

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAŞKALE TÜNELİ'NİN (GİRİŞ VE ÇIKIŞ KESİMİ)  
JEOLJİK VE JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Berçem İLDİZ  
DANIŞMAN: Doç. Dr. Levent SELÇUK

VAN-2019



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAŞKALE TÜNELİ'NİN (GİRİŞ VE ÇIKIŞ KESİMİ)  
JEOLJİK VE JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Berçem İLDİZ

VAN-2019





## KABUL VE ONAY SAYFASI

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. Levent SELÇUK danışmanlığında, Berçem İLDİZ tarafından sunulan "Başkale Tünelinin (Giriş ve Çıkış Kesimi) Jeolojik ve Jeoteknik Açından Değerlendirilmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr. Mutluhan AKIN

İmza:

Üye: Doç.Dr. Ali ÖZVAN

İmza:

Üye: Doç.Dr. Levent SELÇUK

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01./08/2019 tarih ve 2019/41-1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü

Prof.Dr. Suat SENSOY  
Enstitü 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 bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Berçem İLDİZ



## ÖZET

### BAŞKALE TÜNELİ'NİN (GİRİŞ VE ÇIKIŞ KESİMİ) JEOLJİK VE JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

İLDİZ, Berçem

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Levent SELÇUK

Ağustos 2019, 91 sayfa

Başkale Tüneli (Van-Güzeldere) büyük güçlüklerin yaşandığı ve sert topoğrafya koşullarının geçerli olduğu dar boğazda inşa edilmektedir. Bu çalışmada, Başkale Tünel güzergahında yer alan jeolojik birimler mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir.

Başkale Tüneli kumtaşı-konglomera-çamurtaşı-kireçtaşı ardalanmasından oluşan Kırkgeçit formasyonu (Tk) içerisinde açılmaktadır. Tünel hattı boyunca jeolojik birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak, tünel giriş ve çıkış kesiminde yapılan sondajlardan elde edilen karot örnekleri üzerinde, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi, elastisite modülü, poisson oranı, yoğunluk gibi birimlerin mühendislik özelliklerini tanımlayan laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazi çalışmaları ile laboratuvar analizleri, giriş ve çıkış kesiminde yer alan birimlerin zayıf kaya özelliği sergilediğini göstermektedir. Yapılan sondajlar, detaylı yüzey jeolojisi çalışmaları ve laboratuvar deney sonuçlarına göre Başkale Tüneli'ndeki birimlerin kaya kütle özelliklerini değerlendirmek için RMR, Q, GSI ve NATM kaya sınıflamaları kullanılmış ve tünel için gereken destek sistemi belirlenmiştir. "Phase<sup>2</sup> 8.0" sonlu elemanlar programı kullanılarak, mevcut açılmış olan tünelin giriş ve çıkış portal kesimlerinin belirlenen kaya sınıfına göre; kazı ve destekleme sonrasında, depremsiz ve depremlili durumları (elde edilen ivme değerleri) da göz önüne alınarak; en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ve toplam yer değiştirmelerin belirlenmesi için sayısal modellemeler oluşturulmuş ve tünel için destek sistemlerinin uygunluğu ve geçerliliği tartışılmıştır. Ayrıca, sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar tünel açım sırasında alınan yer değiştirme ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Başkale Tüneli, Kaya kütle sınıflama sistemleri, Mühendislik Jeolojisi, Sonlu elemanlar yöntemi.



## ABSTRACT

### GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL EVALUATION OF BASKALE TUNNEL (ENTRANCE AND EXIT PORTAL SECTION)

İLDİZ, Berçem

M. Sc. Thesis, Geology Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Levent SELÇUK

August 2019, 91 sayfa

The Baskale Tunnel (Van-Guzeldere) is built narrow strait where great difficulties are experienced and hard topography conditions. In this study, geological units in the Baskale Tunnel route have been examined in terms of engineering geology.

Baskale Tunnel is situated in the Kırkgecit formation consisting of conglomerate-sandstone-mudstone-limestone intercalations. In order to determine the engineering properties of the geological units along the tunnel line, laboratory tests were carried out to identify the engineering properties of the units such as uniaxial compressive strength, point load strength index, elasticity modulus, poisson ratio, density on the core samples obtained from the borings made at the entrance and exit parts of the tunnel. Field studies and laboratory analyzes indicated that conglomerate-sandstone-mudstone-limestone units are weak rock characteristics. In order to evaluate the rock mass characteristics of the units and the support system for the tunnel, RMR, Q, GSI and NATM rock classifications were determined by utilizing from borehole, field study and laboratory test results. Numerical modeling was performed under different seismic loads using the finite element program "Phase<sup>2</sup> 8.0 and the validity of the support systems for the tunnel is discussed for both the entrance and exit portal sections . In addition, the results obtained from the numerical analyzes were compared with the displacement measured from tunnel.

**Keywords:** Baskale Tunnel, Engineering geology, Finite element method, Rock mass classification systems.





## ÖN SÖZ

Çalışmalarım sırasında bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Levent SELÇUK'a, tezin son halinin ortaya çıkmasında katkılar sağlayan tez jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Ali ÖZVAN'a ve Sayın Doç. Dr. Mutluhan AKIN'a, tezimin konusu olan Başkale Tüneli'ni çalışabilmem için izin veren Karayolları Genel Müdürlüğü'ne, bana yardımlarını esirgemeyen Karayolları 11. Bölge Müdür Yardımcısı Sayın Esat Mahmut PARTAL'a, çalışmalarım süresince bana her konuda yardımcı olan AR-GE Başmühendisi değerli şefim Sayın Murat KAÇMAZ'a, her konuda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, verilerin toplanmasında yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Sayın Ahmet Veysel HUYUT'a, Jeoloji Mühendisi Sayın Refik ÖRÜN'e, Jeoloji Mühendisi Sayın Hüseyin DEMİRBİLEK'e ve Topoğraf Sayın Mustafa TOĞRAK'a, tez yazımında yardımcı olan mesai arkadaşım Jeoloji Mühendisi Sayın Engin ELGÜN'e ve hayatım boyunca her anlamda yanımda olan canım aileme teşekkürü bir borç bilirim.

2019

Berçem İLDİZ



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖN SÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı .....	1
1.2. Çalışma Alanının Konumu .....	2
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	9
3.1. Materyal .....	9
3.2. Yöntem .....	9
3.2.1. Tüneller için kaya kütlesi sınıflamaları .....	10
3.2.1.1. Kaya kalite göstergesi (RQD-Rock Quality Designation) .....	10
3.2.1.2. Jeomekanik kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR-Rock Mass Rating) .....	11
3.2.1.2.1. RMR sistemi tünellerde desteksiz durma süresi .....	15
3.2.1.2.2. RMR sistemi destek basıncı .....	16
3.2.1.2.3. RMR sistemi destek seçimi .....	16
3.2.1.3. Q sistemi (NGI sınıflaması) .....	18
3.2.1.4. GSI kaya kütlesi sınıflama sistemi jeolojik dayanım indeksi (GSI) .....	22
3.2.2. Yeni Avusturya tünel açma metodu (NATM-New Austrian Tunneling Methods) .....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	35
4.1. Jeoloji ve Stratigrafi .....	35
4.1.1. Gedikbaşı magmatitleri (G) .....	37
4.1.2. Yüksekova karmaşığı (Ky) .....	38
4.1.3. Kırkgeçit formasyonu (Tk) .....	39
4.1.4. Büyükçay formasyonu (p1Qb) .....	41

	<b>Sayfa</b>
4.1.5. Alüvyonlar (Qal).....	41
4.2. Fay Hatları ve Depremsellik .....	42
4.3. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları .....	45
4.4. Kaya Kütle Sınıflandırmaları .....	48
4.5. Tünel Ayna Haritalamaları .....	49
4.6. Kaya Sınıfı Destek Sistemi ve Kazı Aşamaları .....	55
4.7. Kaya Kütleli Elasto-Plastik Parametreleri.....	57
4.8. Sayısal Modelleme Aşamaları .....	61
4.8.1. Nümerik analizler .....	61
4.8.1.1. Model aşamaları .....	63
4.8.1.2. Gerilme analizleri.....	66
4.8.1.2.1. Sol ve sağ tüp giriş ve çıkış portal kesimlerine ait en büyük asal gerilme Phase <sup>2</sup> analizleri.....	66
4.8.1.2.2. Sol ve sağ tüp giriş ve çıkış portal kesimlerine ait en küçük asal gerilme Phase <sup>2</sup> analizleri.....	69
4.8.1.2.3. Sol ve sağ tüp giriş ve çıkış portal kesimlerine ait toplam yer değiştirme Phase <sup>2</sup> analizleri.....	72
4.9. Tünelde Deformasyon Ölçümleri .....	75
4.9.1. Target (hedef levhası) ile deformasyon ölçümü .....	75
4.9.1.1. Sol tüp giriş portalı km: 76+037.05-76+130.40 arasında ölçülen deformasyonlar .....	76
4.9.1.2. Sol tüp çıkış portalı km: 79+112.50-79+121.50 arasında ölçülen deformasyonlar.....	78
4.9.1.3. Sağ tüp çıkış portalı km: 79+098.50-79+119.50 arasında ölçülen deformasyonlar.....	79
4.9.2. Tahmin edilen ve ölçülen deformasyon değerlerinin karşılaştırılması.....	81
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	85
KAYNAKLAR.....	89
ÖZ GEÇMİŞ.....	91

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. RQD kaya kalite sınıflaması .....	11
Çizelge 3.2. Sınıflama parametreleri ve puanları .....	13
Çizelge 3.3. Tünellerde süreksizlik durumunun etkisi .....	14
Çizelge 3.4. Süreksizlik durumuna göre düzeltme .....	14
Çizelge 3.5. Kaya sınıf ve puanlar.....	14
Çizelge 3.6. RMR sistemine göre tünel kazıları ve destekleri için kılavuz.....	17
Çizelge 3.7. Kaya kalite göstergesi .....	19
Çizelge 3.8. Eklem takım sayısı (Jn) .....	19
Çizelge 3.9. Eklem pürüzlülük sayısı (Jr) .....	19
Çizelge 3.10. Eklem bozuşma sayısı (Ja) .....	20
Çizelge 3.11. Eklem suyu azalım faktörü (Jw).....	20
Çizelge 3.12. Gerilme azalım faktörü (SRF).....	21
Çizelge 3.13. Q değerine bağlı kaya kütlesi sınıflaması.....	22
Çizelge 3.14. Q-RMR-NATM kaya sınıflama ilişkileri .....	26
Çizelge 3.15. Kaya sınıflandırma sistemi.....	27
Çizelge 3.16. Kaya sınıfları ve özellikleri .....	28
Çizelge 3.17. A1 destek sınıfı özellikleri .....	29
Çizelge 3.18. A2 destek sınıfı özellikleri .....	29
Çizelge 3.19. B1 destek sınıfı özellikleri.....	29
Çizelge 3.20. B2 destek sınıfı özellikleri.....	30
Çizelge 3.21. B3 destek sınıfı özellikleri.....	30
Çizelge 3.22. C1 destek sınıfı özellikleri.....	31

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.23. C2 destek sınıfı özellikleri.....	31
Çizelge 3.24. C3 destek sınıfı özellikleri.....	32
Çizelge 3.25. C4 destek sınıfı özellikleri.....	33
Çizelge 3.26. C5 destek sınıfı özellikleri.....	33
Çizelge 4.1. Çalışma alanı ve çevresinde 4 ve 4'ün üzerinde meydana gelen depremlerin bilgileri.....	44
Çizelge 4.2. Tünel giriş ve çıkış kesimi için yapılan sondajların özet listesi.....	46
Çizelge 4.3. Karot numunelerine uygulanan deneyler ve sonuçları.....	46
Çizelge 4.4. Giriş ve çıkış portallarına ait RMR sınıflandırma parametreleri, değerleri, puanları ve kaya kütlesi sınıflaması.....	48
Çizelge 4.5. Giriş ve çıkış portallarına ait Q değerleri ve kaya kütlesi sınıflaması.....	49
Çizelge 4.6. Tünel aynası jeolojik haritalarına ait bilgilerin özet tablosu.....	50
Çizelge 4.7. Giriş portal kesimi için RocLab programında kullanılan parametreler ve değerler.....	57
Çizelge 4.8. Giriş portal kesimi için RocLab programı ile elde edilen parametreler ve değerler.....	58
Çizelge 4.9. Çıkış portal kesimi için RocLab programında kullanılan parametreler ve değerler.....	59
Çizelge 4.10. Çıkış portal kesimi için RocLab programı ile elde edilen parametreler ve değerler.....	60
Çizelge 4.11. Sayısal analizlerde kullanılan kaya kütle parametreleri.....	62
Çizelge 4.12. Kazı ve destek sistemleri.....	62
Çizelge 4.13. Destekleme elemanları malzeme parametreleri.....	62
Çizelge 4.14. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimine ait en büyük asal gerilme değerleri.....	68
Çizelge 4.15. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimine ait en büyük asal gerilme değerleri.....	69

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.16. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimine ait en küçük asal gerilme değerleri .....	70
Çizelge 4.17. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimine ait en küçük asal gerilme değerleri .....	72
Çizelge 4.18. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimine ait toplam yer değiştirme değerleri .....	73
Çizelge 4.19. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimine ait toplam yer değiştirme değerleri .....	74
Çizelge 4.20. Km:76+038.30'da ölçülen deformasyonlara ait ölçüm değerleri .....	77
Çizelge 4.21. Km: 79+113.00'da ölçülen deformasyonlara ait ölçüm değerleri .....	79
Çizelge 4.22. Km:79+112.00'da ölçülen deformasyonlara ait ölçüm değerleri .....	80
Çizelge 4.23. Giriş ve çıkış portal kesimlerine ait deformasyon değerleri.....	81
Çizelge 4.24. Phase <sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerlerinin özet bilgileri .....	83





## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2. Başkale Tüneli'ne ait uydu görüntüsü.....	3
Şekil 1.3. Başkale Tüneli giriş portalı. ....	3
Şekil 1.4. Başkale Tüneli çıkış portalı.....	3
Şekil 3.1. RQD tanımı ve hesaplanması.....	11
Şekil 3.2. RQD ve süreksizlik dayanımı, RQD ve süreksizlik aralığı parametrelerine ait puanları tayin grafikleri.....	15
Şekil 3.3. RMR kaya kütlesi sınıflarına göre tünelin desteksiz durma süresi ve desteksiz tavan açıklığı arasındaki ilişki.....	16
Şekil 3.4. GSI sınıflama sistemi abağı.....	24
Şekil 4.1. Başkale Tüneli'nin jeolojik haritası .....	36
Şekil 4.2. İnceleme alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik kolon kesiti. ....	37
Şekil 4.3. Tünel girişi ve Kırkgeçit formasyonundan görünüm. ....	41
Şekil 4.4. Tünel çıkışı ve Kırkgeçit formasyonundan görünüm.....	42
Şekil 4.5. Çalışma alanı ve çevresinde 4 ve 4'ün üzerinde meydana gelen depremler..	44
Şekil 4.6. Başkale Tüneli giriş portal kesimine ait PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri.....	45
Şekil 4.7. Başkale Tüneli çıkış portal kesimine ait PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri.....	45
Şekil 4.8. Başkale Tüneli giriş portal kesimine ait 1/1000 ölçekli jeoloji haritası ve sondaj yerleri.....	47
Şekil 4.9. Başkale Tüneli çıkış portal kesimine ait 1/1000 ölçekli jeoloji haritası ve sondaj yerleri.....	47
Şekil 4.10. Sol tüp giriş portalı km: 76+055.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası .....	51
Şekil 4.11. Sol tüp giriş portalı km: 76+067.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası .....	51

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.12. Sağ tüp giriş portalı km: 76+072.25'e ait tünel aynası jeolojik haritası .....	52
Şekil 4.13. Sağ tüp giriş portalı km: 76+038.25'e ait tünel aynası jeolojik haritası .....	52
Şekil 4.14. Sol tüp çıkış portalı km: 79+115.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası.....	53
Şekil 4.15. Sol tüp çıkış portalı km: 79+121.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası.....	53
Şekil 4.16. Sağ tüp çıkış portalı km: 79+098.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası ....	54
Şekil 4.17. Sağ tüp çıkış portalı km: 79+118.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası ....	54
Şekil 4.18. Başkale Tüneli giriş ve çıkış portal kesimleri için B3 kaya sınıfı destek sistemi ve kazı aşamaları tip kesiti .....	55
Şekil 4.19. Giriş portal kesimine ait ve örselenme faktörü $D=0$ olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri .....	58
Şekil 4.20. Giriş portal kesimine ait ve örselenme faktörü $D=0.8$ olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri .....	59
Şekil 4.21. Çıkış portal kesimine ait ve örselenme faktörü $D=0$ olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri .....	60
Şekil 4.22. Çıkış portal kesimine ait ve örselenme faktörü $D=0.8$ olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri .....	61
Şekil 4.23. Giriş portal kesimine ait kesit.....	63
Şekil 4.24. Giriş portal kesimine ait analiz aşamaları. ....	64
Şekil 4.25. Çıkış portal kesimine ait kesit. ....	65
Şekil 4.26. Çıkış portal kesimine ait analiz aşamaları.....	66
Şekil 4.27. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme ( $\sigma_1$ ), depremsiz durum. ....	67
Şekil 4.28. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme ( $\sigma_1$ ), depremlili (0.237 g) durum.....	67

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.29. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (sigma 1), depremsiz durum. ....	68
Şekil 4.30. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (sigma 1), depremlı (0.241 g) durum. ....	69
Şekil 4.31. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremsiz durum. ....	70
Şekil 4.32. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremlı (0.237 g) durum. ....	70
Şekil 4.33. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremsiz durum. ....	71
Şekil 4.34. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremlı (0.241 g) durum. ....	71
Şekil 4.35. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer depremsiz durum. ....	72
Şekil 4.36. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme, depremlı (0.237 g) durum. ....	73
Şekil 4.37. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme, depremsiz durum. ....	74
Şekil 4.38. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme, depremlı (0.241 g) durum. ....	74
Şekil 4.39. Başkale Tüneli'nde deformasyon ölçümünde kullanılan bir target. ....	75
Şekil 4.40. Km: 76+038.30'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler. ....	76
Şekil 4.41. Km: 76+038.30'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler. ....	77
Şekil 4.42. Km: 79+113.00'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler. ....	78
Şekil 4.43. Km: 79+112.00'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler. ....	80
Şekil 4.44. Sol tüp giriş portal kesimine ait Phase <sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerleri. ....	82
Şekil 4.45. Sol tüp çıkış portal kesimine ait Phase <sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerleri. ....	82

Şekil 4.46. Sağ tüp çıkış portal kesimine ait Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerleri..... 83



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>MS</b>	Yüzey dalgası büyüklüğü
<b>mb</b>	Cisim dalgası büyüklüğü
<b>N</b>	İlerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı
<b>l</b>	10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları
<b>L</b>	İlerleme uzunluğu
<b>P</b>	Destek basıncı
$\gamma$	Birim hacim ağırlık
<b>B</b>	Tünelin genişliği
<b>J<sub>n</sub></b>	Eklem takımı sayısı
<b>J<sub>r</sub></b>	Eklem pürüzlülük sayısı
<b>J<sub>a</sub></b>	Eklem bozuşma sayısı
<b>J<sub>w</sub></b>	Eklem suyu azaltma faktörü
<b>J<sub>v</sub></b>	m <sup>3</sup> 'teki toplam eklem sayısı
<b>Q</b>	Kaya kütle indeksi
<b>SCR</b>	Süreksizlik yüzey koşulu puanı
<b>SR</b>	Yapısal özellik puanının
<b>R<sub>r</sub></b>	Pürüzlülük puanı
<b>R<sub>w</sub></b>	Bozunma puanı
<b>R<sub>f</sub></b>	Dolgu puanı
<b>J<sub>v</sub></b>	Hacimsel eklem sayısı
<b>N</b>	Eklem sayısı
<b>L</b>	Ölçüm hattının uzunluğu
<b>S</b>	Ortalama süreksizlik aralığı
$\sigma_{ci}$	Tek eksenli basınç dayanımı
<b>m<sub>i</sub></b>	Kayaç malzeme sabiti
<b>D</b>	Örselenme faktörü

**Simgeler****Açıklama**

$E_i$	Elastisite modülü
$m, s, a$	Hoek-Brown sabitleri
$\sigma_t$	Çekme dayanımı
$\sigma_c$	Sıkışma dayanımı
$E_{rm}$	Deformasyon modülü
$\sigma_{cm}$	Global dayanım
$c$	Kayacın kohezyonu
$\phi$	İçsel sürtünme açısı
$\nu$	Poisson oranı
$\sigma_1$	En büyük asal gerilme
$\sigma_3$	En küçük asal gerilme
$U_t$	Toplam yer değiştirme

**Kısaltmalar****Açıklama**

<b>RQD</b>	Kaya Kalite Göstergesi
<b>RMR</b>	Kaya Kütlesi Oranı
<b>GSI</b>	Jeolojik Dayanım İndeksi
<b>NATM</b>	Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu
<b>SRF</b>	Gerilme Azalım Faktörü

## 1. GİRİŞ

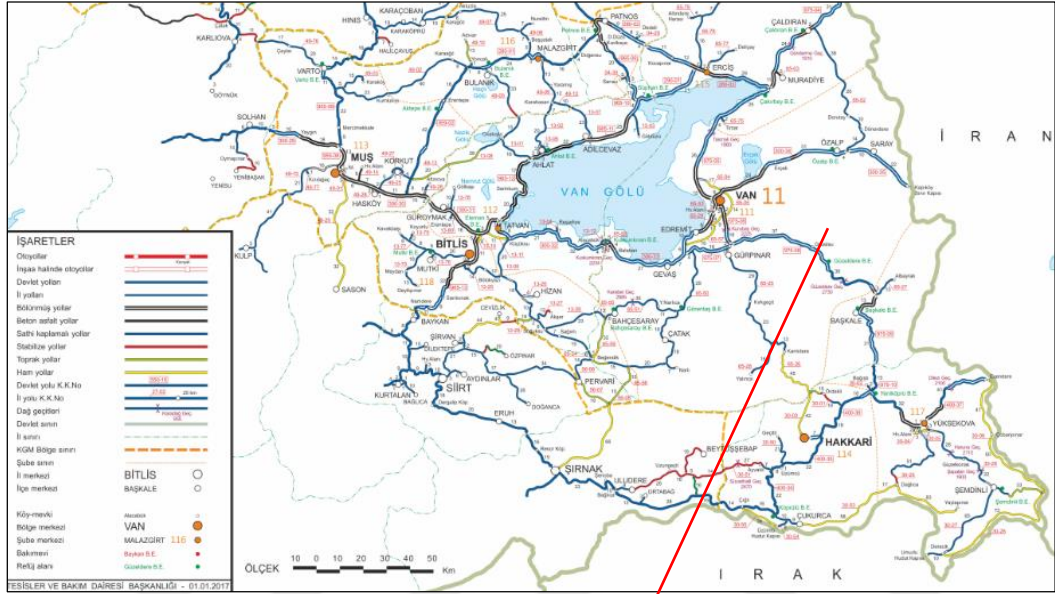
Başkale Tüneli'nin üzerinde bulunduğu Van-Başkale Devlet Yolu, ülkemizin İran-Güneydoğu Anadolu-Doğu ve Orta Anadolu bağlantısını sağlayan önemli bir ana ulaşım kanalı üzerinde yer alan ve halen, özellikle Güzeldere mevkiinde, mevcut trafiğin geçirilmesinde büyük güçlüklerin yaşandığı önemli bir kesim ve sert topoğrafya koşullarının geçerli olduğu bir darboğaz konumundadır. Bu nedenle, Van-Başkale Devlet Yolu'nun Güzeldere bölgesinde, bu oldukça engebeli bölgenin bir Devlet Yolu ve ana ulaşım kanalı standartlarında geçişini sağlamak amacıyla Sol Tüpü L=3089.357 m ve Sağ Tüpü L=3086.663 m boylarında ikişer şeritli çift tüplü tünel oluşturulması öngörülmektedir.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Başkale Tünel güzergahında yer alan jeolojik birimlerin jeolojik ve jeoteknik açıdan incelenmesini içermektedir. Tünel kazısı esnasında yapılacak olan çalışmalarla RMR, Q ve GSI sistemlerine göre sınıflamalar yapılarak, proje aşamasında ön görülen destekleme sistemlerinin uygunluğu incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan sayısal analizler ile tünel ve destekleme sistemleri üzerinde meydana gelebilecek asal gerilmeler ve yer değiştirmeler belirlenmiştir. Yapım aşamasında olan Başkale Tünel güzergahı için, Phase<sup>2</sup> (v. 8.0) bilgisayar programı kullanılarak, mevcut açılmış olan tünelin giriş ve çıkış portal kesimlerinin belirlenen kaya sınıfına göre; kazı ve destekleme sonrası için depremsiz, depremlili durumları (elde edilen ivme değerleri) da göz önüne alınarak en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ve toplam yer değiştirmelerin belirlenebilmesi için sayısal modellemeleri oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak proje aşamasında ön görülen tünel destek sisteminin yapım aşamasında örtüşmesi incelenmiştir. Ayrıca, analiz sonuçları tünel kazısı sırasında kaydedilen deformasyon ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

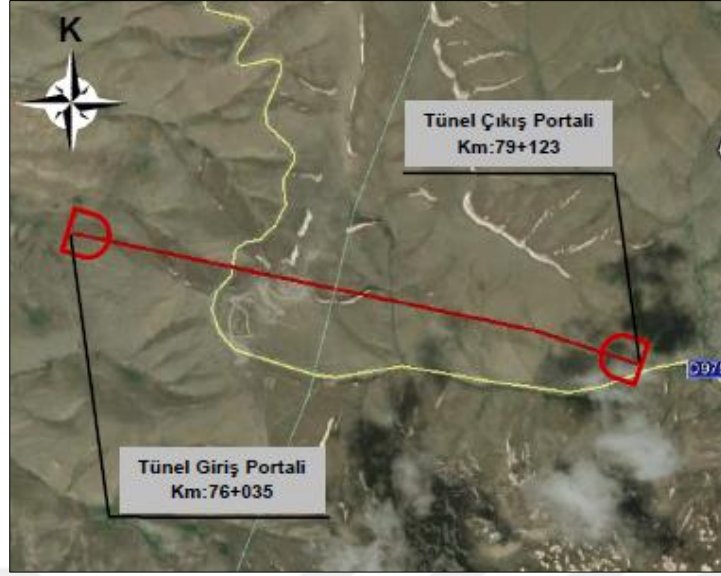
## 1.2. Çalışma Alanının Konumu

Van-Başkale Devlet Yolu Başkale Tüneli güzergahı (Km: 76+035.00-79+123.00), D975 Van-Hakkari Devlet Yolunun yaklaşık 1 km batısından başlamakta ve 3.2 km doğusunda sona ermektedir (Şekil 1.1-Şekil 1.4).

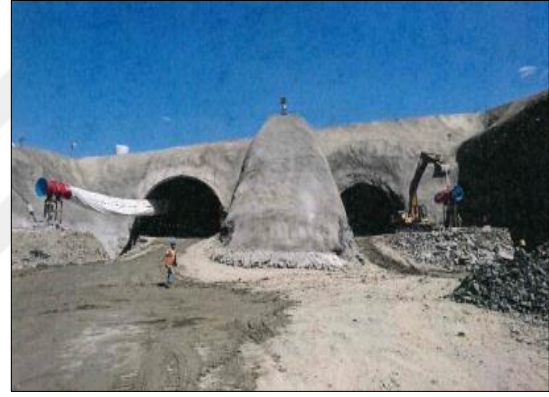
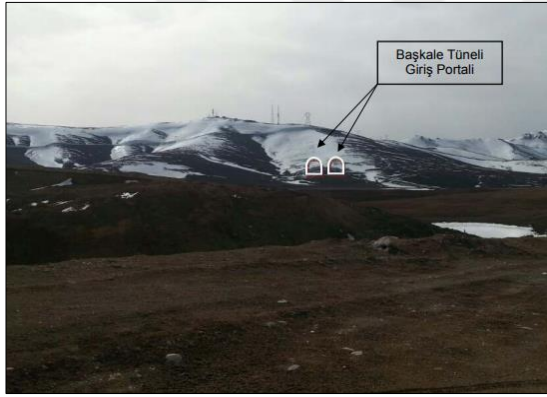


Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (kgm.gov.tr adresinden alınmıştır).

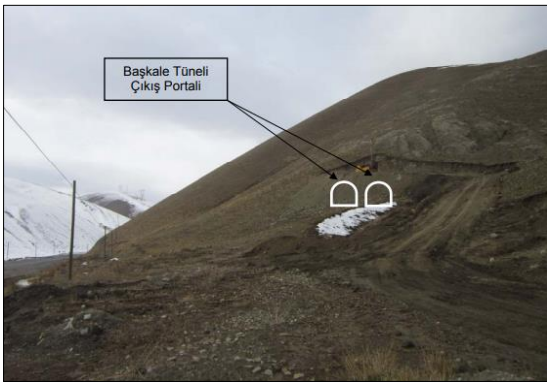




Şekil 1.2. Başkale Tüneli'ne ait uydu görüntüsü (Google Earth'ten alınmıştır).



