort	Max	Min	Ort	Max	Min	Ort		
68	51	66	8,26	1,25	6,61	63	46	61	Resifal Kireçtaşı (Dolayoba Formasyonu)	
61	42	50	3,79	0,46	1,12	56	37	45	Mikritik Kireçtaşı (Dolayoba Formasyonu)	
64	36	57	5,29	0,24	2,43	59	31	52	Yumrulu Kireçtaşı (Dolayoba Formasyonu)	
63	23	53	4,74	0,06	1,56	58	18	48	Kireçtaşı (Kartal Formasyonu)	
59	42	50	3,04	0,46	1,12	54	37	45	Karbonatlı Şeyl (Kartal Formasyonu)	
71	63	69	11,52	4,74	9,23	66	58	64	Diyabaz	



TÜNEL AÇILIMI VE JEOLojİSİ

HİDROJEOLojİK KOŞULLAR

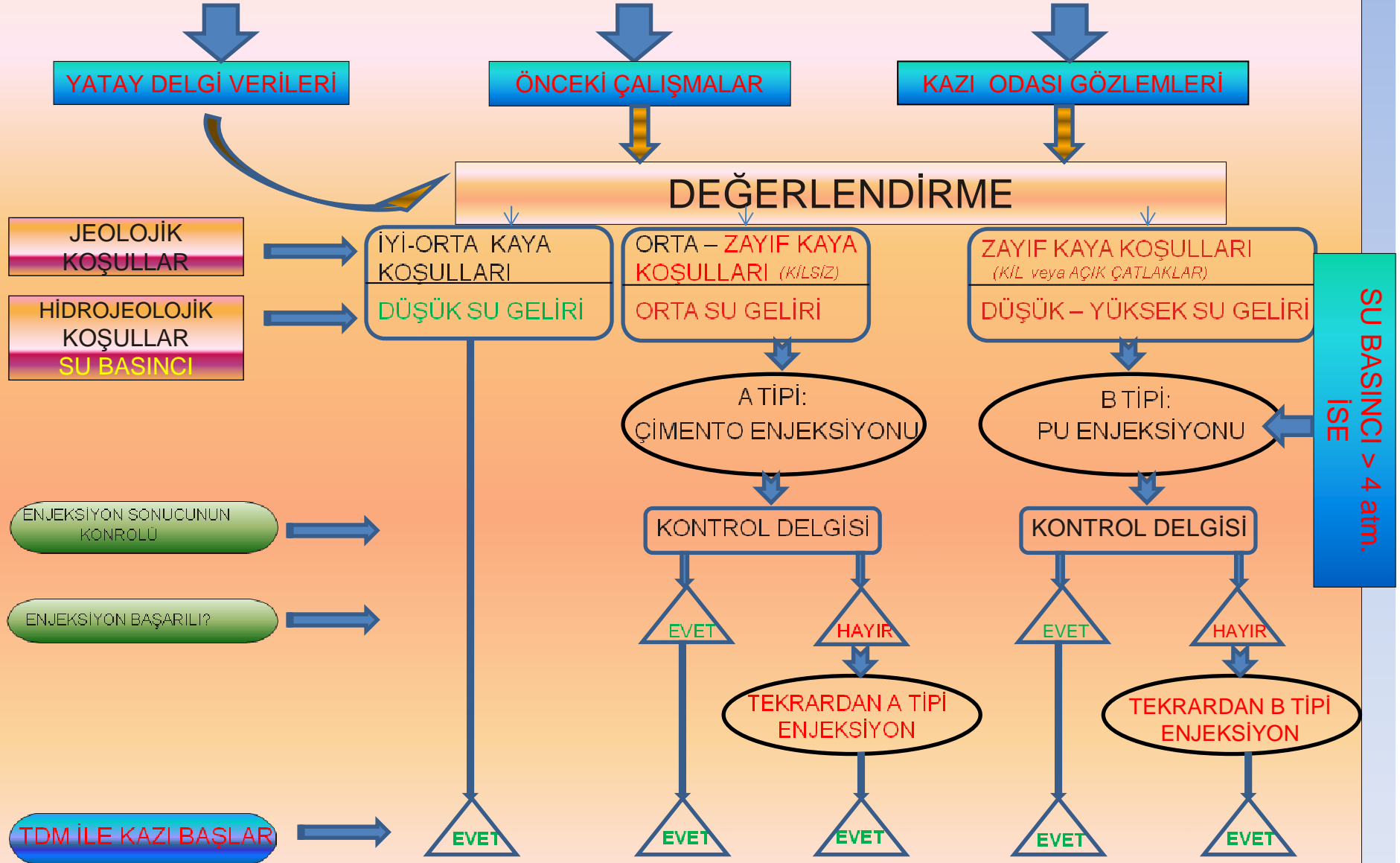
KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİ



Suya doymun kaya ortamında Hard rock TBM kazısı sırasında yatay araştırma delgileri ile belirlenen kazı ortamı ve fay zonu karakteristikleri ile su geliri etkileşimi.



ENJEKSİYON ve/veya KAZI KARARI





ENJEKSİYON YAPMA KOŞULLARI

Zemin kalitesi →		Orta - iyi	Orta - iyi	Zayıf (kilsiz ama ezilmiş)	Zayıf (killi ve ezilmiş)	Zayıf (zayıf veya yumşak malzeme doldurulmuş ve/veya açık boşluklar)
Deliklerdeki su geliri miktarı	1 delik	< 1 l/s		2 l/s	< 3 l/s	> 1 l/s
	2 delik*)	< 1.2 l/s		4 l/s		
	3 delik*)			5 l/s		
	5 delik*)			8 l/s	Herhangi delikte	Zayıf veya yumşak malzeme doldurulmuş herhangi delik için ve > 3 l/s açık boşluklar için
İleri enjeksiyon tipi →		İleri enjeksiyon gerekmez. TBM kazısı emniyetli olarak yapılabilir.	A tipi Enjeksiyon: Çimento enjeksiyonu ile emniyetli kazı koşullarının sağlanması.		B tipi Enjeksiyon: Özel PU enjeksiyonu yardımıyla su gelirini azaltma ve zemin koşullarını kısmen düzeltme.	

