



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKŞAR REGÜLATÖRÜ VE NAZAR (BİTLİS) HES
PROJESİ KAPSAMINDA ZAYIF KAYAÇ
KOŞULLARINDA AÇILAN T-2 İLETİM TÜNELİNDE
KARŞILAŞILAN DURAYSIZLIKLAR.**

TAYLAN BOZDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2016

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKŞAR REGÜLATÖRÜ VE NAZAR (BİTLİS) HES
PROJESİ KAPSAMINDA ZAYIF KAYAÇ
KOŞULLARINDA AÇILAN T-2 İLETİM TÜNELİNDE
KARŞILAŞILAN DURAYSIZLIKLAR

TAYLAN BOZDOĞAN

Bu tez,
Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2016

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Taylan BOZDOĞAN tarafından hazırlanan “AKŞAR REGÜLATÖRÜ VE NAZAR (BİTLİS) HES PROJESİ KAPSAMINDA ZAYIF KAYAÇ KOŞULLARINDA AÇILAN T-2 İLETİM TUNELİNDE KARŞILAŞILAN DURAYSIZLIKLAR” adlı bu tez, jürimiz tarafından 03/12/2016 tarihinde oy birliği ile Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ahmet ÖZBEK (DANIŞMAN)

Jeoloji Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail DİNÇER (ÜYE)

Jeoloji Müh.

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Alican KOP (ÜYE)

Jeoloji Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Doç.Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Taylan BOZDOĞAN



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:../.-... YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**AKŞAR REGÜLATÖRÜ VE NAZAR (BİTLİS) HES PROJESİ KAPSAMINDA
ZAYIF KAYAÇ KOŞULLARINDA AÇILAN T-2 İLETİM TÜNELİNDE
KARŞILAŞILAN DURAYSIZLIKLAR
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

TAYLAN BOZDOĞAN

ÖZET

Ülkemizde enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte yüzey sularından yararlanmak ve enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla çok sayıda baraj inşa edilmektedir. Bu barajlar hem sulama hemde enerji üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca baraj yapımı sırasında derivasyon ve enerji tüneli gibi çok sayıda tünel yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Jeolojik yapı, petrografik ve kimyasal özellikler, süreksizlikler ve bozunma derecesi kayaların jeomekanik özelliklerini denetleyen başlıca faktörlerdir. Bundan dolayı yeraltında açılacak tünellerde kazı güvenliğinin sağlanması ve maliyetin en aza indirilmesi için kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Kaya kütle özelliklerinin belirlenmesine yönelik günümüzde görgül, nümerik ve ölçüme gözleme dayanan çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Birbirlerine göre farklı avantaj ve dezavantajlara sahip bu yöntemler proje yeri seçimi kazı çalışmaları sırasında projenin uygulanabilirliği, maliyeti ve güvenliği açısından belirleyici rol oynamaktadır.

Bu tez kapsamında Bitlis Sutopu deresi üzerinde yapımı devam eden Nazar Hidroelektrik Santral enerji ve iletim tünelleri jeoteknik ve jeolojik açıdan değerlendirilerek, tünel içerisinde zayıf zemin koşullarına bağlı oluşan göçükler ve bu göçüklerin önlenmesine yönelik uygulanan destek yöntemleri incelenecektir. Tez konusunu oluşturan Nazar Hidroelektrik Santral iletim tünelinin Güzergâhında sırasıyla Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu, Bitlis grubu birliğine ait Orta-Üst Devoniyen yaşlı şistli kuvarsit, kuvarslı mermer ve klorit şistlerden oluşan Arpik formasyonu ve Bitlis grubu birliğine ait Üst Proterozoyik-Alt Paleozoyik yaşlı mermer, fillat, metaşeyl, mikaşist, arjilit ve pritli kuvarsitlerden oluşan Kuytu formasyonu yer almaktadır.

Enerji ve İletim tünelinin yapılacağı alanın 1/1000 ölçekli uygulama imar planına esas olan mühendislik jeolojisi haritası ve jeolojik kesitler saha çalışmalarıyla, birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ise laboratuvar çalışmalarıyla belirlenecektir. Akşar Regülatör ve Nazar Hidroelektrik Santral enerji ve iletim tünelinin jeoteknik değerlendirmesi kapsamında kaya kütesinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Hoek Brown yenilme kriteri ve kaya kütesinin sınıflandırılması amacıyla ise RMR (Kaya kütle oranı) ve Q (kaya yapısı oranlaması) sınıflama sisteminden yararlanılacaktır. Bununla birlikte tünel açımı sırasında zayıf zemin koşullarına bağlı olarak yer yer aşırı sökümler ve göçükler meydana gelmektedir. Bu çalışma ile tünel kazısı sırasında oluşan göçüklerin mekanizması ve bu zonların geçilebilmesi için uygulanan iyileştirme yöntemleri açıklanacaktır.

Bu tip zayıf zemin koşullarında açılan tünellerde elde edilen deneyim ve tecrübe sayesinde ileride yapılacak benzer zemin koşullarına sahip mühendislik projeleri için önemli bir veri tabanı oluşturacağı düşünülmektedir. Açılacak tünellerde bu tür problemleri önceden tahmin ederek tünel kazısı sırasında olası göçüklerin önlenmesi için ne tür destek sınıfı ve elemanlarının kullanılabileceği tespit edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik Santral Projesi, T2 İletim Tüneli

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Aralık / 2016

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÖZBEK

Sayfa sayısı: 89

**INSTABILITY PROBLEMS IN T-2 TRANSMISSION TUNNELS OF THE AKSAR
REGULATOR AND NAZAR (BITLIS) HEPP PROJECT OPENED IN WEAK
ROCKS (M.Sc. THESIS)**

TAYLAN BOZDOĞAN

ABSTRACT

Numerous dams are being built in order to make use of the surface waters and to meet the energy need together with the increase of energy need of our country. These dams are used for both irrigation and energy production. In addition, during the construction of the dam, a large number of tunnels, such as a derivation and an energy tunnel are required. The geological structure, petrographical and chemical properties, discontinuities and weathering are the main factors controlling the geomechanical properties of the rocks. Therefore, it is very important to determine the properties of rock masses in order to ensure excavation safety in the tunnels to be opened underground and to minimize the cost. Today, very different methods based on empirical, numerical and measurement-observation are used to determine rock mass properties. These methods, which have different advantages and disadvantages according to each other, have a decisive role in project site selection, in terms of applicability, cost and safety of the project during excavation works.

In this thesis, Nazar Hydroelectric Power Plant energy and transmission tunnels which are under construction on the Bitlis Sutopu River, will be evaluated in terms of geotechnical and geological aspects, and the support methods applied to the prevention of collapse that evolved due to weak ground conditions in the tunnel, will be examined. The Nazar Hydroelectric Power Plant transmission tunnel route, which is the subject of this thesis contains Quaternary alluvium and colluvium, Middle-Upper Devonian quartz schist, quartz bearing marble and chlorite schist of Arpik Formation and Upper Proterozoic-Lower Paleozoic marble, phyllite, metashale, micaschist, argillite and pyritized quartz of Kuyt Formation of Bitlis Group.

The engineering geology map and geological sections of the area where the Energy and Transmission tunnel will be constructed, basis of the 1/1000 scaled application development plan, will be determined by field studies and the physical and mechanical properties of geologic units of the study area will be determined by laboratory studies.

Within the scope of the geotechnical evaluation of the Akşar Regulator and Nazar Hydroelectric Power Plant energy and transmission tunnel, Hoek Brown failure criteria will be used in order to determine the strength and deformation properties of rock mass, and for the classification of rock mass, the RMR (Rock mass ratio) and Q (rock structure ratio) classification system will be used. However, there were excess dismantling and collapse due to poor ground conditions, during tunnel opening. This study will explain the mechanism of the collapse formed during the tunnel excavation and the remediation methods applied to pass these zones.

The experience gained from tunnel opened this type poor soil condition, will make an important database for engineering projects to be made in the future within similar ground conditions. With the prediction of these type problems in opened tunnels, types of support systems and elements that used for avoiding possible collapse during tunnel excavation will be determined.

Key words: Hydroelectric Project, T2 transmission tunnel

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Engineering, December / 2016

Supervisor: Doç. Dr. Ahmet ÖZBEK

Page Numbers: 89

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması sűresince engin bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıđım ve çalıőmamın her aőamasında sađladıđı bilimsel katkılardan dolayı danıőman hocam Doç. Dr. Ahmet ŐZBEK'e, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandıđım tűm bűlűm hocalarıma, tűm çalıőmalarım sűresince deđerli gűrűő ve fikirlerini benimle paylaőan Arő. Gűr. Samime ŐENER'e ve meslektaőım Yűcel DEMİRCAN'A teőekkűr ederim.

Son olarak, bu gűnlere gelmemde her tűrlű maddi ve manevi desteklerini gűrdűđűm aileme ve eőime sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
EKLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE METOT	6
3.1. Materyal	6
3.2. Metot	6
3.2.1. Büro çalışmaları	6
3.2.2. Arazi çalışmaları	7
3.2.3. Tez yazımı ve değerlendirme	7
3.2.4. Kaya kütlesi özelliklerinin belirlenmesinde Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü	7
3.2.4.1. Sağlam kaya özellikleri	9
3.2.4.2. Jeolojik dayanım indeksinin GSI belirlenmesi	10
3.2.4.3. Mohr-Coulomb parametreleri	14
3.2.4.4. Elastisite modülü	16
3.2.5. Kaya kütlesi sınıflama sistemleri	17
3.2.5.1. RMR sınıflaması	18
3.2.5.1.1. Desteksiz durma süresi	21
3.2.5.1.2. Desteksiz basıncı	22
3.2.5.2. Q sınıflaması	23
3.2.5.2.1. Destek kategorileri	30
3.2.6. T2 iletim tüneline uygulanan kazı destek sistemleri	30
3.2.7. T2 tüneline uygulanan destek elemanları	36
3.2.7.1. Püskürtme beton uygulaması	36
3.2.7.2. Hasır çelik uygulaması	36
3.2.7.3. Kaya bulonları uygulaması	37
3.2.7.4. Çelik iksa uygulaması	37
3.2.7.5. Süren uygulaması	37
3.2.8. Test ve ölçüm cihazları	38

3.2.9. Tez yazım çalışmaları	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Nazar HES T2 İletim Tüneli.....	39
4.1.1. Genel jeoloji	40
4.1.1.1. Gökçimen formasyonu (Pg).....	41
4.1.1.2. Kuytu formasyonu (Pk)	41
4.1.1.3. Arpik formasyonu (Pa.....	42
4.1.1.4. Çadırdağı grubu (Pç.....	43
4.1.1.4.1. Gelintaş formasyonu (Pçg).....	46
4.1.1.4.2. Nipin formasyonu	46
4.1.1.4.3. Kerzeyil formasyonu	47
4.1.1.4.4. Benekli formasyonu	47
4.1.1.4.5. Bacavan formasyonu	48
4.1.1.4.6. Lahtandere formasyonu	48
4.1.1.4.7. Sit formasyonu	48
4.1.1.4.8. Tilkikayası formasyonu	49
4.1.1.5. Alüvyon (Qal).....	49
4.1.2. Yapısal jeoloji.....	49
4.1.3. Depremsellik.....	51
4.1.4. Tünel güzergahının jeolojisi.....	52
4.1.5. Mühendislik jeolojisi özellikleri.....	52
4.1.5.1. Araştırma sondajları.....	52
4.1.5.2. Hidrojeoloji.....	53
4.1.5.3. Tünel destek sınıflaması ve tasarım parametreleri.....	54
4.1.5.4. Nazar HES T2 iletim tüneli destekleme sistemi.....	59
4.2. Tünel İçersinde Oluşan Duraysızlıklar ve Çözüm Önerileri	59
4.2.1. Km: 0+087-0+115 arasında oluşan göçük nedeni ve yapılan iyileştirmeler. 59	
4.2.2. Km: 0+950-0+975 arasında oluşan göçük nedeni ve yapılan iyileştirmele... 64	
4.2.3. Km: 1+055-1+065 arasında oluşan göçük nedeni ve yapılan iyileştirmele... 68	
4.2.4. Km: 1+200-1+235 arasında oluşan göçük nedeni ve yapılan iyileştirmele... 72	
4.2.5. Km: 1+245-1+280 arasında oluşan göçük nedeni ve yapılan iyileştirmele... 76	
5. SONUÇLAR.....	83
KAYNAKLAR.....	84
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. İnceleme alanının yerbulduru haritası	2
Şekil 1.2. İnceleme alanına ait Google Earth görüntüsü.....	3
Şekil 3.1. Sağlam ve masif kaya kütlesi ile foliasyonlu-laminalı makaslanmış kayaçları da içerecek şekilde yeniden düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi	12
Şekil 3.2. Hoek- Brown, Mohr-Coulomb kriteri için maksimum ve minimum asal gerilme arasındaki ilişki.....	14
Şekil 3.3. GSI ve M_i sabitinin farklı değerlerine bağlı olarak etkin kohezyon (a) ve etkin içsel sürtünme açısının (b) değişimi	15
Şekil 3.4. Farklı kayaç malzemesi dayanımlarına göre kaya kütlelerinin deformasyon modülü ile GSI arasındaki ilişki	16
Şekil 3.5. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde bazı parametreler için puan belirleme grafikleri	19
Şekil 3.6. RMR kaya kütlesi sınıflamasına göre desteksiz durma süresi ve tavan açıklığı arasındaki ilişki	21
Şekil 3.7. Q kaya kütlesi sınıflama sistemi destekleme türleri	27
Şekil 3.8. Tip I sağlam kaya koşullarındaki tahkimat sistemi	29
Şekil 3.9. Tip II iyi kaya koşullarındaki tahkimat sistemi	30
Şekil 3.10. Tip III orta kaya koşullarındaki tahkimat sistemi	31
Şekil 3.11. Tip IV zayıf kaya koşullarındaki tahkimat sistemi	32
Şekil 3.12. Tip V çok zayıf kaya koşullarındaki tahkimat sistemi	33
Şekil 4.1. T2 iletim tüneli kesit görünümü	36
Şekil 4.2. T2 iletim tüneli çıkış yapısı genel görünümü	37
Şekil 4.3. İnceleme alanının jeolojik haritası	39
Şekil 4.4. Proje alanına ilişkin genelleştirilmiş stratigrafik kesit	40
Şekil 4.5. Bitlis iline etkisi olabilecek önemli faylar	46
Şekil 4.6. Bitlis ilinin deprem bölgeleri haritası	47
Şekil 4.7. Sağlam veya masif kaya kütlesi ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaçları da içerecek şekilde yeniden düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi	51

Sayfa No

Şekil 4.8. Hoek-Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi parametreleri	52
Şekil 4.9. Tip V çok zayıf kaya koşullarında uygulanan destek sistemi	55
Şekil 4.10. T2 tüneline göçük nedeniyle tünel içerisine akan malzemenin genel görünümü	56
Şekil 4.11. T2 tüneline km:0+087-0+115 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti.....	57
Şekil 4.12. T2 tüneline göçük nedeniyle yüzeyde oluşan bacanın görünümü	58
Şekil 4.13. T2 tüneline göçük bölgesine uygulanan destekleme paterni	59
Şekil 4.14. T2 tüneline göçük bölgesine dolgu beton ve şemsiye kazığı uygulaması	59
Şekil 4.15. T2 tüneline göçük zonlarında akan malzemenin görünümü	61
Şekil 4.16. T2 tüneline km:0+950-0+975 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti.....	62
Şekil 4.17. T2 tüneline göçük alanına yapılan enjeksiyon uygulaması	63
Şekil 4.18. T2 tüneline şemsiye kazık uygulaması	63
Şekil 4.19. T2 tüneline göçük sonrası kazı aynası ve göçük malzemesinin görünümü	65
Şekil 4.20. T2 tüneline km:1+055-1+065 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti.....	66
Şekil 4.21. T2 tünel aynasında şemsiye kazığı montajı	67
Şekil 4.22. T2 tüneline göçük bölgesinde parçalı iksa montajı	67
Şekil 4.23. T2 tünel aynasında meydana gelen göçük	69
Şekil 4.24. T2 tüneline km:1+200-1+205 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti.....	70
Şekil 4.25. T2 tüneline dolgu beton öncesi çelik boru montajı	71
Şekil 4.26. T2 tüneline şemsiye kazığı montajı	71
Şekil 4.27. T2 tüneline oluşan göçüğün görünümü	73
Şekil 4.28. T2 tüneline IPN 160'lık iksa uygulaması	73
Şekil 4.29. T2 tüneline ayna üzerine dolgu beton uygulaması	75
Şekil 4.30. T2 tüneline km:1+267-1+263 arasında oluşan göçüğün görünümü	76

Sayfa No

Şekil 4.31. T2 tüneline km:1+280-1+270 arasında enjeksiyon uygulaması 77

Şekil 4.32. T2 tüneline km:1+245-1+280 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti..... 78



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Tek eksenli sıkışma dayanımının arazi sınıflandırılması	10
Çizelge 3.2. Kayaç malzemesi için Mi sabitinin değeri	11
Çizelge 3.3. RMR sınıflama parametreleri	17
Çizelge 3.4. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde bazı parametreler için puan belirleme tablosu	20
Çizelge 3.5. RMR sınıflamasında eklem yönelimine göre düzeltim	20
Çizelge 3.6. RMR sınıflamasında tünelde eklem ve eğim yönünün etkisi	20
Çizelge 3.7. RMR sınıflamasına göre kaya kalite değerleri ve nicelik anlamları	21
Çizelge 3.8. RQD kaya kalite göstergesi tanımı	21
Çizelge 3.9. Eklem takım sayısı	22
Çizelge 3.10. Eklem pürüzlük sayısı	23
Çizelge 3.11. Eklem alterasyon sayısı	23
Çizelge 3.12. Eklem su azaltma faktörü	24
Çizelge 3.13. Gerilme azaltma faktörü	25
Çizelge 3.14. ESR değerinin mühendislik yapılarına göre belirlenmesi	26
Çizelge 4.1. T2 tüneli güzergahında açılan sondaj kuyularının koordinat ve derinlikleri	49
Çizelge 4.2. T2 iletim tüneli RMR sınıflaması	53
Çizelge 4.3. T2 iletim tüneli Q sınıflaması	54

EKLER DİZİNİ

Ek 1. T2 iletim tüneline açılan sondaj logları

Ek 2. T2 iletim tüneli jeolojik açılım haritası



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

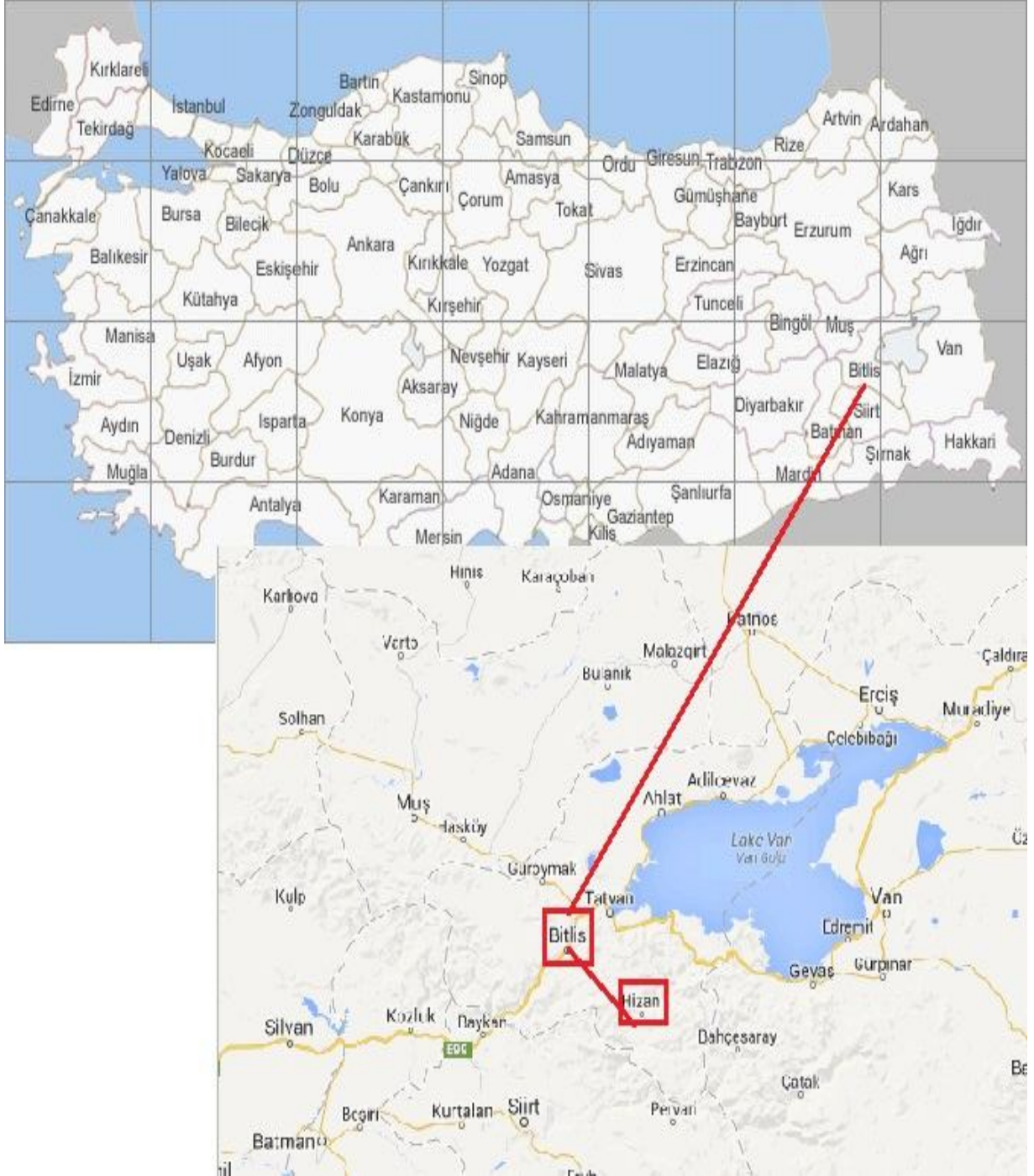
σ'_1 ve σ'_3	: Yenilme anındaki maksimum ve minimum efektif gerilmeler
m_b	: Kaya kütleleri için Hoek-Brown sabiti
s ve a	: Kaya kütle karakteristiklerine bağlı sabitler
σ_{ci}	: Sağlam kaya parçasındaki tek eksenli basınç dayanımı.
σ_n	: Normal efektif gerilme
σ_{tm}	: Kayaç kütlelerinin çekme dayanımı
GSİ	: Jeolojik dayanım indeksi
E_i	: Elastisite modülü
E_M	: Kaya kütlelerinin yerindeki deformasyon modülü
σ_{ci}	: Sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı
RC	: Azaltma faktörü
RQD	: Kaya kalitesi yüzdesi
HES	: Hidroelektrik santral
P	: Destek basıncı (kN/m ²)
γ	: Kayacın birim hacim ağırlığı (kN/m ³)
B	: Tünelin genişliği (m)
J_n	: Süreksizlik (eklem) takım sayısı
J_r	: Süreksizlik pürüzlülük sayısı
J_w	: Süreksizlik suyu durumu
J_a	: Süreksizlik ayrışma durumu
SRF	: Sistemdeki gerilme durumunun
L	: Uzunluk (m)
H	: Kazı boyu (m)
P_{tavan}	: Sürekli tavan tahkimatı basıncı (kg/cm ²)

1.GİRİŞ

Özellikle zayıf kaya koşullarında, fay zonu ve düşük kohezyona sahip zeminler içerisinde açılan tünellerde çeşitli duraysızlık sorunları yaşanmaktadır. Schuber and Steindorfer (1996) kaya kütlelerinin düşük dayanımı, yüksek deformasyona uğrama özelliği ve heterojenliği tünel performansının tahminindeki en önemli zorluklara işaret ettiğini belirtmiştir. Bundan dolayı tünel içerisinde zayıf zonlarda meydana gelen duraysızlık problemlerinin aşılması için yeni ek destekleme sistemi veya elamanlarının devreye sokulması zorunlu hale gelmektedir. Zayıf zeminlerde açılan tüneller oluşan duraysızlık problemleri ile ilgili Kovari and Staus (1996), Schubert (1996), Brox ve Hagedorn (1999), Kılıç (2000), Dalgıç (2002), Aydın at al. (2003), Vahed at al. (2011), Grunick at al. (2013), Bagherpour (2016) tarafından benzer çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma Akşar regülatörü ve Nazar HES projesi bünyesinde inşa edilen T-2 iletim tüneline zayıf zemin koşullarına bağlı olarak tünel kazısı sırasında oluşan göçük zonlarının nedenleri ve iyileştirme çalışmalarını kapsamaktadır.

Akşar Regülatörü ve Nazar HES Projesi, Bitlis il merkezi güneydoğusunda, Van Gölü'nün güneyinde yer alan Hizan İlçesine bağlı Akşar Belediyesi sınırları içerisinde Sutopu Deresi üzerinde 1025-1125 m kotları arasında planlanan hidroelektrik enerji projesidir (Şekil 1). Proje alanı Doğu Anadolu Bölgesinde Bitlis İli Hizan İlçe sınırları içerisinde 1/25000 ölçekli VAN-L48-c2 no' lu paftada, Hizan İlçesinin 7 km güneydoğusunda yer almaktadır. Nazar HES bünyesinde Akşar regülatörüne su sağlamak amaçlı inşa edilen T-2 iletim tüneli 1270 m uzunluğunda, 5 m iç çapa sahip olup, dışı modifiye At Nalı, içi At Nalı kesitlidir. Tünel kazısı genel olarak iş makineleri ile yapılmıştır. Tam kesit yapılan kazı çalışmaları sonrasında destekleme elemanları olarak püskürtme beton, kaya bulonu, çelik iksa, enjeksiyonlu süren, çelik hasır kullanılmıştır.

1270 m uzunluğundaki T-2 iletim tüneli mermer, mikaşıst, kuvarsit, metaşeyl arıdanması ile grafit, grafit şist birimlerinden oluşan Kuytu Formasyonu içerisinde açılmıştır. Tünel kazı çalışmaları sırasında zayıf zemin koşulları ve yapım (destekleme vb) hatalarından kaynaklı 12 farklı bölgede göçük şeklinde tünel içerisine doğru malzeme akışları olmuştur. Çoğunlukla göçükler grafit şistler ve bunun içerisinde damar şeklinde sokulum gösteren kuvarsit parçaları su ile birlikte tünel içerisine doğru akmıştır.



Şekil 1.1. İncelme alanı yerbuldur haritası (www. Türkiye Rehberi 2016)



Şekil 1.2. İncelme alanına ait Google Earth görüntüsü

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Oyan ve Özdemir (2012), Yolcular Metamorfitlerinde (Bitlis Masifi) K-Feldispatça Zengin Aplit Dayklarının K-Feldispat Kaynağı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla alınan örnekler üzerinde kimyasal analizler gerçekleştirmişlerdir. Bu veriler ışığında aplit dayklarının K-feldispat bakımından zengin olduklarını gösterebilirler, yüksek SiO₂ ve Fe₂O₃ içeriklerinden dolayı endüstriyel açıdan kullanılabilirlikleri için zenginleştirilmeleri gerektiğine işaret etmişlerdir. Aplit daykları üzerinde yaş manyetik ayırma ve flotasyon deneyleri yapılmış ve flotasyon ile endüstrinin talebine uygun konsantre ürün üretilebileceğini belirtmişlerdir.