Şekil 1.3. Başkale Tüneli giriş portalı.



Şekil 1.4. Başkale Tüneli çıkış portalı.



## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Aşağıda Başkale bölgesinde farklı amaçlar içerisinde yapılan jeolojik ve jeoteknik çalışmaların özeti verilmiştir.

MTA (1986) Van İli, Başkale İlçesi dolayında yaklaşık 150 km<sup>2</sup>'lik bir alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını yapmıştır. Buradaki jeolojik birimler Otokton ve Allohton olarak iki bölüm altında incelemiştir. Allohton birimler; Paleozoyik, Mesozoyik yaşlı Mordağ metamorfikleri, Kretase yaşlı Yüksekova karmaşığı, Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı Gürpınar gurubu olmak üzere üç ana birim olarak ayırtlanmıştır. Allohton birimler, üst manto ve okyanus kabuğu kökenlidir. Paleozoyik, Mesozoyik yaşlı metamorfikler Üst Kretase yaşlı Yüksekova karmaşığı üzerine bindirmişlerdir. Miyosenden sonra söz konusu birimler tektonik hareketler nedeniyle kuzeyden-güneye itilerek bugünkü durumlarını almışlardır. Üst Miyosen içinde ya da sonunda epirojenik hareketlerin etkisiyle bölgede yükselmeler olmuş, Oligosen-Geç Miyosen zaman aralığının çökellerini deforme etmiştir. Havzanın kuzey doğusunda volkanik ve volkanoklastik kayalar yerleşirken, havzayı KD-GB yönünde kontrol eden fayın doğu yamaçlarında alüvyon fan çökelleri Pliyosenden günümüze dek oluşmaya devam etmiştir. Pleyistosende havzanın KD'sunda volkanik ve volkanoklastik kayalar yerleşirken havzada Zap Suyu Vadisinde Nehirin taraçaları oluşmaya başlamıştır.

Sümengen (2008), çalışma alanının yer aldığı Başkale-L51 paftasında, Van Gölü'nün güneydoğusunda yer alan, Güneydoğu Anadolu otoktonu üzerine Miyosende yerleşmiş olan Bitlis-Pötürge-Malatya naplarına ait kaya birimleri ile paraallohton konumlu kaya birimleri yüzeylenir. Bitlis-Pötürge-Malatya napları bölgede Bitlis metamorfikleri, Mordağ metamorfikleri, Ofiyolit napı, Tozutepe formasyonu ve Yüksekova karmaşığı (napı) ile temsil edilir. Çalışma alanında, Bitlis metamorfiklerinin stratigrafik özellikleri ve yapısal birimleri günümüze kadar ayrıntılı olarak ortaya konulamamıştır. Çalışma alanında, genellikle değişik fasiyeste metamorfizma geçirmiş olan kuvarsit, mermer ve çeşitli şistlerden oluşan Bitlis metamorfiklerinde yalnızca mermer-kristalize kireçtaşları, şistler ve kuvarsitler ayırtlanmıştır. Bitlis metamorfikleri üzerinde ise Erken-Orta Eosen yaşlı bazalt, spilit, konglomera, kumtaşı, şeyl, kireçtaşı vb. kaya türlerinden oluşan Maden formasyonu açısız uyumsuz, olarak yer alır.

Kretase sonlarında kıtasal kabuk üzerine yerleşmiş olup, daha sonra Eosen ve Miyosen yatay hareketleri ile aktarılmış olan Ofiyolit napı, ofiyolitli melanj ve olistostromlardan oluşan Bakışık melanj ve olistostromu ve genelde ultramatik kayalardan oluşan Mehmetalan peridotitini kapsar. Yüksekova karmaşığı (napı) ise genelde Maastrichtiyen-Paleosen? yaşlı bazalt, spilit, spilitleşmiş bazalt, çört, mikrit, çörtlü ve killi mikrit, kumtaşı, şeyl vb. kayatürlerinden oluşur. Tozutepe formasyonu Jura-Erken Kretase yaşlı karbonatlarla temsil edilir ve bölgede tektonik dilimler halinde bulunur.

Başkale-L51 paftasında, paraallokton konumlu Oligosen-Erken Miyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, kiltası, silttaşı vb. kaya türlerinden oluşan Kırkgeçit formasyonu ve kumtaşı, kiltası, silttaşı, marn, kireçtaşı, breşik kireçtaşı, killi kireçtaşı, konglomera vb. kaya türlerinde oluşan Van formasyonu, Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı konglomeralardan oluşan Ahlat formasyonu, Erken Miyosen yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşan Adilcevaz formasyonu ve olası Orta Miyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, kiltası vb. kaya türlerinden oluşan Aktaş formasyonu, Bitlis-Pötürge-Malatya napları üzerinde açısız uyumsuz olarak yer alırlar. Van, Ahlat, Adilcevaz ve Aktaş formasyonları yanal yönde birbirleriyle geçişli olup Miyosende Bitlis-Pötürge-Malatya napları ile güneye doğru sürüklenmişlerdir. Ayrıca bölgede Geç Paleosen-Eosen yaşlı karbonat ve kırıntılı karbonatlardan oluşan Yedisalkım ve Seske formasyonları bulunur. Yedisalkım formasyonunun alt ve üst ilişkisi çalışma alanında tektoniktir.

Anonim 2013a'da, Km: 76+035-79+123 arasında yapımı planlanan Başkale Tüneli ve yakın çevresinde Tersiyer yaşlı Kırkgeçit formasyonu ve Kuvaterner yaşlı kolüvyon örtüler yer almaktadır. Kırkgeçit formasyonu konglomera-kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı aralanmasından oluşmasına rağmen etüt alanında genel olarak konglomeralar hakimdir. Konglomeralar açık gri renkli, karbonat çimentolu, ince-iri, yuvarlak-yarı yuvarlak taneli, genel olarak orta zayıf, yer yer zayıf dayanımlı, az-orta ayrılmıştır. Bu konglomeralar polijenik karakterde olup, mermer, rekrystalize kireçtaşı, şist, az miktarda magmatik kayaç kökenli çakıllardan oluşmaktadır. Konglomeraların kalınlığı 5-50 m arasında değiştiği görülmüştür. Kumtaşları grimsi yeşil renkli, zayıf-orta zayıf dayanımlı, karbonat çimentolu, az ayrılmıştır. Kumtaşları konglomeralar ile yatay ve düşey geçişli bir dokunağa sahiptir. Etüt alanında çok yaygın olmayan çamurtaşları grimsi kahve, zayıf-orta zayıf dayanımlı, çok-orta ayrılmıştır. Tünel güzergahında formasyon içerisinde gözlemlenmeyen kireçtaşları kirli beyaz renkli, az-orta ayrılmış,

zayıf-orta zayıf dayanımlıdır. Tünel çıkış portalı yakın kesimlerinde (Km: 79+372-79+685) gözlemlenen Kuvaterner yaşlı alüvyon derelerin taşıdığı killi kumlu blokları çakıllardan meydana gelmiş olup çok sıkıdır. Km: 79+258-79+372 arasında bulunan Kuvaterner yaşlı kolüvyon ise ana kayanın yerinde fiziksel ve kimyasal etkilerle ayrışması ve ayrışma sonucu yer çekim etkisiyle yamaç aşağı hareket ederek birikmesi sonucu oluşmuştur. Kahverenkli olan birim az blokları çakıllı kilden meydana gelmiştir.

Tünel alanında herhangi bir fay, heyelan gibi yapısal olumsuzluklar tespit edilmemiştir.

Kırkgeçit formasyonunda bitkisel toprak örtüsü nedeniyle kısıtlı sayıda süreksizlik ölçümü alınabilmiştir. Mevcut yol yarmalarında ölçülebilen süreksizlikler genel olarak pürüzlü, düzlemsel, ondüleli, açık-kapalı olup devamlılıkları 3-10 metre arasında değişmekte olup düşük-orta devamlılık olarak sınıflandırılmıştır. Süreksizlikler boyunca herhangi bir killeşme, limonitleşme tespit edilmemiştir. Tabakalanma ise çok az sayıda ve eğimleri  $10^\circ$  ve  $74^\circ$  olarak ölçülmüştür. Küçük ondülasyon ve kıvrımlar gözlenmiştir.

Sağlam Selçuk ve Düzgün (2017) çalışmalarında, bölgenin morfolotektonik evriminde Başkale Fay Zonu'nun etkisini araştırmışlardır. Bu amaç içerisinde, morfolotektonik analizler için çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli üzerinde hipsometrik integral, drenaj havzası asimetrisi, vadi tabanı genişliğinin-vadi yüksekliğine oranı ve dağ cephesi kıvrımlılığı gibi morfometrik indisler üretilerek yorumlanmıştır. Morfometrik analiz sonuçlarına bağlı olarak, alanın son derece genç bir topografyaya sahip olduğu ve aktif olarak yükseldiği görülmüştür. Bölgedeki yükselme hızının doğudan batıya doğru arttığı ve batı kesimlerinde yılda 0.5 mm'den fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Sağlam Selçuk ve Zorer (2017), Başkale bölgesinde gözlemlenen jeolojik miras niteliği taşıyan oluşumlar, bölge jeolojisi ve stratigrafisi içerisindeki konumları ile eski medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan kültürel miras öğeleri tanıtılmaktadır.

Anonim 2013a, 2013b'de, tünel güzergahı boyunca 1/1000 ölçekli yatay, 1/500 ölçekli düşey jeolojik plan ve profiller hazırlanmış, sondajlar ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile kazı ve destek sistemlerinin uygunluğunun ve geçerliliğinin nümerik analizler ile kontrol edilmesi, bir yer altı açıklığının kazı ve destek tasarımı için oluşturulması gerekli olan ve jeolojik-jeoteknik model sunulmuştur.

Tünel giriş ve çıkış kesimlerinde jeolojik-jeoteknik değerlendirmelerin yapılması, portal açık kazıları için şev eğimlerinin ve muhtemel destek sistemlerinin belirlenmesi, belirlenen şev eğimlerine göre oluşan kritik kesitlerin irdelenmesi ve Portal Kesin Projelendirmesine yönelik olarak yapılması gerekli çalışmaların altlığını oluşturacak uygun portal yerleşimler ortaya konmuştur.

Van-Başkale Devlet Yolu, Başkale Tüneli güzergahı Km: 76+087-79+231 arasının jeolojik- jeoteknik etütleri için arazi çalışmaları Haziran 2012-Temmuz 2012'de yapılmıştır. Arazi çalışmalarında tünel güzergâhı boyunca geçilen jeolojik birimler tanımlanmış ve jeolojik-jeoteknik özellikleri belirlenmiştir.

Güzergahta dört adet sondaj yapılmıştır. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde gerekli kaya mekaniği deneyleri yapılmış ve sonuçlar raporda sunulmuştur. Tünel hattı boyunca karşılaşılabilecek kayalara ait parametrelerin belirlenebilmesi amacıyla karotlar üzerinde nokta yükleme, tek eksenli sıkışma dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranı tayini deneyleri yapılmıştır.

Akartuna ve Turgut (1984) çalışma alanı, Doğu Anadolu Bölgesi, Van Gölü güneydoğusunda Van iline bağlı Başkale ilçesi sınırları içindedir. Tektonik hareketlerin yoğun olduğu sahada Mesozoik, Üst Kretase yaşlı ve birbirinden farklı dört formasyon ile temsil olunur, Ofiyolitik kayalardan oluşan Kemer Tepe Karmaşığı, kırmızı kireçtaşı-bazalt-çört ve radyolaritten oluşan Kano Dere Formasyonu, kumtaşı-çakıltası aralanması halinde görülen Yaylacık Formasyonu, kırmızı kireçtaşlarından ibaret Kandilli Kireçtaşları, Senozoik; Oligo-Miyosen yaşlı kırıntılı kayalardan oluşan denizel Kırkgeçit Formasyonu, Pliyosen-Pleistosen yaşlı Gelikola Dere Formasyonu ile temsil olunur.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

Başkale Tüneli güzergahını oluşturan hakim jeolojik formasyonlar, bunların jeoteknik özellikleri, tünelin giriş ve çıkış portal kesimlerinde karşılaşılmış birim sınıflamaları ve bu sınıflamalara göre nümerik analizlerde kullanılacak elasto-plastik parametreler ve bu parametrelerin belirlenmesine yönelik yaklaşımlar açıklanmıştır. Kayaçların jeolojik ve jeoteknik özellikleri kullanılarak tünelin giriş ve çıkış portal kesimlerinin kaya kütlesi birimleri için uluslararası kaya kütlesi sınıflama sistemlerine göre sınıflamalar yapılmıştır. Tünel uygulamalarında uluslararası kabul gören RMR, GSI, Q Sistemi ve NATM kaya kütlesi sınıflama çalışmaları sonucunda tünel kazı ve destek sistemleri belirlenmiştir. NATM'a göre ampirik olarak belirlenen kazı ve destek sistemlerinin uygunluğu ve geçerliliği nümerik analizler ile kontrol edilmiştir. Sayısal analizlerde Phase<sup>2</sup> (v. 8.0) bilgisayar programı kullanılmıştır. Yapılan analizlerde; kazı ve destekleme sonrası için depremsiz durum (g: 0.000) ve depremlilik durumunda (giriş portal kesimi için ivme değeri 0.237 g, çıkış portal kesimi için ivme değeri 0.241 g) tünel ve destekleme sistemleri üzerinde meydana gelebilecek asal gerilmeler ve yer değiştirmeler belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları tünel kazısı ve destekleme sonrasında belirlenen deformasyon ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Deformasyon ölçümleri target (hedef levhası) ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Başkale Tüneli kazı ve destek sistemlerinin yeterliliği ve uygunluğu değerlendirilmiştir.

#### **3.2. Yöntem**

Bu tez çalışması; arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olarak tamamlanmıştır.

### 3.2.1. Tüneller için kaya kütlesi sınıflamaları

Jeomekanik sınıflamalar, bir kaya kütesinin kaya kalitesi, dayanım ve şekil değiştirebilirlik parametrelerinin hesaplanmasını ve ayrıca tünel destek ve kazısının değerlendirilmesini sağladıklarından dolayı kaya mekaniği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Tünellerde kaya kütle sınıflaması için en çok kullanılan sınıflamalar RMR ve Q'dur. Bunların ikisi de destekleri hesaplamak amacıyla geliştirilmiş olsalar da, hem kaya kütlesi özellikleri ve desteği hem de kazı için kullanılan jeomekanik indeksler haline gelmişlerdir (Kayabalı, 2014).

#### 3.2.1.1. Kaya kalite göstergesi (RQD-Rock Quality Designation)

RQD kaya kalitesinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. 1964 yılında Deere tarafından geliştirilmiştir. Bir sondajda boyu 10 cm ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğunun, ilerleme aralığının uzunluğuna oranıdır. Aşağıdaki "Eş. 3.1" ile hesaplanır.

$$RQD = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L} \quad (3.1)$$

Burada;

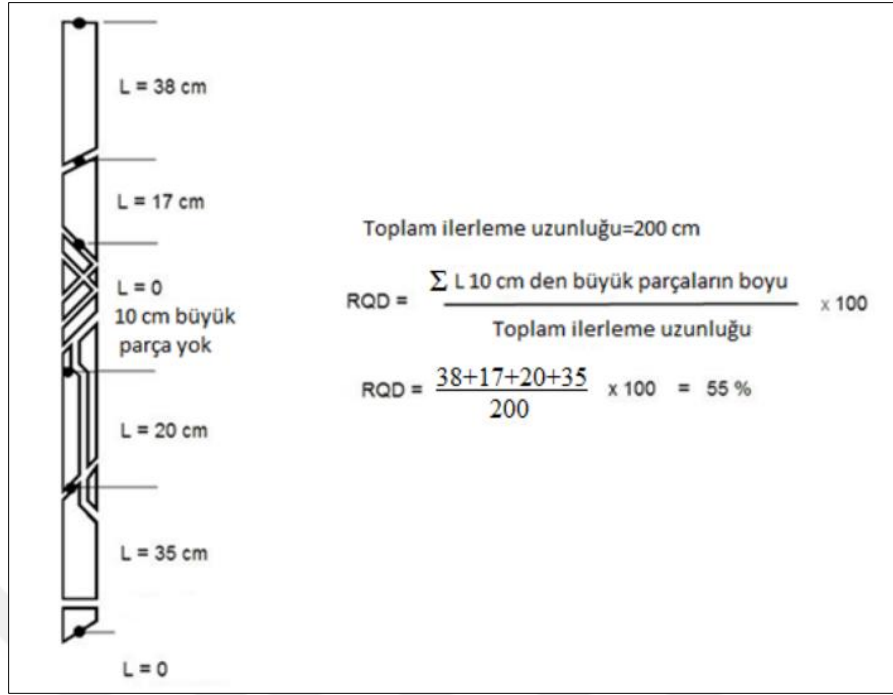
n: İlerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı

l: 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları

L: İlerleme uzunluğu

Aşağıdaki Şekil 3.1'de RQD tanımı ve hesaplanması gösterilmiştir.





Şekil 3.1. RQD tanımı ve hesaplanması (Deere, 1964).

Çizelge 3.1. RQD kaya kalite sınıflaması (Deere, 1964)

	Kaya Kalite Göstergesi	RQD (%)
A	Çok kötü	0-25
B	Kötü	25-50
C	Orta	50-75
D	İyi	75-90
E	Mükemmel	90-100

Notlar:

- RQD ≤ 10 elde edilen durumlarda (sıfır dahil) Q'yu değerlendirmek için 10 nominal değeri kullanılır.
- Beşli RQD aralıkları (örnek: 100, 95, 90 vb.) yeterince doğrudur.

### 3.2.1.2. Jeomekanik kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR-Rock Mass Rating)

Kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan yöntemlerdendir. Bu yöntem Bieniawski tarafından 1973-1989 yılları arasında geliştirilmiştir. Tüneller, şev yamaçları, temeller ve diğer yeraltı inşaatlarında uygun tahkimat önlemlerinin seçiminde yaygınca kullanılmaktadır. Sahada ölçülebilen veya sondaj verilerinden elde edilen parametrelere göre verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılmaktadır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi kaya malzemesinin dayanımı (tek eksenli basınç dayanımı), kaya kalite göstergesi (RQD) ve süreksizlik aralığına ait sınıf değerleri ve bunlara ait puanlar belirli aralıklar arasında kalmakta, uygulamada ise bu durum çeşitli hatalara neden olmaktadır. Bu nedenle bu üç parametre için daha hassas bir puanlamanın yapılabilmesi için Bieniawski (1989), ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri esas alarak çeşitli grafikler geliştirmiş ve Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Kaya malzemesinin dayanımı, RQD, süreksizlik aralığı, süreksizlik durumu (devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu, bozunma) ve yeraltı suyu durumu değerleri toplanarak Temel RMR Puanı elde edilir. Mühendislik jeolojisi çalışmalarında, süreksizliklerin konumu önemli bir parametredir ve RMR sınıflama sisteminde süreksizlik sisteminin konumu göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle mühendislik yapısı ve süreksizlik konumu arasındaki ilişkiye göre Bieniawski (1979 ve 1989) tarafından süreksizlik yönelimi düzeltilmesi ortaya atılmıştır (Çizelge 3.3, 3.4).

Çizelge 3.2. Sınıflama parametreleri ve puanları (Bieniawski, 1989)

<b>1 Kaya Malzemesinin Dayanımı (MPa)</b>	Nokta yük dayanım indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
	Tek eksenli basınç dayanımı	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	< 1
	<b>Puan</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>2 Kaya Kalite Göstergesi, RQD (%)</b>		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
	<b>Puan</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
<b>3 Süreksizlik Aralığı (cm)</b>		> 200	60-200	20-60	20-6	< 6		
	<b>Puan</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
<b>4 Süreksizlik Durumu</b>	Devamlılık (m)	< 1	1-3	3-10	10-20	> 20		
	<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
	Açıklık (mm)	Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5		
	<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
	Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan		
	<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
	Dolgu	Yok	< 5 mm (sert)	> 5 mm (sert)	< 5 mm (yumuşak)	> 5 mm (yumuşak)		
	<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>		
	Bozunma	Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş		
	<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
<b>5 Yeraltı suyu (It/dk)</b>	10 m'lik kısımdan gelen su	Yok	10	25	25-125	> 125		
	Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	<b>Puan</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		

Çizelge 3.3. Tünellerde süreksizlik durumunun etkisi (Bieniawski, 1989)

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Doğrultuya bakılmaksızın, Eğim 0°-20° arasında
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme		Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

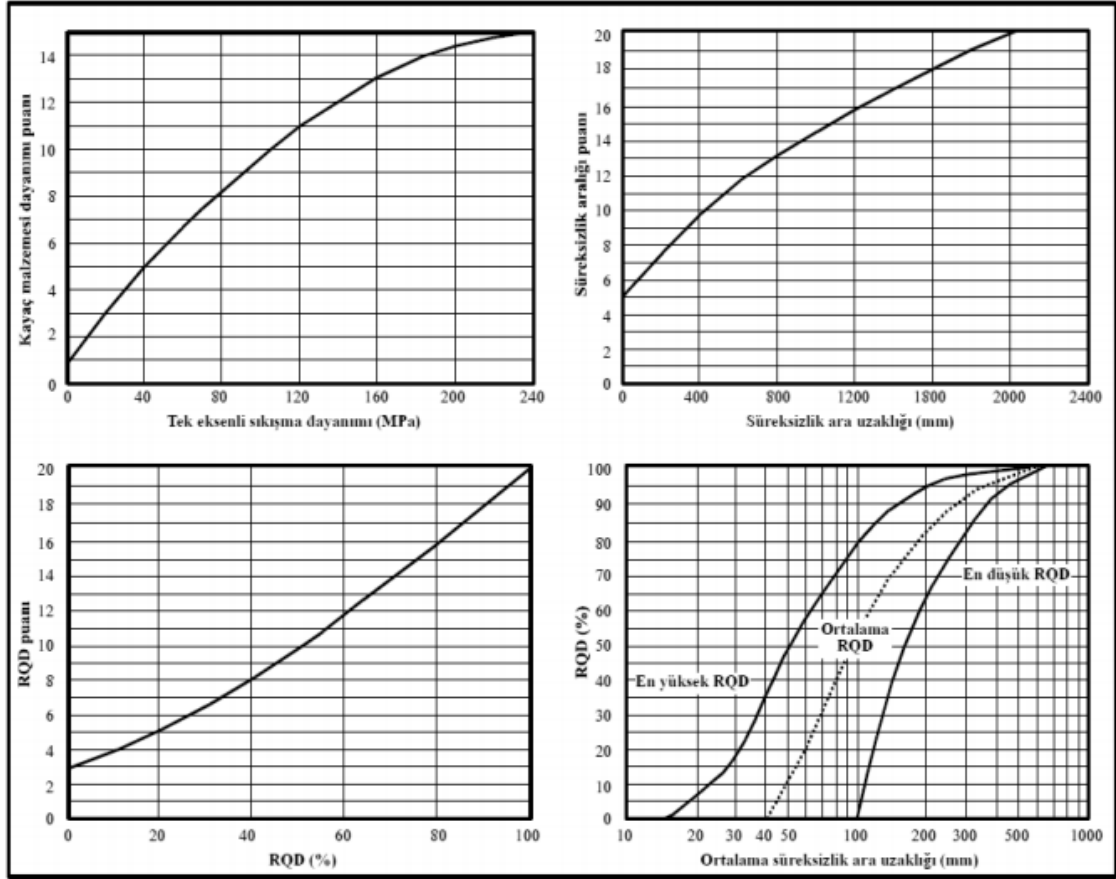
Çizelge 3.4. Süreksizlik durumuna göre düzeltme (Bieniawski, 1989)

Doğrultu, eğim	Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
<b>Puan</b>					
Tünel	0	-2	-5	-10	-12
Temel	0	-2	-7	-15	-25
Şev	0	-5	-25	-50	-60

Çizelge 3.5. Kaya sınıf ve puanlar (Bieniawski, 1989)

Sınıf	I	II	III	IV	V
<b>Tanım</b>	Çok İyi Kaya	İyi Kaya	Orta Kaya	Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya
<b>Puan</b>	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

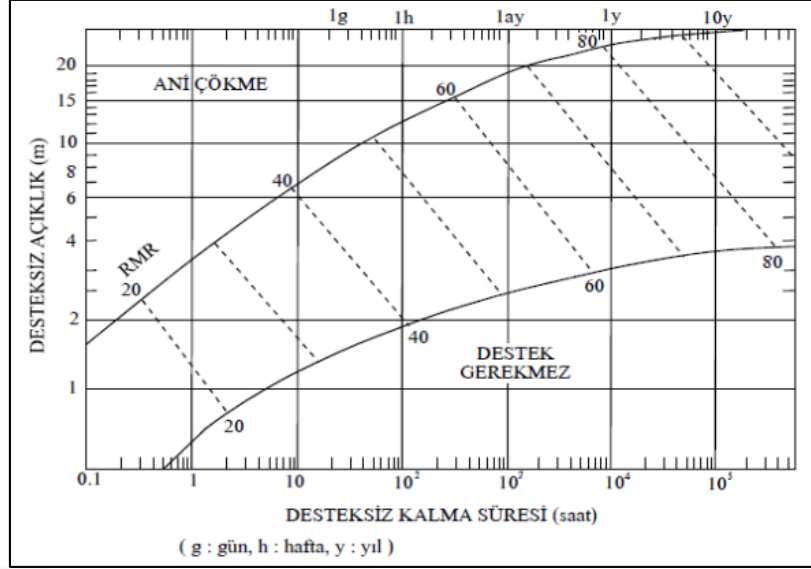
Bulunan Temel RMR Puanından, süreksizlik durumuna göre düzeltme çizelgesinden (Çizelge 3.4) bulunan puan çıkarılarak “Düzeltilmiş RMR Puanı” hesaplanmış olur. Daha sonra hesaplanan RMR puanı Çizelge 3.5’e göre yorumlanarak kaya sınıfı belirlenir.



Şekil 3.2. RQD ve süreksizlik dayanımı, RQD ve süreksizlik aralığı parametrelerine ait puanları tayin grafikleri (Bieniawski, 1989).

### 3.2.1.2.1. RMR sistemi tünellerde desteksiz durma süresi

Bir tünelin desteksiz durma süresi; açıklığın genişliğine veya desteksiz kısmın uzunluğuna bağlıdır. Şekil 3.3'teki grafik, RMR puanına göre bir tünelin desteksiz durabilme sürelerinin hesaplanmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 3.3. RMR kaya kütlesi sınıflarına göre tünelin desteksiz durma süresi ve desteksiz tavan açıklığı arasındaki ilişki (Bieniawski, 1989).

### 3.2.1.2.2. RMR sistemi destek basıncı

Yer altı açıklıklarında kullanılan destek sistemine gelecek basınç, RMR puanından yararlanılarak aşağıdaki “Eş. 3.2” yardımıyla tahmin edilebilmektedir (Ünal, 1983).

$$P = \left( \frac{100 - RMR}{100} \right) \gamma B \quad (3.2)$$

Burada;

P: Destek basıncı (kN/m<sup>2</sup>)

γ: Birim hacim ağırlık (kN/m<sup>3</sup>)

B: Tünelin genişliği (m)

### 3.2.1.2.3. RMR sistemi destek seçimi

RMR sınıflandırma sistemine bağlı olarak, 10 m açıklıklı at nalı tipi yeraltı kaya tünellerinde, kazı şekli ve sağlamlaştırma esaslarının belirlenmesine ilişkin tablo Çizelge 3.6’da verilmektedir.

Çizelge 3.6. RMR sistemine göre tüneller kazıları ve destekleri için kılavuz (Bienawski, 1976)

<b>KALICI DESTEK (TAHKİMAT)</b>				
<b>Kaya Kütle Sınıfı</b>	<b>Kazı</b>	<b>Kaya Bulonları* (10 m genişlikteki tüneller için uzunluk)</b>	<b>Püskürtme Beton (Şatkrit)</b>	<b>Çelik Destek (İksa)</b>
<b>I Çok İyi Kaya (100 - 81)</b>	Tam kesit, 3 m ilerleme	Bir miktar kaya bulunu haricinde genellikle destek gerektirmez.		
<b>II İyi Kaya (80 - 61)</b>	Tam kesit, 1.0-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede.	Kemerin her 2.0-3.0 m'sinde yer yer bulon, tel kafeslerle 2.0-2.5 m aralıklı.	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm.	Gerekmez.
<b>III Orta Kaya (60 - 41)</b>	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.5-3.0 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli.	3.0-4.0 m uzunlukta sistemik bulonlar, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2.0 m aralıklı.	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 30 mm.	Gerekmez.
<b>IV Zayıf Kaya (40 - 21)</b>	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.0-1.5 m ilerleme. Kazıya uygun şekilde aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli destek.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1.0-1.5 m aralıklı, 4.0-5.0 m uzunlukta sistemik bulonlar.	Tavan kemerinde 100-150 mm ve yan duvarlarda 100 mm.	Gereken yerde 1.5 m aralıklı yer yer hafif profiller.
<b>V Çok Zayıf Kaya (&lt; 20)</b>	Tavan ve tabanda birlikte ilerleme. Tavandan 0.5-1.0 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlamadan hemen sonra püskürtme beton uygulanmalı.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1.0-1.5 m aralıklı, 5.0 m uzunlukta sistemik bulonlar.	Tavan kemerinde 150-200 mm ve yan duvarlarda 150 mm, aynada 50 mm.	Çelik iksalı 0.75 m aralıklı orta-ağır profiller.

