



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANKARA-İZMİR HIZLI TREN
AFYONKARAHİSAR-BANAZ KESİMİ T4
TÜNELİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**

Abdulselam TEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2019

**BATMAN
Her Hakkı Saklıdır.**

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdulselam TEKİN tarafından hazırlanan ‘Ankara – İzmir Hızlı Tren Afyonkarahisar – Banaz Kesimi T4 Tünelinin Mühendislik Jeolojisi’ adlı tez çalışması 28/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mustafa AYHAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Nuray ALPASLAN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TIGREK
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Abdulsalam TEKİN

Tarih:28.06.2019

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****ANKARA–İZMİR HIZLI TREN AFYONKARAHİSAR–BANAZ KESİMİ T4
TÜNELİNİN MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ**

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

2019, 120 Sayfa

Jüri

Danışman Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

Prof.Dr.Mustafa AYHAN

Dr.Öğr.Üyesi Hacı Alim BARAN

İnceleme alanı, Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde bulunan Köprülü mevkiindeki ‘Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) kesimi Km: 209+615 – 210+875 arasında yapımı devam eden T-4 Tünelindeki mühendislik jeolojisi ve jeoteknik çalışmaları kapsamaktadır. Kaya kalite gösteges (RQD), RMR ve Q kaya kütle sınıflandırma sistemlerine göre yapılan zemin sınıflandırmasında tünel güzergahındaki formasyonların C2 özel ve C3 özel klasında olacağı öngörülmüştür. Çalışma alanındaki tünelde yapılan kazı aşamalarında destek olarak sırasıyla çelik hasır (Q 221/221), iksa (NPI 200), shotcrete (C20 püskürtme beton), SN bulon (kaya bulonu ve ibo bulon enjeksiyon), boru süren (1,5 inç) gibi destek sistemleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afyon-İzmir hızlı tren projesi, Boru süren, Çelik hasır, Çelik iksa, İbo bulon, Kaya sınıflandırma, NATM

ABSTRACT**MS THESIS****ENGINEERING GEOLOGY OF ANKARA – İZMİR HIGH-SPEED TRAIN T4
TUNNEL IN AFYONKARAHİSAR – BANAZ REGION****Abdulselam TEKİN****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOLOGY ENGINEERING****Advisor: Dr. Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN****2019, 120 Pages****Jury****Danışman Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN****Prof.Dr.Mustafa AYHAN****Dr.Öğr.Üyesi Hacı Alim BARAN**

The examination area involves the engineering geology and geotechnical studies in T-4 Tunnel whose construction continues in Afyon-İzmir High-Speed Train Project Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) region between Km: 209+615 – 210+875 in Köprülü region located within the borders of Afyonkarahisar province. In the soil classification according to rock quality index (RQD), RMR and Q rock mass classification systems, it is predicted that the formations in the tunnel route will be in C2 special and C3 special class. During the boring stages of the tunnel in the study area, support systems such as steel mesh (Q 221/221), bracing (NPI 200), shotcrete (C20 sprayed concrete), SN bolt (rock bolt and ibo bolt injection), pipe lasting (1,5 inches) were respectively utilized as support.

Keywords: Afyon-İzmir High-Speed Train Project, Ibo bolt, NATM, Pipe lasting, Rock classification, Steel bracing, Steel mesh

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans'a başladığım günden itibaren bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, sabrı ve ilgisiyle bana büyük umut ve destek veren Danışman Hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN'a yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederim. Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli AİLEME çalıştığım şirketin teknik yönetimine özellikle Hakkı ALPER'e, Mustafa KILIÇASLAN'a ve tüm teknik ekibine katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tezi hazırlamamda gerekli olan kaynakları sağlayan ve jeoteknik çalışmalarını birlikte yaptığımız Doğuş Grubu–Tekfen iş ortaklığı teknik personellerinden maden Mühendisi Uğur KARAMAN'a kalite kontrolde görev alan jeofizik mühendisi Serdar DİNDAROĞLU'na katkılarından dolayı teşekkür borçluyum.

Abdulselam TEKİN

BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnceleme Alanının Yeri.....	1
1.2. İnceleme Alanının Jeomorfolojisi.....	2
1.3. Tez Hakkında	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Tünelciliğin Genel Tanımı ve Tünelcilikte Kullanılan Genel Terimler	5
3.2. Tünel Çeşitleri.....	6
3.3. Tünel Açma İşlemleri	7
3.4. Tünel Güzergâhı Seçiminde Gözönünde Bulundurulacak Jeolojik Kriterler ve Jeolojik Yapıların Tünel Açılmasındaki Etkileri	7
3.4.1. Tabaka doğrultularının etkisi	7
3.4.2. Fayların etkisi	7
3.4.3. Gerilme (Stress) etkisi	9
3.4.3.1. Kemerlenme	11
3.4.4. Tünelde su sorunu.....	11
3.4.4.1. Gözeneklilik (Porozite) ve Geçirgenlik (Permeabilite)	12
3.5. Farklı Ortam Koşullarında Tünel Kazıları.....	13
3.5.1. Yumuşak ve zayıf kayalarda tünel açma.....	13
3.5.2. Sert kayalarda tünel açma	13
3.6. Tünel Açma Yöntemleri	14
3.6.1. Yeni Avusturya tünel açma yöntemi (NATM)	16
3.6.2. Yeni Avusturya tünel açma yönteminde kaya ve destek sınıfları.....	18
3.6.2.1. A- Stabil-Hafif aşırı sökülün kaya sınıfı	21
3.6.2.2. A1- Destek sınıfı	21
3.6.2.3. A2- Destek sınıfı	21
3.6.2.4. B- Gevrek kaya sınıfı	22
3.6.2.5. B1- Destek sınıfı	22
3.6.2.6. B2- Destek sınıfı	22
3.6.2.7. B3- Destek sınıfı	23
3.6.2.8. C- Baskılı kaya sınıfı	23
3.6.2.9. C1- Destek sınıfı	24
3.6.2.10. C2- Destek sınıfı	24
3.6.2.11. C3- Destek sınıfı	25

3.6.2.12. C4- Destek sınıfı	25
3.6.2.13. C5- Destek sınıfı	25
3.7. Sığ Derinlikte Tünel Açımı.....	26
3.8. Jeoteknik Parametreler.....	26
3.8.1. Kaya kütlesi sınıflamaları	26
3.8.1.1. Kaya kalitesi göstergesi (RQD)	27
3.8.1.2. RMR (Rock Mass Rating) kaya kütlesi sınıflama sistemi.....	28
3.8.1.3. Q Sınıflama sistemi.....	33

4. TARTIŞMA VE BULGULAR..... 36

4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi	36
4.1.1. Eşme formasyonu (Pzşe)	40
4.1.2. Kızılcasöğüt formasyonu (Jk).....	40
4.1.3. Vezirler melanjı (Kvm).....	41
4.1.4. Yeniköy formasyonu (Thy)	41
4.1.5. Dumlupınar formasyonu (Mid).....	42
4.1.6. Kozören volkanitleri (Mkv)	42
4.1.7. Afyon volkanitleri (Mav).....	42
4.1.8. Yamanlar formasyonu (Tmy)	42
4.1.9. Vişneli formasyonu (Tmv).....	43
4.1.10. Balmahmut formasyonu (Neb)	43
4.1.11. Ahmetler formasyonu (Tia)	43
4.1.12. Beydağı volkanitleri.....	44
4.1.13. Ulubey formasyonu (Tiu)	44
4.1.14. Asartepe formasyonu (Qat).....	44
4.1.15. Kolüvyon (Qc)	45
4.1.16. Alüvyon (Qa)	45
4.2. İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi	45
4.2.1. Jeoteknik amaçlı sondajlar.....	47
4.2.2. İnceleme alanında yapılan laboratuvar analizleri	48
4.2.2.1. Fiziksel özellikler.....	48
4.2.2.2. Mekanik (mukavemet) deneyleri	54
4.2.3. Jeoteknik ve jeomekanik parametrelerin değerlendirilmesi	55
4.2.4. Tünel alanında izlenen deformasyonların değerlendirilmesi.....	57
4.2.4.1. Konglomera biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi.....	60
4.2.4.2. Kıltaşı biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi	62
4.2.4.3. Kumtaşı biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi	66
4.2.4.4. Marn biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi	69
4.2.5. 210+875 ile 210+819 km arası jeoteknik değerlendirme	77
4.2.6. 210+803,0 ile 210+782,20 km arası jeoteknik değerlendirme	78
4.3. Tünel Kazı ve Tahkimat İşleri	81
4.3.1. Kazı İşleri.....	81
4.3.1.1. Makine ile kazı işlemi.....	82
4.3.2. Tünel destekleme elemanları	83
4.3.2.1. Çelik hasır	83
4.3.2.2. İksa montajı.....	84
4.3.2.3. Kaya bulonu	85
4.3.2.4. Boru süren uygulaması	87
4.3.2.5. Ayna ve zemin çivileri	88

4.3.2.6. Püskürtme beton	90
4.3.2.7. Kendinden delen (İbo Bulon)	94
4.3.2.8. Aşırı sökölme (Overbreak)	97
5. SONUÇLAR.....	99
6. KATKI BELİRTME	103
7. KAYNAKLAR	104
EKLER	109
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B	:Galeri genişliği
D	:Tünel çapı
D_h	:Örselenme faktörü
E	:Elastisite Modülü
E_M	:Kaya kütlesi deformasyon modülü
E_i	:Sağlam kayanın elastik modülü
h_t	:Galeri tavanında oluşan örselenmiş bölge kalınlığı
J_n	:Süreksizlik Takım Sayısı
J_r	:Eklem Pürüzlülük Sayısı
J_a	:Eklem Ayrışma Durumu
J_w	:Eklem Durumu İndirgeme Etmeni
J_s	:Süreksizlik aralığı
P	:Kaya basıncı
γ	:Galeri tavanındaki kaya birimine ait doğal yoğunluk
σ_v	:Düşey gerilme
σ_h	:Yatay gerilme

Kısaltmalar

CL	:Düşük plastisiteli kil
CSIR	:Council for Scientific and Industrial Research
GW	:İyi derecelenmiş çakıl
GM	:Siltli çakıl
GP	:Kötü derecelenmiş çakıl
GSI	:Jeolojik Dayanım İndisi (Geological Strength Index)
KTŞ	:Karayolları Teknik Şartnamesi
MPa	:Mega Pascal
ML	:Düşük plastisiteli silt

NATM	:Avusturya Tünel Açma Metodu
NGI	:Norway Geotechnical Institute
Q	:Kaya Tüneli Kalite İndisi (Rock Tunnelling Quality Index)
RQD	:Kaya Kütle Belirteci (Rock Quality Designation)
RMR	:Jeomekanik Sınıflandırma (Rock Mass Rating)
SC	:Killi kum
SM	:Siltli kum
SPT	:Standart Penetrasyon Testi
SRF	:Gerilim Azaltma Etmeni
SW	:İyi derecelenmiş kum
TBM	:Tünel Açma Makinesi, Tunnel Boring Machine
UCS	:Tek eksenli basma dayanımı (Uniaxial Compressive Strength)
YASS	:Yeraltı Su Seviyesi

1. GİRİŞ

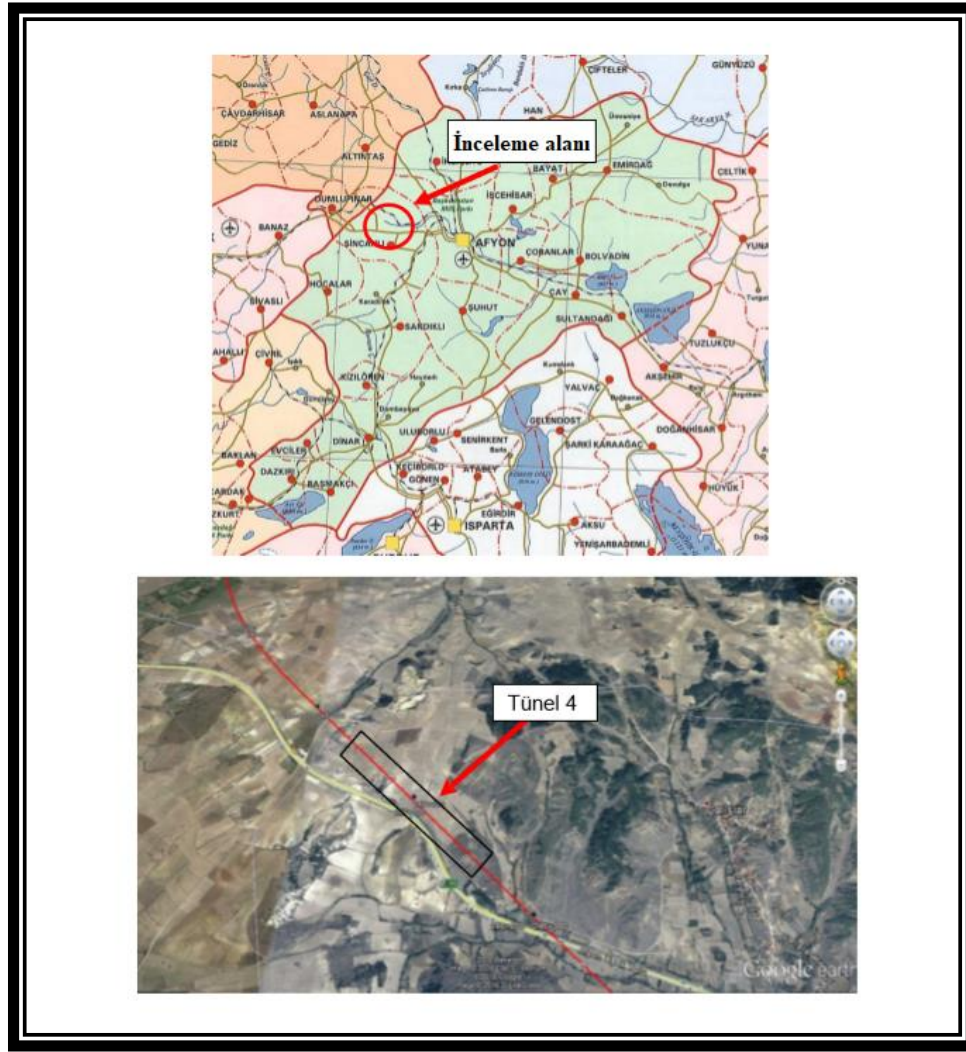
Günümüzde özellikle büyük kentlerde nüfusun hızla artmasıyla birlikte ulaşım sorunu gündeme gelmiştir. Ulaşım sorununun kolaylıkla aşılmasını sağlayan en önemli mühendislik yapılarından biri tünellerdir. Özellikle jeolojik riskler barındıran bölgelerdeki çeşitli kütleler içerisinde yapılan iki tarafı da açık kazılar tünel olarak tanımlanır.

Tünel sektöründe geçen 3000 yıldaki gelişmeler göz ardı edilemez boyuttadır. Sandstrom, tünelciliğin, toplumun gelişip kültürel ilerlemesini ve teknik ve ekonomik büyümeyi pozitif yönde etkilediğini söylemiştir (Sandstrom, 1963).

Diğer tüm madencilik alanlarında olduğu gibi, tünel açımında uygulanacak yöntemin, güvenilirliğinin tam olması, en düşük maliyetle gerçekleşmesi ve gelişen teknolojiyi takip etmesi gerekmektedir. Bu nedenle araştırma, deney-ölçüm ve gözlemler yapılmakta, değişen şartlara göre yeni tekniklerin geliştirilmesine özen gösterilmektedir. Tünel açma tekniklerinde gözlenen gelişmeler, yeni yöntemlerle birlikte yeni makine, araç ve teçhizatın tünel açımında kullanımına olanak sağlanmaktadır. Tünel çalışmalarının yüksek maliyetleri, yapıdan kaynaklanan beklenmeyen durumlar ve özellikle şehir içi tünel çalışmalarında dikkat edilmesi gereken zaman faktörü, mühendisliğin bu dalında yeni metot ve tekniklerin yanı sıra araştırma, deney, ölçüm, gözlem ve sayısal modellemelerin önemini arttırmıştır. Bu nedenle tünel mühendisliği çalışmalarında, mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği çalışmalarının önemi her geçen gün giderek artmaktadır (Kun, 2010).

1.1. İnceleme Alanının Yeri

İnceleme alanı, Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde bulunan Köprülü mevkiindeki Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) kesimi Km: 209+615–210+875 arasında yapımı devam eden T-4 Tünelidir. Çalışma alanı yer bulduru haritası Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

1.2. İnceleme Alanının Jeomorfolojisi

İnceleme alanında bulunan Afyon ili şehir merkezinde 1007 metre kotlarında başlamakta, Km 211+000' a kadar tamamen düz bir oavadan geçmektedir. Km 213+600 Killiktepe mevkiinde 1111,94 m kotlarına ulaşmaktadır. Daha sonra Köprülü yerleşim yerinin yakınında mevcut vadiyi takip edip, Balmahmut'un kuzeyini geçerek, Afyon – Uşak Devlet Karayolunun yanından devam etmektedir. Bu kesimlerde genç çökellerin oluşturduğu çok az engebeli topografya geçmektedir. Düz ağaç yerleşim yerinde 1160 metre, Güney yerleşim yerinde ise 1130 metre kotlarına ulaşmaktadır. Km 246+400'den itibaren yükselmeye başlayan topografya Km 256+400'de 1291 metre kotuna ulaşmaktadır.

1.3. Tez Hakkında

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı çerçevesinde gerçekleştirilen tez çalışmasında, Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde bulunan Köprülü mevkiindeki ‘Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) Kesimi’ Km: 209+615–210+875 arasında yapımı devam eden T-4 Tünel sahasının jeolojik formasyonlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortaya çıkarılması, jeolojik haritalanması, kaya sınıflaması ve zemin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla firma tarafından açılan temel sondaj kuyularından faydalanılarak yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları tartışılmıştır.

İnceleme alanındaki tünel sahasının mühendislik jeolojisi yönünden özelliklerinin belirlenmesi amacıyla jeoteknik sondaj çalışmaları yapılarak, sondaj kuyularından alınan numunelerin laboratuvarında belirlenen, birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, su içeriği, atterberg limitleri sonuçlarına göre yapılan değerlendirmeler sunulmuştur. Ayrıca sahada zeminin mekanik özelliklerini belirlemek için firma tarafından yapılan tek eksenli basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım endeksi testlerinden faydalanılmış ve elde edilen parametreler kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında, inceleme alanını jeolojik olarak oluşturan temel formasyonların kaya sınıflamalarına göre (RQD, GIS, RMR, Q) kaya özellikleri değerlendirilip yorumlanmıştır. Tünele uygulanacak Hoek-Brown parametreleri tek eksenli mukavemet değerleri sonuçlarına göre RocLab programı kullanılarak, değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Batı Anadolu da yapılan kapsayan jeolojik çalışmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir.

En eski araştırmalar Hamilton ve Strickland (1841), Tchihatcheff, (1869), Washington (1894) ve Phillipson (1913) tarafından yapılmış olup, daha çok gezi niteliğindedirler. Ayrıntılı çalışmalara 1950 yılından sonra başlanmış ve çok sayıda araştırmacı çeşitli konularda incelemelerde bulunmuştur.

Tokay ve Bayramçıl (1941) “Uşak kuzeyinde bir kristalen şist kütlesi hakkında” başlıklı çalışmalarında Uşak kuzeyindeki alanın 1/100.000 ölçekli jeolojik haritasını yaparak metamorfitletler ile Mesozoyik ve Neojen yaşlı kayaları ayırtlamışlardır. Neojen kayalarının göllerde çökeldiğini ve bölgenin Neojen sonunda yükseldiğini ileri sürmüşlerdir.

Ercan ve ark. (1978) “Uşak yöresindeki Neojen havzaların jeolojisi” adlı çalışmalarında, bölgedeki karasal neojen havzalarında oluşan ve uranyum, bitümlü şeyl, kömür, kaolen, diatomit, bor tuzları vb. önemli oluşukları içeren tortul kaya birimlerinin ayrıntılı stratigrafilerini ortaya koymak, yörede yaygın yüzlekler veren çeşitli evrelerdeki volkanitlerin bu stratigrafik sıralanımında yerlerinin belirlemek, karasal havzaların fasiyes ve paleocoğrafyasının ortaya çıkarmak amacıyla çalışma alanını da içeren jeolojik haritalama yapmış ve yayın haline getirmiştir.

Ercan ve ark. (1982) “Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlaması” başlıklı çalışmalarında, Simav dolaylarındaki Senozoyik yaşlı volkanizmayı bölgesel ölçekte yorumlamışlardır. Yazarlar Simav ve çevresindeki volkanitlerin zamanla ilişkili olarak kimyasal analiz sonuçlarını çeşitli diyagramlarda yorumlayarak kalk alkali karakterden alkali bazaltik volkanizmaya geçiş gösterdiğini belirtmektedirler.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

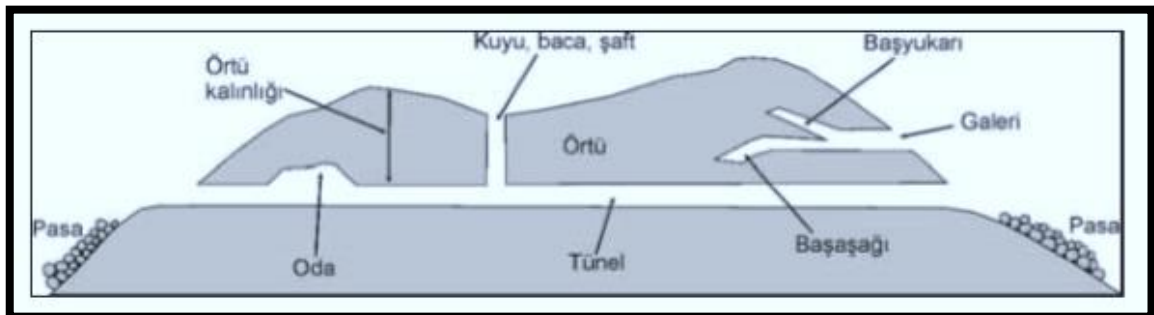
Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde bulunan Köprülü mevkiindeki ‘Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) Kesimi’ Km: 209+615 – 210+875 arasında yapımı devam eden T-4 tünel sahasının jeolojik formasyonlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortaya çıkarılması, jeolojik haritalanması, kaya sınıflaması ve zemin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan jeoteknik çalışmalar kapsamında açılan temel sondaj kuyuları değerlendirilip yorumlanmıştır.

İnceleme alanında tünel sahasının mühendislik jeolojisi yönünden özelliklerin belirlenmesi amacıyla sondaj kuyularından alınan numunelerin laboratuvarında, birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, su içeriği ve atterberg limitleri deney sonuçları tartışılmıştır. Ayrıca sahada zeminin mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan tek eksenli basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı ve nokta yükü dayanım endeksi deney sonuçları verilerek değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, inceleme alanını jeolojik olarak oluşturan temel formasyonların kaya sınıflamalarına göre (RQD, GIS, RMR, Q) kaya özellikleri değerlendirilip yorumlanmıştır. Tünele uygulanacak Hoek-Brown parametreleri tek eksenli mukavemet değerleri sonuçlarına göre RocLab programı kullanılarak, değerlendirilmiştir.

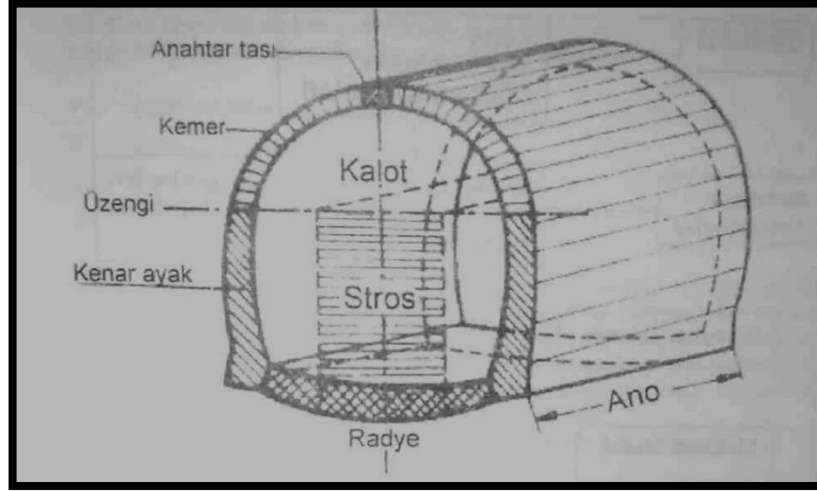
3.1. Tünelciliğin Genel Tanımı ve Tünelcilikte Kullanılan Genel Terimler

Tünel, yeraltında çeşitli kayalar içinde inşa edilen, demiryolu, karayolu, yaya yolu, kanalizasyon, su boruları, kanal, drenaj vs. geçişine imkan veren giriş ve çıkışı olan bir geçiş yolu olarak tanımlanabilir. Tünellerde, tavandan yeryüzüne dek olan bölüm örtü olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Bir tünelin başlıca kısımları (Ertunç, 2003).

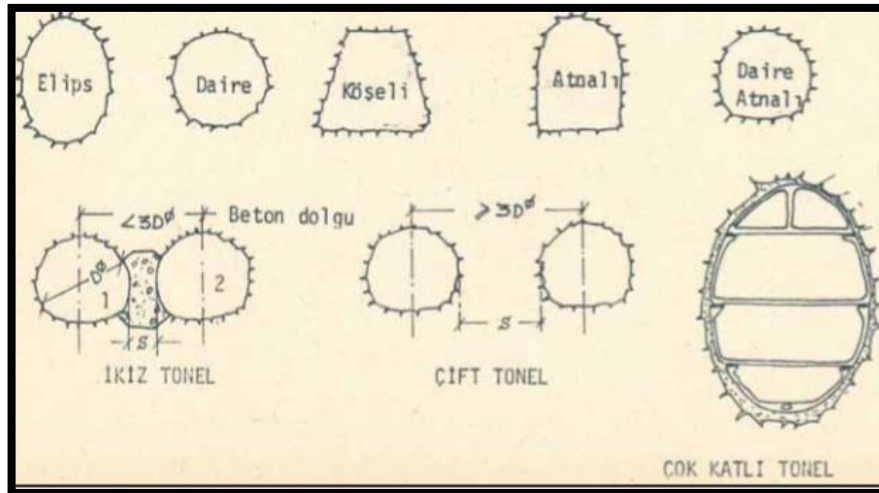
Şekil 3.2’de bir tünelin üç boyutlu görünümü verilmiştir. Bir tünelde, en kesitte kemerin kenar ayaklara oturduğu seviyeden geçen çizgi üzengi çizgisi bunun tespit edildiği seviyeye de üzengi seviyesi, Üzengi Hattı; Tünelin sağ ve solundaki kavislenmeye başladığı noktalardan geçen yatay vaziyetteki arakesiti, Kemer; yapının kenar ayaklar üzerine oturan tavan kısmı, Anahtar; kemerin en kesit eksenine rastlayan en yüksek kısmı olarak tanımlanabilir.



Şekil 3.2. Bir Tünelin Üç Boyutlu Görünümü (Bozkurt,1969)

3.2. Tünel Çeşitleri

Tünel kesitleri, köşeli elips, at nalı (Şekil 3.3) olarak açılabilirler (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).



Şekil 3.3. Kesit ve yapı durumlarına göre tünel çeşitleri (Vardar, 1986)

3.3. Tünel Açma İşlemleri

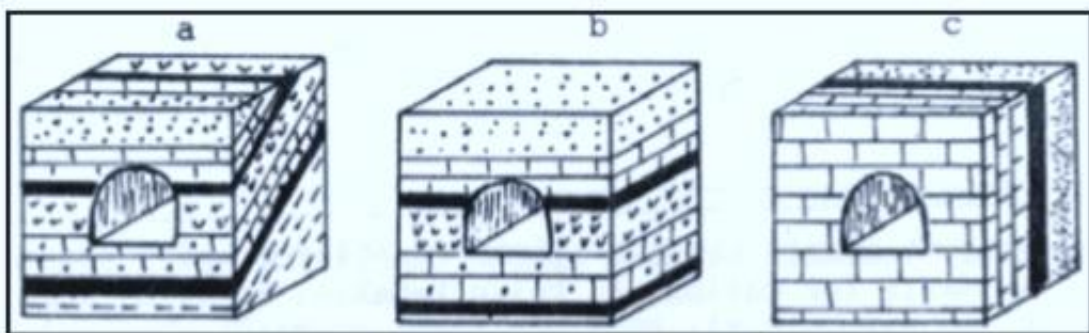
Tünel açma işlemleri sırasında, tünelin açılacağı bölgenin jeolojik yapısı belirlenerek, tüneli açacak makinenin cinsi, kazının yöntemi, tünel kazı kesiti, tüneli destekleme/sağlamlaştırma elemanları ve drenaj yöntemleri ortaya konmalıdır. Tünel açma işlemi ile birlikte aynı zamanda yerinde ve sürekli ölçümler yapılmalı ve elde edilen deformasyon değerleri ilerlemeye ve zamana bağlı olarak herhangi bir değişiklik göstermiyorsa tüneli açmaya devam edilmelidir (Bell, 1994).

3.4. Tünel Güzergâhı Seçiminde Gözönünde Bulundurulacak Jeolojik Kriterler ve Jeolojik Yapıların Tünel Açılmasındaki Etkileri

Tünel güzergâhının doğru belirlenmesinde, tespit edilen güzergâhta jeolojik yapıyı oluşturan kayaların özelliklerinin tam olarak ortaya konması önemlidir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

3.4.1. Tabaka doğrultularının etkisi

Tünel eksenini, jeolojik olarak yatay tabakalanma sunan bir ortamda açılmışsa, üniform düşey gerilme oluşmakta, tünel eksenini jeolojik olarak tabakanın doğrultusuna paralel fakat tabakalar eğimli ise tünelin yan duvarlarında yüksek derecede gerilme birikmesi oluşabilmektedir (Şekil 3.4).

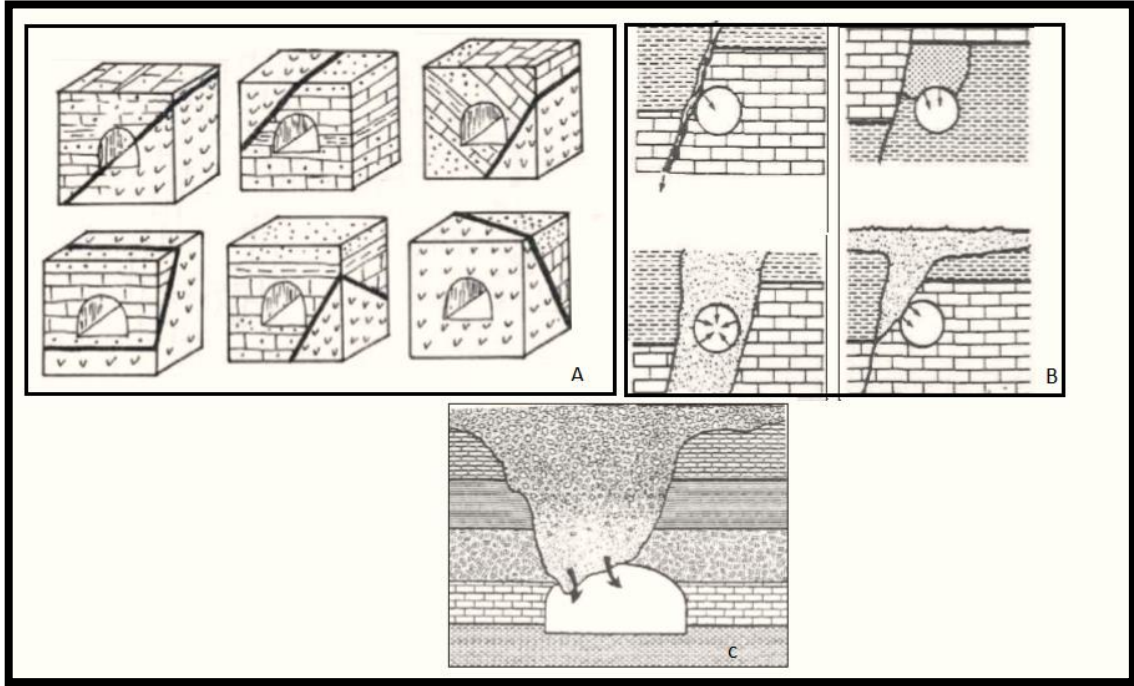


Şekil 3.4. Tabaka ile tünel doğrultusu ilişkisi (a: Eğik, b: Yatay, c: Düşey tabakalanma) (Tarhan, 2002).

3.4.2. Fayların etkisi

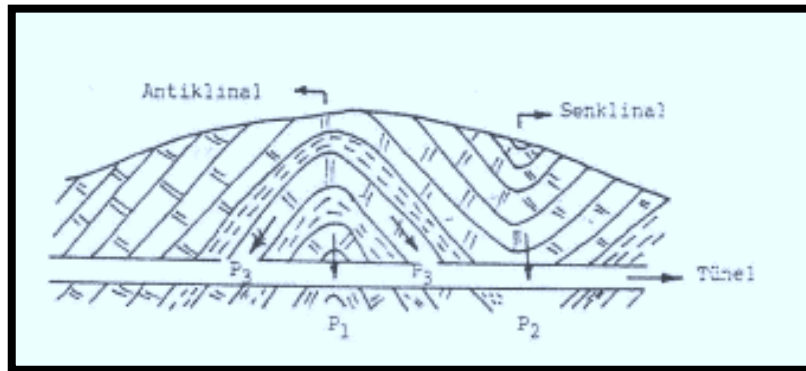
Tünel açımında faylar çeşitli problemlere yol açarlar. Bunlar; fayların birbirini kesmesi, fayların zonlarında kil olması nedeni ile şişme probleminin ortaya çıkması,

fayların bölge sınırlarında aşırı su toplanmasından su baskını olması olarak sayılabilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. A) Tünel, tabakalanma ve fay zonu arasındaki ilişki **B)** Fayların ve fayların oluşturdukları çeşitli ezik zonların tünel duraylılığına olumsuz etkileri. **C)** Derince oyulmuş eski bir vâdi yatağını dolduran genç, gevşek alüvyonal birimlerin tünel güzergâhında oluşturduğu duraysızlıklar (Krynine ve Judd, 1957; Tarhan, 2002).

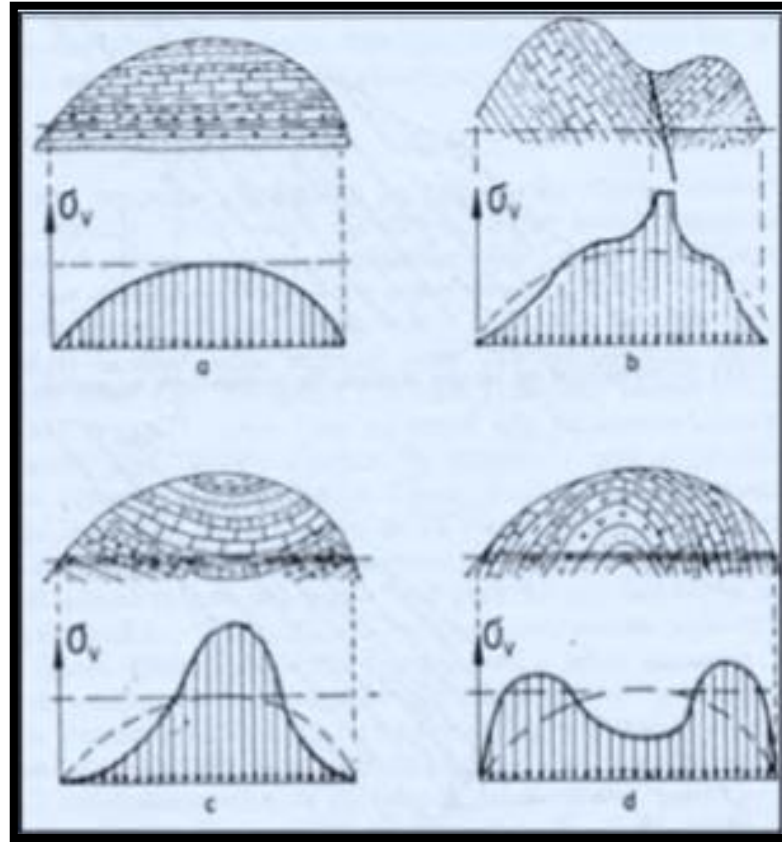
Fay veya dayk düzlemlerinin varlığı tünel güzergâhının belli kesimlerine çok daha yüksek basınç aktarmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kıvrım eksenini ile tabaka doğrultusunun dik olması hali. $P_1 < P_3 < P_2$: Tünele etkiyen basınçlar (Zaruba ve Mencl, 1976)

Antiklinallerden ve senklinallerden oluşan kıvrımlı tabakaların birlikte görüldüğü tünel güzergahı boyunca en fazla basınç değeri senklinal ekseninde

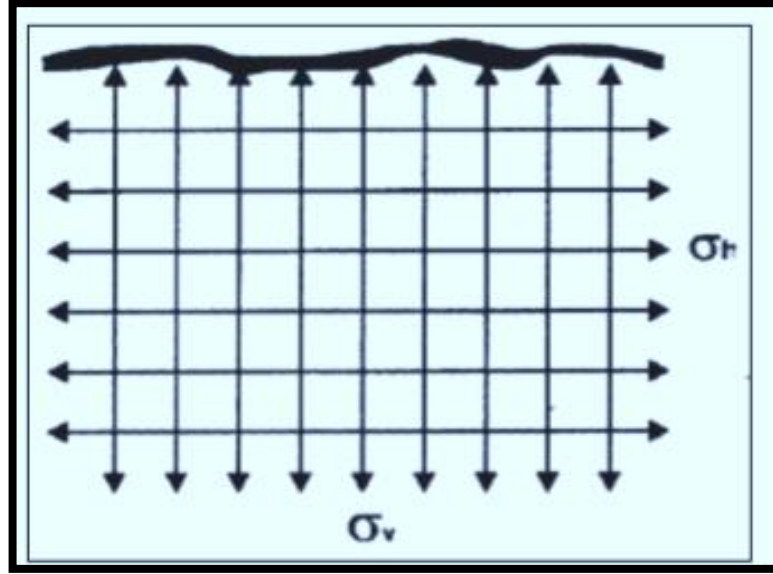
oluşurken, antiklinal ekseninde örtü biriminin tünel tavanına uyguladığı basınç, düşük değerde olacaktır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Tünelin geçeceği hat boyunca tabakaların durumuna göre (“a” yatay tabakalar; “b” eğik tabakalar ve fay; “c” senklinal; “d” antiklinal) tüneli etkileyecek olası yük dağılımı (Erguvanlı, 1994).