Altınlı (1966) Doğu ve Güneydoğu Anadolu'yu sınırları içerisinde alan 1:500 000 ölçekli Van, Cizre ve Erzurum paftalarının jeolojisini çalışmıştır. Bu çalışmada Stratigrafi, yapı, magmatizma, jeomorfolojik v.b. özelliklere göre (1) Masifler; (2) Ortotektonik Bölge veya kuzeyden güneye İranid, Torid ve Anatolid tâli kuşaklarıyla birlikte Fliş Bölgesi; (3) Paratektonik Bölge veya Kenar Çukuru veya Kenar Kıvrımları Bölgesi tarzında üçüzlü tektonik bölüm olmak üzere 3 ayrı biçimde açıklamıştır. İranid, Torid ve Anatolid şeklindeki boyuna tektonik unsurlar ile enine birinci derecedeki Van eksen yükselimi

olduğu tespit edilmiş. Güneydoğu Anadolu'yu boydan boya geçen alpin tipte istifli şaryaj zonların güneye itilmesi ile geliştiğini belirtmiştir.

Şengün (1993) Bitlis masifinin metamorfizması ve örtü çekirdek ilişkisi ile ilgili çalışmasında, Bitlis masifi çekirdek kayasının amfibolit, mikroklin gnays, biyotit gnays/şist ve muskovit gnays/şist ile bunları kesen biyotit granit ve hololökokratik granitik fazdan oluştuğunu gözlemlemiş olup örtü kayaçlarının ise metapelitler ve bunları geçişli olarak örten Üst Devoniyen-Mesozoyik yaşlı metakarbonatlardan oluştuğunu tespit etmiştir. Örtü-çekirdek ilişkisi bir transgressif aşma düzlemi olarak yorumlamıştır. Örtü-çekirdek ilişkisinin primer olarak çökel bir dokanak olduğu varsayılırsa, Devoniyen-Mesozoyik yaşlı örtünün granitlerle kesilmemiş olması, granit intruzyonlarından önce gerçekleşmiş bir metamorfizma evresinin varlığını gerektirdiğini düşünmüştür. Alpin metamorfizmanın tam anlamıyla etkin olduğu durumlarda orojenik dönem süresince gerçekleşen bölgesel yükselme eşliğinde P-T koşullarında görülen azalmanın gerileyen metamorfizmanın nedeni olduğu belirtmiş. Bu çalışmasıyla metamorfizma ve örtü-çekirdek ilişkisinin bölgesel jeolojik verilerle bütünleşerek, Bitlis masifinin Arap levhasının deforme olmuş Alpin pasif kıta kenarı olduğunu söylemiştir.

Yılmaz (1975), Cacas Bölgesi (Bitlis Masifi) Kayaçlarının Petrografik ve Stratigrafik özelliklerini belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Bitlis masifi cephe şaryajı Kuzeyindeki metamorfik kayaçları ve Hersinîyen granitlerini incelemiştir. Yapılan ayrıntılı saha ve petrografik incelemeler neticesinde Bitlis masifi metamorfik kayaçları arasında eski, kütle formasyonlarının ve epimetamorfik örtüsünün varlığını ortaya, çıkarmıştır. Bunlardan eski formasyonlarının almandfn-amfifcolit fasiyesinde, bunun üzerindeki epimetamorfik örtünün ise yeşil şist fasiyesinin en zayıf, kuvars-muskovit-klorit,, alt fasiyesinde bir metamorfizma geçirdiği ve parajenezler arasındaki boşluğun ancak polimetamorfizma ile açıklanabileceğini belirtmiştir.

Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş (2013) Akşar regülatörü ve Nazar Hes Proje alanının mühendislik jeolojisi özelliklerini çalışmıştır. Bu çalışma kapsamında jeoteknik amaçlı sondajlar açılmış ve bu sondajardan alınan örnekler üzerinde bir takım laboratuvar denetleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda inceleme alanında yeraltı suyunun 0.4-96.0 metre arasında değiştiği, herhangi bir şev stabilite probleminin oluşmayacağını belirtmiştir.

Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş (2013) Bitlis Hizan Akşar Regülatörü ve Nazar Hes Projesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu kapsamında inceleme alanının yerleşime uygunluğu incelenmiştir. Bu kapsamda inceleme alanı yerleşime uygunluk açısından UA-1 (Uygun alan) topografik eğimin yüzde 15 den az olduğu alanlar ve ÖA-2.1 (Önemli alan) topografik eğimi yüzde 15 ten büyük olduğu alanlar ve derenin aşındırmasıyla stabilizesi bozulacak alanlar olarak iki ye ayırarak değerlendirmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu tez Bitlis il merkezi güney doğusunda, Van Gölü'nün güneyinde yer alan Hizan İlçesine bağlı Akşar Belediyesi sınırları içerisinde Sutopu Deresi üzerinde 1025-1125 m kotları arasında planlanan HES projesi kapsamında Akşar Regülatör ve Nazar HES iletim tünelinin yaklaşık 1269 m'lik bölümünü içermektedir.

İnceleme alanı VAN L48-c2 paftası 1/25000 ölçekli haritada yer almaktadır. Genel olarak Bitlis il merkezi ve çevresinde karasal iklim hâkimdir. Yüksek kotlarda yağışa bağlı olarak meşe ormanları hakim olup bitki örtüsü bozkır ve steptir. Yaz aylarında ortalama en yüksek sıcaklık 36.8 °C, kış aylarında ortalama en düşük sıcaklık -19 °C civarındadır. Bölgede kış uzun ve sert geçer. Kar örtüsü nisan sonlarına kadar kalabilmekte ve yaz ayları genel olarak kurak geçer. Bölgenin başlıca geçim kaynağı hayvancılıktır.

Güneydoğu Anadolu düzlüğünün bir yay çizerek Doğu Anadolu Yüksek yaylarından ayrılan doğu Toroslar'ın bir bölümünü oluşturmaktadır. Bölge jeolojisinden kaynaklanan bu coğrafik dizilerin orta Miyosen tektonik hareketleri sonucu belirginleşmiştir (Erges Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. 2013).

3.2. Metod

Akşar Rügülatör ve Nazar (Bitlis) HES Projesi Kapsamında Zayıf Kayaç Koşullarında Açılan T-2 İletim Tünelinde Karşılaşılan duraysızlıkların incelenmesine ilişkin parametrelerin değerlendirilmesi başlıklı yüksek lisans tez çalışması, başlıca üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar sırasıyla büro çalışmaları (literatür), arazi ve tez yazım çalışmalarıdır. Kaya kütle yenilme kriteri için Hoek-Brown yenilme kriteri seçilmiştir. Kaya kütle sınıflama sistemlerinden, RMR ve Q yöntemleri uygulanmıştır.

3.2.1. Büro Çalışmaları

Arazi çalışmaları başlamadan önce, ayrıntılı literatür taraması yapılarak daha önce yapılmış olan jeolojik ve jeoteknik amaçlı rapor, makale, tez çalışması gibi tüm çalışmalar gözden geçirilerek birimlerin alansal dağılımları ortaya konarak saha-laboratuar çalışmalarına yönelik bir altlık oluşturulmaya çalışılmıştır. İnceleme alanı ve yakın

çevresinin jolojik haritası, genelleştirilmiş stratigrafik kesiti, jeolojik enine kesiti gibi dökümanlar elde edilmiştir. Ayrıca bölgenin ve inceleme alanının hava fotoğrafları, uydu görüntüleri incelenmiştir.

3.2.2. Arazi Çalışmaları

İnceleme alanında pusula, şeritmetre, fotoğraf makinesi vb aletler kullanılarak birimlerin jeolojik ve mühendislik özelliklerinin yanında çizgisel mühendislik yapılarının konumu ve geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır. Saha çalışmaları kapsamında tünel güzergâhında topografyanın ve arazi şartlarının uygun olmaması nedeniyle yeterli çalışma yapılamamış olup tünel inşaatı esnasında tünel ayna haritaları çizilmiştir. Tünel hattı boyunca çizilen ayna haritalarından yararlanılarak 1/200 ölçekli jeolojik açılım haritası çizilmiş ve tünel beton kaplamasına müteakip yapılacak olan enjeksiyon projesine veri sağlanmıştır.

3.2.3. Tez Yazımı ve Değerlendirme

Yüzey çalışmaları sonucu elde edilen birimlerin kaya kütle dayanım özellikleri, kaya kütle sınıflama sistemleri ile ilgili açıklayıcı ve yorum getirici şekil, diyagram ve çizelgeler çizilerek hazır hale getirilmiştir. Elde edilen deformasyon değerlerinden yola çıkılarak grafiksel analizler ve modellemeler yapılmıştır. Araziden elde edilen bilgiler, tünel kazısı sonucu elde edilen deformasyon değerleri ve büro çalışmalarının birlikte değerlendirilmesi ile jeolojik ve jeoteknik değerlendirme çalışmaları bilgisayar destekli olarak yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar bittikten sonra tezin yazımı tamamlanarak sunuma hazır hale getirilmiştir.

3.2.4. Kaya Kütleli Özelliklerinin Belirlenmesinde Hoek-Brown Görgül Yenilme Ölçütü

Şevler, temeller ve yeraltı kazılarının dizaynında kullanılan herhangi bir analiz için kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin güvenilir tahminleri gerekmektedir. Eklemlili kaya kütlelerinin dayanımlarının tahminin sağlanması için Hoek ve Brown (1980a, 1980b) tarafından bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem yıllar boyu kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilmiştir (Hoek, ve diğ, 1992). Çok zayıf kalitedeki kaya kütlelerine bu metodun uygulanması için geliştirilen yeni sınıflama jeolojik

dayanım indeksi (GIS) olarak adlandırılmıştır. (Hoek ve diğ, 1995, Hoek ve Brown 1997, Hoek ve diğ. 1998, Sönmez ve Ulusay 1999, Marinós ve Hoek 2001, Sönmez ve Ulusay 2002, Hoek ve diğ. 2002, Hoek ve Diederichs 2006).

Eklemlili kaya kütleleri için Hoek-Brown yenilme kriteri şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (E.3.1)$$

σ'_1 ve σ'_3 yenilme anındaki maksimum ve minimum efektif gerilmelerdir.

m_b = kaya kütleleri için Hoek Brown sabiti

s ve a = kaya kütle karakteristiklerine bağlı sabitlerdir.

σ_{ci} = sağlam kaya parçasındaki tek eksenli basınç dayanımıdır.

Normal ve kesme gerilmeleri ile Mohr zarfının elde edilmesi Hoek ve Brown tarafından yapılan orijinal yaklaşımlarla elde edilmektedir. Bu yaklaşımda eşitlik arazi testlerini tüm ölçekle simüle eden üç eksenli test değeri serileri ile ortaya çıkarılmaktadır. Bu süreçteki istatistiksel eğri eşdeğer Mohr zarfını çıkarmada kullanılır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$\tau = A \sigma_{ci} \left(\frac{\sigma'_n - \sigma_{tm}}{\sigma_{ci}} \right)^B \quad (E.3.2)$$

A ve B = malzeme sabitleri

σ_n = normal efektif gerilme

σ_{tm} = kayaç kütlelerinin çekme dayanımı

Çekme dayanımı, kayaç parçacıkları arasındaki kenetlenmeyi yansıtır ve aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\sigma_{tm} = \frac{\sigma_{ci}}{2} (m_b - \sqrt{m_b^2 + 4s}) \quad (E.3.3)$$

Hoek Brown yenilme kriteri eklemlili kaya kütlelerinin deformasyona uğrama özelliklerini ve dayanımlarının tahmininde kullanılır. Bu amaçla yapılacak hesaplamalar için aşağıda verilen 3 özelliğın belirlenmesi gereklidir.

1. Sağlam kaya kütlesinin tek eksenli dayanımı σ_{ci}
2. Hoek-Brown sabiti değeri m_i
3. Jeolojik dayanım indeksi (GSI)

3.2.4.1. Sağlam Kaya Özellikleri

Sağlam kaya kütlesi için yapılan dayanım hesaplamaları ile ilgili eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0.5} \quad (E.3.4)$$

Kaya kütlesinde yenilme anında efektif gerilimler arasındaki ilişki iki sabit ile tanımlanır; tek eksenli sıkışma dayanımı σ_{ci} ve m_i sabiti. Bu değerler dikkatlice hazırlanan sondaj karot örnekleri üzerinde yapılan üç eksenli test sonuçlarının istatistiksel analizlerinin sonucunda belirlenmektedir.

$$y = m\sigma_{ci} x + s\sigma_{ci} \quad (E.3.5)$$

buarada

$$x = \sigma'_3 \quad y = (\sigma'_1 - \sigma'_3)^2 \quad (E.3.6)$$

Tek eksenli sıkışma dayanımı, m_i sabiti ve belirleme katsayısı r^2 için örnek sayısı n dir.

$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y}{n} - \left[\frac{\sum xy - (\sum x \sum y/n)}{\sum x^2 - ((\sum x)^2/n)} \right] \frac{\sum x}{n}$$

$$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}} \left[\frac{\sum xy - (\sum x \sum y/n)}{\sum x^2 - ((\sum x)^2/n)} \right]$$

$$r^2 = \frac{[\sum xy - (\sum x \sum y/n)]^2}{[\sum x^2 - (\sum x)^2/n][\sum y^2 - (\sum y)^2/n]} \quad (E.3.7)$$

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımına ve m_i parametresine bağlı olarak tanımlamaları (çizelge 3.1'de) verilmiştir.

3.2.4.2. Jeolojik Dayanım İndeksinin (GSI) Belirlenmesi

Jeolojik dayanım indeksi (GSI) Hoek,ve diğ. (1995), tarafından farklı jeolojik koşullarda kayaç kütle dayanımındaki azalmaların tahminini sağlamak için geliştirilen ve RMR'ın yerine ölçüte dahil edilen bir parametredir. Hoek (1998)' de GSI sistemine foliasyonlu-laminalı-makaslanmış ve sağlam veya masif gurubunu da ekleyerek GIS sınıflama sistemini yeniden düzenlemiştir (Çizelge 3.2).

GIS değerinin tahmin edilmesinde tünel içerisinde ve şevlerdeki patlatma ve gerilim boşalması etkileri ortaya koymak için Hoek ve diğ. (2002) 0-1 arasında değişen Bozunma Derecesi Faktörünü (D) formüle dahil etmişlerdir.

Kaya kütle dayanım özelliklerini belirleyen m_i , s ve a parametreleri Örselenme Derecesi Faktöründe göz önüne alınarak aşağıda sunulmuştur.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (E.3.8)$$

GSI >25 için, kaya kütlesi iyi kalitededir. Orijinal Hoek Brown kriterine uygulanmasıyla

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (E.3.9)$$

ve

$$a = 0.5 \quad (E.3.10)$$

Dayanım simgesi	Tanımlama	Tek eksenli sıkışma dayanımı (Mpa)	Nokta yük indeksi (MPa)	Sahada tanımlama ölçütü	Örnek
R0	Aşırı derecede zayıf kayaç	0.25-1.10	1-2	Kayaçın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir	katı fay kili
R1	Çok zayıf kayaç	1.0-5.0	1-2	Jeolog çekiciyle sert bir darbe ile ufalanan kayaç, çakı ile doğranabilir.	oldukça bozunmuş veya ayrılmış kayaç
R2	Zayıf kayaç	5.0-25	1-2	Kayaç çakı ile güçlkle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayaçın yüzeyinde iz bırakır.	tebeşir taşı, kaya tuzu
R3	Orta derecede sağlam kayaç	25-50	1-2	Kayaç çakı ile doğranamaz. Kayaç örneği, Jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbe ile kırılabilir.	kiltaşı, kömür, beton, şist, şhale, silttaşı
R4	ağlam kayaç	50-100	2-4	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için, jeolog çekici ile birden fazladarbenin uygulanması gerekir.	kireçtaşı, marn, fillit, kumtaşı, şist, şhale
R5	Çok sağlam kayaç	100-250	4-10	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir.	amfibolit, kumtaşı, bazalt, gabro, gnays, granodiyorit, kireçtaşı, marn, riyolit, tuff
R6	Aşırı derecede sağlam kayaç	>250	>10	Kayaç örneği jeolog çekici ile sadece yontulabilir.	basalt diabaz, gnays, granit, kuvarsit

Çizelge 3.1. Tek eksenli sıkışma dayanımının arazi sınıflandırılması (ISRM, 1981).






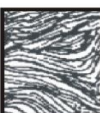
Kayaç tipi	Sınıf	Grup	Doku			
			İri	Orta	İnce	Çok ince
SEDİMANTER	Klasik		Konglomera* (21±3) Breş (19±5)	Kumtaşı (17±4)	Silttaşı (7±2) Grovak (18±3)	Kiltaşı (4±2) Şhale (6±2) Marn (7±2)
	Klasik olmayan	Karbonatlı	kristalize kireçtaşı (12±3)	Sparitik Kireçtaşı (10±2)	Mikritik Kireçtaşı (9±2)	Dolamit (9±3)
		Kimyasal		Jips (8±2)	Anhidrid (12±2)	
		Organik			Tebeşir taşı (7±2)	
METAMORFİK	Foliasyonsuz		Mermer (9±3)	Hornfels (19±4) Metakumtaşı (19±4)	Kuarsit (20±3)	
	Düşük foliasyonlu		Migmatit (29±3)	Amfibolit (26±6)		
	Foliasyonlu**		Gnays (28±5)	Şist (12±3)	Fillit (7±3)	Sleyt (7±4)
	Plutonik	Açık	Granit (27±3) Diorit (25±5) Granadiorit (29±3)			
Koyu		Gabro (27±3) Norit (20±5)	Dolerit (16±5)			
MAĞMATİK	Hypabyssal		Porphyries		Diabaz (15±5)	Peridotit (25±5)
	Volkanik	Lav			Riyolit (25±5) Andezit (25±5)	Dasit (25±3) Bazalt (25±5)
			Piroklastik	Aglomera (19±3)	Breş (19±5)Tuf (13±5)	

Çizelge 3.2. Kayaç malzemesi için mi sabitinin değerleri (Hoek ve dig 1995).

Konglomera ve breş doğal çimento malzemesine bağlı olarak geniş aralıkta bir mi değeri sunmaktadır. Bundan dolayı değerler ince taneli sediman olarak kullanılan kumtaşı değerlerine benzer oranlardadır. Bu değerler foliasyona dik deneye tabi tutulmuş malzemeler için olup, yenilmenin foliasyon düzlemi boyunca gerçekleşmesi halinde mi önmeli ölçüde farklı olacaktır. GSI < 25 için kaya kütlesi çok kötü kalitededir. Değiştirilmiş Hoek Brown kriterine uygulanması ile

$$S = 0$$

$$(E.3.11)$$

JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ Kaya kütlelerinin yapısını ve yüzey koşullarını tanımlayan harf kodları belirlenerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULLU AZALAN YÜZEY KALİTESİ	
YAPI		ÇOK İYİ Çok pürüzlü, taze ayrılmamış yüzeyler İYİ Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvımsal yüzeyler ORTA Düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler ZAYIF Kaygan, sert veya köşeli parçalar içeren, dolguya sahip, çok ayrılmış yüzeyler ÇOK ZAYIF Kaygan, yumuşak kil dolusu, çok ayrılmış yüzeyler	
 SAĞLAM VEYA MASİF - Kayaç malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kaya kütleleri	90	UYGULANMAZ	
 BLOKLU - 3 Ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütleleri	80		
 ÇOK BLOKLU - Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setinin kesişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütleleri	70		
 BLOKLU/ÖRSELENMİŞ - Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrımlanmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleleri	60		
 PARÇALANMIŞ - Köşeli ve yuvarlak kayaç parçalarının birlikteliğinden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırıklı kaya kütleleri	50		
 FOLİASYONLU-LAMİNALI-MAKASLANMIŞ İnce laminalı veya foliasyonlu ve makaslanmış zayıf kayaçlar. Diğer süreksizlik setlerine oranla daha egemen olan sık aralıklı şistozite yüzeyleri kayaçta bloklanmanın gelişmesini önlemiştir.	40		
	30		
	20		
	10		
	0	UYGULANMAZ	

Şekil 3.1. Sağlam veya masif kaya kütleleri ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaçları da içerecek şekilde yeniden düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi (Hoek, 1998)

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (E.3.12)$$

GSI = 25 seçildiğinde Hoek Brown kriteri keyfi olarak seçilir. GSI = 30 olduğunda a değeri yaygın yüzey araştırmaları sonucunda ihmal edilebilir.

Çok daha iyi kalitedeki kayaç kütleleri için (GSI >25) GSI değeri, Bieniawski'nin (1989) kaya kütle oranından direkt olarak tahmin edilebilir. Yeraltısu oranı takımı için 10 (kuru) ve eklem yönelimi takımı için 0 alınır. Çok zayıf kalitedeki kayaç kütleleri için RMR değerinin uzun vadeli tahmini ve ayarı çok zordur. Kaya kütle dayanımının tahmininde güvenilir bir sonuç vermez. Sonuç olarak Bieniawski'nin RMR sınıflaması çok zayıf kalitedeki kayaç kütleleri için GSI değerinin tahmininde kullanılmamalıdır. Eğer Bieniawski (1989) RMR sınıflaması kullanılırsa $GSI = RMR_{89} - 5$, burada RMR_{89} için yer altı suyu oranı 15 ve eklem yönelimi 0 alınmalıdır. Patlatma ile oluşturulmuş yeni patlatma yüzeyi ile yeni süreksizlik yüzeylerindeki GSI değeri bozulmamış sağlam kayaya göre 10 puan daha düşük alınır.

3.2.4.3. Mohr-Coulomb Parametreleri

Mohr-Coulomb yenilme kriterindeki kaya kütle dayanımı, içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) ile tanımlanmaktadır. Büyük ve küçük asal gerilmeler arasında doğrusal bir ilişki vardır. σ_1 ve σ_3 Mohr- coulomb kriteri için (Hoek Brown, 1997); $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max}$

$$\sigma'_1 = \sigma_{cm} + k\sigma'_3 \quad (E.3.13)$$

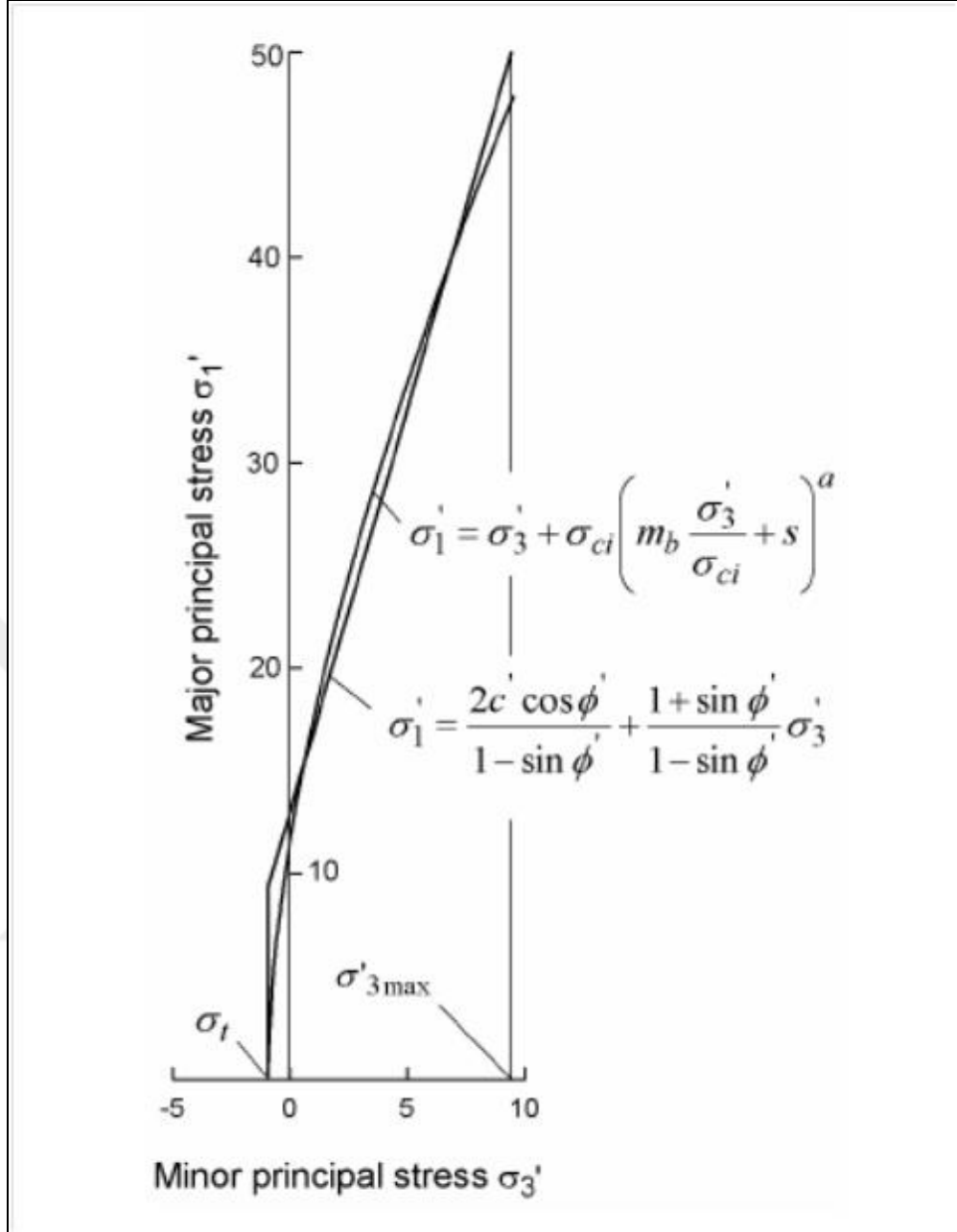
burada σ_{cm} kaya kütesinin tek eksenli sıkışma dayanımıdır. k , σ'_1 ve σ'_3 doğrusundaki eğimdir. ϕ ve c değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\sin\phi' = \frac{k-1}{k+1} \quad (E.3.14)$$

$$c' = \sigma_{cm} \frac{(1 - \sin\phi')}{2 \cos\phi'} \quad (E.3.15)$$

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (E.3.16)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left(6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}} \quad (E.3.17)$$



Şekil 3.2. Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb kriteri için maksimum ve minimum asal gerilme arasındaki ilişki.(Hoek Brown, 1997)

3.2.4.4. Elastisite Modülü

Hoek ve diğ. (2002) kaya kütlelerinin yerindeki deformasyon modülünün (E_M) tayinini Serafim ve Pereria (1983) tarafından önerilen ifadeyi GSI'yi değerinide dahil ederek yeniden düzenlemişlerdir.