\*20 mm çaplı tamamen reçine dolgulu

(Şekil: At nalı; İnşaat: Delme ve patlatma; Genişlik 10 m, Düşey gerilim < 25 MPa)

### 3.2.1.3. Q sistemi (NGI sınıflaması)

Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nde, Q veya NGI (Norveç Geoteknik Enstitüsü) sistemi olarak adlandırılan bu sistem tünel tahkimatı için geliştirilmiş bir sınıflamadır (Barton ve ark., 1974).

Q indeksi "Eş. 3.3" ile ifade edildiği gibi altı parametrenin sayısal hesaplamasına dayanır:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (3.3)$$

Kaya kütlelerinin yapısını temsil eder ve blok boyutunun ölçüsünü verir

Bloklar arasındaki kayma direncini verir

Aktif gerilmeyi verir

Burada;

RQD: Kaya kalite göstergesi

J<sub>n</sub>: Eklem takımı sayısı

J<sub>r</sub>: Eklem pürüzlülük sayısı

J<sub>a</sub>: Eklem bozuşma sayısı

J<sub>w</sub>: Eklem suyu azaltma faktörü

SRF: Gerilme azalım faktörü

Karot alınmadığı zaman, RQD değeri birim hacimdeki eklem sayısı aracılığıyla belirlenebilir. Bunun için her eklem takımının 1 m<sup>3</sup>'teki sayısı belirlenir. Kil içermeyen kayalarda bu sayı "Eş. 3.4" ile çevrilir.

$$RQD = 115 - 3,3 J_v \frac{J_w}{SRF} \quad (3.4)$$

Burada;

J<sub>v</sub>: m<sup>3</sup>'teki toplam eklem sayısı



Çizelge 3.7. Kaya kalite göstergesi (RQD) (Deere, 1964)

	Kaya Kalite Göstergesi	RQD (%)
A	Çok kötü	0-25
B	Kötü	25-50
C	Orta	50-75
D	İyi	75-90
E	Mükemmel	90-100

Notlar:

- RQD  $\leq 10$  elde edilen durumlarda (sıfır dahil) Q'yu değerlendirmek için 10 nominal değeri kullanılır.
- Beşli RQD aralıkları (örnek: 100, 95, 90 vb.) yeterince doğrudur.

Çizelge 3.8. Eklem takım sayısı (Jn) (Barton ve ark., 1974)

	Eklem Takım Sayısı	Jn
A	Masif, eklemsiz ya da birkaç eklem	0.5-1
B	Bir eklem takımı	2
C	Bir eklem takımı artı rasgele eklemeler	3
D	İki eklem takımı	4
E	İki eklem takımı artı rasgele eklemeler	6
F	Üç eklem takımı	9
G	Üç eklem takımı artı rasgele eklemeler	12
H	Dört veya daha fazla eklem takımı, rasgele, aşırı eklemli, "kesme şeker tarzı", vb.	15
J	Ezilmiş kaya, zemin gibi	20

Notlar:

- Tünel kavşakları için  $3 \times Jn$  kullanınız.
- Girişler (portallar) için  $2 \times Jn$  kullanınız.

Çizelge 3.9. Eklem pürüzlülük sayısı (Jr) (Barton ve ark., 1974)

	Eklem Pürüzlülük Sayısı	Jr
<b>a) Duvar kayası teması, b) 10 cm makaslamadan önce duvar kayası teması</b>		
A	Süreksiz düzlem	4
B	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalanmalı	3
C	Düz, dalgalanmalı	2
D	Kayma çizikli, dalgalanmalı	1.5
E	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F	Düz, düzlemsel	1.0
G	Kayma çizikli, düzlemsel	0.5

Notlar:

- Tanımlama sıralaması küçük ölçekli düzensizlikler ve orta ölçekli düzensizlikler şeklindedir.

**c) Makaslandığı zaman duvar kayası teması yok**

H	Duvar kayası temasını önleyecek kadar kalın kil mineralleri içeren zon	1.0
J	Duvar kayası temasını önleyecek kadar kalın kumlu, çakıllı veya ezilmiş zon	1.0

Notlar:

- Alakalı eklem takımının ortalama açıklığı 3 m'den büyük ise 1.0 ekleyiniz.
- Çizgiselliklerin minimum dayanımı verecek şekilde yönelmiş olması koşuluyla, çizgisellik (lineasyon) içeren düzlemsel, kayma çizikli süreksizlikler için  $Jr = 0.5$  kullanılabilir.
- Jr ve Ja sınıflaması hem yönelim hem de kesme direnci ( $\tau$ ) açısından [burada,  $\tau = \tan (Jr/Ja)$ ] duraylılık için en elverişsiz eklem takımına veya süreksizliğe uygulanır.

Çizelge 3.10. Eklem bozuşma sayısı (Ja) (Barton ve ark., 1974)

Eklem Bozuşma Sayısı		$\phi_r$	Ja
<b>a) Kaya duvarı teması (mineral dolgusu yok, sadece sıvanmalar)</b>			
<b>A</b>	Sıkıca kapanmış, sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örnek: kuvars veya epidot)	-	0.75
<b>B</b>	Bozuşmamış eklem duvarları, sadece yüzeyde lekeler	25-35°	1.0
<b>C</b>	Hafifçe bozuşmuş duvar yüzeyleri. Yumuşamayan mineral sıvanmaları, kumlu taneler, kilsiz parçalanmış kaya vb.	25-30°	2.0
<b>D</b>	Siltli kil veya kumlu kil türü sıvanmalar, küçük kil yüzdesi (yumuşamayan)	20-25°	3.0
<b>E</b>	Yumuşayan veya düşük sürtünmeli kil minerali sıvanmaları (örnek: kaolinit veya mika). Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vb. ile az miktarda şişen kil.	8-16°	4.0
<b>b) 10 cm makaslamadan önce duvar kayası teması (ince mineral dolgusu)</b>			
<b>F</b>	Kumlu taneler, kilsiz parçalanmış kaya, vb.	25-30°	4.0
<b>G</b>	Şiddetlice aşırı konsolide yumuşamayan kil minerali dolgusu (devamlı fakat kalınlığı 5 mm'den az)	16-24°	6.0
<b>H</b>	Orta veya düşük aşırı konsolidasyon, yumuşama, kil minerali dolgusu (devamlı fakat kalınlığı 5 mm'den az)	12-26°	8.0
<b>J</b>	Şişen kil dolguları, örnek: montmorillonit (devamlı fakat kalınlığı 5 mm'den az)	6-12°	8-12
<b>c) Makaslandığı zaman duvar kayası teması yok (kalın mineral dolgusu)</b>			
<b>K</b>	Parçalanmış veya ezilmiş kaya ve kil zonları veya bantları (kil koşulu tanımlaması için bkz. G, H, J)	6-24°	6, 8
<b>L</b>			veya
<b>M</b>			8-12
<b>N</b>	Siltli kil veya kumlu kil zonları veya bantları, küçük kil yüzdesi (yumuşamayan)	-	5.0
<b>O</b>	Kalın, sürekli kil zonları veya bantları (kil koşulu tanımlaması için bkz. G, H, J)	6-24°	10,13
<b>P</b>			veya
<b>R</b>			12-20

Çizelge 3.11. Eklem suyu azalım faktörü (Jw) (Barton ve ark., 1974)

Eklem Suyu Azalım Faktörü		Su Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )	Jw
<b>A</b>	Kuru kazılar veya çok düşük akış (5 l/dak'dan az, yerel)	< 1	1.0
<b>B</b>	Orta düzey akış veya basınç, bazen eklem dolgularının yıkanması	1-2.5	0.66
<b>C</b>	Dolgunsuz eklemeler içeren kompetan kayada büyük debili akış veya yüksek basınç	2.5-10	0.5
<b>D</b>	Büyük debili akış veya yüksek basınç, eklem dolgularında kayda değer yıkanma	2.5-10	0.33
<b>E</b>	Patlatmada aşırı yüksek debili akış veya su basıncı, zamanla azalma	>10	0.2-0.1
<b>F</b>	Kayda değer azalma olmaksızın aşırı yüksek akış veya su basıncı	>10	0.1-0.05

Notlar:

- C, D, E ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Drenaj önlemleri alınmışsa, Jw'yi artırır.
- Buz oluşumunun neden olduğu özel problemler dikkate alınmaz.

Çizelge 3.12. Gerilme azalım faktörü (SRF) (Barton ve Grimstad, 1994)

<b>Gerilme Azalım Faktörü</b>			
<b>a) Kazıyı kesen ve tünel kazıldığı zaman kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilen zayıflık zonları</b>			<b>SRF</b>
<b>A</b>	Kil içeren zayıflık zonlarının çoklu oluşumu veya kimyasal olarak parçalanmış kaya, çok gevşek komşu kaya (herhangi derinlikte)		10
<b>B</b>	Kil içeren tekli zayıflık zonu veya kimyasal olarak parçalanmış kaya (kazı derinliği $\leq 50$ m)		5
<b>C</b>	Kil içeren tekli zayıflık zonu veya kimyasal olarak parçalanmış kaya (kazı derinliği $> 50$ m)		2.5
<b>D</b>	Kompetan kayada çoklu makaslama zonu (kilsiz), gevşek komşu kaya (herhangi derinlik)		7.5
<b>E</b>	Kompetan kayada çoklu makaslama zonları (kilsiz) (kazı derinliği $\leq 50$ m)		5.0
<b>F</b>	Kompetan kayada çoklu makaslama zonları (kilsiz) (kazı derinliği $> 50$ m)		2.5
<b>G</b>	Gevşek açık eklemler, aşırı eklemler veya "şeker küpü", vs. (herhangi derinlik)		5.0
Notlar:			
- Alakalı makaslama zonlarının kazıyı kesmediği fakat sadece etkilediği durumlarda SRF'nin bu değerlerini %25-50 oranında azaltınız.			
<b>b) Kompetan kaya, kaya gerilmesi problemleri</b>			<b>SRF</b>
		$\sigma_c/\sigma_1$	$\sigma_\theta/\sigma_c$
<b>H</b>	Düşük gerilme, yüzeye yakın, açık eklemler	$> 200$	$< 0.01$
<b>J</b>	Orta gerilme, elverişli gerilme koşulları	200-10	0.01-0.03
<b>K</b>	Yüksek gerilme, çok sıkı yapı. Duraylılık için genelde elverişli, duvar duraylılığı için elverişsiz olabilir	10-5	0.3-0.4
<b>L</b>	Masif kayada yaklaşık 1 saatten sonra orta düzey levhalanma	5-3	0.5-0.65
<b>M</b>	Masif kayada birkaç dakika içinde levhalanma ve kaya patlaması	3-2	0.65-1
<b>N</b>	Ağır kaya patlaması (birim deformasyon patlaması) ve kaya kütlelerinde anında dinamik deformasyon	$< 2$	$> 1$
Notlar:			
- Şiddetli anizotrop bakir gerilme alanı için (ölçülmüşse): $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ olduğunda $\sigma_c$ 'yi %25 azalt. $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ olduğunda $\sigma_c$ 'yi %50 azalt ( $\sigma_c$ = tek eksenli sıkışma dayanımı, $\sigma_1$ ile $\sigma_3$ majör ve minör asal gerilmeler ve $\sigma_\theta$ = maksimum teğetsel gerilme (elastik teoriden hesaplanır)).			
- Taç derinliğinin kazı genişliğinden daha az (küçük) olduğu durumlar için çok az kayıt mevcut. Böyle durumlar için SRF'nin 2.5'dan 5.0'e yükseltilmesini öner (bkz. H)			
<b>c) Sıkıştıran kaya: Kompetan olmayan kayanın yüksek kaya basıncı altında plastik akışı</b>			<b>SRF</b>
		$\sigma_\theta/\sigma_c$	
<b>O</b>	Orta düzey sıkıştıran kaya basıncı	1-5	5-10
<b>P</b>	Ağır düzey sıkıştıran kaya basıncı	$> 5$	10-20
Notlar:			
- $H > 350Q^{1/3}$ durumları için sıkıştırma durumları olabilir (Singh vd., 1992). Kaya kütleli sıkışma dayanımı $q=0.7\gamma Q^{1/3}$ den hesaplanabilir (MPa). Burada, $\gamma$ = kayanın birim ağırlığıdır (kN/m <sup>3</sup> ) (Singh, 1993).			
<b>d) Şişen kaya: Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi</b>			<b>SRF</b>
<b>R</b>	Orta düzey sıkıştıran kaya basıncı		5-10
<b>S</b>	Ağır düzey sıkıştıran kaya basıncı		10-15

Çizelge 3.13. Q değerine bağlı kaya kütlesi sınıflaması (Barton ve ark., 1974)

Q Değeri	Kaya Kütlesi Sınıfı
1000 – 400	Son Derece İyi
400 – 100	Pek Çok İyi
100 – 40	Çok İyi
40 – 10	İyi
10 – 4	Orta
4 – 1	Zayıf
1 - 0.1	Çok Zayıf
0.1 - 0.01	Çok Fazla Zayıf
0.01 - 0.001	Son Derece Zayıf

### 3.2.1.4. GSI kaya kütlesi sınıflama sistemi jeolojik dayanım indeksi (GSI)

GSI; Hoek ve ark. tarafından (1995) önerilmiştir. Uygulamada Hoek-Brown yenilme ölçütüne dahil edilmiş ve RMR yerine kullanılmaya başlanmıştır.

RMR<sub>89</sub> belli ise GSI kestirimi:

RMR<sub>89</sub> > 23 olması durumunda “Eş. 3.5” kullanılabilir.

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (3.5)$$

RMR<sub>89</sub> < 23 olması durumunda değiştirilmiş Q' faktörü “Eş. 3.6” kullanılabilir.

$$Q' = \frac{RQD \times J_r}{J_n \times J_a} \quad (3.6)$$

Burada;

RQD: Kaya kalite göstergesi

J<sub>r</sub>: Eklem pürüzlülük sayısı

J<sub>n</sub>: Eklem takımı sayısı

J<sub>a</sub>: Eklem bozuşma sayısı

Değiştirilmiş Q değeri (Q') hesaplandıktan sonra GSI değerini bulabilmek için “Eş. 3.7” kullanılabilir (Hoek vd. 1995).

$$GSI = 9 \log_e Q' + 44 \quad (3.7)$$

Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından Yapısal Özellik Puanı (SR) ve Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR) olarak tanımlanan iki özelliğin sisteme dahil edilmesiyle süreksizlik yüzeyi koşulunun ve kaya kütlesi yapısının doğru ve duyarlı bir şekilde tayini amacıyla ölçülebilen veya tanımlanabilen bir puanlama sistemi oluşturulmuştur ve SCR puanını belirlemede “Eş. 3.8”, SR puanını belirlemede “Eş. 3.9-3.11” kullanılır.

$$SCR = R_r + R_w + R_f \quad (3.8)$$

Burada;

SCR: Süreksizlik yüzey koşulu puanı

R<sub>r</sub>: Pürüzlülük puanı

R<sub>w</sub>: Bozunma puanı

R<sub>f</sub>: Dolgu puanı

$$SR = -17.5 \ln J_v + 79.8 \quad (3.9)$$

Burada;

SR: Yapısal özellik puanı

J<sub>v</sub>: Hacimsel eklem sayısı

$$J_v = (N/L)^3 \quad (3.10)$$

$$J_v = (I/S)^3 \quad (3.11)$$

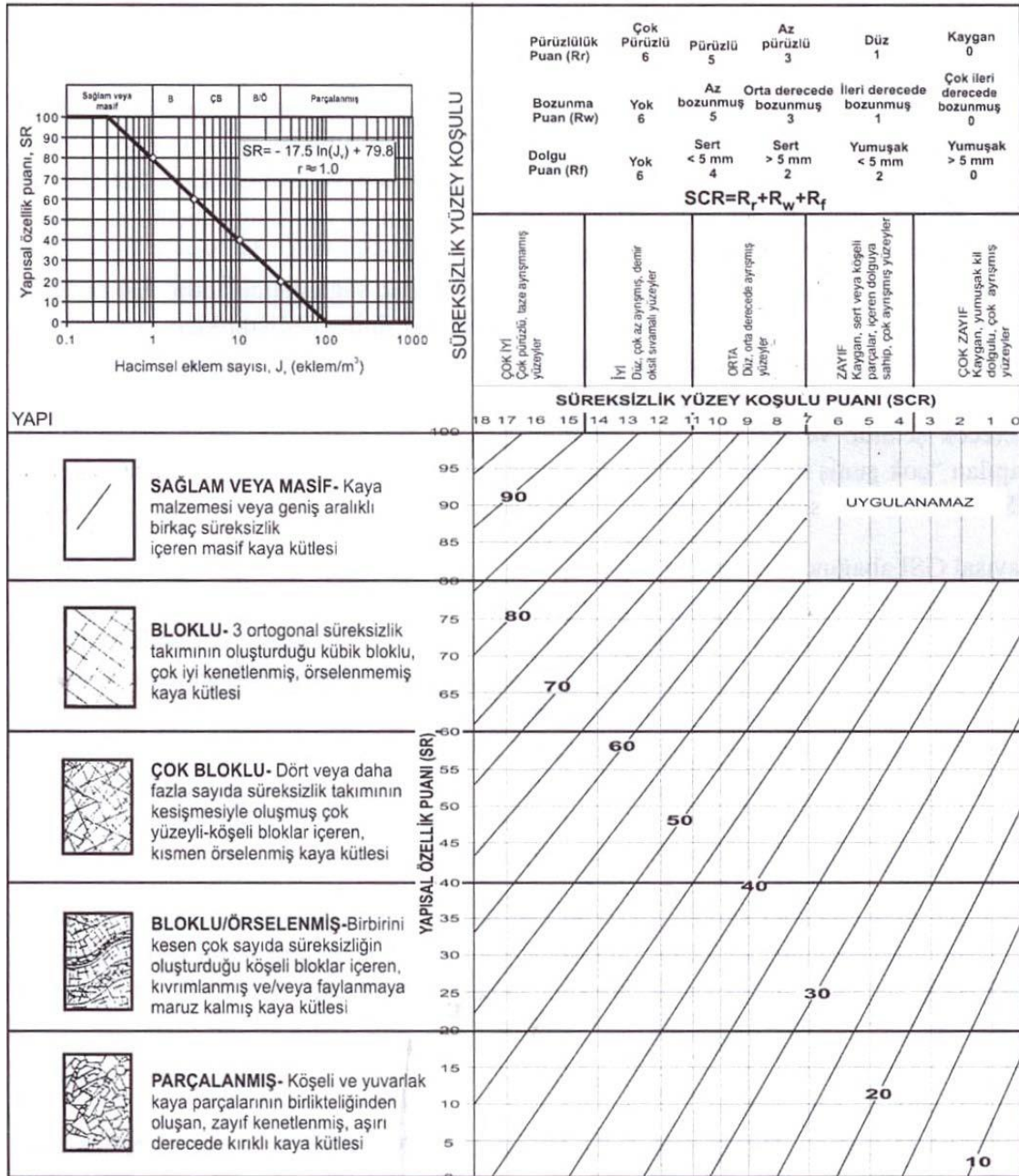
Burada;

N: Eklem sayısı

L: Ölçüm hattının uzunluğu

S: Ortalama süreksizlik aralığı

Hesaplamalarla SR ve SCR puanları esas alınarak Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen abaktaki (Şekil 3.4) iki değişkenin kesim noktasından GSI bulunur.



Şekil 3.4. GSI sınıflama sistemi abağı (Sönmez ve Ulusay, 2002).

### 3.2.2. Yeni Avusturya tünel açma metodu (NATM-New Austrian Tunneling Methods)

Bu yöntem ilk kez Rabcewicz tarafından 1948 yılında ortaya atılmış ancak 1964'te yaygın hale gelmiştir. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (New Austrian Tunneling Methods) günümüzde ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tünel kazısı sırasında yapılacak deformasyon ölçümleri ve jeolojik gözlemlere dayanan bir yöntemdir. En uygun kazı ve tahkimat yöntemleri kullanılarak kazıdan sonra oluşacak ikincil gerilme ve deformasyonların, yapılan tahkimatlar ile birlikte kayaya taşıtılması prensibine dayanmaktadır. NATM'ın en önemli özelliklerinden biri her türlü tünel şartlarına uygun olması ve uygulanabilmesidir. Kaya parametreleri ile belirlenen RMR ve Q sınıflamalarına ait değerler ile NATM kaya sınıflama sistemindeki değerlerin eşleştirilmesi sonucunda kısa zamanda sorunların çözülmesi açısından belirlenen harfsel ve açıklayıcı nitelikteki tablo Çizelge 3.14'te, kaya sınıflandırma sistemi Çizelge 3.15'te ve kaya sınıfları ve özellikleri Çizelge 3.16-3.26'da verilmiştir.

Bu tünel açma yönteminde ana ilke; en uygun kazı ve sağlamlaştırma yöntemlerinin seçilerek kazı sonrasında oluşan ikincil gerilme ve deformasyonların, kaya yapısının stabilitesini bozmayacak şekilde denetlenmesi, yönlendirilmesi ve kayaların ilk sağlamlığını olabildiğince koruyarak boşluğu çevreleyen bölgenin kendi kendisini tutan ve taşıyan bir statik sistem oluşturmasını sağlamaktır.

Çizelge 3.14. Q-RMR-NATM kaya sınıflama ilişkileri

	BARTON KAYA KÜTLESİ NİTELİĞİ (Q)	BIENIAWSKI KAYA KÜTLESİ DEĞERİ (RMR)	ÖNORM B 2203 (Ekim 1994 ÖNCESİ)	ÖNORM B 2203 (Ekim 1994 SONRASI)
1000	SON DERECE İYİ	101	101	101
400	PEK ÇOK İYİ	ÇOK İYİ	A1 STABİL	A1 SAĞLAM
100	ÇOK İYİ			
40	İYİ	İYİ	A2 AŞIRI SÖKÜLEN	A2 PARÇALI
10	ORTA			
4	ZAYIF	ORTA	B1 GEVREK	B1 GEVREK
1	ÇOK ZAYIF			B2 ÇOK GEVREK
0,1	ÇOK FAZLA ZAYIF	ZAYIF	B2 ÇOK GEVREK	B3 TANELİ
0,01	SON DERECE ZAYIF			
0,001		ÇOK ZAYIF	C1 BASKILI	C1 KABUK ATMASI
			C2 ÇOK BASKILI	C2 BASKILI
			C3 ÇOK BASKILI	C3 ÇOK BASKILI
			L1 GEVŞEK ZEMİN YÜKSEK KOHEZYON	C4 AKIŞLI
			L2 GEVŞEK ZEMİN DÜŞÜK KOHEZYON	C5 KAYNAMALI



Çizelge 3.15. Kaya sınıflandırma sistemi (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

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

Çizelge 3.16. Kaya sınıfları ve özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

KAYA SINIFI	TANIMI	ÖZELLİKLERİ
A	STABİL-HAFİF AŞIRI SÖKÜLEN KAYA KÜTLELERİ	<p>“A” olarak gösterilen kaya kütleleri genellikle stabil olup elastik davranış gösterirler. Yerel destek uygulanmaması halinde, yerçekimi nedeniyle, yer yer sığ göçükler meydana gelebilir. Göçükler genellikle izole olmuş, önemsiz eklem yapıları nedeniyle oluşur. Elastik deformasyonlar hızla azalır.</p>
B	GEVREK KAYA KÜTLELERİ	<p>“B” olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı, yapısal kenetlenme ve/veya çekme mukavemeti azlığından ötürü hızlı gevşeme ve ayrılmaya meyillidir.</p> <p>Hemen hemen tüm çevrede, boşluk civarındaki ikincil gerilmeler, kaya kütlelerinin mukavemetini biraz aşmakta, bununla beraber bu zafiyet mekanizması içerilere ulaşmamaktadır.</p> <p>Destek yapımının gecikmesi halinde artan çökmeler meydana gelir.</p>
C	BASKILI KAYA KÜTLELERİ	<p>“C” olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı genellikle, kaya basıncının yeniden dağılımı süreci ve/veya deplasman sınırlamaları sonunda oluşan gerilmelerin kaya dayanımından daha büyük olduğunu göstermektedir.</p> <p>Kaya kütlelerinin aşırı gerilmelere maruz kalması ile kabuk atma, burkulma, kesme ve boşluğa doğru plastik hareket gibi zafiyet mekanizmaları oluşur.</p> <p>Kaya kütlelerinin plastisite ve viskozitesi, zamana bağlı belirgin deformasyon davranış göstermesine ve sonuçta büyük deformasyonlara yol açar.</p> <p>Kaya zati ağırlık yüklerinin aktif hale geçmesi ve önemli miktarda gevşeme basıncı, sadece büyük deformasyonlara izin verildiğinde meydana gelir. Bu durum kaya kütlelerine zarar verecek derecedeki gevşeme ve ayrışma, kaya dayanımında büyük miktarda azalmaya yol açar. Açılan boşluktaki büyük deformasyonlar ve uzun dönemde zamana bağlı deplasman davranışı, zeminin elastik olmayan, plastik ve viskoz davranışına bağlıdır.</p> <p>Çatlamaya veya dökülmeye eğilimli kaya kütleleri ve şişme özelliği gösteren bileşenleri olan kaya kütleleri bu gruba girer.</p> <p>Bu grup, aynı zamanda ayrılmış veya bozuşmuş kayalar, gevşek zemin ve organik zeminler gibi kaya kütlelerini kapsamaktadır. Kaya kütlelerinin düşük özellikleri nedeniyle kohezyon miktarına ve/veya gevşeme basıncını takiben aşırı gerilmelere bağlı olarak, elastik veya plastik aşırı gerilme oluşur.</p>

Çizelge 3.17. A1 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: A1</b> (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Stabil” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Serbest kaya parçaları temizlendikten sonra sökülme eğilimi yoktur.
<b>Su Etkisi</b>	Yoktur.
<b>Kazı</b>	Kazı teorik olarak “tam ayna” olarak yapılabilir. Büyük kazı profili hallerinde, kazı genellikle üst yarı ve alt yarı kazısı şeklinde sürdürülür. Delme-patlatma kazı için gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak seçilir.

Çizelge 3.18. A2 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: A2</b> (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	"Sonradan Az Sökülen" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında süreksizlikler ve kaya kütlesi zati ağırlığından dolayı sığ sökümlerin olma eğilimi vardır.
<b>Su Etkisi</b>	Önemsizdir.
<b>Kazı</b>	Teorik olarak kazı “tam ayna” olarak yapılabilir. Gerçekte, büyük kazı profili hallerinde kazı, genellikle üst yarı ve alt yarı kazısı şeklinde sürdürülür. Delme-patlatma kazı için gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak seçilir. Üst yarı kazısında 2,5-3,5 m, alt yarıda 4,0 m ile sınırlanmaktadır.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Bulonlama; sadece bölgesel olarak tünel tavanında/yan duvarlarda yersel blokların stabil hale getirilmesi amacıyla kullanılabilir. Bu durumda kullanılacak kaya bulonları, aynadan itibaren en çok bir ilerleme adımı geriden uygulanacaktır. Kaya bulonlama yönü süreksizliklerin yönelimlerine göre seçilecektir.

Çizelge 3.19. B1 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: B1</b> (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Gevrek” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Patlatmadan kaynaklanan kayadaki gevşemeler ve kaya kütlesinin düşük dayanımı tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında sökümlere neden olur.
<b>Su Etkisi</b>	Genellikle önemsizdir.
<b>Kazı</b>	Kazı enkesiti üst yarı kazısı ve alt yarı kazısı olarak bölünecektir. İlerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 2,0-3,0 m arasında, alt yarıda ise 4,0 m olacaktır. İlerleme adımı uzunluğu zeminin desteksiz durma süresine, desteksiz açıklığa, destekleme elemanı yerleştirme süresine bağlı olarak ayarlanmalıdır. Kazı için delme patlatma gereklidir.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme gereklidir. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir. Destekleme aynadan en fazla bir ilerleme adımı geriden monte edilecektir. Tehlikeli alanlar derhal desteklenecektir.