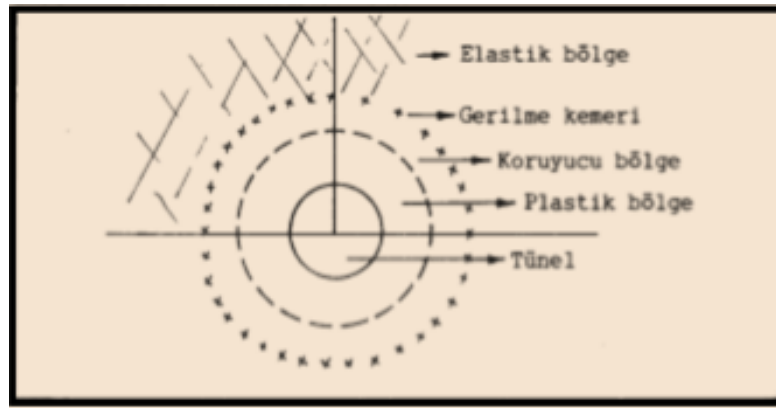
3.4.3. Gerilme (Stress) etkisi

Doğada kayaların içinde bulunan değişik kökenli her türlü gerilmelerin bileşkesine doğal gerilmeler veya primer (ilkel) gerilmeler denir (Şekil 3.8). Bunların yer, yön ve şiddetlerine bağlı olarak kaya içindeki dağılımı ise primer gerilme durumu adını alır. Yerçekimi kuvveti, boşluk suyu basıncı, çatlak suyu basıncı, kayalarda meydana gelen fiziksel ve kimyasal tepkimelerin oluşturduğu yeniden kristallenmeler doğal gerilmelerdir. Kayalara etki eden yer çekimi gerilmeleri haricinde kalan diğer doğal gerilmelere kalıcı gerilmeler (rezidüel gerilme artık) denilmektedir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

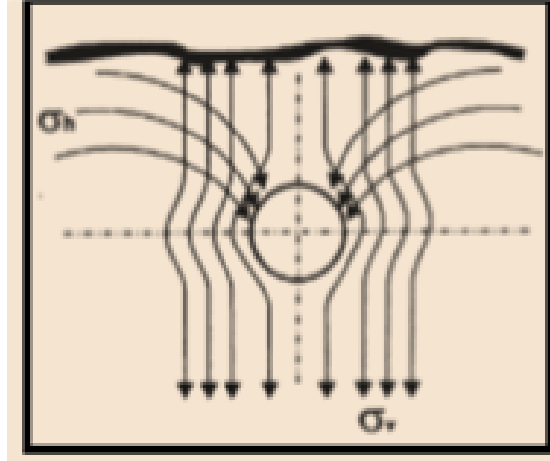


Şekil 3.8. Tünel kazısı başlamadan önce kayalardaki doğal (birincil, ilksel, primer) gerilme durumu. Hayali paralel ve eşit aralıklı düşey çizgiler düşey (σ_v) gerilmeleri, yatay çizgiler ise yatay (σ_h) gerilmeleri göstermektedir.

Yeraltında tünelin açılmasından sonra meydana gelen ve herhangi bir teknik müdahale olmaksızın kendi içinde dengeli duruma gelen ikincil (sekonder) gerilmenin daha sonra çeşitli kuvvetlerin etkisiyle değişerek, tersiyer (üçüncül) gerilmeyi oluşturmaktadır (Şekil 3.9). Tersiyer gerilmeleri; dolgu basınçları, kabarma basınçları, su basıncının değişmesi, üretim, yapı, kazı sağlamlaştırma dirençleri ile ortaya çıkan dış kuvvetler sayesinde meydana gelmektedir. Gerilmeler, dairesel kesitli açılan tünellerde en optimal şekilde kayaya aktarılmakta, diğer tünel tiplerinde ise kesitin köşe ve kenarlarında aşırı yoğunlaşıp göçüklerin oluşmasına sebebiyet vermektedir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013) (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Yeraltında açılan tünelin çevresinde meydana gelen çeşitli gerilme bölgeleri



Şekil 3.10. Dairesel kesitli açılan bir tünelde, tünel açılırken oluşan sekonder (düşey ve yatay) gerilme dağılımları (Yılmaz, 2007).

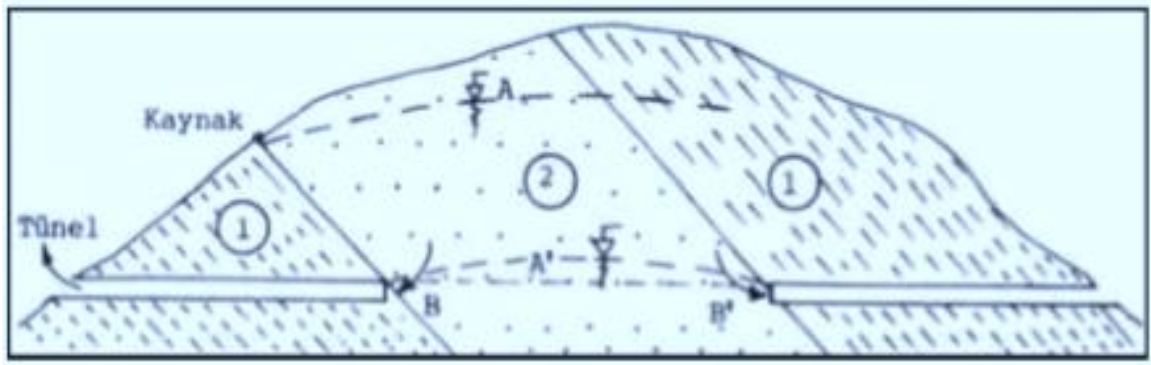
3.4.3.1. Kemerlenme

Tüneller içinde kazı yapıldığında gerilmelerin etkisi ile kayaçlar açılan bu boşluğa doğru gitmek isterler. Oluşan bu ikincil (sekonder) gerilmelerin dağılımı sırasında, tünelin boş olan kısımlarında meydana gelen yeni gerilmeler, kayacın yapısına göre ve şiddetlerinin derecesine bağlı olarak kemerlenme (arching) adı verilen yüklerin yoğunlaştığı bölgeler meydana getirirler. Burada bulunan kayaçlar, meydana gelen bu hareketleri birbirine dayanarak belirli bir dereceye kadar önlerler ve böylelikle dengeyi oluştururlar. Yoğunlaşmanın olduğu bölgede meydana gelen bu denge durumuna “kemerlenme” denir. Kemerlenme sayesinde oluşmuş derinlik basınçları, gevşeme zonu sayesinde gerilere aktarılmış olur. Aynı zamanda kemerlenme, kayalar içinde açılan tünel gibi boşlukların herhangi bir dayanak gerekmeden dengelerini kurabilmesidir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

3.4.4. Tünellerde su sorunu

Yeraltı suları, tünel yapımı sırasında jeolojik kökenli oluşabilecek bir diğer önemli problemin kaynağını oluşturur. Yeraltı su seviyesi altında açılan tünellerde su, tünel içine geçirimsizliği yüksek olan ayrışmış, gözenekli ve çatlaklı kayaçların çatlakları boyunca geldiğinden tünel açılmasını büyük ölçüde zorlaştırırlar (Şekil 3.11). Tünel güzergâhı boyunca farklı litolojideki geçirimli ve geçirimsiz kayaçların ardalanması, tünnek akiferler, fay zonları ya da kireçtaşı, mermer gibi karstik yapıların erime

boşlukları içinde biriken sular, su patlamalarına neden olabilirler (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).



Şekil 3.11. Her iki yönden geçirimsiz birimlerden geçen tünel kazısında, bir akiferin kesilmesi sonucu yeraltı suyunun tüneli basması ve tünel boyunca boşalması (Tarhan, 2002).

Tünel açılıp, boşluk oluşturulunca, yeraltı suyu bu boşluğa doğru yönelir. Bu nedenle ilk incelemelerde gözlem kuyulan yayılarak tünel güzargahının yeraltı su durumu öğrenilir Tünelin yeraltı su seviyesi üzerinde kalmasına dikkat edilir. Bu mümkün değilse, su seviyesi, açılacak pompaj kuyularında yapılacak pompalama ile tünel tabanına kadar düşürülür. Yani tünel tabanına kadar tüm su drene edilir. Yeraltı su seviyesi yan galeriler, kanallar vb ile dışarıya atılarak da düşürülür. Gerekirse tünel içinde özel yerlerde toplanarak dışarıya pompalanır. Tünel tabanının % 0.3 dolayında eğimli olması, biriken suyun kendiliğinden dışarı almasını sağlar. Tüneller o halde doğada bir yeraltı suyu dreni gibi görev yaparlar. Tünellerde yeraltı suyu genellikle süreksizlik düzlemleri boyunca gözlenir. Ayrıca erime boşlukları, volkanik damarlar vb yeraltı suyunun hareketine uygun olan kuşaklara oluşturur. Yeraltı suyunun seviyesi mevsimlere göre değiştiğinden, tünellerde de su miktarı mevsimlere göre değişir. Gelen suyun debisinde azalma ve çoğalmalar olabilir. Tünele ilk gelen su miktarı genellikle giderek azalır, çünkü tünele olan su boşalımı nedeniyle hidrolik eğim giderek azalmaktadır. Bu gibi durumlarda boşalma kotu önce yüksekte, sonra giderek kot aşağı seviyelere düşmektedir (Canik, 1997).

3.4.4.1. Gözeneklilik (Porozite) ve Geçirgenlik (Permeabilite)

Yeraltı suyu hareketi ve kuyulardan alınabilmesi, içinden geçtiği gereçlerin gözeneklilik (porozite) ve geçirgenlik (permeabilite) özelliğine bağlı olarak değişir. Çeşitli jeolojik birimlerin gözeneklilik (porozite) değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Temel jeolojik birimlerin gözeneklilik (porozite) değerleri

Malzeme	Gözeneklilik (%)
Pekişmemiş Çökeller	
Toprak	55
Çakıl	20 – 40
Kum	25 – 50
Silt	35 – 50
Kil	50 – 70
Kayaçlar	
Kumtaşı	5 – 30
<i>Şeyl</i>	0 – 10
Boşluklu Kireçtaşı ve Dolomit	10 – 30
Çatlaklı Bazalt	5 – 40
Çatlaklı Granit	10

3.5. Farklı Ortam Koşullarında Tünel Kazıları

Tünel açma işlemleri tünelin içinde açılacağı ortama bağlı olarak yumuşak zeminlerde, yumuşak ve zayıf kayaç ortamında ve sert kayaçlar ortamında uygulanabilmektedir.

3.5.1. Yumuşak ve zayıf kayaçlarda tünel açma

Genel olarak kayaçların sınıflandırılması, kökenlerine göre yapılmaktadır. Buna göre kayaçlar aşağıdaki durumlarda zayıf kayaç olarak isimlendirilebilirler (Denek, 2003). Bileşenleri arasındaki bağın zayıf olması, Kayacı oluşturan bileşenlerin bozunması, tektonizmaya uğramış olması, kayaç içerisindeki boşluk durumu, yumuşak ve zayıf kayaçlarda açılan tünellerin duraylılığını etkileyen temel parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Whittaker ve Frith, 1990).

3.5.2. Sert kayaçlarda tünel açma

Sert kayaçlarda tünel açma işlemini, uygulanan kazı şekline göre ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar, delme patlatma yöntemi ile açılan tüneller ve kazı makineleri ile açılan tünellerdir. Delme ve patlama yöntemi, sert kayaçlarda açılan tünellerde vazgeçilmez bir uygulama olup, eğer açılacak tünel üzerinde yerleşim birimleri vb.

yapılaşmalar yoksa tercih edilen bir durumdur. Eğer tünel üzerindeki üst yapılar bu anlamda bir risk taşıyorsa, tünel açma makineleri ya da her iki yöntem birlikte kullanılarak kazı işlemi yapılabilir. Özellikle sert kayalarda açılan tünellerde, tünel kazısı sırasında, meydana gelen aşırı gerilmeler ile oluşan sıkışma, kaya patlaması ve aşırı sökülme gibi olaylar için, tünel açımından önce, kazısı yapılacak kaya kütlelerinin dayanımının çok iyi belirlenmesi gerekmektedir (Özsan ve Başarır, 2003).

3.6. Tünel Açma Yöntemleri

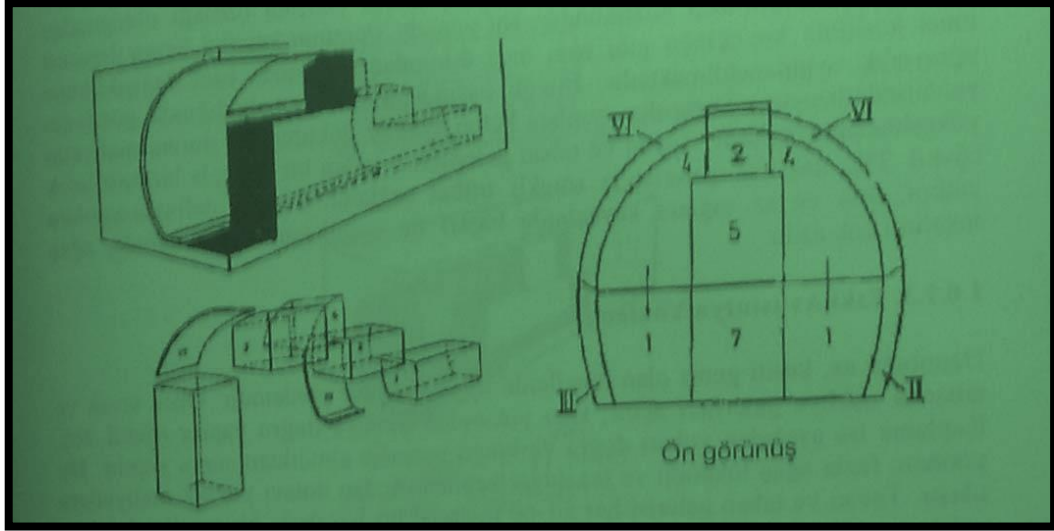
Tüneller genel olarak; *Aç - Kapa, Delme – Patlatma, Mekanizma tünel açma* olmak üzere üç yöntemle açılmaktadır. Şekil 3.12’de TBM makinaları ile tam cepheli tünel açma yöntemine ait (TBM-Tunnel Boring Machine) Tünel açma makinesi görülmektedir.



Şekil 3.12. Tünel açma makinesi (TBM)

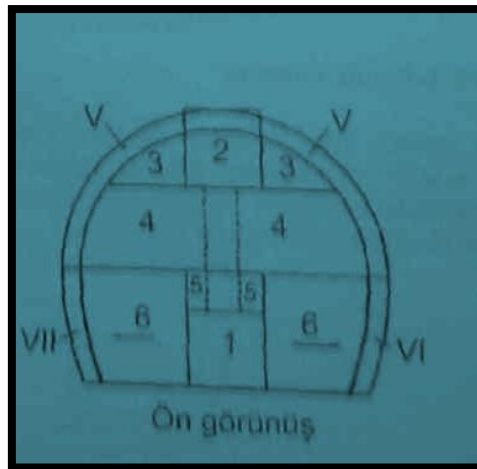
Tünel açma yöntemlerinden biri olan Alman yöntemi çekirdek yöntemi olarak da bilinir, önemini kaybetmiş olmasına rağmen, büyük kesitli yeraltı yapılarının kalot kazılarında kullanılmaktadır (Şekil 3.13). Bu yöntemle göre, önce iki adet yan ayak galerisi ve tavan galerisi sürülür, bu çalışmayı izleyen zaman içinde yan duvarlar örülür.

Daha sonra yan ayak galerilerinden tavan galerisine doğru bunlar birleştirecek şekilde tünel boyunca galeriler açılır. Bu işlemlerden sonra, çekirdek bölümüne oturtulan kısa boylu destekler yardımıyla büyük deformasyonların önüne geçilir. Daha sonra tavanın örülmesi gerçekleştirilir ve tavan kaplaması tamamlanır.



Şekil 3.13. Tünel açımında Alman metodunun uygulanışı (Köse ve ark., 1992)

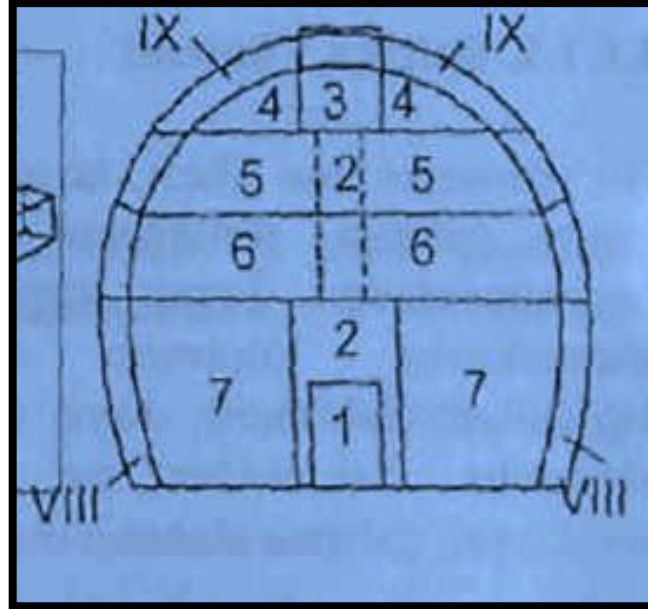
Bir diğer yöntem, Belçika Yönteminde amaç, tavan kaplandıktan sonra, diğer parçalar anolar halinde alınmaktadır (Şekil 3.14). Yöntemin en önemli yararları, tavanın kısa sürede sağlamlaştırılabilmesi, kaya duraylılığının sağlanması ve sürekli kazıya uygun olmasıdır. Sakıncaları ise; tavan-taban kaplamalarının çabuk yapılmasının gerekmesi, çalışma alanının dar olması olarak sıralanabilir.



Şekil 3.14. Belçika Yöntemi (Köse ve ark., 1992).

Eski Avusturya Yöntemi ise uzunluğu az, kesiti geniş olan tünellerde uygulanan bir yöntemdir, önce tavan ve tabanda nakliye galerileri açılır, kazı yukarıdan aşağıya

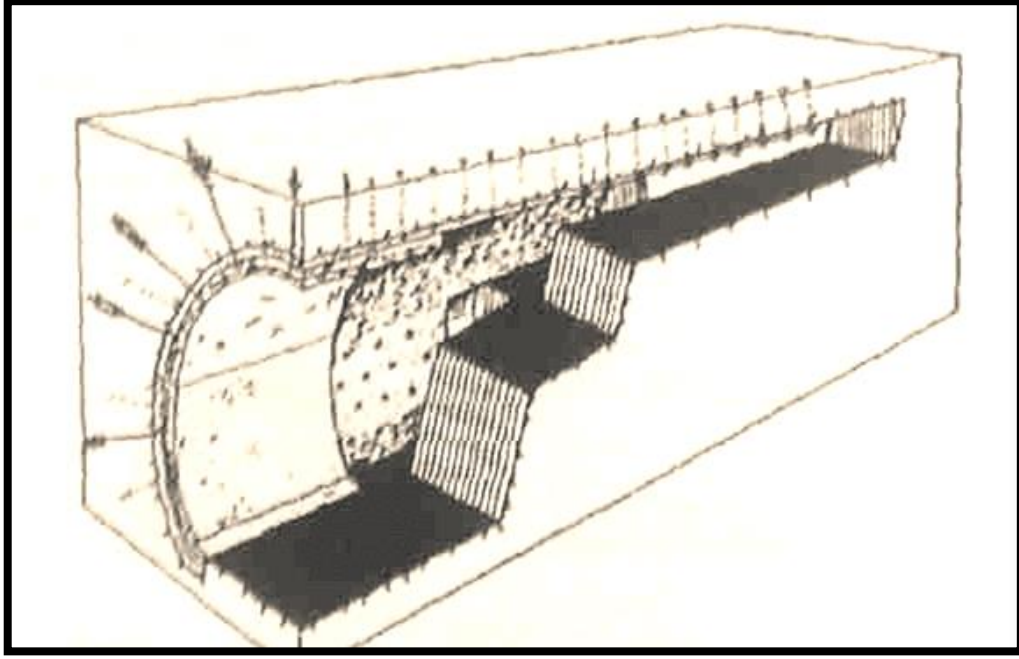
doğru yapılır (Şekil 3.15). Kaplama ise aşağıdan yukarı doğru ve bütün parçalar alındıktan sonra yapılır. Bu yöntem, fazla ağaç tüketimi ve taş duvar kaplamasından dolayı yüksek maliyetlere ulaşır. Tavan ve taban galerisi her 50–60 metrede bir bacalarla birleştirilerek taban galerisi nakliyat amacıyla kullanılır.



Şekil 3.15. Eski Avusturya Yöntemi (Köse ve ark., 1992)

3.6.1. Yeni Avusturya tünel açma yöntemi (NATM)

Tünelcilikte, yeni bir anlayışın ortaya çıkmasına yol açan *Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM)* "tünelin, içinde açıldığı kaya ortamına kendi kendini taşıtma 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 (Şekil 3.16). Yöntemde kayacın yük taşıma kapasitesi kullanılır hale getirilerek kayaç yük oluşturulan ortamdan yük taşıyıcı ortama dönüştürülür (Köse ve ark., 2007).



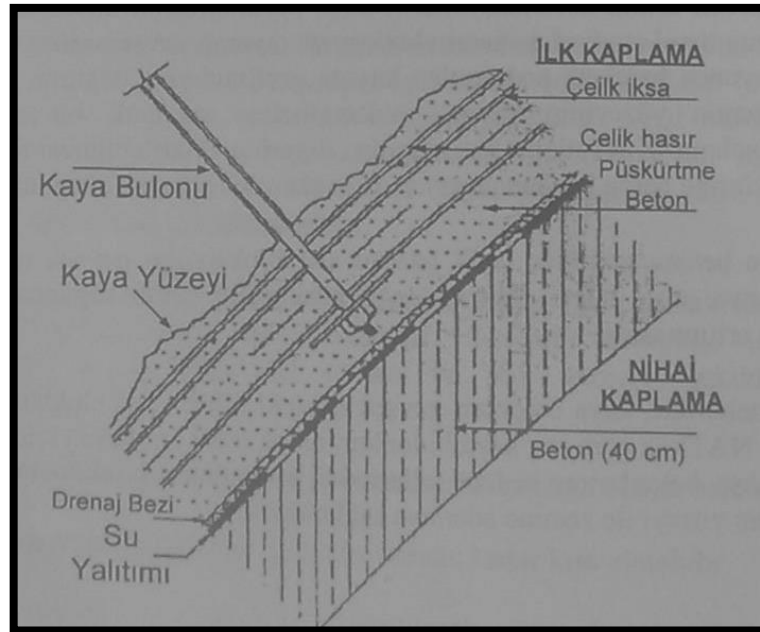
Şekil 3.16. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (Jodl, 1995)

Bu yöntem genelde ahşap iksa kullanılan “Eski Avusturya Yöntemi” ile pek uyum göstermemektedir. NATM’nin 22 prensibi olup, esas ana kayanın ilk sağlamlığını korumak, dağı fazla kurcalamamak yükü dağa taşımak koruyucu zonu boşluk ve yakınında oluşturmak, deformasyonları ve gerilmeleri ölçümlerle denetlemek, sağlamlaştırma işlemlerini en kısa zamanda tamamlamak ve kazı kesitlerini olduğunca yuvarlak seçmektir. Kollu kazıcı makinelerini kullanıldığı Şanlıurfa Tüneli bu yöntem ile açılmıştır kazıdan sonra püskürtme beton (7-8 cm), ankraj, tel kafes, çelik bağlar ve tekrar püskürtme beton (8 cm) uygulanmıştır. NATM, tünel zeminine uygun oranlarda donatı ve kaplama malzemesi kullanılır. Etkileşme ve Kaplama basınçlarının yakından izlenmesi NATM’nin önemli bir kısmını oluşturur. Uygulama yavaş olmasına rağmen tünel zemini deplasmanları ve iksa miktarları minimum seviyeye indirilerek, sonuçta ekonomik bir uygulama gerçekleştirilmiş olur. Adana-Gaziantep TEM otoyolu inşaatının Bahçe Tünelleri de NATM prensipleri kapsamında delme patlatma ile açılmaktadır.

NATM, yöntemi ilk olarak 1962’de L.V. Rabcewicz tarafından kazıdan sonra mümkün olan en kısa sürede invert betonu ile kapatılan ince bir püskürtme beton yardımı ile, oluşan deformasyonların dengelenmesi şeklinde tanımlanmış yöntem ince bir püskürtme beton uygulaması, Tünel cidarındaki koruyucu halkanın mümkün olan en kısa sürede tamamlanması, Sistematik deformasyon ölçümlerinin yapılması olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir.

Yeni Avusturya Tünel Açma Metodunda kazı delme patlatma veya mekanize olarak yapılabilir.

Birinci kat püskürtme beton: Eklem çatlaklarını kapamak, hava ile teması kesmek, duyarlılığı arttırmak amacıyla yapılır (5 cm). Tel kafes: Kemerlenmeyi sağlamak ve tabana iletmek, tavan kayasının bir bütün halinde deformasyonunu sağlamak amacıyla kullanılır. Kaya Saplaması: Plastik deformasyon bölgesini, elastik deformasyon bölgesine yaklaştırmak, doğal dengesi bozulan kayaları sağlamlaştırmak, ankraj görevini sağlamak amacıyla uygulanır. İkinci kat püskürtme beton (8-25 cm): Tel hasırın ve diğer çelik donatıların korozyonunu önler ve betonlama için düzgün bir tünel yüzeyi sağlar. Bahsedilen bu dört elemanla, geçici destek oluşturulur. Kaya saplaması yardımıyla da kayacı kayaca taşıtma olayı gerçekleştirilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu tahkimat elemanları (Köse ve ark., 2007)

3.6.2. Yeni Avusturya tünel açma yönteminde kaya ve destek sınıfları

Destekleme ve kazı işlemlerinin uygulanabilmesi için, kaya kütlelerinin cinsini belirlemek gerekir. Bu yüzden tünelde jeolojik haritalamadan elde edilen süreksizlikler, çatlaklar, çatlaklar arasındaki dolgu niteliği, bozulma durumları, kayanın mukavemeti, overbreak ve fayların tünelin en kesitine göre yerleşimleri ve etkileri gibi kayanın özellikleri belirlenir. Bu bilgilerden elde edilen sonuçlar, yeni Avusturya tünel açma yöntemine göre kaya ve destek sınıfları tespit edilir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Destek sistemlerinin tespitini oluşturmak için hazırlanan kaya sınıflandırma sistemi (Karayolları Teknik şartnamesi 2006).

KAYA SINIFI	ÖNORM B2203 Ekim 1994 ve Sonrası		ÖNORM B2203 Ekim 1994 Öncesi	
A	A1	Stabil	A1	Stabil
	A2	Sonradan Az Sökülen	A2	Hafif Aşırı Sökülen
B	B1	Gevrek	B1	Gevrek
	B2	Çok Gevrek	B2	Çok Gevrek
	B3	Taneli		
C	C1	Dağ Atma	C1	Baskılı
	C2	Baskılı		
	C3	Çok Baskılı	C2	Çok Baskılı
	C4	Akıcı	L2	Gevşek Zemin Düşük Kohezyon
	C5	Şişen	L1	Gevşek Zemin Yüksek Kohezyon

Ülkemizde genellikle inşaa edilen tüneller yeni Avusturya tünel açma yöntemi ile yapılmaktadır. NATM'a göre bu uygulama hem emniyetli hem de ekonomik bir şekilde tünel açılmasına olanak sağlamaktadır. NATM'ın belirli prensipleri uygulanmaktadır. Yeni Avusturya tünel açma Yöntemin'de kazı iksa (destekleme) sistemlerinin oluşturulmasında, Uluslararası kabul görmüş Avusturya standartlarına (ÖNORM 2203, 1994) göre tanımlı kaya sınıflandırma sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu sınıflandırma sistemi Çizelge 3.3'de verilen kaya destek sınıfları (Q) ve (RMR) değerlerine göre bulunmaktadır.

Çizelge 3.3. Q, RMR ve NAMT kaya sınıflamalarının karşılaştırılması (Grimstad ve Barton 1993)

	Q-NGI	KAYA KÜTLE DERECESİ (RMR)	ÖN ÖRME B2203 Ekim 1994 ve sonrası
1000	OLAĞANÜSTÜ İYİ	100	
400	SON DERECE İYİ	94	A1 STABİL
100	ÇOK İYİ 70	83	
40	İYİ	78	A2 SONRADAN AZ SÖKÜLEN
10	ORTA 5.34	60	B1 GEVREK
4	ZAYIF	47	B2 ÇOK GEVREK
1	ÇOK ZAYIF 0.41	40	B3 TANELİ
0.1	SON DERECE ZAYIF 0.03	26	C1 DAĞ ATMA
0.01	OLAĞANÜSTÜ ZAYIF 0.002	2.5	C2 BASKILI
			C3 ÇOK BASKILI
			C4 AKICI
			C5 ŞİŞEN

3.6.2.1. A- Stabil-Hafif aşırı sökülün kaya sınıfı

“A” olarak gösterilen kaya kütleleri genellikle stabil olup elastik davranış gösterirler. Yerel destek uygulanmaması halinde, yerçekimi nedeniyle, yer yer sığ göçükler meydana gelebilir. Göçükler genellikle izole olmuş, önemsiz eklem yapıları nedeniyle oluşur. Elastik deformasyonlar hızla azalır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.2. A1- Destek sınıfı

“Stabil” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Serbest kaya parçaları temizlendikten sonra sökülme eğilimi yoktur (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

Kazı teorik olarak “tam ayna” olarak yapılabilir. Büyük kazı profili hallerinde, kazı genellikle üstyarı ve altyarı kazısı şeklinde sürdürülür. Delme-patlatma kazı için gerekecektir. ilerleme adımı uzunluğu yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak seçilir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.3. A2- Destek sınıfı

“Sonradan Az Sökülen” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında süreksizlikler ve kaya kütlesi zati ağırlığından dolayı sığ sökülmelerin olma eğilimi vardır. Su etkisi önemsizdir (Karayolları Teknik şartnamesi 2006).

Teorik olarak kazı “tam ayna” olarak yapılabilir. Gerçekte, büyük kazı profili hallerinde kazı, genellikle üstyarı ve altyarı kazısı şeklinde sürdürülür. Üstyarı kazısında 2.5-3.5 metre, altyarda 4 m ile sınırlanmaktadır. Bulonlama; sadece bölgesel olarak tünel tavanında/yan duvarlarda yersel blokların stabil hale getirilmesi amacıyla kullanılabilir. Bu durumda kullanılacak kaya bulonları, aynadan itibaren en çok bir ilerleme adımı geriden uygulanacaktır. Kaya bulonlama yönü süreksizliklerin yönelimlerine göre seçilecektir (Karayolları Teknik şartnamesi, 2006).

3.6.2.4. B- Gevrek kaya sınıfı

“B” olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı, yapısal kenetlenme ve/veya çekme mukavemeti azlığından ötürü hızlı gevşeme ve ayrışmaya meyillidir. Hemen hemen tüm çevrede, boşluk civarındaki ikincil gerilmeler, kaya kütlelerinin mukavemetini biraz açmakta, bununla beraber bu zafiyet mekanizması içerilere ulaşmamaktadır. Destek yapımının gecikmesi halinde artan çökmeler meydana gelir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.5. B1- Destek sınıfı

“Gevrek” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Patlatmadan kaynaklanan kayadaki gevşemeler ve kaya kütlelerinin düşük dayanımı tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında sökülmelelere neden olur. Su etkisi genellikle önemsizdir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.6. B2- Destek sınıfı

“Çok gevrek” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Tünel desteklemesinin zamanında yapılması halinde deformasyonlar hızla azalır. Zamanında destekleme yapılmaması veya destekleme elemanlarının yetersiz olması halinde derinlere ulaşan gevşemeler ve buna bağlı olarak kopmalar meydana gelir. Su etkisi bozuşmuş veya ayrılmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlelerinin mukavemeti üzerinde etkisi bulunmaktadır (Karayolları Teknik şartnamesi 2006).

Kazı tünel kesitine bağlı olarak bölünür. İlerleme adımı uzunluğu, desteksiz durma süresi ve desteksiz açıklığına bağlı olarak belirlenir. İlerleme adımı üstyarı kazısında 1.5-2 m alt yarıda 35 ise 3-3.5 m’den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır. Tünel tavanı ve yan duvarlarda sistematik destekleme gereklidir. Gerekğinde tavanda süren kullanılacaktır. Süren için delme ve benzeri işlemlerin aynadaki veya tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir (Karayolları Teknik şartnamesi, 2006).

3.6.2.7. B3- Destek sınıfı

“Taneli” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Bölünmüş kazıda bile kaya kütlesinde dökülmeler meydana gelir. Kohezyonun az olması ve az çimentolanma kazının stabilitesinde yetersizliğe neden olur. Su etkisi bozuşmuş veya ayrıışmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlesinin dayanımı üzerinde etkisi bulunmaktadır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

Bölünmüş kazı ile ilerleyebilmek için kaya kütlesini iyileştirici, desteksiz durma süresini artırıcı önlemler alınmalıdır. İlerleme adımı uzunluğu üstyarı kazısında 1.25-1.50 m, altyarıda ise 3 m’den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır, titreşime hassas kaya kütlelerinde mekanik kazı metotları kullanılacaktır. Taban kazısı ve bir taban beton kemeri yapılması gerekli olabilir. Sistemik çelik iksa kullanılacaktır. Jeolojik şartlara göre, üstyarı aynasından 100-150 m’den daha geride olmamak üzere, yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir (Karayolları Teknik şartnamesi, 2006).