$\sigma_c \leq 100\text{Mpa}$ için

$$E_m (\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} 10^{((GSI-10)/40)} \quad (\text{E.3.18})$$

$\sigma_c > 100\text{Mpa}$ için

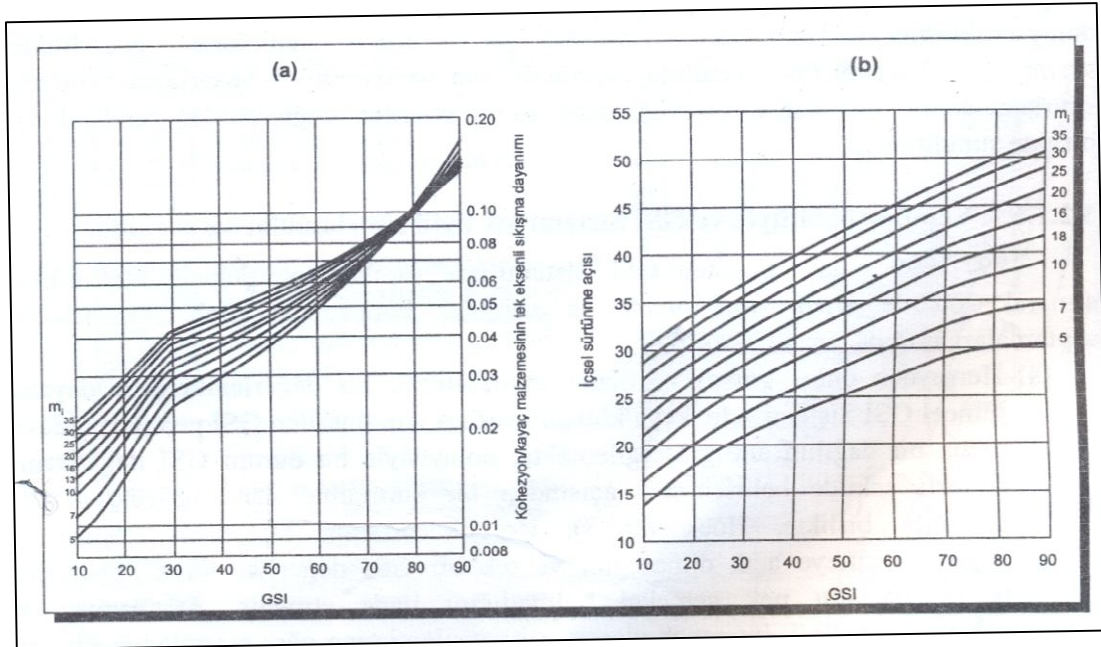
$$E_m (\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (\text{E.3.19})$$

Sağlam kaya elastisite modülünün belirlenmesi için Hoek ve Diederichs, (2006) tarafından önerilen eşitlikle belirlenmektedir.

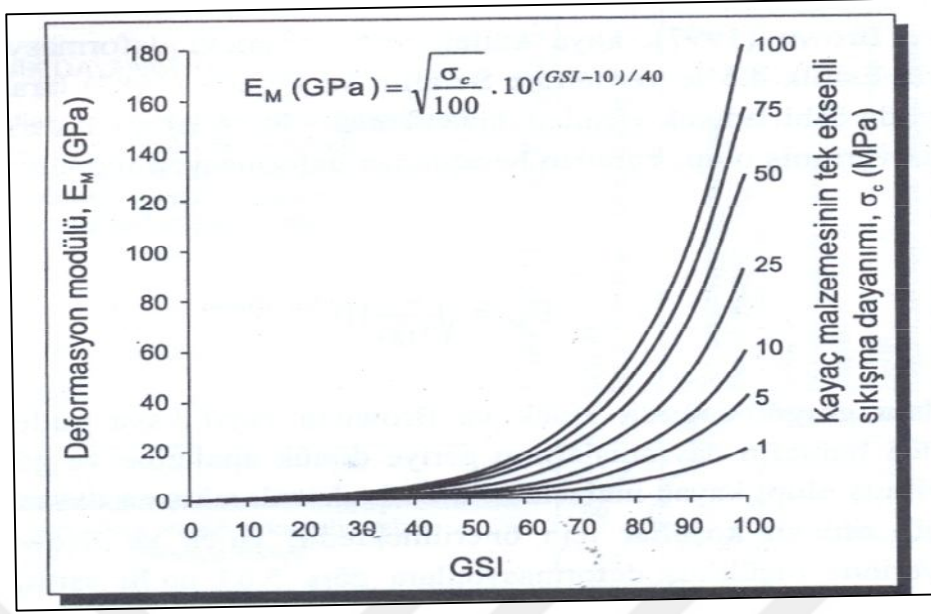
$$E_i = MR \times \sigma_{ci} \quad (\text{E.3.20})$$

σ_{ci} : Sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı

RC: Azaltma faktörü



şekil 3.3. GSI'nın ve m_i sabitinin farklı değerlerine bağlı olarak etkin kohezyon (a) ve etkin içsel sürtünme açısının (b) değişimi (Hoek ve Brown, 1997).



Şekil 3.4. Farklı kayaç malzemesi dayanımlarına göre kaya kütlelerinin deformasyon modülü ile GSI arasındaki ilişki (Hoek, 1998).

3.2.5. Kaya Kütleli Sınıflama Sistemleri

Kaya kütleli sınıflama sistemleri, mühendislik tasarımının doğrudan yapılmasını sağlayabilecek bir araç olarak değerlendirilmemelidir. Bu sistemler, nihai tasarımın yapılabilmesi için, tasarım hedefleri ve sahanın jeolojisi de dikkate alınarak, gözleme dayanan, analitik ve nümerik çözümlene teknikleri ile birlikte kullanılmalıdır. Bu sistemler doğru bir şekilde kullanıldıkları zaman, ön tasarımda yararlı bir araç olabilmektedirler (Özbek 2004).

Bu sistemler; yerinde gerilmeler, kaya kütle özellikleri ve planlanan kazı aşamaları ile ilgili ayrıntılı bilgilere gereksinim duyarlar. Ancak tüm bilgiler, projenin ön tasarım aşamasında mevcut değildir. Bu bilgiler elde edildikçe, kullanılan kaya kütle sınıflama sistemi, elde edilen bu bilgiler ışığında ve arazide yapılan yerinde deneyler ile güncellenmelidir (Hoek, ve dig 1995).

Bir mühendislik yapısının yapılabirlik ve ön proje tasarım aşamasında, kaya kütleli, bu kaya kütleli etkileyen birincil gerilme durumları ve hidrojeolojik özellikleri hakkında çok az bilgi vardır. Bu aşamada kaya kütleli sınıflama sistemlerinin kullanılması projeciye önemli ölçüde yarar sağlar. Herhangi bir kaya kütleli sınıflama sistemi yardımıyla

bir tahmin yapabilmek için; birden fazla, birbiri ile alakalı sistemin bir arada kullanılması gereklidir. Bu şekilde, projelendirilen mühendislik yapısı için gerekli destek gereksinimi, deformasyon ve dayanım özellikleri ile ilgili tahminler yapılabilir. Günümüzde çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen değişik kaya kütlesi sınıflama sistemleri mevcuttur. Bunlar çoğunlukla önceki çalışmalar, arazi gözlemleri ve kazanılan deneyimler ışığında şekillenmiştir. (Satıcı, 2007). Bu çalışmada RMR ve Q sınıflama sistemleri kullanıldığından, bu yöntemler burada açıklanmıştır.

3.2.5.1. RMR Sınıflaması

Rock Mass Rating (RMR) Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiş olup, zamanla çeşitli kullanıcılar tarafından modifiye edilmiştir. RMR sisteminde 6 parametre kullanılmaktadır (Çizelge 3.3)

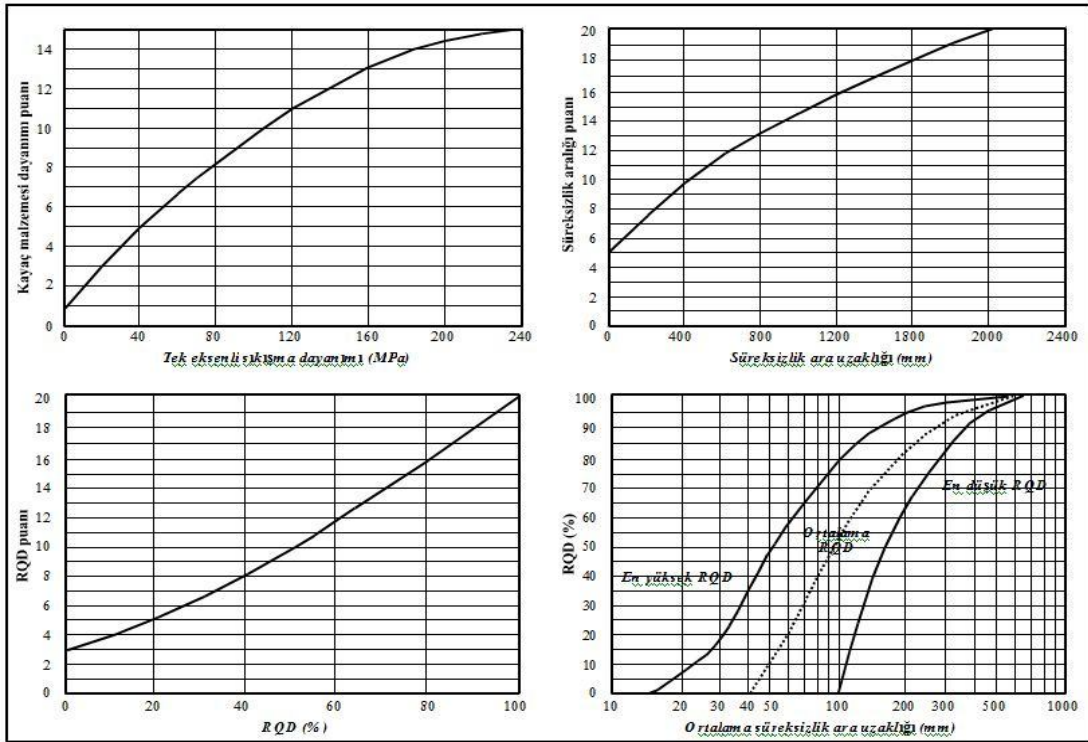
1. Kayacın tek eksenli basınç dayanımı veya nokta yük indisi
2. Kaya kalitesi yüzdesi (RQD)
3. Süreksizlik aralığı
4. Süreksizlik durumu
5. Yer altı suyu durumu
6. Süreksizlik yönelim düzeltmesi

*1	Sağlam kayanın mukavemeti	Uç-yük mukavemet indeksi	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Tek eksenli basınç dayanımı deneyine göre		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	1-3 Mpa
Derecelendirme			1	12	7	4	2	1	0
*2	RQD		%90-	%75-	%50-75	%25-50	<%		
	Derecelendirme		2	17	13	8	3		
*3	Eklem sıklığı		>3m	1-3m	0.3-1m	50-	<50		
	Derecelendirme		3	25	20	10	5		

** 4	Eklem durumu		Çok kaba yüzey, sürekli değil ayrılma yok eklemleri sert kaya	Az kaba yüzeyler <1mm açıklıklı Eklemleri sert kaya	Az kaba yüzeyler <1 mm açıklıklı Eklemleri yumuşak kaya	Sürtünmezli yüzey veya fay kili<5mm veya 1-5mm açıklıklı eklemleri sürekli eklemler	Yumuşak fay kili>5mm kalın veya açıklıklı eklemler >5mm sürekli eklemler
	Derecelendirme		2	20	12	6	0
5	Tünelin 10m'lik kısmından gelen su		Yok	<25 litre/dak.	25-125 litre/dak	>125 litre/dak	
	Yeraltı suyu	Oran	0	0.0-0.2	0.2-0.5	>0.5	
		Ana asal gerilme					
	Genel koşullar		Tamamen kuru	Yalnızca nemli (kırıklardaki su)	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri	
Derecelendirme		10	7	4	0		

Çizelge 3.3. RMR sınıflama parametreleri (Bieniawski ,1989)

Kaya kütlesinin RMR değeri belirlenirken Bieniawski (1989)'daki son versiyon kullanılarak sistemin ilk üç parametresi olan tek eksenli basınç dayanımı, RQD ve süreksizlik aralığı puanları (şekil 3.5'te) verilen Bieniawski (1989) tarafından önerilen puan tayin grafiklerinden, süreksizlik durumu puanı verilen süreksizliklerin durumunun puanlandırılması için önerilen kılavuzdan yararlanılarak belirlenir. Bu ilk beş parametreden elde edilen puanlar toplanarak temel RMR değeri elde edilir. Süreksizlik yönelim düzeltmesi puanı süreksizlik yönelimine göre çizelge 3.4 ve 3.5'de verilen düzeltme çizelgesi kullanılarak belirlenir ve temel RMR değerinden 0-12 puan arasında bir azaltmaya gidilerek nihai RMR değeri elde edilir. Elde edilen RMR değerinden kaya kütlesi 0-100 arasındaki bir puan aralığında çok iyi kayadan -çok zayıf kayaya kadar sınıflandırılır (Çizelge 3.7).



Şekil 3.5. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde bazı parametreler için puan belirleme grafikleri (Bieniawski, 1989)

3.2.5.1.1. Desteksiz Durma Süresi

RMR değeri kaya kütlelerinin bir mekanik büyüklüğünün kestirimiyle ilgili görgül bir bağıntıda kullanılacağı zaman temel RMR, tünel duraylılığı ile ilgili bağıntılarda ise düzeltilmiş RMR değeri kullanılır. Elde edilen düzeltilmiş RMR değerine göre destek türünün seçimi, desteksiz durma süresi, desteksiz açıklık veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir (Şekil 3.6)

Parametre	Puanlar				
	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Devamlılık	(6)	(4)	(2)	(1)	(0)
Süreksizlik açıklığı	Yok (6)	<0,1 mm (4)	0,1-1 mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu	Yok (6)	Sert dolgu <5 mm (4)	>5 mm (2)	Yumuşak dolgu <5 mm (2)	>5 mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az Bozunmuş (5)	Orta derecede Bozunmuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok Bozunmuş (0)

Çizelge 3.4. RMR kaya kütleleri sınıflama sisteminde bazı parametreler için puan belirleme tablosu (Bieniawski, 1989)

Eklemlerin Doğrultu ve Eğim Yönleri		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun değil
Dereceleme	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Sevler	0	-5	-25	-50	-60

Çizelge 3.5. RMR sınıflamasında eklem yönelimine göre düzeltim

Doğrultu Tünel Eksenine Dik				Doğrultu Tünel Eksenine Paralel		Doğrultuya Bakılmaksızın Eğim 0°-20°
Eğim Yönünde İlerleme		Eğime dik Yönde İlerleme		Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Eğim 45°-	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-	Eğim 20°-45°			
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil	Orta	Orta

Çizelge 3.6. RMR sınıflamasında tünelde eklem ve eğim yönünün etkisi

RMR Puanı	Kaya Kalitesi	Sınıf	Ortalama Kendini Tutma Süresi	Ortalama Kohezyonu (Kpa)	Ortalama Sürtünme Açısı (°)
100-81	Çok İyi Kaya	I	15m açıklık için 20	< 400	<45
80-61	İyi Kaya	II	10 m açıklık için 1	400-300	45-35
60-41	Orta Kaliteli Kaya	III	5 m açıklık için 1	300-200	35-25
40-21	Kötü Kaya	IV	2.5 m açıklık için 10	200-100	25-15
<21	Çok Kötü Kaya	V	1 m açıklık için 30	<100	>15

Çizelge 3.7. RMR Sınıflamasına göre kaya kalite değerleri ve nicelik anlamları

3.2.5.1.2. Desteksiz Basıncı

Yeraltı açıklıklarında kullanılan destek sistemlerine gelecek basınç, RMR puanından yararlanılarak tahmin edilmektedir. Destek basıncının hesaplanmasına yönelik eşitlik Ünal (1983) tarafından önerilen eşitlikten yararlanılarak yapılmaktadır.

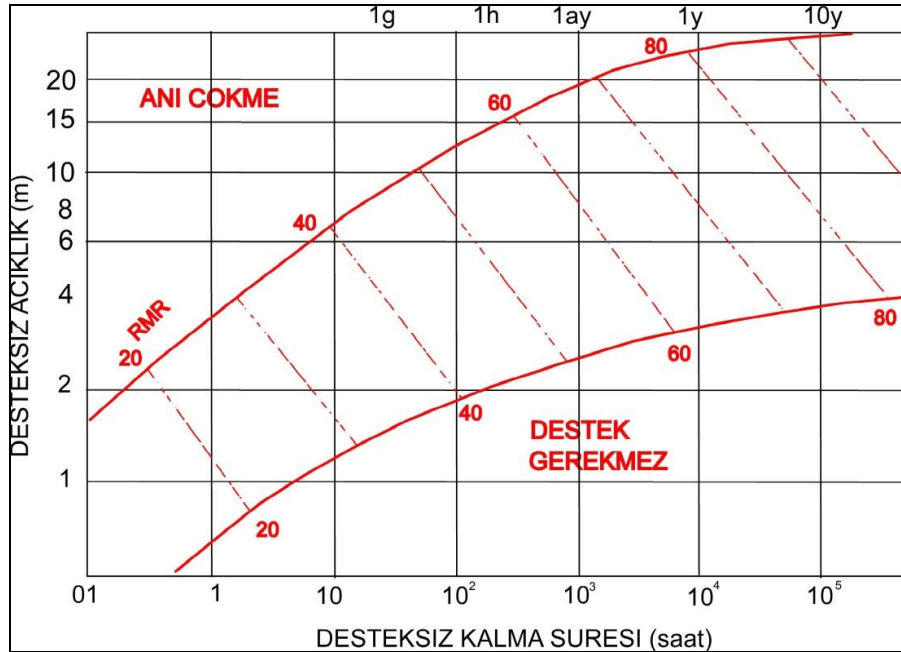
$$P = \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \gamma BS \quad (E.3.21)$$

Burada;

P: destek basıncı (kN/m²)

γ : kayacın birim hacim ağırlığı (kN/m³)

B: tünelin genişliği (m)



Şekil 3.6. RMR kaya kütlesi sınıflarına göre, desteksiz durma süresi ve tavan açıklığı arasındaki ilişki (Bieniawski, 1989)

3.2.5.2. Q Sınıflaması

Bu sistem kaya kütle özelliklerinin ve tünel destekleme sisteminin belirlenmesi için Norveç Jeoteknik Enstitüsünde çalışan Barton, Lien ve Lunde (1974) tarafından önerilmiştir. Q sistemi altı parametre kullanılarak sayısal olarak aşağıdaki formülle ortaya konmuştur.

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right) \left(\frac{J_r}{J_a}\right) \left(\frac{J_w}{SRF}\right) \quad (E.3.22)$$

Kaya kalite sınıflamasında: **RQD**

Süreksizlik (eklem) takım sayısı: (**J_n**)

Süreksizlik pürüzlülük sayısı: (**J_r**)

Süreksizlik ayrışma durumu: (**J_a**)

Süreksizlik suyu durumu: (**J_w**)

Sistemdeki gerilme durumunun: (**SRF**)

Formülde; RQD/J_n kaya kütlelerinin genel yapısının ve blok boyutunun, J_r/J_a bloklar arası kayma dayanımının, J_w/SRF aktif gerilme değerinin bir göstergesidir. Bu değerler Çizelge 3.8.'de verilen parametrelere bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Tanım	Değerlendirme
A. 0-25	Çok kötü
B. 26-50	Kötü
C. 51-75	Orta
D. 76-90	İyi
E. 91-100	Mükemmel

Çizelge 3.8. RQD Kaya kalite göstergesi tanımı

Not: Q hesaplanırken RQD ≤ 10 ise (0 dahil) 10 alınır. RQD 5 ve katları olarak alınır.

Tanım	Değerlendirme
A. Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5-1.0
B. Bir eklem takımı	2
C. Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	3
D. İki eklem takımı	4
E. İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6
F. Üç eklem takımı	9
G. Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	12
H. Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel çok sayıda eklemler, küp şeker görünümünde	15
I. Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20

Çizelge 3.9. Eklem takım sayısı (Jn)

Not: Kesişme yerlerinde (3xJn) *Giriş ve çıkışlarda ağızlarında (2xJn) kullanılmalıdır.

Tanım	Değerlendirme
a) Süreksizlik kaya dokanağı ve b) b) 10 cm'lik bir makaslamadan önceki süreksizlik kaya dokanağı	
A. Süreksiz eklemler	4
B. Pürüzlü ya da düzensiz dalgalı	3
C. Düz, dalgalı	2
D. Sürtünme izli (slikensided) dalgalı	1.5
E. Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	1.5
F. Düz, düzlemsel	1
G. Sürtünme izli, düzlemsel	0.5
Not: Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikleri göstermektedir.	
c) Makaslanmış kesimde süreksizlik-kaya dokanağı yok	
H. Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kil mineralleri içeren zon	1.0
I. Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kumlu çakıllı ezilmiş zon	1.0

Çizelge 3.10. Eklem Pürüzlülük Sayısı (Jr)

Not: İlgili eklem takımlarının ortalama ara mesafesi 3 metreden büyükse 1.0 ilave edilir.

Lineasyon içeren düzlemsel fay aynalı eklemler için, lineasyonların uygun olması koşulu ile $J_r=0.5$ alınabilir.

B den G ye kadar olanlar küçük, diğerleri büyük yapılardır.

Tanım	Değerlendirme	
	Değer	φr (yaklaşık)
a) Kaya Süreksizlik dokanağı (mineral dolgusu yok, sadece yüzey kaplaması)		
A. Sıkıca bağlanmış, sert, yumuşamaz, geçirimsiz dolgu (öğneğin kuvars veya epidot)	0.75	
B. Altere olmamış eklem yüzeyleri, sadece yüzeysel paslanma	1	25°-35°
C. Hafif altere olmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları	2	25°-35°
D. Siltli veya kumlu kil kaplamaları, düşük kil oranı (yumuşamayan)	3	20°-25°
E. Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral kaplamalı (kaolinit, mika gibi). Ayrıca klorit, talk, jips, grafit ve az miktarda şişen killer (1-2 mm veya daha az kalınlıkta kesikli kaplamalar)	4	8°-16°
b). 10 cm'lik makaslamadan önceki süreksizlik kaya dokanağı (İnce mineral dolguları)		
F. Kum taneleri, kil içermeyen kaya parçaları	4	25°-30°
G. Aşırı konsolide olmuş yumuşamayan kil mineral dolguları (kesiksiz, kalınlık 5 mm'den az)	6	16°-24°
H. Orta ve yüksek derecede konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolgulu (kesiksiz, kalınlık 5 mm'den az)	8	12°-16°
J. Şişen kil dolgulu (örn. montmorillonit) (kesiksiz, kalınlık 5 mm'den az). Ja'nın değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve su etkisinde kalıp kalmayacağına göre değişir	8-12	6°-12°
d) Makaslanma durumunda süreksizlik yüzeylerinin teması yok (kalın mineral dolguları)		
K. Dağılmış veya ezilmiş kaya ve kil zonlarıbantları veya bantları	6, 8 veya 8-12	6°-24°
L. Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, küçük kil parçaları (yumuşamayan)	5	-
M. Sürekli, kalın kil zonları veya bantları (kilin tanımı için G,H, J şıklarına bakınız)	10,13 veya 13-20	6°-24°

Çizelge 3.11. Eklem alterasyon Sayısı (Ja)

Not: φr değerleri, eğer varsa alterasyon ürünlerinin mineralojik özelliklerini yaklaşık olarak göstermek için verilmiştir.

Tanım	Değerlendirme	
	Değer	Su basıncı (kg/cm ²)
A. Kuru kazılar veya su gelişi 5 lt/dk dan az	1.0	1
B. Orta derece su gelişi veya basıncı, genellikle eklem dolgularının yıkanması (5 lt/dk yerel)	0.66	1-1.25
C. Dolgusuz, dayanımlı ve eklemli kayada çok su gelişi veya yüksek su basıncı	0.5	2.5-10
D. Çok miktarda su gelişi veya yüksek su basıncı ile eklem dolgularının fazlaca yıkanması	0.33	2.5-10
E. Patlatma ile çok fazla su gelişi, zamanla azalma	0.2-0.05	10
F. Zamanla azalmayan çok fazla su gelişi veya basıncı	0.1-0.05	>10

Çizelge 3.12 Eklem su azaltma faktörü (Jw)

Not: C den F ye kadar olan parametreler kaba tahminlerdir. Drenaj yapıldığında Jw arttırılmalıdır. Buz içeren tabakalar olduğunda farklı problemlerle karşılaşılabilir ve burada göz önüne alınmamıştır.

6) GERİLİM DEĞİŞİM FAKTÖRÜ			(SRF)
(a) kazıyı kesen zayıf zonlar , tünel kazılırken kaya kütleinin gevşemesine neden olabilir.			
Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)			10
Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren tek bir zayıf zon, (kazı derinliği ≤50 m)			5
Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren tek bir zayıf zon, (kazı derinliği > 50 m)			2.5
Kil içermeyen dayanıklı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)			7.5
Kil içermeyen dayanıklı kayada tek makaslama zonu, (kazı derinliği ≤50 m)			5
Kil içermeyen dayanıklı kayada tek makaslama zonu, (kazı derinliği > 50 m)			2.5
Gevşek ve açık eklemler , fazla eklemler " küp şekeri" görünümüne (herhangi bir derinlikte)			5
(b) Dayanıklı kaya , kaya gerilmeleri sorunları	σ_c / σ_1	σ_t / σ_1	(SRF)
Düşük gerilim yüzeye yakın	> 200	> 13	2.5
Orta derecede gerilim	200 - 10	13 - 0.66	1
Yüksek gerilim , çok sıkı yapı (genellikle stabiliteye uygun,duvar stabilitesi için uygun olmayabilir)	10 - 5	0.66- 0.33	0.5 - 2
Az kaya patlaması (masif kaya)	5 - 2.5	0.33- 0.16	5 - 10
Aşırı kaya patlaması (masif kaya)	< 2.5	> 0.16	10 - 20
(c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayada plastik akma			(SRF)
Az sıkışan kaya basıncı			5 - 10
Fazla sıkışan kaya basıncı			10 - 20
(d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi			(SRF)
Az şişen kaya basıncı			5 - 10
Fazla şişen kaya basıncı			10 - 15
<p>σ_c: Tek eksenli sıkışma dayanımı σ_t: Çekme dayanımı σ_1: Büyük asal gerilim İgili kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor, ancak kesmiyorsa SRF'nin bu değerleri % 25 – 50 oranında azaltılmalıdır.</p>			

Çizelge 3.13. Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)

Kazının mekanik davranışını ve tahkimat gerektirip gerektirmediğini bulabilmek için Barton ve diğ. (1974) kazı çapının veya yüksekliğinin kazı tahkimat oranına (ESR) bölümünü belirten eşdeğer boyut (D_e) kavramını tanımlamışlardır.

$$D_e = \frac{\text{Çap} / \text{yükseklik}}{ESR} \quad (E.3.23)$$

Q sisteminde kazı destekleme sistemlerinin belirlenmesi için öncelikle "Eşdeğer Boyut -De" hesaplanmalıdır. "Kazı destek oranı-ESR" (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**4) ve tünel çapı veya yüksekliği yardımıyla Eşdeğer boyut (D_e) hesaplanır. Hesaplanan (D_e) ve (Q) değerleri ile (Şekil 3.7)'da sunulan ilgili abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir. Barton ve diğerleri (1974) tarafından ortaya konan destek sistemleri 38 ayrı kategoride destek sistemlerini içermektedir. Uzun yıllar kullanılan bu abak Grimstad ve Barton (1993) tarafından revize edilerek abakta 9 ayrı destek sistemi tanımlanmıştır.