Çizelge 3.20. B2 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: B2</b> (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Çok gevrek” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Tünel desteklemesinin zamanında yapılması halinde deformasyonlar hızla azalır. Zamanında destekleme yapılmaması veya destekleme elemanlarının yetersiz olması halinde derinlere ulaşan gevşemeler ve buna bağlı olarak kopmalar meydana gelir.
<b>Su Etkisi</b>	Bozuşmuş veya ayrılmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlesinin mukavemeti üzerinde etkisi bulunmaktadır.
<b>Kazı</b>	Kazı tünel kesitine bağlı olarak bölünür. İlerleme adımı uzunluğu, desteksiz durma süresi ve desteksiz açıklığına bağlı olarak belirlenir. İlerleme adımı üst yarı kazısında 1,5-2,0 m alt yarıda ise 3,0-3,5 m’den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Tünel tavanı ve yan duvarlarda sistematik destekleme gereklidir. Gerekğinde tavana süren kullanılacaktır. Süren için delme ve benzeri işlemlerin aynadaki veya tavadaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir.

Çizelge 3.21. B3 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: B3</b> (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Daneli” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Bölünmüş kazıda bile kaya kütlesinde dökülmeler meydana gelir. Kohezyonun az olması ve az çimentolaşma kazının stabilitesinde yetersizliğe neden olur.
<b>Su Etkisi</b>	Bozuşmuş veya ayrılmış kaya kütlesi içerisine fazla su akışının kaya kütlesinin dayanımı üzerinde etkisi bulunmaktadır.
<b>Kazı</b>	Bölünmüş kazı ile ilerleyebilmek için kaya kütlesini iyileştirici, desteksiz durma süresini artırıcı önlemler alınmalıdır. İlerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 1,25-1,50 m, alt yarıda ise 3 m’den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır, titreşime hassas kaya kütlelerinde mekanik kazı metotları kullanılacaktır. Taban kazısı ve bir taban beton kemeri yapılması gerekli olabilir.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Tünel tavanı ve yan duvarlarda, aynada ve aynanın ilerletilmesinden önce monte edilecek sistematik destekleme gerekmektedir. Süren kullanımı yerel olarak gerekebilir. Sistematik çelik iksa kullanılacaktır. Jeolojik şartlara göre, üst yarı aynasından 100-150 m’den daha geride olmamak üzere, yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir.

Çizelge 3.22. C1 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: C1 (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)</b>	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	Yüksek örtü kalınlığı altında masif kayada yüksek öngerilmeler kırılğan kaya kütlesinde elastik enerji depolanmasına neden olur. Bu enerjinin aniden yer değiştirmesiyle kayada kesme ve kaya yapısının ezilmesi ile birlikte kırılmalar olur. Desteksiz bırakılan kısımlarda fırlayan kayalar parçalanmaya müsaittir. Kaya kütlesindeki kırılmalar derinlere ulaşır.
<b>Su Etkisi</b>	Bozuşmuş veya ayrıışmış kaya kütlesi içerisinde fazla su akışının kaya kütlesinin dayanımı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır.
<b>Kazı</b>	Bölünmüş kazı ile ilerlemelidir. Taban kazısı gereklidir. İlerleme adımı uzunluğu üst yarıda 1,5-2,0 m alt yarıda 3 m'den fazla olmayacaktır. Kazı düzgün patlatma veya mekanik kazı metotları ile yapılabilir.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Destekleme elemanları olarak kısa ama sık yerleştirilmiş kaya bulonları, çelik hasır gereklidir. Ek tedbir olarak kaya kütlesindeki basıncı azaltıcı delikler açılabilir. Bu yöntemle dağ atmaları da önlenir. Jeolojik şartlara göre üst yarı aynasından 100-150 m'den daha geride olmamak üzere yerinde dökme bir taban kemeri betonu yapmak gerekebilir.

Çizelge 3.23. C2 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: C2 (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)</b>	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Baskılı” kaya kütlesi olarak adlandırılır. C2, çevreleyen kaya kütlesi içerisinde derine uzanan plastik zonlar ve basınç veren davranışı ile karakterize edilir. Bu kaya kütlesinde orta derecede fakat belirgin olarak uzun süren ve yavaş son bulan deformasyonlar gözlenir. Kazı çevresindeki deformasyonların mertebe ve hızları orta derecededir. Plastik davranışlı yüksek kohezyonlu kaya kütlelerinde gerilme gözlenir.
<b>Su Etkisi</b>	Su sızıntıları ve konsantre su akışının kaya kütlesi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır.
<b>Kazı</b>	Tünel kazısının, üst yarı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Portal bölgelerindeki özel durumlar hariç, üst yarı kazısı kendi içerisinde bölümlere ayrılacaktır. Üst yarı kazısı aynasında bir destekleme gövdesi gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu üst yarıda 0,75-1,25 m, alt yarıda 2 m'den fazla olmayacaktır. Kazı düzgün patlatma ve mekanik kazı metotlarıyla yapılabilir. Traşlamadan hemen sonra püskürtme beton kaplaması gerekmektedir.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Genellikle tünel aynası stabildir. Tüm kesit çevresinde sistematik destekleme gereklidir. Her ilerleme adımında destekleme sistemi tamamlandıktan sonra bir sonraki ilerleme adımına geçilecektir. Tünel tavanında süren uygulaması gerekecektir. Süren uygulaması için delgi sırası ve sonrasında imalatın ayna ve tavadaki kaya kütlesinin olumsuz etkilenmesi önlenmelidir. Destekleme elemanlarının görevi derin plastik kırılmaları sınırlamaktır. Jeolojik şartlara uygun olarak üst yarı aynasından 50-100 m'den daha geride olmamak üzere taban kemeri gereklidir.

Çizelge 3.24. C3 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: C3 (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)</b>	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Çok baskılı” kaya kütlesi olarak adlandırılır. C3, derin zayıflık zonlarının oluşması, başlangıçta yüksek ve hızlı deformasyonlar ile karakterize edilir. Deformasyonlar uzun sürer ve yavaş son bulur. Derine inen kırılma ve plastik bölgeler gözlenir.
<b>Su Etkisi</b>	Su sızıntıları ve konsantre su akışının kaya kütlesinin davranışı üzerinde önemli etkisi olmaktadır.
<b>Kazı</b>	<p>Tünel kazısının üst yarı kazısı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Genellikle üst yarı kazısı aynasında bir destekleme gövdesi gerekecektir. Aynada sistematik destekleme gerekebilecektir. İlerleme adımı uzunluğu, üst yarı kazısında 1,2 m’den, alt yarıda ise 2,0 m’den fazla olmayacaktır. Kazı genellikle yumuşak patlatma veya mekanik kazı metotlarıyla yapılacaktır. Traşlamadan hemen sonra püskürtme beton kaplaması gerekmektedir. Yoğun bir destekleme paterni tüm kazı aynalarında gerekecektir.</p> <p>Deformasyon mertebeleri, deformasyon boşlukları ve/veya büyük deformasyonlara cevap verebilecek destek elemanlarının kullanımı gibi özel bir tertibat gerektirecektir. Destekleme elemanları, kaya kütlesinin üç eksenli gerilme durumunu idame ettireceklerdir.</p> <p>İlerleme adımı uzunluğunun kısaltılması, süren boyunun uzatılması ve üst yarı kazısı aynasında büyük bir merkez destekleme gövdesinin bırakılmasının yeterli olmaması halinde ayna kazısının ayrıca alt kısımlara bölünmesi gerekebilir. Muhtemel çözümler, üst yarı kazısının yarı taraf kazılar veya yan galeriler halinde yapılması olabilir. Komple kazı bölümünün aşırı düşey hareketleri olması halinde, kaplama temelinin genişletilmesi, püskürtme beton kabuğunun temel bölgesinin bulonlanması ve enjeksiyonlanması veya geçici taban kemerleri gerekli olabilir.</p>
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Tüm tünel desteklemesi sistematik olarak, üst yarı ve alt yarı kazı aynasının daha fazla ilerletilmesinden önce tatbik edilir. Tüm tavan kesimi üzerinde süren boru kullanımı gerekecektir. Süren için delme veya benzeri işlemlerin aynadaki veya tavadaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir. Üst yarı kazısında alt bölümlere ayrılmış enkesit ve geçici ring yapıları gerekli olabilir. Üst yarı kazısı aynasından 25-50 m geride taban kemerinin ring kapaması gerekebilecektir.

Çizelge 3.25. C4 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: C4 (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)</b>	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Akıcı” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Çok az kohezyon ve sürtünme, kaya kütlesinin az plastik davranışı kısa süre desteksiz bırakılan bölünmüş kazıda bile tünel içine malzeme akışına sebep olur. Düşük kohezyon kazıda birçok alt bölünmeyi gerektirmektedir. Önceden süren montajı yapılmadan veya süren ve kazı ile birlikte püskürtme betonu kaplaması yapılmadan zeminin kendini tutma süresi yoktur.
<b>Su Etkisi</b>	Su sızıntıları ve konsantre su akışlarının açığa çıkan zeminin davranış ve özelliklerinde önemli etkisi olabilecektir. Bu nedenle kayanın ortamının dayanımını iyileştirici önlemlerin alınması düşünülebilir.
<b>Kazı</b>	Aynada stabilite problemlerini önlemek için yan galeriler şeklinde bir alt bölünme gerekecektir. İlaveten üst yarı kazısı aynaları destekleme gövdeleri gereklidir. Önden yapılan desteklemeler veya özel destekleme önlemleri ile tünel aynasının destek etkisi sayesinde sınırlı kazı yapılmasına olanak verilmesi mümkündür. İlerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 1,5 m alt yarıda ise 2,0 m’den fazla olmayacaktır. Kazı tünel ekskavatörü ile yapılacaktır. Kazı ile birlikte püskürtme beton kaplaması gerekmektedir.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Tünel desteklemesi, üst yarıda ve alt yarıda her bir ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren tabiki, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Kazı aynasında, püskürtme beton, hasır çelik, kaya bulonu, drenaj elemanlarından oluşan destekleme sisteminin, kazı sırasında veya hemen sonrasında kullanılması gerekebilecektir. Alt bölümlere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gerekli olacaktır. Süren uygulanması zorunludur. Üst yarı kazısının alt bölümlere ayrılmış kesimlerinde geçici ring kapama gerekebilir. Taban kemerinde ring kapaması, üst yarı kazı aynası gerisinde 25 ile 50 m arasındaki kısa mesafelerde gerekli olabilir.

Çizelge 3.26. C5 destek sınıfı özellikleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013)

<b>DESTEK SINIFI: C5 (Onaylı paftalarda gösterildiği gibi)</b>	
<b>Kaya Kütlesinin Davranışı</b>	“Çok kohezyonlu, kısa süreli stabil” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Şişme potansiyelli kil minerali, tuz, anhidrit içeren kaya kütlelerinde su alımıyla meydana gelen hacim artışı sebebiyle gevşemeler olur. Kemer ve aynada serbest açıklıkların sınırlanmasıyla kaya kütlesi sınırlı bir sürede stabil kalabilir.
<b>Su Etkisi</b>	Sızıntı ve konsantre su akışının, kazılan zeminin davranışı ve özelliklerinde büyük etkisi vardır. Şişme başlatılmış olabilir.
<b>Kazı</b>	Üst yarı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Pek çok halde üst yarı kazısı aynası için bir destekleme gövdesi gerekecektir. İlerleme adımı uzunlukları üst yarı kazısında 1,5 m’yi, alt yarı kazısında 3,0 m’yi geçmeyecektir. Kazı tünel ekskavatörü ile yapılabilir. Büyük kayaların veya mevzii olarak sert kaya kısımlarının kazısında patlatma gerekebilir.
<b>Destekleme ve Zamanlaması</b>	Tünel desteklemesi, üst yarı ve alt yarıda her ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren uygulaması, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Alt bölümlere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gerekli olacaktır. Geoteknik ihtiyaçlara uygun olarak üst yarı aynasından 100-150 m’den daha geride olmamak üzere taban kemeri gereklidir.



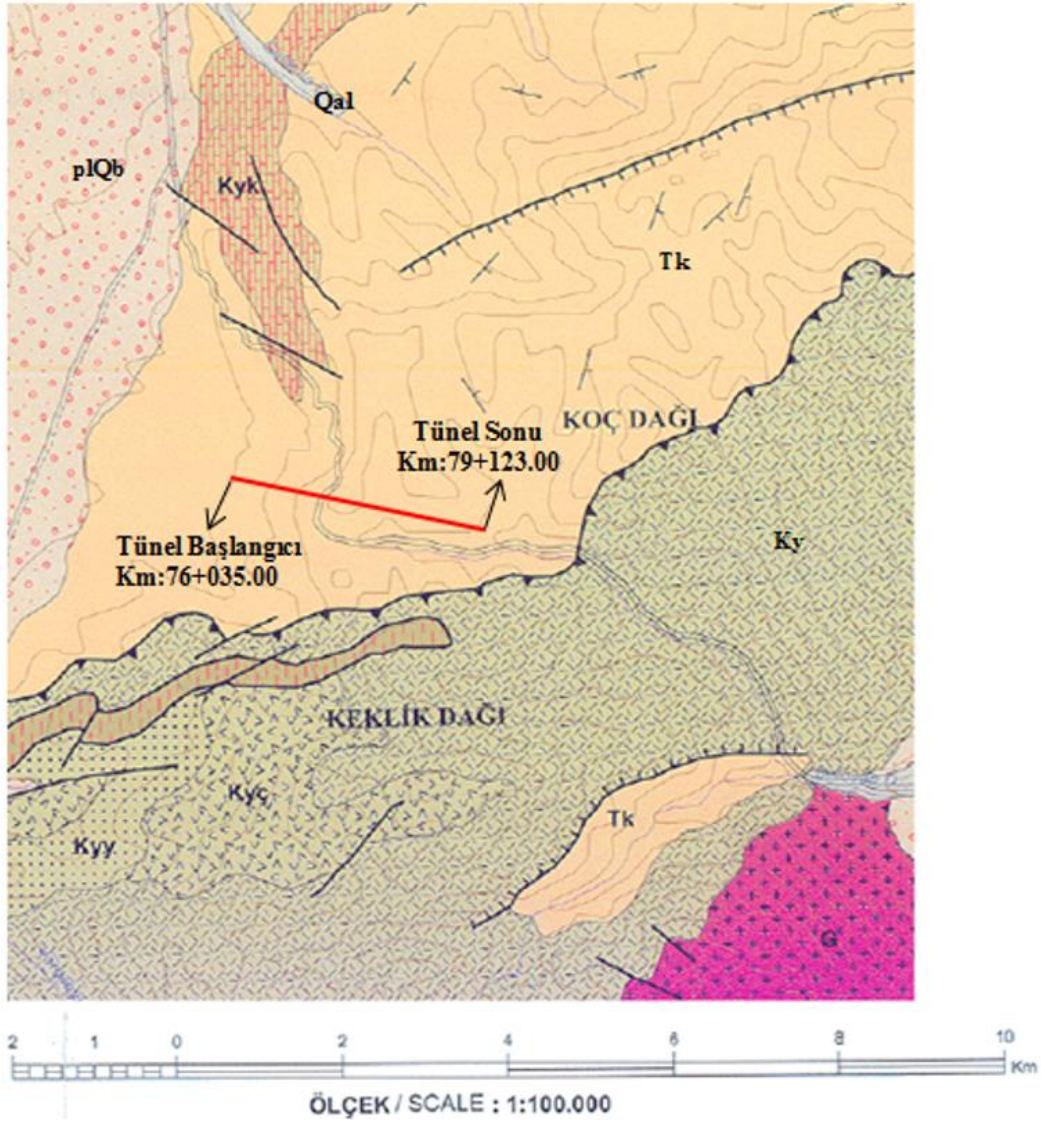


## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Jeoloji ve Stratigrafi

Van ve yakın çevresinde 1936 yılından günümüze kadar çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada Başkale Tüneli ve yakın civarına ait jeolojik bilgiler, büyük bir kesimi Sümengen (2008)'den alınan çalışmalardan yararlanılarak özetlenmeye çalışılmıştır.





#### Simgelerin Açıklaması

Qal	Alüvyon
plQb	Büyükçay formasyonu: Çakıltaş, kumtaş, silttaş
Tk	Kırkgeçit formasyonu: Çakıltaş, kumtaş, şeyl, marn vb.
Ky	Yüksekova karmaşığı: Bazalt, spilit, kumtaş, kiltaş, kireçtaş, gabro, bazalt vb.
Kyk	Kandilli kireçtaşı: Kireçtaş
Kyy	Yaylacık formasyonu: Kumtaş, kiltaş, silttaş, kireçtaş vb.
Kyç	Çardak volkaniti: Bazalt, spilit
G	Gedikbaşı magmatitleri: Diyorit, kuvars diyorit

#### İşaretler

	Eğim atımlı normal fay
	Sürüklenme
	Tanımlanmamış fay
	Dokanak
	Birinci derece karayolu
	İkinci derece karayolu
	Yerleşim yeri
	Tabaka doğrultu ve eğimi

Şekil 4.1. Başkale Tüneli'nin jeolojik haritası (1/100.000 ölçekli MTA Başkale-L51 paftasından alınmıştır).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	Kuvaterner		Alüvyon		Qal		Az killi, kumlu, çakıllı Blok/bloklü çakıl
		Pliosen	Büyükçay		plQb		Çakıltası, kumtaşı, silttaşı (gevşek tutturulmuş- tutturulmamış)
	Tersiyer	Oligo- Miyosen	Kırkgeçit		Tk		Kumtaşı-konglomera- çamurtaşı-kireçtaşı ardalanması
		Eosen	Yücelendere		Tey		Kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, kireçtaşı
			Yedisalkım		Ty		Kumtaşı, kıltaşı, konglomera, kireçtaşı
	Paleosen	Yüksekova Karmaşığı (Ky)	Kandilli Kireçtaşı	Kandilli	Kyk		Kumtaşı, kıltaşı, kireçtaşı ardalanması
			Çardak Volkaniti	Çardak	Kyç		
			Granit	Granit	G		

Şekil 4.2. İnceleme alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik kolon kesiti.

#### 4.1.1. Gedikbaşı magmatitleri (G)

Genel olarak diyoritlerden oluşan birim Acarlar ve Türkecan (1986) tarafından adlandırılmıştır. Gedikpaşa magmatiti; kahverengimsi yeşil renkte, masif, yer yer kuvars diyoriti kapsar. Bu kayaçlar hipidiyomorf taneler dokuda olup, yer yer kloritleşmiş ve karbonatlaşmış magmatitlerden oluşur. Birim tektonik etkilerle yer yer yoğun olarak parçalanmıştır, bunun sonucu olarak kayaçlarda kataklastik doku gelişmiştir.

Gedikbaşı magmatitleri Yüksekova karmaşığı içinde tektonik olarak yer almakta, birim Üst Kretase'de Yüksekova karmaşığı içine tektonik olarak yerleşmiştir, Şenel ve ark. (1984), Acarlar ve Türkecan (1986). Gedikbaşı magmatitlerinin yaşının Orta-Üst Devoniyen öncesi olduğunu belirtmişlerdir.

#### 4.1.2. Yüksekova karmaşığı (Ky)

Genelde volkano-sedimanter kayalardan oluşan ve kireçtaşlarını da kapsayan birim, Özkaya (1977) tarafından Yüksekova grubu olarak tanımlanmıştır. Birim, daha sonra Perinçek (1978a) tarafından Yüksekova karmaşığı olarak yeniden tanımlanmıştır. Birim, Hakkari kompleksi (Maxson, 1937), Hakkari karışık serisi (Türkunal, 1951), Geçkan formasyonu (Özkaya, 1978), Şehittepe formasyonu (Şenel ve ark., 1984; Şenel, 1987; Acarlar ve ark., 1991) gibi isimlerle de tanıtılmıştır. Birim içinde yer yer tektonik ilişkili granitler de izlenir.

Yüksekova karmaşığı; spilit, spilitleşmiş bazalt, bazalt, killi kireçtaşı, kireçtaşı az oranda gabro, tüf, şeyl, kumtaşı, konglomera vb. kaya birimleri ile temsil edilir. Karmaşık içinde yer alan kireçtaşları açık kırmızı, krem renkli, sileksit yumrulu ve çakıllı, planktonik foraminiferli, volkanitlerle girik ve ardalanmalıdır. Kireçtaşları yer yer radyolaritlerle yanal ve düşey geçişlidir. Konglomeralar ve çakılcıklı kumtaşları içindeki çakılların bir bölümü Yüksekova karmaşığından türemiştir. Bunlar kireçtaşları içinde yanal yönde kamalanırlar ve çört, radyolarit, kırmızı ve krem renkli kireçtaşı ve volkanit kökenli taneleri kapsar. Volkanitler yastık lav yapılıdır. Lav parçalarının kırmızı kireçtaşları içinde ya da kireçtaşı mercleklerinin lavlar içinde olduğu izlenebilir. Bazalt dışında aglomera ve tüfleri de kapsar. Yüksekova karmaşığı içinde yer yer granit sokulumları ve serpantin tektonik dilimleri de izlenir. Yüksekova karmaşığı içinde yer yer Kandilli kireçtaşı (Kyk), Yaylacık formasyonu (Kyy) ve Çardak volkaniti (Kyç) ayırtlanmıştır. Yüksekova karmaşığı bazı alanlarda TPAO jeologları tarafından Karlı volkanitleri, Çamdalı volkanikleri, Serindere formasyonu vb. birimler ayırtlanmıştır. Yüksekova karmaşığı içinde yer alan kireçtaşları, Kandilli kireçtaşı (Kyk) olarak tanımlanmıştır. Açık kırmızı, krem renkli, planktonik foraminiferli ve bazen çört yumrulu olan bu kireçtaşları volkaniklerle girik ve ardalanmalıdır. Bunlar aşırı deformasyon nedeniyle çoğunlukla birim içinde blok görünümü almıştır. Bunlar yer yer çört, radyolarit ve volkanit ardalanmalı olup belirsiz tabakalanmalıdır. Yüksekova karmaşığı içindeki fliş karakterindeki kırıntılardan oluşan birim, Yaylacık formasyonu (Kyy) olarak tanımlanmıştır. Genelde kumtaşı ve şeyllerden oluşan birimdeki şeyller, gri, grimsi yeşil, yer yer bordo renkli; kumtaşları ise grimsi yeşil renkli olup türbiditik özelliktedir. Yüksekova karmaşığı içinde yer alan Çardak volkaniti (Kyç) yeşilimsi gri, yeşilimsi kahve, koyu kahve renklerde, genellikle masif görümlü, yer yer yastık

yapılı, bazı alanlarda aglomera seviyeli bazalt (olivinli), spilit ve spilitleşmiş bazaltlarla temsil edilir. Bu volkanitlerde, özellikle üst düzeylerde kırmızı mikrit, killi mikrit ara seviyeleri ve mercekleri izlenir.

Özkaya (1977) Yüksekova ilçesinin doğu ve güneydoğusunda yaklaşık 2500 m kalınlıkta, altta kahve, siyah renkli volkanitler, üstte kireçtaşı, şeyl ve açık yeşil kumtaşlarından oluşan Yüksekova karmaşığını 3 birime ayırmıştır. Karmaşığın en alt birimini Karlı volkanitleri olarak tanımlamıştır. 1000 m kalınlıkta olan bu Karlı volkanitleri Çardak volkanitine karşılık gelir ve Karlı köyü güneyinde şeyl ara katkılı ve kireçtaşı bloklu koyu kahve, siyah renkli spilit ve spilitleşmiş bazaltlardan oluşur. Karabağ köyü güneyinde yüzeyleyen birim içerisindeki kireçtaşı blokları volkanitlere oranla daha fazladır.

Volkanitlerin altında yer yer açık yeşil renkli şeyller de izlenir. Karmaşığın orta seviyelerini oluşturan Çamdalı formasyonu 750 m kalınlıkla, krem renkli, kireçtaşı ara seviyeli şeyl ve marnlardan oluşur. Karlı volkanitlerini 1-10 m kalınlıkta bir konglomera seviyesi örter. Karmaşığın en üst birimi olan Serindere formasyonu açık yeşil renkli ince tabakalı kumtaşı ve şeyllerden oluşur. Tahmini kalınlığı 1000-1250 m olan birim, Çamdalı formasyonu üzerinde tedrici geçişli olarak yer alır.

Alt ilişkisi tektonik olan birim, üstte Üst Paleosen-Eosen yaşlı Seske formasyonu tarafından açısız uyumsuz olarak örtülür.

Kalınlığı en fazla 2500 m'ye ulaşan Yüksekova karmaşığı, yanal ve düşey yönde oldukça sık kayatürü değişimi gösterir.

Şenel ve ark. (1984), Özalp ve çevresinde yaptıkları çalışmada, birimi Globotruncana contusa (Cushman), Globotruncana stuarti (de Lapparent), Globotruncana arca (Cushman), Globorotalia cf. velascoensis (Cushman) vb. fosillere göre Maastrichtiyen-Paleosen? yaşlı kabul eder.

Birim, bazik volkanizmanın etkin olduğu havza ortamında gelişmiştir.

#### **4.1.3. Kırkgeçit formasyonu (Tk)**

Kalın kırıntılardan oluşan formasyon, TPAO jeologları tarafından adlandırılmıştır. Formasyon gri, kırmızı-alacalı renkli taban kongloması ile başlar. Bu konglomeralar, bazı alanlarda Serizeri üyesi (Tks) olarak ayırtlanmıştır. Bunlar polijenik karakterde olup mermer, rekristalize kireçtaşı, şist, az miktarda magmatik

kayaç çakıllarından oluşur. Konglomeralar içinde yer yer kıvılcıklı renkli çamurtaşları izlenir. Serizeri üyesinin kalınlığı 5-50 m arasında değişir. Bunlar üstte Kırkgeçit formasyonunun kumtaşı, marn ve şeyllere geçer. Kumtaşları ince-orta tabakalı olup gri, yeşilimsi gri renklidir. Marnlar grimsi yeşil, yeşilimsi gri ve gri renklidir. Türbiditik karakterde kırıntılardan oluşan Kırkgeçit formasyonunda yer yer olistostromal konglomera seviyeleri izlenir. Bunlar yanal yönde incelenerek kaybolur.

Yaşlı birimler üzerinde açısal uyumsuz olarak yer alan formasyon, Kuvaterner çökelleri tarafından uyumsuz olarak örtülür.

Yaklaşık 1000 m kalınlıkta olan formasyon genelde Geç Eosen-Oligosen-Erken Miyosen yaşlı kabul edilir. Formasyon bu çalışmada Oligosen-Miyosen yaşlı kabul edilmiştir (Şekil 4.2).

Başkale Tüneli tamamen Kırkgeçit formasyonuna ait birimler içerisinde açılmaktadır (Şekil 4.1-4.4). Kırkgeçit formasyonu kumtaşı-konglomera-çamurtaşı-kireçtaşı ardalanmasından oluşmasına rağmen etüt alanında genel olarak konglomeralar hakimdir. Konglomeralar açık gri renkli, karbonat çimentolu, ince-iri, yuvarlak-yarı yuvarlak taneli, genel olarak orta zayıf, yer yer zayıf dayanımlı, az-orta ayrıışmıştır. Bu konglomeralar polijenik karakterde olup, mermer, rekristalize kireçtaşı, şist, az miktarda magmatik kayaç kökenli çakıllardan oluşmaktadır. Konglomeraların kalınlığı 5-50 m arasında değiştiği görülmüştür. Kumtaşları grimsi yeşil renkli, zayıf-orta zayıf dayanımlı, karbonat çimentolu, az ayrıışmıştır. Kumtaşları konglomeralar ile yatay ve düşey geçişli bir dokunağa sahiptir. Etüt alanında çok yaygın olmayan çamurtaşları grimsi kahve, zayıf-orta zayıf dayanımlı, çok-orta ayrıışmıştır. Tünel güzergahında formasyon içerisinde gözlemlenmeyen kireçtaşları kirli beyaz renkli, az-orta ayrıışmış, zayıf-orta zayıf dayanımlıdır. Tünel çıkış portalı yakın kesimlerinde (km: 79+372-79+685) gözlemlenen Kuvaterner yaşlı alüvyon, derelerin taşıdığı killi kumlu bloklu çakıllardan meydana gelmiş olup çok sıkıdır. Km: 79+258-79+372 arasında bulunan Kuvaterner yaşlı kolüvyon ise ana kayanın yerinde fiziksel ve kimyasal etkilerle ayrıışması ve ayrıışma sonucu yer çekim etkisiyle yamaç aşağı hareket ederek birikmesi sonucu oluşmuştur. Kahverenkli olan birim az bloklu çakıllı kilden meydana gelmiştir.

#### 4.1.4. Büyükçay formasyonu (plQb)

İnce-orta-kalın tabakalı, kirli sarı, açık gri, açık beyaz renkli kumtaşı, silttaşı ve çakıltaşlarından oluşan birim, Acarlar ve Türkecan (1986) tarafından adlandırılmıştır. Daha yaşlı birimleri aşıl uyumsuzlukla örten birim, daha çok dağ arası havzalarda korunmuş göl ve karasal akarsu ortam koşullarında çökelmiştir. Birim içinde, yer yer küçük ölçekte killi gölsel kireçtaşları ve traverten oluşumları da gözlenir. Birimdeki tüm kaya türleri kendi içinde düşey ve yanal yönde birbirleriyle geçişli olup tuf ve tüfitlerle ilksel ilişkilidir. Birimin yaşı, Balkaş ve ark. (1980) tarafından Pliyo-Kuvarterner olarak kabul edilmiştir. Ancak benzer birim, Şenel ve ark. (1984) tarafından Pliyosen-Pleyistosen yaşlı kabul edilmiştir.