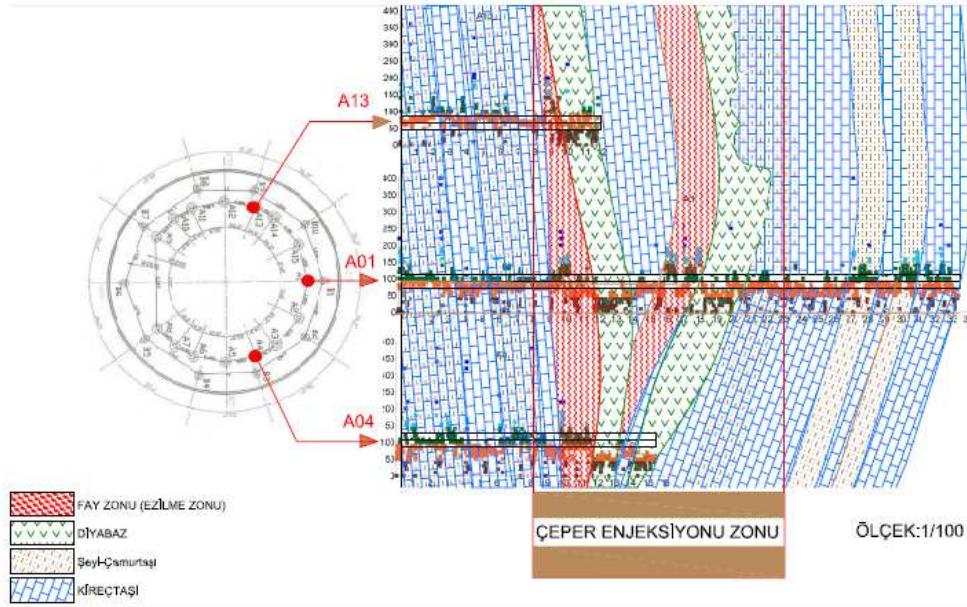
*) gösterilmiş su gelirleri miktarı mevcut deliklerden gelen su miktarının toplamıdır. Kılavuz delgilerin sayısı Bölüm 1.3.1. deki gibi



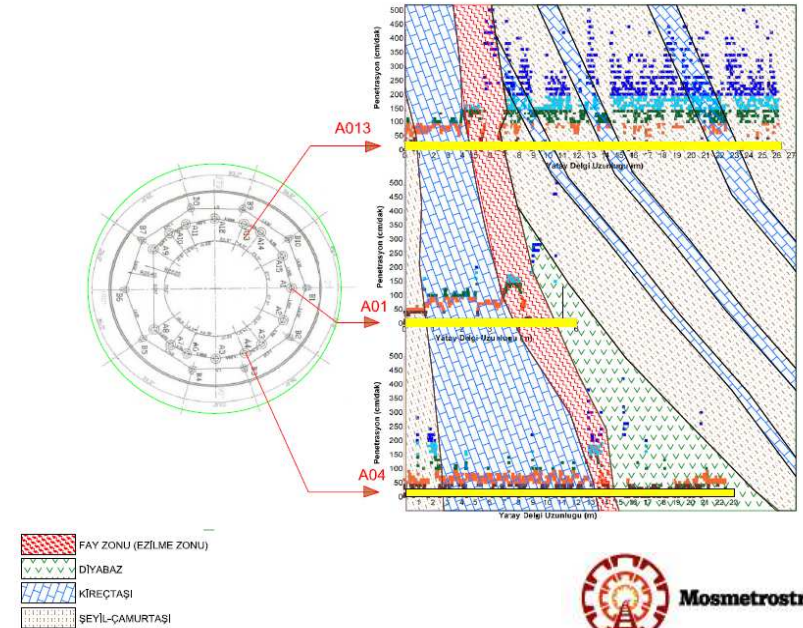


SIZDIRMAZLIK ENJEKSİYONU

km:3+986,51-3+971,17 ARASINDAKİ KESİMDEKİ JEOLOJİK DURUM VE ÇEPER ENJEKSİYON GEREKSİNİMİ



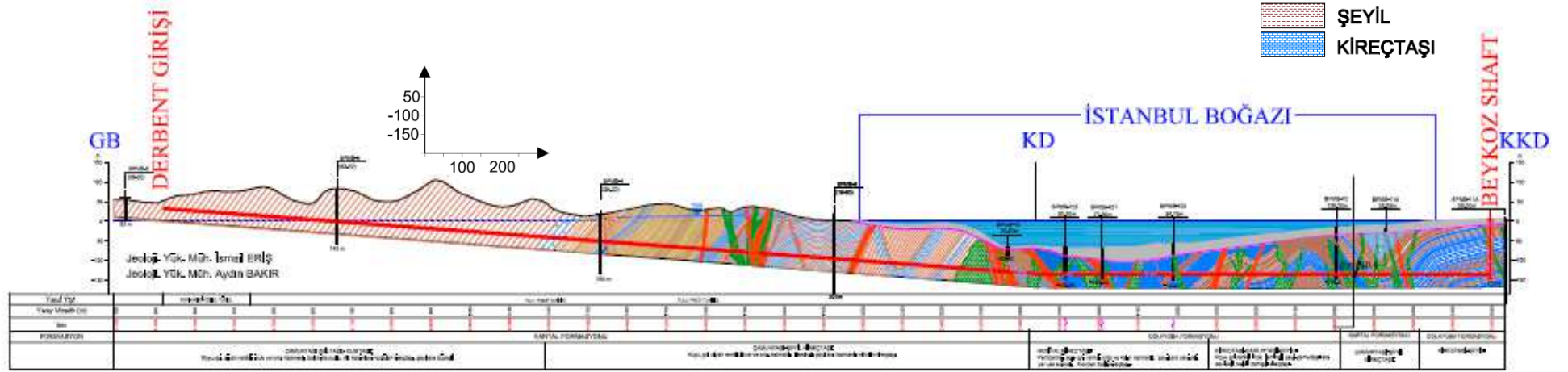
km:3+469,22-3+443,13 ARASINDAKİ KESİMİN JEOLOJİK DURUMU (TÜNEL ÜST YARI AÇILIMI)