KAZI TİPİ	ESR
Geçici maden kazıları	3 - 5
Uzun süreli maden kazıları, hidrolik amaçlı su tünelleri, büyük kazılar için pilot tüneller, geniş yeraltı kazıları için yarmalar ve aynalar	1.6
Geniş yeraltı odaları, su tasfiye tesisleri , küçük kara ve demiryolu tünelleri , yaklaşım tünelleri, denge bacaları	1.3
Enerji santralleri, büyük (ana) karayolu ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, tünel ağızları ve yeraltında birbirini kesen açıklıkların kesişme verleri	1
Yeraltı nükleer enerji santralleri, demiryolu istasyonları, spor ve kamu tesisleri, fabrikalar	0.8

Çizelge 3-14. ESR değerinin mühendislik yapılarına göre belirlenmesi

Maksimum tahkimatsız açıklık, B_{\max} (m):

$$B_{\max} = 2(ESR)Q^{0,4} \quad (E.3.24)$$

Sürekli tavan tahkimatı basıncı, P_{tavan} (kg/cm^2):

$$P_{\text{tavan}} = \frac{2}{J_r} Q^{-1/3} \quad (E.3.25)$$

Eğer eklem sistemlerinin sayısı üçten az ise,

$$P_{\text{tavan}} = \frac{2}{3} J_n^{0,5} J_r^{-1} Q^{-1/3} \quad (E.3.26)$$

Kaya blonu ve ankraj boyutlarının tayini: Her iki destek sisteminin uzunlukları kazı boyutlarına bağlıdır. Tavanda kullanılan blonların uzunluğu genellikle kazının enine, duvarlarda kullanılanların ki ise kazının boyutuna bağlıdır. Buna göre aşağıdaki eşitlikler, kazı sırasında karşılaşılan duruma göre değiştirilmek koşuluyla önerilmektedir (Barton ve dig. ,1974).

$$\text{Tavan: Bulon } L = 2 + 0.15 \frac{B}{ESR}$$

$$\text{Ankraj } L = 0.4 \frac{B}{ESR}$$

$$\text{Duvarlar: Bulon } L = 2 + 0.15 \frac{H}{ESR}$$

$$\text{Ankraj } L = 0.35 \frac{H}{ESR}$$

L= Uzunluk (m)

B= (Kazı eni (m)

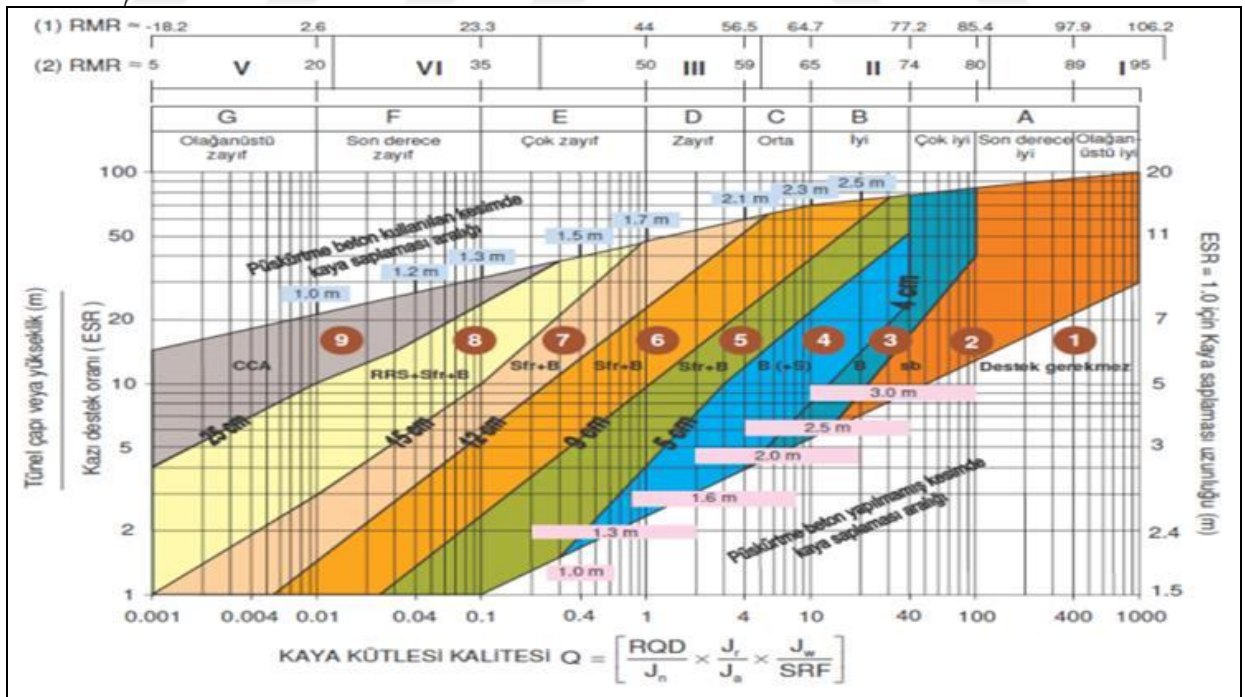
H= Kazı boyu (m)

Maksimum tahkimatsız açıklık, B_{max} (m):

$$B_{max} = 2(ESR)Q^{0.4} \quad (E.3.27)$$

Sürekli tavan tahkimatı basıncı, P_{tavan} (kg/cm^2):

$$P_{tavan} = \frac{2}{J_r} Q^{-1/3} \quad (E.3.28)$$



Şekil 3.7. Q kaya kütlesi sınıflandırma sistemi destekleme türleri (Grimstad ve Barton)

[[Q kaya kütlesi sınıflandırma sistemi ve tünel desteklemeleri (Özkan, 2003)]]

3.2.5.2.1 Destek Katagorileri

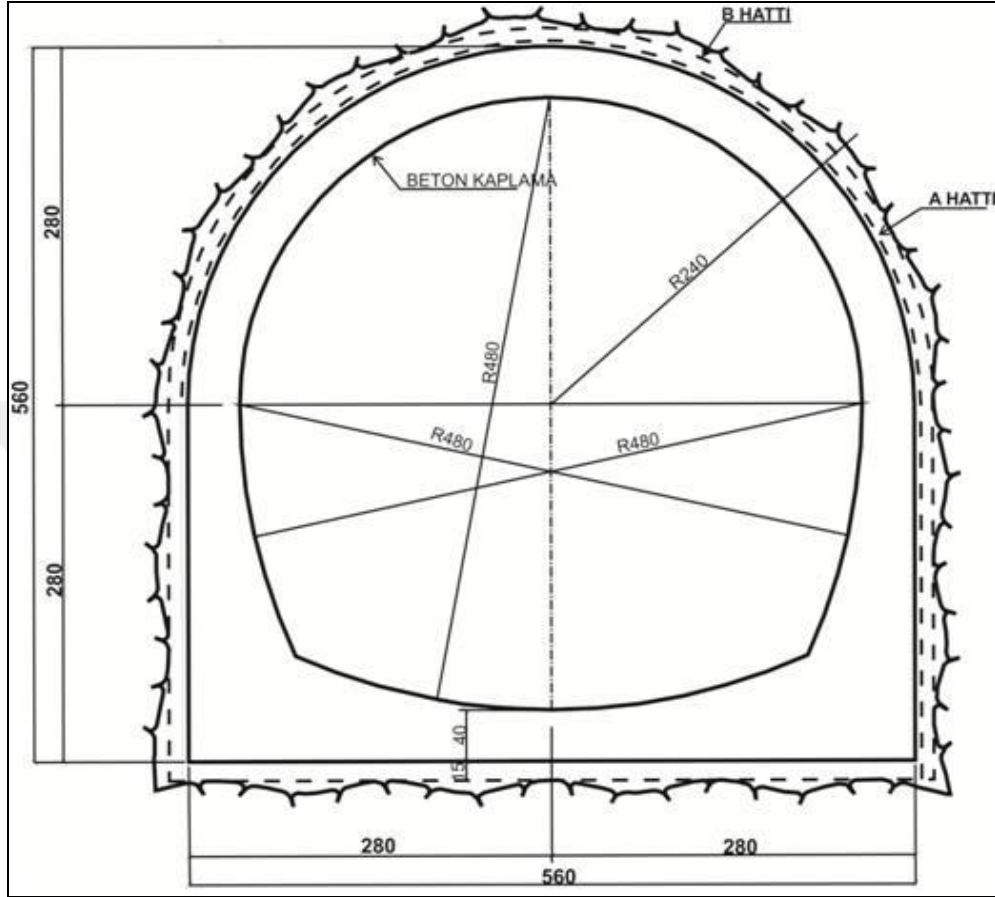
- 1) Desteksiz
- 2) Yerel Blonlama
- 3) Sistematik Blonlama
- 4) Sistematik blonlama (ve takviyeli, püskürtme beton 4-5 cm)
- 5) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton 5-9 cm.
- 6) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton ve blonlama 9-12 cm
- 7) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton ve blonlama 12-15 cm
- 8) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton > 15cm. Güçlendirilmiş çelik hasırlı püskürtme beton ve blonlama
- 9) Beton Kaplama

3.2.6. T-2 İletim Tünelinde Uygulanan Kazı Destek Sistemleri

Akşar Regülatörü ve Nazar (Bitlis) HES Projesi Kapsamında planlama aşamasında, saha ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen parametreler doğrultusunda 5 adet kazı ve destek tipi belirlenmiş olup destek sistemlerinin ayrıntıları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Tip- I Kazı Destek Sistemi

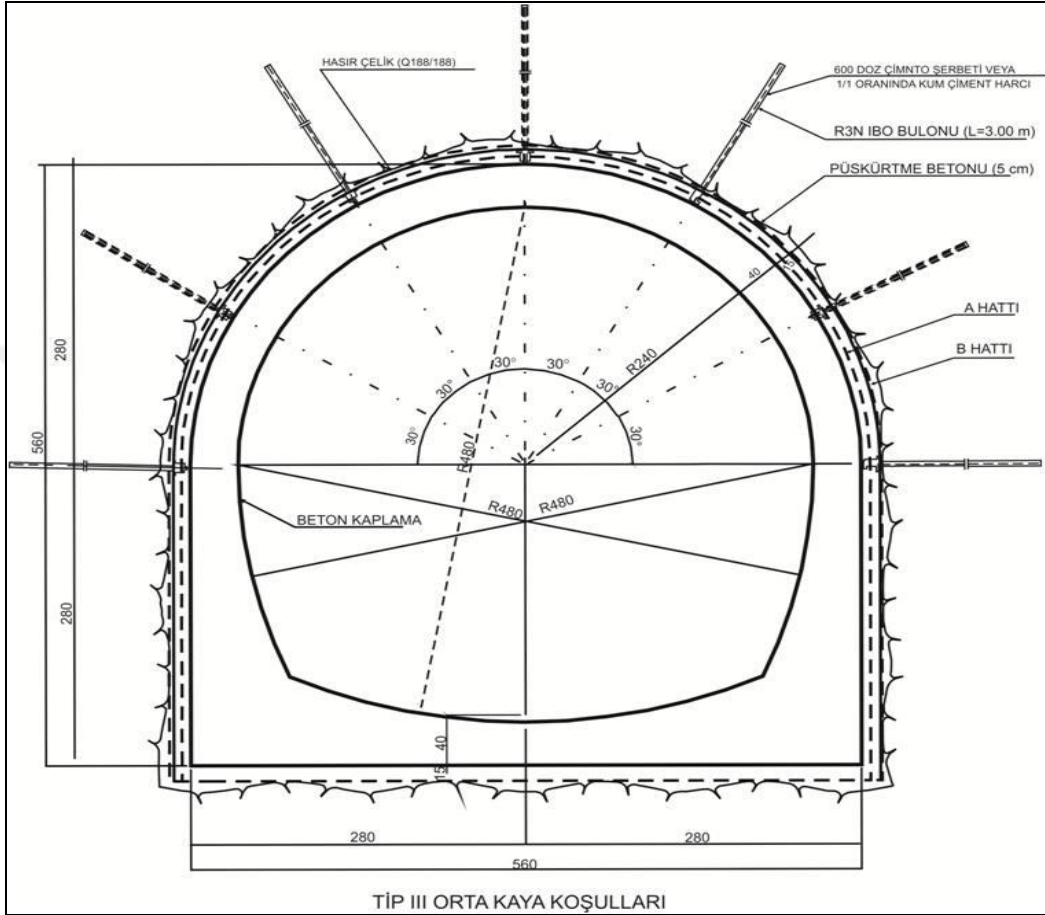
Mevcut tünel kazılarında Tip-1 çok sağlam kaya koşullarını göstermekte olup, tünel kazısı yapıldıktan sonra herhangi bir destek gerekmemektedir.



Şekil 3.8. Tip I sağlam kaya koşullarındaki tahkimat sistemi (Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş 2013)

Tip-3 Kazı Destek Sistemi

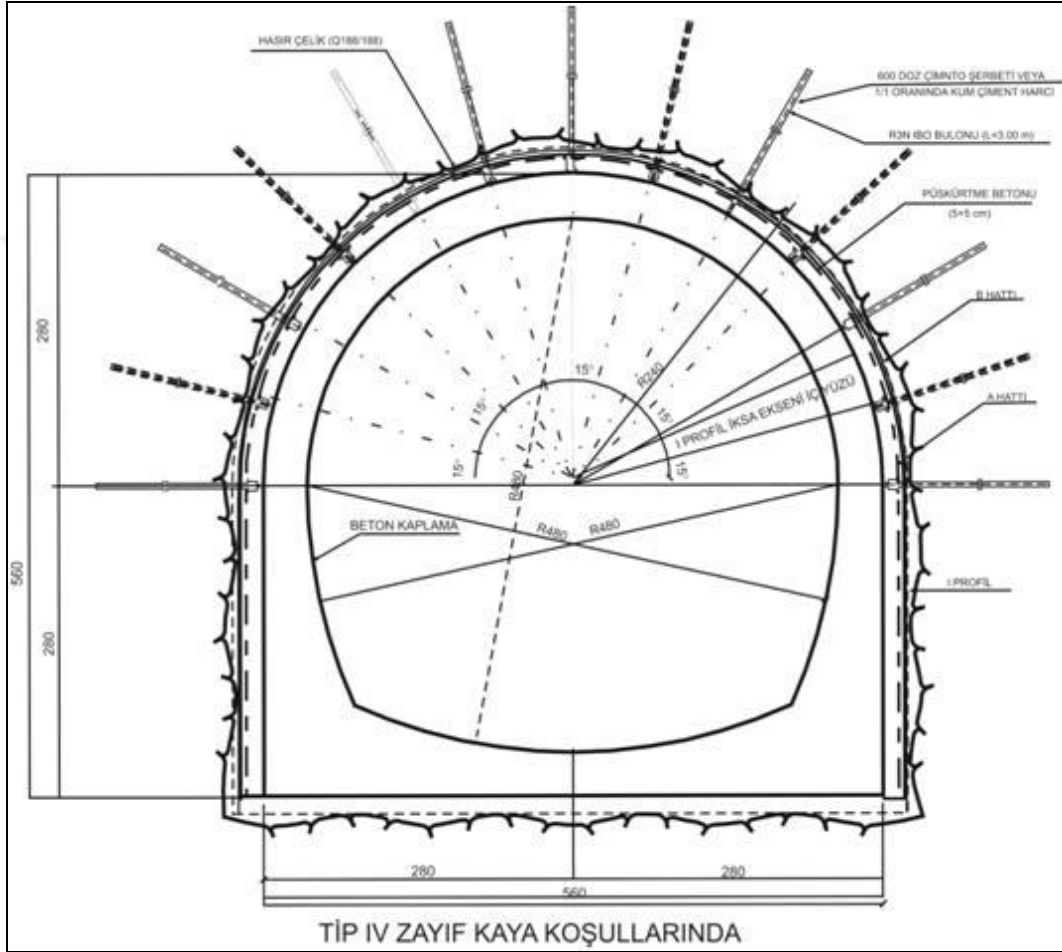
Tip-3 orta kaya koşullarını temsil etmektedir. Kazı destek elemanı olarak hasır çelik ve 5 cm kalınlığında püskürtme beton, sistematik bulonlama boyunca istikamette 2.0-3.0 m ara ile şaşırtmalı L=3.00 m uzunluğunda noktasal R32N İBO bulonu uygulaması.



Şekil 3.10. Tip III orta kaya koşullarındaki tahkimat sistemi (Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş 2013)

Tip-4 Kazı Destek Sistemi

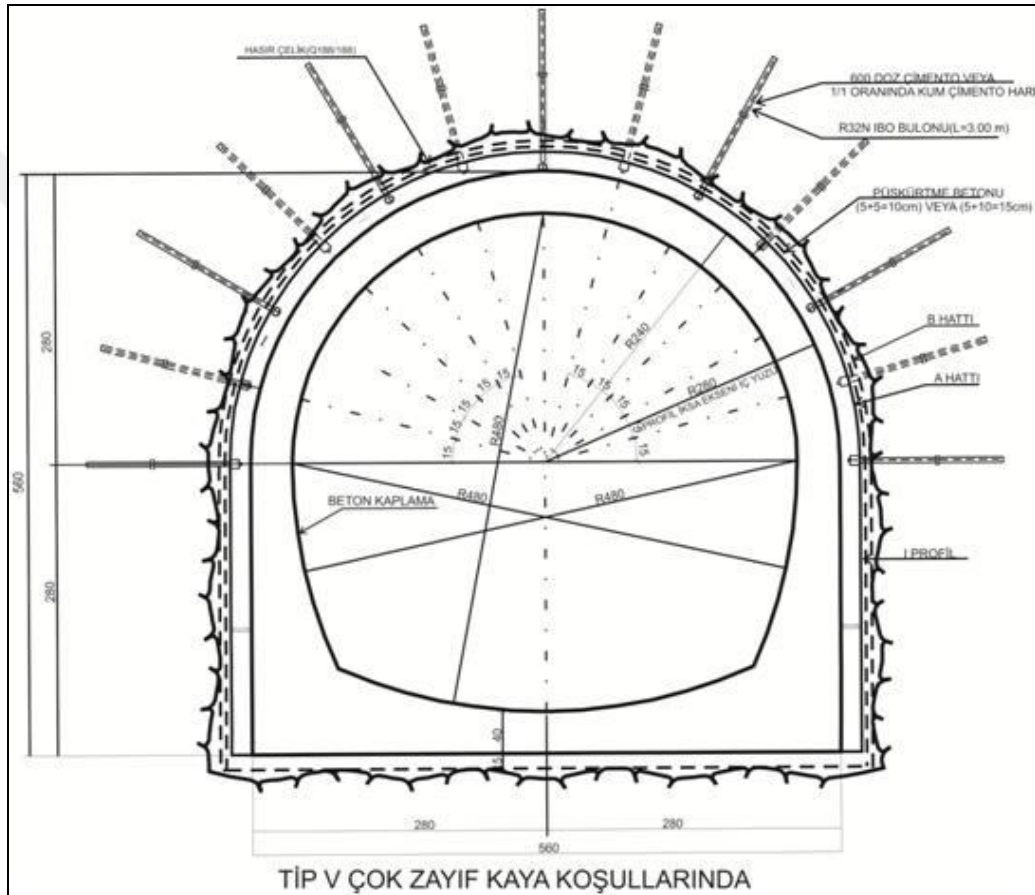
Tip-4 zayıf kaya koşullarını temsil etmektedir. Kazıdan hemen sonra 5 cm kalınlığında ön püskürtme beton, daha sonra destek eleman olarak hasır çelik ve 5 cm kalınlığında püskürtme beton, sistematik bulonlama boyuna istikamette 1.0-1.5 m ara ile şaşırtmalı L=3.00 m uzunluğunda noktasal R32N İBO bulonu uygulaması. Yer yer I profil çelik iksa, iksa aralıkları 1.0-1.5 m, gerektiğinde yerinde belirlenecek.



Şekil 3.11. Tip IV zayıf kaya koşullarındaki tahkimat sistemi (Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş 2013)

Tip-5 Kazı Destek Sistemi

Tip-5 çok zayıf kaya koşullarını temsil etmektedir. Kazıdan hemen sonra 5 cm kalınlığında ön püskürtme beton, daha sonra destek elemanı olarak hasır çelik ve 5-10 cm kalınlığında püskürtme beton, sistematik bulonlama boyuna istikamette 1.0-1.5 m ara ile şaşırtmalı L=3.00 m uzunluğunda noktasal R32N İBO bulonu uygulaması. Aralıklar yerinde belirlenecek (0.5-0.75-1.0) I profil çelik iksa, Gerekmesi durumunda aralık ve boyları yerinde karar verilmek üzere $\Phi 32S420$ süren veya adedi yerinde tespit edilecek şemşiye süren kazıkları 4.5 inç delikli boru (L= 8m, $\Phi=11.43$ cm, t= 5 mm).



Şekil 3.12. Tip V çok zayıf kaya koşullarındaki tahkimat sistemi (Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş 2013)

3.2.7. T2 Tünelinde Uygulanan Destek Elemanaları

Bir yeraltı kazı boşluğunun çevresindeki kayanın yük taşıma özelliğini koruması ve duraylılığın artırılması için kaya bulonları, kablo bulonlar veya herhangi bir kaya sağlamlaştırma elemanının yerleştirilmesi ve kayanın zaten var olan direncinin de harekete geçirilmesine kaya sağlamlaştırma denmektedir (Polat,2010). Bu uygulama içinde kaya bulonu, çelik hasır, püskürtme beton, çelik iksa ile kemer beton olup aşağıda açıklanmıştır.

3.2.7.1. Püskürtme Beton Uygulaması

Püskürtme beton tünel etrafındaki zeminin gevşemesini önlemek veya kontrol etmek için kuru ya da ıslak olarak pompalar yardımıyla kazı yüzeyine püskürtülen ince kum, agrega, çimento, priz hızlandırıcı karışımından oluşan, bünyesindeki priz hızlandırıcı kimyasallar yardımı ile erken priz alarak kayanın kesme dayanımını artırarak, tünel kesiti çevresindeki kayanın gevşemesini, kayadaki süreksizlikleri doldurarak dökülmeleri ve sökülmeleri önlemektedir. Kaya çatlaklarının kaplayıp sıkıştırarak kırılmaları ve kaya düşmelerini önler. Kazıdan hemen sonra oluşan gerilme ve yerdeğıştirmelerin bir kısmını karşılar. İksa ve çelik hasır ile kaya kütlesi arasında oluşabilecek bölgesel boşlukların minimumda kalmasını sağlar.

3.2.7.2. Hasır Çelik Uygulaması

Hasır çelik püskürtme betonun statik özelliklerini arttırmak ve beton priz alana kadar gerekli stabiliteyi sağlamak amacı ile kullanılır. Hasır çelik püskürtme betonun kesme kuvvetine karşı mukavemetini arttırmaktadır. Çelik hasırlar püskürtme betonla birlikte kullanıldıklarında kayaca sağlamlık verir, hava ve nem etkilerine karşı korur ve bulonların sağlamlaştırma etkilerine ek olarak rijit bir diyafram oluşturarak sağlamlık etkisini geniş bir alana yayar (Polat, 2010).

3.2.7.3. Kaya Bulonları Uygulaması

Kaya ankrajları kayayı çekme gerilmelerini taşıyabilecek şekilde sağlamlaştırmak, çekme gerilmelerini ana kayaya iletmek, süreksizliklerin sürtünme direncini arttırmak veya kayada üç eksenli gerilme durumu oluşturmak için zeminin içine bağlanan çubuklardır (Şeker, 2008). Bulonlar tünel kazısı sırasında duvar ve tavanda çözülmüş, kopmak üzere olan kayaların yerlerinde kalmalarını sağlayan, güvenliği arttırıcı elemanlardır. Kaya bulonları tünel kesiti çevresindeki kayanın desteklenmesinde kullanılan ana destek elemanlarından biridir (Polat,2010). Tünelde uygulanan bulonların SN, PG, IBO, SWELLEX (Standart Swellex, Süper Swellex), MEKANİK (Kamalı bulonlar), REÇİNELİ Bulonlar (Resin bolt) şeklinde farklı tipleri vardır.

3.2.7.4. Çelik İksa Uygulaması

Çelik iksa, kazı yapılan tünel kesitinde püskürtme beton dayanımını kazanıncaya kadar geçen sürede yapım güvenliğini sağlamak ve püskürtme betonda yük dağılımına yardımcı olmak amacıyla kullanılırlar.

3.2.7.5. Süren Uygulaması

Tünel aynasının stabilitesini sağlamak amacıyla tünel ilerleme yönünde kullanılan enjeksiyonlu sürenler ortamı iyileştirici, kayacın dayanımını arttırıcı özelliğe sahiptir, tünel aynasında önceden belirlenen çapta ve uzunlukta delikler delinerek, delinen deliklere uygun kalınlıkta ve uzunlukta çelik donatı ya da yeterli çekme dayanımına sahip fiberglaslar yerleştirilmekte ve etrafı uygun kıvamda çimento enjeksiyonuyla doldurulmaktadır. Bu sayede oluşturulan ön kemer altından kazı yapılarak tünel inşası gerçekleştirilmektedir (Öztürk 2007). Tünel kazı işlerinde gereken, bir kazı öncesi iksa elemanıdır. Kazıyı takiben, aşırı sökülme, çökme veya malzeme akmasına meyilli kaya ve zemin şartlarında uygulanır. Genel olarak bu çelik elemanlar, çelik çubuk, perfore (delikli) boru ve akıcı zeminlerde levha şeklinde olur.

3.2.8. Test ve Ölçüm Cihazları

Tünellerde tahkimat için uygulanan kaya bulonları teknik şartnamede belirtilen süre sonunda testlere tabi tutulmuştur. Bu kapsamda imalatı tamamlanmış kaya bulonlarında iki farklı test uygulanmıştır. İlk testte bulonlar tork anahtarıyla 50 kN (5000 kg) gerilme yükü altında dönme kuvveti ile test edilmiştir. İkinci testte ise bulonlar çekme krikosu ile 320 bar ile çekme kuvvetine maruz bırakılmışlardır. Testi geçemeyen bulonlar kuyudan çıkarılmış ve yeni bulon montajı ve enjeksiyonu yapılmıştır.