#### 4.1.5. Alüvyonlar (Qal)

Akarsu yataklarında, çöküntü alanlarında ve ovalarda birikmiş çakıl, kum ve çamur birikintileridir.



Şekil 4.3. Tünel girişi ve Kırkgeçit formasyonundan görünüm.





Şekil 4.4. Tünel çıkışı ve Kırkgeçit formasyonundan görünüm.

## 4.2. Fay Hatları ve Depremsellik

Anonim 2015'te, inceleme alanı Toros orojenik kuşağı içerisinde, Doğu Toroslar'ın doğu uzantısında yer alır. Bu bölgedeki birimler; Kaledoniyen, Hersiniyen, Alp Orojenezini ve bunların çeşitli dönemlerdeki fazlarına katılarak kırıklı, kıvrımlı ve bindirmeli bir yapı kazanmışlardır. Başkale Havzası'ndaki birimler Alp orojenezinin Saviyen fazı ile kıvrımlanmışlardır. Bunların üzerine Alt Miyosen yaşlı transgresif bir deniz ortamında oluşan klastikler uyumsuz olarak gelmiştir. Alp orojenezinin Stirien fazı ile bölge, kara halini almış ve günümüze kadar da bu özelliğini korumuştur. İnceleme alanının tektonik gelişimi iki farklı dönemde incelenebilir. Bunlardan birincisini oluşturan Paleotektonik dönem, Pliyosen dönemine kadar olan olayları kapsamaktadır. Bu dönemde inceleme alanının da içerisinde yer aldığı yörede K-G doğrultulu sıkışma rejimi altında kıvrımlı ve bindirmeli yapılar oluşmuştur. Başkale Havzası'nı kuzeybatı ve güneydoğudan sınırlayan dağlık alanlar da bu dönemde oluşmuştur. Pliyosen'den günümüze kadar olan yapılar ise Neotektonik dönem yapılarına karşılık gelmektedir. Büyük ölçüde havzanın bugünkü yapısını kazandığı Neotektonik dönemde doğrultu atımlı fayların oluşturduğu rejim etkili olmuştur. Bu dönemde faylarla kesilen dağlık alanlar yükselmiş, fay hatlarına bağlı magma çıkışları olmuştur.

Ayrıca çalışma alanında üç farklı tektonik birlik ayırt edilmiştir. Bunlar, Kuzey platform, Güney platform, Ofiyolit Napı'dır. Kuzey platform yüksek basınç / düşük



sıcaklık türü bir metamorfizmadan belirgin bir şekilde etkilenmiş olduğundan foliasyon, değişik boyutta izoklinal kıvrımlar ve imbrike faylanma gibi deformasyon yapılarına çok yaygın olarak rastlanır. Bu yapılar özellikle şist-mermerlerin yaygın olduğu kesimlerde sıkça izlenir. Mermerlerin yaygın olduğu kesimlerde deformasyon etkisi kendisinin daha çok penetratif eklem sistemlerinin gelişmesi ile belli eder. Kıvrım yapıları mesozkopik ölçekte gelişmiştir.

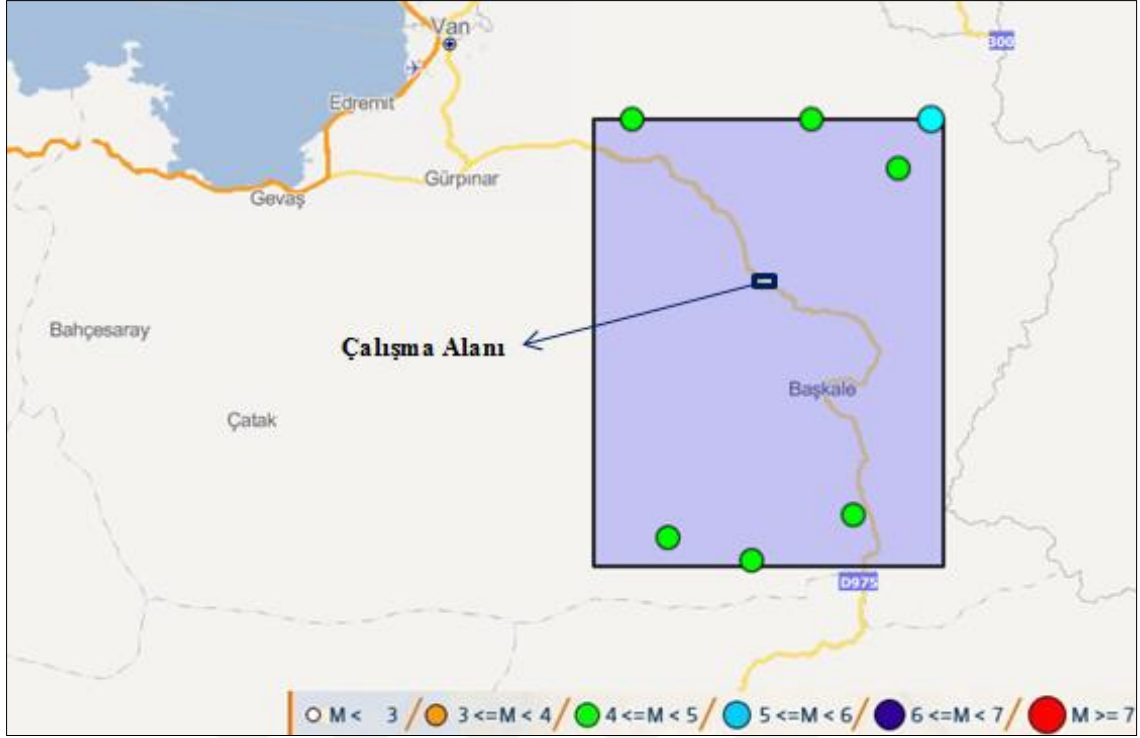
Sınırlı bir alanda izlenen güney platform kayaları ise çok düşük dereceli bir metamorfizmadan etkilenmiş olduğundan dolayısıyla deformasyon yapıları da kuzey platform kadar gelişmemiştir. İzoklinal türü kıvrımlara sıkça rastlanmamaktadır. Her iki platform istiflerinin üzerinde ofiyolit napı yer alır.

Gerek çalışma alanında gerekse çalışma alanının güneyindeki komşu alanlarda yapılan araştırmalarda ofiyolit napının Maestrihtiyen'e kadar uzanan güney platform istiflerinin üzerinde yer aldığı tespit edilmiştir. Diğer yandan ofiyolitler Miyosen istifleri tarafından örtülmektedir. Bu nedenle ofiyolit napının yerleşme yaşını bölgedeki çalışmalarla dar bir zaman aralığında sınırlamak olanaksızdır. Ancak bölgeye uzak olmakla birlikte ofiyolit napı Akhisar kuzeyinde Eosen yaşlı birimler tarafından örtülür.

Proje güzergahı ve çevresinde güzergahı etkileyen, Başkale fayı, Van fay zonu ve Güney Anadolu bindirmesinin bir segmenti olan Işıklar segmenti bulunmaktadır. Bu ilişkilerden yararlanarak bu kuşakta ofiyolitlerin Paleosen sırasında yerleştiği söylenebilir.

Tünel ve çevresinde, 01.01.1900-31.05.2019 tarihleri arasında, büyüklüğü 4 ve 4'ün üzerinde meydana gelen depremler Şekil 4.5 ve Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. 100 yıllık süre içerisinde Van ve çevresinde çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bölgede en son 2011 yılında meydana gelen (M:7.2) Van-Erciş ve (M:5.6) Van-Edremit depremleri en önemli depremlerdir. Başkale Tüneli güzergahı ve yakın çevresinde ise bu süreç içerisinde çok daha az sayıda ve genellikle 4.0 ile 6.0 arasında değişen orta büyüklükte depremler meydana gelmiştir.

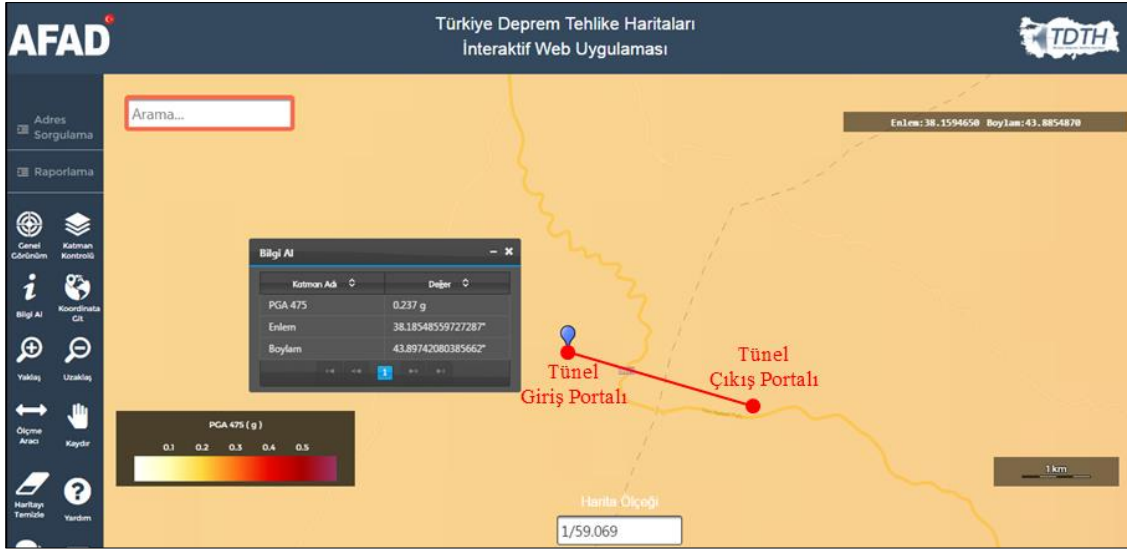
Başkale Tüneli giriş ve çıkış portal kesimlerine ait PGA 475 yıl için elde edilen ivme değerleri (AFAD, 2018) sırasıyla 0.237 g ve 0.241 g olarak belirlenmiş ve Şekil 4.6, 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çalışma alanı ve çevresinde 4 ve 4'ün üzerinde meydana gelen depremler (deprem.afad.gov.tr adresinden alınmıştır).

Çizelge 4.1. Çalışma alanı ve çevresinde 4 ve 4'ün üzerinde meydana gelen depremlerin bilgileri (deprem.afad.gov.tr adresinden alınmıştır)

Tarih (UTC)	Enlem	Boylam	Derinlik	Büyüklik Tipi	Büyüklik
<b>07/03/1937 19:10:45</b>	38.4000	43.7000	15.00	MS	4.6
<b>15/01/1945 05:30:00</b>	38.4000	44.2000	32.00	MS	5.1
<b>15/03/1951 10:01:02</b>	38.4000	44.0000	30.00	MS	4.8
<b>27/02/2003 22:36:44</b>	38.3355	44.1453	11.60	mb	4.3
<b>25/01/2005 17:06:06</b>	37.8800	44.0700	40.00	mb	4.2
<b>02/02/2005 21:31:13</b>	37.8200	43.9000	4.00	mb	4.0
<b>06/03/2005 08:38:09</b>	37.8500	43.7600	16.00	mb	4.2



Şekil 4.6. Başkale Tüneli giriş portal kesimine ait PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri (AFAD, 2018).



Şekil 4.7. Başkale Tüneli çıkış portal kesimine ait PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri (AFAD, 2018).

### 4.3. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmalarında tünel güzergahı boyunca jeolojik-jeoteknik özellikler tanımlanmıştır. Tünel giriş ve çıkış kesimlerinde yapılan 3 adet sondaja ait özet bilgiler ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Başkale Tüneli giriş ve çıkış kesimlerinde yapılan sondajdan alınan karot numuneleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü,

elastisite modülü, poisson oranı tayini ve yoğunluk gibi birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.2. Tünel giriş ve çıkış kesimi için yapılan sondajların özet listesi

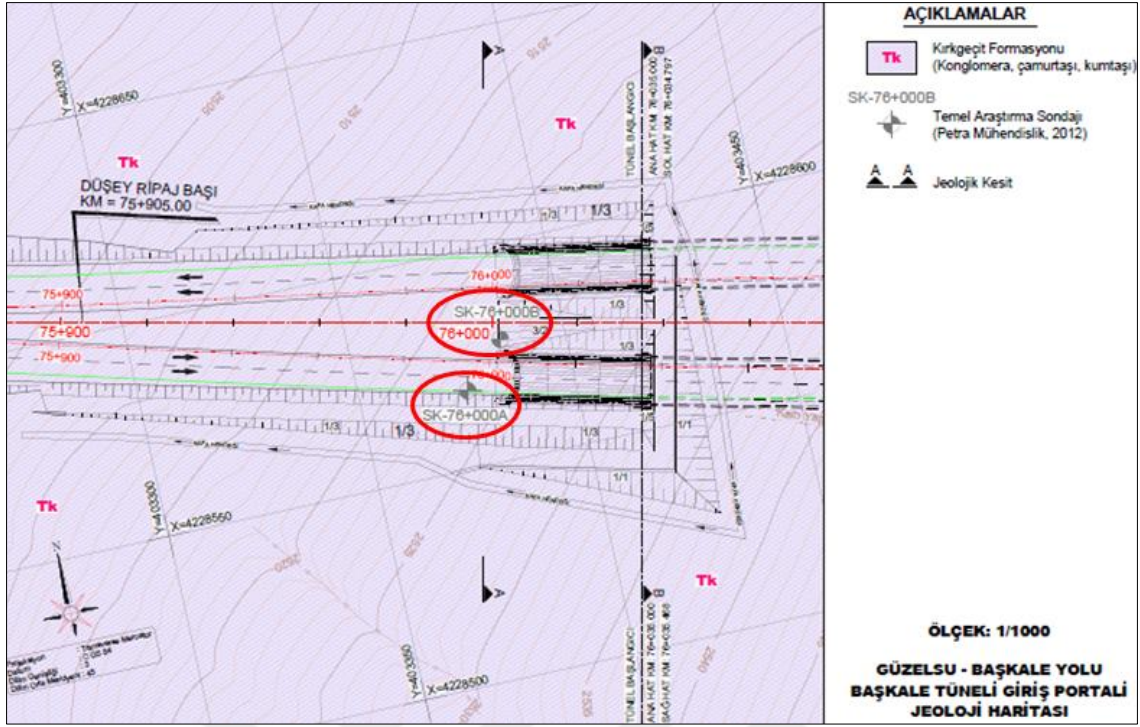
No	Sondaj No	Km	Derinlik	X (N)	Y (E)	Kot	Açıklama
1	SK-76+000A	76+000	25.00	4228568	403375	2521	Tünel Girişi
2	SK-76+000B	76+000	25.00	4228578	403385	2513	Tünel Girişi
3	SK-79+220	79+220	30.00	4227886	406529	2613	Tünel Çıkışı- Yarma

Çizelge 4.3. Karot numunelerine uygulanan deneyler ve sonuçları

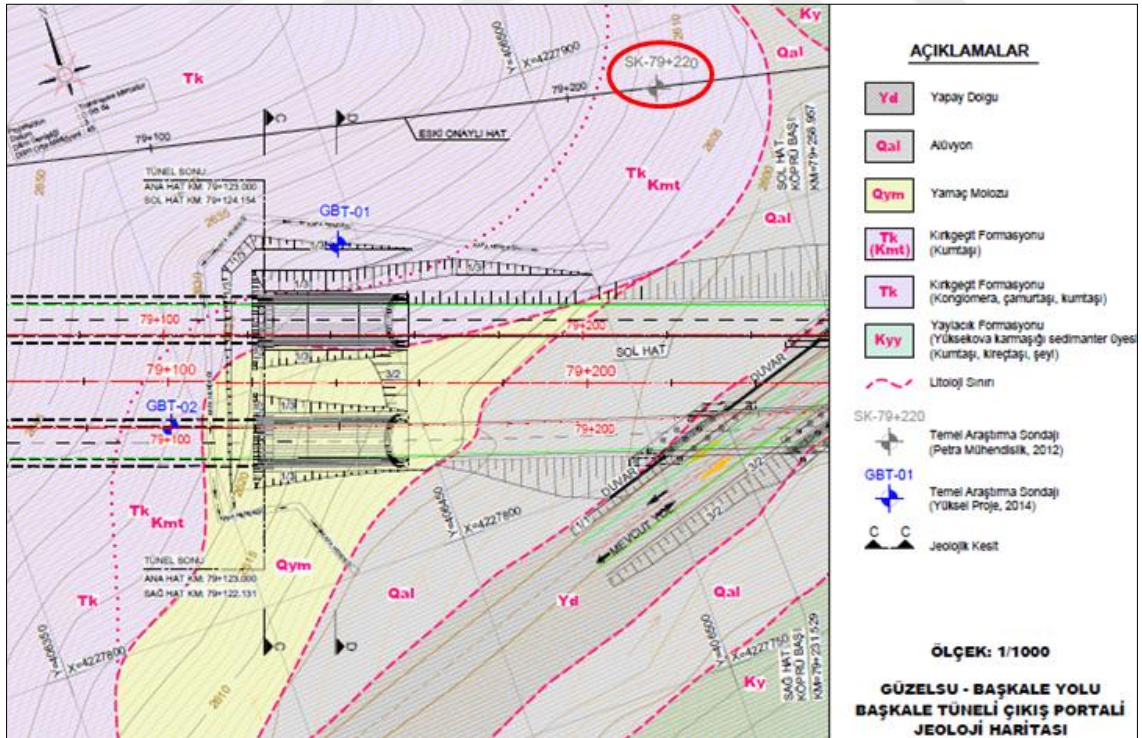
Sondaj No	Derinlik, m	Elastisite Modülü, GPa	Poisson Oranı	Doğal Birim Hacim Ağırlık, kN/m <sup>3</sup>	Tek Eksenli Basınç, kg/cm <sup>2</sup>	Nokta Yükleme, kg/cm <sup>2</sup>
SK-76+000A	16.00-16.20	18.33	0.221	25.99	668	–
SK-76+000A	18.50-18.80	20.70	0.218	26.50	749	–
SK-76+000A	23.30-23.50	15.95	0.229	25.93	643	–
SK-76+000B	19.10-19.25	–	–	26.07	–	32.7
SK-76+000B	22.00-22.15	14.55	0.232	25.79	669	–
SK-79+220	6.00-6.40	8.86	0.261	24.69	321	–
SK-79+220	10.00-10.30	–	–	24.98	–	24.0
SK-79+220	13.00-13.40	6.85	0.290	24.42	292	–
SK-79+220	15.00-15.50	10.32	0.247	25.14	382	–
SK-79+220	16.30-16.70	9.69	0.257	24.73	350	–

Bu laboratuvar verilerine ek olarak arazi çalışmaları, yüzey jeolojisi ölçüm ve verileri; tünel giriş ve çıkış kesimlerinin kumtaşı-konglomera-çamurtaşı-kireçtaşı ardaalanmasından (Kırkgeçit Formasyonu, Tk) oluşan birimlerin zayıf kaya özelliğinde olduğu göstermiştir.

Yapılan sondajlar, detaylı yüzey jeolojisi ölçüm ve verileri, laboratuvar deney sonuçlarına göre Başkale Tüneli'nde karşılaşılan öngörülen kaya kütle özellikleri için RMR, Q, GSI ve NATM kaya sınıflamaları oluşturulmuştur.



Şekil 4.8. Başkale Tüneli giriş portal kesimine ait 1/1000 ölçekli jeoloji haritası ve sondaj yerleri (Anonim 2015'ten alınmıştır).



Şekil 4.9. Başkale Tüneli çıkış portal kesimine ait 1/1000 ölçekli jeoloji haritası ve sondaj yerleri (Anonim 2015'ten alınmıştır).

#### 4.4. Kaya Kütle Sınıflandırmaları

Giriş ve çıkış portal kesimlerine ait RMR puanı 39 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.4). Elde edilen bu değere göre söz konusu birim zayıf kaya olarak tanımlanmışlardır.

Çizelge 4.4. Giriş ve çıkış portallarına ait RMR sınıflandırma parametreleri, değerleri, puanları ve kaya kütlesi sınıflaması (Anonim 2013b'den alınmıştır)

Parametreler	Giriş Portal Kesimi		Çıkış Portal Kesimi	
	Değer	Puan	Değer	Puan
Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	64	7	33	4
RQD (%)	≤ 10	4	25	6
Süreksizlik Aralığı (m)	0.02 - 0.4	7	0.02 - 0.6	8
Süreksizlik Devamlılığı (m)	3 - 10	2	3 - 10	2
Süreksizlik Açıklığı (mm)	1 - 5	1	1 - 5	1
Pürüzlülük	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3
Dolgu	< 5 mm (sert)	4	< 5 mm (sert)	4
Bozunma	Bozunmuş	1	Bozunmuş	1
Yeraltı Suyu	Tamamen kuru	15	Tamamen kuru	15
Temel RMR Puanı		<b>44</b>		<b>44</b>
Süreksizlik Yönü	Orta	-5	Orta	-5
Düzeltilmiş RMR Puanı		<b>39</b>		<b>39</b>
Kaya Kütle Sınıflaması	<b>Zayıf Kaya</b>		<b>Zayıf Kaya</b>	

Giriş ve çıkış portal kesimlerine ait Q sınıflama değerleri sırasıyla 0.188 ve 0.313 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.5). Q sınıflama sisteminden elde edilen değerlere göre söz konusu birim çok zayıf kaya olarak tanımlanmışlardır.



Çizelge 4.5. Giriş ve çıkış portallarına ait Q değerleri ve kaya kütlesi sınıflaması (Anonim 2013b'den alınmıştır)

Parametreler	Giriş Portal Kesimi		Çıkış Portal Kesimi	
	Açıklama	Değer	Açıklama	Değer
RQD (%)	10	10	25	25
Eklem takım sayısı (Jn)	İki eklem takımı (2x4)	8	İki eklem takımı (2x6)	12
Eklem pürüzlülük sayısı (Jr)	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
Eklem bozuşma sayısı (Ja)	Ayrılmış sert dolgulu eklemler	4.0	Ayrılmış sert dolgulu eklemler	4.0
Eklem suyu azalım faktörü (Jw)	Kuru kazılar veya çok düşük akış (5 l/dak'dan az, yerel)	1.0	Kuru kazılar veya çok düşük akış (5 l/dak'dan az, yerel)	1.0
Gerilme azalım faktörü (SRF)	Portal kesimi	2.5	Portal kesimi	2.5
Q Değeri	$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ $Q = \frac{10}{8} \times \frac{1.5}{4.0} \times \frac{1.0}{2.5}$ <b>Q = 0.188</b>		$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ $Q = \frac{25}{12} \times \frac{1.5}{4.0} \times \frac{1.0}{2.5}$ <b>Q = 0.313</b>	
Kaya Kütle Sınıfı	<b>Çok Zayıf Kaya</b>		<b>Çok Zayıf Kaya</b>	

Giriş ve çıkış portal kesimlerinde GSI değeri ise  $GSI = RMR_{89} - 5$  formülasyonuna bağlı olarak elde edilmiştir. Bu formülasyonda Temel RMR Puanı (44)  $RMR_{89} > 23$  koşulunu sağladığından elde edilen GSI değeri 39 olarak elde edilmiştir.

#### 4.5. Tünel Ayna Haritalamaları

Başkale Tüneli'nin sol ve sağ tüp giriş portalı, sol ve sağ tüp çıkış portalına ait tünel aynası jeolojik haritaları hazırlanarak jeolojik açıdan incelenmesi yapılmıştır. Bu haritalandırmalarla elde edilen RMR ve Q sistemine ait değerler ile kaya ve destek sınıfları belirlenmiştir.

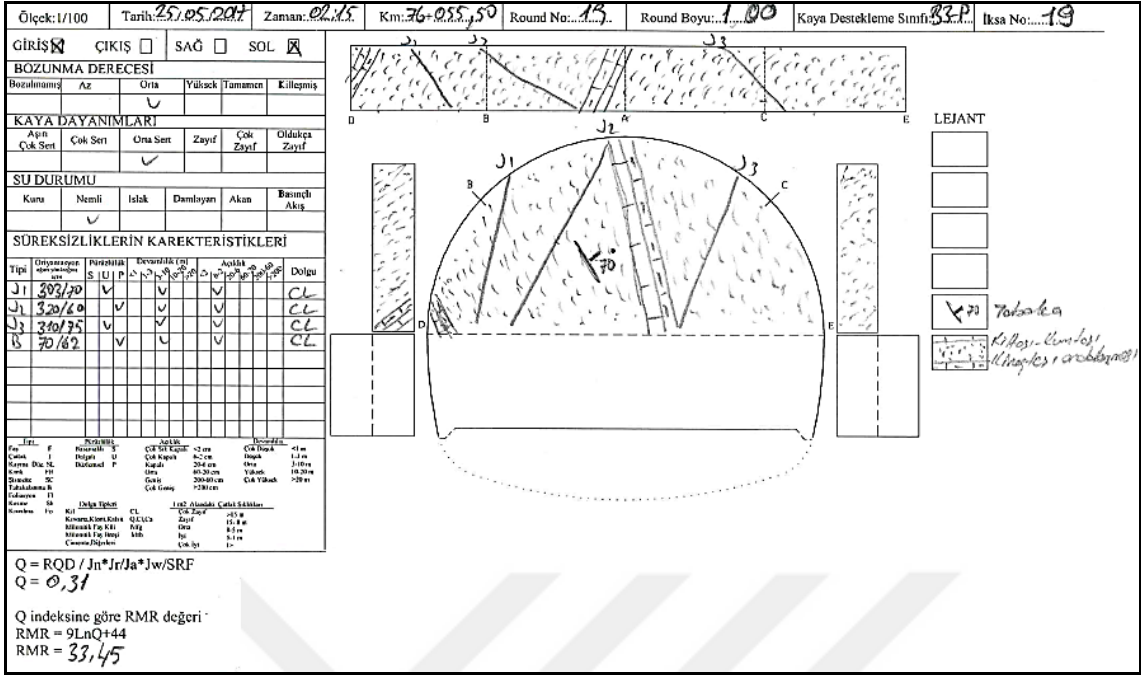
Hazırlanan tünel aynası jeolojik haritalarından sol tüp giriş portalı km: 76+037.05-76+130.40 arası, sağ tüp giriş portalı km: 76+038.25-76+088.80 arası, sol tüp çıkış portalı km: 79+112.50-79+121.50 arası ve sağ tüp çıkış portalı

km: 79+098.50-79+119.50 arasına ait en küçük ve en büyük RMR ve Q değerlerinin olduğu tünel aynası haritaları Şekil 4.10-4.17'de ve özet tablosu Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Bu tabloya göre giriş ve çıkış portalları için en düşük RMR ve en büyük RMR değerleri sırasıyla, 32.22-42.21 ve 45.86-48.34'tür. Q değerleri ise giriş ve çıkış portalları için 0.27-0.82 ve 1.23-1.62'dir.