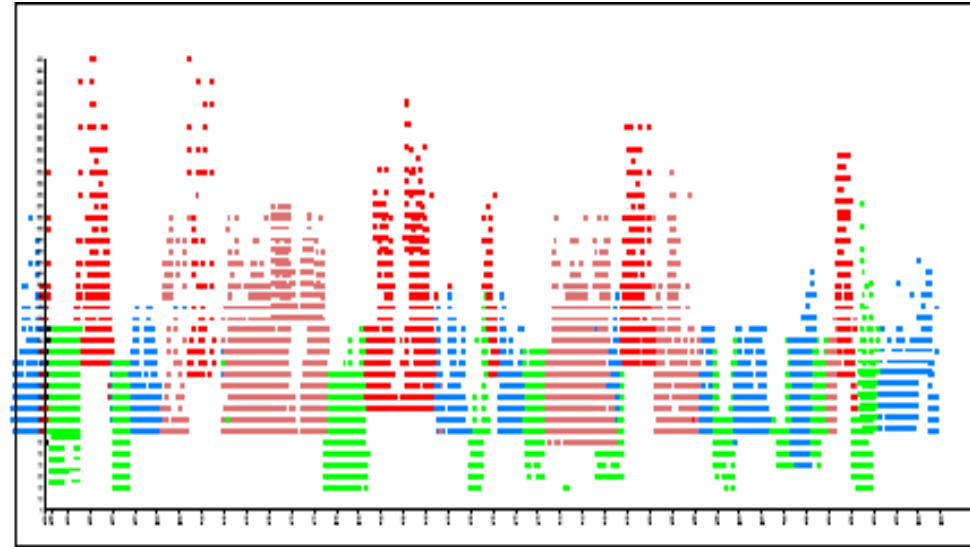


KAZI SONRASI BOY KESİT

- AÇIKLAMA
- FAY ZONU
 - DİYABAZ
 - ÇAMURTAŞI
 - ŞEYİL
 - KİREÇTAŞI



İLERİ ARAŞTIRMA
DELGİLERİNDEN
ELDE EDİLEN KAYA
TOMOĞRAFİSİ

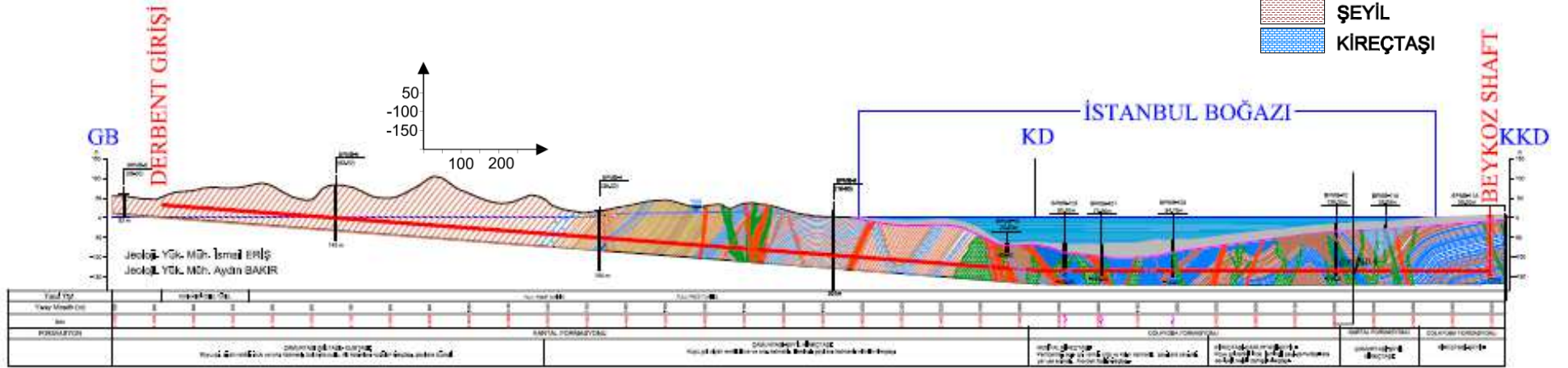




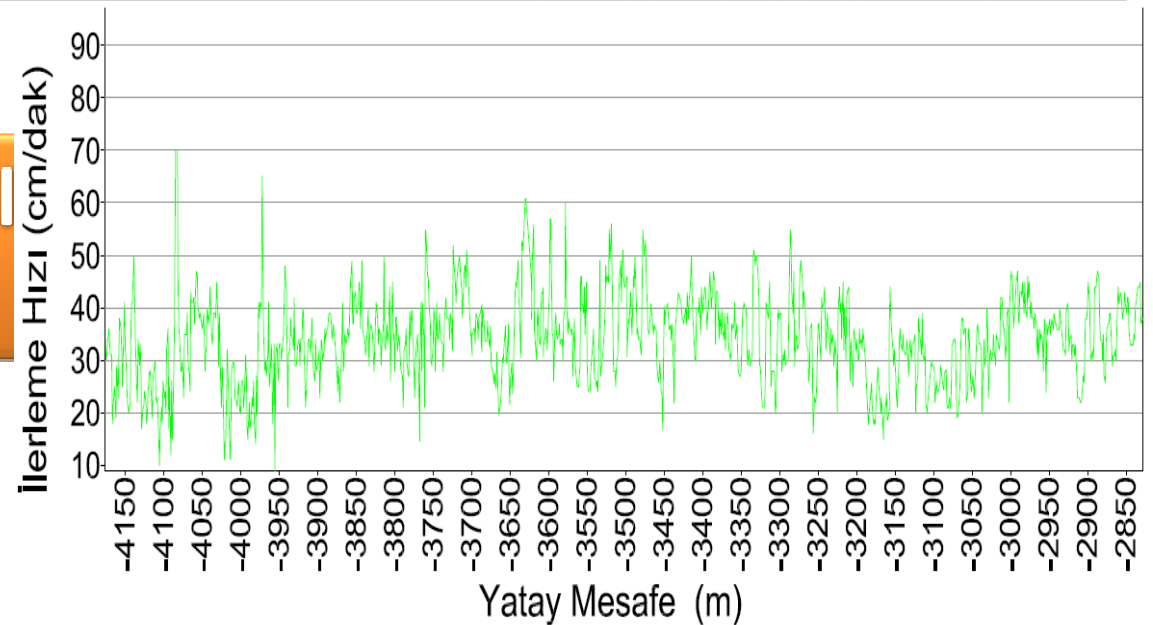