3.2.9. Tez Yazım Çalışmaları

Yüzey ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen birimlerin kaya kütle dayanım özellikleri, açıklayıcı ve yorum getirici şekil, diyagram, tablo ve çizelgeler çizilerek hazır hale getirilmiştir. Araziden elde edilen bilgiler, laboratuvar deney sonuçları ve masa başında yapılan büro çalışmalarının birlikte değerlendirilmesi ile jeolojik ve jeoteknik değerlendirme çalışmaları bilgisayar destekli olarak yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar bittikten sonra tezin yazımı tamamlanarak sunuma hazır hale getirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

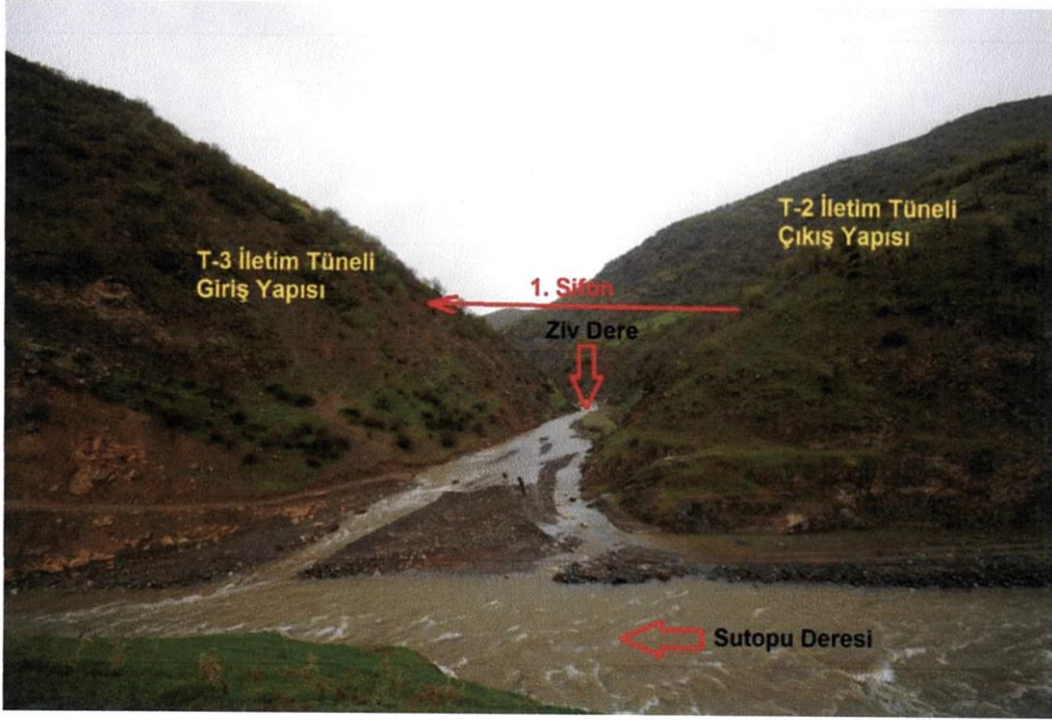
4.1. Nazar HES T-2 İletim Tüneli

Bitlis İli Hizan İlçesinin Güneyinde Sutopu Deresi üzerinde Nazar HES bünyesinde Akşar Regülatörüne su sağlamak amaçlı inşa edilen T-2 iletim tüneli 1270 m uzunluğunda, 5.80 m kazı genişliğine sahip olup, dışı modifiyeli At Nalı, içi At Nalı kesitlidir. (Şekil 4.1. Tünel kesiti) Proje alanı Doğu Anadolu Bölgesinde Bitlis İli Hizan İlçe sınırları içerisinde 1/25000 ölçekli VAN-L48-c2 no' lu paftada, Hizan ilçesinin 7 km güneydoğusunda yer almaktadır.



Şekil 4.1. T2 iletim tüneli kesit görünümü

İletim tünelinin maksimum örtü kalınlığı yaklaşık 100 m olup, toplam kazı alanı 112,65 m² dir (Şekil 4.2). Yapımına 15.12.2013 tarihinde başlanan tünelin tünel kazısı giriş-çıkış kısımlarında aynı anda başlatılarak kazı çalışmaları tamamlanmış olup, kemer betonu çalışmaları yüksek lisans tezi yazımı sırasında halen devam etmektedir. Tünel kazısı ve tahkimatı Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemi (NATM) (Rabcewicz, 1964) felsefesine göre dizayn edilmiştir. Tünel kazısı çalışmaları tam kesit olacak şekilde iş makineleri kullanılarak yapılmıştır. Tünel kazı çalışmaları sonrasında destekleme elemanları olarak püskürtme beton, kaya bulonu, çelik iksa, enjeksiyonlu süren ve çelik hasır kullanılmıştır.



Şekil 4.2. T2 iletim tüneli çıkış yapısı genel görünümü

4.1.1. Genel Jeoloji

İnceleme alanında Prekambriyen yaşlı granitik kayaların sokulduğu almandin-amfibolit fasiyesindeki çekirdek ve çekirdeği çevreleyen Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı yeşilşist fasiyesindeki örtü birimlerinden oluşan Bitlis Metamorfitleri yer almaktadır (Şengün, vd 1991). İnceleme alanında yaşlıdan gence doğru sırasıyla Devoniyen öncesi yaşlı Gökçimen formasyonu, Ordovisiyen – Silüriyen yaşlı Kuytu formasyonu, Orta-Üst Devoniyen yaşlı Arpik formasyonu, Alt Permiyen yaşlı Çayırdığı Grubu ve kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyon birimler yüzeylenmektedir (Şekil 4.3).

Proje sahasında ve Van Gölü güneyinde Bitlis Masifi'ni oluşturan Bitlis Metamorfitleri ve bunların örtü birimleri önceki çalışmacılar tarafından "Bitlis Metamorfik Kuşağı" olarak adlandırılmıştır. Bitlis Metamorfitleri, Prekambriyen yaşlı granitik kayaların sokulduğu almandin-amfibolit fasiyesindeki çekirdek ve çekirdeği çevreleyen Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı yeşilşist fasiyesindeki örtü birimlerinden oluşur. Şengün ve diğ. (1991) tarafından hazırlanmış, proje alanına ilişkin genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Şekil 4-4'de) verilmiştir.

4.1.1.1. Gökçimen Formasyonu (Pg)

Tane boyutuna bağılı olarak açık-koyu yeşil renklerde, bantlı, flişoid karakterli, iyi gelişmiş yapraklanmalı kuvarsitler Gökçimen Formasyonu olarak adlandırılmış ve ayırtlanmıştır. Birimin tipik kesiti, proje sahası dışında, kuzeydeki Akkilise ve Bola derelerinin birleşim yerinden başlayarak, Cenikeşin deresi sol yamacında gözlenir. Tipik kesit yerinde, Gökçimen Formasyonu'na ait kuvarsitler, Yolcular Grubu gnaysları üzerine açısız uyumsuzlukla gelirler. Yamaç yukarıda, uyumlu olarak Kuytu Formasyonu şistleri tarafından üzerlenirler Kuvarsitlerdeki renk değişimini, mineral bileşeninin yanı sıra dane boyu belirlemektedir. Kaba daneli kuvarsitler çoğunlukla açık renkli; ince daneli olanlar ise koyu renkli ve daha çok grovakımsı, amfibolitimsi görünümlüdür. Kayacın iyi gelişmiş yapraklanma düzlemleri, yer yer tabakalanmaya uygun, yer yer de tabakalanmaya aykırı yöndedir. Koyu ve açık renkli, 5–20 cm kalınlıktaki kuvarsit tabakalarının ardalanması şeklindeki birim içinde çapraz tabakalanma ve sık mercekleme gösteren kalın tabakalı mermer ara seviyeleri bulunur.

Gökçimen Formasyonu, proje alanında Balga yerleşimi, Navalabiye mevki, dibek yerleşimleri ile çevresinde, Sutopu ve Cenikeşin deresi sağ yamaçlarında geniş alanlarda yüzeylenir. Genellikle kıvrımlı yapıya sahip olan birim, üst seviyelerinde kaya türü özellikleri değişerek, çoğu yerde Sutopu ve Cenikeşin dereleri vadilerinde Kuytu Formasyonu'na geçer. Şengün ve diğ. (1991) tarafından yapılan çalışmada, stratigrafik konuma ve bölgede yeryer üzerine gelen Arpik Formasyonu'na dayanılarak, Gökçimen Formasyonu'nun Devoniyen öncesi yaşlı olabileceği belirtilmiştir.

4.1.1.2. Kuytu Formasyonu (Pk)

Mermer, mikaşist, kuvarsit, piritli kuvarsit, kuvarsist, arjillit, metaşeyl seviyelerinin ardalanmasından oluşan birim proje sahası kuzeyindeki Cenikeşin derenin sol yamaçlarında, Sutopu derenin her iki yamacında, Akşar, Aşağıkılavuz, Yalbaş, Recepli, Ekinlik, Delikbaş, Gürece yerleşimleri arasındaki geniş alanlarda yüzeylenir. T-2 iletim tüneli Kuytu formasyonu içerisinde açılmıştır. Kuytu Formasyonu, Cenikeşin dere vadisi boyunca Gökçimen Formasyonu üzerine uyumlu ve geçişli olarak; proje sahası dışında Otluca Yerleşimi kuzeyinde ise Yolcular Grubu'na ait gözlü gnayslar üzerine açısız uyumsuzlukla gelir. Şengün ve diğ. (1991) tarafından yapılan jeolojik çalışmalarda, Üst

Proterozoyik-Alt Paleozoyik yaşı bir paleotopoğrafya üzerinde gerçekleşen transgressif aşma olarak yorumlanmıştır.

Proje sahasında genellikle uyumlu olarak Arpik Formasyonu, yeryer de Çadırdağı Gurubu kayaları tarafından açılmal uyumsuzlukla üzerlenen Kuytu Formasyonu içerisindeki kaya türleri arasında yanıl geçişler gözlenir. Genellikle ince-orta tabakalı, geniş kıvrımlı yapıdaki birimin rengi, kapsadığı mineral erin miktarına bağlı olarak yeşilimsi siyahtan, sarımsı, yeşilimsi griye kadar değişir. Çoğunlukla ince ve gelişkin yapraklanmalı birimin kuvarşça zengin olan kesimlerinde yapraklanmalar kabalaşır ve giderek gnaysik yapraklanmaya ulaşır. Proje sahası ve Hizan çevresinde, birim içerisinde yer alan arjillit ve piritli metaşeyl düzeyleri nedeniyle, Kuytu Formasyonu, Toroslar'daki Bedinan Formasyonu'na benzetilmiştir. Bubenzerliğe dayanılarak birimin yaşı, Şengün ve diğ. (1991) tarafından Ordovisiyen – Silüriyen olarak kabul edilmiştir.

4.1.1.3. Arpik Formasyonu (Pa)

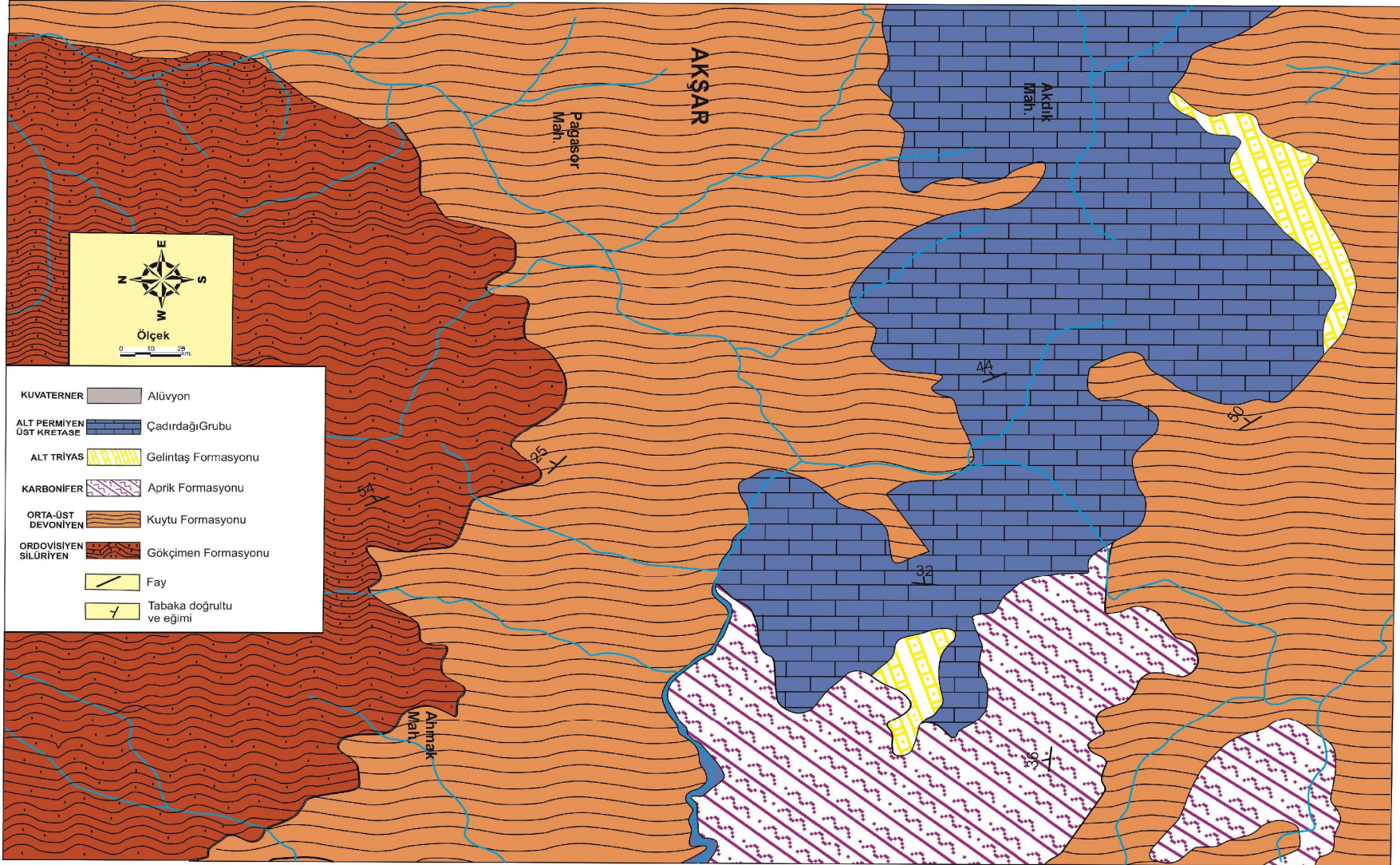
Kuvarşşist, şisti kuvarsit ve kuvarşlı mermerden oluşan birim, tipik yüzeylenmelerinin proje sahası dışında, Arpik köyü ve çevresinde bulunması nedeni ile Şengün ve diğ. (1991) tarafından Arpik Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Proje sahasında Küplü yerleşimi ve doğusunda, Ziy derenin sağ yamaçlarında ve Dokuz tepe çevresinde yüzeylenen birim, altta kuvarsit, kuvarşşist, şisti kuvarsit ve kuvarşlı mermer ara seviyesi; üste doğru kuvarşşist ve klorit şist arılanması ile temsil olunur.

Bitlis dolaylarında kalın istifler oluşturan birim, proje sahasında Kuytu Formasyonu ile yanıl ve düşey yönde geçişlidir. Arpik Formasyonu içindeki kuvarsitler, beyaz-krem, gri-koyu gri ve siyahımsı renklerde, ince - orta tabakalı, yer yer çapraz tabakalı olup dayanımlı özelliktedirler. Geniş kıvrımlı yapıdaki kuvarsitler, kuvarşşistlerle arılanmalı olup, üste doğru kuvarşşistlere geçişlidirler. Arpik Formasyonu, proje sahasında, Üçdirek yerleşimi kuzeyinde ve Çorakkaya tepe ile Ziy dere arasında Çadırdağı Gurubu (Pç, Pçg)kayaları tarafından üzerlenir. Arpik Formasyonu içerisinde, bazı kesimlerde gözlenen boz renkli ince-orta tabakalı kuvarşlı mermerler Şengün ve diğ. (1991) tarafından "Sak Üyesi"olarak ayırtlanmış ve kapsadığı fosillere göre Arpik Formasyonu'nun yaşı Orta-Üst Devoniyen olarak belirlenmiştir.

4.1.1.4. adırdadı Gurubu (P)

Bitlis Masifi'nde çekirdeği oluşturan (Yolcular Gurubu) metamorfik kayaları üzerleyen st metamorfitleerin st düzeylerine karşılık gelen ve Bitlis Gurubu kayaların üzerinde yer alan metamorfik, az metamorfik kayalar şengün ve diğ. (1991) tarafından adırdadı Gurubu kayalar adı altında toplanmıştır. Permiyen-Mesozoyik yaşlı adırdadı Gurubu, volkanit ara katkıları içeren karbonat kayaları topluluğu olarak tanımlanabilir.





Şekil 4.3. İnceleme alanının jeoloji haritası (Şengün ve diğ. 1991'den değiştirilerek)

ÜST SİSTEM		SENZOYİK		MESOZOYİK		PALEOZOYİK		LİTOLOJİ AÇIKLAMASI	
SİSTEM	KUVA- TNER	TERSİYER	KRETASE	TRİYAS	PERMİYEN	DEVON. KARBONİFER	ORDOVİ. SİLÜR.	GURUP	SİMGE
SERİ		OLİGO- MİYÖSEN	ÜST KRETASE	ALT TRİYAS	ALT PERM.	ORTA-ÜST DEVON.			
GURUP		Şirvan Gurubu	Baykan Gurubu	Çadırdağı Gurubu	Gurubu	Bitlis Gurubu	Yolcular Gurubu		
		Em	Pkçt -Tib-J-Kb	Pş - Pşm					
									Alüvyon, az yuvarlak yuvarlak, az köşeli, çeşitli taşlar, mermer ve kireçtaşlarına ait silt, kum, çakıl ve bloklar.
									Orta-kalın tabakalı, yer yer kumlu kireçtaşı, ince tabakalı kilitaşı-kireçtaşı ardalanması. Orta tabakalı kilitaşı-kumtaşı-mam. Sarımsı beyaz kumtaşı, jipsli.
									MADEN FORMASYONU Orta-kalın tabakalı konglemera, ince tabakalı çamurtaşı, kireçtaşı ve volkanit arakatlı yastık lavlar, metamorfileri kesen dayklar.
									UYUMSUZLUK
									BACAVAN FORMASYONU Bozumsu beyaz, krem, belirgin ince-orta-kalın tabakalı dolomit ve dolomitik kireçtaşı.
									BENEKLI FORMASYONU Alacalı renkli, az gelişmiş yapraklanmalı, karbonatlı şeyil ve kireçtaşları.
									KERZEVİL FORMASYONU Sarımsı siyah, ince-orta tabakalı, kaba dokulu, rekristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı.
									GELİNTAŞ FORMASYONU Boz, grimsi siyah, ince-orta tabakalı, iyi gelişmiş yapraklanmalı kuvarslı kalkışit, kuvarslı mermer ve fillatlar.
									ARPIK FORMASYONU Kuvarşist ve fillatlarla girk kuvarşit Beyaz, krem, gri, siyahımsı gri, çapraz tabakalı, masif, yer yer şistli fabrik kazanmış. Orta-kalın tabakalı kuvarslı mermer üyesi (Pşm)
									KUYTU FORMASYONU Klontoyidli mermer-mikaşist, mikaşistli, pirittli kuvarşit, kuvarşit, kuvarşist, fillat, kayrak.
									UYUMSUZLUK
									Amfibolit, biyotit gnays, muskovit gnays, mikaşistler ve bunları kesen granit kökenli gözlü gnays, biyotitli metagranit, kuvarso-feldspatik gnays ve metapegmatit. (Pan-Afrikan temel kayalar)

Şekil 4.4. Proje alanına ilişkin genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Şengün ve diğ. 1991)

Şengün ve diğ. (1991) Çadırdağı Gurubu içerisinde, alttan üste, Permiyen yaşlı Gelintaş, Nipin, Üst Permiyen yaşlı Kerzevil, Alt - Orta Triyas yaşlı Benekli, Üst Triyas-Jura –Alt Kretase yaşlı Bacavan, kireçtaşı-volkanit ardalanmalı Lahtandere, yastık yapılı lavlardan oluşan Sit ve Kampaniyen yaşlı Tilkikayası Formasyonları ayırtlanmıştır.

Proje sahasının güneyindeki engebeli alanlarda iki bölüm halinde yüzeylenen ayrılmamış Çadırdağı Gurubu kayaları (Pç); gurup içinde ayırtlanmış olan Gelintaş Formasyonu ise (Pçg) sembolü ile jeoloji haritasına işlenmiştir.

4.1.1.4.1. Gelintaş Formasyonu (Pçg)

Proje sahasında, Aşağı kılavuz yerleşimi batısındaki Çorakkaya tepenin güneydoğusunda ve Çalışkanlar yerleşimi kuzeyinde dar şeritler halinde yüzeylenen birim, kuvarslı kalkşist, kuvarslı mermer ve fillat tabakalarından oluşur. Gelintaş Formasyonu, altındaki Arpik Formasyonu ile giriklik gösterir; Kuytu Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelir. Kalkşistler, grimsi siyah renkte, ince-orta kalınlıkta tabakalı, yer yer laminalı, sert kırılğan, ince-orta taneli ve iyi gelişmiş yapraklanmalıdır. Kuvarslı mermerler, kirli sarı, kahverengi, ince - orta kalınlıkta tabakalı olup, yer yer kuvars oranı artarak karbonat çimentolu kuvarsitlere dönüşür. Sarımsı, yeşilimsi renkli fillatlar çok ince yapraklanmalı, yersel grafit seviyeli ve üst düzeylerinde bazik tuf ara katkıdır.

Kuvarslı mermer ve fillatlar, kalkşistler arasında, fazla kalın olmayan bantlar halinde bulunurlar. Kıvrımlı yapı gösteren Gelintaş Formasyonu Alt Permiyen yaşlı olup, bölgedeki tüm karbonat kayalarının alt düzeylerinde izlenir. Gelintaş Formasyonu, proje sahası güneyinde üst seviyelerde ayrılmamış Çadırdağı Gurubu kayaları tarafından uyumlu olarak üzerlenir. Proje sahası dışında Nipin civarında ise Nipin Formasyonu ile giriktir.

4.1.1.4.2. Nipin Formasyonu

Proje sahası dışında Nipin yakınlarında yüzeylenen ve Gelintaş Formasyonu ile girik olan, mercek şekilli metatuf ve metakonglomeralar Nipin Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Kaba yapraklanmalı olan birim, kirli beyaz, yeşilimsi kahve, siyahımsı sarımsı kahverenkli dir. Hask Formasyonu üzerinde ve Gelintaş Formasyonu ile girik olması nedeniyle birimin yaşı Karbonifer - Alt Permiyen olarak verilmiştir.

4.1.1.4.3. Kerzevil Formasyonu

Proje sahası dışında, güneydoğudaki Kerzevil dağında tipik yüzeylenmeleri izlenen dolomitik kireçtaşı ve rekristalize kireçtaşı, Şengün ve diğ. (1991) Kerzevil Formasyonu olarak adlandırılmış ve ayırtlanmıştır. Birim, Kuran dağında, bir antiklinalin çekirdeğinde yüzeylenir; Ceykor dağında kuzey dokanağı bindirmeli olup, Yolcular Gurubu'na ait gnayslar üzerine itilmiştir.

Rekristalize kireçtaşı altta siyah renkli, orta-kalın tabakalı dolomitik kireçtaşı ile başlar, üste doğru, yer yer laminalı, boz, siyah renkli, ince tabakalı - masif görümlü dolomitik kireçtaşına geçer. Daha üst seviyeler, sarımsı-boz renkli, ince-orta tabakalı dolomit ve rekristalize kireçtaşı; en üst seviyeler ise ince ve çok ince tabakalı killi dolomitik kireçtaşları ile oluşur. Killi dolomitik kireçtaşları, proje sahası dışında, Çatak güneyinde Triyas yaşlı benekli Formasyonu'na geçişlidir. Dolomitler sarımsı gri renkte olup, bol kırıklı yapıdadır. Kristalize kireçtaşları, erime boşluklu, kovukludur. Kerzevil Formasyonu çok kıvrımlı yapıda olup, içerdiği fosillere göre Üst Permian - Alt Triyas Yaşlıdır.

4.1.1.4.4. Benekli Formasyonu

Tipik yüzeylenmeleri proje sahası dışında, Kerzevil dağının güneyinde gözlenen ve Permian yaşlı kireçtaşı -kalkıştılarla yanal ve düşey yönde geçişli olan alacalı renkli karbonatlı şeyller ve kireçtaşları Şengün ve diğ. (1991) tarafından Benekli Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Proje sahası dışında, Çatak güneyinde, Vazo sırtı, Mergusan yaylası arasında yüzeylenen formasyon, Kerzevil Formasyonu üzerinde geçişli olarak yer alır. Birim, Bitlis Masifi'nde büyük bir devrik senklinal olan Kerzevil dağının güney yamacında, kıvrımların çekirdeğinde, D-B yönünde dar şeritler halinde yüzeylenir. Benekli Formasyonu düşük dereceli metamorfizma etkisi altında kalmıştır. Biriminin üzerine, bölgede çoğu yerde dolomitlerle başlayan platform tipi karbonatlar gelmektedir. İçinde bulunan fosillere dayanılarak Benekli Formasyonu'nun yaşı Alt Triyas olarak belirlenmiştir,

4.1.1.4.5. Bacavan Formasyonu

Tipik yüzeylenmeleri proje sahası dışındaki Bacavan dağı ve çevresinde gözlenen platform tipi kalın karbonat istif, Şengün ve diğ. (1991) tarafından Bacavan Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Proje sahası dışında, Çatak güneyinde, Vazo sırtı, Mergusan yaylası civarında açışız diskordanslı olarak Benekli Formasyonu üzerinde yer alır. İstif altta, bozumsu beyaz renkli, kaba dokulu masif kireçtaşları ile başlar, üste doğru siyah renkli, ince dokulu, bol kırık ve çatlaklı, tabakasız dolomitlere geçer. Dolomitlerin üzerinde yer alan dolomitik kireçtaşları belirsiz tabakalanmalı, ince taneli, sert, kırılğan, bol kırık ve çatlaklıdır. Üste doğru, beyaz, boz siyahımsı renkli tabakasız kireçtaşı ve sarımsı siyah, kirli beyaz renkli, orta - kalın tabakalı kireçtaşı ve en üstte volkanit ara katkılı kireçtaşları yer alır. Birimin yaşı, Jura - Alt Kretase olarak kabul edilmiştir.

4.1.1.4.6. Lahtandere Formasyonu

Proje sahası dışında, Kerzevil dağı güneyinde Otluk ve Madenköy arasında Lahtandere'de tipik yüzeylenmeleri gözlenen kireçtaşı bantları ile ardalanmalı akıntı yapıllı volkanitlerden oluşan birim Şengün ve diğ. (1991) Lahtandere Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Kıvrımın devrik kanadında, yer yer sürüklenmelerin altında dar alanlarda D-B yönlü uzanım gösteren birimin yaşı Kampaniyen olarak kabul edilmiştir.

4.1.1.4.7. Sit Formasyonu

Proje sahası dışında, güneyde Maden köyü batısında, Demirkapı - Sit köyleri civarında, Bacavan Formasyonu tarafından tektonik olarak kısmen örtölmüş, dar bir şerit halinde yüzeylenen yeşil, siyahımsı yeşil renkte, akma yapıllı, radyolarit ve çamurtaşı bantlı, yastık yapıllı lavlar Sit Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Volkanitler içinde, yeryer radyolarit, çört ve az miktarda radyolaryalı kireçtaşı gözlenir. Lahtandere ve Tilkikayası Formasyonları ile geçişli olan Sit Formasyonu'nun yaşı Kampaniyen - Maestrihtiyen olarak kabul edilmiştir.

4.1.1.4.8. Tilkikayası Formasyonu

Proje sahası dışında, Sit köyü kuzeybatısında dar bir alanda yüzeyleyen, pembemsi renkli, ince tabakalı ve laminalı, pelajik fauna içeren mikritik kireçtaşları ile türbiditik kireçtaşları Tilkikayası Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bitlis Masifi'nin üst bölümünü oluşturan Çadırdağı Gurubu kayaların en üst düzeylerinde yer alır. Tilkikayası formasyonu'nun yaşı, kapsadığı fosillere dayanılarak Senoniyen olarak belirlenmiştir.