3.6.2.8. C- Baskılı kaya sınıfı

“C” olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı genellikle, kaya basıncının yeniden dağılımı süreci ve/veya deplasman sınırlamaları sonunda oluşan gerilmelerin kaya dayanımından daha büyük olduğunu göstermektedir. Kaya kütlesinin aşırı gerilmelere maruz kalması ile kabuk atma, burkulma, kesme ve boşluğa doğru plastik hareket gibi zafiyet mekanizmaları oluşur. Kaya kütlesinin plastisite ve viskozitesi, zamana bağlı belirgin deformasyon davranış göstermesine ve sonuçta büyük deformasyonlara yol açar. Kaya zati ağırlık yüklerinin aktif hale geçmesi ve önemli miktarda gevşeme basıncı, sadece büyük deformasyonlara izin verildiğinde meydana gelir. Bu durum kaya kütlesine zarar verecek derecedeki gevşeme ve ayrışma, kaya dayanımında büyük miktarda azalmaya yol açar. Açılan boşluktaki büyük deformasyonlar ve uzun dönemde zamana bağlı deplasman davranışı, zeminin elastik olmayan, plastik ve viskoz davranışına bağlıdır. Çatlamaya veya dökülmeye eğilimli kaya kütleleri ve şişme özelliği gösteren bileşenleri olan kaya kütleleri bu gruba girer. Bu grup, aynı zamanda ayrıışmış veya bozuşmuş kayalar, gevşek zemin ve organik zeminler gibi kaya kütlelerini kapsamaktadır. Kaya kütlesinin düşük özellikleri

nedeniyle kohezyon miktarına ve/veya gevşeme basıncını takiben aşırı gerilmelere bağlı olarak, elastik veya plastik aşırı gerilme oluşur (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.9. C1- Destek sınıfı

Yüksek örtü kalınlığı altında masif kayada yüksek ön gerilmeler kırılğan kaya kütlelerinde elastik enerji depolanmasına neden olur. Bu enerjinin aniden yer değiştirmesiyle kayada kesme ve kaya yapısının ezilmesi ile birlikte kırılmalar olur. Desteksiz bırakılan kısımlarda fırlayan kayalar parçalanmaya müsaittir. Kaya kütlelerindeki kırılmalar derinlere ulaşır. Su etkisi bozuşmuş veya ayrıışmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlelerinin dayanımı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

Bölünmüş kazı ile ilerlemelidir. Taban kazısı gereklidir. İlerleme adımı uzunluğu üstyarıda 1.5-2 m altyarıda 3 m'den fazla olmayacaktır. Kazı düzgün patlatma veya mekanik kazı metotları ile yapılabilir. Destekleme elemanları olarak kısa ama sık yerleştirilmiş kaya bulonları, çelik hasır gereklidir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.10. C2- Destek sınıfı

“Baskılı” kaya kütlesi olarak adlandırılan kaya kütlesi içerisinde derine uzanan plastik zonlar görülebilir. Bu kaya kütlelerinde orta derecede fakat belirgin olarak uzun süren ve yavaş son bulan deformasyonlar gözlenir. Plastik davranışlı yüksek kohezyonlu kaya kütlelerinde gerilme gözlenir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

Tüm kesit çevresinde sistematik destekleme gerekli olup, her ilerleme adımında destekleme sistemi tamamlandıktan sonra bir sonraki ilerleme adımına geçilecektir. Tünel tavanında süren uygulaması gerekecektir. Süren uygulaması için delgi sırası ve sonrasında imalatın ayna ve tavandaki kaya kütlelerinin olumsuz etkilenmesi önlenmelidir. Jeolojik şartlara uygun olarak üst yarı aynasından 50-100 m'den daha geride olmamak üzere taban kemeri gereklidir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.11. C3- Destek sınıfı

“Çok baskılı” kaya kütlesi olarak adlandırılan kaya kütlesinde, derin zayıflık zonları görülür. Bu zayıflık zonları, uzun süreli etkili olan yüksek deformasyonlar sonucu oluşmuştur (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

İlerleme adımı uzunluğu, üst yarı kazısında 1-2 metre’den, alt yarıda ise 2 metre’den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma veya mekanik kazı metotlarıyla yapılacaktır. Tıraşlamadan hemen sonra püskürtme beton kaplaması gerekmektedir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.12. C4- Destek sınıfı

“Akıcı” kaya kütlesi olarak adlandırılan kaya kütlesinde, kaya kütlesinin az plastik davranışı kısa süre desteksiz bırakılan bölünmüş kazıda bile tünel içine malzeme akışına sebep olur. Düşük kohezyondan dolayı, önceden süren montajı yapılmadan veya süren ve kazı ile birlikte püskürtme betonu kaplaması yapılmadan zeminin kendini tutma süresi yoktur. İlerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 1.5 m, alt yarıda ise 2 m’den fazla olmayacaktır. Kazı tünel ekskavatörü ile yapılacaktır. Kazı ile birlikte püskürtme beton kaplaması gerekmektedir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

Tünel desteklemesi, üst yarıda ve alt yarıda her bir ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Kazı aynasında, püskürtme beton, hasır çelik, kaya bulonu, drenaj elemanlarından oluşan destekleme sisteminin, kazı sırasında veya hemen sonrasında kullanılması gerekebilecektir. Alt bölümlere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gerekli olacaktır. Taban kemerinde ring kapaması, üst yarı kazı aynası gerisinde 25 ile 50 metre arasındaki kısa mesafelerde gerekli olabilir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.6.2.13. C5- Destek sınıfı

“Çok kohezyonlu, kısa süreli stabil” kaya kütlesi olarak adlandırılan kaya kütlesinde, şişme potansiyelli kil minerali, tuz, anhidrit içeren kaya kütlelerinde su alımıyla meydana gelen hacim artışı sebebiyle gevşemeler görülür. Üst yarı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Pek çok halde üst yarı kazısı aynası için bir destekleme gövdesi gerekecektir. İlerleme adımı uzunlukları üst yarı kazısında 1.5

metre'yi, alt yarı kazısında 3 metre'yi geçmeyecektir. Sadece sert kaya kısımlarının kazısında patlatma yapılabilir, diğer kazılarda ekskavatör kullanılır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

Tünel desteklemesi, üst yarıda ve alt yarıda her ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren uygulaması, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Alt bölümlere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gerekli olacaktır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006).

3.7. Sığ Derinlikte Tünel Açımı

Günümüzde sığ derinlikte açılan, geniş kazı kesitli tünellerin büyük bir bölümü, artan şehirleşme ile ihtiyaç haline gelen, metro ve karayolu tünelleri, geçitler, yer altı depoları ile içme suyu ya da kanalizasyon amaçlı tünellerden oluşmaktadır. Sayılan yer altı yapılarının ortak noktası, genellikle sığ derinliklerde açılmalarıdır. Bu tip formasyonlarda en büyük dezavantaj, formasyonun düşük taşıma gücü ve kolay deforme olabilmesidir. Bununla birlikte, sığ tünelcilikte tünelin açılacağı formasyon, yüzeye yakın oluşu nedeni ile, çoğu kez suya doymun haldedir. Bu durumda, tünelde gerek kazı gerek destekleme aşamasında ilave önlemler gerektirmektedir. Sığ tünelcilik şartlarının geçerli olduğu kazı alanlarının üzerinde yerleşim alanları ve yerüstü tesislerinin bulunduğu göz önünde bulundurularak, yeraltı jeolojik ve jeoteknik koşulların çok iyi değerlendirilmesi, kazı ve tahkimat işlemlerinin ortam şartlarına uygun programlanması gerekmektedir. Bu amaçla güzergahta zayıf bölgelerin iyileştirilmesi ve zemindeki oturmaların oldukça hassas olarak değerlendirilmesi, yer üstü yapılarının stabilitesi ve güvenliği açısından oldukça önemlidir.

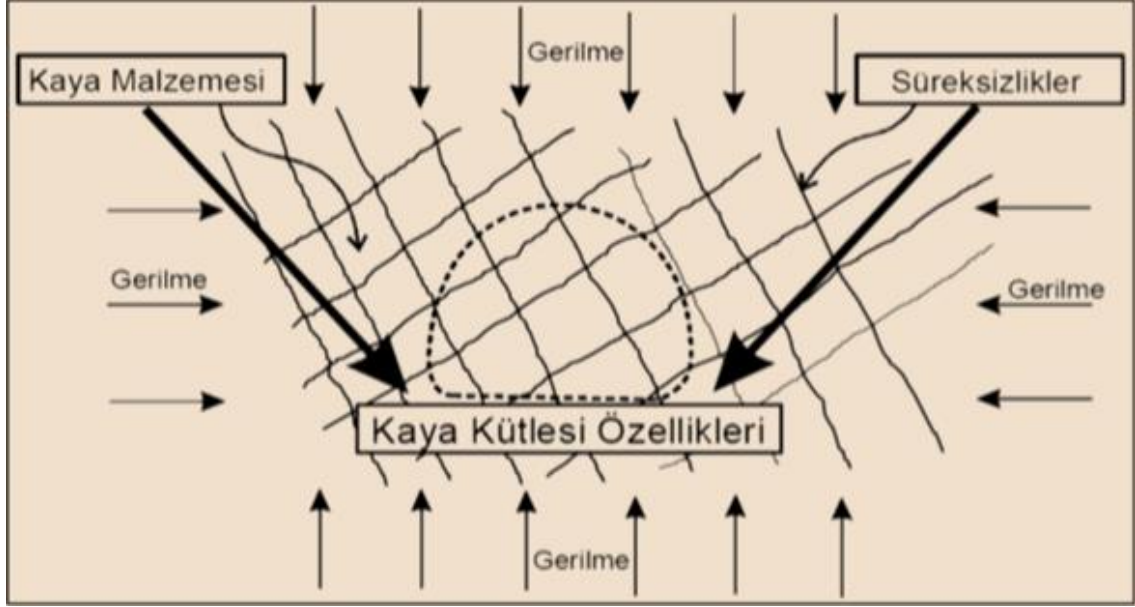
3.8. Jeoteknik Parametreler

3.8.1. Kaya kütlesi sınıflamaları

Kaya kütlesi sınıflama sistemleri farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmekte olup zemin reaksiyonlarının kestirilmesi ve duraylılık tayini için kullanılmaktadırlar.

Kaya kütleleri, çeşitli jeolojik süreksizlikler tarafından ayrılmış kaya bloklar olarak tanımlanabilmektedir (Şekil 3.18). Kaya kütlelerinin mühendislik yapısı altındaki dayanımı hakkında süreksizliklerin aralığı veya sıklığı, farklı süreksizlik setlerinin sayısı, bilgi vermektedir. Özellikle, baraj tünel, yer altı santralleri, köprü ayakları gibi

büyük yapıların duraylılık hesaplarının yapılmasında, temelin ve kullanılacak malzemenin saptanmasında kaya kütleleri üzerinde mühendislik hesaplamalarının yapılması önem arz etmektedir.



Şekil 3.18. Kaya malzemesi, süreksizlik ve kaya kütle kavramlarını tanımlayan kesit (Hudson, 1989)

Kaya kütle sınıflama yöntemleri olan kaya kütle göstergesi (RQD), kaya yapısı puanı (RSR), kaya kütle puanı (RMR), kaya tünellilik kalite indeksi (Q), jeolojik dayanım indeksi (GSI), kaya kütle indeksi (RMI) temel olarak incelenecektir.

3.8.1.1. Kaya kalitesi göstergesi (RQD)

Kaya kütle sınıflamalarında sıklıkla kullanılan bir parametre olup, ilk defa (Deere, 1964) tarafından geliştirilmiştir. RQD (%), sondajda boyu 10 cm'den fazla olan sağlam karotların toplam uzunluğunun kademe ilerlemesine oranı olarak tanımlanmıştır. Çizelge 3.4'de RQD değerlerine göre "Kaya Kalite Göstergesi" verilmiştir.

Çizelge 3.4. RQD değerlerine göre “Kaya Kalite Göstergesi” (Bieniawski 1973, Ulusay ve Sönmez”den 2007).

RQD (%)	Kaya kalitesi
< 25	Çok zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi

Tünelcilik çalışmalarında kaya destek ölçütü olarak yalnızca RQD kullanılması yeterli olmamaktadır. Çünkü RQD süreksizliklerin yönelimi, sıklığı, aralığı, dolgunun özellikleri ve yüzeye yakın kayaçlarda bozunmanın veya ayrışmanın önemli özelliklerini yansıtmamaktadır. Bu nedenle günümüzde RQD tüneller için destek belirleme ölçütü olarak değilde, genelde gelişmiş sınıflama sistemlerinde kullanılan parametrelerden sadece biridir (Ulusay, 2001).

$$RQD = \frac{\text{Bir ilerleme aralığında boyu 10 cm ve 10 cm den büyük olan karotların toplam uzunluğu}}{\text{İlerleme aralığının uzunluğu}} \quad (3.1)$$

3.8.1.2. RMR (Rock Mass Rating) kaya kütlesi sınıflama sistemi

RMR sınıflama sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında Bieniawski tarafından geliştirilmiştir. İlk başlarda bu sistem, Bieniawski'nin sedimanter kayaçlarda kazısı yapılmış tünellerde yaptığı gözlemlerden ve araştırmalardan bilgi edindiği tecrübelerden esas alınarak geliştirilmiştir. Bieniawski tarafından 1973'ten 1989'a kadar tüneller, büyük yeraltı açıklıkları, maden işletmeleri ile ilgili toplam 351 farklı uygulamadan derlenen veriler ve kazanılan tecrübeler doğrultusunda RMR sistemi en son halini almıştır. RMR sınıflandırma sistemi, Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı, RQD, Bozunma derecesi, Süreksizlik aralığı, Süreksizlik açıklığı, Süreksizliklerin devamlılığı, Yeraltı suyu akışı ve Süreksizliklerin yönelimi olmak üzere sekiz parametreye dayandırılarak yapılmaktadır.

$$RMR = \sum Kaya\ malzemesinin\ dayanımı + RQD + Süreksizlik\ aralığı + \\ Süreksizliklerin\ durumu\ (Devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu, bozunma) + \\ Yeraltı\ suyu\ durumu \quad (3.2)$$

Bieniawski, 1989 tarafından RMR kaya kütle sınıflama sistemi belirlerken kayacın tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), Kayaç kalite göstergesi (RQD), Süreksizlik aralığı (J_s), Süreksizliklerin durumu (J_c), Yeraltı suyu durumu (G_w), Süreksizliklerin konumu (O_I) olmak üzere altı parametreden faydalanılmıştır. Bu parametreler kullanılarak RMR değeri Formül (3.3)'deki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMR = I_{\sigma c} + I_{RQD} + I_{J_s} + J_{J_c} + I_{G_w} + I_{O_1} \quad (3.3)$$

Kaya kütlelerinin RMR sınıflamaları seçilirken Bieniawski (1989)'daki son versiyon kullanılarak sistemin ilk üç parametresi olan tek eksenli basınç dayanımı indeksi, RQD ve süreksizlik aralığı indeks puanları Bieniawski (1989) tarafından önerilen puan tayin grafikleri kullanılarak dördüncü parametre puanı, süreksizliklerin durumunun puanlandırılması bozunma, pürüzlülük, açıklık, devamlılık ve dolgu için önerilen kılavuzdan, 5. parametre puanı, sınıflama parametreleri ve puanları çizelgesinden faydalanılarak tespit edilir. Bu ilk beş parametreden elde edilen puanlar toplanarak temel RMR değeri hesaplanır. 6. Parametrede süreksizlik yönelimine doğru düzeltme çizelgesi ile belirlenir ve esas RMR değerinden 0 -12 puan arasında azaltmaya gidilerek kesin RMR değerleri elde edilir. Elde edilen RMR değerine göre RQD değeri 0 – 100 arasındaki bir puan aralığında çok iyi kayadan – çok zayıf kayaya kadar sınıflandırılır.

Tünellerde patlatma yapılması esnasında veya patlatma etkisi ile (A_b), zayıflık düzlemleri (A_w) ve gerilme değişimleri (A_s) varsa Laubscher (1977) ile Kendorski ve arkadaşları (1983) tarafından belirtilen bu düzeltme faktörlerinin RMR hesaplamasında dikkate alınması gerekmektedir. Tünellerde ve galerilerde tahkimat tasarımında RMR değerine bağlı olarak tünel kesitinin ekseninde tavan basıncı ve örselenmiş bölge kalınlığı Ünal (1983) tarafından Formül (3.4)'deki bağıntı ile verilmiştir.

$$h_t = \left[\frac{100-RMR}{100} \right] B \quad (3.4)$$

$$P = h_t \gamma \quad (3.5)$$

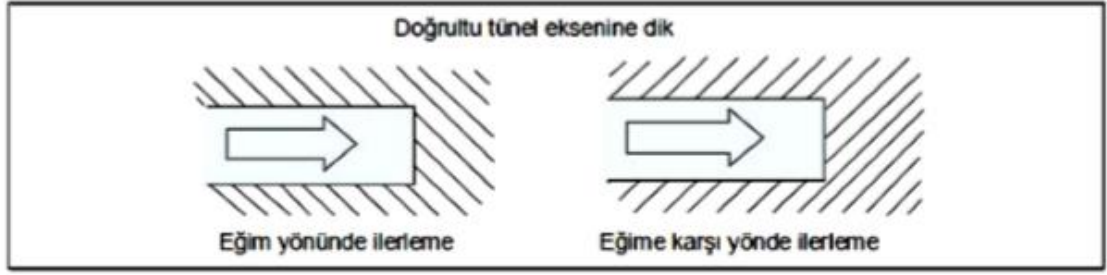
Formül (3.4) ve Formül (3.5)'de, P ; kaya basıncı, h_t ; galeri tavanında oluşan örselenmiş bölge kalınlığı (m), B ;Galeri genişliği (m), γ ; galeri tavanındaki kaya birimine ait doğal yoğunluk (kN/m^3)dur.

RMR sınıflama sistemi; tünel, galeri, yeraltı ocakları özellikle yeraltı açıklıklarının kazısı gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Puanlamayla belirlenen RMR ile tünellerde destek sisteminin belirlenmesi, Yeraltı açıklıklarında kullanılan destek sistemine etkiyecek basıncın bulunması ve kaya klas tespitleri yapılabilmektedir. Çizelge 3.5'de Bieniawski, 1989'a göre RMR kaya kütlesi sınıflama sistemi, Çizelge 3.6'da Toplam sayısal değerlendirmelere göre kaya kütlesinin sınıflaması, Çizelge 3.7'de Kaya kütlesi sınıflarının ifade ettiği anlamlar ve Çizelge 3.8'de RMR sisteminden yararlanılarak, tüneller için destek sistemlerinin belirlenmesi verilmiştir.

Çizelge 3.5. RMR kaya kütlesi sınıflama sistemi (Bieniawski, 1989)

A) Sınıflama parametreleri ve puanlama										
1	Sağlam kayacın dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi		>10Mpa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı		>250 Mpa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1MPa
	Puan			15	12	7	4	2	1	0
2	Kaya kalite göstergesi RQD (%)			%90 - 100	%75 - 90	%50-75	%25 - 50	<25%		
	Puan			20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik aralığı			>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Puan			20	15	10	8	5		
4	Süreksizliklerin durumu			Çok pürüzlü yüzeyler, Sürekli değil, Ayrılma yok, Sert eklem yüzeyleri	Az pürüzlü yüzeyler, Ayrılma<1 mm Az bozunmuş yüzeyler	Az pürüzlü yüzeyler, Ayrılma<1 mm Oldukça bozulmuş yüzeyler	Kaygan yüzeyler veya dolgu < 5 mm veya açıklık 1-5 mm	Yumuşak dolgu >5 mm veya açıklık >5 mm devamlı kaygan yüzeyler veya dolgu > 5 mm açıklık 1-5 mm süreksizlikler		
	Puan			30	25	20	10	0		
5	Yer altı suyu	Tünelin 10 m' lik kısmından gelen su		Yok	<10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk		
		Oran	Eklem deki su basıncı	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	<0,5		
			En büyük asal gerilme							
		Genel koşullar		Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan			15	10	7	4	0		
B) Tünelde süreksizlik eğim ve eğim yönünün etkisi										
Doğrultu tünel eksenine dik					Doğrultu tünel eksenine paralel			Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0 ⁰ -20 ⁰ arasında		
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme								
Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -45 ⁰	Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -45 ⁰	Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -45 ⁰					
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta				

Çizelge 3.5 (devam ediyor)



C) Süreksizlik yönelimine göre düzeltme						
Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

Çizelge 3.6. Toplam sayısal değerlendirmelere göre kaya kütlelerinin sınıflaması (Bieniawski, 1989)

Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20

Çizelge 3.7. Kaya kütleleri sınıflarının ifade ettiği anlamlar (Bieniawski, 1989)

Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Ortalama desteksiz kalabilme süresi	15 metre açıklık için 20 yıl	10 metre açıklık için 1 yıl	5 metre açıklık için 1 hafta	2,5 metre açıklık için 10 saat	1 metre açıklık için 30 dakika
Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (derece)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

Çizelge 3.8. RMR sisteminden yararlanılarak, tüneller için destek sistemlerinin belirlenmesi

Kaya kütle sınıfı	Kazı şekli	Kaya saplamaları (10 m genişlikteki tüneller için)	Püskürtme beton	Çelik destek
1- Çok iyi kaya RMR: 81-100	Tam kesit, 3 m ilerleme	Gerekli belirli noktalar haricinde, genellikle tahkimat gerekmez.		
2- İyi kaya RMR: 61-80	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 m'sinde yer yer saplama, tel kafeslerde 2-2.5 m aralıklı,	Gerektiğinde tavan kimerinde 50 mm kalınlığında	Yok
3-Orta sağlam kaya RMR: 41-60	Tavan kimeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.5-3 m ilerleme. Komple destek. Aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli.	3-4 m uzunlukta sistematik saplamalar. Kemerde tel kafesli duvarlar ve kimerde 1.5-2 m aralıklı	Tavan kimerinde 50-100 mm, yan duvarlarda 30 mm kalınlığında	Yok
4- Zayıf kaya RMR: 21-40	Tavan kimeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1-1.5 m ilerleme. Kazıya uygun şekilde aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli tahkimat.	Tel kafesli duvarlarda ve kimerde 1-1.5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik saplama	Tavan kimerinde 100-150 mm, yan duvarlarda 100 mm kalınlığında	Gereken yerlerde 1.5 aralıklı ve yer yer hafif profiller
5- Çok zayıf kaya RMR: 0-20	Tavan ve tabanda birlikte ilerleme. Tavandan 0.5-1 m ilerleme. Kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlatmadan sonra püskürtme beton uygulanmalı	Tel kafesli duvarlarda ve kimerde 1-1.5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik saplama	Tavanda 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm ve aynada 50 mm kalınlıkta	Çelik destek, 0.75 m aralıklı, orta-ağır profiller

3.8.1.3. Q Sınıflama sistemi

Q sistemi Barton ve ark., (1974) tarafından geliştirilmiştir. Q sisteminde kaya kalite derecesi 0.001 ile 1000 arasında logaritmik ölçekte değişmektedir.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (3.6)$$

Formül (3.6)'da, RQD ; Kaya kalitesi tanımı, J_n ; Eklem seti sayısı, J_r ; Eklem pürüzlülük sayısı, J_a ; Eklem ayrışma sayısı, J_w ; Eklem su azaltma faktörü, SRF ; Gerilim azaltma faktörüdür. RQD / J_n kaya kütle sınıfının genel yapısının blok boyutu, J_r/J_a bloklar arası kayma dayanımının ve J_w/SRF ise aktif gerilme değerinin bir göstergesidir.

Barton ve arkadaşları (1974) kazının mekanik davranışını ve tahkimat gerektirip gerektirmediğini bulabilmek için kazı çapının veya yüksekliğinin kazı tahkimat oranına

(ESR) bölümünü belirten eşdeğer boyut (De) kavramını tanımlamışlardır. Formül (3.7)'de (De) bağıntısı verilmiştir.

$$D_e = (\text{tünel çapı veya yükseklik})/ESR \quad (3.7)$$

En büyük tahkimatsız açıklık Formül (3.8)'de verilmiştir.

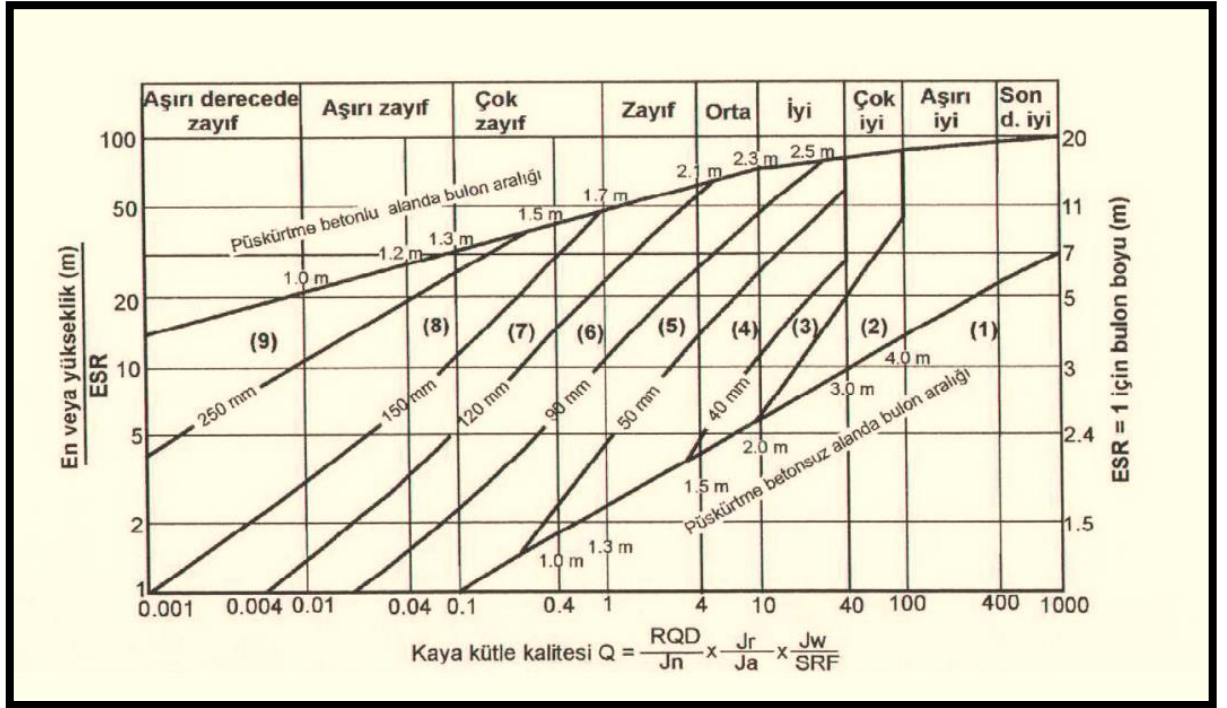
$$B_{max} = 2(ESR)Q^{0.4} \quad (3.8)$$

Tünel tavanında oluşan basınç Formül (3.9)'da verilmiştir.

$$P_{tavan} = (2/J_r)Q^{-1/3} \quad (3.9)$$

Barton ve ark., (1974)'e göre Q sisteminde son derece zayıftan-son derece iyiye kadar dokuz adet kaya kalitesi ve otuzsekiz adet tahkimat sınıfı hesaplamıştır.

Grimstad ve Barton (1993) tünelcilikte fiber katkıli shotcrete atılması ve uygulamalarını görmek amacıyla kaya destek sınıfını dokuz aşamaya göre Q kaya sınıflama sistemine bağlı tahkimat sınıflamalarını yeniden düzenlemek için geliştirmişlerdir. Bu düzenlemeden faydalanılarak uygulanacak beton kalınlığı, kaya saplama uzunluğu ve saplama aralıkları belirlenmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Q Sınıflama Sistemi (Grimstad ve Barton, 1993)

4. TARTIŞMA VE BULGULAR

Bu çalışma kapsamında; Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde bulunan Köprülü mevkiindeki ‘Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) Kesimi’ jeolojik formasyonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortaya çıkarılması, jeolojik haritalanması, hidrojeolojik değerlendirilmesi, kaya sınıflaması ve zemin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla temel sondaj kuyuları açılarak jeoteknik araştırmalar yapılmıştır. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan laboratuvar deney sonuçları değerlendirilip, tünel kazı aşamalarının ve tahkimatlarının belirlenmesi durum ve değerlendirmeleri aydınlatılmaya çalışılarak tartışılmıştır.

İnceleme alanındaki tünel sahasının jeoteknik çalışmaları nisan 2017 tarihinde İnci Grup Mühendislik tarafından yapılmıştır. Mühendislik jeolojisi yönünden özelliklerin belirlenmesi amacıyla sekiz noktada temel sondaj kuyuları açılmıştır. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) numuneler incelenmek üzere Geoteklab Zemin-Kaya Mekaniği ve Agregal Laboratuvarı’na gönderilerek zeminin birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, su içeriği, atterberg limitleri belirlenmiştir. Ayrıca sahada zeminin mekanik özelliklerini belirlemek için, tek eksenli basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım endeksi testleri yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında, inceleme alanını jeolojik olarak oluşturan temel formasyonların kaya sınıflamalarına göre (RQD, GIS, RMR, Q) kaya özellikleri değerlendirilip yorumlanarak tartışılmıştır. Tünele uygulanacak Hoek-Brown parametreleri RocLab programı kullanılarak, tek eksenli mukavemet değerleri sonuçlarına göre yorumlanmıştır.

4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanının bulunduğu Batı Anadolu Geç Oligosen’den beri K-G doğrultusunda genişleyen bir bölge olarak kabul edilmektedir (Seyitoğlu ve Scott, 1992a).

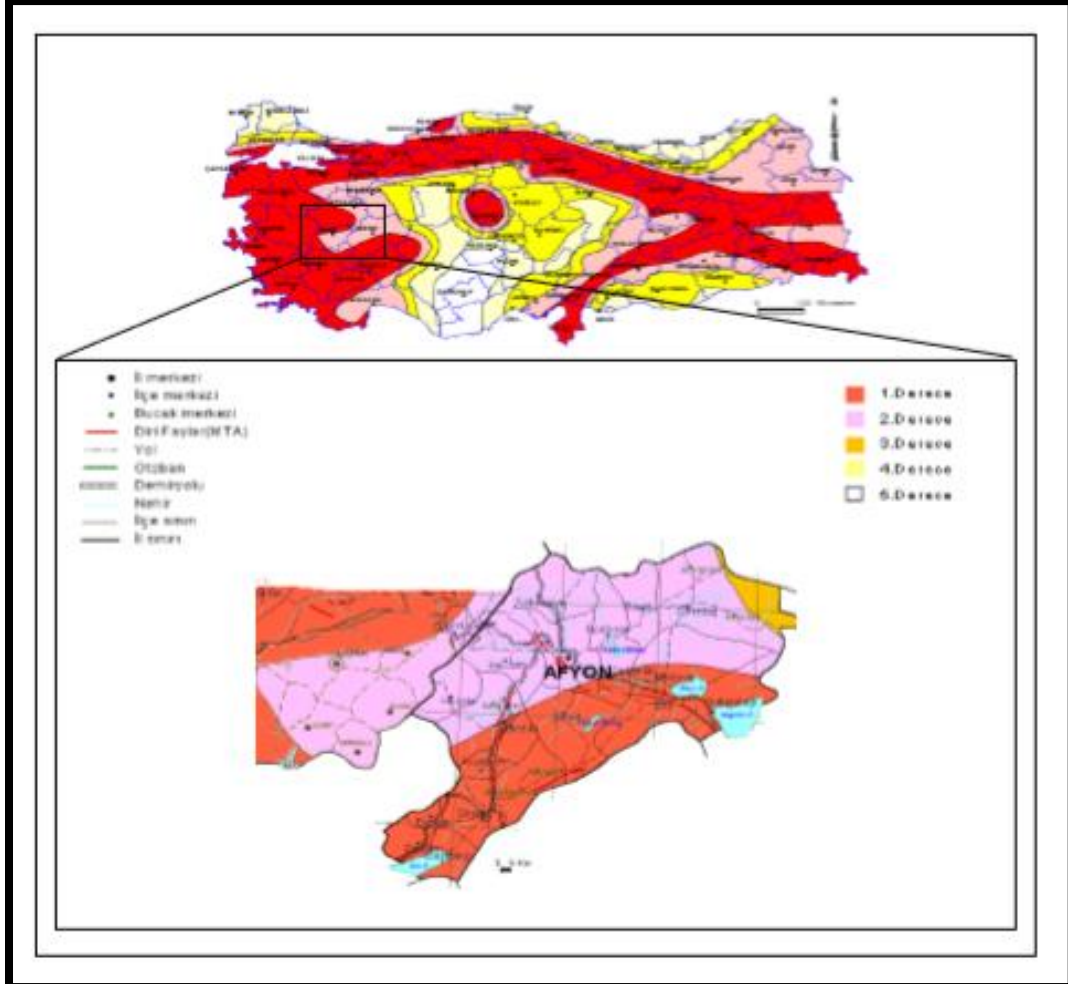
Çalışma alanı ve yakın çevresinde yaşlıdan gence doğru sırasıyla Paleozoik yaşlı Eşme Formasyonu (Pzşe), Jura yaşlı Kızılsöğüt Formasyonu (Jk), Kretase yaşlı Vezirler Melanjı (Kvm), Miosen yaşlı Yeniköy (Thy), Dumlupınar (Mid), Vişneli (Tmv),

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÖYE	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	KUWATERN			Asartepe		Qa		Alüvyon Kili Çakıllı Kum
						Qc		Kolüvyon Bloklü Çakıllı Kumlu Kili
						Qat		Zayıf çimentolu Konglomera-Kilitaşı ardalanması
	TERSİYER	NEOJEN	PLİYOSEN	Ulubey		Tiu		Kireçtaşı
				Beydağı Volkanitleri		Tibv		Andezit-Tüf-Aglomera
				Ahmetler		Tia		Balçıktaşı: Kongo-Kumtaşı-Marm-Kilitaşı-Kireçtaşı
								Merdivenkuyu: Bloklü çakıllı kumlu kili
			MİYOSEN	Balmahmut		Neb		Marm-Konglomera-Kalker-Kilitaşı
				Vişneli		Tmv		Konglomera, kumtaşı, kilitaşı, kumlu kireçtaşı, marm, tüfit
				Yamanlar Volkanitleri		Tmy		Dasit, andezit bileşimli lav, tüf, aglomera
				Afyon Volkanitleri		Mav		Aglomera, Tüf
				Kozören Volkanitleri		Mkv		Aglomera, Tüf
				Dumlupınar		Mid		Konglomera, kireçtaşı, kumtaşı, kilitaşı, tüf
				Yeniköy		Thy		Konglomera, kumtaşı, kilitaşı, kumlu kireçtaşı, marm, tüfit
			MESOZOYİK	Vezirler Melanjı		Kvm		Ultramafik, radyolarit, çörtü kireçtaşı, çamurtaşı, spilit-tüf, mermer
				Kızılcasögüt		Jk		Mavimsi gri dolomitik kireçtaşı
	JURA							
	PALEOZOYİK			Eşme		Pzşe		Gözlü gnays, mika şist, amfibol şist, klorit şist

Şekil 4.2. Genelleştirilmiş Stratigrafik Kolon Kesiti

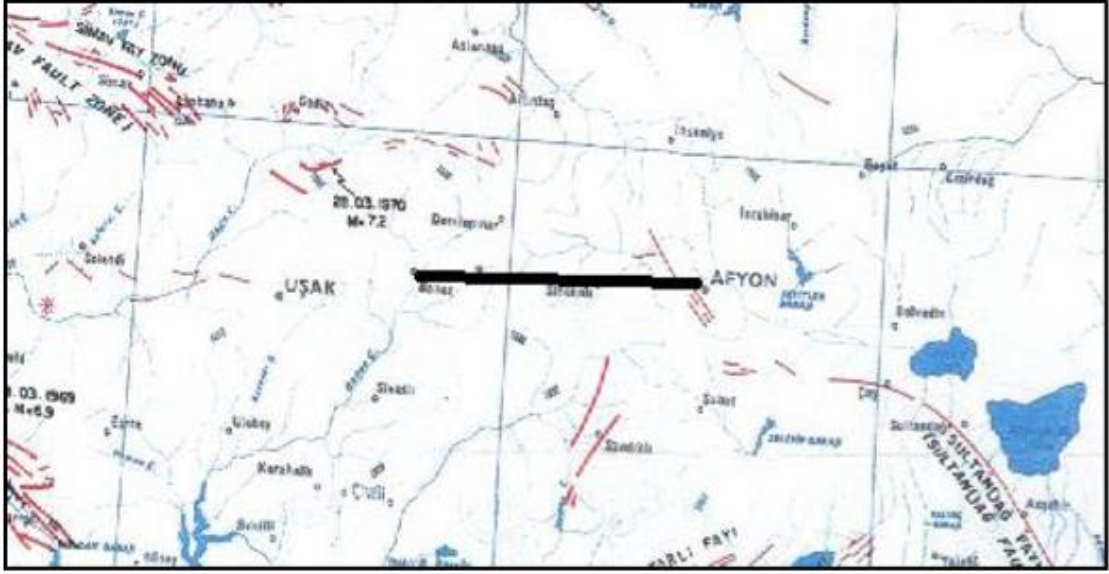
Ankara-İzmir Demiryolu, Afyon – Banaz Kesimi Km 194+325 – Km:268+000 Arası “Türkiye Deprem Haritası”na göre 2. Derece deprem kuşağı içinde yer almaktadır (Şekil 4.3). Ege Bölgesinde karakteristik olan Menderes Masifinin daha önce açıklandığı gibi çeşitli açılma ve kapanma hareketleri sonucunda oluşan D – B

yönlü tansiyon gerilmeleri normal atımlı faylara sebep olmuştur. Türkiye Diri Fay Haritasında da görülebileceği gibi bu fayların yoğun olduğu bölge Eşme–Manisa hattında yer almaktadır.



Şekil 4.3. İnceleme Alanı Deprem Haritası (AFAD, Deprem Dairesi Başkanlığı)

İnceleme alanı Menderes Masifi Ünitesi içinde yer almaktadır. Menderes Masifi Prekambrian devrinde mevcut bir jeosenklinalin şistik temeli üzerine çökelerek depolanan çökellerin yüksek ısı ve çok yüksek basınç altında büyük derinliklerde rejyonel termo-dinamik metamorfizma geçirmeleri ile oluşmuştur. Masif 500 Milyon yıl kadar önce ilk rejyonel metamorfizmayı geçirmiştir. Afyon-İzmir arasında yer alan güzergâhın diri fay haritası Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Afyon-Uşak arasında yer alan güzergâhın diri fay haritası (MTA'dan alınmıştır)

4.1.1. Eşme formasyonu (Pzşe)

Menderes Masifinin örtü şistlerinden ve mermer mercceklerinden oluşan bu birim Ercan ve ark., (1978) yaptıkları çalışmada Eşme formasyonu olarak adlandırılmıştır. Eşme formasyonu en tipik olarak Eşme ilçesi ve batısında yayılım göstermektedir.

Paleozoyik yaşlı olan Eşme Formasyonu altta granitik gnayslar ile yanal ve dikey geçişli olan ve Menderes kristalen Masifinin çekirdeğine ilişkin para kökenli gözlü gnayslar ile başlar. Daha üste doğru ise ince taneli gnayslar ve bunların üzerinde de mika şist, amfibol şist, granatlı şist, klorit şist, serisit şist gibi üst kısımlarda yer yer ince mermer bantları içeren şistler yer almaktadır. Bu birim Eşme yöresinde çok geniş yüzlekler verir.