KAZI SONRASI BOY KESİT

AÇIKLAMA

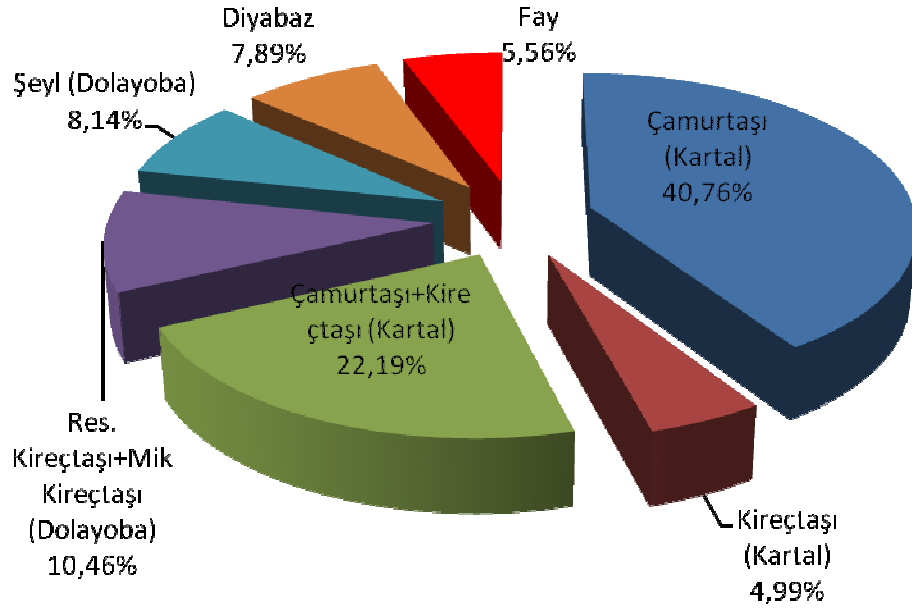
- FAY ZONU
- DİYABAZ
- ÇAMURTAŞI
- ŞEYL
- KİREÇTAŞI



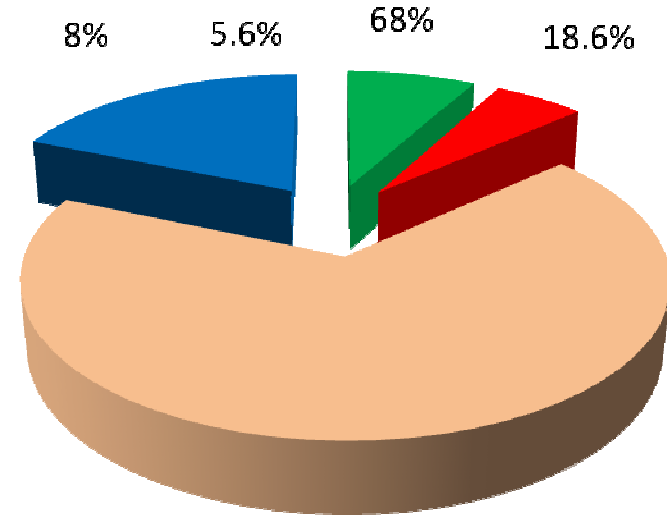
**GERÇEKLEŞEN KAZI
PERFORMANSI**



Tünel kazısında geçilen birimlerin % dağılımı. Tünel kazısında geçilen formasyonların % dağılımı.