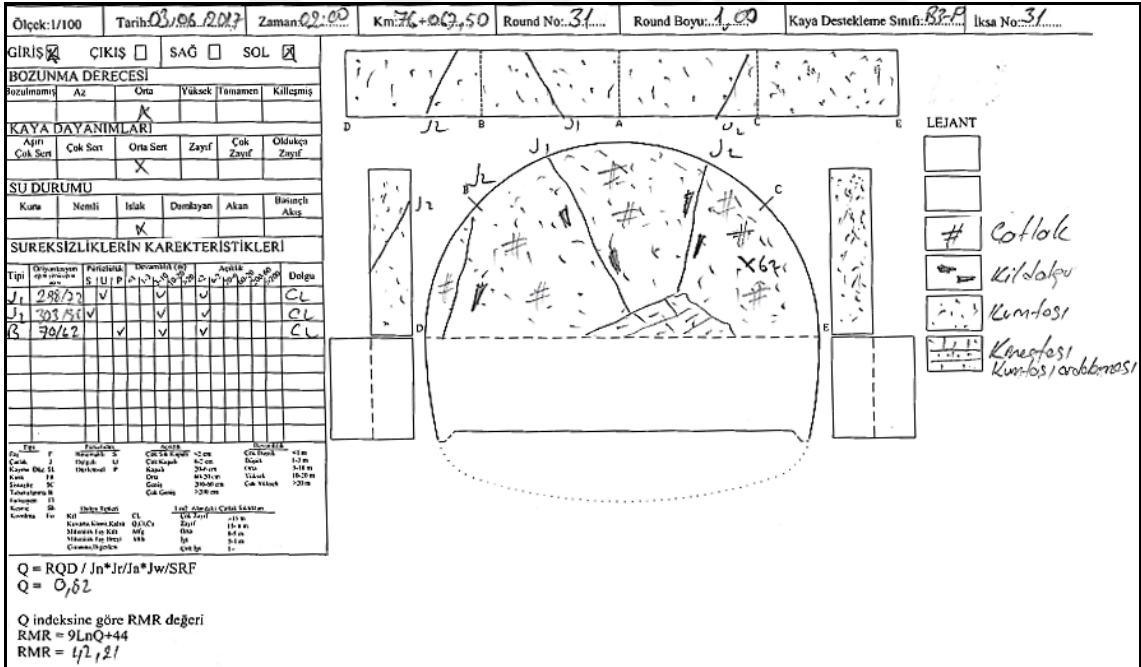
Çizelge 4.6. Tünel aynası jeolojik haritalarına ait bilgilerin özet tablosu

Tünel Kesimi	Değerler	KM	Q	RMR	KAYA SINIFI
					(ÖNORM B2203 EKİM 1994 VE SONRASI)
Sol Tüp Giriş Portal Kesimi	En küçük değer	76+055.50	0.31	33.45	B3
Km:76+037.05 -76+130.40	En büyük değer	76+067.50	0.82	42.21	B3
Sağ Tüp Giriş Portal Kesimi	En küçük değer	76+072.25	0.27	32.22	B3
Km:76+038.25 -76+088.80	En büyük değer	76+038.25	0.44	36.61	B3
Sol Tüp Çıkış Portal Kesimi	En küçük değer	79+115.50	1.51	47.71	B2
Km:79+112.50 -79+121.50	En büyük değer	79+121.50	1.62	48.34	B2
Sağ Tüp Çıkış Portal Kesimi	En küçük değer	79+098.50	1.23	45.86	B3
Km:79+098.50 -79+119.50	En büyük değer	79+118.50	1.50	47.65	B2

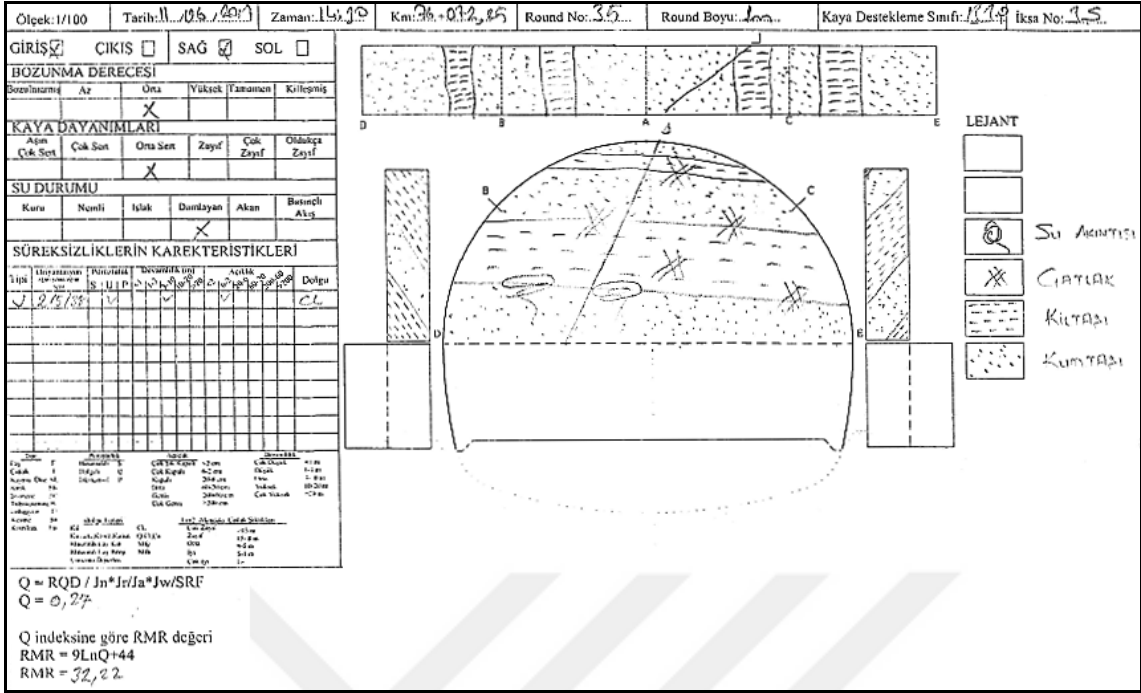




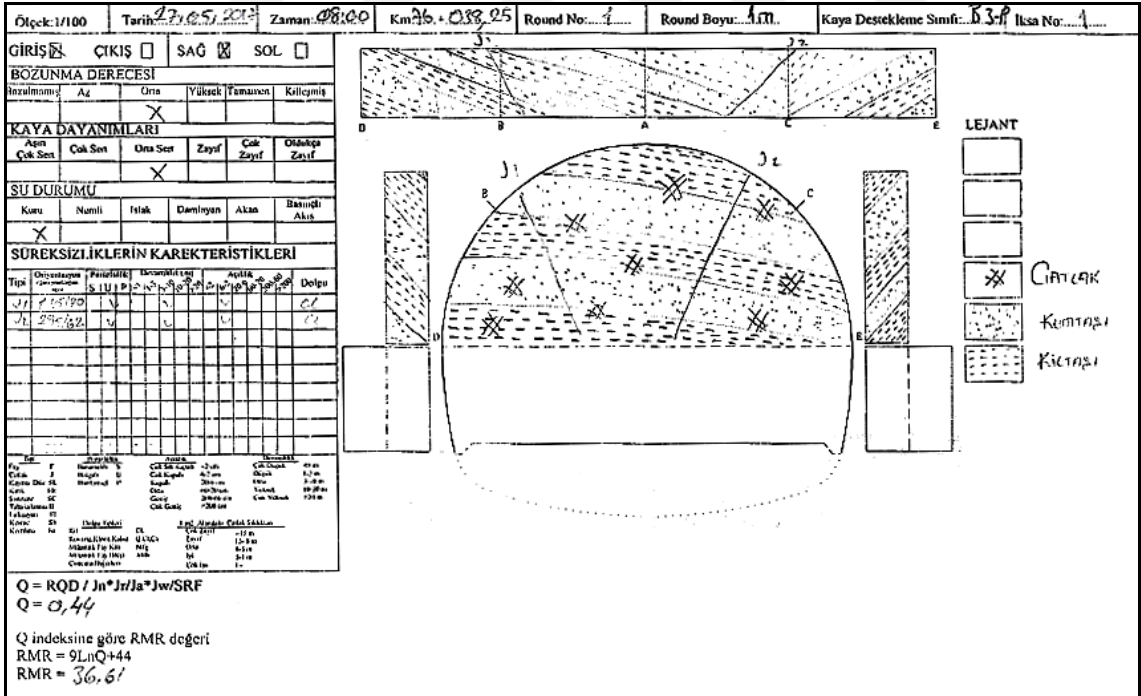
Şekil 4.10. Sol tüp giriş portalı km: 76+055.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası (en küçük RMR ve Q değeri).



Şekil 4.11. Sol tüp giriş portalı km: 76+067.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası (en büyük RMR ve Q değeri).

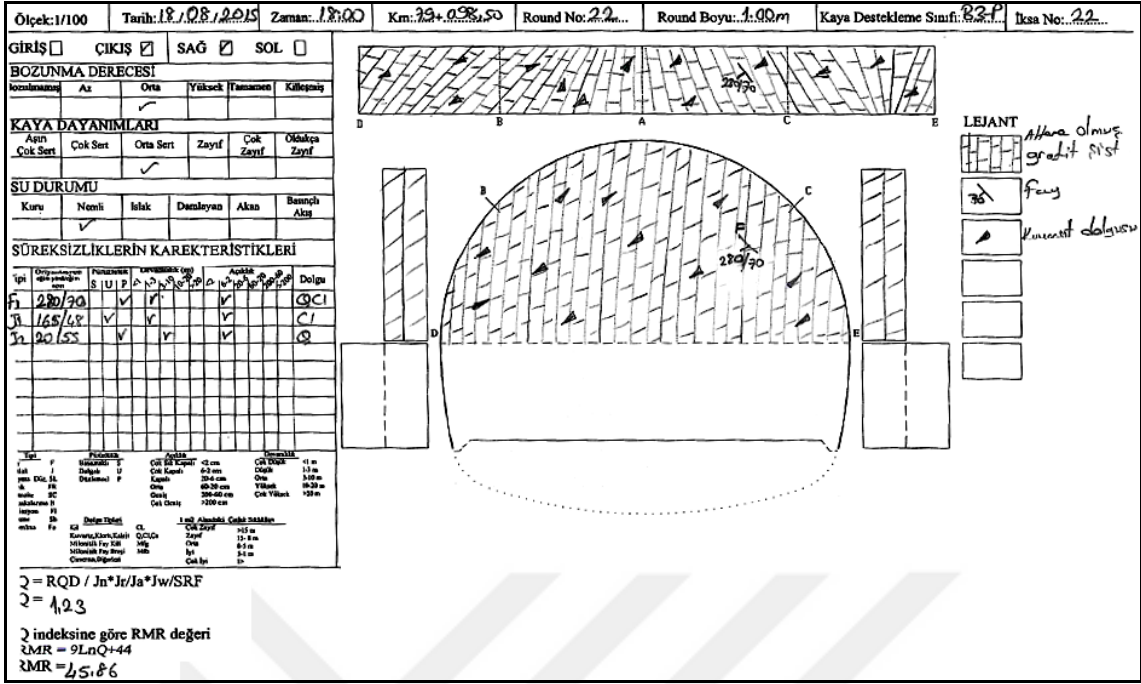


Şekil 4.12. Sağ tüp giriş portalı km: 76+072.25'e ait tünel aynası jeolojik haritası (en küçük RMR ve Q değeri).

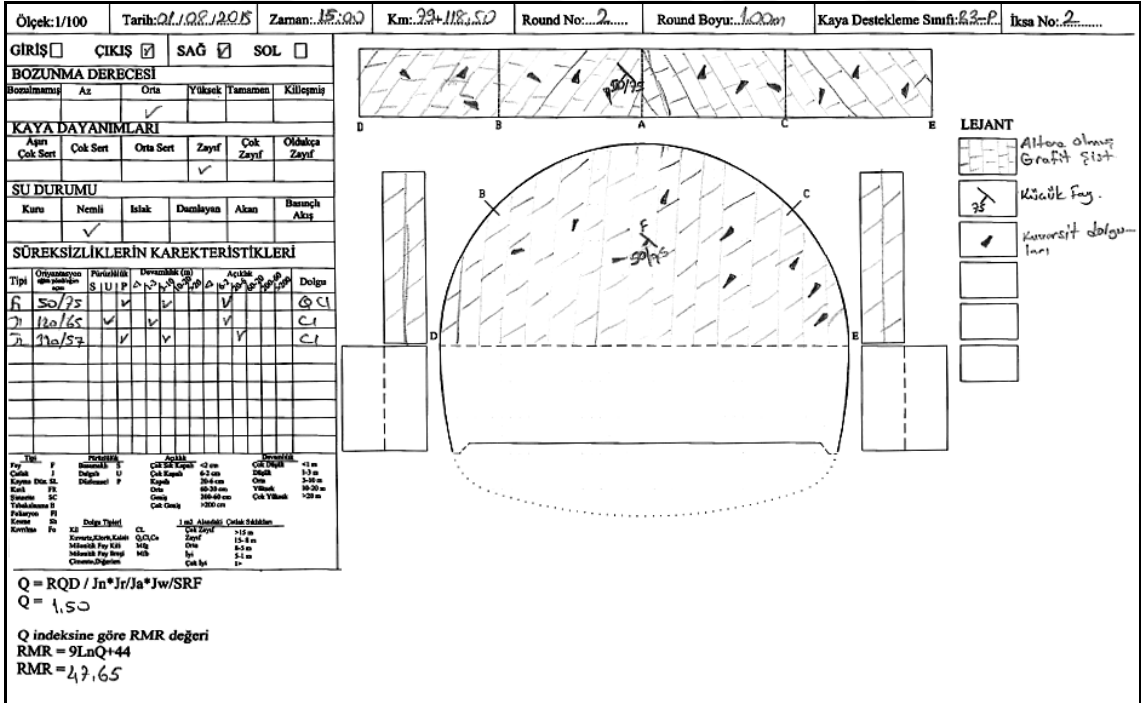


Şekil 4.13. Sağ tüp giriş portalı km: 76+038.25'e ait tünel aynası jeolojik haritası (en büyük RMR ve Q değeri).





Şekil 4.16. Sağ tüp çıkış portalı km: 79+098.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası (en küçük RMR ve Q değeri).



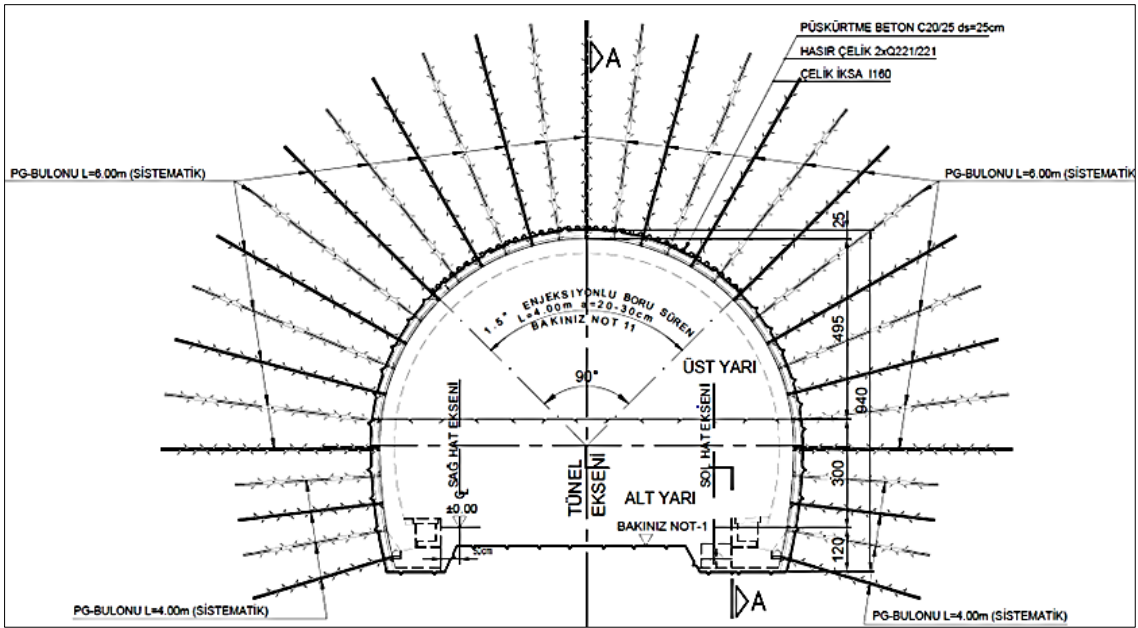
Şekil 4.17. Sağ tüp çıkış portalı km: 79+118.50'ye ait tünel aynası jeolojik haritası (en büyük RMR ve Q değeri).



Genel olarak tünel giriş ve çıkış ağzlarında tünel üzerindeki örtü kalınlıkları farklılık göstermesi (giriş kesimi için örtü kalınlığı ortalama; 11.6 m, çıkış kesimi için örtü kalınlığı ortalama 9.5 m), aynı şekilde bu kesimlerde oluşabilecek gerilmeler portal yüzeyi yönünde gerçekleşeceğinden, asimetrik gerilimden yani örtü kalınlığının az olmasından dolayı portal yüzeyine yanal baskı oluşacağından ve aynada kırık/çatlak gibi süreksizlikler ve fay zonlarının gözlemlenmesi, portal kesimlerinin zayıf, çok zayıf kaya kütesine sahip olması gibi nedenlerden dolayı yoğun destekleme B3 sınıfı önerilmiştir. Böylece tünelin yapımı sırasında ve sonrasında daha güvenli ve daha sağlam olacağı düşünülmüştür.

#### 4.6. Kaya Sınıfı Destek Sistemi ve Kazı Aşamaları

Yeraltında açılan boşluklara bağlı olarak, özellikle çok zayıf birimlerde aşırı deformasyonların gelişmesi söz konusudur. Dolayısıyla stabiliteyi etkileyen bu deformasyonların oldukça düşük olması arzu edilir. Başkale Tüneli'nde kazı sırasında ayna yüzeyinin ve dolayısıyla tünelin stabilitesini sağlamak için B3 sınıfına göre kazı sınıfı destek sistemi (Şekil 4.18) önerilmiştir. Buna göre;



Şekil 4.18. Başkale Tüneli giriş ve çıkış portal kesimleri için B3 kaya sınıfı destek sistemi ve kazı aşamaları tip kesiti (Başkale Tüneli giriş-çıkış portal kesimi B3 kaya sınıfı destek sistemi ve kazı aşamaları paftasından alınmıştır).

**Üst yarı kazısı için;**

- 1- Kazı işlemi yapılacak,
- 2- Yüzey 3 cm püskürtme beton ile kaplanacak,
- 3- (Her iki iksada bir olmak üzere) Gerektiğinde enjeksiyonlu süren boruları çakılacak,
- 4- Çelik hasır yerleştirilecek (Q221/221),
- 5- Çelik iksa yerleştirilecek (I 160),
- 6- Püskürtme beton 21 cm'ye tamamlanacak,
- 7- 2. sıra çelik hasır yerleştirilecek (Q221/221),
- 8- 4 cm daha püskürtme beton kaplanıp toplam 25 cm' ye tamamlanacak,
- 9-  $\Phi 28$  çapında PG bulonları 1.5 m aralıklarla yerleştirilecek.

**Alt yarı kazısı için;**

- 1- Kazı işlemi yapılacak,
- 2- Yüzey 3 cm püskürtme beton ile kaplanacak,
- 3- Çelik hasır yerleştirilecek (Q221/221),
- 4- Çelik iksa yerleştirilecek (I 160),
- 5- Püskürtme beton 21 cm'ye tamamlanacak,
- 6- 2. sıra çelik hasır yerleştirilecek (Q221/221),
- 7- Püskürtme beton 25 cm' ye tamamlanacak,
- 8-  $\Phi 28$  çapında PG bulonları 1.5 m aralıklarla yerleştirilecek.

İlerleme adımı uzunlukları üst yarı kazısında 1.00 m, alt yarı kazısında 2.00 m olacaktır. B3 kaya sınıfı için deformasyon toleransı KGM'nin uygulamalarında en fazla 7 cm olmalıdır.

Tünelde göçük ve tavan akmalarının önüne geçmek için kazıdan hemen sonra, desteksiz tabakaların gevşeyip kendini bırakmasını engellemek için kazı yüzeyine ve duvarlara püskürtme beton uygulaması gerçekleştirilerek tavanda olması muhtemel boşalmalar önlenmelidir (Varol ve Ayhan, 2018).

#### 4.7. Kaya Kütlesi Elasto-Plastik Parametreleri

Hoek tarafından geliştirilen ve istatistiki-ampirik bağıntıları kullanan RocLab programı yardımıyla kaya kütlesi elasto-plastik parametreleri elde edilir.

Saha çalışmaları, arazide karşılaşılan görsel jeolojik incelemeler, yapılan sondaj çalışmaları ile elde edilen karot numunelerine uygulanan deneyler ve laboratuvar ortamında yapılan testler gibi çalışmalar neticesinde bulunan parametreler (tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ), Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), Hoek-Brown sabiti (kayaç malzeme sabiti) ( $m_i$ ), örselenme faktörü (D), elastisite modülü ( $E_i$ ), birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), örtü kalınlığı) RocLab 1.0 programında girdi olarak kullanıldığında kaya kütlesine ait Hoek-Brown sabitleri ( $m_b$ ,  $s$ ,  $a$ ), çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ), sıkışma dayanımı ( $\sigma_c$ ), deformasyon modülü ( $E_{rm}$ ), global dayanım ( $\sigma_{cm}$ ), kayacın kohezyonu ( $c$ ), içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) parametreleri elde edilmiştir. Burada özellikle RocLab programında elde edilen deformasyon modülü ( $E_{rm}$ ) değerleri sadece Phase<sup>2</sup> 8.0 programı analizlerinde girdi verisi olarak ele alınmaktadır.

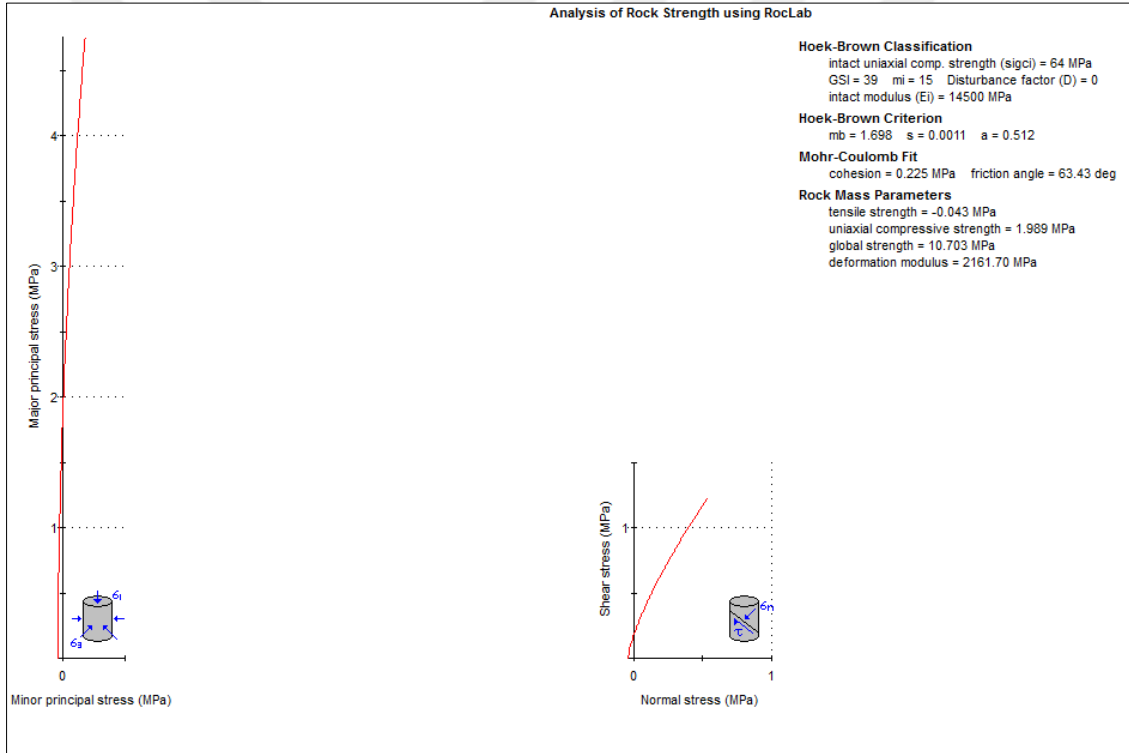
Başkale Tüneli'nin giriş ve çıkış kesimlerinde, kaya kalitesi zayıf kaya sınıfındadır ve portal açık kazılarının “ön çatlatmalı patlatma (presplitting)” ile yapılması öngörülmektedir. Bu nedenle, zayıf kayada, orta-iyi kalitede ön çatlatmalı patlatma yapılacağı düşünülerek, örselenme faktörü,  $D = 0.8$  olarak belirlenmesi uygun bulunmuş ve RocLab programında girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Başkale Tüneli için giriş ve çıkış portallarında kullanılan girdi verileri ve analiz sonrasında elde edilen çıktı verileri aşağıdaki çizelgelerde (Çizelge 4.7-4.10), asal gerilme grafikleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.19-4.22) verilmiştir.

Çizelge 4.7. Giriş portal kesimi için RocLab programında kullanılan parametreler ve değerler

<b>Giriş Portal Kesimi</b>	
<b>Parametreler</b>	<b>Örselenme Faktörü D = 0 ve D = 0.8 için Değerler</b>
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ), MPa	64
Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	39
Hoek-Brown sabiti (kayaç malzeme sabiti) ( $m_i$ )	15
Elastisite modülü ( $E_i$ ), MPa	14.500
Birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), MN/m <sup>3</sup>	0.026
Örtü kalınlığı, m	11.6

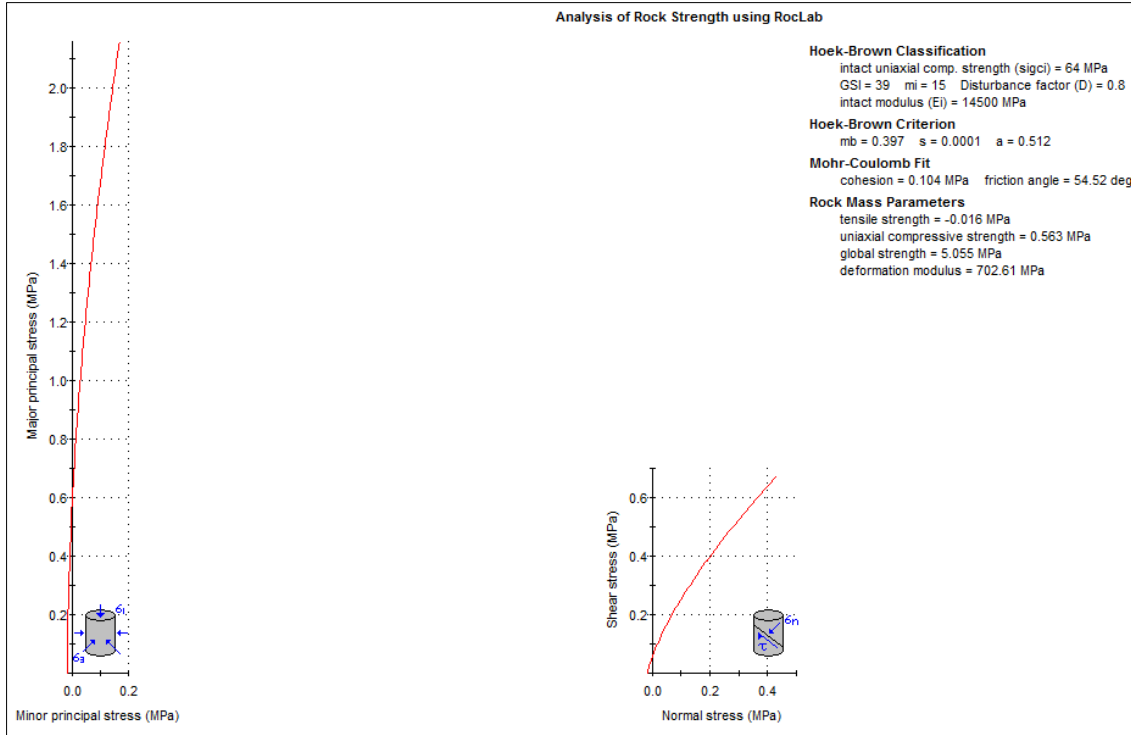
Çizelge 4.8. Giriş portal kesimi için RocLab programı ile elde edilen parametreler ve değerler

<b>Giriş Portal Kesimi</b>		
Parametreler	Örselenme Faktörü	Örselenme Faktörü
	D = 0 için	D = 0.8 için
	Değerler	
Hoek-Brown sabiti (kaya kütleline ait) (mb)	1.698	0.397
Hoek-Brown sabiti (kaya kütleline ait) (s)	0.0011	0.0001
Hoek-Brown sabiti (kaya kütleline ait) (a)	0.512	0.512
Kohezyon (c), MPa	0.225	0.104
İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), (°)	63.43	54.52
Kaya kütleline ait çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ), MPa	-0.043	-0.016
Kaya kütleline ait sıkışma dayanımı ( $\sigma_c$ ), MPa	1.989	0.563
Global dayanım ( $\sigma_{cm}$ ), MPa	10.703	5.055
Kaya kütleline ait deformasyon modülü ( $E_{rm}$ ), MPa	2161.70	702.61



Şekil 4.19. Giriş portal kesimine ait ve örselenme faktörü D=0 olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri.





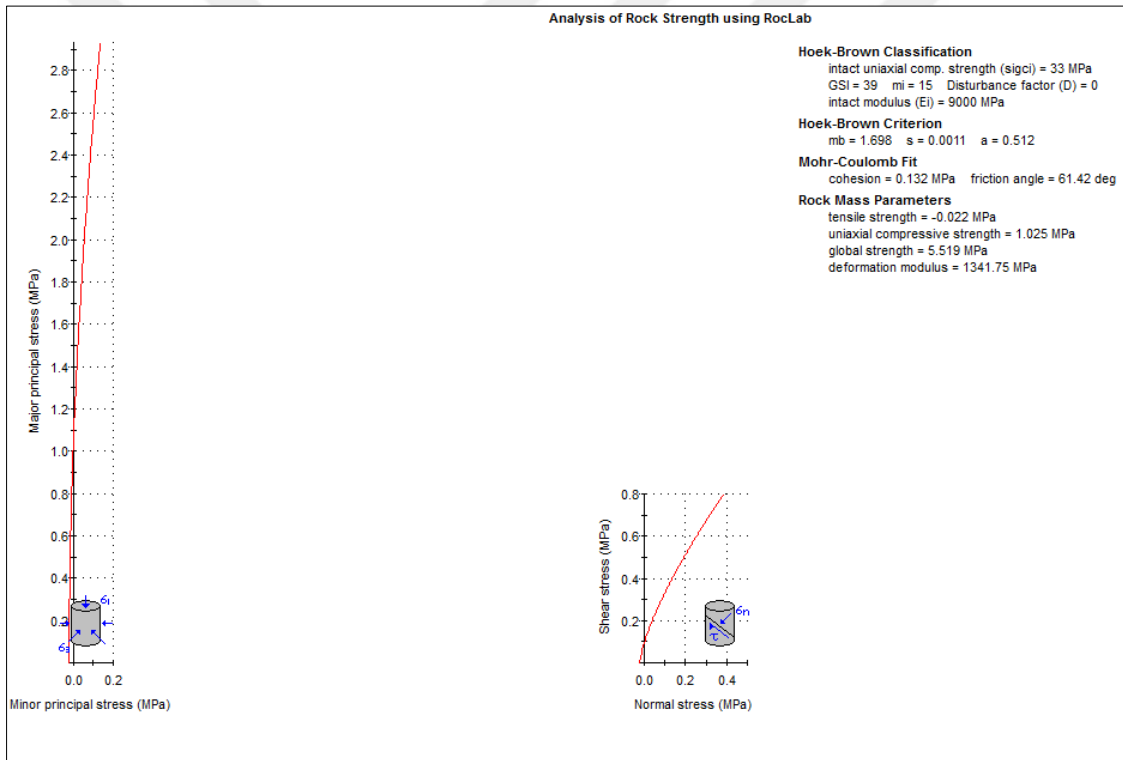
Şekil 4.20. Giriş portal kesimine ait ve örselenme faktörü  $D=0.8$  olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri.