4.1.2. Kızılcasöğüt formasyonu (Jk)

Eşme Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelir. Gri - mavimsi yer yer beyaz renkli dolomitik kireçtaşlarının oluşturduğu yer yer de çört bantları içeren bu birim arasına masif, ara sıra 5–35 cm. kalınlıkta tabakalı görünümlüdür. Tabakalı olan yerlerde çok kıvrımlı olup Kızılcasöğüt Köyü yöresinde yüzeylenmektedir. Denizel ortam ürünüdür.

4.1.3. Vezirler melanji (Kvm)

Vezirler melanji, Sorkunlu-Dağyenice arasındaki kesimde yayılış gösterir. Birim çeşitli boyutlarda ultramafik, radyolarit, çörtlü kalker, spilit-tüf, mermer vb. değişik litolojik birimler karmaşıktır (Ercan ve ark., 1978). Melanj içindeki çörtlü kalker bloklarında Senomaniyen yaşlı fosiller bulunduğu saptanmıştır (Bingöl, 1977).

Çalışma alanında ofiyolitli melanj birimleri yer almakta olup bu ofiyolitli melanj, çeşitli boyutlarda ultramafik, radyolarit, pembe renkli çörtlü kireçtaşı, çamurtaşı, sipilit - tüf, mermer vb. değişik litolojik birimler karmaşıktır. Ultramafitler yer yer silisleşmiş ve karbonatlaşmışlar ve üzerinde 1-15 metre kalınlıkta silisli ve karbonatlı bir kabuk oluşmuştur. Daha yaşlı kaya birimleri, melanj ile tektonik olarak örtülmektedir. Melanj içindeki mermer blokları, çalışma alandaki otokton Musa dağı mermerlerinden farklı olup daha ince kristalli, daha sert ve daha koyu renklidir. Çörtlü kireçtaşları da çalışma alanındaki otokton Kızılcasöğüt formasyonunun kireçtaşlarından farklıdır. Melanj içindeki ultramafit kayalar çoğunlukla serpantinleşmiş peridotitlerden oluşmuştur.

4.1.4. Yeniköy formasyonu (Thy)

Yeniköy formasyonu sarımsı-grimsi-krem renkli konglomera, kumtaşı, killi kumtaşı, kumlu kilaşı ve kilaşları ile temsil edilmektedir. Formasyonu ilk olarak (Ercan ve ark., 1978) Uşak civarındaki çalışmalarında adlandırmışlardır. Bingöl (1977) ise Kırantarla formasyonu adıyla incelemiştir. Bu çalışmada Yeniköy formasyonu adlanması kullanılmıştır.

Genellikle koyu-sarı, turuncu, yer yer beyaz ve gri renkli, çok kökenli konglomera-kumtaşı - kilaşı - killi ve kumlu kireçtaşı - marn ve tüfit aralanmaları sunan bu Formasyon akarsu ortamında oluşmuş olup, akarsuların taşıdıkları eski kayaların kırıntılarını yataklarının uygun yerlerinde düzgün katmanlı olarak yığılmalarıyla oluşmuştur. Katman kalınlıkları 3-40 cm arasında değişmektedir. Yer yer yersel kömürlü düzeyler görülmektedir. Yeniköy Formasyonu çökelleri Menderes Masifinin yükselme devinimleri sonucu oluşan gerilim kuvvetleri ile oluşan KD – GB doğrultusundaki grabenlerde akarsular aracılığı ile çökelmiş ve yükselme devinimlerinin tüm Tersiyer boyunca süregelmesi ile kıvrımlanmış ve eğim kazanmışlardır.

4.1.5. Dumlupınar formasyonu (Mid)

Çalışma sahası içinde Dumlupınar civarında gözlemlenen Miyosen yaşlı bu birim yeşilimsi gri – gri kilitaşı – kumtaşı, gölsel karakterli kireçtaşı, konglomeralardan oluşmaktadır. Birim içinde kumtaşı–kilitaşı ardalanması dominant malzemeyi oluşturmaktadır. Dumlupınar Formasyonunun akarsular tarafından getirilen malzemenin akarsu ağzında depolanması ve gölsel malzeme ile beraber yayılım göstermesi nedeni ile beraberce oluştuğu varsayılmaktadır.

4.1.6. Kozören volkanitleri (Mkv)

Kozören Köyü yukarısında belirlenen bu birim koyu gri – siyah renkli aglomera, tuf, andezit–dasit karışımını ihtiva eden volkanik püskürük ve lav akıntılarından oluşmuştur. Volkanikler muhtemelen Miyosende harekete geçen volkanizma ürünü olup muhtemelen eş zamanlı depolanan Dumlupınar Formasyonuna malzeme temin etmiştir.

4.1.7. Afyon volkanitleri (Mav)

Afyon-Sandıklı çevresinde Miyosen yaşlı volkanizma çok geniş alanlarda farklı volkanik ürünler oluşturmıştır. Trakit, trakiandezit, andezit, riyolit, latit, bazalt, fonolit ve tefrit türde alkali ve kalkalkali nitelikli lavlarla tuf ve ignimbritler değişik evrelerde tüm Orta-Üst Miyosen boyunca meydana gelmişlerdir. Afyon kalesinin üzerinde yer aldığı lavları, trakiandezit olarak adlandırmışlardır.

4.1.8. Yamanlar formasyonu (Tmy)

Yamanlar Dağında gözlenen Miyosen yaşlı volkanizma ürünleri Yamanlar Volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Volkanitler gri, kirli beyaz – kirli sarı kahve renklerde çoğunlukla ayrılmış bol kırıklı ve belirgin akma yapıları olan dasit, yeşilimsi gri – koyu gri, sarımsı kahverengimsi renklerde masif veya tabakalanmayı andırır, akma yapıları etkin ayrışmadan bloksu görünümlü andezit bileşimli lav tuf ve aglomeralardan oluşmuştur. Yamanlar Volkanitleri kapsamında incelenen lavlar genellikle akma yapılarıdır. Tuf ise göl çökelleri ile griftir. Bu özellikler

volkanizmanın karada geliştiğini lav ve tüflerin zaman zaman gölseyel ortama taşındıklarını gösterir.

4.1.9. Vişneli formasyonu (Tmv)

Miyosen öncesi kaya birimleri üzerinde açısal diskordanslı olan kirli sarı renkli kırıntılı çökel topluluğu Vişneli Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Orta–Üst Miyosen yaşında olan Vişneli formasyonu, yerel alanlara göre, stratigrafik seviyeleri ve kalınlıkları oldukça değişken olan çakıltası, kumtası, marn, kıltaşı, killi kireçtası, tüfit tabakalarını kapsar. Bu tabakalar çoğu kesitlerde düzensiz bir ardalanma oluşturur ve genellikle alt seviyelerde çakıltası; ortada kumtası; üstte kıltaşı ve killi kireçtaşları yaygındır.

Vişneli formasyonu, Kesme Dağı kuzeyinde ve güneyinde kahve renkli, kalın tabakalı kumtası-çakıltası ardalanması ile başlar. Bu seviyedeki ince taneli çakıltaları, kuvarsit, çört, mermer, süt kuvars, kumtası, radyolarit ve bazik kaya çakıllarından oluşur. Boyları çok kaba kum ile çakıl arasında değişen iyi yuvarlanmış taneler, bazen kalsit çimento ile sıkıca tutturulmuştur. Boylanma orta-iyidir. Çoğunlukla gevşek olan kumtaşları kolay ayrıştıklarından toprak yağsı şeklinde bir görünümüleri vardır. Bu nedenle, tabakalanma kolayca belirlenemez. Üste doğru tane boyu ince, mikalı kumtaşlarına geçilir. Bunlar yapraklanma kazanmış yeşilimsi gri renkli kıltaşı ve marn tabakaları ile ardalanmalıdır.

4.1.10. Balmahmut formasyonu (Neb)

Açık sarımsı kahve, kirli beyaz, marn, konglomera, kalker, kıltaşı ardalanmasından oluşan bu formasyon genel olarak yatay ve yataya yakın tabakalıdır. Genellikle açık beyaz renkte göl kalkerleri halinde oluşurlar. Bazı yerlerde yumuşak marnlı kalkerler sert ve beyaz renkli kalkerler ile geçişlidir.

4.1.11. Ahmetler formasyonu (Tia)

Çalışma alanındaki Pliyosen bu formasyonla başlamakta olup 2 üyeye ayrılmıştır. Bu üyeler alttan üste doğru sırasıyla şu şekildedir: ***Merdivenlikuyu Üyesi (Tiam)***; Eski masif kenarlarında aşırı sellenme ve çekim kaymaları yoluyla oluşan yamaç molozlarıdır. En çok 50 - 60 m. kalınlıkta olup diğer Pliyosen yaşlı

çökellerin tabanında yer alır. Genellikle köşeli metamorfit çakıl ve blokları içermekte olup düzgün bir katmanlanma göstermez. **Balçıkdere Üyesi (Tiab)** ; Merdivenlikuyu üyesi üzerinde uyumlu olarak yer alan ve konglomera - kumtaşı - tüfit - kilitaşı - marn ve kireçtaşı ardalanmasıyla oluşan bu üye akarsu ortamı ürünü olup en çok 200 m kalınlık sunar. Genellikle beyaz, açık gri, açık sarı, açık mavi, açık yeşil renklerde olup yatay ve yataya yakın katmanlardır. Altteki düzeylerde çakılların tane boyunda küçülme görülür. Çökeller temeldeki daha yaşlı birimlerin aşınmalarıyla oluşan havzadaki çukur yerlerde akarsular aracılığıyla çökelmişlerdir Ercan ve ark., (1978).

4.1.12. Beydağı volkanitleri

Çalışma alanında mor - pembe renkli lav ve aglomeralarla, beyaz sarımsı tüfler geniş alanlarda yüzlekler verirler. Özellikle tüfler, Ahmetler Formasyonunun tortullarının oluşumu sırasında yer yer çökeline katılarak tüfit düzeylerini oluşturmuşlar yer yer de volkan bacaları yörelerinde karada kilometrelerce yayılarak yığılmışlardır. Beydağı volkanitleri tüm Pliyosen boyunca olmuşlardır. Ahmetler formasyonunun akarsu ortam ürünü olan Gedikler üyesi çökellerinin oluşumuna gerek vererek katılmıştır (Ercan ve ark., 1978). Daha genç olan Ulubey formasyonunun gölsel kireçtaşlarının alt düzeyleri ile de yer yer giriktirler.

Bu da, Beydağı volkanitlerinin uzun süre etkin olduğunu ve volkanizmanın birkaç evreli olma olasılığını kanıtlamaktadır.

4.1.13. Ulubey formasyonu (Tiu)

Ahmetler Formasyonu üzerinde uyumlu olarak 250 m. Kalınlığa erişen ve gölsel ortamda oluşmuş kireçtaşlarıdır. Tipik olarak Ulubey İlçe Merkezi yöresinde çok geniş alan kapladıkları için bu isimle adlandırılmıştır. Gölsel kireçtaşları yer yer altta killi - marnlı düzeyleri de ardalanmalı olarak içerirler. Oldukça kalın düzgün yatay ve yataya yakın katmanlanma gösterirler. Bol erime boşluklu olup yer yer karstik yapı gösterirler (Ercan ve ark., 1978).

4.1.14. Asartepe formasyonu (Qat)

Çeşitli renklerde, genellikle kırmızı ve turuncu, yer yer beyaz, gevşek kireç, tuf ve kil çimentolu, orta-kalın katmanlanmalı, çok kökenli, yarı yuvarlaklaşmış çakıllı

konglomera-kumtaşı ar dalanması şeklinde olup yer yer de ince marnlı-kireçli düzeyler içeren akarsu ortamında oluşan çökellerdir (Ercan ve ark., 1978). Yer yer mercekler şeklinde kanal dolguları da içerirler. Bölgede iklimin kuraklaşmasından sonucu Pliyosen gölleri kuruduktan sonra, yeniden yağışlı iklim rejimi etkisini göstermiş ve gelişen akarsuların daha yaşlı kaya birimlerinden kopardıkları kırıntıları yataklarının uygun yerlerinde katmanlı olarak yığmalarıyla oluşmuşlardır. Daha yaşlı birimlerden taşınmış (Balçıkdere üyesi ve Ulubey Fm) kırık gastropod ve omurgalı fosiller içerirler. Kendilerine özgü fosil içermemesine karşın altındaki Ulubey formasyonunun yaşı üst Pliyosen'e kadar çıktığından ve daha sonra da volkanik bir evre saptandığından (Peyamtepe volkanitleri) bu formasyona olası olarak Alt Kuvaterner yaşı verilmiştir. Tipik konglomera-kumtaşı ar dalanmalı yüzeylekleri Asartepe'de görüldüğü için formasyona bu ad verilmiştir. Genellikle çukur havzacıklarda oluşan bu birimlerin Ulubey formasyonunun kireçtaşları ile olan dokunağı yanal geçişli izlenimini vererek araştırmacıları yanılgıya düşürebilmektedir. Genellikle yatay, yataya çok yakın düzgün katmanlıdır.

4.1.15. Kolüvyon (Qc)

Kuvaterner yaşlı kolüvyon çalışma alanında kil, silt, kum çakıl ve blok malzemelerin karışımından oluşmuş olup genelde bloktur. Çakıl ve bloklar tortul kayaç kökenli olup köşeli, nadiren yarı yuvarlanmıştır. Blok boyutları yer yer 6-7 m'ye ulaşmaktadır.

4.1.16. Alüvyon (Qa)

Kuvaterner yaşlı Alüvyon, muhtelif renkli, sıkı-çok sıkı, kumlu bloklu çakıldan oluşmaktadır. Birimin kalınlığı çok fazla değildir. Çakıllar tortul kayaç kökenli olup yuvarlak, yarı yuvarlaktır.

4.2. İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi

İnceleme alanı "Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) Kesimi olup, güzergahının Km: 209+615 – Km: 210+875 aralığında yer alan Tünel 4 kazısıdır. Şekil 4.5'de tünel alanı güzergahının genel görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.5. Tünel alanı güzergah görüntüsü

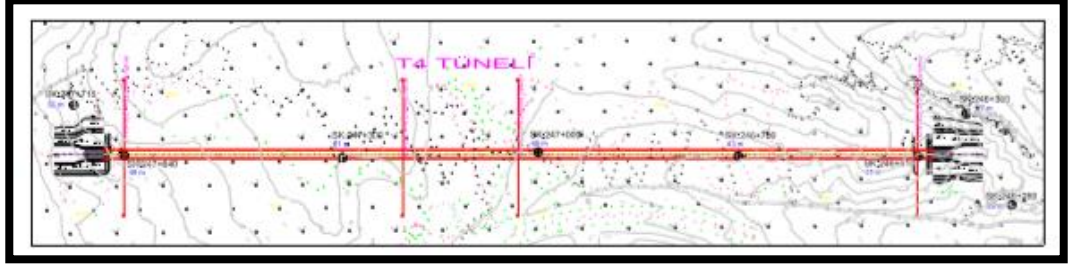
Tünel kazıları tümüyle Balmahmut formasyonuna (Neb) ait açık sarımsı kahve, kirli beyaz, marn, konglomera, kalker, kilitaşı ardalımalı kayaç birimlerde yapılacaktır. Bu birimler (konglomera, silttaşı, kilitaşı, kireçtaşı, kumtaşı, marn) genel olarak zayıf, orta dayanımlı, orta-çok ayrılmıştır. Yapılan sondajlarda giriş bölgesinde çakıllı ve kumlu birimler ile karşılaşmıştır. Her ne kadar bu birimler sondajlarda zemin olarak değerlendirilse de sahada yapılan incelemeler neticesinde bu birimlerin çok az çimentolaşmış oldukları görülmüş ve bu birimler Balmahmut formasyonunda tanımlanan Konglomera olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.6'da tünel alanındaki birimler görülmektedir. Şekil 4.6'da inceleme alanında yapılan çalışmalar görülmektedir.



Şekil 4.6. İnceleme alanında yapılan çalışma görüntüsü

4.2.1. Jeoteknik amaçlı sondajlar

İnceleme alanında arazi incelemeleri sırasında tünel sahasının mühendislik jeolojisi yönünden özelliklerin belirlenmesi amacıyla sekiz adet toplamda 332 metrelik sondaj kuyuları (Ek-1) açılmıştır. Ek olarak iki ayrı noktada yapılan alandaki sondajların yerleşimi şekil 4.7’de görülmektedir.



şekil 4.7. Sondajların Yerleşimi

şekil 4.8’de inceleme alanındaki sondaj kuyularından alınan ağırlıklı kıltaşı, siltaşı birimlerine ait karot numuneleri görülmektedir.



şekil 4.8. İnceleme alanındaki sondaj kuyularından alınan karot numuneleri

Sahada açılan sondaj kuyularının koordinat noktaları, kotu, derinliği ve yeraltı suyu seviyeleri izelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Tünel Sahası Sondajları, kotu, derinliği ve yeraltı su seviyesi

Sondaj No.	KM	Koordinatlar			Derinlik (m)	YASS (m)
		N (X)	E (Y)	Kot (m)		
SK-246+280	209+495	4 299 442	241 773	1231.50	25.00	10.00
SK-246+360	209+565	4 299 586	241 827	1237.00	27.00	12.60
SK-246+415	209+635	4 299 596	241 731	1249.50	47.00	8.20
SK-246+700	209+911	4 299 798	241 546	1251.00	43.00	0.0
SK-247+000	210+215	4 300 026	241 345	1258.00	45.00	12.26
SK-247+300	210+512	4 300 239	241 138	1280.00	61.00	8.75
SK-247+640	210+845	4 300 486	240 916	1272.50	49.00	6.70
SK-247+715	210+920	4 300 594	240 920	1270.00	35.00	17.20

4.2.2. İnceleme alanında yapılan laboratuvar analizleri

İnceleme alanından açılan sondaj kuyularından alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) numuneler incelenmek üzere Geoteklab Zemin-Kaya Mekaniği ve Agregal Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Yapılan laboratuvar deneyleri ile zeminin birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, su içeriği, atterberg limitleri belirlenmiştir.

4.2.2.1. Fiziksel özellikler

İnceleme alanında yapılan sondaj kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş (UD) numuneler için zeminin doğal birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, su muhtevası, elek analizi, Atterberg limitleri laboratuvar deneyleri (EK-2) yapılmıştır. Sondaj kuyularının açılması sırasında geçilen zemin tabakalarının fiziksel ve mekanik niteliklerini belirlemek amacıyla SPT ve UD numuneleri alınmıştır. Çizelge 4.2'de inceleme alanında yapılan sondajların SPT-N değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.2. İnceleme alanında yapılan sondajların SPT (Darbe sayısı) değerleri

Sondaj No	Numune No	N ₃₀
SK-246+280	SPT-1 (1,5-1,95)	9
SK-246+280	SPT-2 (3,00-3,45) UD (3,00-3,45)	7
SK-246+280	SPT-3 (4,50-4,95)	7
SK-246+280	SPT-4 (6,00-6,45)	8
SK-246+280	SPT-5 (7,50-7,95)	9
SK-246+280	SPT-6 (9,00-9,45)	28
SK-246+280	SPT-7 (10,50-10,95)	28
SK-246+280	SPT-8 (12,00-12,45)	28
SK-246+280	SPT-9 (13,50-13,95)	33
SK-246+280	SPT-10 (15,00-15,45)	R
SK-246+280	SPT-11 (16,00-16,95)	R
SK-246+280	SPT-12 (18,00-18,45)	R
SK-246+360	SPT-1 (1,5-1,95)	27
SK-246+360	SPT-2 (3,00-3,45)	32
SK-246+360	SPT-3 (4,50-4,95)	8
SK-246+360	SPT-4 (6,00-6,45)	8
SK-246+360	SPT-5 (7,50-7,95)	10
SK-246+360	SPT-6 (12,00-12,45)	R
SK-246+360	SPT-7 (13,50-13,95)	R
SK-246+360	SPT-8 (15,00-15,45)	R
SK-246+360	SPT-11 (16,00-16,95)	12
SK-246+415	SPT-1 (1,5-1,95)	10
SK-246+415	SPT-2 (3,00-3,45)	24
SK-246+415	SPT-3 (4,50-4,95)	R
SK-246+415	SPT-4 (6,00-6,45)	R
SK-246+415	SPT-5 (7,50-7,95)	R
SK-246+415	SPT-6 (9,00-9,45)	R
SK-246+415	SPT-7-(11,00-11,45) UD	41
SK-246+415	SPT-8 (12,00-12,45)	43
SK-246+415	SPT-9 (13,50-13,95)	R
SK-246+415	SPT-10 (15,50-15,95)	49
SK-246+415	SPT-11 (16,50-16,95)	39
SK-246+415	SPT-12 (18,00-18,45)	42
SK-246+415	SPT-13 (19,50-19,95)	38
SK-246+415	SPT-14 (21,50-21,95)	27

SK-246+415	SPT-15 (22,50-22,95)	R
SK-246+415	SPT-16 (24,00-24,45)	R
SK-246+415	SPT-17 (25,50-25,95)	R
SK-246+415	SPT-18(27,00-27,45)	R
SK-246+700	SPT-1 (1,5-1,95)	9
SK-246+700	SPT-2 (3,00-3,45)	R
SK-246+700	SPT-3 (4,50-4,95)	R
SK-246+700	SPT-4 (6,00-6,45)	R
SK-246+700	SPT-5 (7,50-7,95)	R
SK-246+700	SPT-6 (9,00-9,45)	R
SK-246+700	SPT-7 (10,50-10,95)	R
SK-246+700	SPT-9 (13,50-13,95)	R
SK-246+700	SPT-10 (15,00-15,45)	R
SK-246+700	SPT-12 (18,00-18,45)	R
SK-247+000	SPT-1 (1,5-1,95)	21
SK-247+000	SPT-2 (3,00-3,45)	21
SK-247+000	SPT-3 (4,50-4,95)	R
SK-247+300	SPT-1 (1,5-1,95)	R
SK-247+300	SPT-2 (3,50-3,95) UD	R
		N_{ort}-22,8

İnceleme alanında yapılan SPT –N₃₀ Darbe sayılarına (16<N<37) göre zemin kıvamı çok katı - sert derecededir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Kohezyonlu Zeminlerde darbe sayısı ile kıvam ve serbest basınç direnci arasındaki bağıntı (Terzaghi ve Peck,1948)

Darbe Sayısı (N)	Kıvam	Serbest Basınç Direnci q _a (kg/cm ²)
<2	Çok yumuşak	0,25
2–4	Yumuşak	0,25–0,50
4–8	Orta	0,50–1,00
8–15	Katı (Sıkı)	1,02–2,00
15–30	Çok katı (Çok Sıkı)	2,00–4,00
>30	Sert	4,00

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından alınan numunelerin birim hacim ağırlıkları 1,709 ile 2,529 gr/cm³ arasında değişmektedir (Çizelge 4.4), su içeriği değerleri ise % 8,2 ile % 27,6 arasında değişmektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.4. İnceleme alanında yapılan sondajların, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³)
SK-246+280	20,00-22,00	2,245
SK-246+280	22,00-24,00	2,327
SK-247+000	12,00-13,00	2,228
SK-247+000	13,00-13,50	1,709
SK-247+000	15,00-16,50	2,405
SK-247+000	21,00-22,50	2,355
SK-247+000	24,00-25,50	2,523
SK-247+000	25,50-27,00	1,787
SK-247+000	27,00-28,50	1,739
SK-247+000	28,50-30,00	1,926
SK-247+000	31,50-32,00	2,219
SK-247+000	32,00-33,00	1,942
SK-247+000	36,00-37,50	1,985
SK-247+000	37,50-39,00	1,792
SK-247+000	39,00-40,50	1,860
SK-247+000	40,5-42,00	1,750
SK-247+000	42,00-43,50	2,060
SK-247+000	43,50-45,00	1,896
SK-247+300	2,00-4,00	2,167
SK-247+300	4,00-6,00	1,817
SK-247+300	6,00-8,00	2,228
SK-247+300	8,00-10,00	2,195
SK-247+300	10,00-12,00	2,236
SK-247+300	12,00-14,00	2,297
SK-247+300	14,00-16,00	2,228
SK-247+300	16,00-18,00	2,193
SK-247+300	18,00-20,00	2,232
SK-247+300	20,00-22,00	2,248
SK-247+300	22,00-24,00	2,210
SK-247+300	24,00-26,00	2,265
SK-247+300	26,00-28,00	2,319
SK-247+300	28,00-30,00	2,352
SK-247+300	32,00-34,00	2,343
SK-247+300	40,00-42,00	2,358
SK-247+300	42,00-44,00	2,334

SK-247+300	56,00-58,00	2,293
SK-247+640	0,00-2,00	2,333
SK-247+640	2,00-4,00	2,185
SK-247+640	4,00-6,00	2,271
SK-247+640	10,50-12,00	2,203
SK-247+640	18,00-21,00	2,002
SK-247+640	21,00-24,00	1,875
SK-247+640	24,00-27,00	2,027
SK-247+640	29,00-32,00	1,951
SK-247+640	33,00-35,00	2,482
SK-247+640	37,00-39,00	2,370
SK-247+640	48,00-49,00	2,529
SK-247+715	12,00-15,00	2,125
SK-247+715	18,00-21,00	2,261
SK-247+715	21,00-23,00	2,481
SK-247+715	23,00-25,00	1,917
SK-247+715	25,00-27,00	1,851
SK-247+715	27,00-30,00	1,747
SK-247+715	30,00-32,00	2,123
SK-247+715	32,00-35,00	2,381
SK-213+410	2,00-4,00	2,207
SK-213+410	28,00-30,00	1,986
SK-213+410	31,20-33,00	2,091
SK-213+410	33,00-35,00	2,049
SK-213+410	42,00-44,00	2,412
SK-213+620	4,00-6,00	1,751
SK-213+620	10,00-12,00	1,875
SK-213+620	12,00-13,70	1,794
SK-213+620	22,00-24,00	1,776
SK-213+620	34,00-36,00	2,116
SK-213+620	36,00-38,00	2,179
SK-246+280	20,00-22,00	2,245
SK-246+280	22,00-24,00	2,327
SK-246+700	36,00-40,00	2,192
SK-246+700	40,00-43,00	2,019

Çizelge 4.5. İnceleme alanında yapılan sondajların su içeriği değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Su içeriği (%)
SK-246+280	1,50-1,95	26,2
SK-246+280	3,00-3,45	24,2
SK-246+280	4,50-4,95	26,5
SK-246+280	6,00-6,45	25,7
SK-246+280	7,50-7,95	27,6
SK-246+280	9,00-9,45	17,2
SK-246+280	10,50-10,95	19,1
SK-246+280	12,00-12,45	10,4
SK-246+360	1,50-1,95	14,1
SK-246+360	3,00-3,45	12,4
SK-246+360	6,50-6,95	26,4
SK-246+360	11,00-11,45	14,9
SK-246+360	13,50-13,95	19,6
SK-246+360	15,00-15,45	21,6
SK-246+360	16,00-16,45	23,7
SK-246+415	3,00-3,45	8,2
SK-246+415	4,50-4,95	10,0
SK-246+415	10,50-11,00	18,8
SK-246+415	12,00-12,45	22,7
SK-246+415	13,50-13,95	16,8
SK-246+415	15,00-15,45	19,6
SK-246+415	16,50-16,95	20,8
SK-246+415	18,00-18,45	18,7
SK-246+415	19,50-19,95	22,6
SK-246+415	21,50-21,95	17,6
SK-246+415	22,50-22,95	18,2
SK-246+415	24,00-24,45	20,5
SK-246+415	25,50-25,95	15,4
SK-246+415	27,00-27,45	20,9
SK-247+000	1,50-1,95	25,3
SK-247+000	3,00-3,45	24,9
SK-247+300	1,50-1,95	14,1
SK-247+300	3,00-3,50	27,2

Bu çalışmada Elek analizleri TS 1900'e göre, kuru yöntemle ve deney yeterli miktarda örnek teşkil edecek kuru numuneler üzerinde yapılmıştır. Numune gevşemesi için bir gece su içinde bırakılmış ve yıkanarak Standart #200, #100, #60, #30, #16, #8, #4, 1/4", 3/8", 1/2" nolu eleklerden geçirilmiştir. Her elekte kalan yüzdesi 0,1 % hassasiyetle tayin edilmiştir. Çizelge 4.6'da İnceleme alanında yapılan bazı sondajların, atterberg limitleri değerleri verilmiştir (EK-2).

Çizelge 4.6. İnceleme alanında yapılan sondajların, atterberg limitleri değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
SK-246+415	10,50-11,00	35,7	22,0	13,7
SK-246+415	11,00-11,45	36,9	21,1	15,8
SK-247+000	1,50-1,95	37,4	23,7	13,7
SK-247+000	3,00-3,45	35,2	22,7	12,5
SK-247+300	1,50-1,95	44,3	22,8	21,5
SK-247+300	3,00-3,50	43,1	22,1	20,9

4.2.2.2. Mekanik (mukavemet) deneyleri

İnceleme alanında yapılan sondaj kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş (UD) numuneler için tek eksenli basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım endeksi mekanik (mukavemet) deneyleri (EK-2) yapılmıştır. Çizelge 4.7'de inceleme alanında yapılan sondajların mukavemet deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.7. İnceleme alanında yapılan sondajların mukavemet deney değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Boşluk oranı (e)	Porozite (n) (%)	Kırılma yükü (kg)	Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite modülü (GPa)	Poisson oranı
SK-247+000	13,00-13,50	0,49	32,76	371	21,4	0,7	0,36
SK-247+000	15,00-16,50	0,05	4,97	4262,5	245,6	16,6	0,32
SK-247+000	21,00-22,50	0,07	6,26	4331,4	249,7	17,3	0,28
SK-247+000	24,00-25,00	0,40	28,64	643,5	37,1	1,4	0,38
SK-247+000	25,50-27,00	0,42	29,54	924,5	53,3	1,7	0,30
SK-247+000	27,00-28,50	0,47	32,14	983,5	56,7	1,5	0,33
SK-247+000	28,50-30,00	0,32	23,99	1230,0	70,9	2,8	0,28

SK-213+410	2,00-4,00	0,16	13,87	2039,0	117,5	6,9	0,25
SK-213+410	28,00-30,00	0,28	22,05	1765,0	101,7	8,8	0,28
SK-213+410	31,20-33,00	0,21	17,35	5314,3	306,3	18,6	0,22
SK-213+410	33,00-35,00	0,25	19,70	1943,1	112,0	5,7	0,33
SK-213+410	42,00-44,00	0,04	3,96	10996,4	633,8	34,6	0,20
SK-213+620	4,00-6,00	0,33	25,04	628	41,3	2,2	0,36
SK-213+620	10,00-12,00	0,25	20,25	1035,5	68,1	4,2	0,29
SK-213+620	12,00-13,70	0,31	23,38	618,0	40,6	3,6	0,27
SK-213+620	22,00-24,00	0,32	24,06	238,0	15,7	0,4	0,38
SK-213+620	34,00-36,00	0,19	16,21	3862,5	222,6	14,7	0,29
SK-213+620	36,00-38,00	0,16	13,97	3028,0	174,5	15,6	0,31
SK-246+280	20,00-22,00	0,14	11,93	10883,8	360,5	-	-
SK-246+280	22,00-24,00	0,10	8,86	3851,5	431,8	-	-
SK-246+700	36,00-40,00	0,17	14,39	267,5	17,6	-	-
SK-246+700	40,00-43,00	0,27	21,24	228,0	15,0	-	-

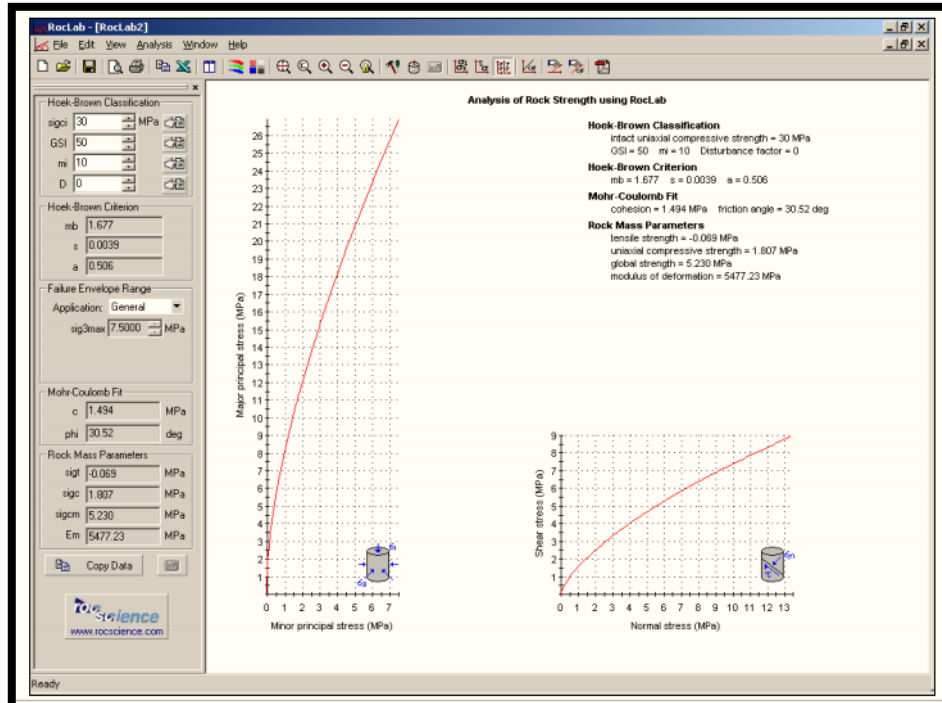
4.2.3. Jeoteknik ve jeomekanik parametrelerin değerlendirilmesi

Yeryüzünde çeşitli amaçlara yönelik olarak tasarlanan büyük mühendislik yapılarının yanı sıra, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde giderek artmakta olan enerji, ulaşım yerleşim ve alt yapı gibi gereksinimlerin karşılanabilmesi için yeraltı yapıları da hızla çoğalmakta ve boyut olarak büyümektedir. Ancak, baraj, tünel, köprü ayağı, bina vb. gibi mühendislik proje çalışmaları incelendiğinde tünel inşaatlarında diğerlerine oranla bilinmeyenlerin sayısı oldukça fazladır. Bu nedenle araştırmacılar, çeşitli araştırma yöntemlerinden yararlanarak bu bilinmeyenlerin sayısını asgariye indirmeye çalışmaktadırlar. Görgül (kaya kütlesi sınıflama sistemleri) ve sayısal yöntemler tünel gibi yeraltı mühendislik yapılarının tasarlanmasında yaygın olarak kullanılan iki önemli araçtır. Günümüzde açıl-makta olan tünellerin birçoğunda kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu sistemler, yaklaşık 70 yıl öncesinden (Terzaghi, 1946) başlayarak günümüze kadar geliştirilmiş, buna paralel olarak ortaya birçok yeni sınıflama sistemleri konmuş ve çeşitli projelerde uygulanmıştır. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden Kaya Kütle Puanlaması (RMR) ve Kaya Kütle Kalitesi (Q), bir çok araştırmacı tarafından yüzlerce tünelde başarı ile uygulanmış ve evrensel düzeyde kabul görmüştür. (Bieniawski, 1973; Barton ve ark., 1974; Bieniawski, 1989; Barton, 2002; Ramamurthy, 2004; Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2004; Başarır ve ark., 2005; Gürocak,

2011; Kaya ve ark., 2011). Bu sistemler, tünellerin daha ekonomik, daha az riskle ve daha kısa sürede açılmasına büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Yeraltı projelerinin daha ekonomik ve emniyetli bir şekilde yürütülebilmesi, sayısal analizlerin görgül yöntemlerle birlikte değerlendirilmesiyle gerçekleşmektedir.

Kaya mekaniğinde kayaçların arazide sahip oldukları jeomekanik büyüklükleri belirlemek için Hoek & Brown, Lama, Denkhaus & Bieniawski, Protodjakonov gibi birçok yöntem geliştirilmiştir (Koçak, 2006).

Hoek & Brown tarafından geliştirilen ve laboratuvar taş örneğinin tek eksenli basınç dayanımı değeri ile birlikte kayacın örselenme durumunu ve arazide sahip olduğu süreksizlik miktarını kullanarak hesaplama yöntemi (Hoek), (RocLab) yazılımı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. RocLab 1.0 programı kaya kütle dayanım parametrelerini Hoek-Brown yenilme kriterlerini temel alarak hesaplamaktadır. RocLab programı ile çok zayıf kaya kütleleri için Hoek-Brown yenilme kriterlerini uygulayabilir ve Hoek-Brown yenilme zarfından eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri hesaplanabilmektedir. Şekil 4.9'da RocLab program çıktısı görülmektedir.



Şekil 4.9. RocLab program çıktısı

İnceleme alanındaki birimler için tek eksenli mukavemet değerleri ile RocLab programı ile analizlerde kullanılacak Hoek-Brown parametreleri elde edilmiştir. Kullanılan parametreler GSI (jeolojik dayanım endeksi), UCS (tek eksenli basma

dayanımı), m_i (Hoek malzeme sabiti) ve H (örtü kalınlığı). E_i (Sağlam kayanın elastik Modülü), D (Tünel çapı) dır.