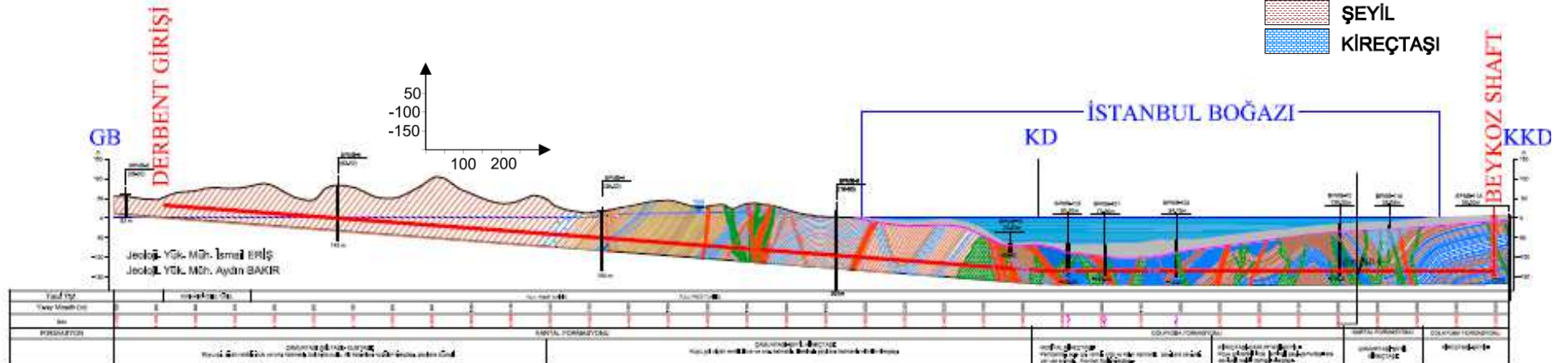


■ Diyabaz ■ Fay ■ Kartal Fr. ■ Dolayoba Fr.



AÇIKLAMA

- FAY ZONU
- DIYABAZ
- ÇAMURTAŞI
- ŞEYL
- KIREÇTAŞI



TÜNEL AYNASINDAN

FAY KILI



TÜNEL AYNASINDAN

DIYABAZ & FAY ZONU



TÜNEL AYNASINDAN

BELİRGİN ÇATLAKLI – BLOKLU DİYABAZ



TÜNEL AYNASINDAN

RESİFAL KİREÇTAŞI



TÜNEL AYNASINDAN

DIYABAZ & SU & GÖÇÜK



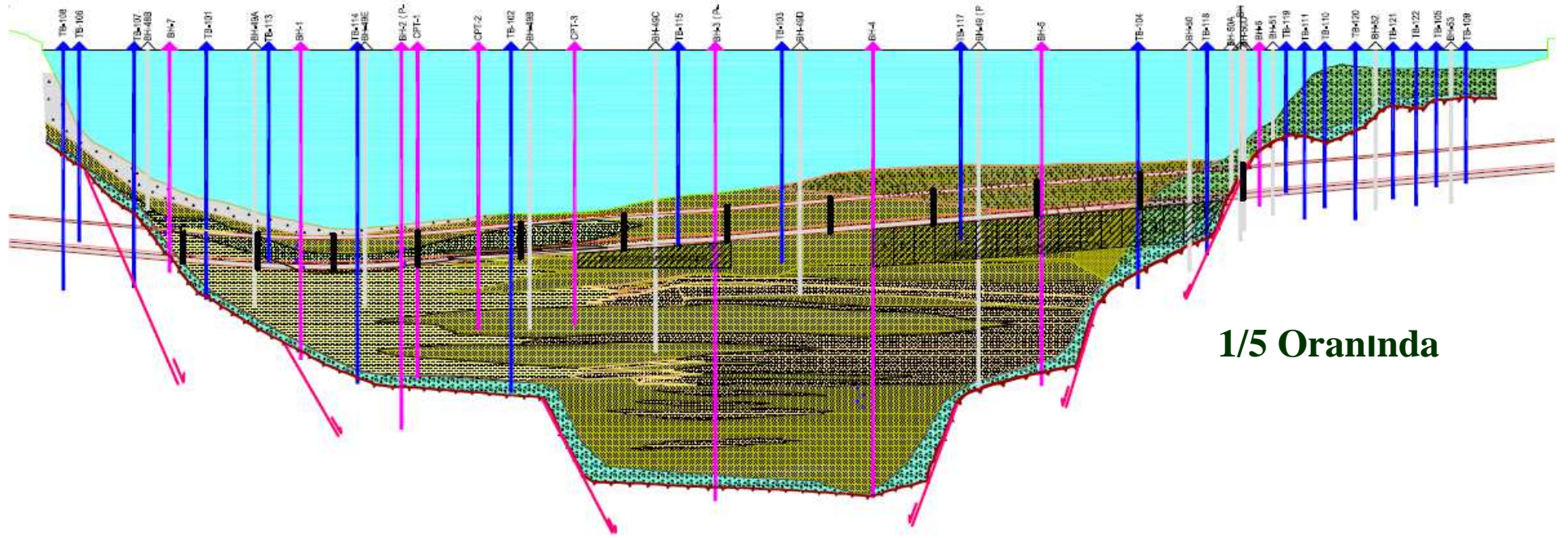
TÜNEL AYNASINDAN

ÇAMURTAŞI & SU & GÖÇÜK





MARMARAY TÜP GEÇİŞİ



1/5 Oranında

Güncel ve Antik Dolgu / Artificial and Antique Fill

Siltli kum (Denizel Kavkılı) / Silty Sand (Marine Shell)

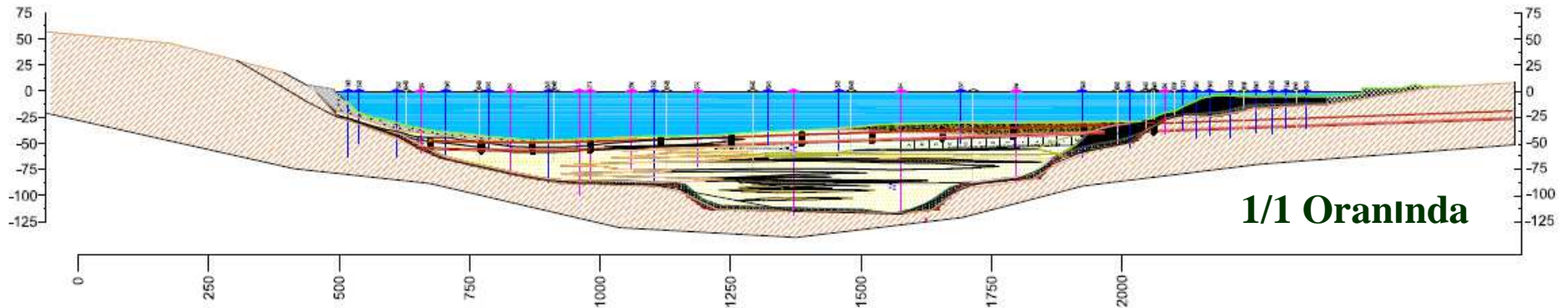
Kumlu, Silt, Kil (Denizel Kavkılı) / Sandy Silt, Clay (marine shell)