4.1.1.5. Alüvyon (Qal)

Proje sahasındaki Sutopu, Nazar ve Cenikeşin dereleri ve yan kollarının yataklarında, blok, çakıl, kum ve siltlerden oluşan alüvyon malzemesi yer alır. Orta derecede boylanmalı alüvyon içerisindeki blok miktarı % 10-15 arasındadır. Masife ait kuvarsit, gnays, kireçtaşı, mermer ve çeşitli şistlerin köşeli, az köşeli blok, çakıl ve iri kum boyutundaki tanelerinden oluşan alüvyonun kalınlığı 6 – 7 m. olarak tahmin edilmektedir.

4.1.2. Yapısal Jeoloji

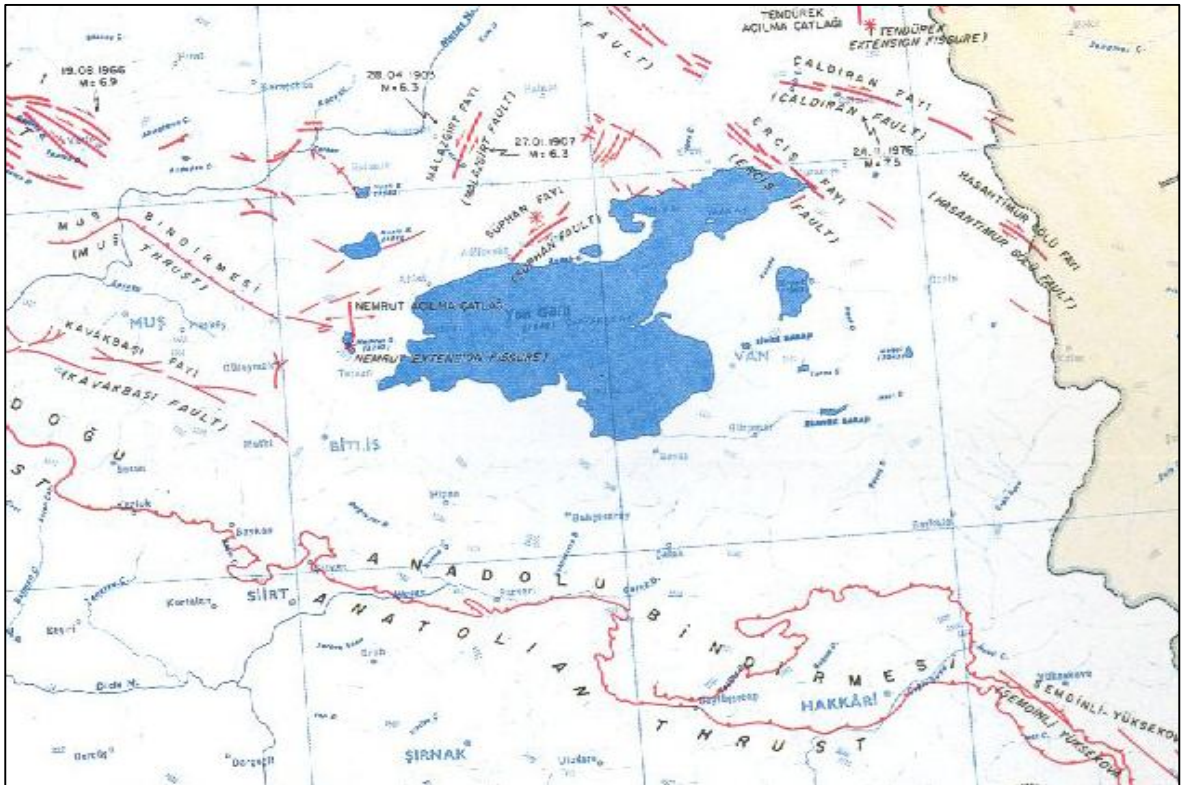
Bitlis Masifi, Alp-Himalaya zinciri üzerindeki Toros Orojenik Kuşağı'nın doğu bölümünde, Anadolu Plakası ile Arap-Afrika Plakası arasındaki muhtemel kenet kesiminde yer alır. Bölgede Toros Orojenik Kuşağı'nın merkez bölümünü oluşturan Bitlis Masifi, çifte dalımlı bir antiform olup (Altınlı,1963, 1966), eksen alçalması - yükselmesi ile sınırlanan daha küçük antiform ve sinformları kapsar. Bitlis - Gürpınar arasındaki sahalarda çifte dalımlı antiform yapı, gösteren Bitlis Masifi, Çağlayan A. ve diğerleri (1984) tarafından "Bitlis - Van Antiformu" olarak adlandırılmıştır.

Bitlis - Tatvan - Hizan - Şirvan arasındaki bölge, söz konusu antiformun Bitlis güneyindeki dalım noktası ile buna bağlanan kuzey ve güney kanatlar, üzerinde yer alır. Proje sahası dışında, masifin orta bölümlerinde görülen Yolcular Gurubu kayalar Bitlis - Van Antiformu'nun çekirdek kesimini bir dom şeklinde oluşturur. Çekirdek bölümünün kuzeyinde, proje sahasının da içinde bulunduğu, Bitlis - Tatvan - Gevaş hattı ve güneyindeki, Bitlis ve Çadırdağı gurubu kayalar, ile oluşturulan örtü bölümü, antiformun kuzey kanadında devrik bir senklinoryum yapısı gösterir. Senklinoryumun kanatları, D - B ve KKD yönlü olmak üzere iki ana gidişlidir Şengün ve diğ. (1991)

Antiformun çekirdek bölümünün güney kesiminde, Kretase'ye kadar kesintisiz uzanan kaya birimlerinin yüzeylendiği, Kerzevil ve Kuran dağlarını oluşturan devrik iki antiklinal ve aralarında kuzey kanadı devrik bir senklinal yer alır. Bu senklinal yapısı içinde Paleosen - Eosen yaşlı kaya birimleri yüzeylener. Büyük ölçekteki antiklinal ve senklinal yapıları içinde gelişmiş olan daha küçük kıvrımlar, buldukları kanadın gidişine uyumlu bir yapı geometrisi kazanmışlardır.

Bölgede mezoskopik kıvrımlar devrik ve genellikle yatık izoklinal kıvrımlardan oluşmaktadır. İzoklinal kıvrımlanma gösteren, fosilli olarak belirlenmiş en genç litoloji Eosen yaşlıdır. Miyosen yaşlı kaya birimlerinde ise devrik kıvrımlar gelişmiştir. Bu veriler bölgedeki kıvrımlanmanın Alpin döneme ait olduğunu göstermektedir. Bölgesel yapı verileri, Alp Orojenezinin, ana basınç yönü yaklaşık K-G olan bir sıkışma rejimi ile gerçekleştiğini göstermektedir. (Şengün ve diğ. 1991).

Bölgede, neotektonik döneme ait normal faylar, Bitlis Masifi kuzey sınırı, Muş Ovası ve Van Gölü güneyi boyunca görülür. (Şekil 4.5) Yapı ile ilişkisi olan yüksek açılı ters faylar çoğunlukla bölgenin güney kesiminde yaygındır. Ters faylar, Bitlis Masifi, Orojenik Fliş Kuşağı ve Arap Otoktonu'nun sınırlarını belirler konumdadırlar.

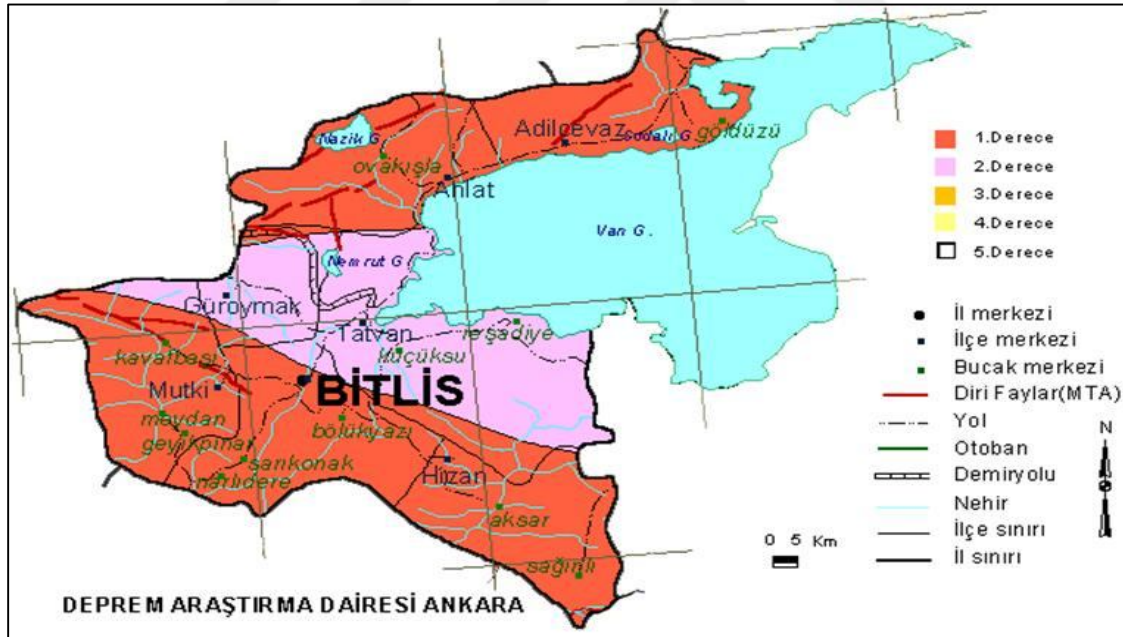


Şekil 4.5. Bitlis iline etkisi olabilecek önemli faylar (www.mta.gov.tr)

Bitlis ve civarındaki faylar incelenirken Bozkurt (2001)'un Van Gölü havzası için yapmış olduğu çalışma kaynaklarından biri olarak kullanılmıştır. Kuzey ve Doğu Anadolu Fay zonlarına paralel sağ, sol yönlü doğrultu atımlı faylar bölgenin baskın tektonik unsurlarıdır. Bu tektonik unsurlardan bazıları Ağrı Fayı, Bulanık Fayı, Çaldıran Fayı, Erçiş Fayı, Horasan Fayı, Iğdır Fayı, Malazgirt Fayı, Süphan Fayı, Balıkgölü Fay Zonu, Başkale Fayı, Çobandede Fayı, Dumlu Fay Zonu, Hasan Timur Fay Zonu, Kavakbaşı Fayı, Kağızman Fay Zonu, Doğubeyazıt Fay Zonu, Karayazı Fayı ve Kuzeydoğu Anadolu fay zonedir.

4.1.3. Depremsellik

Çalışma alanı Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre, depremsellik açısından 1. dereceden deprem bölgesinde olup, maksimum yatay ivmesi değeri 0.4g olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6). İnceleme alanında 1900-2006 yılları arasında >4 büyük çok sayıda deprem meydana gelmiş, ancak en son 1966 yılında 5 büyüklüğünde bir deprem gerçekleşmiştir.



Şekil 4.6. Bitlis ilinin deprem bölgeleri haritası (T.C. Başbakanlık Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (www.deprem.gov.tr))

4.1.4. Tünel Güzergâhının Jeolojisi

T-2 iletim tüneli güzergahı boyunca yapılan saha gözlemleri ve sondaj lgları incelendiğinde, Ordovisiyen –Siluriyen yaşlı mermer, mikaşıst, kuvarsit, piritli kuvarsit, kuvarşıst, arjillit, metaşeyl seviyelerinin araldanmasından oluşan Kuytu Fomasyonu içerisinde açılmıştır. Kuytu Fomasyonu içerisindeki kaya türleri arasında yanal geçişler gözlenir. Genellikle ince-orta tabakalı, geniş kıvrımlı yapıdaki birimin rengi, kapsadığı minerallerin miktarına bağlı olarak yeşilimsi siyahtan, sarımsı, yeşilimsi griye kadar değişir. Çoğunlukla ince v gelişkin yapraklanmalı birimin kuvarşça zengin olan kesimlerinde yapraklanmalar kabalaşır ve giderek gnaysik yapraklanmaya ulaşır. 1269 m uzunluğa sahip T-2 iletim tüneline hazırlanan tünel ayna haritalarından yararlanılarak tüneline boyuna kesiti çizilmiştir (EK-1).

4.1.5. Mühendislik Jeolojisi Özellikleri

4.1.5.1. Araştırma Sondajları

T-2 Enerji tüneline güzergahında kayaç özelliklerinin belirlenmesi için farklı derinliklerde 3 adet sondaj yapılmıştır.

SK-1 tünel giriş portalinde 30 m olarak açılmıştır. 0.00-4.00 m arasında yamaç molozu ve 4.00-30.00 m arasında kalkşıst grafitşıst ve fillit seviyeleri geçilmiştir. Kalsiyum içeren şıştli birimler açık renkli, genelde koyu yeşilimsi renkli, yer yer ayrışmış ve kristalize olmuştur (Çizelge 4.1).

SK-2 tünel ekseni üzerinde 130 m derinliğinde açılmıştır. Bu sondajda 0.00-14.00 m arasında yamaç molozu, 14.00-16.80 m arasında açık krem bej renkli, az kırık ve çatlaklı, yer yer çok kırıklı, kırıklar kil dolgulu, küçük erime boşluklu kalkşıst, 16.80-77.60 m arasında bej açık kahve renkli, çok kırıklı ve yer ye ayrışmış orta ve zayıf kayaç özelliğinde metakumtaşı-metasilttaşı, 77.60-130.00 m arasında yer yer metakumtaşı-metasilttaşı araldanmalı, açık gri bej renkli, çok kırık ve çatlaklı kalkşıst (Çizelge 4.1).

SK-3 tünel ekseni üzerinde 122.5 m derinliğinde açılmıştır. Bu sondajda 0.00-10.00 m arasında yamaç molozu, 10.00-16.00 m arasında açık kahve, gri-beyaz, çok zayıf kaya özelliğinde çok kırıklı ve parçalı, metakumtaşı-metasilttaşı, 16.00-22.00 arasında koyu

yeşil renkli ayrılmış,metakumtaşı, 22.0-27.80 m arasında açık kahve renkli, az kırıklı çatlaklı amfibolit şist, 27.8-122.50 m asında grafitşist bantları, açık kahve, açık gri, renkli genelde çok kırık ve çatlaklı ota derecede ayrılmış kalkşist-metakumtaşı-metasilttaşı (Çizelge 4.1).

Sondaj No	Koordinatlar		Metraj (m)	Litoloji	Formasyon
	X	Y			
AT2-SK-1	276490	422731 2	0.00-4.00	Kırmızı renkli kil , kum, silt ,kaya kırıntıları	Yamaç Molozu
			4.00-30.00	Kalkşist , Grafitşist, Fillit	Kuytu Formasyonu
AT2-SK-2	275547	422628 1	0.00-14.00	Kırmızı renkli kil , kum, silt ,kaya kırıntıları	Yamaç Molozu
			14.00-16.80	Kalkşist	Kuytu Formasyonu
			16.80-77.60	Metakumtaşı ,metasilttaşı	
			77.60-130	Kalkşist	
AT2-SK-3	274738	422540 9	0.00-10.00	Kırmızı renkli kil , kum, silt ,kaya kırıntıları	Yamaç Molozu
			10.00-16.00	Metakumtaşı ,metasilttaşı	Kuytu Formasyonu
			16.0-22.00	Metakumtaşı	
			22.00-27.80	Amfibolitşist	
			27.80-122.5	Kalkşist ,metakumtaş,metasilttaşı	

Çizelge 4.1. T2 tüneli güzergahında açılan sondaj kuyularının koordinat ve derinlikleri.

4.1.5.2. Hidrojeloji







İnceleme alanında yüzeylenen metamorfik kayalarda tektonik etkiler nedeniyle gelişen çatlak ve kırık sistemlerinden dolayı, kayalarda yer yer ikincil gözeneklilik gözlenmektedir. Ana drenajı oluşturan Sutopu deresi ve buna tali olarak katılan Gevuş çayı oldukça yüksek debilidir. Bölgede görülen yoğun kar yağışı nedeniyle yeraltı suları beslenmektedir. Açılan sondajlarda SK-2’de 96 m’de, SK-3’te 70 m derinlikte yeraltı suyuna rastlanmıştır.

4.1.5.3. Tünel Destek Sınıflaması ve Tasarım Parametreleri

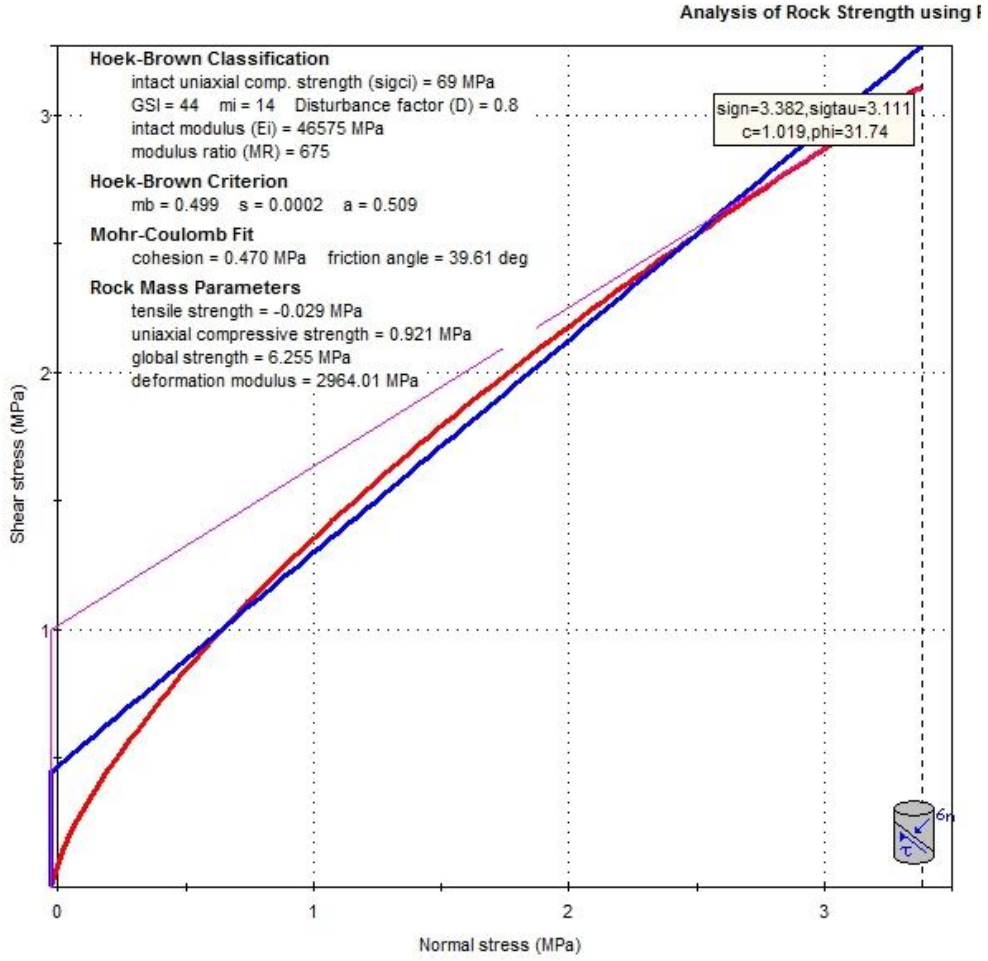
Bu çalışma kapsamında T-2 iletim tünelinin Hoek Brown yenilme kriterine göre değerlendirilmesi ve RMR ve Q kaya kütlesi sınıflaması Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş. (2013) tarafından hazırlanan raporlardan yararlanılarak belirlenmiştir. Kayaç kütlesinin dayanım ve deformasyon parametreleri Hoek-Brown at al. (2002) yenilme kriterinden yararlanılarak belirlenmiştir. Kuytu Formasyonundan alınan sağlam karot örnekleri üzerinde laboratuvarında yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyine göre, tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 69 MPa elde edilmiştir.

Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) yapı özellikleri çok bloklu ve süreksizlik yüzey koşulları genellikle düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler olarak tanımlanmış olup 44 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). mi değeri Hoek ve Diererichs (2006) tarafından önerilen tablodan yararlanılarak 14 alınmıştır. örselenme faktörü (D) kazı tekniği delme patlatma ve mekanik kazı ile yapılacağı planlanarak 0.8 alınmıştır.

İnceleme alanındaki birimlerin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda RocLab programı (www. Rocscience.com, 2015) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda Hoek Brown sabiti mb: 0.499, kaya kütle karakteristiklerine bağlı sabitlerden s: 0.0002 ve a :0.509, Mohr-Coulomb kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0.470 MPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 39.61°, kaya kütlesi parametrelerinden elastisite modülü (Em) 2195.56 MPa olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.8).

JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	
Kaya kütlelerinin yapısını ve yüzey koşullarını tanımlayan harf kodları belirlenerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir		COK İYİ Çok pürüzlü, taze ayrılmamış yüzeyler	
YAPI		AZALAN YÜZEY KALİTESİ	
		İYİ Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvımalı yüzeyler	ORTA Düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler
		ZAYIF Kaygan, sert veya köşeli parçalar içeren, dolguya sahip, çok ayrılmış yüzeyler	ÇOK ZAYIF Kaygan, yumuşak kil dolgu, çok ayrılmış yüzeyler
	SAĞLAM VEYA MASİF - Kayaç malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kaya kütleleri	90	UYGULANMAZ
	BLOKLU - 3 Ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütleleri	80	KAYA PARÇALARININ KENETLENME DEREJESİNDE AZALMA ↓
	ÇOK BLOKLU - Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setinin kesişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütleleri	70	
	BLOKLU/ÖRSELENMİŞ - Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrılmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleleri	60	
	PARÇALANMIŞ - Köşeli ve yuvarlak kayaç parçalarının birlikteliğinden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırıklı kaya kütleleri	50	
	FOLİYASYONLU-LAMİNALI-MAKASLANMIŞ İnce laminalı veya foliasyonlu ve makaslanmış zayıf kayaçlar. Diğer süreksizlik setlerine oranla daha egemen olan sık aralıklı şistozite yüzeyleri kayaçta bloklaşmanın gelişmesini önlemiştir.	40	
		30	
		20	
		10	
		UYGULANMAZ	

Şekil 4.7. Sağlam veya masif kaya kütleleri ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaçları da içerecek şekilde yeniden düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi (Hoek, 1998)



Şekil 4.8. Hoek Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi parametreleri

Tünel destek kategorilerinin belirlenmesi için kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden RMR ve Q kaya kütlesi sınıflama sistemleri kullanılmıştır. İlk kez Bieniawski (1976) tarafından önerilen RMR sistemi birkaç kez modifiye edildikten sonra 1989'da yapılan değişiklikle (Bieniawski, 1989) son şeklini almıştır. Yerinde yapılan gözlemler ve sondajdan alınan karot örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonuçlarına göre Akşar projesi kapsamında kazılacak T-2 enerji tüneline karşılaşılabilecek kaya kütlesinin RMR değeri (Çizelge 4.2'de) verilmiştir.

Kaya kütlelerinin süreksizlik yönelimi birimin masif olması nedeniyle “uygun” olarak kabul edilmiştir. Ancak tünel içerisindeki süreksizliklerin eğim açıları 20-45° arasında belirlenmiş olmasına rağmen süreksizliklerin eğim yönleri belirlenemediğinden, kaya kütleleri süreksizlik yönelim değeri -2 ile -10 arasında değiştiği kabul edilmiştir. Bundan dolayı kaya kütleleri Orta- Zayıf kaya olarak tanımlanmıştır.

Parametre	Değer/Tanım	Puan
1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı	69	7
2. Karot kalite değeri (%RQD)	50	8
3. Süreksizlik sıklığı (m)	<0.2	8
4. Süreksizlik durumu	10-20m	
Devamlılık	<0.1mm	1
Açıklık	Az Pürüzlü	5
Pürüzlülük	Sert Dolgu <5	3
Dolgu	mm	4
Bozunma derecesi	Orta Derecede Bozunmuş	3
5. Yer altı suyu durumu	Nemli	10
Temel RMR	Orta Kaya	49
6. Süreksizlik yönelimi	Uygun-Uygun	-2/-10
Nihai RMR	Zayıf-Orta Kaya	39-47

Çizelge 4.2. T-2 iletim tüneli RMR sınıflaması (Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş. 2013’den değiştirilerek)

Barton ve diğ. (1974) tarafından geliştirilen ve sistemin destek türlerinin seçimine yönelik bölümü Grimstad ve Barton (1993) tarafından revize edilen Q sistemi birbirinden bağımsız 6 parametrenin fonksiyonu olarak T-2 iletim tüneline 1 adet sondaj lokasyonu için uygulamıştır. (Tablo 4.3).

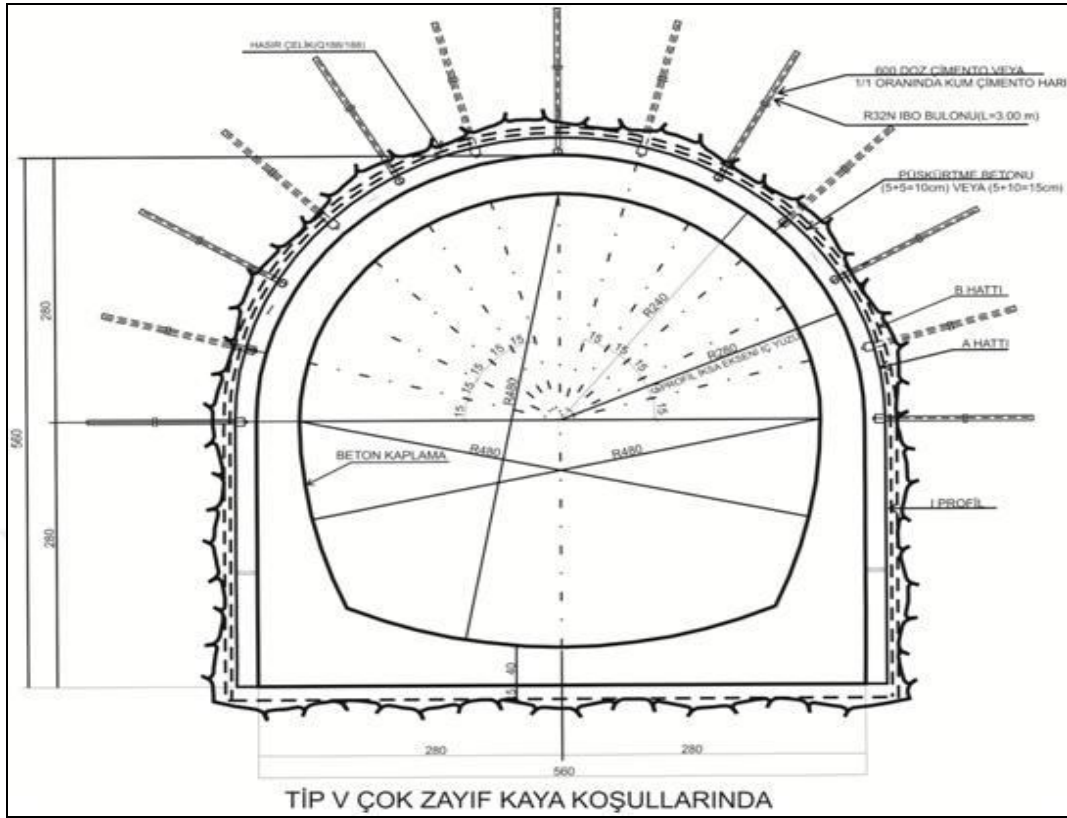
$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (E.4.1)$$

Çizelge 4.2’deki değerler E-1’de yerine konduğunda Q değeri 0.4 olarak belirlenmektedir. Eşdeğer boyut (De) tünel kazı çapı 5.8m ve kazı destek oranı 1.6 alınarak yapılan hesaplamalarda 3.6 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen parametreler ışığında destek sınıfı 5 ve çok zayıf kayaç olarak tanımlanmıştır.