4.2.4. Tünel alanında izlenen deformasyonların değerlendirilmesi

Tünel inşasında tünel sıralı kazı adımları (üstyarı, altyarı ve invert) yapılırken tünel üzerine etkiyen gerilmeler oluşan yeni şartlara uygun olarak yeniden bir dağılım gösterecektir. Oluşan yeni gerilme koşullarında tünel içerisinde oluşacak deformasyonların hızlı ve doğru bir şekilde izlenmesi, ölçülmesi ve değerlendirilmesiyle tünel üzerine etkiyen deformasyon miktarı ile tünel kazısı ilerisindeki kaya koşullarının tahmini sağlanabilmektedir (Schubert ve Steindorfer, 1996b).

Tünelcilik faaliyetlerinde sığ derinlikte zayıf ortam koşullarında oluşabilecek riskler, özellikle jeoteknik parametreleri düşük olan, güvenli kazıya imkan vermeyen formasyonlarda yapılan kazılarda gözlenmektedir.

Tünel açımı ve desteklenmesi sırasında ve sonrasında, mevcut yapılaşmaların ve tünelin bulunduğu ortamın en az deformasyona uğraması, istenen en önemli durumdur. Bu nedenle tünel kazısı sırasında ya da sonrasında, oluşan veya oluşabilecek deformasyonların alt yapıya veya tünel güzergahı üzerinde bulunan yeryüzü yapılarına zarar vermeyecek kadar küçük tutulması istenir. Bunun durum; ancak iyi bir yönetim, doğru seçilmiş yöntem, nitelikli uygulama ve etkili önlemlerin alınması ile gerçekleşebilir (Kun, 2010).

Genel olarak tünellerde destekleme elemanları olarak püskürtme beton, kaya bulonu, çelik iksa, enjeksiyonlu süren, çelik hasır ve mini kazıklar kullanılabilmektedir. Bu çalışmada destekleme elemanı olarak çelik iksa $\emptyset$ 200 fil ayaklı, ibo bulon ve kaya bulon montajı yapılmıştır.

İnceleme alanında tünel kesitinde marn, kumtaşı, kıltaşı ve konglomera ardalanması gözlemlendiğinden deformasyon ölçümleri bu birimler göz önüne alınarak değerlendirmelere gidilmiştir. Tünel kesitinde fay, ezik zonlar ve su sızıntısının gözlemlendiği ortalama 0 ile 80 metreleri arasında en yüksek yer değiştirme değerleri gözlenmiş olup 35 ile 40 arasında deformasyon ölçümleri gözlenmiştir. Deformasyon ölçümleri günlük, haftalık ve aylık olarak 1 no'lu, 2 no'lu ve 3 no'lu şeklinde yapılmıştır ve yer değiştirmeler gözlemlenmiştir. Deformasyon ölçümleri, tünellerin ilk desteklemesi (püskürtme beton, çelik hasır ve kaya bulonu, ibo bulon) yapıldıktan sonra

değişik kesit ve ölçüm noktalarında zemin ile püskürtme beton arasına monte edilmiş deformasyon pimlerinin ucuna takılan reflektörler ve jeodetik aletler kullanılarak yapılmıştır. Sağ ve sol round her 15 metrede üç adet olmak üzere ölçüm alınmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. İnceleme alanında tünel kesitindeki deformasyon ölçüm reflektörü

Şekil 4.11’de inceleme alanında tünel kesitindeki ilk deformasyon görülmektedir. Buradaki deformasyon yaklaşık olarak 50 metre civarında görüldüğünden, oluşan deformasyondan dolayı mevcut iksaların sökümü ($\varnothing$ 200 iksa sökümü) yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. İnceleme alanında tünel kesitindeki ilk iksa sökümü (Ø 200)

İnceleme alanında tünelde sökümü yapılan iksaların yerine tekrar Ø 200 fil ayaklı iksa tahkimatı ve ibo bulonların enjeksiyonları ve montajları yapılmıştır. Deformasyonu önlemek ve zemin iyileştirmek için 1/3 oranında enjeksiyonlar yapılarak önlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. İnceleme alanında tünel kesitindeki iksa ile zemin arasındaki deformasyon farkı

Şekil 4.13’de görüldüğü üzere sökümü yapılan iksaların yerine, tekrardan iksa montajı (fil ayaklı) yapılmıştır.



Şekil 4.13. İnceleme alanında tünel kesitindeki sökülen iksaların yerine yapılan iksa montajı

4.2.4.1. Konglomera biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi

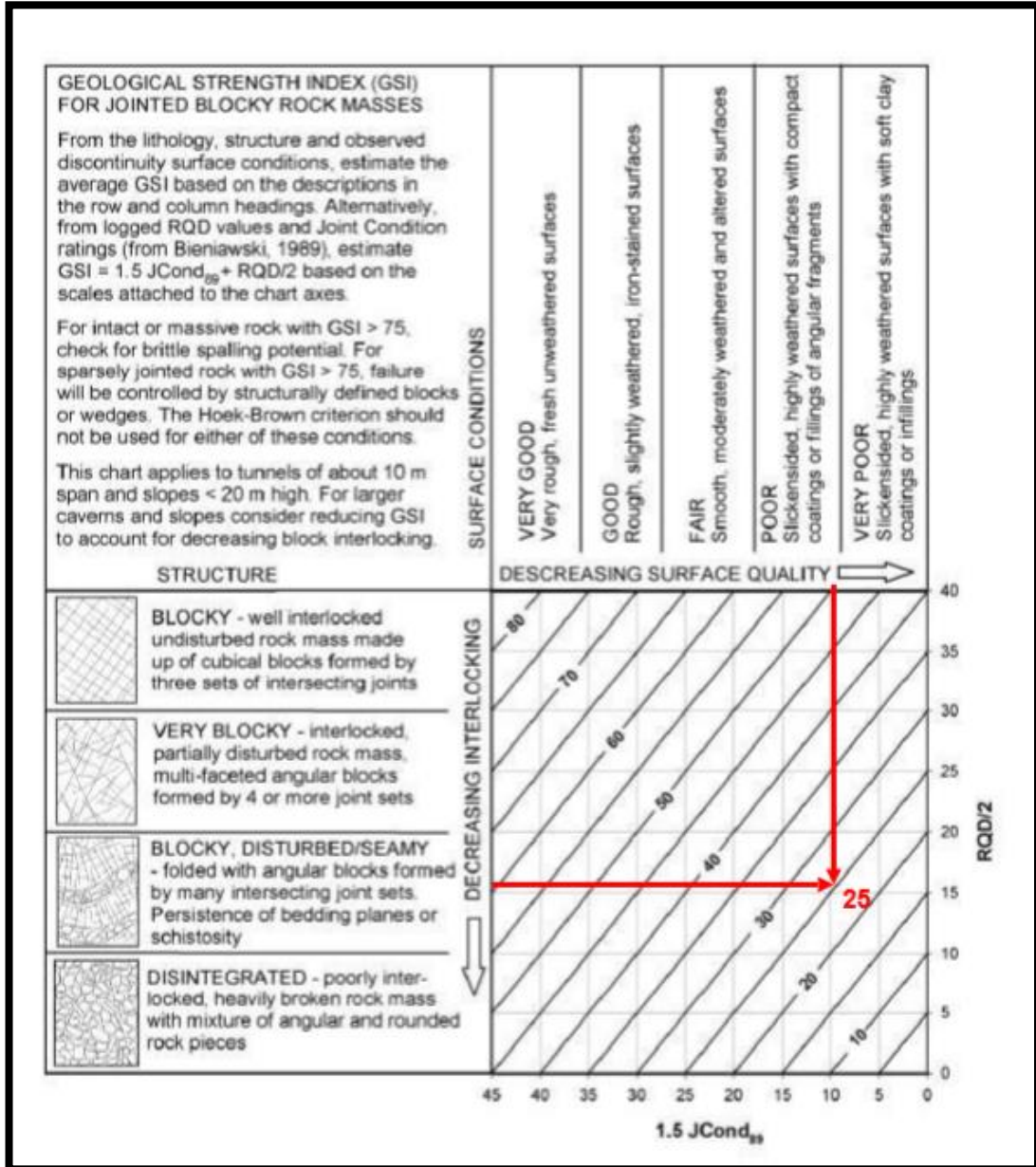
İnceleme alanında konglomera biriminin birim hacim ağırlığı, 22 kN/m^3 olarak alınmış ve sondaj çalışmalarında çakıl ve kum olarak değerlendirilen bu birim için mukavemet deneyleri yapılmamıştır. SPT deneylerinin çoğunda refü (R) elde edildiğinden dolayı konglomera birimi için tek eksenli mukavemet zayıf kaya ile zemin ayrımı olarak düşünülen 1.50 MPa olarak seçilmiştir. Sondajdan alınan örneklerin dağılması nedeniyle RQD değeri elde edilemediğinden SK 246+415 sondajı ve karot sandığı göz önünde bulundurularak jeolojik yapı ve süreksizlik yüzey durumu ile bir değerlendirme yapılmıştır.

İnceleme alanının özellikle yüzey ve yüzeye yakın kesimlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Genelde killi çakıllar-kötü derecelenmiş çakıl, kum, kil karışımları (GC), iyi dereceli çakıl, siltli çakıl (GW-GM) ve yer yer siltli kumlar-kötü derecelenmiş kum, kum-silt karışımları niteliğindedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. İnceleme alanındaki konglomera birimi

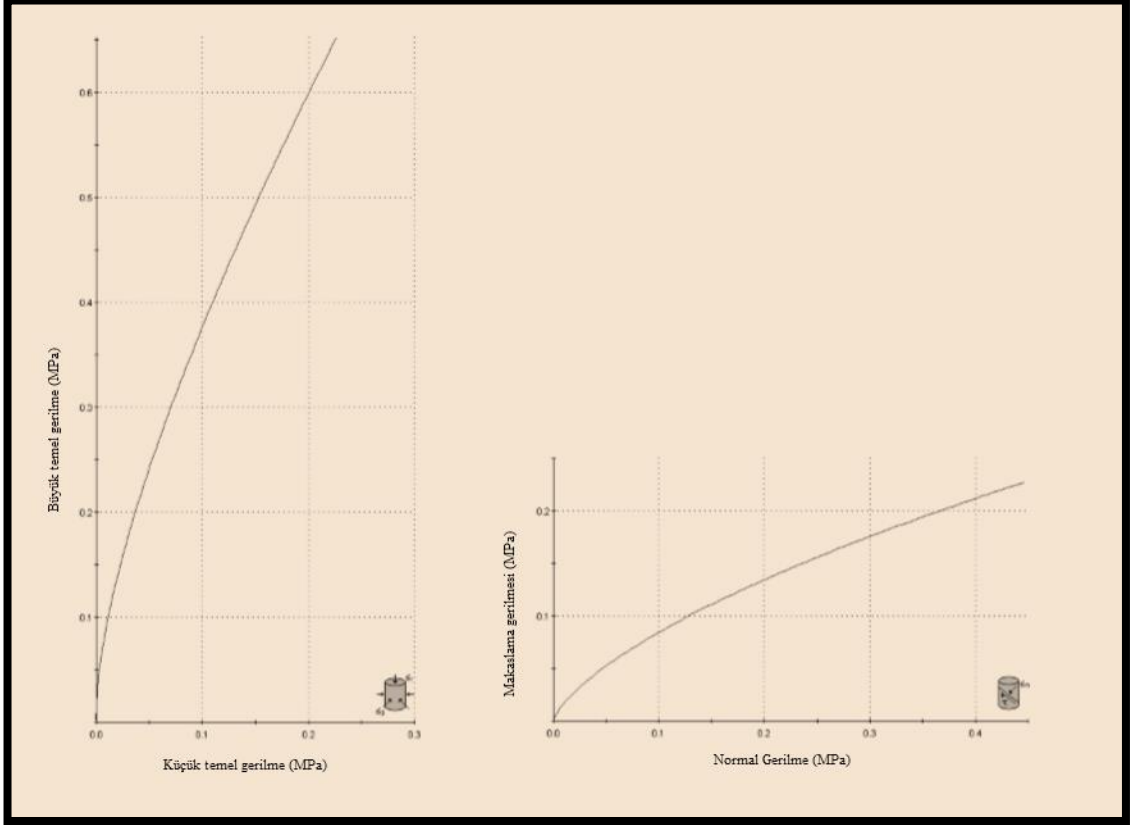
Belirtilen sondajın karot sandığında (Ek-2) görülen az pekişmiş konglomeranın; eşdeğer kategori dikkate alındığında jeolojik yapı olarak “bloklı/örselenmiş” kategorisinde olduğu; yüzey koşulu için ise karotun çok parçalı hali nedeniyle çok ayrılmış olduğu gözlemlendiğinden “zayıf” kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, Hoek ve ark., (2013)’de sunulan grafik dikkate alındığında, konglomera için $GSI=25$ değeri seçilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. İnceleme alanındaki konglomera için GSI Değerlendirmesi

Konglomera birimi için yukarıda belirlenen tek eksenli mukavemet değerleri ile RocLab programı ile analizlerde kullanılacak Hoek-Brown parametreleri elde edilmiştir.

Konglomera Ei değeri program dahilinde önerilen RMR değeri kullanılarak 0.45 GPa olarak alınmıştır. Konglomera birimi için RocLab değerlendirmesi Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Örselenme faktörü (D) için D=0 olarak alınmıştır.



Şekil 4.16. Konglomera Parametreleri (D=0) (İnci Grup Mühendislik, 2017)

4.2.4.2. Kıltaşı biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi

Kıltaşı birimi için yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre; kuru yoğunluk; 1.82–2.25 g/cm³, nokta yükleme, Is:0.26–0.39 MPa, tek eksenli mukavemet, UCS:1.76–6.00 MPa, Elastisite modül'ü 1.90–3.10 GPa aralığında değişmektedir.

Kıltaşı biriminin RQD değeri % 0 % 50 arasında olup ortalama % 10 ve birimin karot yüzdesi (TCR) % 20 ile % 90 arasında değişmekte olup ortalama % 50 olarak hesaplanmıştır. Birimler çoğunlukla orta ayrılmış, çok ayrılmış (W3-W4) ve zayıf, orta dayanımlı (R2-R3) durumdadır. Şekil 4.17'de inceleme alanındaki birimler gösterilmiştir.



Şekil 4.17. İnceleme alanındaki birimler

Kiltaşı biriminin birim hacim ağırlığı, deney sonuçları ortalaması olan 21 kN/m^3 olarak alınmıştır. Numuneler üzerinde laboratuvar da yapılan yapılan tek eksenli basınç deneylerinin ortalaması 3.50 MPa , nokta yüklemelerin ortalaması ise 0.34 MPa olarak elde edilmiştir. Nokta yükleme deney sonuçlarını tek eksenli mukavemete çevirmek için Look ve Griffiths (2004) tarafından önerilen

$$q_u = 12 \times I_s \quad (4.1)$$

Formül (4.1)'de, q_u ; I_s ; Nokta yükü dayanım indeksi değeridir.

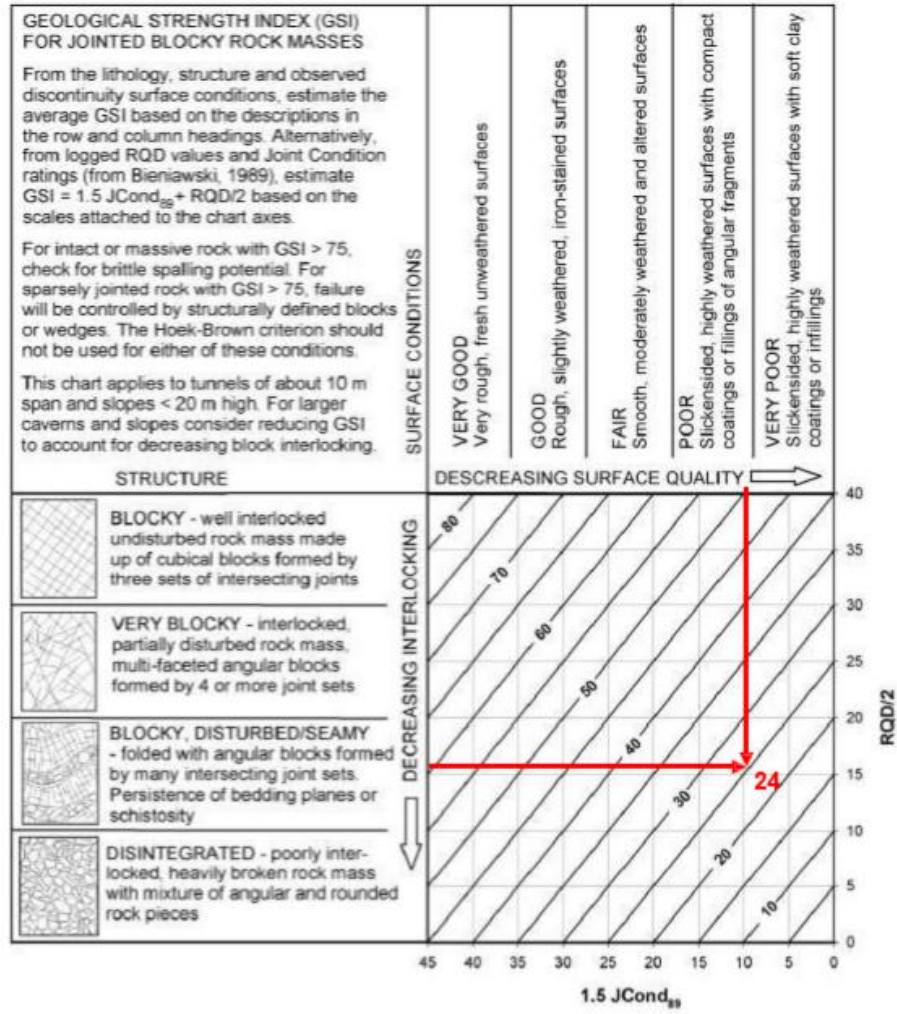
Nokta yüklemelerden elde edilen 4.08 MPa tek eksenli mukavemet değeri; tek eksenli deney sonuçlarından elde edilen 3.50 MPa değeri ile beraber değerlendirilerek kiltası birimi için tek eksenli mukavemet 4.00 MPa olarak kabul edilmiştir. Kiltası birimi için RMR değerlendirmesi Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Kilitaşı-RMR değeri

RMR Kaya Sınıflaması (Kilitaşı)			
1	Kayaç dayanımı (Tek eksenli dayanıma göre)	4 MPa	1.5
2	RQD	% 10	4
3	Süreksizlik (eklem) aralığı	< 60 mm	5.5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: 3-10 m. (2) Açıklık 1-5 mm(1) Pürüzlü (5) Sert Dolgu: (2) Bozunmuş (1)	11
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
	RMR ₀		29
6	Eklemlerin doğrultu ve eğim yöneli	Uygun (Şevler için)	-5
		RMR= 1+2+3+4+5+6	24
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

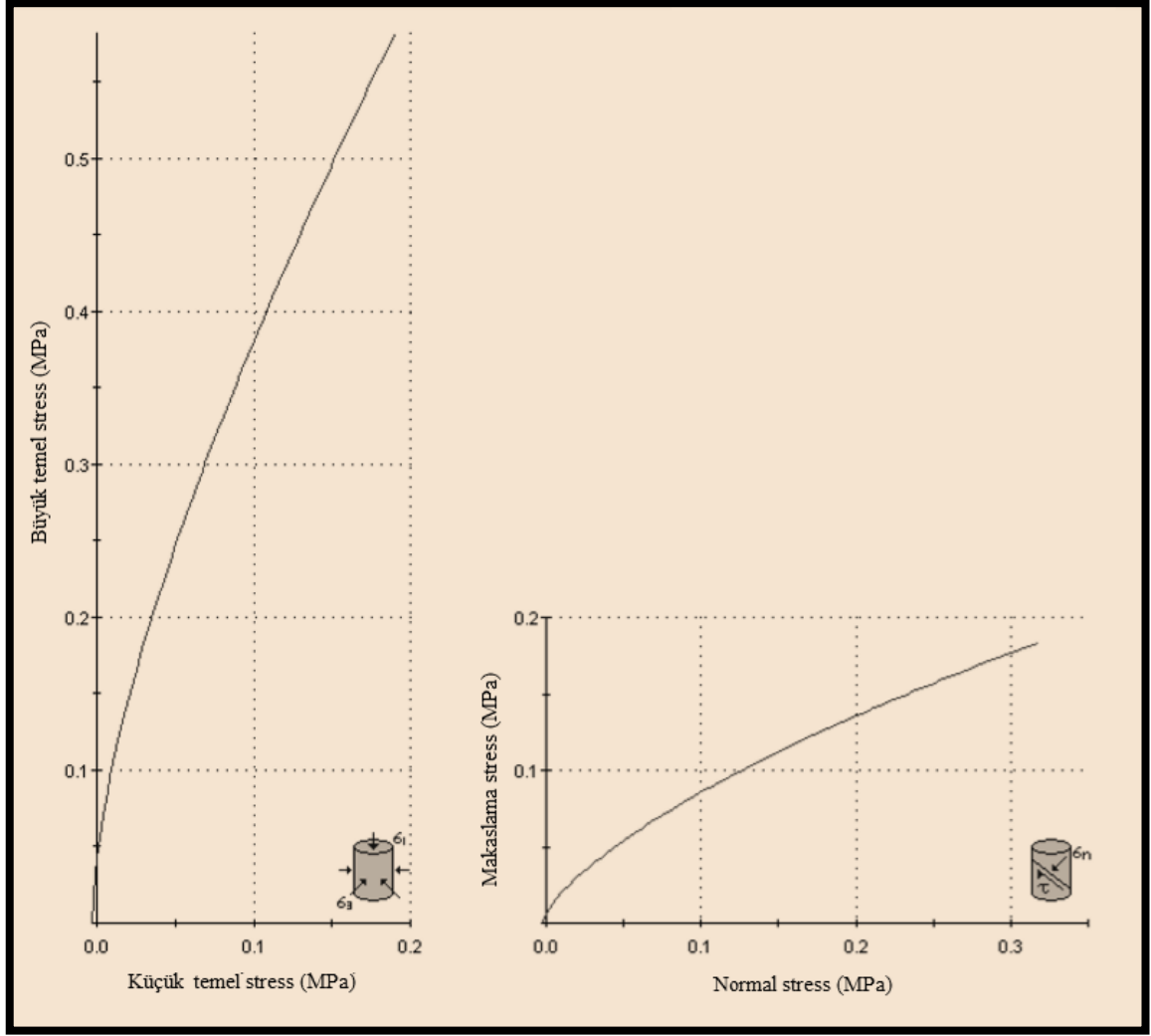
SK 247+300 sondajında 2.5–23 metre arasında, SK 246+360 sondajında 8-10.5 metre arasında ve SK 246+415 sondajında 27.5-31.5 metre ve 36–39 metre arasında karşılaşılan kilitaşı birimi için karot sandıkları gözönüne alınarak jeolojik yapı ve süreksizlik yüzey durumu bir arada değerlendirme yapılmıştır.

Kilitaşının jeolojik yapı olarak “bloklu/örselenmiş” kategorisin de olduğu; yüzey koşulu durumu ile ilgili karotun parçalı hali nedeniyle çok ayrılmış olduğu gözlemlendiğinden “zayıf” kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, Hoek ve ark., (2013)’te sunulan grafik dikkate alındığında, konglomera için GSI=24 değeri seçilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. İnceleme alanındaki kıltaşı için GSI Değerlendirmesi

RocLab programından analizlerde kullanılacak Hoek Brown parametreleri tek eksenli mukavemet değerleri ile elde edilmiştir. M_i değeri kıltaşı için program dahilinde önerilen değerlerden seçilirken, E_i değeri program dahilinde önerilen RMR değeri ve tek eksenli basınç deney sonuçları beraber değerlendirilerek 1.50 Gpa olarak alınmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Kıltaşı Parametreleri (D=0) (İnci Grup Mühendislik, 2017)

4.2.4.3. Kumtaşı biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi

Kumtaşı birimi için yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre; kuru yoğunluk; 2.02–2.38 g/cm³, nokta yükleme, Is:0.26–0.39 MPa, tek eksenli mukavemet, UCS:1.76–6.00 MPa, Elastisite Modül’ü 1.90–3.10 GPa aralığında değişmektedir.

Kumtaşı biriminin RQD değeri % 0 ile % 18 arasında olup ortalama % 6 olarak hesaplanmıştır. Kumtaşı karot yüzdesi (TCR) % 10 ile % 50 arasında değişmekte olup ortalama % 31 olarak hesaplanmış ve birimin birim hacim ağırlığı, deney sonuçları ortalaması olan 22 kN/m³ olarak alınmıştır. Bu birimler orta-çok ayrılmış (W3-W4) ve zayıf-orta dayanımlı (R2-R3) durumdadır.

Laboratuvarda numuneler üzerinde yapılan tek eksenli deneylerin ortalaması 18.00 MPa hesaplanmış ve kumtaşı birimi için tek eksenli mukavemeti 18.00 MPa

olarak kabul edilmiştir. Kumtaşı birimi için RMR değerlendirmesi Çizelge 4.9’da sunulmuştur.

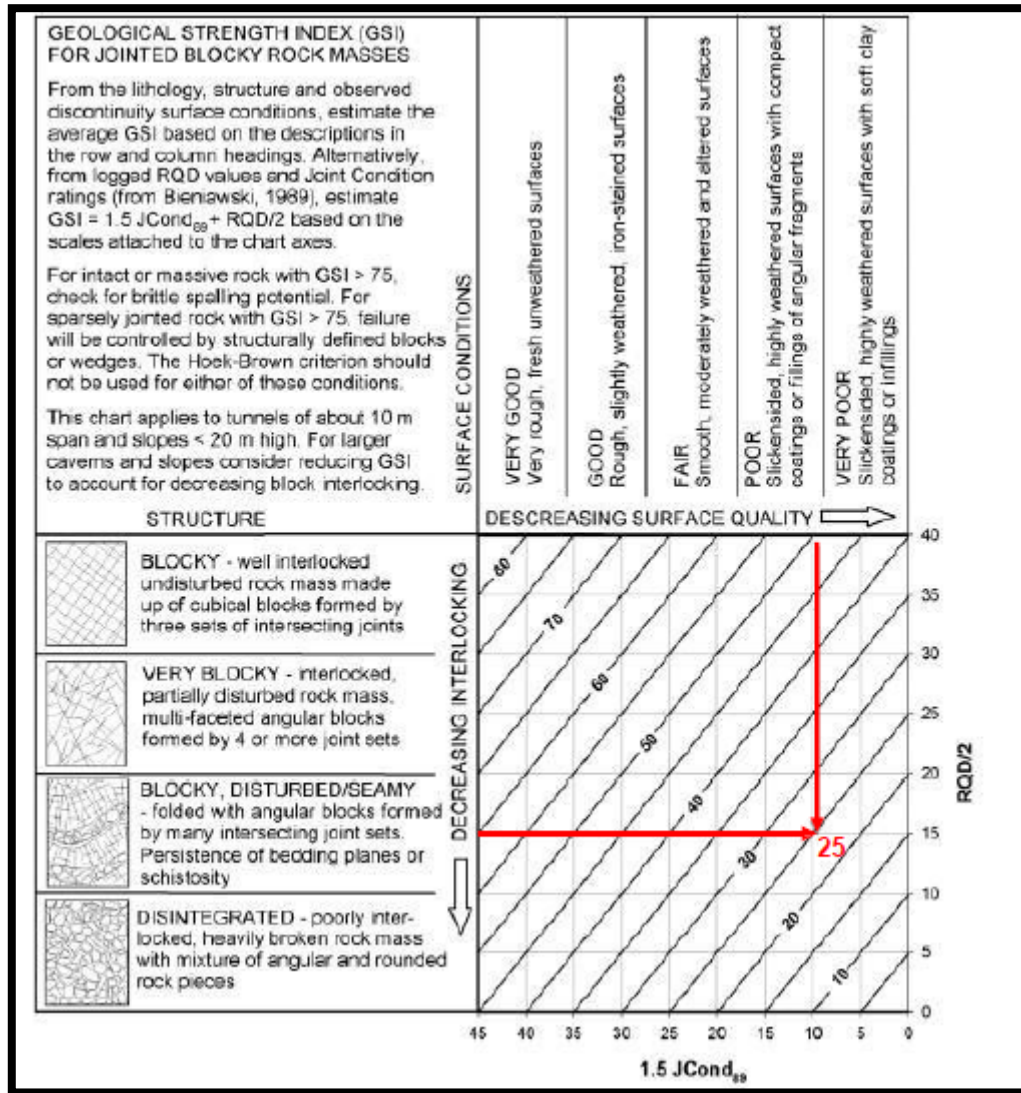
Çizelge 4.9. Kumtaşı-RMR değerleri

RMR Kaya Sınıflaması (Kumtaşı)			
1	Kayaç dayanımı (Tek eksenli dayanıma göre)	18MPa	2.7
2	RQD	% 6	3.5
3	Süreksizlik (eklem) aralığı	< 60 mm	5.5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: 3-10 m. (2) Açıklık 1-5 mm(1) Pürüzlü (5) Sert Dolgu: (2) Bozunmuş (1)	11
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
	RMR ₀	RMR ₀ =1+2+3+4+5	29.7~30
6	Eklemlerin doğrultu ve eğim yönelimi	Uygun (Şevler için)	-5
		RMR= 1+2+3+4+5+6	24.7~25
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

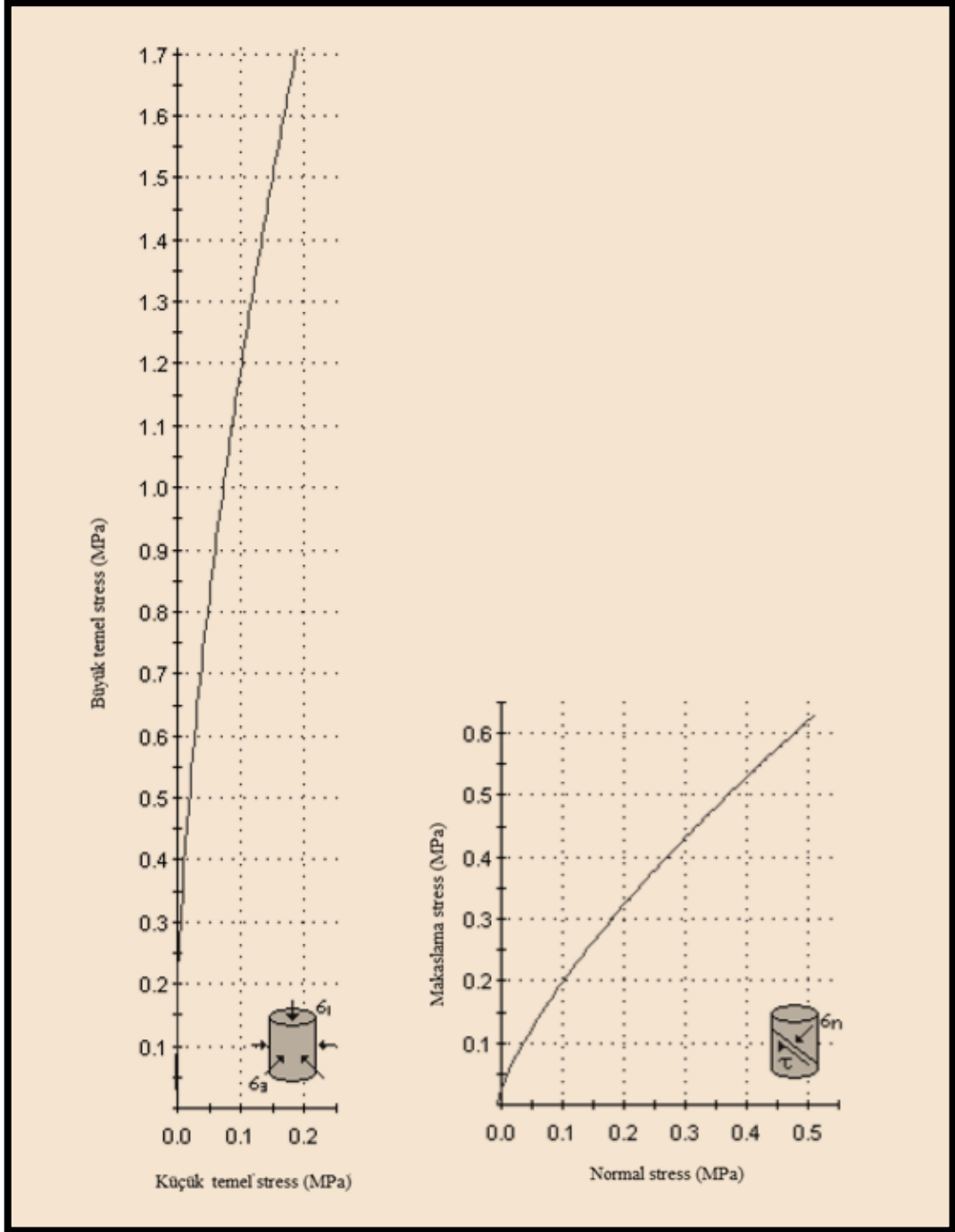
Mi değeri için kumtaşı birimleri için program dahilinde önerilen değerlerin ortalaması seçilirken, Ei değeri kumtaşı birimleri için program dahilinde önerilen RMR değeri ve tek eksenli basınç deney sonuçları beraber değerlendirilerek 3.60 Gpa olarak alınmıştır (Şekil 4.20). Ayrıca yapılan RMR hesabından faydalanarak

$$GSI = RMR_0 - 5 \quad (4.2)$$

Formül (4.2)’deki bağıntı kullanılarak GSI=24.7-25 değeri seçilmiştir (Şekil 4.20). Tek eksenli mukavemet değerleri ile RocLab programından analizlerde kullanılacak Hoek-Brown parametreleri elde edilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.20. İnceleme alanındaki kumtaşı için GSI Değerlendirmesi



Şekil 4.21. Kumtaşı Parametreleri (D=0) (İnci Grup Mühendislik, 2017)

4.2.4.4. Marn biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi

Marn birimi için yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre; kuru yoğunluk; $1.71\text{--}2.48 \text{ g/cm}^3$, nokta yükleme, I_s : $0.09\text{--}0.72 \text{ MPa}$, tek eksenli mukavemet, UCS: $1.90\text{--}9.62 \text{ MPa}$, Elastisite Modül'ü $0.70\text{--}5.40 \text{ GPa}$ aralığında değişmektedir. Marn biriminin birim hacim ağırlığı, deney sonuçları ortalaması olan 20 kN/m^3 olarak alınmıştır.

Marn biriminin RQD değeri % 0 - % 43 arasında olup ortalama % 4 olarak hesap edilmiştir. Birimin karot yüzdesi (TCR) % 5 ile % 100 arasında değişmekte olup, ortalama % 32 olarak hesap edilmiştir. Birimler çoğunlukla orta ayrılmış, çok ayrılmış (W3- W4) ve zayıf, orta dayanımlı (R2-R3) durumdadır.