Çakıllı kum / Gravelly Sand

Siltli Kum / Silty Sand

Çakıl Blok (Diskordans) / Gravel Block (Unconformity)

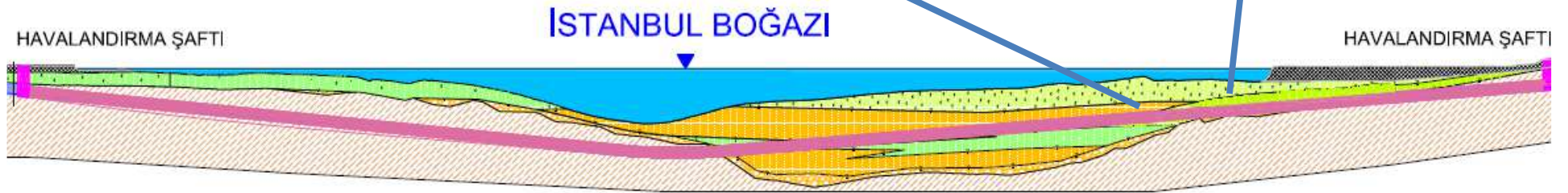
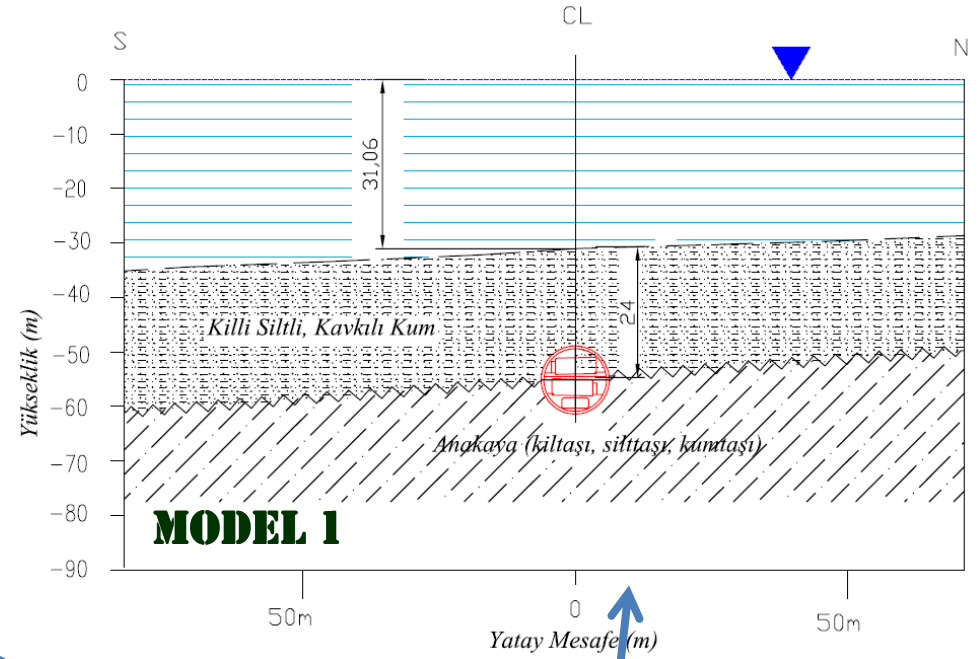
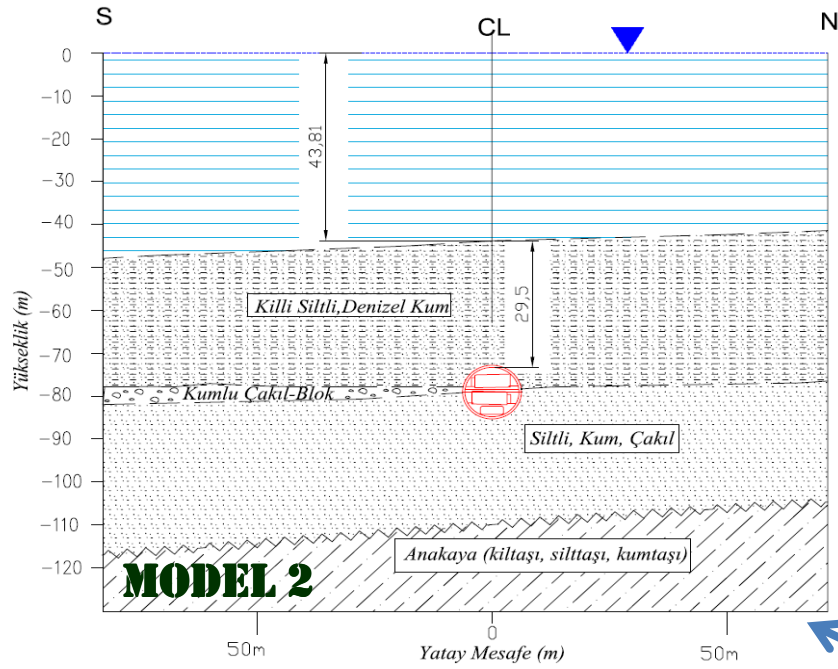
Kumtaşı, Çamurtaşı (Şeyl) (Trakya Formasyonu) / Sandstone, Mudstone (Shale) (Trakya Formation)