Parametre	Tanımlama	Puan
Kaya Kalite Göstergesi (RQD)	Ortalama RQD 50	50
Eklem takım sayısı (J_n)	Üç ekle takımı ve gelişi güzel eklemler	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	1.5
Eklem alterasyon sayısı (J_a)	Çok az değişime uğramış süreksizlik yüzeyleri, yumuşayan mineral kaplamaları, kum taneleri kil içermeyen bozunmamış kaya	2
Eklem su azaltma faktörü (J_w)	Düşük su gelimi	1
Gerilme azaltma faktörü (SRF)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı	7.5

Çizelge 4.3. T-2 iletim tüneli Q sınıflaması (Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş. 2013'den değiştirilerek)

4.1.5.4. Nazar HES T-2 İletim Tüneli Destekleme Sistemi



Şekil 4.9. Tip V çok zayıf kaya koşullarında uygulanan destek sistemi (Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş 2013)

4.2. Tünel İçerisinde Oluşan Duraysızlıklar ve Çözüm Önerileri

4.2.1. Km: 0+087-0+115 Arasında Oluşan Göçük Nedeni ve Yapılan İyileştirmeler

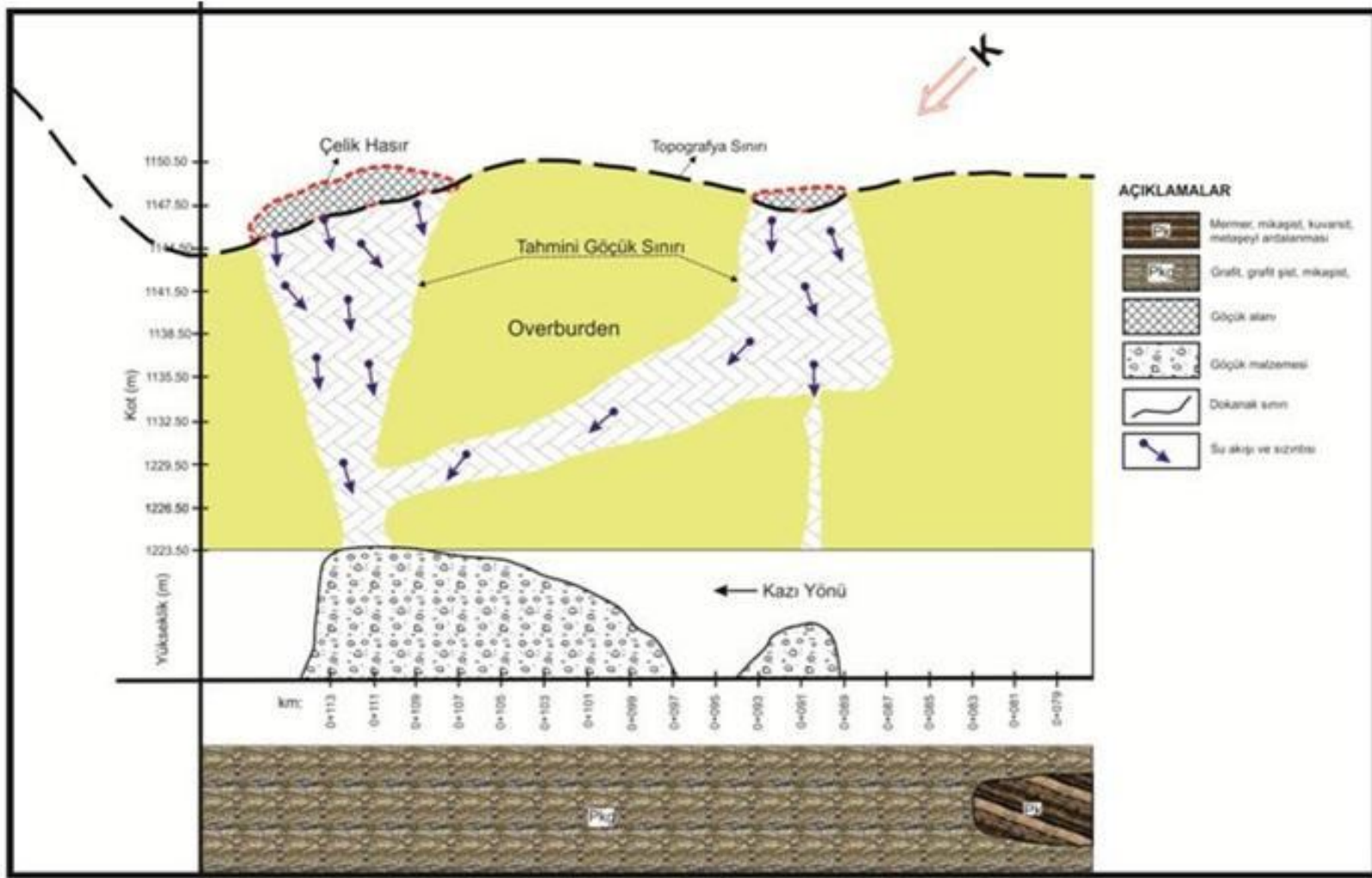
Km: 0+083-117 arasında genel olarak Kuytu Formasyonuna ait grafit şist içerisinde tünel kazısı yapılmıştır. Tünel tavan kotu ile topografya arasındaki örtü kalınlığı yaklaşık 18 m civarındadır. Bu zonun en üst kısmında mevsimsel olarak akan dereler ve bu derelerden kaynaklı alüvyon malzeme yer almaktadır. Göçük bölgesi ve yakın civarında daha önceden desteklenmiş alanlarda (Bu zon içerisinde destekleme elemanı olarak sadece çelik iksa ve 21 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanarak ilerleme sağlanmıştır) oluşan deformasyonlar nedeniyle radyal çatlaklar tespit edilmiştir. Daha sonra su etkisi ve zemin ile suyun karışımından oluşan çamur şeklindeki malzemenin kaplama üzerine yaptığı basınç nedeniyle tünel içerisine doğru malzeme akışları başlamıştır. Özellikle km: 0+111-113 arasında aniden tünel içerisine doğru öncelikle grafitşist parçaları daha sonra ise su etkisiyle çakıl kum kil karışımından oluşan çamur şeklinde dere malzemesi gelmiştir. (Şekil 4.10)

Göçük malzemesinin tünel içerisine akması ile birlikte bu malzeme alınarak tünel dışarısına çıkarılmaya çalışılmış ancak malzeme akışının devam etmesi nedeniyle bu işlem yapılamamış ve tünel aynasından geriye doğru yaklaşık 10 m lik zon boyunca malzeme tünel içerisine yayılmıştır (Şekil 4.10).

Bu göçük esnasında yaklaşık 75 cm aralıklarla uygulanan 7 adet IPN 160 lık çelik iksa koparak işlevsiz bir duruma gelmiştir. Daha sonra bu malzeme üzerine yaklaşık 38 m³ püskürtme beton atılmış ve göçük malzemesinin yayılması durdurulmuştur. Göçük sonrası yüzeyde yapılan çalışmalarda göçüğün yüzeye kadar ulaştığı ve baca (sinkhole) şeklinde bir yapı oluşturduğu gözlenmiştir (Şekil 4.12). Oluşan boşluğun yüzeye ulaşmasından dolayı herhangi bir canlının düşme riskine karşılık bacanın yüzeyi Q181/181 hasır çelikle kaplanarak koruma altına alınmıştır.



Şekil 4.10. T2 tüneline göçük nedeniyle tünel içerisine akan malzemenin genel görünümü



Şekil 4.11. T2 tüneline km: 0+087-0+115 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti.

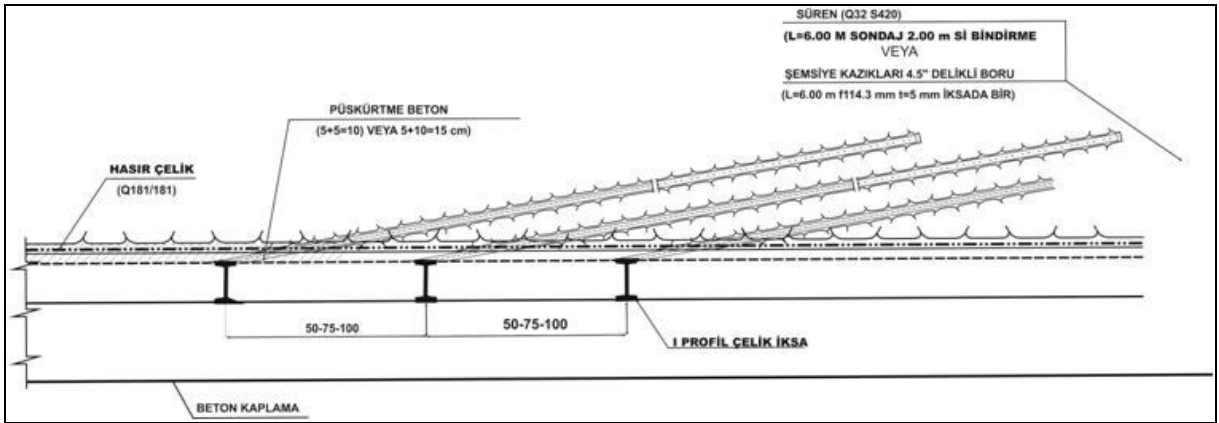


Şekil 4.12. T2 tüneline göçük nedeniyle yüzeyde oluşan bacanın görünümü.

Göçük bölgesindeki tüm malzemenin yüzeye kadar tünel içerisine doğru akmasından sonra, bu malzemenin tünel dışına taşınması ve göçük alanının iyileştirme yapılarak geçilmesi planlanmıştır. Bunun için öncelikle pasa üzerine atılan püskürtme beton üzerinden Jumbo ile barbakan delikleri açılarak su basıncını en aza indirmek ve yeraltı seviyesini daha alt kotlara indirmek için drenaj çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra göçük bölgesinde oluşan boşluğun beton ile doldurulması için Jumbo ile delikler delinerek dolgu betonu imalatı yapılmıştır. 128 m³ dolgu betonu imalatı yapıldıktan sonra daha fazla alış yapmadığı ve su dolgu betonunu yıkayıp getirdiği için göçük pasası içerisinde farklı bir bölgeye sağlam zon oluşturmak amaçlı enjeksiyon imalatına geçilmiştir. Zeminden dolayı (grafitistler) pasa içerisinde enjeksiyon alış yapmadığı için bu imalata devam edilmemiştir. Bu imalatlardan sonra priz süreleri beklenildikten sonra ayna kazısına girilmiştir.

Tünel içerisindeki su kesilemediğinden dolayı ayna kazısı esnasında tekrar tünel içerisine malzeme akışları meydana gelmiştir. Tünel içerisine gelen malzeme alınarak göçüğün sönümlenmesi beklenmiştir.

Göçük alanının iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar kapsamında göçüğün oluşturduğu boşluğa yaklaşık 56m^3 dolgu betonu uygulanmıştır. Destkleme elemanı olarak 12 adet adet IPN 160 lık çelik iksa, 6 metre uzunluğunda 30 adet şemsiye kazığı (süren) montajı, Q181/181 hasır çelik, 15 cm kalınlığında püskürtme beton ve 45 adet 9 metre uzunluğunda enjeksiyonlu IBO bulon uygulaması yapılarak göçük alanı iyileştirilmiştir (Şekil 4.14). Göçük bölgesinden itibaren tekrar ayna kazısına girilerek aynada 5-6 metre ilerlendikten sonra geriye doğru desteklenmiş alana 15 cm kalınlığında ek püskürtme beton uygulaması yapılarak destekleme kemeri tamamlanmıştır.



Şekil 4.13. T2 tüneline göçük bölgesine uygulanan destekleme paterni.



Şekil 4.14. T2 tüneline göçük bölgesine dolgu beton ve şemsiye kazığı uygulaması

4.2.2. Km: 0+950-0+975 Arasında Oluşan Göçük Nedeni ve Yapılan İyileştirmeler

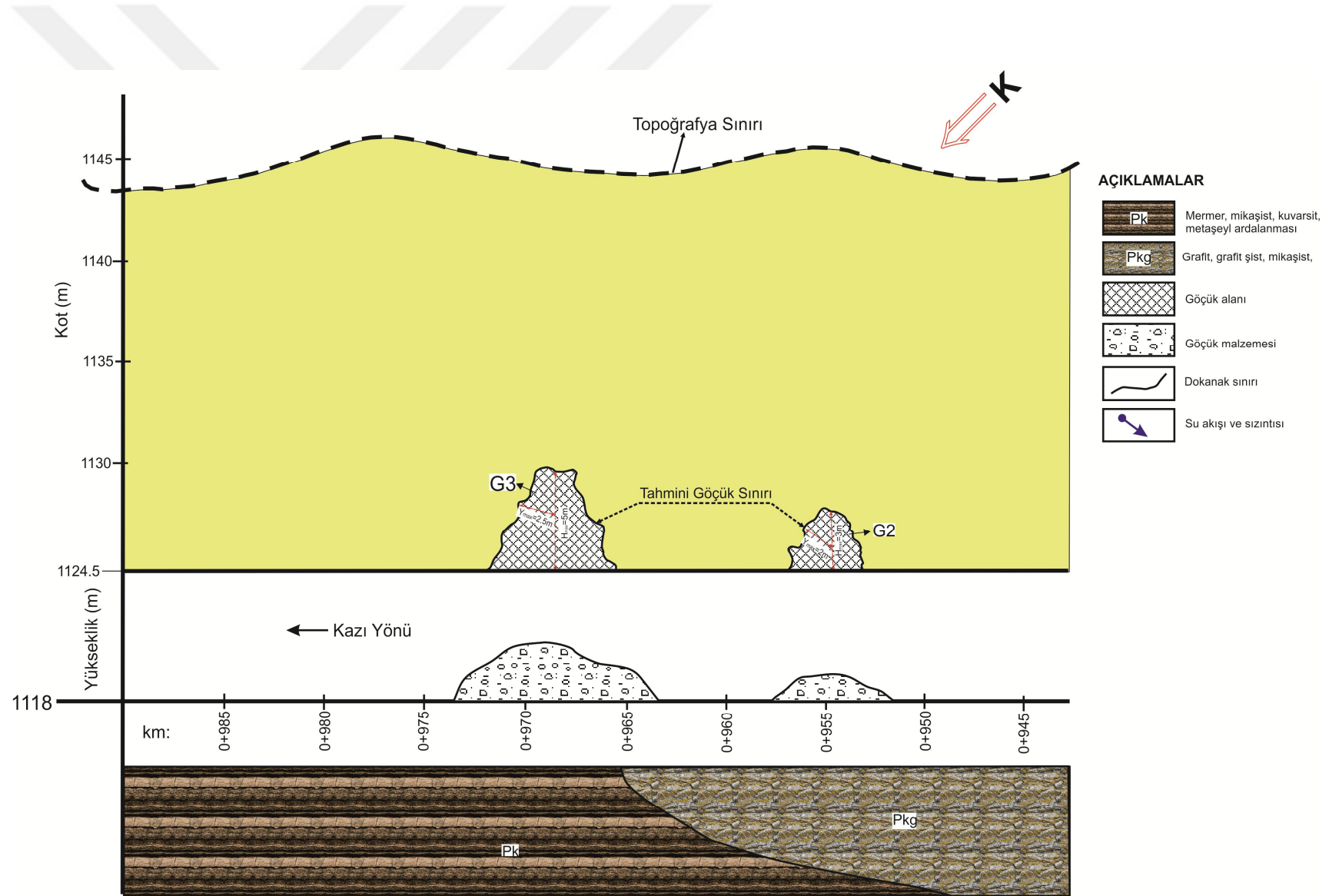
Km: 0+953-0+957 arasında genel olarak Kuytu Formasyonunun yoğun alterasyona uğramış birimi olan grafit şist içerisinde tünel kazısı yapılmıştır. Km: 0+965-0+975 arasında ise Kuytu formasyonuna ait yoğun alterasyonun gözlendiği mikaşist, kuvarsit ve metaşeyl birimleri içerisinde açılmıştır. Bu bölgelerde Göçük oluşmadan önce tünel tavan kısımlarında radyal çaltalaklar ile tünel içerisine doğru yoğun bir su akışı gözlenmiştir. Tünel kazı sırasında tünel kazı alana doğru grafit şistler içerisinde damar şeklinde sokulum gösteren kuvarsit ve mikaşist parçaları su ile birlikte tünel içerisine doğru akmaya başlamıştır (Şekil 4.15). Malzeme akışına bağlı olarak daha önce bu bölgelere uygulanan püskürtme beton ve R32 İBO bulonlarda tünel içerisine doğru akmıştır.

Göçük bölgeleri daha fazla ilerlemeden püskürtme beton (13 m^3) uygulanarak hemen müdahale edilmiş ve göçüğün ilerlemesi durdurulmuştur (Şekil 4.9). Malzeme akışı durdurulduktan sonra bir kısım pasa çekilip tahkimat işlerine başlanılmış olup ilk önce açılan boşluklar dolgu betonu (yaklaşık $10 +14 \text{ m}^3$) uygulanarak doldurulmaya çalışılmıştır. Daha sonra Jumbo ile açılan deliklerden yaklaşık 29 m^3 konsolidasyon enjeksiyonu imalatı yapıp prize bırakılmıştır (Şekil 5.10). Göçük bölgeleri sağlamlaştırıldıktan sonra tünel aynasına 6 m lik 24 adet şemsiye kazığı montajı yapılmış ve tünel kazı ilerlemesinin sağlanması için IPN 160 lık çelik iksalar kullanılarak, iksa aralarına en az 21 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanarak tünel kazısına devam edilerek ilerleme sağlanmıştır (Şekil 4.18).

Bu bölgede oluşan göçüğün nedenleri incelendiğinde, en önemli parametreler zayıf kaya özellikleri ve su gelişi ile birlikte, göçük zonlarından ayna gerisinde aynaya kadar R32 lik İBO bulonlar çakılmış ancak enjeksiyonu ve plakası takılmadan tünel kazısına devam edilmiştir. Bunun dışında bu bölgede yer alan grafit şistlerin aşırı derecede alterasyona uğramış olması nedeniyle iksa üzerinden ayna kazısından önce şemsiye süren montajı yapılmaması da tünel duraylılığını etkilemiştir.



Şekil 4.15. T2 tüneline göçük zonlarında akan malzemenin görünümü



Şekil 4.16. T2 tüneline km: 0+950-0+975 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti.



Şekil 4.17. T2 tüneline göçük alanına yapılan enjeksiyon uygulaması



Şekil 4.18. T2 tüneline şemsiye kazık uygulaması

4.2.3. Km: 1+055-1+065 Arasında Oluşan Göçük Nedeni ve Yapılan İyileştirmeler

Km: 1+055-1+065 arasında genel olarak Kuytu Formasyonunun birimi olan grafit şist içerisinde tünel kazısı yapılmıştır. Tünel kazısı sırasında km: 1+060'da başlayarak yanal yönde ve düşey yönde genişleyerek, tünel içerisinde öncelikle grafit şistler içerisinde damar şeklinde sokulum gösteren kuvarsit ve mikaşist parçaları su ile birlikte tünel içerisine doğru akmaya başlamıştır (Şekil 4.19).

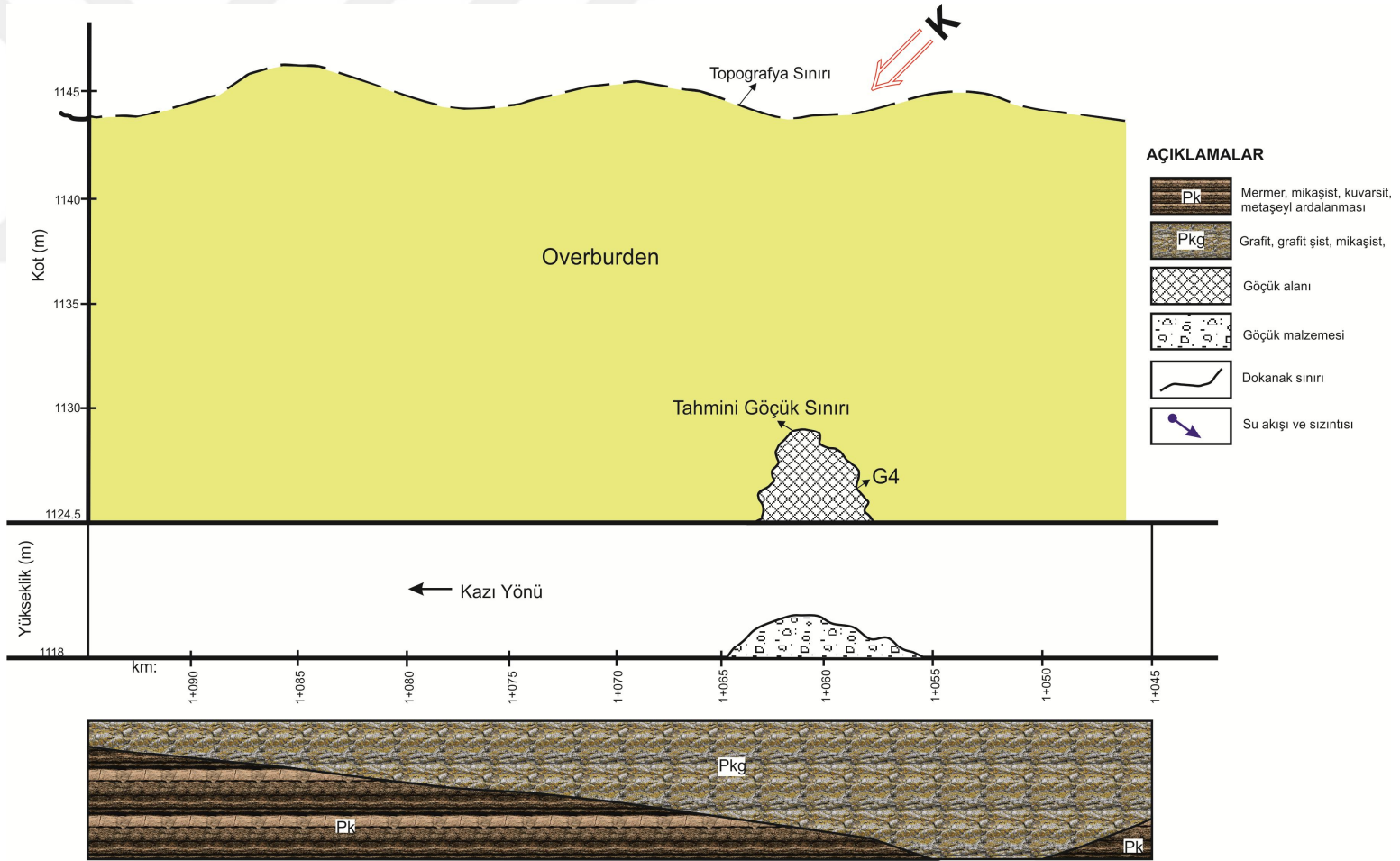
Göçük oluşmadan önce tünel tavan ve yan duvarlarında zemin içerisindeki su dışında göçüğe neden olabilecek herhangi bir belirti gözlenmemiştir. Göçük malzemesinin tünel içerisinde yayılmasından dolayı yaklaşık 18 m³ püskürtme beton uygulanmış ve göçük malzemesinin yayılması durdurulmuştur (Şekil 4.21). Bunun sonucunda malzeme akışı durdurulduktan sonra bir kısım pasa çekilip tahkimat işlerine başlanılmış olup 12m³ dolgu betonu imalatı yapıldıktan sonra ayna prize bırakılmıştır.

Daha sonra Jumbo ile açılan bu deliklerden göçük bölgesine 37m³ konsolidasyon enjeksiyon imalatı yapıp sağlamlaştırma çalışmalarına devam edilip prize bırakılmıştır. En son tünel aynasına 6 m lik 16 adet şemsiye kazığı montajı yapılmıştır (Şekil 4.22). Bu aşamayla birlikte aynada kazı yapılarak 4-5 metre ilerlendikten sonra tünel tavanına tekrar 21m³ dolgu betonu imalatı yapıp kemerleşme sağlandıktan sonra kazıya devam edilmiştir. Tahkimat ve iyileştirme işlemi tamamlandıktan sonra sol sahile üst yarı iksası kurulup püskürtme betonu atıldıktan sonra sağ sahile yarım iksa kurulup o bölge geçilmiştir (Şekil 4.15).

Bu bölgede oluşan göçüğün sebebi kayaç özellikleri ile birlikte ayna gerisinde ve aynaya kadar olan mesafe R32 lik ibo bulonların çakılmamış olması, tam kesit tünel kazısının yapılmış olması şemsiye süren uygulamasının yapılmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.19. T2 tüneline göçük sonrası kazı aynası ve göçük malzemesinin görünümü



Şekil 4.20. T2 tüneline km: 1+055-1+065 arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti.



Şekil 4.21. T2 tüneli aynasında şemsiye kazığı montajı



Şekil 4.22. T2 tüneli göçük bölgesinde parçalı iksa montajı

4.2.4. Km: 1+200-1+235 Arasında Oluşan Göçük Nedeni ve Yapılan İyileştirmeler

Km: 1+203-1+207 ve Km: 1+223-1+235 arasında genel olarak Kuytu Formasyonuna ait grafit ve grafit şist içerisinde tünel kazısı yapılmıştır. Km: 1+203-1+207 arasında patlatmalı tünel kazısı sırasında rijit yapıda grafit şistler ve damar şeklinde sokulum gösteren kuvarsit parçaları, su ile birlikte tünel içerisine doğru akmaya başlamıştır (Şekil 4.16). Km: 1+223-35 arasındada benzer kayaç özellikleri gözlenmiştir. Genel olarak grafit şistler rijit yapıda olduğundan tünel kazısı delme-patlatma ile yapılmıştır. Patlatma etkisiyle gevşeyen grafit şistler öncelikle tünelde aşırı sökülmeye neden olmuş ve hemen arkasından çok daha fazla malzeme akışı gözlenmiştir (Şekil 4.23). Malzeme akışı ile birlikte tünel kaplamasındaki IPN 160'lık iksalar, püskürtme beton gibi destek elemanları zarar görmüştür.