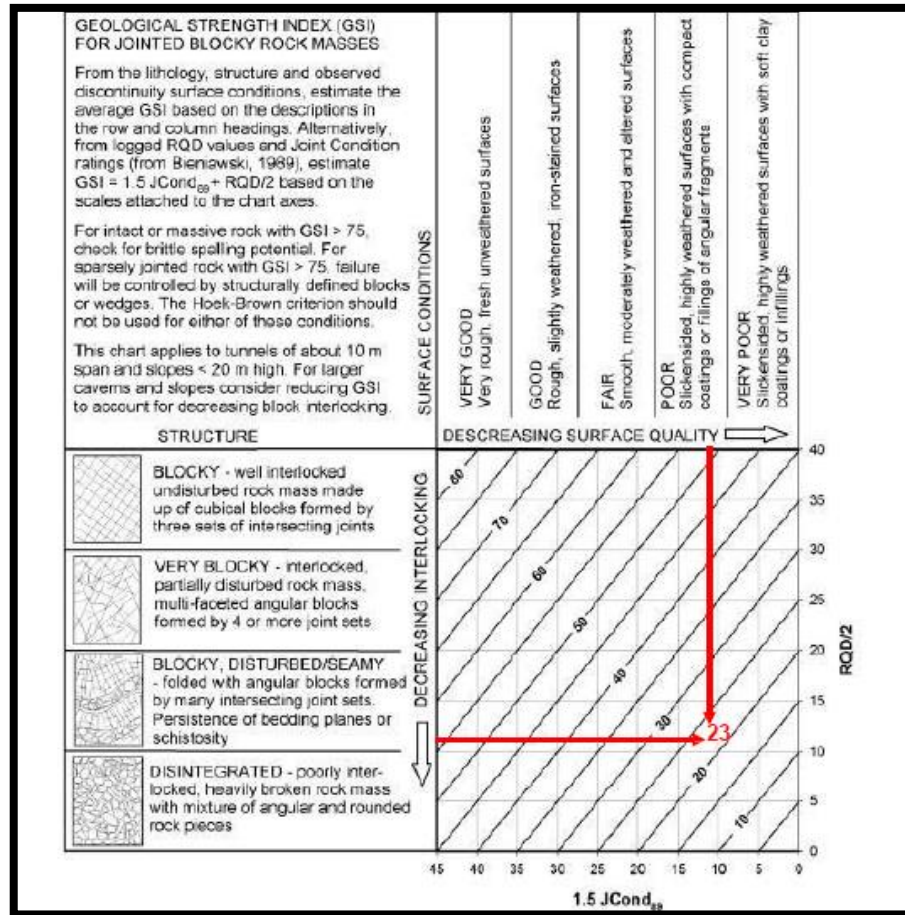
Laboratuvarda numuneler üzerinde uygulanan tek eksenli basınç deneylerinin ortalaması 5.40 MPa, nokta yüklemelerin ortalaması ise 0.40 MPa olarak elde edilmiştir. Nokta yükleme değerinden tek eksenli mukavemete geçişi için literatürdeki UCS /Is oranları incelenmiştir. Marn için UCS/Is oranı 11 (Akram ve Bakar, 2007), 6-15 aralığında (Ceballos ve ark., 2014), 11-22 aralığında (Bowden ve ark., 1998), zayıf kayaçlar için 10- 20 aralığında (Topal, 2000) ve düşük dayanımlı tortul kayaçlar için 11 (Karaman ve Kesimal, 2012) olarak verilmektedir. Bu tez çalışmasında, marn da UCS/Is oranı için 11 değeri kullanılmıştır. Nokta yüklemeler den bulunan 4.40 MPa tek eksenli mukavemet değeri; tek eksenli deney sonuçlarından elde edilen 5.40 MPa değeri ile birlikte değerlendirilerek marn birimi için tek eksenli mukavemet değeri 5.00 MPa olarak kabul edilmiştir. Marn birimi için RMR değerlendirmesi Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Marn-RMR değerleri

RMR Kaya Sınıflaması (Marn)			
1	Kayaç dayanımı (Tek eksenli dayanıma göre)	5 MPa	1.5
2	RQD	% 4	3.4
3	Süreksizlik (eklem) aralığı	< 60 mm	5.5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: 3-10 m. (2) Açıklık 1-5 mm(1) Pürüzlü (5) Sert Dolgu: (2) Bozunmuş (1)	11
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
	RMR ₀	RMR ₀ =1+2+3+4+5	28.4~28
6	Eklemlerin doğrultu ve eğim yönelimi	Uygun (Şevler için)	-5
		RMR= 1+2+3+4+5+6	23.4~23
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

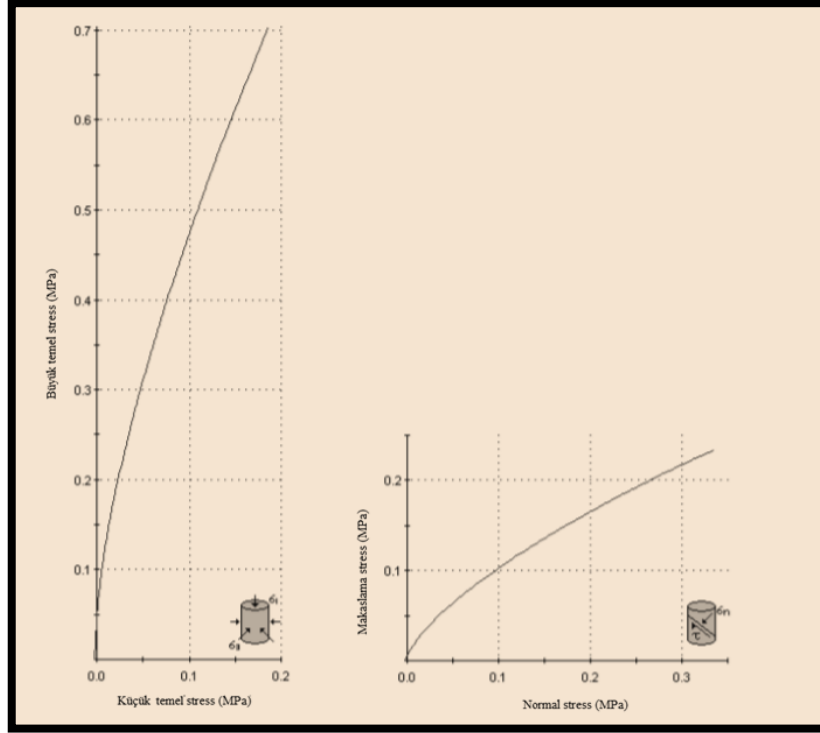
Tek eksenli mukavemet değerleri ile RocLab programından analizlerde kullanılacak Hoek-Brown Parametreleri elde edilmiştir. Mi değeri marn için program dahilinde önerilen değerlerden seçilirken, Ei değeri program dahilinde önerilen RMR değeri kullanılarak 1.00 Gpa olarak alınmıştır.

SK 247+640 sondaj verisine göre alt kotlardaki marn, su ile dağılma ve ufalanma özelliğinde olduğu gözlemlenmiştir. Diğer birimlere oranla daha zayıf ve parçalı olan bu birimin 10.5– 27 metre aralığındaki karotları incelenmiştir. Gözlemler sonucunda; GSI yaklaşımında eşdeğer kategori dikkate alındığında, jeolojik yapı olarak “bloklu/örselenmiş” kategorisinde bulunduğu, çok parçalı/ufalanabilen, çok ayrılmış olduğu anlaşıldığından “zayıf” kategorisinin kullanabileceği öngörülmüştür. Ayrıca yapılan RMR hesabından faydalanarak GSI= 23.4-23 değeri seçilmiştir (Şekil 4.22).

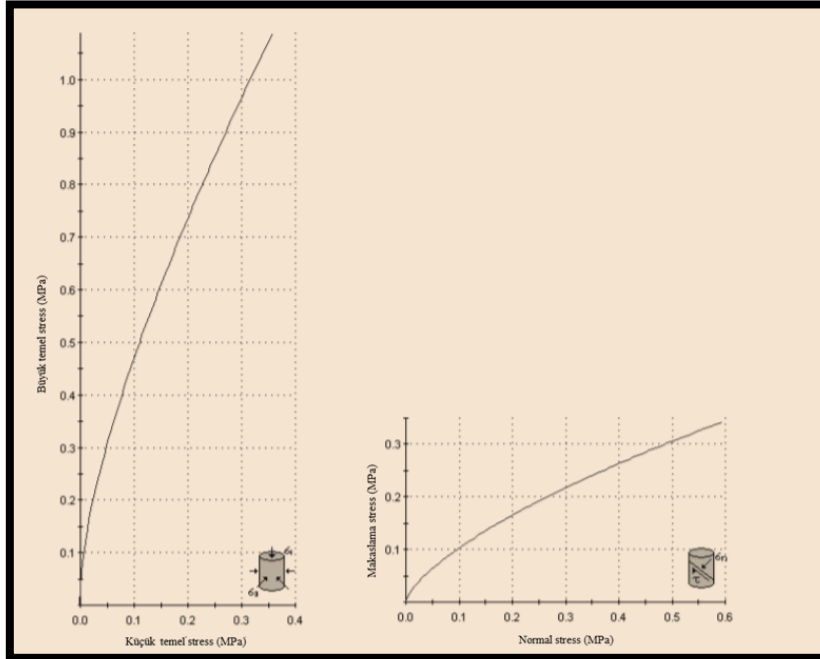


Şekil 4.22. İnceleme alanındaki marn için GSI Değerlendirmesi

Marn birimleri için 20 ve 40 metre tünel derinlikleri için RocLab değerlendirmeleri ise Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de sunulmuştur. Örselenme faktörü (D)=0 olarak alınmıştır.



Şekil 4.23. Marn Parametreleri ($D=0$, tünel derinliği 20 m için) (İnci Grup Mühendislik, 2017)



Şekil 4.24. Marn Parametreleri ($D=0$, tünel derinliği 40 m için) (İnci Grup Mühendislik, 2017)

4.2.4.5. Kireçtaşı biriminin kaya özelliklerinin değerlendirilmesi

Kireçtaşı birimi için yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre; kuru yoğunluk; $2.19\text{--}2.40\text{ g/cm}^3$, tek eksenli mukavemet, UCS: $24.50\text{--}51.80\text{ MPa}$ aralığında değişmektedir.

Kireçtaşı biriminin RQD değeri % 0 - % 10 arasında olup ortalama % 3 olarak hesap edilmiştir. Birimin karot yüzdesi (TCR) % 10 ile % 50 arasında değişmekte olup ortalama % 32 olarak hesaplanmıştır. Kireçtaşı birimleri çoğunlukla orta ayrışmış, çok ayrışmış (W3-W4) ve orta dayanımlı (R3) durumdadır. Laboratuvar da numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneylerinin ortalaması 24.00 MPa olarak hesaplanmış ve bu birim için tek eksenli mukavemet 24.00 MPa olarak kabul edilmiştir. Kireçtaşı birimi için RMR değerlendirmesi Çizelge 4.11’de sunulmuştur.

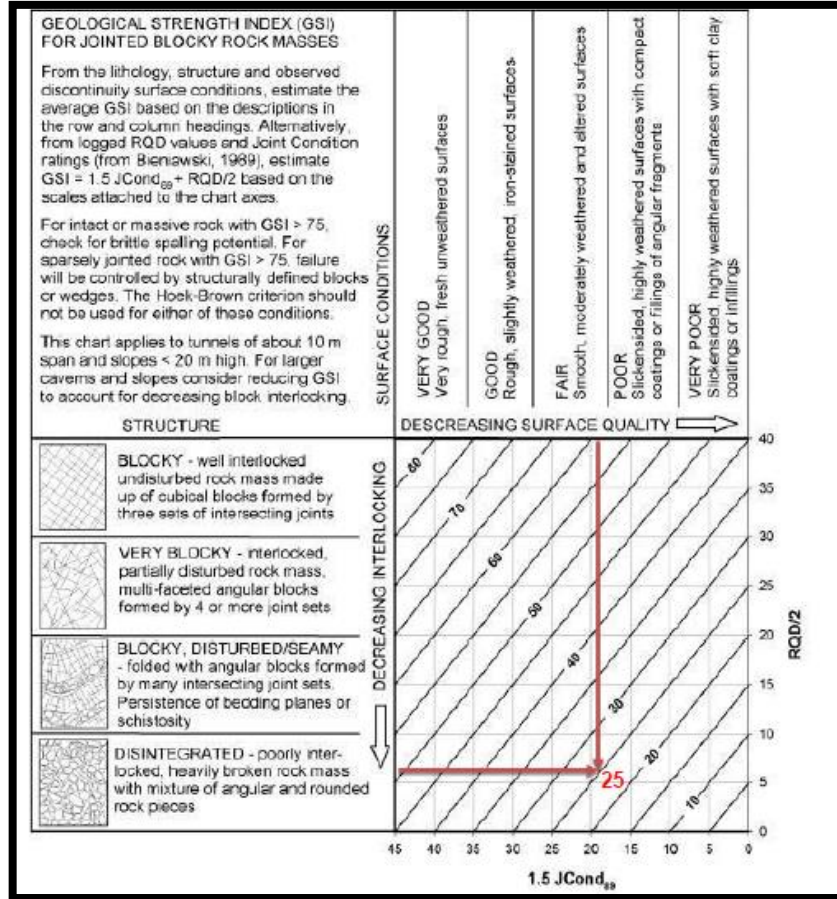
Çizelge 4.11. Kireçtaşı-RMR değerleri

RMR Kaya Sınıflaması (Kireçtaşı)			
1	Kayaç dayanımı (Tek eksenli dayanıma göre)	24MPa	3.3
2	RQD	% 3	3.4
3	Süreksizlik (eklem) aralığı	< 60 mm	5.5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: 3-10 m. (2) Açıklık 1-5 mm(1) Pürüzlü (5) Sert Dolgu: (2) Bozunmuş (1)	11
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
	RMR ₀	RMR ₀ =1+2+3+4+5	30.2~30
6	Eklemlerin doğrultu ve eğim yöneli	Uygun (Şevler için)	-5
		RMR= 1+2+3+4+5+6	25.2~25
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

Tek eksenli mukavemet değerleri ile RocLab programından analizlerde kullanılacak Hoek-Brown parametreleri elde edilmiştir. Mi değeri kireçtaşı için program dahilinde önerilen değerlerden seçilirken, Ei değeri program dahilinde önerilen RMR değeri sonucunda 16 Gpa olarak alınmıştır.

SK 247+640 sondaj verisine göre; birimin üst kotunda kireçtaşı bulunmaktadır. Alınan karot örneklerinin ilk 6 metresinde bulunan kireçtaşı karotları gözönünde bulundurularak jeolojik yapı ve süreksizlik yüzey durumu ile birlikte bir değerlendirme

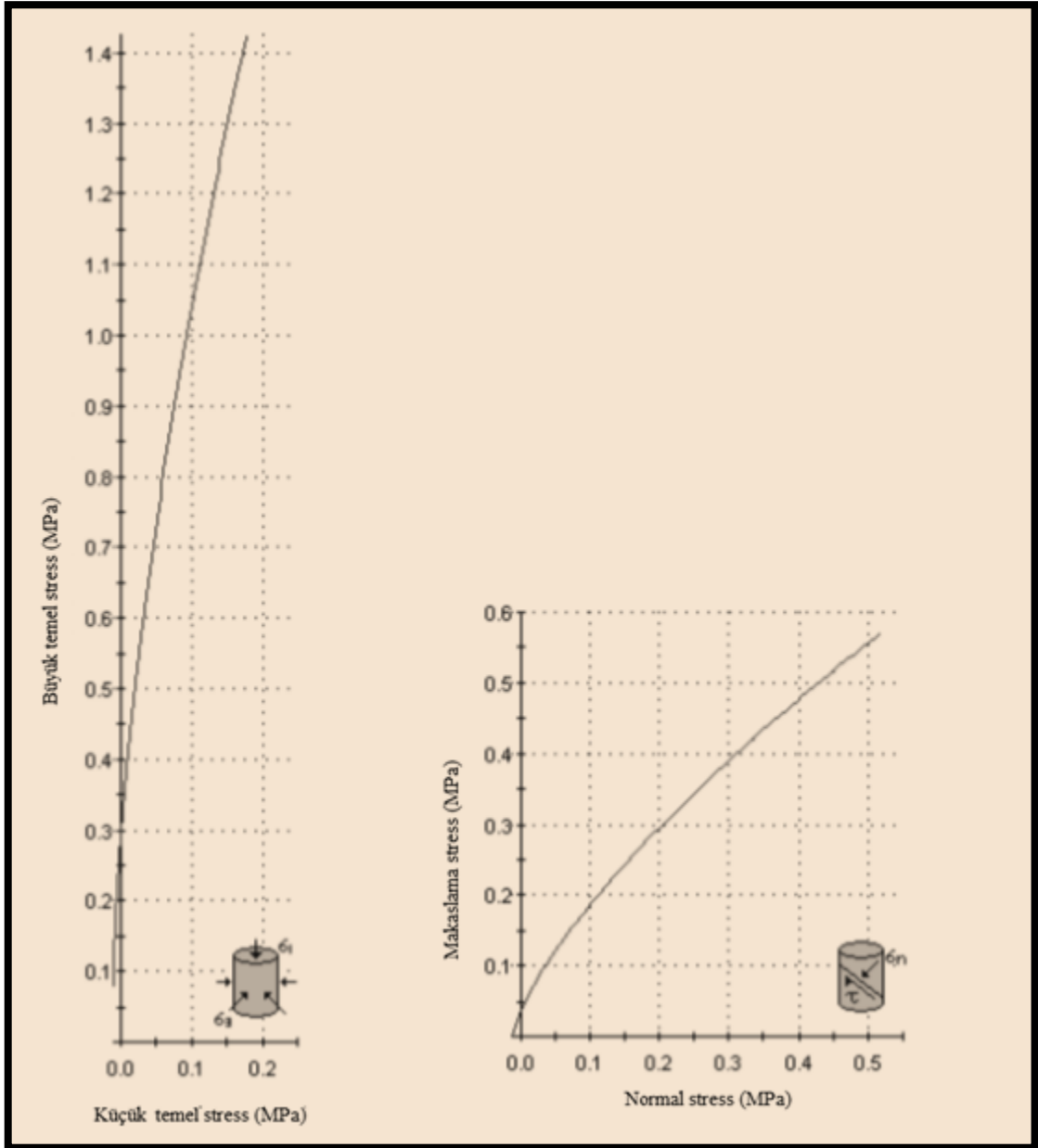
yapılmıştır. Karot sandığının ilk 6 metresinde kireçtaşı; eş değer kategori dikkate alındığında jeolojik yapı olarak “bloklı/örselenmiş” kategorisinde olduğu, yüzey koşulu için ise ‘düzgün yüzey orta derecede ayrılmış’ olduğu anlaşıldığından, “orta” kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan RMR hesabından yararlanarak $GSI=RMR_0-5$ formülünden $GSI=25.2\sim 25$ değeri seçilmiştir (Şekil 4.25). Kireçtaşı birimleri için GSI değerlendirmesi Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25. İnceleme alanındaki kireçtaşı için GSI Değerlendirmesi

RocLab değerlendirmesi Şekil 4.26’da sunulmuştur. Örselenme faktörü (D_h)=0 olarak alınmıştır.

Şekil 4.26’da görüldüğü gibi GSI değerleri ortalama 20 ile 30 arasında olmakla birlikte tünel duvarında ve tünel aynasındaki GSI değerlerinin değişiminin deformasyon değerleri değişiminden büyük ölçüde etkilendiği söylenebilir.



Şekil 4.26. Kireçtaşı Parametreleri (D=0) (İnci Grup Mühendislik, 2017)

Yapılan değerlendirmeler neticesinde birimler için belirlenen Hoek-Brown parametreleri Çizelge 4.12’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.12. Malzeme Parametreleri Özeti

	Birim Hacim Ağırlık γ (kN/m ³)	Kohezyon c (kN/m ²)	İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	Elastisite Modülü E (MN/m ²)
Konglomera	22	29	27	200
Kumtaşı	22	82	48	215
Kiltaş	21	30	27	200
Marn (20 m)	20	36	32	200
Marn (40 m)	20	55	27	200
Kireçtaşı	23	84	45	960

Sayısal analizlerin girdi parametrelerinden biri kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_m)'dür. E_m , kaya kütlelerinin yenilme öncesindeki mekanik davranışını en iyi temsil eden bir parametre olmasından dolayı, birçok tasarım parametresi arasında kaya mühendislik projelerinin başarıyla gerçekleştirilmesinde çok önemli bir yere sahiptir. E_m ayrıca yeraltı açıklığı etrafında izlenen deformasyonların yorumlanmasında, tahkimat ve nihai tünel kaplama tasarımında kullanılmaktadır (Hoek ve Diederichs, 2006).

Kaya kütlelerinin elastisite modülü için roclab programında verilen elastisite modülleri aşağıda verilen (Gökçeoğlu v.d., 2003)'e göre formül (4.3)'den elde edilen değerler ile karşılaştırılmış ve uygun parametreler belirlenmiştir.

$$E_M = 0.001 * \left[\frac{\left(\frac{E_i}{UCS} \right) * \left(1 + \frac{RQD}{100} \right)}{WD} \right]^{1.5528} \quad (4.3)$$

Formül (4.3)'de, E_M ; Kaya kütleleri deformasyon modülü, E_i ; Sağlam kayanın elastik modülü, UCS ; Tek eksenli basma dayanımı (Uniaxial Compressive Strength), RQD ; Kaya kalite değeridir.

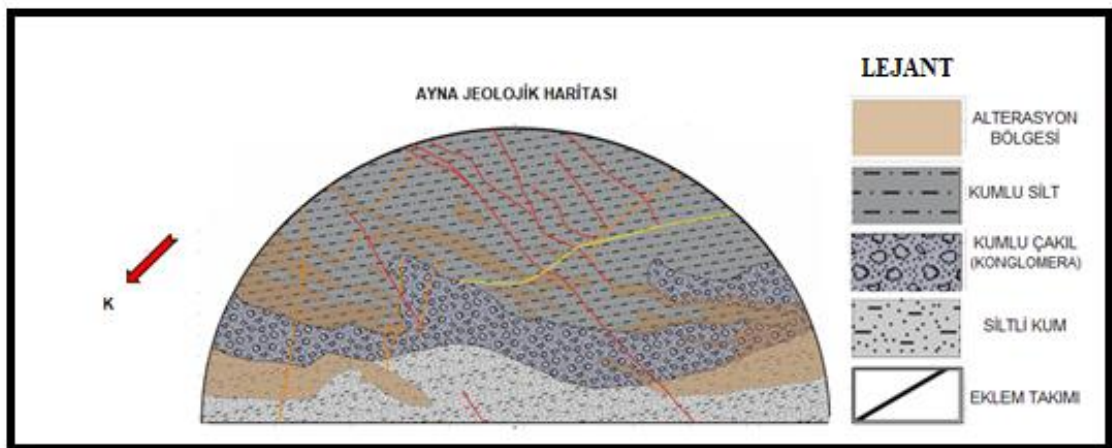
Formül (4.3) kullanılarak Konglomera için 815 MPa, Kiltaş için 1.34 GPa, Kumtaşı için 500 MPa, Marn için 462 MPa ve Kireçtaşı için 3000 MPa değerleri elde edilmiştir. Malzemelerin birim hacim ağırlıkları, kohezyon değerleri ve içsel sürtünme açıları Roclab ile uyumlu olarak kullanılmıştır. Elastisite modülü değerleri için ise, Roclab ile çok düşük değerler elde edilen konglomera kiltaş ve marn birimleri için ise 200 MPa değeri kullanılması uygun bulunmuştur.

4.2.5. 210+875 ile 210+819 km arası jeoteknik değerlendirme

İnceleme alanının bu kesiminde kaya, zemin ve jeolojik tanımlama da, tünel ile aynı yönde eğime sahip, yeşil-gri renkli, yoğun alterasyona uğramış, kayaca yeşil rengi veren kloritli gevşek çimento malzemesine sahip yer yer kömür kalıntıları bulunan, bünyesinde su barındıran, dayanımsız ve dökülmelere müsaittir. Tünel güzergahı içerisinde bulunan silt birimleri gri renkli, kil içerikli, nemli, sert, süreksizlik aralıkları sık, killi kloritli çimento malzemesine sahip, süreksizliklerden dolayı dökülmelere meyillidir.

Tünel güzergahı içerisinde 10-30 cm kalınlığında bantlar halinde bulunan killer kahverengimsi yeşil renkte, içinde suyu hapseden ve suyu çektikçe çeken, bu yüzden yoğun konkoidal kırıklara sahip, alterasyona uğramış dayanımsız, ve kırık yüzeylerinden hareket ederek dökülmektedir. Bu kısımda bulunan kömür, 20-30 cm kalınlığında, çamurumsu yer yer fosil ağaç gövdeleri barındırmaktadır.

İnceleme alanında aynanın haritalanması Corel Draw programı kullanılarak hazırlanmıştır. T-4 Tüneli güzergahında, tünel çıkışı KM:210+819.80 (R-69)'da bulunan kazı aynası, dalgalı, cilalı yüzeyli, sürtünme izli, kil dolgulu, sık aralıklı, süreksizlik ve kayma düzlemlerinden; bağlayıcı çimento malzemesi bulunmayan, yeraltı suyu sebebi ile alterasyona uğramış, alterasyona uğrayan bölgeler yoğun killi, özellikle bakışa göre sağ onuzdan su akışı gözlemlenen, çok kırıklı kumlu silt ve konglomera birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.27). Çizelge 4.13'de T4-Giriş 210+819 km arası RMR jeomekanik sınıflama sistemi verilmiştir.



Şekil 4.27. 210+819 km arası ayna jeolojik haritası

Çizelge 4.13. T4-Giriş 210+819 km arası RMR jeomekanik sınıflama sistemi

Tünel Adı	T-4
Yeri	GİRİŞ
Km.	210+819,00

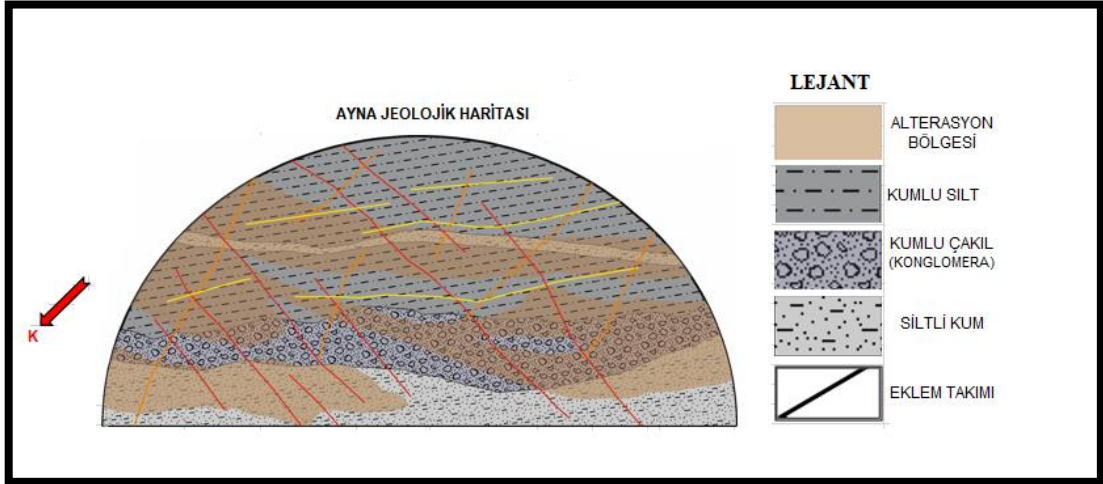
RMR Sistemi (Jeomekanik Sınıflama Sistemi)		
Sınıflamada kullanılan parametreler ;		
Kaya Sınıfı	V Çok Zayıf Kaya	
Sertlik	Çok Yumuşak	
Ayrışma	Orta Ayrışmalı	
Jv (1 m ³ kayadaki çatlak sayısı)	31	
RQD = 115 – 3,3 Jv	12,7	
Serbest basınç dayanımı	1,5	

RMR SINIFLAMASI			
Sınıflama Parametresi	Açıklama	PUAN	
1 RQD %	12,7	3	
2 Dayanım, Mpa	1,5	1	
3 Süreksizlik Aralığı, cm	6-20	8	
4 Yeraltı Suyu	Su Akışı		
5 Süreksizlik Durumu			
a Süreksizlik Uzunluğu, m	3-10	2	
b Süreksizlik Açıklığı, mm	1-5	1	
c Pürüzlülük	Pürüzsüz	1	
d Dolgu	Yumuşak Dolgu <5 mm	2	
e Ayrışma	Orta Ayrışmalı	3	
6 Süreksizlik durumu için değer düzeltme	Olumsuz	-10	
TOPLAM =		11	
RMR Kaya Sınıfı	V Çok Zayıf Kaya		
RMR Destek Tipi	V		

4.2.6. 210+803,0 ile 210+782,20 km arası jeoteknik değerlendirme

Km: 209+615 – 210+875 arasında bulunan T-4 Tüneli güzergahında, tünel çıkışı KM:210+803.00 (R-90)'da bulunan kazı aynası, dalgalı, cıvalı yüzeyli, sürtünme izli, kil dolgulu, sık aralıklı, süreksizlik ve kayma düzlemlerinden; bağlayıcı çimento malzemesi bulunmayan, yeraltı suyu sebebi ile yoğun alterasyona uğramış, alterasyona uğrayan bölgeler yoğun killi, eksen ve bakışa göre sağ onuzdan su akışı gözlemlenen, çok kırıklı kumlu silt, kum ve konglomera birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.28). R-89'un mekanik kazısı yapılırken ve tahkimatı kurulurken kazı aynasının eksen ve bakışa göre sağ omuz kesiminden gelen su ile tünel gabarisi dışından ara ara malzeme gelimi olmuştur. Ayna ve kazı cidarına püskürtme betonu uygulaması yapılmıştır.

KM:210+803.00 (R-90)'ın kazısı yapılmakta iken gelen su; kumlu, çok kırıklı ve bağlayıcı çimento malzemesi olmayan zemini yumuşatmış ve aşırı sökülmeye sebebiyet vermiştir. Bu aşırı sökülme ile beraber KM:210+805.40-210+803.80 (R-88,89) arasındaki tahkimat da deforme olmuş, bir gerideki tahkimatın ise tünel gabarisi dışında açılma olmuştur.



Şekil 4.28. 210+803,0 km arası ayna jeolojik haritası

Yapılan jeolojik haritalamada RMR sınıflamasına göre, kazı class sınıf C3 olarak tespit edilmiştir. Buna göre çok ayrışmalı ve zayıf kaya olduğundan dolayı kullanılan tahkimatta ibo bulon ayna eksenine süren olarak çakılmış olup, enjeksiyonu verilmiştir. Aynı zamanda, aynada göbek çivisi kullanılmıştır. Zemin çivisi 12 metre kademeli olarak çakılmıştır böylece göçük önlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. 210+803,0 km arası oluşan göçük

Bu aşırı sökülme km:210+803.00-210+782.20 arasında etkili olmuştur. Yapılan ek tahkimatlar ile ilerleme yapmak mümkün olmuş fakat eksen-omuz bölgelerinden gelen su, zeminin jeolojik-jeoteknik özelliklerinden dolayı benzer aşırı sökülmelerin tekrar edebileceğini göstermektedir. Aşırı sökülme bölgesine zeminin hava ile temasını kesmek ve devam etmesini engellemek için hemen püskürtme betonu uygulanmış ayna çelik hasır ile desteklenmiş ve deforme olan tahkimat desteklenmiştir. Ardından deforme olan tahkimat tekrardan kurulmuştur. Suyun etkisi ile zeminde sürekli dökülmeler söz konusu olduğundan oluşan boşluklara püskürtme betonu uygulanmıştır. Bu durum sonraki ilerlemelerde de söz konusu olduğundan püskürtme betonu uygulamasına devam edilmiştir. İlerleme kazısı yapıldıkça tahkimatın deformasyonunu engellemek için gerekli görülen durumlarda eksen IBO sürenler ile desteklenmiştir. Kazı aynası ise IBO Bulonlar ile göbek çivisi uygulanarak, çelik hasır ve püskürtme betonu ile desteklenmiştir. Aşırı sökülme ile oluşan boşluklar püskürtme betonu ile doldurulmuş, ardından enjeksiyon verilerek zemin ile bütünleşmesi sağlanmıştır. Çizelge 4.14’de kullanılan malzeme ve hurdaya giden miktarlar belirtilmiştir. Çizelge 4.15’de T4-Giriş 210+803 ile 210+782,20 km arası RMR jeomekanik sınıflama sistemi verilmiştir.

Çizelge 4.14. Göçükte kullanılan malzeme

SIRA NO	CİNSİ	MİKTARI	BİRİMİ	AÇIKLAMALAR
1	NPI 200 Profil Demir	1,0354	Ton	Hurda Malzeme
2	Çelik Hasır	0,2605	Ton	Hurda Malzeme
3	Enjeksiyonlu Süren	164	m	Hurda Malzeme
4	Püskürtme Beton	9,2912	m ³	Hurda Malzeme

Çizelge 4.15. T4-Giriş 210+803 ile 210+782,20 km arası RMR jeomekanik sınıflama sistemi

Tünel Adı	T.4
Yeri	210+803,00
Km.	

RMR Sistemi (Jeomekanik Sınıflama Sistemi)	
Sınıflamada kullanılan parametreler ;	
Kaya Sınıfı	V Çok Zayıf Kaya
Sertlik	Çok Yumuşak
Ayrışma	Çok Ayrışmalı
Jv (1 m ² kayadaki çatlak sayısı)	32
RQD = 115 – 3,3 Jv	9,4
Serbest basınç dayanımı	1.5

RMR SINIFLAMASI		
Sınıflama Parametresi	Açıklama	PUAN
1 RQD %	9,4	3
2 Dayanım, Mpa	1-5	1
3 Süreksizlik Aralığı, cm	6-20	8
4 Yeraltı Suyu	Su Akışı	
5 Süreksizlik Durumu		
a Süreksizlik Uzunluğu, m	3-10	2
b Süreksizlik Açıklığı, mm	1-5	1
c Pürüzlük	Cilalı Yüzü	0
d Dolgu	Yumuşak Dolgu <5 mm	2
e Ayrışma	Çok Ayrışmalı	1
6 Süreksizlik durumu için değer düzeltme	Olumsuz	-10
TOPLAM =		8
RMR Kaya Sınıfı	V Çok Zayıf Kaya	
RMR Destek Tipi	V	

4.3. Tünel Kazı ve Tahkimat İşleri

4.3.1. Kazı İşleri

Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) Kesimi T4 tünel çalışmasında proje güzergahının Km: 209+615 – Km: 210+875 aralığında (Çizelge 4.16) Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) uygulanmış ve projeye göre geoteknik değerlendirme sonuçları doğrultusunda kazı aşamaları ve tünel destek sistemleri belirlenerek kazı tamamlanmıştır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.16. İnceleme alanı tünel tanımı

Tünel Tanımı	Giriş Ayna Km	Çıkış Ayna Km	Uzunluğu (m)
T4 Tüneli	209+615.00	210+875.00	1260.00

Çizelge 4.17. Tünel kazısı sırasında geçilen ÖNORM B 2203' e göre tanımlı kaya ve destek sınıfları

Tünel Kazı İlerleme Kilometresi	Kaya Sınıfı
209+615.00 - 209+615,80	C2 (Özel)
209+615,80 – 209+616,6	C2 (Özel)
209+616,6-209+617,4	C2 (Özel)
209+617,4-209+618,2	C2 (Özel)

4.3.1.1. Makine ile kazı işlemi

Tünel çalışmalarında ekskavatör, hidrolik kırıcılar ve kazıcı makineler kullanıldığında klasik yöntemdeki delme ve patlatma işlemleri ortadan kalkmaktadır. Makine ile yapılan kazı işlemi delme patlatmaya göre kazının devamlılık kazanması nedeniyle daha avantajlıdır.

T4-Tünel giriş portalında ÖNORM B 2203'e göre tanımlı C2 kaya ve destek sınıflama sistemi, çıkış portalında ise ÖNORM B 2203'e göre tanımlı kaya C2 kaya ve destek sınıflama sistemi uygulanmaktadır.

Kazı makinesi ve Hidrolik kırıcılar ile yapılan çalışmalarda, ayna taramalarında oluşan pasayı kamyon ve loder ile dışarıya aktarılır (Şekil 4.30). Tünelde makine ile kazı işlemi tünel giriş ve çıkış portalları ile zeminin çok zayıf zonlarında ve zeminin hareketli davranış sergilediği, akma, süreksizlik, bozuşmuş, gevşek özellikler gösterdiği yerlerde yapılmaktadır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Tünel içerisinde kazı ve pasa alımından bir görüntü

T4-Tünel ayna taramasında kazı yapılırken projeye göre ne kadar ilerleme yapılacağına bakılarak gerekli kazı işlemleri uygulanmıştır. Bu çalışma alanında palyedeki şevlerin desteklemesinde açılan deliklerin tümünü rock makine ile delinmiştir. Tünel içerisindeki ibo bulon ve süren boruları Jumbo makine (Şekil 4.31) ile delinip montajı yapılmıştır. Tünel aynasındaki kazı aşamasından sonra zemindeki boşlukları ya da zemindeki havayı kesmesi amacıyla robot makinesi ile emniyet shotcrete atımı sağlanmıştır.



Şekil 4.31. Tünel içerisinde Jumbo çalışması

4.3.2. Tünel destekleme elemanları

4.3.2.1. Çelik hasır

Püskürtme betonun statik özelliklerini arttırmak için kazı sonrası tünel içinde çelik hasır bağlanmasına geçilir. A2-A3 tahkimat sistemlerinde Q221/221 tipi çelik hasır, A5 tahkimat sisteminde Q377/Q221 tip çelik hasır kullanılmaktadır. Q221/221 hasır tipinde; hasır boyu 500 cm, eni 215 cm, göz aralığının boyu ve eni 15 cm, ağırlığı ise 3.53 kg/m² dir. Q377/221 hasır tipinde; hasır boyu 500 cm, eni 215 cm, göz aralığının boyu ve eni 15 cm, ağırlığı ise 4.4 kg/m² dir (Emiroğlu, 2010).

4.3.2.2. İksa montajı

Tünel kazısı esnasında, kendini tutamayan zayıf ve gevşek zeminlerde, kazı yapılırken zemini tutmak için kullanılan yapılara iksa denir. Tünel çalışmalarında hazır imal edilmiş profil iksa demirleri bükümlenerek hazır hale getirilerek, iki parça olarak montajı yapılır. Gelen iksanın, flanşları üzerinde açılan iki yuva içerisinde civata ve somunun birbirlerine bağlanması şeklinde yapılır. İksalar, kazılmış olan tünel boşluğunu kısmen de olsa destekleyip, belirli bir noktanın ötesinde zemini desteklemek ve boşluğu çevreleyen zeminin hareketini azaltmak için kullanılırlar (Şekil 4.32) ve (Şekil 4.33).



Şekil 4.32. İnceleme alanı T4-tünelindeki iksa (Ø – 160) montajı



Şekil 4.33. İnceleme alanı T4-tünelindeki iksa (Ø – 160) taşınması

4.3.2.3. Kaya bulonu

Kaya bulonu tünel palyesinde ve tünel içerisinde kayanın destekleme elemanlarından biridir. Çekme dişli standart profil donatı çeliğinden imal edilen bulonların kırılma yükleri en az 18 ton, çapı ise ortalama 24 mm olmalıdır.