1/1 Oranında



KARAYOLU GEÇİŞİ



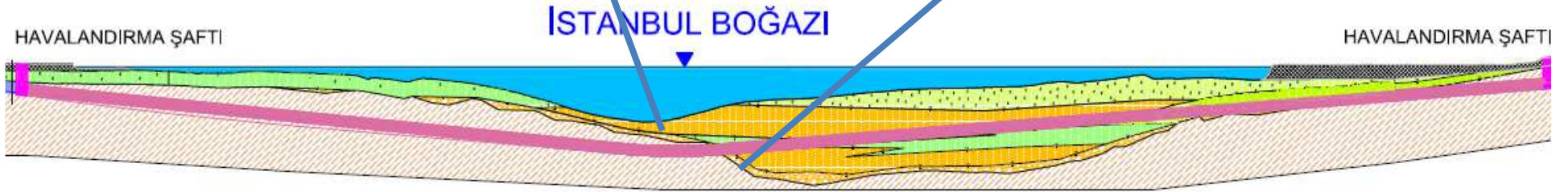
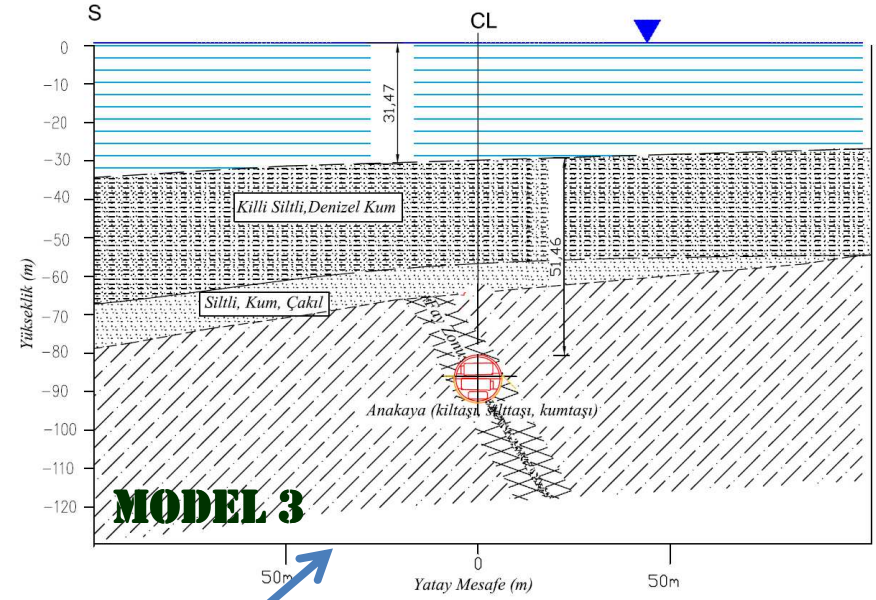
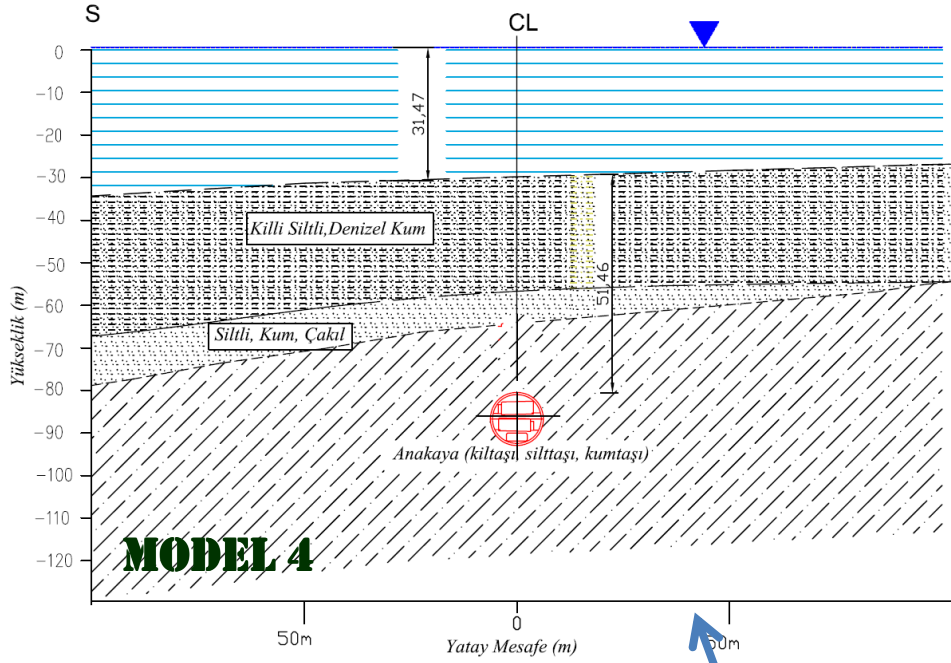
AÇIKLAMALAR

- Güncel ve Antik Dolgu / Artificial and Antique Fill
- Siltli kum (Denizel Kavkılı) / Silty Sand (Marine Shell)
- Kumlu, Silt, Kıl (Denizel Kavkılı) / Sandy Silt, Clay (marine shell)

- Çakıllı kum / Gravelly Sand
- Siltli Kum / Silty Sand
- Çakıl Blok (Diskordans) / Gravel Block (Unconformity)
- Kumtaşı, Çamurtaşı (Şeyl) (Trakya Formasyonu) / Sandstone, Mudstone(Shale)(Trakya Formation)