Çizelge 4.9. Çıkış portal kesimi için RocLab programında kullanılan parametreler ve değerler

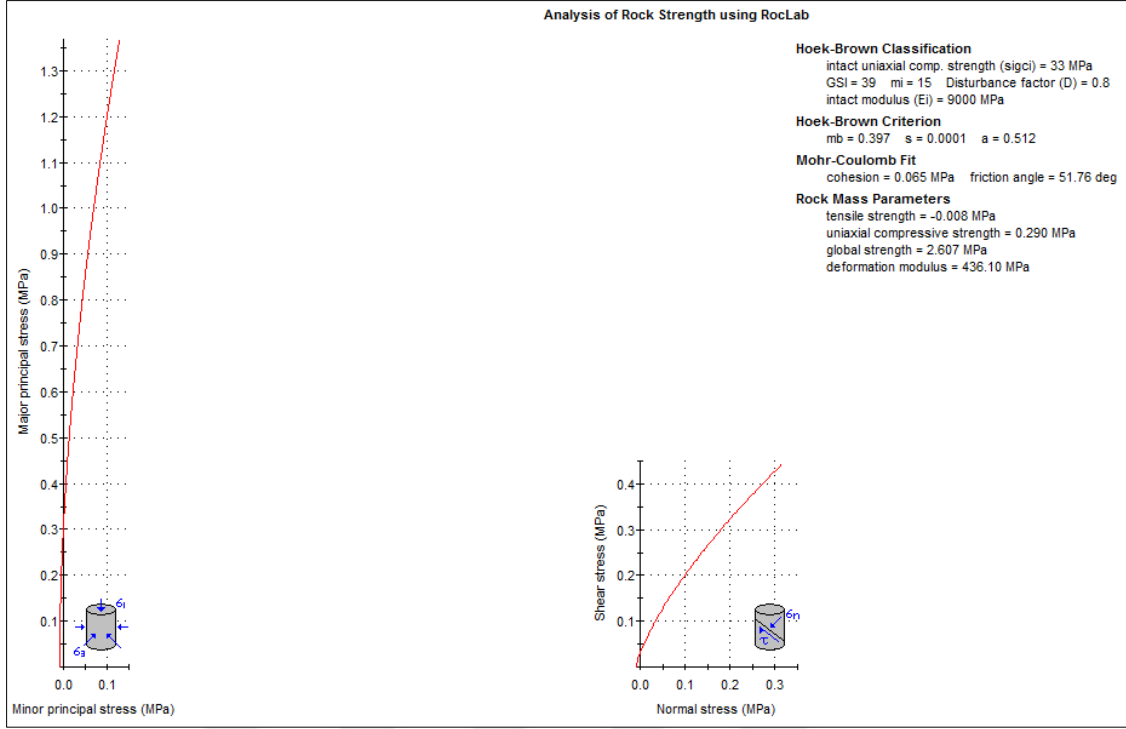
<b>Çıkış Portal Kesimi</b>	
Parametreler	Örselenme Faktörü $D = 0$ ve $D = 0.8$ için Değerler
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ), MPa	33
Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	39
Hoek-Brown sabiti (kayaç malzeme sabiti) ( $m_i$ )	15
Elastisite modülü ( $E_i$ ), MPa	9.000
Birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), MN/m <sup>3</sup>	0.025
Örtü kalınlığı, m	9.5

Çizelge 4.10. Çıkış portal kesimi için RocLab programı ile elde edilen parametreler ve değerler

<b>Çıkış Portal Kesimi</b>		
Parametreler	Örselenme Faktörü	Örselenme Faktörü
	D = 0 için	D = 0.8 için
Değerler		
Hoek-Brown sabiti (kaya kütleline ait) (mb)	1.698	0.397
Hoek-Brown sabiti (kaya kütleline ait) (s)	0.0011	0.0001
Hoek-Brown sabiti (kaya kütleline ait) (a)	0.512	0.512
Kohezyon (c), MPa	0.132	0.065
İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), (°)	61.42	51.76
Kaya kütleline ait çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ), MPa	-0.022	-0.008
Kaya kütleline ait sıkışma dayanımı ( $\sigma_c$ ), MPa	1.025	0.290
Global dayanım ( $\sigma_{cm}$ ), MPa	5.519	2.607
Kaya kütleline ait deformasyon modülü ( $E_{rm}$ ), MPa	1341.75	436.10



Şekil 4.21. Çıkış portal kesimine ait ve örselenme faktörü D=0 olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri.



Şekil 4.22. Çıkış portal kesimine ait ve örselenme faktörü  $D=0.8$  olan, sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri.

#### 4.8. Sayısal Modelleme Aşamaları

Nümerik analiz tekniği, son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki çok ciddi gelişmelere paralel olarak, karmaşık geometrilerin ve heterojen ortamların modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Başkale Tüneli için Sonlu Elemanlar yöntemini temel alan Phase programından yararlanılmıştır. Phase<sup>2</sup> 8.0 (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) Programı, tüm dünyada en karmaşık yeraltı ve yerüstü geomekanik problemlerin çözümünde fiilen uygulanması ve bunun yanında da kolay kullanımı nedenlerinden dolayı tercih edilmiştir.

##### 4.8.1. Nümerik analizler

Bu bölümde, “Phase<sup>2</sup> 8.0” sonlu elemanlar programı kullanılarak, Başkale Tüneli’nin giriş ve çıkış portallarının, kaya sınıflama sistemlerinden hareketle NATM’a göre ampirik olarak belirlenen kazı ve destek sistemlerinin uygunluğunun ve geçerliliğinin nümerik analizler ile kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Analiz aşamaları

kazı ve destekleme sonrası oluşacak en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ve toplam yer değiştirme analizleri şekiller ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

Analizlerde kullanılan giriş ve çıkış portal kesimlerine ait parametre değerleri Van-Başkale Devlet Yolu Başkale Tüneli Jeolojik-Jeoteknik çalışmalardan elde edilen verileri kapsamaktadır. Söz konusu bu değerler Çizelge 4.11-4.13'te verilmektedir. "Phase<sup>2</sup> 8.0" paket programında girdi verisi olarak kullanılan young modülü değerleri, RocLab programından elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. Sayısal analizlerde kullanılan kaya kütle parametreleri

Parametreler	Giriş Portal Kesimi		Çıkış Portal Kesimi	
	Değerler			
Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	39			
Hoek-Brown sabiti (kayaç malzeme sabiti) (mi)	15			
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.25			
Örselenme faktörü (D)	D=0 (örselenmemiş) D=0.8 (örselenmiş)			
Young modülü, (MPa)	D=0 için 2161.7	D=0 için 1341.75	D=0 için 1341.75	D=0 için 1341.75
	D=0.8 için 702.61	D=0.8 için 436.10	D=0.8 için 436.10	D=0.8 için 436.10
Birim hacim ağırlık ( $\gamma$ ), (MN/m <sup>3</sup> )	0.026		0.025	
Tek eksenli basınç dayanımı (UCS), (MPa)	64		33	
Elastisite modülü (E <sub>i</sub> ), MPa	14.500		9.000	

Çizelge 4.12. Kazı ve destek sistemleri

Destek Sistemleri	Giriş ve Çıkış Portal Kesimleri ( B3 )
Kaya bulonu tipi	PG
Kaya bulonu çapı	Φ28
Kaya bulonu aralığı	1.00 x 1.50
Kaya bulonu uzunluğu	4-6 m
Kaya bulon sayısı	17 adet
Püskürtme beton sınıfı, kalınlığı	C20/25, 25 cm
Çelik hasır tipi	Q221/221 (çift kat)
Çelik iksa tipi, aralığı	I160, 1.00 m
Süren aralığı, boyu	0.20-0.30 m, L=4 m

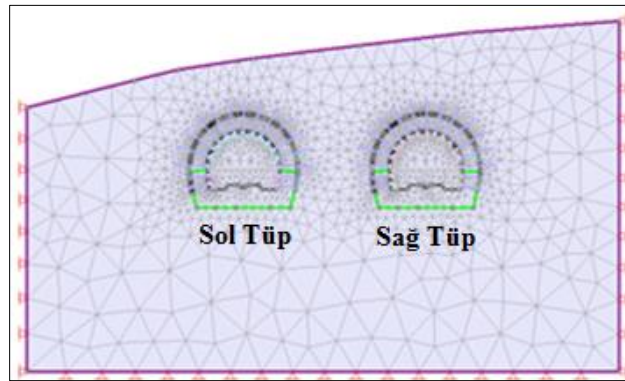
Çizelge 4.13. Destekleme elemanları malzeme parametreleri

Parametreler	Püskürtme Betonu ( C20/25 )	Bulon ( Φ28 )	Çelik İksa ( I160 )	Çelik Hasır ( Q221/221 )	Kaplama Betonu ( C25/30 )
Young modülü (E), MPa	15.000	210.000	210.000	210.000	30.000
Basınç dayanımı, MPa	20	420	420	420	25
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.2	-	-	-	0.25
Kesit alanı, cm <sup>2</sup>	-	6.157	22.80	1.31	-
Çekme dayanımı	1.6 (MPa)	0.16 (MN)	-	-	1.8 (MPa)

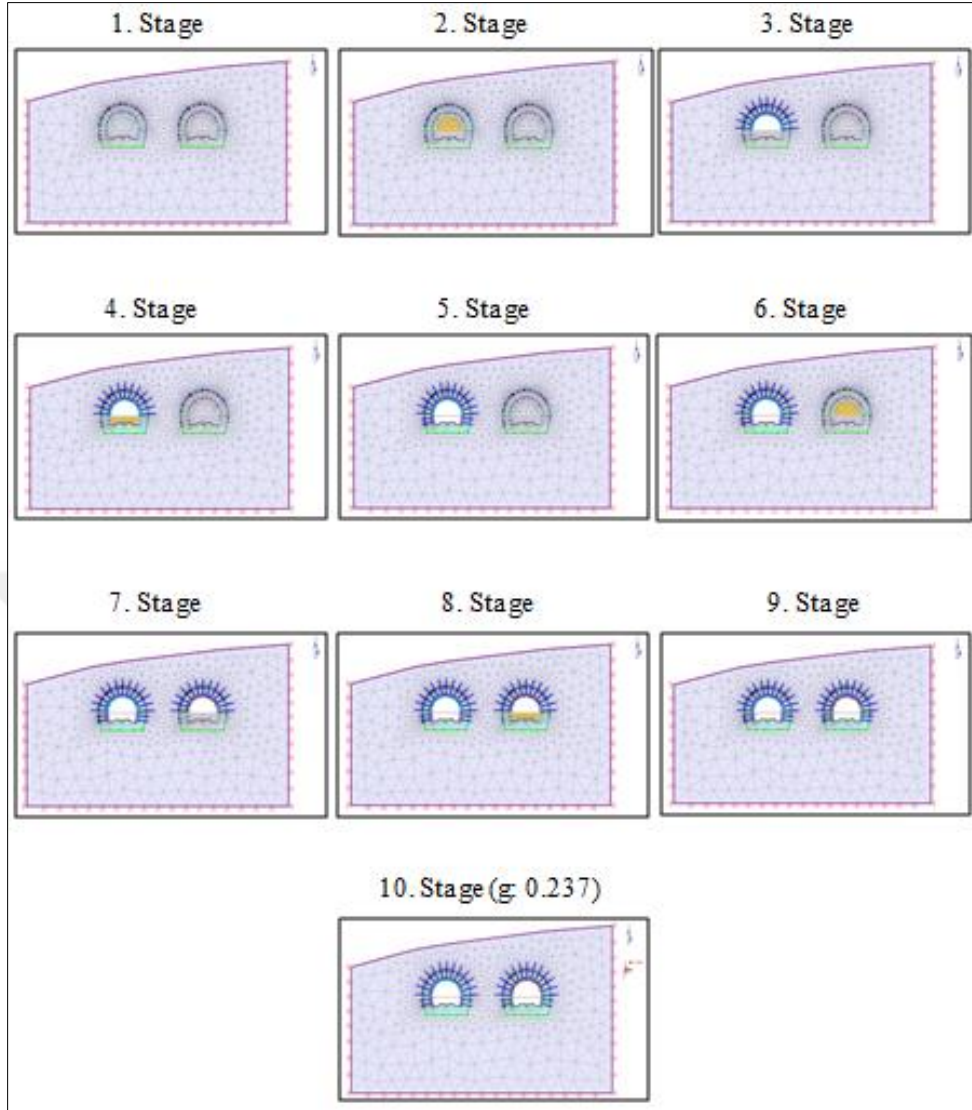
#### 4.8.1.1. Model aşamaları

Giriş ve çıkış portal kesimleri için B3 Kazı ve Destek Sistemi için oluşturulan model, 10 aşamadan (stageden) oluşmaktadır (Şekil 4.23, 4.24).

1. Stage: Sistemin herhangi bir kazı faaliyetine başlanılmadan önceki doğal hali gösterilmiştir,
2. Stage: Sol tüp üst yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
3. Stage: Sol tüp üst yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,
4. Stage: Sol tüp alt yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
5. Stage: Sol tüp alt yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,
6. Stage: Sağ tüp üst yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
7. Stage: Sağ tüp üst yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,
8. Stage: Sağ tüp alt yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
9. Stage: Sağ tüp alt yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,
10. Stage: Statik yükler altında analizleri tamamlanmış olan modelle ilgili sismik yükü (0.237 g) uygulanmıştır.



Şekil 4.23. Giriş portal kesimine ait kesit.

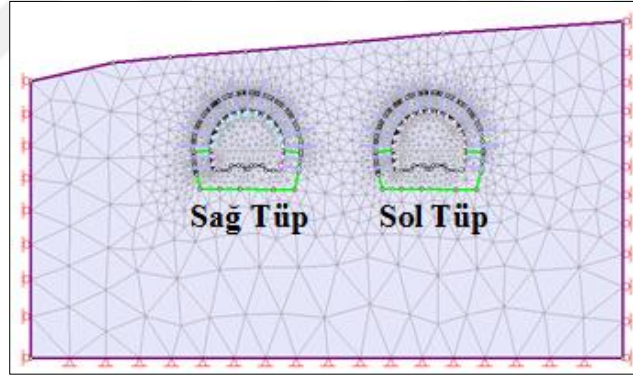


Şekil 4.24. Giriş portal kesimine ait analiz aşamaları.

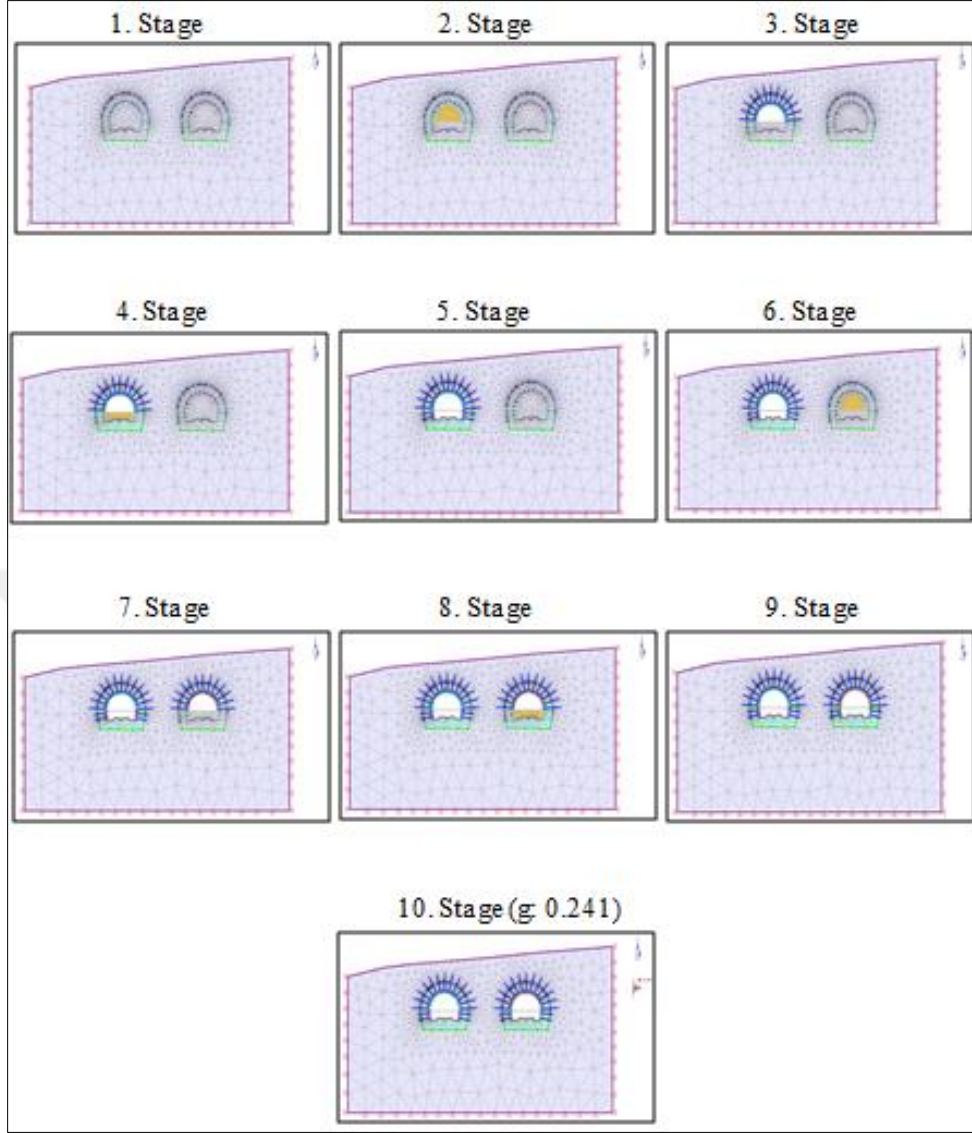
Çıkış portal kesimi için B3 Kazı ve Destek Sistemi için oluşturulan modelde giriş portalında olduğu gibi benzer olarak 10 aşamadan (stageden) oluşmaktadır (Şekil 4.25, 4.26).

1. Stage: Sistemin herhangi bir kazı faaliyetine başlanılmadan önceki doğal hali gösterilmiştir,
2. Stage: Sağ tüp üst yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
3. Stage: Sağ tüp üst yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,

4. Stage: Sağ tüp alt yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
5. Stage: Sağ tüp alt yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,
6. Stage: Sol tüp üst yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
7. Stage: Sol tüp üst yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,
8. Stage: Sol tüp alt yarıdaki kazı işleminden önce rahatlama (yumuşatma) yapılmıştır,
9. Stage: Sol tüp alt yarının kazısı oluşturulmuş ardından desteklemesi tamamlanmıştır,
10. Stage: Statik yükler altında analizleri tamamlanmış olan modelle ilgili sismik yükü (0.241 g) uygulanmıştır.



Şekil 4.25. Çıkış portal kesimine ait kesit.



Şekil 4.26. Çıkış portal kesimine ait analiz aşamaları.

#### 4.8.1.2. Gerilme analizleri

##### 4.8.1.2.1. Sol ve sağ tüp giriş ve çıkış portal kesimlerine ait en büyük asal gerilme Phase<sup>2</sup> analizleri

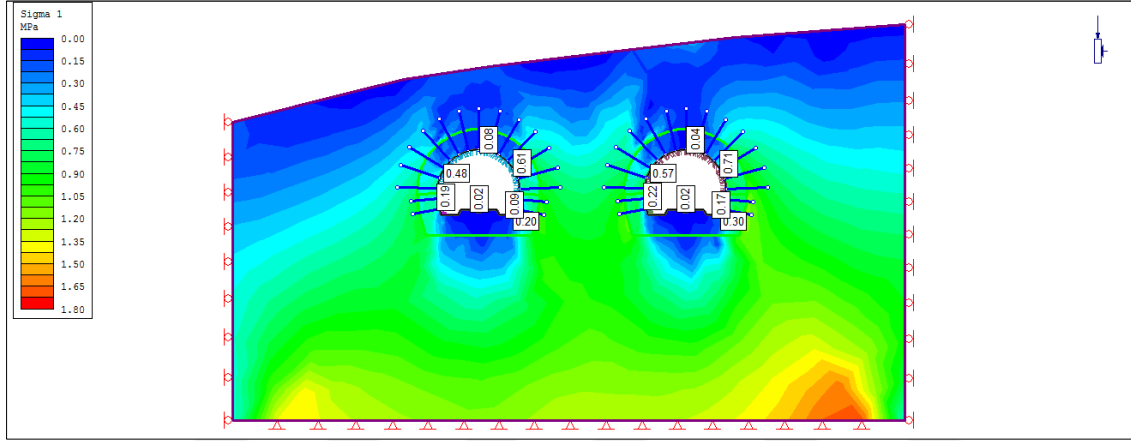
Başkale Tüneli yukarıda belirtildiği gibi 10 ayrı aşamada “Phase<sup>2</sup> 8.0” paket programı içerisinde değerlendirilmiştir. Bu kapsamda sadece kazı ve destekleme sonrasında tünelin giriş ve çıkış portalları için yapılan analizlere değinilmektedir.

Tünelin giriş ve çıkış portalları her iki tüp için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

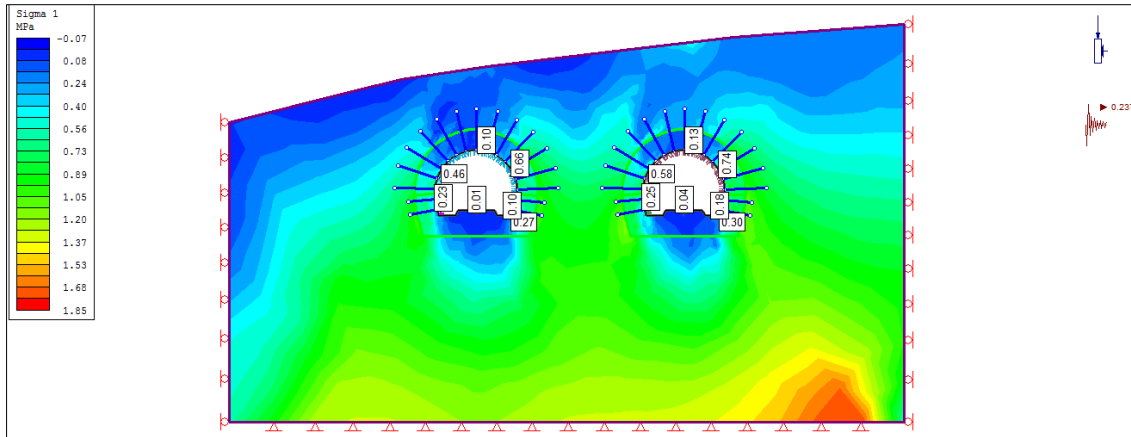


Giriş portal kesiminde Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen analizler sonucunda; depremin dikkate alınmadığı durumda, kazı ve destekleme sonrasında en büyük asal gerilmenin her iki tüp için (sol ve sağ) sağ duvarlarda çok daha yüksek değerlerde gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 4.14).

Deprem parametresinin dikkate alınması durumunda ise giriş portalında her iki tüp için (sol ve sağ) sismik yükün artmasıyla en büyük asal gerilme değerlerinin genel olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.27, 4.28).



Şekil 4.27. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (sigma 1), depremsiz durum.



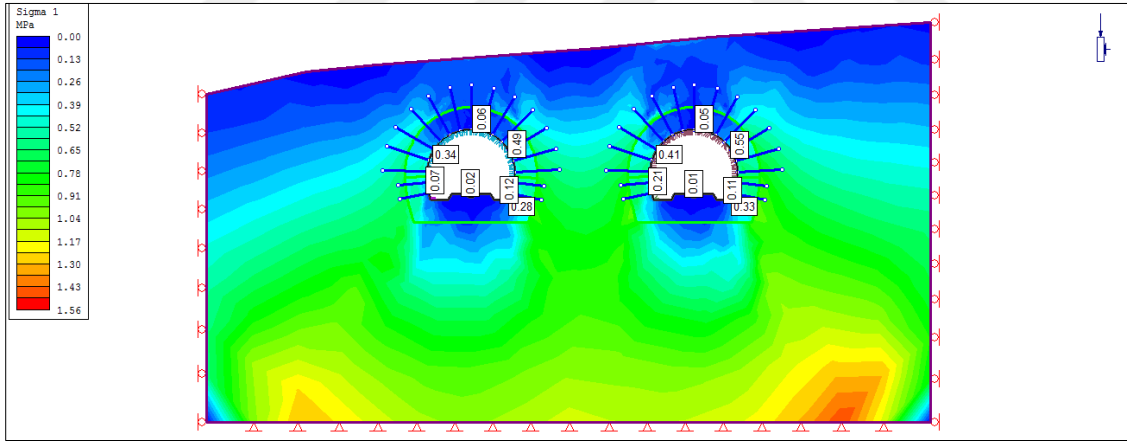
Şekil 4.28. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (sigma 1), depremlili (0.237 g) durum.

Çizelge 4.14. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimine ait en büyük asal gerilme değerleri

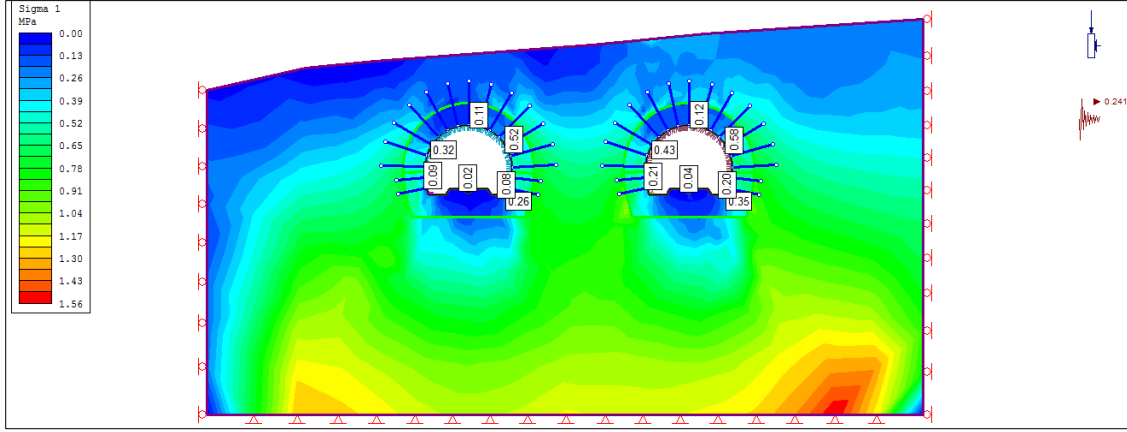
Giriş Kesimi	Tanım	Sismik Yük	En Büyük Asal Gerilme Sigma 1 ( $\sigma_1$ ) (MPa)			
			$\sigma_1$ Sağ Duvar	$\sigma_1$ Tavan	$\sigma_1$ Sol Duvar	$\sigma_1$ Taban
Sol Tüp	Kazı ve Destekleme Sonrası	0.000	0.61	0.08	0.48	0.09
		0.237 g	0.66	0.10	0.46	0.10
Sağ Tüp	Durum	0.000	0.71	0.04	0.57	0.17
		0.237 g	0.74	0.13	0.58	0.18

Çıkış portal kesiminde Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen analizler sonucunda; depremin dikkate alınmadığı durumda, kazı ve destekleme sonrasında en büyük asal gerilmenin her iki tüp için (sol ve sağ) sol duvarlarda çok daha yüksek değerlerde gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 4.15).

Deprem parametresinin dikkate alınması durumunda ise çıkış portalında her iki tüp için (sol ve sağ) sismik yükün artmasıyla en büyük asal gerilme değerlerinin genel olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.29, 4.30).



Şekil 4.29. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (sigma 1), depremsiz durum.



Şekil 4.30. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (sigma 1), depremlili (0.241 g) durum.