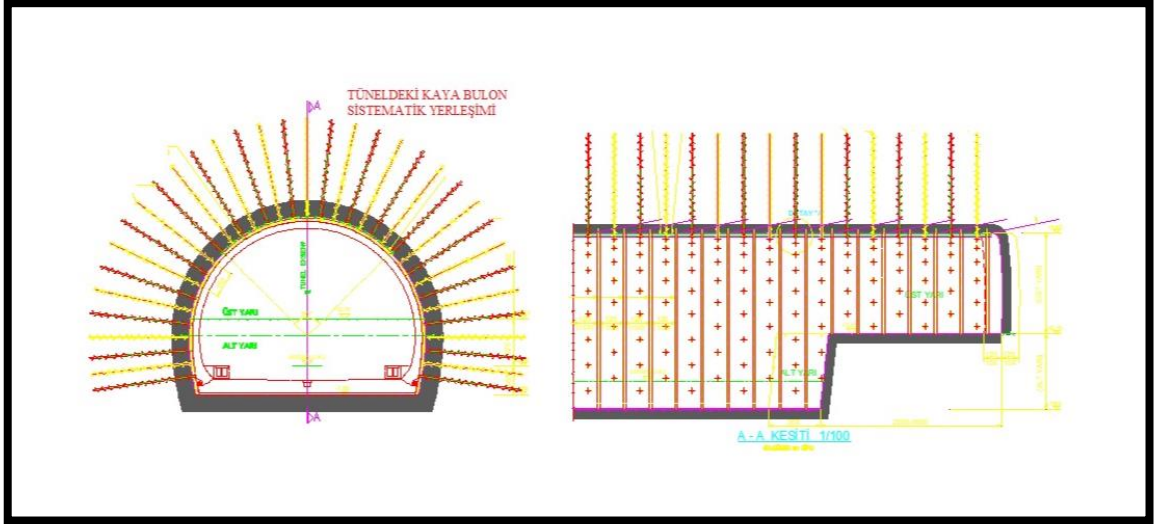
Kaya bulonları, kayayı çekme gerilmelerini taşıyabilecek şekilde sağlamlaştırmak, çekme gerilmelerini ana kayaya iletmek, süreksizliklerin sürtünme direncini arttırmak veya kayada üç eksenli gerilme durumu oluşturmak için yerkabuğu içine bağlanan çubuklardır (şekercioğlu, 1993).

Bir ucu 10 cm dişli ve taşıma plakaları 150/150/100 mm boyutlarında olup, Metrik 24 somun kullanılır. Tünel içerisinde Jumbo ile bulonun içine yerleştirildiği deliğin çapı 45'lik bit ile delinmektedir. Enjeksiyon prizini aldıktan sonra, torklama işlemi yapılmaktadır. Bu torklama kuvveti 50 Kn ile bulonu sağlamlaştırma olarak kabul edilir. şekil 4.34'de inceleme alanında taşıma plakası ve somun yerleşimi görülmektedir.

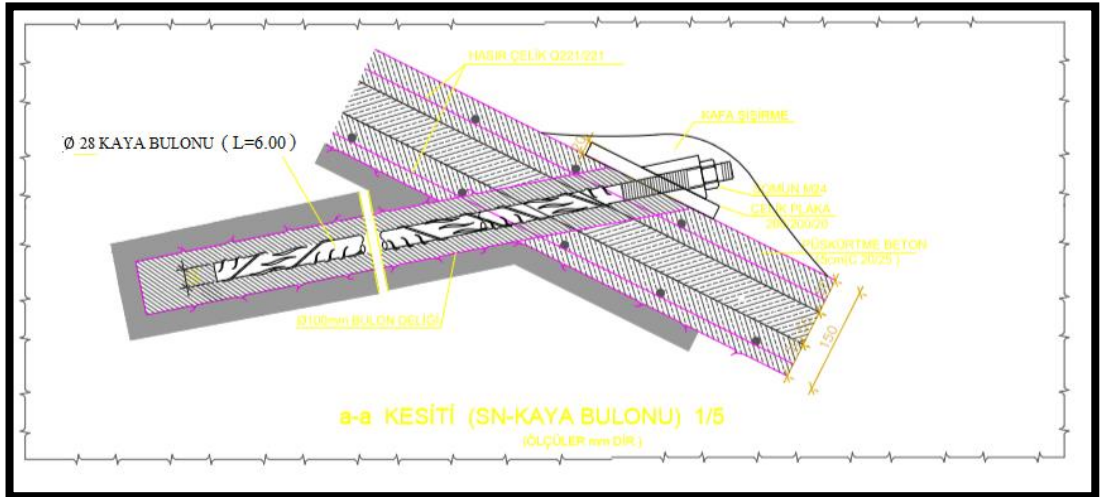


şekil 4.34. İnceleme alanında taşıma plakası ve somun yerleşimi

Kaya bulonu, kaya bloklarının sabitlenmesinde tekil olarak kullanıldığı gibi çevredeki kayanın dayanımının arttırılması amacıyla sistematik olarak da kullanılabilir. Tünel içerisinde ve tünelin giriş portallerinde sistematik olarak kullanılabilir. şekil 4.35'de inceleme alanındaki T4 Tüneli SN Bulon sistematik dağılımı görülmektedir. SN Bulonu zemin yerleşiminde, Ø 28 Kaya Bulonu ve 6 metre uzunluğunda zemine yerleştirilmiştir (şekil 4.36).



Şekil 4.35. İnceleme alanındaki T4 Tüneli projesindeki SN Bulon sistematik yerleşimi



Şekil 4.36. SN Bulonu zemine yerleşim gösterimi

Kaya bulonuna ve enjeksiyona gelen yük, kayanın çatlak, bozulma ve zemindeki boşluğa göre değişir. Genellikle gevşek ve zayıf zonlarda, kaya bulonundan daha iyi bir verim almak için; enjeksiyonlanacak bulon deliklerinin çapına, su/çimento oranlarına ve çekme testlerinin doğruluğuna dikkat etmek gerekir. Buna göre, enjeksiyonlama yapılacak bulon deliğinin çapı, kaya bulonu çapının 1,5 katı, su/çimento oranı 0,35-0,45 arasında olmalıdır. Ayrıca bulonlar montajlarından en çok 14 gün uygun bulon çekme testleri ile 280 kN luk yüke uygulanmaktadır. İnceleme alanındaki T4 Tünelindeki portal ve tünel içerisinde SN Bulonlar çakılan bölge ve çevresinden destek olarak sağlamlanmasına imkan verir. Çakılan SN bulonların performansı yapılan enjeksiyona

ve bulonun kalitesine direk bağlıdır. Portal girişleri ve palyedeki bulon delgi işlemleri genellikle T35 markalı atlas copco Rock makinesi ile delgi işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.3.2.4. Boru süren uygulaması

Süren, tünel kazı işlerinde, kazıdan önce veya sonrasında kullanılan bir destek elemanı olarak, kazıdaki dökülme, kopma ve çökme görülen zeminlerde, aşırı risk taşıyan zayıf zonlarda ezik ayrılmış ve yeraltı suyunun yoğun olduğu yerlerde emniyet ve ön koruma olarak tünel kesitinde yatay yönde uygulanmaktadır. Şekil 4.37’de T4 Tünelinde uygulanan boru süren yerleşimi görülmektedir. Genellikle T4 Tüneline uyguladığımız boru sürenler enjeksiyonlu olarak uygulanmıştır.



Şekil 4.37. İnceleme alanı T4 Tüneli boru süren uygulaması

Boru süren uygulaması tünel içerisinde genellikle iksa montajı, püskürtme beton uygulandıktan sonra Jumbo makinesi ile iksa üzerinden delgiler açarak yatay olarak 4 metre uzunluğunda sürenler çakılarak süren yerleşimleri makine üzerinde elle sürülerek enjeksiyonlu olarak uygulanmaktadır. T4-Tünel portal girişinde 6 metrelik boyuna boru süren uygulanmıştır (Şekil 4.38). Kazının yüzeyine doğru daha önce kazılmamış aynanın ekseninde zemine doğru önceden açılmış 30 ile 40 cm. deliklerin içerisine süren boru yerleştirilmiştir. Süren boruları çelik iksa montajı ile birebir orantılı ve sistematiktir.



Şekil 4.38. İnceleme alanı T4 Tüneli tünel portal girişinde boru süren uygulaması

İç çapları genellikle tünel kesitinde 30-35 mm ve et kalınlıkları 3 mm'den az olmayan çelik borular tercih edilmektedir. Genellikle çelik iksa rount boyları en az 1 metreden daha uzun olacaktır. Kullanılan çelik süren boruları 1.5 inç çapında tünel içerisinde projeye göre 4 metre portal girişinde kullanılan ise 6 metre süren boru yerleştirilmiştir. Genelde kaya zeminlerde içi açık boru süren yerine $\varnothing 26$ ve 28 mm çapındaki nervürlü demir çakılmaktadır. Bu uygulama tünel içerisinde enjeksiyonsuz yerleştirilmektedir.

4.3.2.5. Ayna ve zemin çivileri

Genellikle boru kemer yöntemi birlikte kullanılan zemin çivileri, kazı öncesi yüzey oturmalarını denetleyen destek elemanlarıdır. Killi ve zayıf formasyonlarda ve sığ tünellerde yüzey oturmalarının yarısına yakını tünel daha yüzeydeki ölçüm istasyonuna gelmeden önce meydana gelmektedir. Gelen yükler nedeniyle aynada plastikleşen ve mukavemetini yitiren malzeme hacmi kadar yüzeyde oturmalar olabilmektedir. Bunların önlenmesi için tünel aynasındaki zeminin içsel parametrelerinin olumlu yönde artırılması gerekmektedir (Onargan ve ark., 2006).

Yumuşak ve zayıf ortam koşullarında açılan tünellerde, tünel aynasının stabilitesinin sağlanması ve uygulanacak diğer ek yöntemlere destek olmasından dolayı zemin çivisi yöntemi uygulanmıştır. Bu destek elemanın uygulamasında; kazı aynasına önceden belirlenen çapta ve uzunlukta delinen deliklere, uygun donatı yerleştirilir ve

delik enjeksiyon ile doldurulur. Burada donatı olarak nervürlü çelik ya da yüksek mukavemetli fiber glaslar kullanılmaktadır (Şekil 4.39). Zemin çivisi uygulaması ilk defa 1980' li yıllarda İtalya' da geniş kesitli tünellerde kullanılmıştır (Denek, 2003).



Şekil 4.39. İnceleme alanı T4 Tüneli zemin çivisi uygulaması

T4 Tünelinde sahada tünel içerisinde zemin kesme mukavemetini ya da çekme mukavemetini arttırmak için uzun ibo bulonlar (4 metre, 8 metre ve 12 metre) kullanılarak zemin çivisi uygulaması yapılmıştır. Çakılan İbo bulonlarının sayısı oluşan göçüğe bağlı olarak ve tahkimat tipine göre değişmektedir. Montajı yapılan zemin çivilerinin alçısı yapıldıktan sonra enjeksiyon işlemine geçilmiştir (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. İnceleme alanı T4 Tüneli aynada zemin çivisi ve alçılanması çalışması

4.3.2.6. Püskürtme beton

Shotcrete tünelde, kazı yüzeyinde ya da yakın çevresinde kayanın veya gevşek zeminin kesme dayanımını arttırarak tünel içerisinde veya çevresinde zeminin gevşemesi ve kayadaki süreksizlikleri, zemindeki boşlukları ayrıca aynadaki boşlukları doldurarak dökülmeleri ve sökülmelelerini önlemek için kullanılan bir tahkimat işlemidir. Aynadaki kazı yapıldıktan sonra oluşan deplasmanlar ve gerilmenin belirli kesimlerini karşılar. Genelde tünelde zemin taşıyıcı elemanı olarak donatılı veya donatısız olarak uygulanabilir. Püskürtme beton uygulaması, aynada yüzeye atılan tutabilme özelliğine direk bağlıdır. Bu uygulamada yapılan araştırma ve çalışmalara göre aynadaki yüzeyin ve shotcrete arasındaki bağın kayacın mineral özelliğine de bağlı olduğunu kanıtlamıştır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. İnceleme alanı T4 Tüneli Püskürtme Beton Uygulaması

Yeni Avustralya tünel açma tekniğine göre, ayna yüzeyine tek seferde atılan shotcrete kalınlığı 20 cm.yi geçmemelidir. Tünel kazı sırasında veya sonrasında görülecek zayıf, ezik, süreksizlik veya akıcı zonlarda tünel aynasının stabilitesini kontrol altına almak için hem ayna ekseninde hem de ayna göbeğinden gelebilecek çökmelere, dökülmelere karşı hızlı önlem almak için emniyet shotcrete uygulaması yapılmaktadır. İlk kat ve ikinci kat püskürtme beton uygulaması çok önem arz etmektedir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42. İnceleme alanı T4 Tüneli giriş portalında emniyet shotcrete uygulaması

Genellikle tünellerde iki çeşit püskürtme beton tekniği uygulanmaktadır. Her iki yöntemin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Kuru yöntem uygulaması; küçük ölçekte, destekleme elemanı olarak maliyeti düşürmek amacıyla yapılan bir uygulamadır. Genellikle robotun ulaşamadığı yerlerde bu tür teknikler kullanılmaktadır. Kuru uygulanan püskürtme betonun ıslak ve su gelirinin fazla olduğu ortamlarda bekletilememesi ve özellikle uygulamada ıslak kum kullanılmaması gerekmektedir.

Yaş yöntem uygulaması, daha büyük ölçekli, yüksek verimli, iletim mesafesi sınırlı bir uygulamadır. Günümüzde aktif olarak kullanılan bu uygulamada zeminler üzerindeki performans açısından daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Çizelge 4.18’ de zayıf ortam şartlarında farklı araştırmacılar tarafından önerilen püskürtme beton parametreleri verilmektedir.

Çizelge 4.18. Zayıf ortam şartlarında farklı araştırmacılar tarafından önerilen püskürtme beton parametreleri

Kaya Kalitesi (RQD Aralığı)	DEER, 1969 (4-6m Çaplı Tünellerde Geçici Tahkimat)			HEUER, 1974 (4,5-6m Çaplı Tünellerde Geçici Tahkimat		CONNEL, 1977
	Kazı Yöntemi	P. Beton Kalınlığı	İlave Tahkimat	Arazi Koşulları	Püskürtme Beton Kalınlığı	Püskürtme Beton Kalınlığı
Zayıf 25 – 20	Makine ile kazı Delme Patlatma	Tavanda 10-15 cm Duvarda 1-15 cm Tavanda > 15 cm Duvarda > 15 cm	Kaya bulunu =1,2-1,8 m	ZAYIF ARAZİ KOŞULLARI Tavanda ve duvarda dökülme var. P. beton kaya üzerine iyi yapışmıyor.	Tavan bölgesinde 7-10 cm, Duvarlarda tabana kadar 78 cm	Yan duvarlarda tabanda en az 7-8 cm yukarı doğru artan. Tavanda 15 cm', yan duvarların üst kısmı ve tavanda
Zayıf < 25 Sıkışan Şişen formasyon hariç	Makine ile kazı Delme Patlatma	Tavanda 15 cm Duvarda 15 cm Tavanda > 15 cm Duvarda > 15 cm	Orta ağırlıkta	ÇOK ZAYIF ARAZİ KOŞULLARI. Eğer arazi gevşeme davranışı gösteriyorsa	Tavan bölgesinde 10-12 cm, duvarlarda tabana kadar > 10 cm.	Taşıyıcı olarak çelik iksa + püskürtme beton, çelik iksalar betonla kaplamalı
Çok zayıf Sıkışan, Şişen formasyonlarda	Her iki yöntem	Tavanda > 15 cm Duvarda > 15 cm	Ağır tip profil çelik bağ	Arazi şişme yada aşırı gerilmelerde yenilme davranışı		

Püskürtme beton tünel içerisinde ve çevresinde bulunan zemindeki ezik zon, süreksizlik ve gevşemeleri önlemek için kullanılan bir yöntemdir. Aynı zamanda kayadaki çatlakların içini doldurarak kaya düşmelerini ve kırılmalarını önlemektedir. Ayna taramasından sonra, çelik hasır tahkimatının zemin yüzeyine yakın yerleştirilmesi böylece beton püskürtme tekniğinde gerekli olan priz hızlandırıcı (sika L25E) katkı olarak doğru makine ile uygulanmıştır (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. İnceleme alanı T4 Tüneli iksa yüzeyine atılan püskürtme beton

Püskürtme beton; kazı taramasından sonra veya kaya kütlelerine etki eden gerilme ve deformasyonları azaltmak için kullanılan karışım çimento-su-agrega-kimyasal ve mineral katkı karışımıdır. Genellikle stabil özellik gösteren zemin türlerinde, iksasız olan tünellerde fiber organik polimer, cam elyaf ve karbon lifler ilave edilmektedir.

Püskürtme beton içindeki çimento miktarı; kullanılan agreganın maksimum dane boyutu (D_{max}), durabilite ve minimum çimento dozajı nedenleriyle, kuru sistemde 350 kg/m^3 ten, yaş sistemde ise 400 kg/m^3 ten az olmamalıdır. Çimento miktarı, kuru ve yaş sistemde 500 kg/m^3 ü aşmamalıdır. Kullanılan agregalar da temiz, sağlam ve dayanıklı olmalı ve bünyesinde zararlı miktarlarda toz, çamur, kil veya organik orijinli yabancı maddeler bulundurmamalıdır. Klorür iyonu standartların üzerinde olmamalı ve donmuş agrega kesinlikle kullanılmamalıdır.

Püskürtme betonun karakteristik serbest basınç dayanım sınıfları tanımlanarak basınç dayanımlarına bağlı 100 mm çaplı ve 100 mm yüksekliğinde silindir karot örnekleri alınmaktadır. Karot örneklerinden istenen basınç dayanım değerleri Çizelge 4.19'deki gibidir.

Çizelge 4.19. Beton sınıfları basınç dayanımı (Karayolları Teknik Şartnamesi 2013)

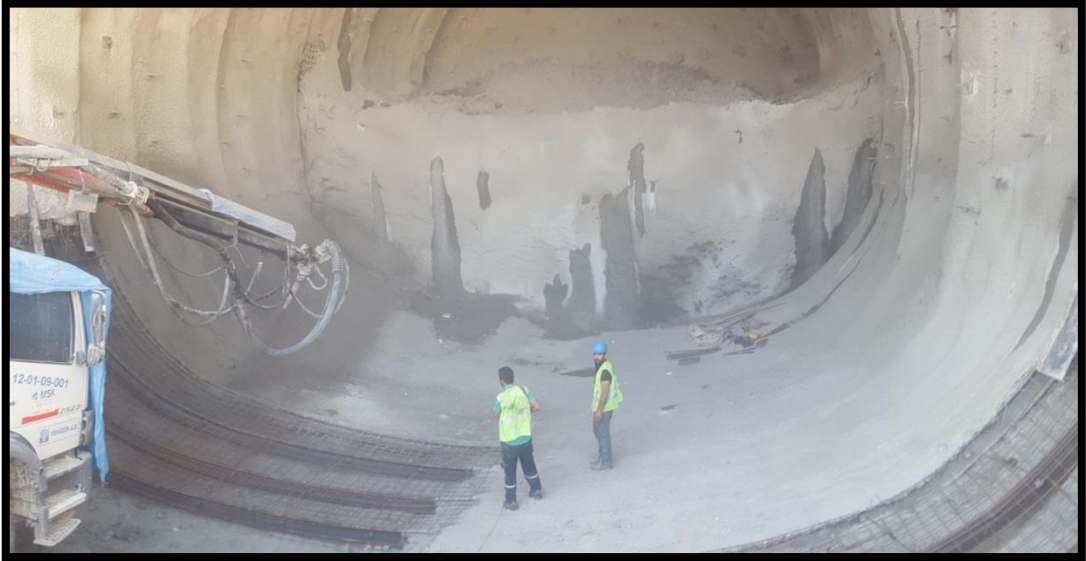
Beton Sınıfları			Püskürtme Betondan Alınacak Karot Numunede Dayanım Yönünden (28 Günlük) Aranacak Kalite Kontrol Kriterleri	
Karakteristik Basınç Dayanımı (f_{dk}), (MPa)			KAROT NUMUNE BOY(H) = 100 MM ; ÇAP(D) = 100 MM SİLİNDİR	
BASINÇ DAYANIM SINIFLARI	D=150 mm, H=300 mm, SİLİNDİR	A=150 mm KÜP	BİREYSEL MİNİMUM DAYANIM (MPa)	3 ADET NUMUNEDEN OLUŞAN GRUBUN ORTALAMA MİNİMUM DAYANIMI (MPa)
C 20 / 25	20	25	19,0	21,5
C 25 / 30	25	30	22,5	25,5
C 30 / 37	30	37	28,0	31,5
C 35 / 45	35	45	34,0	38,5
C 40 / 50	40	50	37,5	42,5
C 45 / 55	45	55	41,5	47,0
C 50 / 60	50	60	45,0	51,0

Püskürtme betonda priz hızlandırıcı kimyasal katkı kullanıldığında 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testleri yapılmaktadır. Priz hızlandırıcı kullanılmayan püskürtme betonlarda en erken basınç dayanım testi 3 günlüktür.

Tünel kazı aşamalarında, üst yarı, alt yarı ve taban (invert) olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Püskürtme beton uygulamaları tüm aşamalarda, projeye uygun olarak shotcrete atımı uygulanmaktadır (Şekil 4.44 ve Şekil 4.45).



Şekil 4.44. İnceleme alanı T4 Tüneli alt yarı beton püskürtme uygulaması



Şekil 4.45. İnceleme alanı T4 Tüneli invert (taban)

4.3.2.7. Kendinden delen (İbo Bulon)

İbo Bulon aynı zamanda Kendinden delen bulon sistemi içi boş, dış kısmı yivli bulon ile delme işlemini yapan bit' ten oluşur. Ankraj ve enjeksiyon işlemi tek operasyonla yapılır. İçi boş bulon delme işlemi sırasında hava ve suyun serbestçe

geçerek kırıntıların atılmasını ve delme işlemi tamamlanınca da enjeksiyonun hemen yapılmasını sağlar (Şekil 4.46).



Şekil 4.46. İbo Bulon (<https://www.barkomltd.com/tr/urunler/tahkimat-ekipmanlari/ibo-bulon.html>)

Enjeksiyon şerbeti bulon içi ile, kayaç ile bulon arasındaki boşluğu tamamen doldurur. Taşıma plakası ve ankraj kafası gereken gerilmeyi sağlarken, kaplinler de bulon'ları birbirine bağlayarak gereken boyu sağlar. İbo buulonların özellikleri; Tek operasyonla; delme, ankraj ve enjeksiyon işlemi, Aynı ankraj yerleştirme veya muhafaza ve tijleri geri alma işlemini gerektirmez, Tüm kayaç şartlarında aynı metot kullanılır, Değişik kayaç tiplerine uygun bit seçimi, Bulon içi boşluğu delme işlemi sırasında hava ve suyun geçişine ve germe çubuğunun enjeksiyonuna yarar, Kaplin kullanarak boyda esneklik, limitli tavan yüksekliklerinde ve muhafazasız çalışmadan dolayı küçük sondaj makineleri ile uygulama kabiliyeti, İstek üzerine artırılmış pas koruma olarak sayılabilmektedir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. İnceleme alanı T4 Tüneli ibo bulon delgi montajı

İnceleme alanındaki T4 Tünelinde bazı roundlara zeminin davranışına göre 4 metre ve 8 metre ibo bulon montajları yapılmıştır. Yapılan ibo bulonların montajı sonrasında fazla kalan 15-20 cm'lik ibo bulonlar şalama oksijen ile kesilmiştir (Şekil 4.48). Projeye göre ibo bulon montajları her iki round da bir olmak şartıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.48. İnceleme alanı T4 Tüneli içerisindeki sistematik yerleşim ibo bulon görünümü

Şekil 4.49'da sahada işlemi gerçekleştirilmeden önce ibo bulonların hazırlık görüntüleri görülmektedir.



Şekil 4.49. İnceleme alanı T4 Tüneli ibo bulon hazırlığı

Şekil 4.50'de inceleme alanında ibo bulon delgisi ve montajından sonra pistonlu enjeksiyon makinesi ile (su+çimento) oranı SN bulona göre daha sulu uygulanmaktadır.

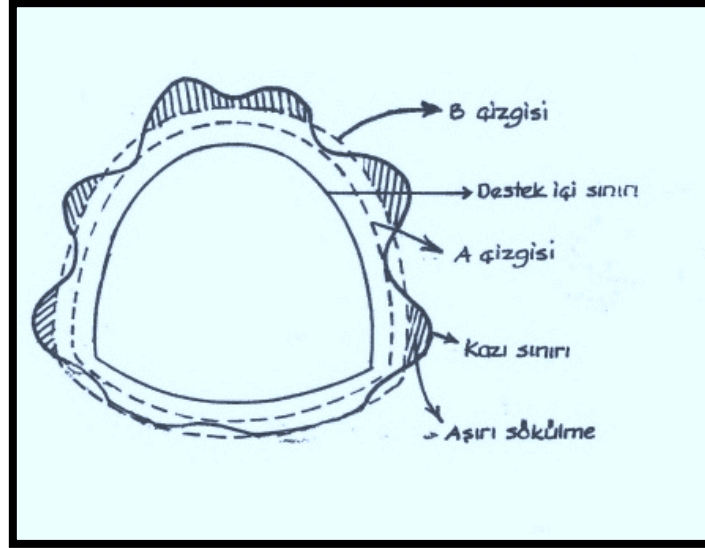


Şekil 4.50. İnceleme alanı T4 Tüneli ibo bulon enjeksiyon çalışması

4.3.2.8. Aşırı sökülme (Overbreak)

Tünel kazı çalışmalarında, tünelin eksenini ve çevresinde oluşabilen ve kesitten daha fazla boşluk ve açıklığa neden olan fazla kazılardır. Overbreak’de kayacın ayrışma derecesi, süreksizlikleri, süreksizlik açıklıkları ve boyutları tünelin kesit alanı içerisinde patlatma yöntemiyle kazının round boyunu etkiler.

Tünel ayna taraması sırasında görülen birimler içerisinde bulunan ayrılmış killer yumuşak ve gevşek eklemleri oluşturmaktadır. Bu duruma bağlı olarak, az aralıklı ve açık aralıklı eklem takımları kayacın orta zayıf dayanım durumu ve ayna kazı sırasında oluşabilen açıklıklara neden olmaktadır. Sağlam, homojen ve süreksizliği az kayaçlarda tünele istenilen şekil ve çap verilebilir. Tünel açılırken, süreksizlikten dolayı kayaçlar çoğu zaman istenilen çaptan daha büyük çapta oyulur. Tünel açılması planlanırken 2 profil çizgisi esas alınır (Şekil 4.51). Şekil 4.59’da ilk çizgi A çizgisi veya asgari beton çizgisidir. İkincisi B çizgisi veya ödeme çizgisidir. Tünel içindeki beton kaplamanın en küçük çapı tünelin temiz iç çapıdır. Sonrasında tünel beton kalınlığı gelir. Tünel içindeki beton kalınlığına, aynı zamanda kaplama kalınlığı da denir. Kaplama kalınlığı, tünel iç çapının (beton iç çapının) her 30 cm si için 1,25 cm hesaplanır. Yani 6 m beton iç çapı olacak bir tünelde beton kaplama kalınlığı 25 cm olmalıdır. A çizgisi tünelin temiz iç çapına beton kalınlığı eklenerek hesaplanır ve tünel çeperine teğet olmalıdır. B çizgisi, taranan tüm boşluk ile A çizgisi arasında kalan hacmi ortalayan teorik bir çizgisidir.



Şekil 4.51. Aşırı sökülme (Judd ve Huber, 1962)

Yeni Avusturya Tünel kazılarında farklı kayaç türlerine göre aşırı sökülme yüzdelikleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Farklı kayaç türlerine göre aşırı sökülme yüzdelikleri (Judd ve Huber, 1962)

Tortul Kayaçlar	% 9-11
Granit	% 10-12
Bazalt	% 8-15
Gnays	% 8-11
Diğer Metamorfik	% 11

İnceleme alanında tünel ayna kazısı sırasında ve sonrasında ayna ekseninde birbirini tutamayan zayıf zonda ve süreksizliklerde meydana gelen aşırı sökülmeler Şekil 4.52’de görülmektedir.



Şekil 4.52. İnceleme alanı T4 Tüneli ayna kazısı sırasında oluşan overbreak (aşırı sökülme)

5. SONUÇLAR

Afyonkarahisar ili sınırları içerisinde bulunan Köprülü mevkiindeki ‘Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) Kesimi’ Km: 209+615–210+875 arasında yapımı devam eden T-4 tünel sahasının jeolojik formasyonlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortaya çıkarılması, jeolojik haritalanması, kaya sınıflaması ve zemin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla temel sondaj kuyuları açılarak mühendislik jeolojisi ve uygulamaları çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar incelenip yorumlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1-) Afyon-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Uşak (Banaz) Kesimi’ Km: 209+615 – 210+875 arasında; literatür araştırmaları, sondaj verileri ve analizleri, saha ve laboratuvar deney sonuçlarının belirlemesi ile tünel yol güzergahı boyunca mühendislik jeolojisi, depremsellik, jeoteknik ve tünel destekleme açısından uygulanmıştır.

2-) Tünel zemini ve etkilenme bölgesini oluşturan kaya ortamlar NGI (Q Lien&Barton) ve (RMR, Bieniawski) sistemlerine göre sınıflandırılmış ve NATM kaya sınıfı eşdeğerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu sınıflandırmalar incelenmiş ve uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu sınıflamalara bağlı olarak NATM kaya sınıflamasına karşılık gelen C2 ve C3 özel destek sınıfları uygulanmıştır. Kullanılan bu destek sınıflarında kullanılan malzeme miktarına bağlı olarak ilerleme round boyu hakkında proje esas alınarak gerekli bilgiler verilmiştir.

3-) Tünelin ilk başlangıç km’sinden kazı yapılan son km’ye kadar NATM’a göre; C2 ve C3 özel kaya klasları uygulanmıştır.

4-) Bu çalışmada zeminin özellikleri ve sondaj çalışmalarına göre; kaya sınıfı ve zemin klasında ilk 50 metre C3, süreksizlik, çatlaklık, pürüzlülük ve zeminin su içeriğine göre yapılan zemin tutanaklarına zemin klası C2 olarak değiştirilmesi uygun görülmüştür.

5-) Tünel çalışma alanında projeye göre; C2 kaya klasında belirlenen destek elemanları sırasıyla shotcrete uygulaması, çift kat hasır montajları (Q221/221),çelik iksa (NPI 160), SN bulon (6 metre Q28,nervürlü demir), ibo bulon (kendiliğinden delen bulon), enjeksiyon ve püskürtme beton kalınlığı 25 cm, 25 adet boru süren uygulanmıştır.

C3 kaya klasında belirlenen destek elemanları sırasıyla shotcrete (30 cm) uygulaması, çift kat hasır montajları (Q221/221),çelik iksa (NPI 200), sn bulon (6 metre Q28,nervürlü demir), ibo bulon (kendiliğinden delen bulon), enjeksiyon ve püskürtme beton kalınlığı 30 cm, 30 adet boru süren uygulanmıştır.

6-) Çalışmada yapılan C2 klasında raunt boyları (işban boyu) maksimum 0,8 metre ile 1 metre arasında uygulanarak her iki iksa arasına 10 adet işban kullanılmıştır.

7-) C2 klas uygulamasında kazı aşamasında, her iki round'da bir olmak üzere round'lara sırasıyla 18 ve 19 şaşırtmalı olarak ibo bulon uygulaması ve enjeksiyonlanması yapılması uygun görülmüştür.

8-) C3 klas uygulamasında kazı aşamasında, her iki round'da bir olmak üzere round'lara sırasıyla 20 ve 21 şaşırtmalı olarak ibo bulon uygulaması ve enjeksiyonlanması yapılması uygun görülmüştür.

9-) Kazı sırasındaki dökülme ve oluşan fazla kazılardan dolayı, özel olarak aynaya emniyet shotcrete (5 cm) kaplaması yapılmıştır.

10-) Bölgedeki tektonik açıdan zeminin hareketliliğinden dolayı her 15 round'da bir deformasyonlar, kesitin sağ sol ve üst olmak üzere deformasyon çubukları çakılmış şekilde günlük okumaları yapılarak gözlemlenmiştir.

11-) İnceleme alanındaki tünel kesitinde görünen zemin akması süreksizliklerden dolayı çalışılan formasyonda fil ayaklı iksalar (NPI200) kullanılmıştır.

12-) İnceleme alanındaki tünel içerisinde mevcut formasyonun birimlerinden olan kil ve silt zeminin su almasından kaynaklı olarak makinelerin batma problemi ortaya çıkmış ve bu nedenlerden dolayı özel olarak proje dışı geçici invert yapılarak makinelerin çalıştırılması kolaylaştırılmıştır.

13-) Kazı sırasında oluşan overbreaklerde zemin çivisi pg bulon kullanılmıştır.

14-) Tünel çalışmasının son km'sinden ilk km'sine ölçülen yaklaşık 100 metresinde deformasyonlardan dolayı geriye dönük tekrar ibo bulon uygulaması yapılmış olup, böylelikle tünelin daha sağlam ve kaliteli olması sağlanmıştır.

15-) Yapılan ön jeolojik çalışmalar ve detaylı tünel kesitine bağlı olarak tünel kazısının genelde üstyarı/altyarı ve invert (taban kazısı) şeklinde yapılması uygun görülmüştür.

16-) Üst yarı ile alt yarı arasındaki mesafe ortalama 30 metre ve alt yarı ile invert arasındaki mesafe ise maksimum 30 metredir. Buradaki alt yarı çalışması total olarak tek taraflı ayak kazısı şeklinde yapılmıştır.

17-) Projeye göre her iki klasta da ilerleme boyu alt yarı ve invert ayak kazısı şeklinde uygulanmıştır ve maksimum 2,4 metredir.

18-) Tünelin ilk 50 metresinde palyelerdeki şevlerin hareketliliğinden dolayı, her altı iksa da bir olmak üzere gergi iksaları atılmıştır. Her gergiye toplam altı tane ibo bulon çakılmıştır.

19-) İnceleme alanındaki birimler için tek eksenli mukavemet değerleri ile RocLab programı ile analizlerde kullanılacak Hoek-Brown parametreleri değerlendirilmiştir. İnceleme alanındaki konglomera birimi için RocLab programı kullanılarak analizler yapılmıştır. Birimin birim hacim ağırlığı, literatürden 22 kN/m^3 olarak alınmıştır. Sondajlarda çakıl ve kum olarak değerlendirilen bu birim için mukavemet deneyleri yapılmamıştır. Yapılan SPT deneylerinin çoğunda refü (R) elde edilmiştir. Bu sebeple Konglomera birimi için tek eksenli mukavemet zayıf kaya ile zemin ayrımı olarak düşünülen 1.50 MPa olarak seçilmiştir. Alınan örneklerin dağılması nedeniyle RQD değeri elde edilemediği için, SK 246+415 sondajı ve karot sandığı dikkate alınarak jeolojik yapı ve süreksizlik yüzey durumu ile bir değerlendirme yapılmıştır. İnceleme alanının özellikle yüzey ve yüzeye yakın kesimlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Genelde killi çakıllar-kötü derecelenmiş çakıl, kum, kil karışımları (GC), iyi dereceli çakıl, siltli çakıl (GW-GM) ve yer yer siltli kumlar-kötü derecenmiş kum, kum-silt karışımları niteliğindedir.

20-) Kıltaşı birimi için yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre; Kuru yoğunluk; 1.82–2.25 g/cm³, Nokta Yükleme, Is:0.26–0.39 MPa, Tek Eksenli Mukavemet, UCS:1.76–6.00 MPa, Elastisite Modül:1.90–3.10 GPa aralığında değişmektedir. Kıltaşı biriminin RQD değeri % 0 ve % 50 arasında olup ortalama RQD % 10 olarak hesap edilmiştir. Birimin karot yüzdesi (TCR) % 20 ile % 90 arasında değişmekte olup ortalama karot yüzdesi % 50 olarak hesap edilmiştir. Birimlerin çoğunlukla orta ayrılmış, çok ayrılmış (W3-W4) ve zayıf, orta dayanımlı (R2-R3) durumda olduğu belirlenmiştir.