KARAYOLU GEÇİŞİ



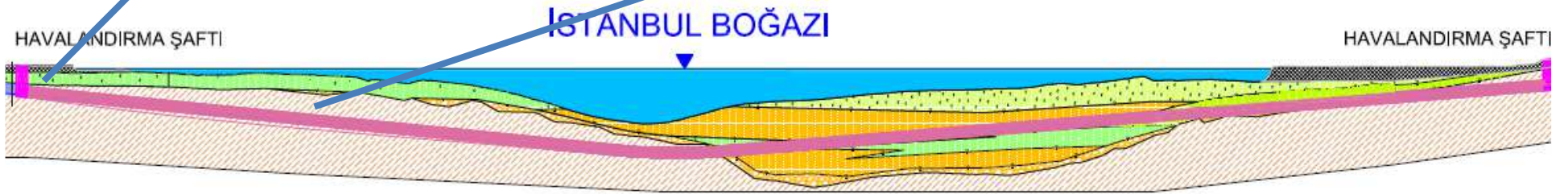
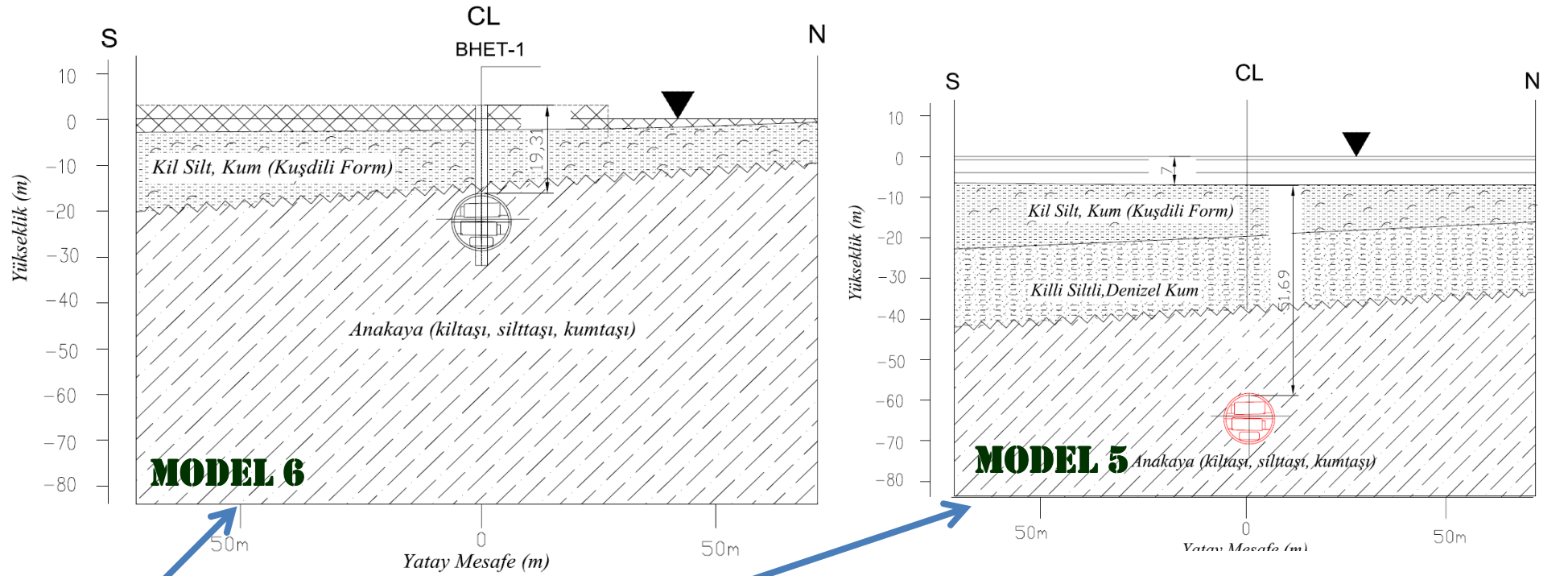
AÇIKLAMALAR

- Güncel ve Antik Dolgu / Artificial and Antique Fill
- Siltli kum (Denizel Kavkılı) / Silty Sand (Marine Shell)
- Kumlu, Silt, Kıl (Denizel Kavkılı) / Sandy Silt, Clay (marine shell)




- Çakıllı kum / Gravelly Sand
- Siltli Kum / Silty Sand
- Çakıl Blok (Diskordans) / Gravel Block (Unconformity)
- Kumtaşı, Çamurtaşı (Şeyl) (Trakya Formasyonu) / Sandstone, Mudstone(Shale)(Trakya Formation)



KARAYOLU GEÇİŞİ



AÇIKLAMALAR

-  Güncel ve Antik Dolgu / Artificial and Antique Fill
-  Siltli kum (Denizel Kavkılı) / Silty Sand (Marine Shell)
-  Kumlu, Silt, Kil (Denizel Kavkılı) / Sandy Silt, Clay (marine shell)

-  Çakıllı kum / Gravelly Sand
-  Siltli Kum / Silty Sand
-  Çakıl Blok (Diskordans) / Gravel Block (Unconformity)
-  Kumtaşı, Çamurtaşı (Şeyl) (Trakya Formasyonu) / Sandstone, Mudstone(Shale)(Trakya Formation)

Jeolojik-Jeoteknik Koşullar?

Deneyimli Ekip?

Uygun Makine Seçimi?

GÜVENLİ KAZI?



YARARLANILAN KAYNAKLAR

- ARIOĐLU, E., (2009). Tünel Dersi Notları
- BİLİM, N., (2009). Tünel ve Kuyu Açma Dersi Notları
- ERGUVANLI, K., (1994). Mühendislik Jeolojisi Kitabı
- ERİŞ, İ., BAKIR, A., (2009). Melen (SP7) Tüneli Sunumu
- KARAGÜZEL, R., (2009). İnşaat Jeolojisi Dersi Sunumu