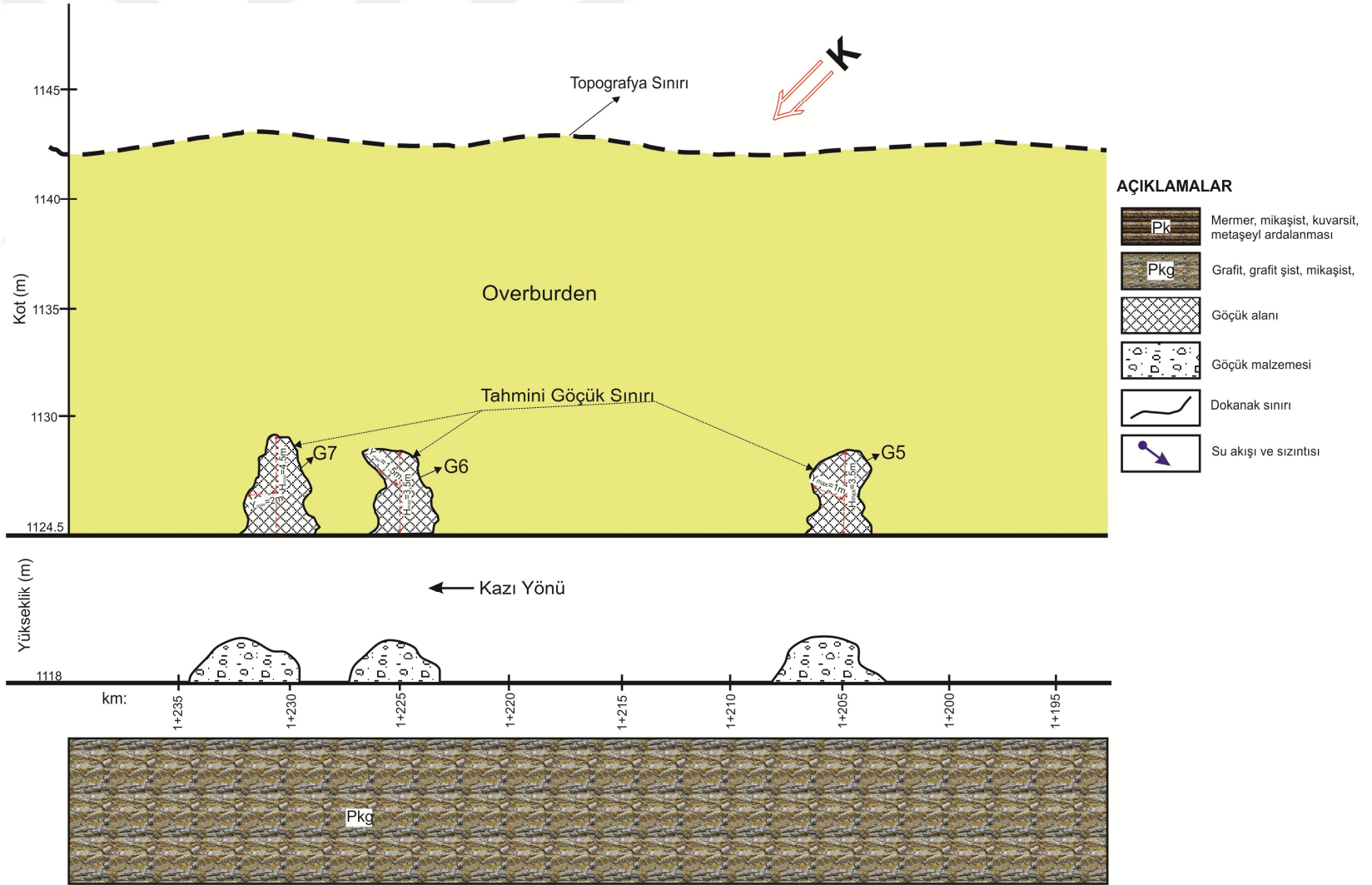
Km: 1+203-1+207 arasındaki göçük zonunun olduğu bölgeye yaklaşık 12 m³ püskürtme beton atılmış ve göçük zonunun ilerlemesi durdurulmuştur. İlerleme durdurulduktan sonra göçük bölgesine 37 m³ dolgu betonu basılarak prize bırakılmıştır. Tünel aynasında kazı çalışmalarına devam etmek için aynaya 6 m lik 30 adet şemsiye süreni montajı yapılmıştır.3-4 raunt ilerleme sağlandıktan sonra, göçük bölgesine ek olarak 9m³ dolgu betonu uygulaması yapılmıştır (Şekil 4.25). Km: 1+223-1+235 arasında göçük malzemesinin tünel içerisinde yayılmasından dolayı yaklaşık 17 m³ püskürtme beton atılmış ve göçük malzemesinin yayılması durdurulmuştur. Bunun sonucunda malzeme akışı durdurulduktan sonra bir kısım pasa çekilip tahkimat işlerine başlanılmış olup ilk önce Jumbo dolgu betonu ve dolgu enjeksiyonu basmak amaçlı delikler açmıştır. Daha sonra bu deliklerden 25m³ dolgu betonu imalatı yapıldıktan sonra ayna prize bırakılmıştır.

Dolgu betonunun fazla alış yapmamasından dolayı göçük bölgesine 32m³ enjeksiyon imalatı yapıp sağlamlaştırma çalışmalarına devam edilip prize bırakılmıştır. Bu zon içerisinde destekleme elemanı olarak IPN 160 lık çelik iksa ve 21 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanarak ilerleme sağlanmıştı. En son tünel aynasına 6 m lik 26 adet şemsiye kazığı montajı yapılmıştır(Şekil 4.26). Bu aşamayla birlikte aynada kazı yapılarak 5-6 metre ilerlendikten sonra tünel tavanına tekrar 11m³ dolgu betonu imalatı yapıp kemerleşme sağlandıktan sonra kazıya devam edilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi göçüğün nedeni grafit şistlerin masif ve rijit olmasına bağlı olarak delme patlatma kullanılarak ilerlemenin sağlanması ve buna bağlı olarak kaya yapısında kırık ve çatlak zonların gelişmesi ile yealtısuyunun etkisiyle kendisini bırakmış olup göçüğe sebebiyet vermiştir.



Şekil 4.23. T2 tünel aynasında meydana gelen göçük



Şekil 4.24. T2 tüneline km: 1+200-1+235 arasında oluşan göçük zonu boyuna kesiti



Şekil 4.25. T2 tüneline dolgu beton öncesi çelik boru montajı



Şekil 4.26. T2 tüneline şemsiye kazığı montajı

4.2.5. Km: 1+245-1+280 Arasında Oluşan Göçük Nedeni ve Yapılan İyileştirmeler

Km: 1+245-1+280 arası genel olarak Kuytu Formasyonunun birimi olan grafit şist içerisinde tünel kazısı yapılmıştır. Bu bölgede oluşan göçükler sırasında grafit şistler içerisinde damar şeklinde sokulum gösteren kuvarsit parçaları su ile birlikte tünel içerisine doğru akmaya başlamıştır.

Km: 1+253-1+257 ve Km: 1+248-1+252 aralarında göçük malzemesinin tünel içerisinde yayılmasından dolayı IPN 160 lık 2 adet iksa deforme olmuş olup yaklaşık 28 m³ püskürtme beton atılmış ve göçük malzemesinin yayılması durdurulmuştur. Bunun sonucunda malzeme akışı durdurulduktan sonra bir kısım pasa çekilip tahkimat işlerine başlanılmış olup ilk önce Jumbo dolgu betonu ve dolgu enjeksiyonu basmak amaçlı delikler açmıştır. Daha sonra bu deliklerden 25m³ dolgu betonu imalatı yapıldıktan sonra ayna prize bırakılmıştır (Şekil 4.27).

Dolgu betonunun fazla alış yapmamasından dolayı göçük bölgesine 56m³ enjeksiyon imalatı yapıp sağlamlaştırma çalışmalarına devam edilip prize bırakılmıştır. Bu zon içerisinde destekleme elemanı olarak IPN 160 lık çelik iksa ve 21 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanarak ilerleme sağlanmıştı. Bu aşamayla birlikte kazıya girilmeden önce 4m lik 45 adet süren montajı yapıldıktan sonra aynada kazı yapılarak 5-6 metre ilerlendikten sonra tünel tavanına tekrar 14 m³ dolgu betonu imalatı yapıp kemerleşme sağlandıktan sonra kazıya devam edilmiştir. Bu zonlarda oluşan göçüğün sebebi kayaç yapısıyla birlikte ayna gerisinde ve aynaya kadar olan mesafe de R32 lik IBO bulonların çakılmamış olması ve ayna kazısından sonra çift iksa kurularak püskürtme betonunun makine (Robotun) arızalarından dolayı geç atılmasıdır.



Şekil 4.27. T2 tüneline oluşmuş göçüğün görünümü



Şekil. 4.28. T2 tüneline IPN 160'lık çelik iksa uygulaması

Km: 1+262-1+258 arasındaki ilk belirtiler tünel kazısı sırasında suyun gelişiyle birlikte malzeme akışları başlamıştır. Ancak su gelişi ve zeminin su ile birlikte davranışından dolayı oluşan basınç nedeniyle önce ayna gerisinde çatlaklar daha sonra tünel aynasına yansıyan göçük meydana gelmiştir.

Göçük malzemesinin tünel içerisine akması ile birlikte IPN 160 lık 1 adet iksa deforme olmuş olup bu malzeme üzerine yaklaşık 12 m³ püskürtme beton atılmış ve göçük malzemesinin yayılması durdurulmuştur (Şekil 4.29). Bu zon içerisinde destekleme elemanı olarak IPN 160 lık çelik iksa , R32 lik sistematik bulonlama ve 21 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanarak ilerleme sağlanmıştı. Malzeme akışı durdurulduktan sonra bir kısım pasa çekilip tahkimat işlerine başlanılmış olup ilk önce Jumbo ile 4m lik 30 adet süren montajı yapılmıştır. Daha sonra ayna gerisinden R32 6m lik 20 adet sistematik bulonlar çakılıp enjeksiyon imalatı yapıldıktan sonra ayna prize bırakılmıştır. Bu aşamayla birlikte aynada kazı yapılarak 6-7 metre ilerlendikten sonra tünel tavanına 14m³ dolgu betonu imalatı yapıp kemerleşme sağlandıktan sonra kazıya devam edilmiştir. Sonuç olarak göçüğün sebebi kayaç yapısıyla birlikte ayna kazısında üst yarı şeklinde gidilirken ayak kazısı esnasında kazı yapılırken bilinçsiz bir şekilde ayakların tamamının kazısı birden yapıldığı için ayna ve ayna gerisinde baskıları oluşmuş ve daha sonra aynada göçük meydana gelmiştir. Halbuki önce sol sahil olmak üzere 2-3 adet iksa ayak kazısı yapıp tahkimatı tamamlanıp daha sonra sağ sahil iksa ayak kazısı yapıp tahkimatı tamamlandıktan sonra ayna kazısına girilseydi belkide bu göçük olmayabilirdi.

Km: 1+267-1+263 arasında su gelişi ve zeminin su ile birlikte davranışından dolayı oluşan basınç nedeniyle önce ayna gerisinde çatlaklar, daha sonra tünel aynasına yansıyan göçük meydana gelmiştir. Göçük malzemesinin tünel içerisine akması ile birlikte 2 adet IPN 160 lık iksa deforme olmuş bu malzeme üzerine yaklaşık 14 m³ püskürtme beton atılmış ve göçük malzemesinin yayılması durdurulmuştur (Şekil 4.30).

Bu zon içerisinde destekleme elemanı olarak IPN 160 lık çelik iksa , R32 lik sistematik bulonlama ve 21 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanarak ilerleme sağlanmıştır. Malzeme akışı durdurulduktan sonra pasa çekilip tahkimat işlerine başlanılmış olup ilk önce Jumbo 4 m lik 30 adet süren montajı yapılmıştır. Daha sonra ayna gerisinden R32 6m lik 26 adet sistematik bulonlar çakılıp enjeksiyon imalatı yapıldıktan sonra ayna prize bırakılmıştır.

Bunun dışında bir önceki göçükte olduğu gibi T2 tünelinin portal iksaları üzerinden (1128m kotunda bulunan Palye) ikinci kez 43 m uzunluğunda tünel aynasına kadar delgi yapıp sağlamlaştırma amaçlı 39m³ enjeksiyon yapılmıştır. Bu aşamayla birlikte aynada kazı yapılarak 5-6 metre ilerlendikten sonra tünel tavanına 21m³ dolgu betonu imalatı yapıp kemerleşme sağlandıktan sonra kazıya devam edilmiştir. Ggöçüğün sebebi kayaç yapısıyla birlikte ayna kazısı tam kesit yerine üst yarı olarak yapılsaydı belkide bu göçük olmayabilirdi.



Şekil 4.29. T2 tüneline ayna üzerine dolgu betonu uygulaması



Şekil 4.30. T2 tüneline km: 1+267-1+263 arasında oluşan göçüğün görünümü

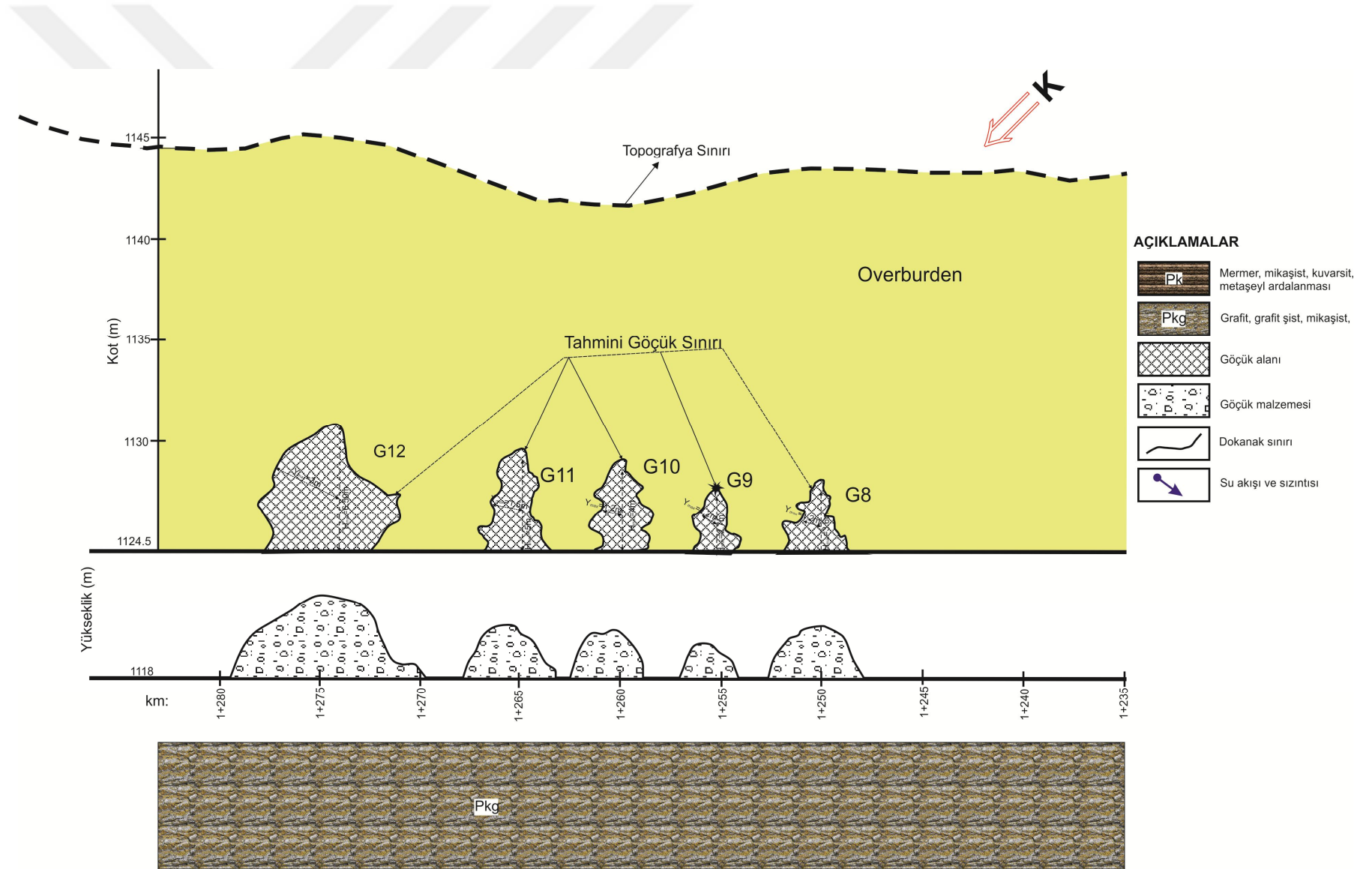
Km: 1+280-1+270 arasında su gelişi ve zeminin su ile birlikte davranışından dolayı oluşan basınç nedeniyle önce ayna gerisinde çatlaklar daha sonra tünel aynasına yansıyan göçük meydana gelmiştir. Göçük malzemesinin tünel içerisine akması ile birlikte bu malzeme üzerine yaklaşık 21 m³ püskürtme beton atılmış ve göçük malzemesinin yayılması durdurulmuştur (Şekil 4.31). Bunun sonucunda göçük bölgesine tahkimat işlerine başlanılmış olup ilk önce pasa üzerine atılan püskürtme beton üzerinden Jumbo ile barbakan delikleri açılarak suyu rahatlatmak ve su yönünü değiştirmek için çalışmalar yapılmış ve bu uygulamada başarılı olunmuştur. Daha sonra yine göçük bölgesi Jumbo ile delinerek dolgu betonu imalatı yapmak için boşluk aranmıştır. 25 m³ dolgu betonu imalatı yapıldıktan sonra daha fazla alış yapmadığı için enjeksiyon imalatına geçilmiştir. Zeminin yapısından dolayı (Grafitistler) pasa içerisinde enjeksiyon alış yapmamış olup sadece açılan boşluk 11 m³ le kısmen doldurulabilmiştir.

Bu zon içerisinde destekleme elemanı olarak IPN 160 lık çelik iksa , R32 lik sistemik bulonlama ve 21 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanarak ilerleme sağlanmıştır. Tekrar tünel aynasına Jumbo ile 4m'lik 30 adet süren montajı yapılmıştır. Bunun dışında T2 tüneline portal iksaları üzerinden (1128m kotunda bulunan Palye) 44 m uzunluğunda tünel aynasına kadar delgi yapıp sağlamlaştırma amaçlı 43m³ enjeksiyon yapılmıştır (Şekil 4.31).

Daha sonra priz süreleri beklenildikten aynaya süren montajı yapıp ayna kazısına girilerek bu bölge böylelikle geçilmiştir. Bu aşamayla birlikte aynada kazı yapılarak 4-5 metre ilerlendikten sonra tünel tavanına 23m³ dolgu betonu imalatı yapıp kemerleşme sağlandıktan sonra kazıya devam edilmiştir. Bu zondaki göçüğün nedeni kayaç yapısıyla birlikte ayna kazısı tam kesit yerine üst yarı olarak yapılsaydı belki de bu göçük olmayabilirdi.



Şekil 4.31. T2 tüneline km: 1+280-1+270 arasında enjeksiyon uygulaması



Şekil 4.32. T2 tüneline km: 1+245-1+280 Arasında oluşan göçük zonunun boyuna kesiti

5. SONUÇLAR

1270 m uzunluğunda, 5.80 m kazı çapına sahip T-2 iletim tüneli kazısı iş makineleri kullanılarak yapılmıştır. Tünel Kuytu formasyonuna ait mermer, mikaşist, grafitişist, kuvarsit, piritli kuvarsit, kuvarşşist, arjillit, metaşeyl birimleri içerisinde açılmıştır. Tünel içerisinde 0+087-1+280 km'leri arasında zayıf zemin koşullarına bağlı olarak T2 iletim tüneline toplamda 12 defa göçük meydana gelmiştir. Meydana gelen göçükler irili ufaklı olup göçük zonları genel olarak grafitişist biriminin olduğu alanda meydana gelmiştir. T2 tüneli hattı boyunca meydana gelen en büyük çaplı göçük ise 0+109-0+113 km arasında meydana gelmiştir. Bu göçük zonunun olduğu zonun dere yatağının altında olması, örtü yükünün çok sığ olduğu gevşek ve az kohezyonlu malzemedan oluşan birimlerin yeraltısuyuna bağlı olarak akıcı bir özellik kazanması ve tünel kaplaması üzerine basınç oluşturması nedeniyle göçüğün olduğu belirlenmiştir. Yani tünel tavan kotu ile topografya arasında göçükten dolayı huni şeklinde bir yapı oluşmuştur. Bunun yanı sıra tünel hattının menbasında ve mansabında aynaya yakın desteksiz alanların bırakılması, zayıf zemin koşullarına rağmen geçici destekleme açısından oldukça önemli şemsiye kazık (süren) uygulamasının yapılmaması destek elemanı olarak sadece iksa ve püskürtme beton uygulanması, kaya bolunu uygulamasının yapılmaması gibi nedenlerden de kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha da önemlisi tünel güzergahının yüzey jeolojisi açısından iyi etüt edilememiş olmasıdır.

Sonuç olarak zayıf zemin koşullarında açılan tünellerde güzergah etütlerinin detaylı bir şekilde çalışılarak jeolojik koşullar, jeoteknik özellikler, yeraltı suyu durumu ve yapısal unsurların doğru bir şekilde belirlenmesi durumunda daha önceden kayaç kütle sınıfı belirlenerek gerekli ve yeterli destek elemanlarının uygulanmasıyla daha güvenli tünel kazısı yapılabilecektir. Yerinde ve zamanında doğru uygulanan destek tasarımı sayesinde hem çalışanların can güvenliği sağlanmış olacak hem de zaman ve para kaybı en aza indirilecektir.

KAYNAKLAR

- Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş (2013) Akşar regülatörü ve Nazar Hes Proje alanının mühendislik jeolojisi özelliklerini çalışmıştır.
- Akşar Nazar Enerji Üretim A.Ş (2013) Bitlis Hizan Akşar Regülatörü ve Nazar Hes Projesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu kapsamında inceleme alanının yerleşime uygunluğu incelenmiştir
- Altınlı 1966. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun Jeolojisi. MTA dergisi. 66:35-73.
- Aydın, A., A. Özbek and İ. Çobanoğlu, "Tunnelling in Difficult Ground: A Case Study from Dranaz Tunnel, Sinop, Turkey", Engineering Geology, (SCI), doi:10.1016/j.enggeo.2004.04.003, 74/3-4, 293-301 (2004).
- Bagherpour R. (2016) , The Dangerous Condition of Ground during High Overburden Tunneling , Period. Polytech. Civil Eng. (60) 1 , 11-20
- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mech. 6(4), 189-239.
- Bieniawski, Z. T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering. In Exploration For Rock Engineering, A.A. Balkema, Cape Town, 97-106.
- Bieniawski, Z. T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering. In Exploration For Rock Engineering, A.A. Balkema, Cape Town, 97-106.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classification. John Wiley and Sons, 237pp.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classification. John Wiley and Sons, 237pp.
- Brox, D. & Hagedorn, H. 1999. Extreme Deformation and Damage during the Construction of Large Tunnels. Tunneling and Underground Space Technology 14, 23–28.
- Çağlayan, M.A.: Dağar, Z.; Erkanol, D.; İnal, R.N.; Sevin, M. ve Şengün, M., 1983, Bitlis masifinde Mesozo-yık yaşlı kaya birimleri ve GD Anadolu otoktonu ile denştirilmesi: TJK, 37. Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiri Özetleri, 65.
- Dalgıç, 2002, Dalgıç S., Tunnelling in squeezing rock, the Bolu tunnel, Anatolian Motorway, Turkey, Engineering Geology 67, 2002, 73 – 96
- G. Anagnostou and K. Kovari, "Face Stability Conditions With Earth-Pressure-Balanced Shields", Tunneling and Underground Technology, Vol.11, No.2, pp.165-173, (1996)

- Grimstad, E., and 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, Oslo, Norwegian Concrete Association. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mech. 6(4), 189-239.
- Hoek E. , Diederichs, M. S. (2006) Empirical estimation of rock mass modulus. Int. Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences , vol. 43, 203-215.
- Hoek, E. and BROWN, E.T., 1980a. Underground Excavation in Rock. London, Institution of Mining and Metallurgy 527 pp.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1980b. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9), 1013-1035.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1997. Practical Estimates of Rock Mass Strength. Intl. J. Rock Mech. and Mining Sci. and Geomechanics Abstracts, 34 (8), 1165-1186.
- Hoek, E., Kaiser, P. K. And Bawden, W. F., 1995. Support Of Underground Excavation İn Hard Rock. Rotterdam, Balkema 214.
- Hoek, E., Marinos, P. And Benissi, M., 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses: The Case of the Athens Schist formation. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 57, 151-160.
- Hoek, E., Wood, D. And Shah, S., 1992. A Modified Hoek-Brown Criterion For Jointed Rock Masses. Proc. Rock Characterization, Symp.Int. Soc. Rock Mech. Eurock 92 (Ed.J.A.Hudson), London, Brit. Geol. Soc. 209-214.
- Kılıç, H., 2000. Yumuşak Zeminler Üzerine Oturan Dolgu Barajlarda Deformasyonların Deneysel ve Nümerik Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Marinos, P., and Hoek, E., 2001. Estimating the Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses Such as Flysch. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 60, 85-92.
- Oyan ve Özdemir (2012) Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences 17 (2):57-63, 2012
- Özbek, A., 2004, Tünel Kazı Deformasyonlarının Modellenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ADANA, 206s.(Yayınlanmamış).
- Polat, İ., 2010 Natm Metodu Kullanılarak Tünel Tasarımı ve Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 145s (yayınlanmamış)

- Rabcewicz, L., 1964. The New Austrian Tunneling Method. *Water Power*, 453-457.
- Schuber, W. And Steindorfer, A., 1996. Selective Displacement Monitoring During Tunnel Excavation. *Felsbau* 14, (2), 93 – 97.
- Serafim J. L. , Pereira J. P. (1983) Considerations on the geomechanical classification of Bieniawski. *Proc. Int. Symp on Eng. Geol. and Underground Construction* , vol. I (II) , Lisbon , Portugal , 1983, 33-44.
- Sönmez, H. And Ulusay, R., 1999. Modification To The Geological Strength Index (GSI) And Their Applicability To Stability Of Slopes. *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences*, (36), 743-760.
- Sönmez, H., and Ulusay, R., 2002. A Discussion on the Hoek-Brown Failure Criterion and Suggested Modifications to the Criterion Verified by Slope Stability Case Study. *Yerbilimleri*, Ankara, 26, 77-99.
- Şeker, Ö., 2008 Yeni Avusturya Tünel İnşa Yöntemi Prensiplerine Göre Tünel Kaplama Tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 134s (yayınlanmamış)
- Şengün M. Çağlayan A. Sevin M. (1991) Bitlis Masifi; Bitlis-Tatvan-Hizan-Şirvan dolayının jeolojisi (in Turkish). MTA Report No:9105
- Şengün, M., 1993. Bitlis Masifi'nin metamorfizması ve örtü çekirdek ilişkisi. *MTA dergisi*. 115:1-13.
- Yılmaz, O., 1975. Cacas bölgesi (Bitlis Masifi) kayaç- larının petrografik ve stratigrafik incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18 (1), 33-41.
- www. Türkiye rehberi 2016
(www. Rocscience.com, 2015)
www.deprem.gov.tr
www.mta.gov.tr





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Taylan BOZDOĞAN
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.08.1986, Adana
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (506) 686 12 66
Faks :
e-posta : taylanbozdogan@outlook.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Çukurova Üni. / Jeoloji Müh. Bölümü	2011
Lise	Ramazan Atıl Lisesi	2006

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2013	Erzurum/İspir	Şantiye Şefi
2013-2015	Bitlis/Hizan	Kontrol Müh.
2015-2016	Gaziantep/Nurdağı	Saha Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Mühendislik bilimleri, Basketbol, Yüzme, Futbol, Masa tenisi, Kitap okuma