6. KATKI BELİRTME

Bu tez çalışmasında kullanılan jeoteknik çalışmalar kapsamında yapılan sondaj çalışmaları için İnci Grup Mühendislik'e, laboratuvar çalışmalarında Geoteklab Zemin-Kaya Mekaniği ve Agregal Laboratuvarı'na teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

- AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, *Deprem Dairesi Başkanlığı*, 2017
- Akram, M. and Bakar, M.Z.A., 2007, "Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks", *Pak. J. Engg. Appl. Sci. Vol. 1*.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, I.; 1974, Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, *Norwegian Geotechnical Institute Publication No.106*, Oslo, Norway.
- Barton, N.R., 2002, Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences* 39 (2), 185-216.
- Başarır, H., Ozsan, A. and Karakus, M., 2005, Analysis of support requirements for a shallow diversion tunnel at Guledar dam site, Turkey. *Engineering Geology* 81(2), 131-145.
- Bell, F.G. 1994, Engineering in Rock Mass. Great Britain: Butterworths.
- Bingöl, E., 1977, Muratdağı Jeolojisi ve ana kayaç birimlerinin petrolojisi *Türkiye Jeol. Kur. Bilt. C; XX S: 2*, 1367.
- Bieniawski, Z.T., 1973, Engineering classification of jointed rock masses. *Transactions of the South African Institute of Civil Engineers*, 15 (12), 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications. *New York: Wiley*.
- Bowden, A. J. Lamom-Blick. J., and Ulhutt S., 1998, P»uni load testing of weak rocks with particular reference to chalk. *Quarterly Journal of Engineering* 11, 95-103pp.
- Bozkurt, M., 1969, Tüneller-Ders Notları, *İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul
- Canik, B., 1997, Mühendislik Jeolojisi Ders Notları, *Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü*
- Denek, H. 2003, İstanbul metrosu tünellerinde uygulanan klasik Yeni Avusturya ve boru kemer yöntemlerinin tünel içi ve yüzey deformasyon sonuçlarına göre karşılaştırılması. İstanbul: *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi*.
- Emiroğlu, A., 2010, İstanbul (4. Levent-Hacıosman Arası) Metro Tünelindeki Mühendislik Uygulamaları. *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst.*, Yüksek Lisans Tezi, 139 s., Adana.
- Erguvanlı, K., 1994, "Mühendislik Jeolojisi (5. Basım)", *Seç Yayınları*, 590 s., İstanbul 1994.

- Ercan, T., Dincel, A., Metin, B., Türkecan, A., Günay, E., 1978, Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi *T. J. K. Bülteni*, 21, 97 - 106.
- Ercan, T., Günay, E., Baş, H., Can, B., 1982, Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlanması. *M.T.A. Dergisi*, 97/98, s. 86-101.
- Ertunç, A., 2003, "Mühendislik Jeolojisi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları*, 179 s., Isparta, 2003.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Kayabaşı, A., 2003, Predicting the deformation moduli of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 40, 701– 710.
- Gürocak, Z., 2011, Analyses of stability and support design for a diversion tunnel at the Kapıkaya dam site, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70 (1), 41-52.
- Grimstad, E., Barton, N. 1993, Updating the Q-System for NMT. *Proc. Int. Symp. On Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support*", Fagernes, Kompen, Opsahl, and Berg (Ed), Oslo, Norwegian Concrete Assoc.
- Hamilton, W.J., ve H.E. Strickland, 1841, On the geology of the "Western part of Asia Minor: Transact. Roy. Geol. Soc. London.
- Hoek, E., ve Diederichs, M.S., 2006, Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 43, 203-215.
- Hudson, J.A, 1989, *Rock Mechanics Principles in Rock Engineering Practice*, Butterworths, 1989, p. 72.
- İnci Grup Mühendislik, 2017, Ankara-İzmir Hızlı Tren Projesi Afyonkarahisar-Banaz Kesimi Alt Yapı İnşaatı T4 Tüneli Tünel Raporu
- Judd, W. R. ve Huber, C, 1962, "Correlation of Rock Properties by Statistical Methods", Int.
- Jodl, G., 1995, Skriptum zur Vorlesung, Bauverfahrenstechnik. In: Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Wien
- Karaman, K., Kesimal, A., 2012, Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde nokta yükü deney yöntemleri ve porozitenin değerlendirilmesi, *Madencilik*, 51 (4): 3–14.
- Karayolu Teknik Şartnamesi 2006, Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü Ve Tüneller, Üstyapı Ve Çeşitli İşler, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Karayolları Teknik Şartnamesi 2013, Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler. *Karayolları Genel Müdürlüğü*, 860 s.

- Kaya, A., Bulut, F., Alemdağ, S., and Sayın, A., 2011, Analysis of support requirements for a tunnel portal in weak rock: A case study from Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6 (31), 6566-6583.
- Kendorski, F., 1983, Rock Mass Classification For Block Caving Mine Drift Support in Proc. *5th Int Congr, Rock Mech, Melbourne*, Pp B51-B63 Balkema, Rotterdam.
- Koçak, B., 2006, Yeraltı Kaya Yapılarının Denetimi ve Yönlendirilmesinde Uzaman Sistem Oluşturulması, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Köse, H., Gürgen, S., Onargan, T., 1992, Tünel ve kuyu açma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:145*, İzmir.
- Köse, H., Gürgen, S., Onargan, T., Yenice, H., Aksoy, C. O. 2007, Tünel ve Kuyu Açma. İzmir: *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları No:145*.
- Kun, M., 2010, Zayıf Kayalarda ve Faylı Zonlarda Tünel Açma Tasarım ve Yapım Gereksinmelerinin Araştırılması ve Çözümlemesi *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi* İzmir.
- Krynine, D.; Judd, W., 1957, "Principles of engineering geology and geotechnics", *McGraw-Hill, Washington*.
- Laubscher, D. H., 1977, "Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-Mining Applications", *Trans. Inst., Of Mine Asd Metal, Vol 86*, Pp A 1-8.
- Look B.G. and Griffiths S.G. 2004, "Characterization of rock strengths in south east Queensland" *9th Australia New Zealand conference in Geomechanics, Auckland*, New Zealand,
- MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2015
- Onargan, T., Aksoy, O. C. 2006, İzmir metrosu II. aşama inşaatı tip2 istasyon tünel kazıları değerlendirme ve uygulama projesi öneriler raporu. İzmir: *DEÜ Mühendislik Fakültesi döner sermaye projesi*.
- Onargan, T., Aksoy, C. O., Güngör, T., Küçük, K., Kun, M. 2006, İzmir Metrosu Göztepe-F.Altay istasyonları arası delme tünel kazı ortamı ve tahkimat sistemi değerlendirme etüdü. İzmir: *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi döner sermaye projesi*.
- ÖNORM B 2203, (2001) Underground Works – Works contract, Part 1: Cyclic driving (conventional tunnelling). Austrian Standarts, Salzburg.
- Özsan, B., Başarır, H. 2003, Support Capacity Estimation of a Diversion Tunnel in Weak Rock, *Enginerring Geology*, 68, 319-331
- Phillipson, A., 1913, Reisen und Forschungen in westlichen Kleinasien Heft III, Gotha

- Ramamurthy, T., 2004. A geo-engineering classification for rocks and rock masses. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 41, 89-101.
- RocLab, Hoek-Brown Kriteri ile Kaya Kütle Dayanımı Analiz Proramı, @2002 Rocscience Inc., Canada.
- Sandstrom, G.E., 1963, History of Tunnelling, Barrie and Rockliff, London
- Sarı, D., and Pasamehmetoglu, A.G., 2004, Proposed support design, Kaletpe tunnel, Turkey, *Engineering Geology*, 72, 201- 216.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C., 1992a, The age of the Büyük Menderes graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Magazine*, 129, 239-242.
- Schubert, W. ve Steindorfer, A., 1996b, Advance Monitoring Data Evaluation in Poor. Rock. In G. Barla (ed.) *Proc. ISRM International Symposium EUROCK 96: Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering, Torino, Italy*, 2-5 September 1996; Rotterdam. Balkema, vol. 2, 1041- 1045.
- Şekercioğlu, E., 1993, Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, Ankara
- Tarhan, F., 2002, Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayinevi,, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, III.Baskı, Trabzon
- Terzaghi, K., 1946, Rock Defects and Loads on Tunnel Support. In: Proctor, R. V., White T (eds), *Rock Tunnelling with Steel Support*, 1. Commercial Shearing Co., Youngstown, OH, 15-99.
- Tchihatcheff, P., 1869, *Asie Mineure: Tome IV*, Paris.
- Tokay, M., ve Bayramgil, O., 1941, Uşak kuzeyinde bir kristalen şist kütlesi hakkında, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 1/1, 131-141s. Ankara.
- Topal, T., 2000, “Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamalarda karşılaşılan problemler”, *Jeoloji Mühendisliği* 24(1), 73-86
- Ulusay, R., 2001, “Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler (IV. Baskı)”, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 38, 385 s., 2001.
- Ulusay, R., and Sönmez, H., 2007, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Ünal, E., 1983, Development of Design Guidelines and Roof Control Standards For Coal Mine Roof, *Doktora Tezi Pem. State Üniv., Usa*, 355s.
- Vardar, M., ve Yüzer, E., 1986, “Kaya Mekaniği” , İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Kitap Yayınları No: 11, *İTÜ Maden Fakültesi Ofset Atölyesi*, 187 s., 1986.
- Washington, H.S., 1894, On the basalts of Kula: *Amer. Jour. Sci.*, Vol: 47, p: 114123.

Yıldırım, M., ve Gökaşan, E., 2013, Mühendisler için jeoloji Bilgileri, *Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*

Yılmaz, I.,2007, “Mühendislik Jeolojisi, İlkeler ve Temel Kavramlar”, *Teknik Yayınevi, Mühendislik Mimarlık Yayınları*, 490 s., Kızılay/Ankara, 2007.

Zaruba, Q., ve Mencl, V., 1976, “Engineering Geology”, Elsevier, Amsterdam, 1976.

<https://www.barkomltd.com/tr/urunler/tahkimat-ekipmanlari/ibo-bulon.html>

EKLER

EK-1

T4 Tüneli Giriş-Çıkış Portalleri Sondaj Logları

DERİNLİK / Depth		ÖRNEK		STANDART PENETRASYON TESTİ		PERMEABİLİTE TESTİ		BASINÇLI SU TESTİ		JEOLOJİK TANIMLAMA										
Kaya Çıpa ve Kesik Üç Cıralı Yarıllığı (YAS) m		Numune No	Numune Derinliği (m)	DARBE SAYISI Num. Of Blows	SON 30 cm İÇİN DARBE ADEDİ GRAFİĞİ	SIZMA DEBİSİ (l/dk)	K cırtın	BASINÇ	5 Dak Su Kaybı	10 Dak Su Kaybı	Toplam Kaybı	Lugeon	Ayrışma - Weathering	Dinamik - Strength	Çatlak Sayısı / m	Permeabilite / m	Karot % - Drilling Core %	RQD %	Grafik Log / Graphic Log	JEOLOJİK TANIMLAMA GEOLOGIC DESCRIPTION
1	CR (3.00 m)	1	1.50	5	5	4	9													
2	CR (3.00 m)	2	3.00	3	3	4	7													
3	CR (3.00 m)	3	4.50	4	3	4	7													
4	CR (3.00 m)	4	6.00	5	4	4	8													
5	CR (3.00 m)	5	7.50	4	5	4	9													
6	CR (3.00 m)	6	9.00	11	13	15	28													
7	CR (3.00 m)	7	10.50	12	13	15	28													
8	CR (3.00 m)	8	12.00	10	14	14	28													
9	CR (3.00 m)	9	13.50	14	16	17	33													
10	CR (3.00 m)	10	15.00	50/4																
11	CR (3.00 m)																			
12	CR (3.00 m)																			
13	CR (3.00 m)																			
14	CR (3.00 m)																			
15	CR (3.00 m)																			
KAYA KALİTESİ TANIMI-ROD		AYRIŞMA		DAYANIMLILIK / Strength		KUM VE ÇAKIL İZAFİ SIKLIĞI		KİL - CLAY												
%0-25 Çok Zayıf / V. Poor %25-50 Zayıf / Poor %50-75 Orta / Fair %75-90 İyi / Good %90-100 Çok İyi / Excellent		W1 Ayrışmamış / Fresh W2 Az Ayrışmış / Slightly W. W3 Orta Ayr / Med. Weat. W4 Çok Ayrışmış / Highly W. W5 Tam Ayrışmış / Comp W.		R1= Çok zayıf (very weak) R2= Zayıf (weak) R3= Az dayanımlı (mod strong) R4= Dayanımlı (strong) R5= Çok dayanımlı (very strong)		N= 0-4 Çok gevşek / V. Loose N= 4-10 Gevşek / Loose N= 10-30 Orta Sıkı / Medium Dense N= 30-50 Sıkı / Highly / Dense N= 50-100 Çok Sıkı / V. Dense		N <2 Çok Yumuşak / Fair Mild N 2-4 Yumuşak / Mild N 4-8 Orta Kaba / Mid Fold N 8-15 Sıkı / Stringent N 15-30 Çok Sıkı / Fair Stringent N 30+ Sert / Hard												
PLASTİSİTE-Plasticity		KISALTMALAR-String Attached		ÇATLAK SIKLIĞI- Fracture Frequency																
%0-5 Az Plastik / Slight Plasticity %5-15 Düşük Plastik / Low Plasticity %15-40 Plastik / Plasticity %40- Çok Plastik / High Plasticity		SPT: Standart Penetrasyon Deneyi Standard Pen. Test U: Örselenmiş Numune Disturbed Sample UD: Örselenmemiş Numune Undisturbed Sample		CR: Karot Numunesi Core Sample P: Pressiyometre Deneyi Pressuremeter Test VST: Vane Deneyi Vane Shear Test																
BASINÇSIZ PERMEABİLİTE DENEYİ		GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)		PERMEABİLİTE KATSAYISI		MÜHENDİS														
1. BÖLGE (ZON1) - YAS ÜST BÖLGE K=(1.67 x 10-3 x Q) / Cu re H 2. BÖLGE (ZON2) - KAPILAR BÖLGESİ K=(3.34 x 10-3 x Q) / ((Cs+4m)/re)(Tu+H-A)		3. BÖLGE (ZON3) - YAS ALTINDAKİ BÖLGE K=(1.67 x 10-3 x Q) / Cs+4m/reH Q: Sızma debisi l/dk K: Permeabilite katsayısı, cm/s		<1 Geçirimsiz 1-5 Az Geçirimli 5-25 Geçirimli >25 Çok Geçirimli		<10-4 Geçirimsiz 10-10-4 Az Geçirimli 10-10-3 Yan Geçirimli 10-10-2 Geçirimli >10-2 Çok Geçirimli														
				MÜHENDİS Drilling Engineer İmza/TARİH:Signature/Date Haydar MERDİN Jeoloji Mühendisi																

		TEMEL SONDAJ LOGU		BÖLGE NO	Tünel-4		
		BORING LOG		SONDAJ NO	SK-246+280	SAYFA NO	2
		SONDÖR					
PROJE ADI / Project name		AFYON-BANAZ (UŞAK) YHT PROJESİ					
SONDAJ YERİ / Boring location		Yarma		YERALTI SU SEVİYESİ / Water level		11.60 m	
YENİ/ESKİ KİLOMETRE / Kilometer		Km 246+280		MUH. BOR. DER. / Casing Depth		-	
SONDAJ DERİNLİĞİ / Boring depth		25.00 m		BAŞ. BİT. TAR. / Start-Finish Date		03-04.09.2016	
SONDAJ KOTU / Elevation		1237 m		KOORDİNAT / Coordinate (N-S)-Y		241773	
MAKİNE TİPİ / Rig type		TSM		KOORDİNAT / Coordinate (E-W)-X		4299442	
SONDAJ METODU / Drilling Method		ROTARY		PROJE MÜHENDİSİ		Egemen EROL	
DERİNLİK (m) / Depth	Kuyu Çapı ve Keski Uç Cinsi Yerleştirilme Servisi (YAS) m	ÖRNEK		STANDART PENETRASYON TESTİ Standart Penetration Test		PERMEABİLİTE TESTİ	
		Namune No	Namune Derinliği (m)	Namune Türü	DARBE SAYISI Num. Of Blows	SON 30 cm İÇİN DARBE ADEDİ GRAFİĞİ	SIZMA DEBİSİ (l/s)
16	CR (3.00 m)						
17		11	16.50 16.95	SPT	50/5	R	
18		12	18.00 18.45	SPT	50/3	R	
19	CR (3.00 m)						
20	CR (3.00 m)						
21							
22	CR (3.00 m)						
23	CR (3.00 m)						
24							
25	CR (3.00 m)						
26	CR (3.00 m)						
27							
28	CR (3.00 m)						
29	CR (3.00 m)						
30	CR (3.00 m)						
31	CR (3.00 m)						
32	CR (3.00 m)						
33							
34	CR (3.00 m)						
35	CR (3.00 m)						
36							
15.00-20.00 m Az yuvarlanmış, Çakıl							
20.00-25.00 m Az ayrılmış, kumtaşı							
Kuyu Sonu: 25 m							
49/285							

İNCELİP
MÜHÜRLEME MÜHÜRLEME
Bakırhan 450 Cad 450 Sk No 310 Çankaya/ANKARA
Tel: 0 312 4803300 F. 0 312 4803305
Sicil No: 271111 V.D. No: 418 065 0765
Mersis No: 0418055010000013

EK-2

Laboratuvar Deney Sonuçları

	GEOTEKLAB ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI 1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27 www.geoteklab.com						AB-0945-T Z-000269 10-16	
	DENEY RAPORU <i>Test Report</i>							
	Firma Adı : INCI GRUP							
	Proje Adı : Afyon- Banaz YTH Projesi							
Numune Geliş Tarihi : 07.09.2016				Rapor Tarihi :				
Lab. Kod No : Z-000269								

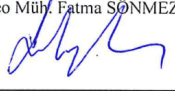
Sondaj/Çukur No		SK-246+280	SK-246+280	SK-246+280	SK-246+280	SK-246+280	SK-246+280	SK-246+280
Numune No								
Derinlik (m)		1,50-1,95	3,00-3,45	4,50-4,95	6,00-6,45	7,50-7,95	9,00-9,45	10,50-10,95
Deney Adı								
*Su İçeriği (TS 1900-1)	(%)	26,2	24,2	26,5	25,7	27,6	17,2	19,1
*Elekt Analizi (TS 1900-1)	75 mm (3 ")	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	63,5 mm (2 1/2 ")	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	50 mm (2 ")	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	37,5 mm (1 1/2 ")	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	25 mm (1 ")	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	19 mm (3/4 ")	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	12,5 mm (1/2 ")	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	81,2	86,6
	9,5 mm (3/8 ")	100,0	100,0	99,4	100,0	100,0	77,1	79,0
	4,75 mm (# 4)	96,9	97,3	97,7	97,7	97,3	70,8	70,3
	2 mm (# 10)	90,7	89,6	91,4	93,3	91,8	64,4	62,7
0,425 mm (# 40)	39,1	31,0	28,3	39,5	34,6	32,0	39,1	
0,075 mm (# 200)	8,1	9,6	8,1	9,5	7,8	19,2	25,9	
Hidrometre Deneyi (TS 1900-1)	Silt (%)							
	Kil (%)							
*Atterberg Limitleri (TS 1900-1, Deney 2C)	Likit Limit (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	Plastik Limit (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	Plastisite İndisi (%)							
Zemin Sınıfı	USCS	SW-SM	SW-SM	SW-SM	SW-SM	SW-SM	SM	SM
*Özgül Ağırlık (TS 1900-1)	Gs							
Birim Hacim Ağırlık (TS 1900-1)	kN/m ³							
*Serbest Basınç Deneyi (TS 1900-2)	q _u (kg/cm ²)							
*Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU) (TS 1900-2)	φ (°)							
	C (kg/cm ²)							
*Konsolidasyon Deneyi (TS 1900-2)	Şişme Yüzdesi (%)							
	Şişme Basıncı(kg/cm ²)							
*Standart Proktor Deneyi (TS 1900-1)	Optimum Su İçeriği (%)							
	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)							
*Modifiye Proktor Deneyi (TS 1900-1)	Optimum Su İçeriği (%)							
	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)							
CBR Deneyi (TS 1900-2)	Yaş (Taşıma Oranı) (%)							
	Şişme (%)							



Mühür
Seal

Tarih
Date
11.10.2016

Deney Sorumlusu
Person in Charge of Test
Jeo Müh. Fatma SÖNMEZ



Laboratuvar Müdürü
Head of Testing Laboratory
Metin ÖZ



Numune Alma Yöntemi:

(*) Deneyler Akreditasyon kapsamındaki deneylerdir.

Proje ve adres bilgileri firma beyanıdır.

Laboratuvarımız tarafından numune alımı gerçekleştirilmemektedir. Deneyler, talep sahibi firma tarafından laboratuvarımızda gerçekleştirilmiştir.

veya gönderilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.

İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir.

GEOTEKLAB
ZEMİN KAYA MEKANİĞİ AGREGA LABORATUVAR
HİZMETLERİ VE MAK. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
 İvedik Org. San. Böl. 1463. Sk. No:52 Y.Mahalle/ANKARA
 Tel: (0312) 394 64 26 Fax: (0312) 394 64 27
 ULUS V. D. No: 394 045 8195

	GEOTEKLAB ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI 1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27 www.geoteklab.com	AB-0945-T Z-000269 10-16
DENEY RAPORU <i>Test Report</i>		
Firma Adı	İNÇİ GRUP	
Proje Adı	Afyon- Banaz YTH Projesi	
Numune Geliş Tarihi	07.09.2016	Rapor Tarihi 10.10.2016
Lab. Kod No	Z-000269	

Sondaj/Cukur No	SK-246+280	SK-246+280					
Numune No							
Derinlik (m)	12,00-12,45	?					
Denev Adı							
*Su İçeriği (TS 1900-1)	(%)	10,4	14,1				
*Elek Analizi (TS 1900-1)	Geçen (%)	75 mm (3 ")	100,0	100,0			
		63,5 mm (2 1/2 ")	100,0	100,0			
		50 mm (2 ")	100,0	100,0			
		37,5 mm (1 1/2 ")	100,0	100,0			
		25 mm (1 ")	100,0	100,0			
		19 mm (3/4 ")	100,0	100,0			
		12,5 mm (1/2 ")	100,0	74,1			
		9,5 mm (3/8 ")	100,0	66,2			
		4,75 mm (# 4)	97,4	57,5			
		2 mm (# 10)	92,3	48,2			
0,425 mm (# 40)	38,0	20,0					
0,075 mm (# 200)	7,6	11,0					
Hidrometre Deneyi (TS 1900-1)	Silt (%)						
	Kil (%)						
*Atterberg Limitleri (TS 1900-1, Deney 2C)	Likit Limit (%)	NP	NP				
	Plastik Limit (%)	NP	NP				
	Plastisite İndisi (%)						
Zemin Sınıfı	USCS	SW-SM	SW-SM				
*Özgöl Ağırlık (TS 1900-1)	Gs						
Birim Hacim Ağırlık (TS 1900-1)	kN/m ³						
*Serbest Basınç Deneyi (TS 1900-2)	q _a (kg/cm ²)						
*Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU) (TS 1900-2)	φ (°)						
	C (kgf/cm ²)						
*Konsolidasyon Deneyi (TS 1900-2)	Şişme Yüzdesi (%)						
	Şişme Basıncı(kg/cm ²)						
*Standart Proktor Deneyi (TS 1900-1)	Optimum Su İçeriği (%)						
	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)						
	Optimum Su İçeriği (%)						
*Modifiye Proktor Deneyi (TS 1900-1)	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)						
	Optimum Su İçeriği (%)						
	Yas (Taşıma Oranı) (%)						
CBR Deneyi (TS 1900-2)	Şişme (%)						

Tarih
Date
11.10.2016

Deney Sorumlusu
Person in Charge of Test
Jeo Müh. Fatma SÖNMEZ

Laboratuvar Müdürü
Head of Testing Laboratory
Metin ÖZ

Numune Adı: **Geoteklab**

(*) Deneyler Akreditasyon kapsamındaki deneylerdir.
Proje ve adres bilgileri firma beyanıdır.
Laboratuvarımız tarafından numune alımı gerçekleştirilmemektedir. Deneyler, talep sahibi firma tarafından laboratuvara teslim edilen veya gönderilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.
Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir.



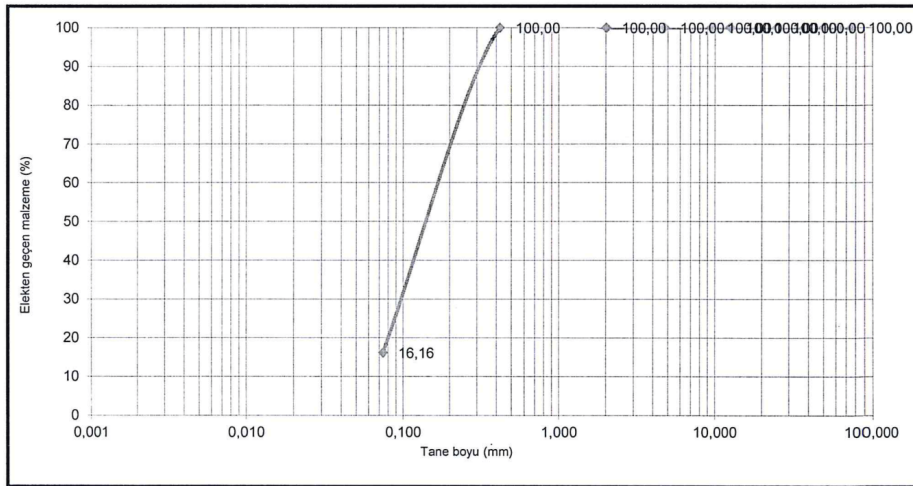
GEOTEKLAB

ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI
1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara
Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27
www.geoteklab.com

Firma Adı : İNCİ GRUP
Proje Adı : Afyon- Banaz YTH Projesi
Numune No : SK-246+415
Derinlik : 13,50-13,95

Başlangıç Tarihi: 20.09.2016
Bitiş Tarihi: 21.09.2016
Deney Standardı: TS 1900 - 1
Lab. Kod No: Z-000269

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU



Elek No	Açıklık (mm)	Toplam elekten geçen (gr)	Elekten geçen (%)
3 "	75	185,90	100,00
2 1/2 "	63	185,90	100,00
2 "	50	185,90	100,00
1 1/2 "	37,5	185,90	100,00
1 "	25	185,90	100,00
3/4 "	19	185,90	100,00
1/2 "	12,5	185,90	100,00
3/8 "	9,5	185,90	100,00
# 4	4,75	185,90	100,00
# 10	2	185,90	100,00
# 40	0,42	185,90	100,00
# 200	0,074	30,05	16,16
Toplam Numune Ağırlığı (gr)		185,9	

Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %
0,00	83,84	16,16

D ₁₀	
D ₃₀	
D ₆₀	
Cu	
Cr	

LL	PL	PI
NP	NP	

İnce malzeme türü	
Zemin Sınıfı (USCS)	SM

FR.104 / 02.10.2015-01

Fatma SÖNMEZ
Deney Sorumlusu-Jeoloji Müh.

427

Metin ÖZ
Laboratuvar Müdürü
GEOTEKLAB ZEMİN KAYA MEKANİĞİ
AGREGA LABORATUVARİZM.
VE MAK. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İvedik Organize San. Bölge 1463. Sok. No:52
Yenimahalle / ANKARA
GSM: 0533. 435 67 66
ULUS V. D. No: 394 045 8195



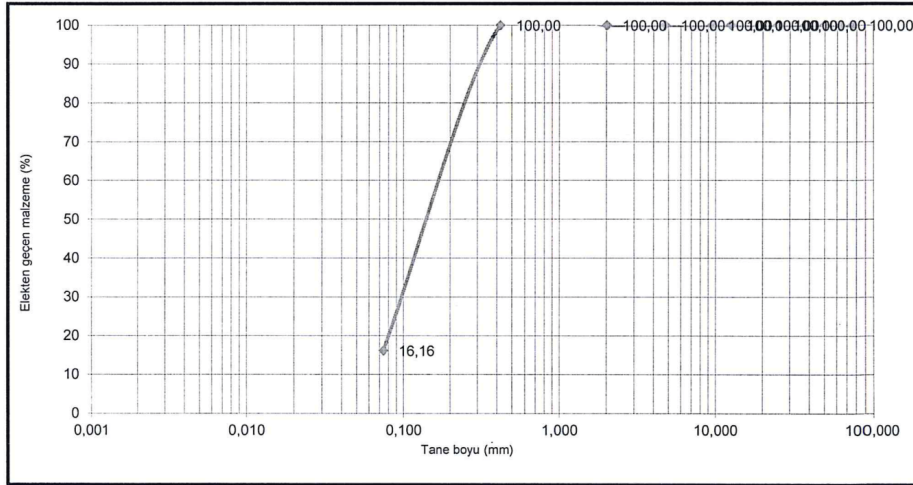
GEOTEKLAB

ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI
1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara
Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27
www.geoteklab.com

Firma Adı : İNCİ GRUP
Proje Adı : Afyon- Banaz YTH Projesi
Numune No : SK-246+415
Derinlik : 13,50-13,95

Başlangıç Tarihi: 20.09.2016
Bitiş Tarihi: 21.09.2016
Deney Standardı: TS 1900 - 1
Lab. Kod No: Z-000269

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU



Elek No	Açıklık (mm)	Toplam elekten geçen (gr)	Elekten geçen (%)
3 "	75	185,90	100,00
2 1/2 "	63	185,90	100,00
2 "	50	185,90	100,00
1 1/2 "	37,5	185,90	100,00
1 "	25	185,90	100,00
3/4 "	19	185,90	100,00
1/2 "	12,5	185,90	100,00
3/8 "	9,5	185,90	100,00
# 4	4,75	185,90	100,00
# 10	2	185,90	100,00
# 40	0,42	185,90	100,00
# 200	0,074	30,05	16,16
		Toplam Numune Ağı (gr)	185,9

Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %
0,00	83,84	16,16

D ₁₀	
D ₃₀	
D ₆₀	
Cu	
Cr	

LL	PL	PI
NP	NP	

İnce malzeme türü	
Zemin Sınıfı (USCS)	SM

FR.104 / 02.10.2015-01

Fatma SÖNMEZ
Deney Sorumlusu-Jeoloji Müh.

427

Metin ÖZ
Laboratuvar Müdürü
GEOTEKLAB ZEMİN KAYA MEKANİĞİ
AGREGA LABORATUVARI HİZM.
VE MAK. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İvedik Organize San. Bölge 1463. Sok. No:52
Yenimahalle / ANKARA
GSM: 0533. 435 67 66
ULUS V. D. No: 394 045 8195



GEOTEKLAB

ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI
1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara
Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27
www.geoteklab.com

Firma Adı : İNCİ GRUP
Proje Adı : Afyon-Banaz YHT Projesi
Sondaj No : SK-247+000
Numune Derinliği : 13,00-13,50

Başlangıç Tarihi: 01.10.2016
Bitiş Tarihi: 07.10.2016
Deney Standardı: ISRM/TS 2030
Lab. Kod No: Z-000269

TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI VE ELASTİSİTE MODÜLÜ DENEY RAPORU

Numune çapı (cm)	4,70
Numune boyu (cm)	10,80
Numune ağırlığı (gr)	320,25
Numune alanı (cm ²)	17,35
Numune hacmi (cm ³)	187,37
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	1,709
Özgül Ağırlık	2,542
Boşluk Oranı (e)	0,49
Porozite (n)%	32,76
Kırılma yükü (kg)	371
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	21,4
Elastisite Modülü (GPa)	0,7
Poisson Oranı (ν)	0,36

Fatma SÖNMEZ
Deney Sorumlusu-Jeoloji Müh.

Metin ÖZ
Laboratuvar Müdürü

GEOTEKLAB
ZEMİN KAYA MEKANİĞİ AGREGA LABORATUVARI
HİZMETLERİ VE MAK. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İvedik Org. San. Bölge 1463. Sk. No 52 Y. Mahalle/ANKARA
Tel: (0312) 394 64 26 Fax: (0312) 394 64 27
ULUS V. D. No: 394 045



GEOTEKLAB

ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI
1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara
Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27
www.geoteklab.com

Firma Adı : İNCİ GRUP
Proje Adı : Afyon-Banaz YHT Projesi
Sondaj No : SK-247+000
Numune Derinliği : 15,00-16,50

Başlangıç Tarihi: 01.10.2016
Bitiş Tarihi: 07.10.2016
Deney Standardı: ISRM/TS 2030
Lab. Kod No: Z-000269

TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI VE ELASTİSİTE MODÜLÜ DENEY RAPORU

Numune çapı (cm)	4,70
Numune boyu (cm)	9,30
Numune ağırlığı (gr)	388,26
Numune alanı (cm ²)	17,36
Numune hacmi (cm ³)	161,42
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,405
Özgül Ağırlık	2,531
Boşluk Oranı (e)	0,05
Porozite (n)%	4,97
Kırılma yükü (kg)	4262,5
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	245,6
Elastisite Modülü (GPa)	16,6
Poisson Oranı (ν)	0,32

Fatma SÖNMEZ
Deney Sorumlusu-Jeoloji Müh.

Metin ÖZ
Laboratuvar Müdürü

GEOTEKLAB
ZEMİN KAYA MEKANİĞİ AGREGA LABORATUVAR
HİZMETLERİ VE MAK. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İvedik Org. San. Böl. 1463. Sk. No:52 Y.Mahalle/ANKARA
Tel: (0312) 394 64 26 Fax: (0312) 394 64 27
ULUS V. D. No: 394 045



GEOTEKLAB

ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI
1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara
Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27
www.geoteklab.com

Firma Adı : İNCİ GRUP
Proje Adı : Afyon-Banaz YHT Projesi
Sondaj No : SK-247+300
Numune Derinliği : 32,00-34,00

Başlangıç Tarihi: 16.09.2016
Bitiş Tarihi: 26.09.2016
Deney Standardı: ISRM/TS 2030
Lab. Kod No: Z-000269

TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI VE ELASTİSİTE MODÜLÜ DENEY RAPORU

Numune çapı (cm)	4,70
Numune boyu (cm)	9,35
Numune ağırlığı (gr)	380,14
Numune alanı (cm ²)	17,35
Numune hacmi (cm ³)	162,22
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,343
Özgül Ağırlık	2,544
Boşluk Oranı (e)	0,09
Porozite (n)%	7,89
Kırılma yükü (kg)	638,5
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	36,8
Elastisite Modülü (GPa)	
Poisson Oranı (ν)	

Fatma SÖNMEZ
Deney Sorumlusu-Jeoloji Müh.

Metin ÖZ
Laboratuvar Müdürü

GEOTEKLAB
ZEMİN KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI
HİZMETLERİ VE MAK. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İvedik Örg. San. Böl. 1463. Sk. No:52 Yenimahalle/ANKARA
Tel: (0312) 394 64 26 Fax: (0312) 394 64 27
ULUS V. D. No: 394 04F



GEOTEKLAB

ZEMİN - KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVARI
1463 Sok. No : 52 İvedik OSB Yenimahalle / Ankara
Tel : 0 312 394 64 26 Faks : 0 312 394 64 27
www.geoteklab.com

Firma Adı : İNCİ GRUP
Proje Adı : Afyon-Banaz YHT Projesi
Sondaj No : SK-247+300
Numune Derinliği : 40,00-42,00

Başlangıç Tarihi: 16.09.2016
Bitiş Tarihi: 26.09.2016
Deney Standardı: ISRM/TS 2030
Lab. Kod No: Z-000269

TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI VE ELASTİSİTE MODÜLÜ DENEY RAPORU

Numune çapı (cm)	4,70
Numune boyu (cm)	9,30
Numune ağırlığı (gr)	380,47
Numune alanı (cm ²)	17,35
Numune hacmi (cm ³)	161,35
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,358
Özgül Ağırlık	2,528
Boşluk Oranı (e)	0,07
Porozite (n)%	6,72
Kırılma yükü (kg)	2463,6
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	142,0
Elastisite Modülü (GPa)	
Poisson Oranı (ν)	

Fatma SÖNMEZ
Deney Sorumlusu-Jeoloji Müh.

Metin ÖZ
Laboratuvar Müdürü

GEOTEKLAB
ZEMİN KAYA MEKANİĞİ VE AGREGA LABORATUVAR
HİZMETLERİ VE MAK. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
Edik Org. San. Böl. 1463. Sk. No:52 Yenimahalle/ANKARA
Tel: (0312) 394 64 26 Fax: (0312) 394 64 27
ULUS V. D. No: 394 04*

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdulselam TEKİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman
Telefon : 0534 896 87 41
Faks : -
e-mail : tekinselam@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Yabancı Dil Ağırlıklı Lise-BATMAN	2008
Üniversite	: Tunceli Üniversitesi-TÜNCELİ	2014
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı	Devam ediyor.
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Batman Bölge Müdürlüğü 30 iş günü Staj, TPAO-2012
- Akşar regülatörü ve nazar hes projesi iletim tünelleri yapım işi, DSİ-2014/2015
- Midyat ve çevresinin mikrobölgelendirilmesi ve zemin etüt çalışmaları İLBANK-2015
- Afyon Uşak karayolunun yol, tünel ve köprülül kavşak çalışması, KGM-2016
- Polatlı Afyonkarahisar yüksek hızlı tren T1 ve T2 tünellerinin yapım işi, TCDD-2016
- Afyonkarahisar İzmir hattının Uşak Banaz üçüncü kesim yüksek hızlı tren alt yapı işi, TCDD-2016/2017
- Ankara Sivas Yerköy yüksek hızlı tren üçüncü kesim altyapı ve tünel yapım işi TCDD-2018
- Nurdağı – Başpınar Arası Yeni Demiryolu Hattı Yapım işi, TCDD-2018
- Ankara-İzmir Hızlı Tren Projesi Ankara(Polatlı)- Afyonkarahisar kesimi Alt Yapı inşaat işi ve Güvenlik Tünelleri Yapım işi, TCDD- 2019

- Yeniköprü-yüksekova Yolu (Km:0+000-16+267,758 ve Yüksekova Çevre Yolu (km:0+000-7+257 arası kesim işi, KGM-2019

UZMANLIK ALANI : Zemin Mekaniği- Jeoteknik,Uygulamalı jeoloji,mühendislik jeoloji

YABANCI DİLLER : İngilizce: Okuma: iyi, Yazma: iyi, Konuşma:İyi