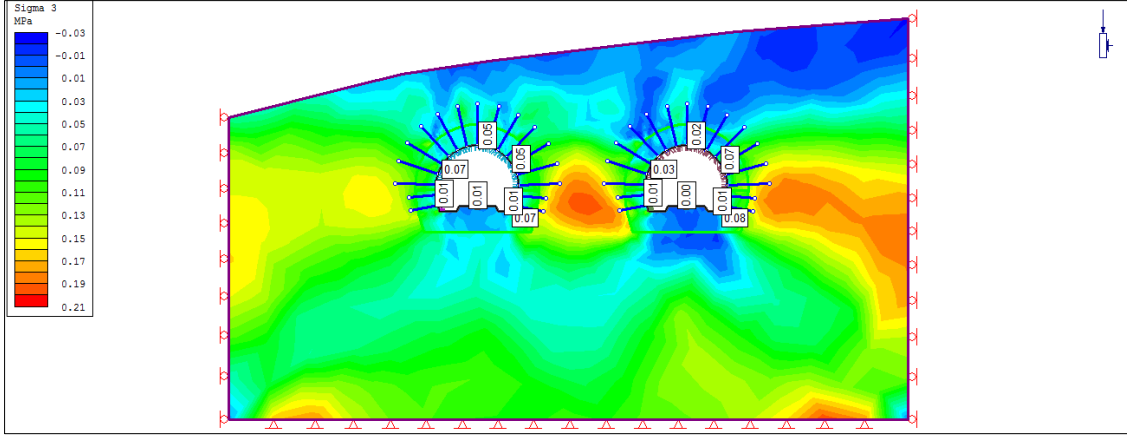
Çizelge 4.15. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimine ait en büyük asal gerilme değerleri

Çıkış Kesimi	Tanım	Sismik Yük	En Büyük Asal Gerilme Sigma 1 ( $\sigma_1$ ) (MPa)			
			$\sigma_1$ Sağ Duvar	$\sigma_1$ Tavan	$\sigma_1$ Sol Duvar	$\sigma_1$ Taban
Sol Tüp	Kazı ve Destekleme Sonrası Durum	0.000	0.41	0.05	0.55	0.11
		0.241 g	0.43	0.12	0.58	0.20
Sağ Tüp	Durum	0.000	0.34	0.06	0.49	0.12
		0.241 g	0.32	0.11	0.52	0.08

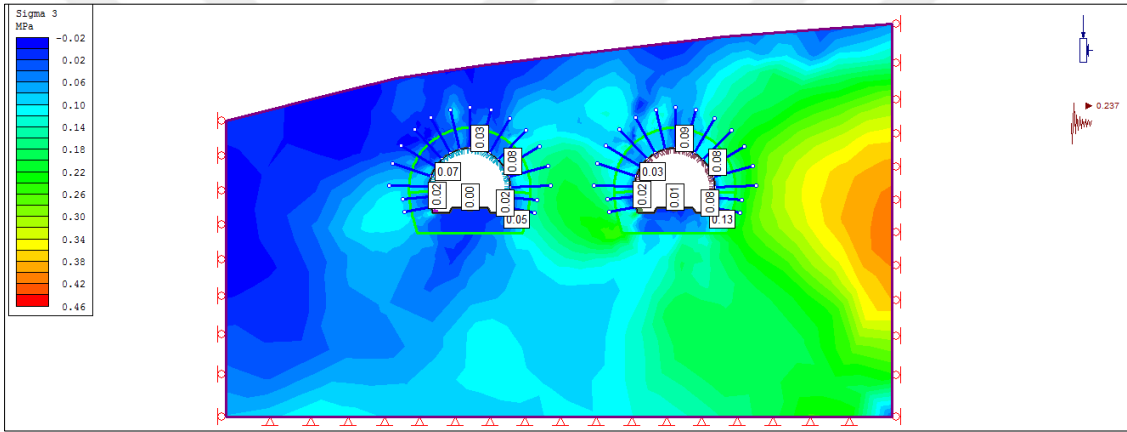
#### 4.8.1.2.2. Sol ve sağ tüp giriş ve çıkış portal kesimlerine ait en küçük asal gerilme Phase<sup>2</sup> analizleri

Başkale Tüneli giriş portalı için elde edilen en küçük asal gerilmeler yine Phase<sup>2</sup> 8.0 programı kullanılarak elde edilmiştir. Söz konusu programdan elde edilen verilere göre sol tüp giriş portal kesimi için, depremin dikkate alınmadığı durumda, kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilmenin sol duvarda daha yüksek değerler elde edildiği görülmüştür. Sağ tüp giriş portal kesimi için ise yüksek değerler sağ duvarda baskındır. (Çizelge 4.16).

Giriş portal kesimi için her iki tüpte (sol ve sağ) sismik yükün artmasıyla en küçük asal gerilme değerlerinin genel olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.31, 4.32).



Şekil 4.31. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremsiz durum.



Şekil 4.32. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremlı (0.237 g) durum.

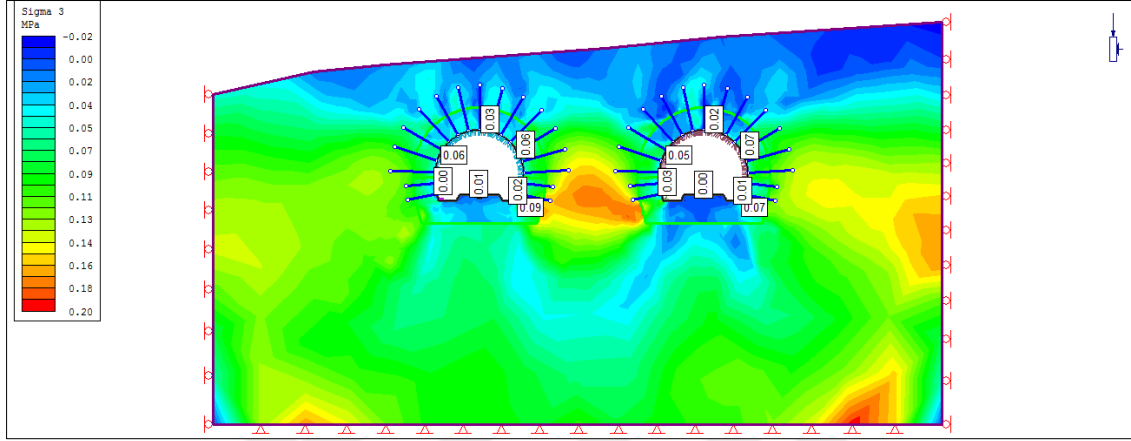
Çizelge 4.16. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimine ait en küçük asal gerilme değerleri

Giriş Kesimi	Tanım	Sismik Yük	En Küçük Asal Gerilme Sigma 3 ( $\sigma_3$ ) (MPa)			
			$\sigma_3$ Sağ Duvar	$\sigma_3$ Tavan	$\sigma_3$ Sol Duvar	$\sigma_3$ Taban
Sol Tüp	Kazı ve Destekleme Sonrası Durum	0.000	0.05	0.05	0.07	0.01
		0.237 g	0.08	0.03	0.07	0.02
Sağ Tüp	Durum	0.000	0.07	0.02	0.03	0.01
		0.237 g	0.08	0.09	0.03	0.08

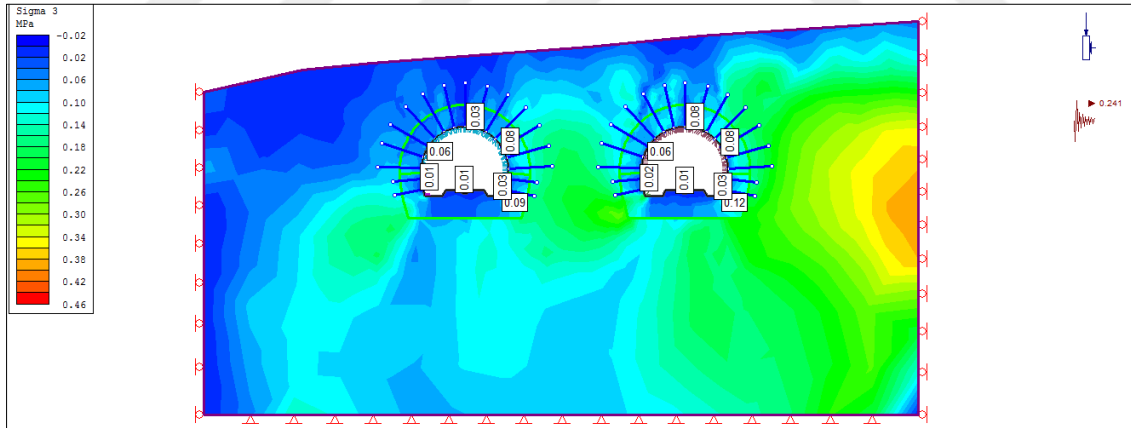
Çıkış portal kesimi için de benzer analizler yapılarak en küçük asal gerilme değerleri elde edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlara göre; sol tüp çıkış portal kesimi için, depremin dikkate alınmadığı durumda, kazı ve destekleme sonrasında en

küçük asal gerilmenin sol duvarda daha yüksek değerlerde olduğu, sağ tüp çıkış portal kesimi için ise bu yüksek değerlerin sol ve sağ duvarlarda gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 4.17).

Her iki tüpte sismik yükün artmasıyla en küçük asal gerilme değerlerinin genel olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.33, 4.34).



Şekil 4.33. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremsiz durum.



Şekil 4.34. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (sigma 3), depremlı (0.241 g) durum.

Çizelge 4.17. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimine ait en küçük asal gerilme değerleri

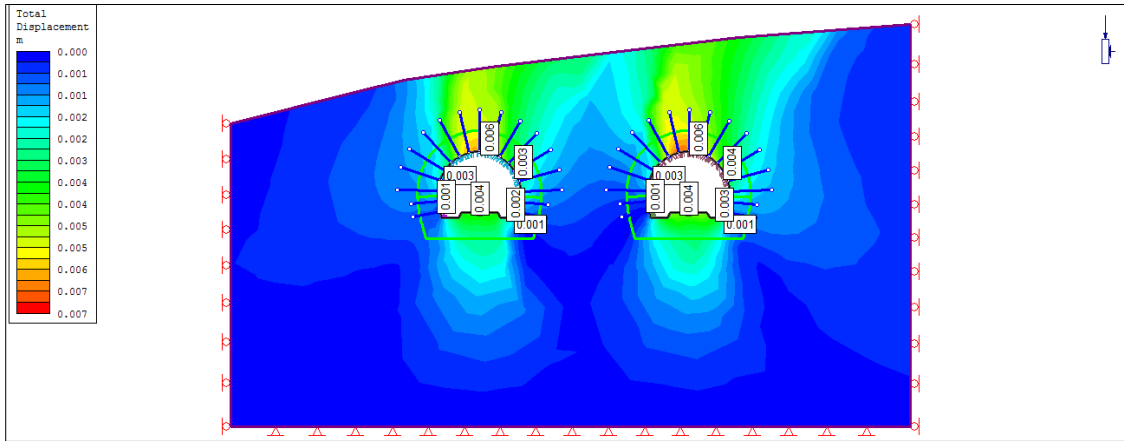
Çıkış Kesimi	Tanım	Sismik Yük	En Küçük Asal Gerilme Sigma 3 ( $\sigma_3$ ) (MPa)			
			Sağ Duvar	Tavan	Sol Duvar	Taban
Sol Tüp	Kazı ve Destekleme Sonrası Durum	0.000	0.05	0.02	0.07	0.01
		0.241 g	0.06	0.08	0.08	0.03
Sağ Tüp	Kazı ve Destekleme Sonrası Durum	0.000	0.06	0.03	0.06	0.02
		0.241 g	0.06	0.03	0.08	0.03

#### 4.8.1.2.3. Sol ve sağ tüp giriş ve çıkış portal kesimlerine ait toplam yer değiştirme Phase<sup>2</sup> analizleri

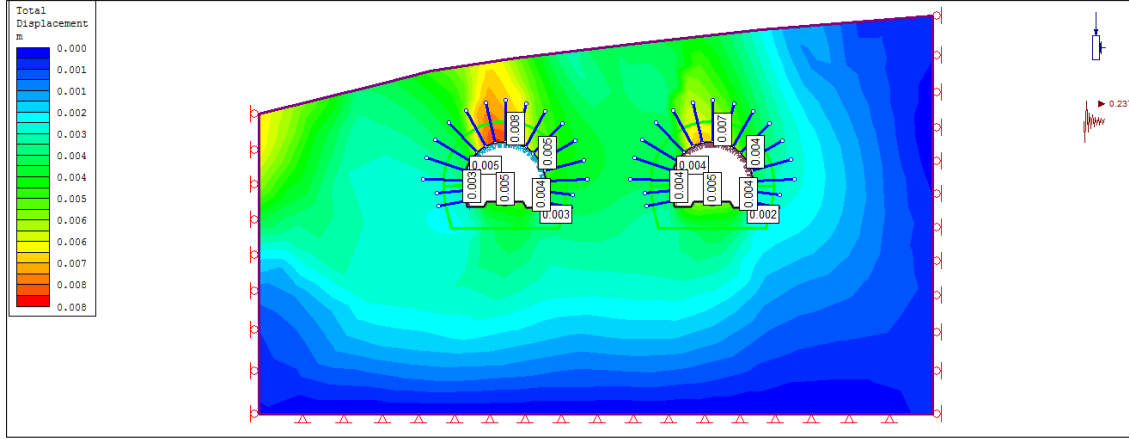
Tünelin kazı ve destekleme sonrasında stabilitesi ve performansı için önem arz eden yer değiştirme değerlerini tahmin etmek için “Phase<sup>2</sup> 8.0” paket programından yararlanılmıştır. Analizler sonucunda; sol ve sağ tüp giriş portal kesimleri için, depremin dikkate alınmadığı durumda, kazı ve destekleme sonrası en yüksek toplam yer değiştirmenin tavanda gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 4.18).

Her iki tüpte sismik yükün artmasıyla toplam yer değiştirme değerlerinin genel olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.35, 4.36).

Giriş portal kesimindeki en yüksek toplam yer değiştirme değeri; sol tüpte, 0.237 g sismik yük altında ve tavanda 0.008 m (0.8 cm) olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.35. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer depremsiz durum.



Şekil 4.36. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme, depremlı (0.237 g) durum.

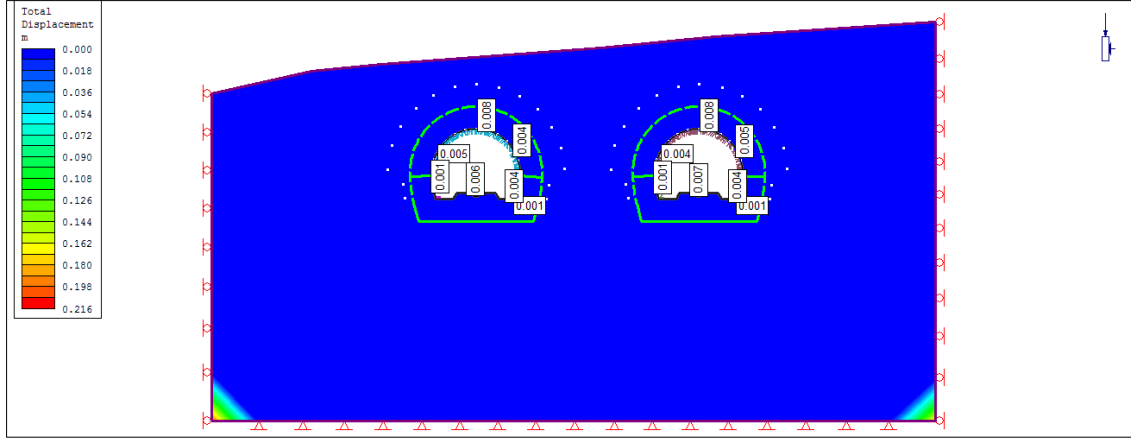
Çizelge 4.18. Sol ve sağ tüp giriş portal kesimine ait toplam yer değiştirme değerleri

Giriş Kesimi	Tanım	Sismik Yük	Toplam Yer Değiştirme $U_t$ (m)			
			$U_t$ Sağ Duvar	$U_t$ Tavan	$U_t$ Sol Duvar	$U_t$ Taban
Sol Tüp	Kazı ve Destekleme Sonrası	0.000	0.003	0.006	0.003	0.004
		0.237 g	0.005	0.008	0.005	0.005
Sağ Tüp	Durum	0.000	0.004	0.006	0.003	0.004
		0.237 g	0.004	0.007	0.004	0.005

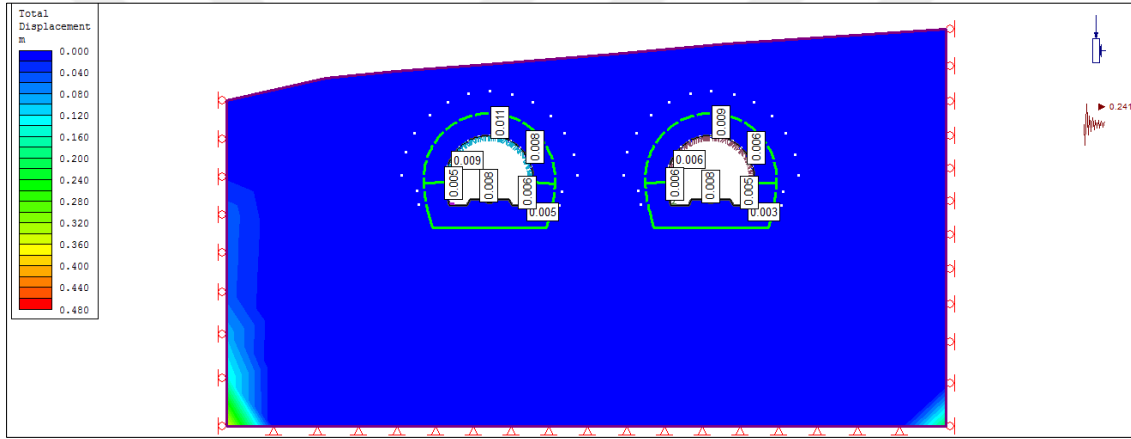
Benzer olarak sol ve sağ tüp çıkış portal kesimleri için, depremin dikkate alınmadığı durumda, kazı ve destekleme sonrası en yüksek toplam yer değiştirmenin tavana gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 4.19).

Her iki tüpte sismik yükün artmasıyla toplam yer değiştirme değerlerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.37, 4.38).

Çıkış portal kesimindeki en yüksek toplam yer değiştirme değeri; sağ tüpte 0.241 g sismik yük altında ve tavana 0.011 m (1.1 cm) olduğu görülmektedir.



Şekil 4.37. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme, depremsiz durum.



Şekil 4.38. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimi; kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme, depremlı (0.241 g) durum.

Çizelge 4.19. Sol ve sağ tüp çıkış portal kesimine ait toplam yer değiştirme değerleri

Çıkış Kesimi	Tanım	Sismik Yük	Toplam Yer Değiştirme $U_t$ (m)			
			$U_t$ Sağ Duvar	$U_t$ Tavan	$U_t$ Sol Duvar	$U_t$ Taban
Sol Tüp	Kazı ve Destekleme Sonrası Durum	0.000	0.004	0.008	0.005	0.007
		0.241 g	0.006	0.009	0.006	0.008
Sağ Tüp	Durum	0.000	0.005	0.008	0.004	0.006
		0.241 g	0.009	0.011	0.008	0.008



## 4.9. Tünelde Deformasyon Ölçümleri

### 4.9.1. Target (hedef levhası) ile deformasyon ölçümü

Target, lazer ışığını kesen ve merkezine göre lazerin konumunun ölçüldüğü bir araçtır. Işın targetin önündeki bir ekrana çarpar ve şekillendirilmiş olan nokta, iki lineer fotodiyod dizisi üzerinde görüntülenir. Bu X, Y konum koordinatları için temel oluşturur. Ekran, lazer ışığının bir kısmının target ve lazer ışını arasındaki açının ölçülmesi için, üçüncü bir fotodiyod ile birleşik olarak kullanılan bir merceğe engellenmeden geçmesini sağlar. Tünelde kullanıma uygun olan böyle bir ölçme işleminin yapılabilmesi için karmaşık sinyal işlemlerine gereksinim vardır. Target ünitesinin kendi sinyal işleme bölümü vardır. Bu değişen sinyal kazancının karşılanması için otomatik sıralama ve dizideki fotodiyotlar arasındaki aralık diziliminden çok daha iyi bir çözünürlükte nokta konumu belirleyebilmek için, çok güçlü ortalama alma teknikleri gibi özellikleri sağlar (Yavuz ve ark., 2019).



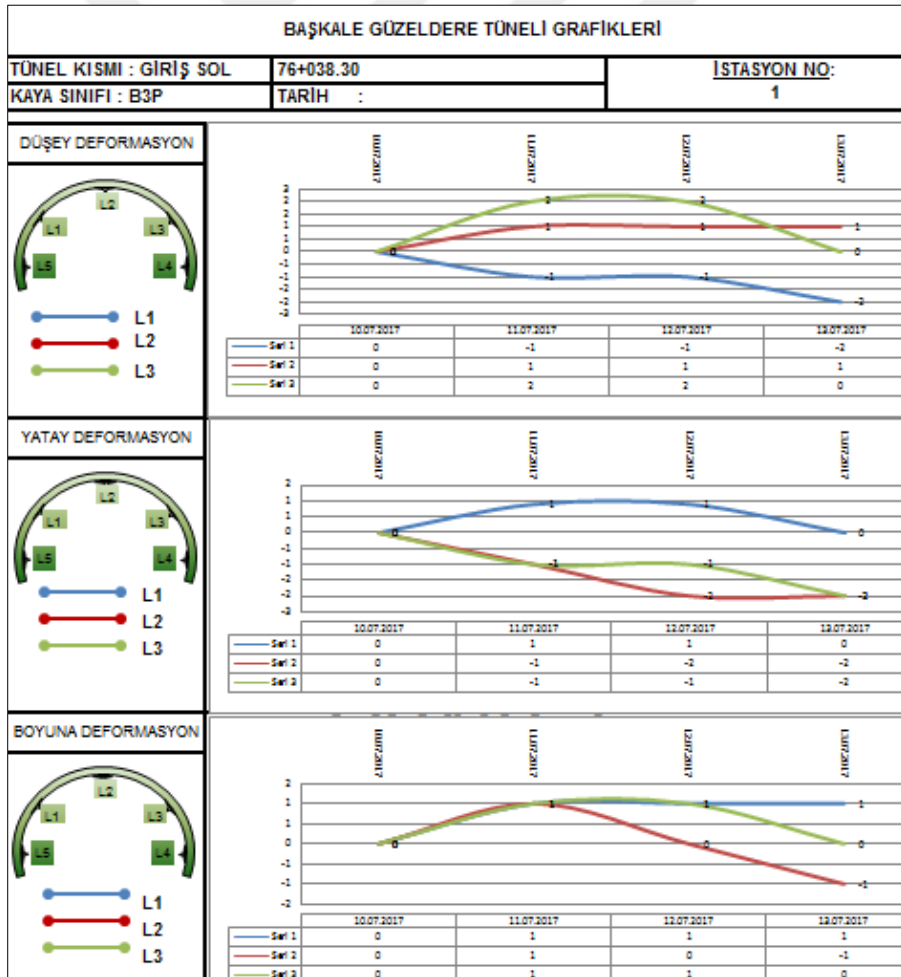
Şekil 4.39. Başkale Tüneli'nde deformasyon ölçümünde kullanılan bir target.

Kazı ve destekleme çalışmaları bittikten sonra tünel güzergahı boyunca deformasyon ölçümleri yapılır. Bu okumalar günlük, haftalık ve aylık olarak tekrarlanır. Okumalar grafiğe aktarıldıktan sonra yorumlanır. Herhangi bir deformasyon yok ise veya kabul edilebilir sınırlarda ise yapım çalışmalarına devam edilir. Tünel yapımı sırasında kazı ve tünel emniyeti için deformasyon ölçümlerinin yapılması ve bu ölçümlerin sürekli takip edilmesi tünelin stabilitesi için önem arz etmektedir.

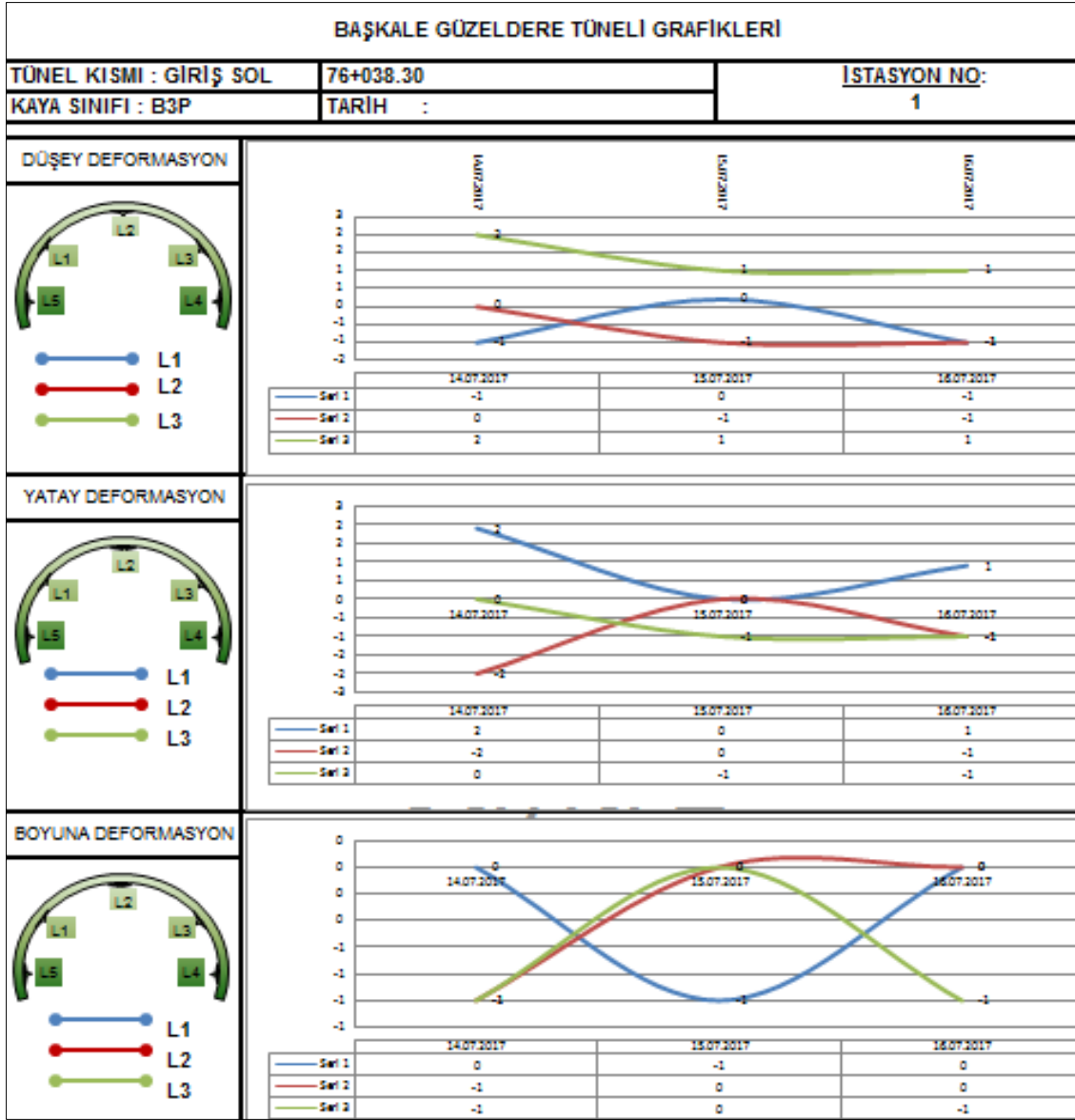
#### 4.9.1.1. Sol tüp giriş portalı km: 76+037.05-76+130.40 arasında ölçülen deformasyonlar

Başkale Tüneli'nde kazı ve destekleme sonrasında giriş ve çıkış portalları için hedef levhası (target) kullanılarak deformasyon ölçümleri milimetre hassasiyetinde kaydedilmiştir. Kaydedilen deformasyon ölçümleri düşey, yatay ve boyuna yerdeğiştirme olarak üç ayrı hat içerisinde değerlendirilmiştir.

Sol tüp giriş portalı km: 76+038.30'daki yer değiştirme değerlerine (düşey ve yatay deformasyonlar) göre hafta boyunca (10.07.2017-16.07.2017) ölçülen deformasyon değerlerinin çok düşük olduğu (1.0-2.0 mm) belirlenmiştir (Şekil 4.40, 4.41). Bu ihmal edilebilir yer değiştirme değerleri tünelin sol tüp giriş portalı için, sol ve sağ duvarlarında ve ayrıca tavanında meydana geldiği görülmektedir (Çizelge 4.20).



Şekil 4.40. Km: 76+038.30'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler.



Şekil 4.41. Km: 76+038.30'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler.

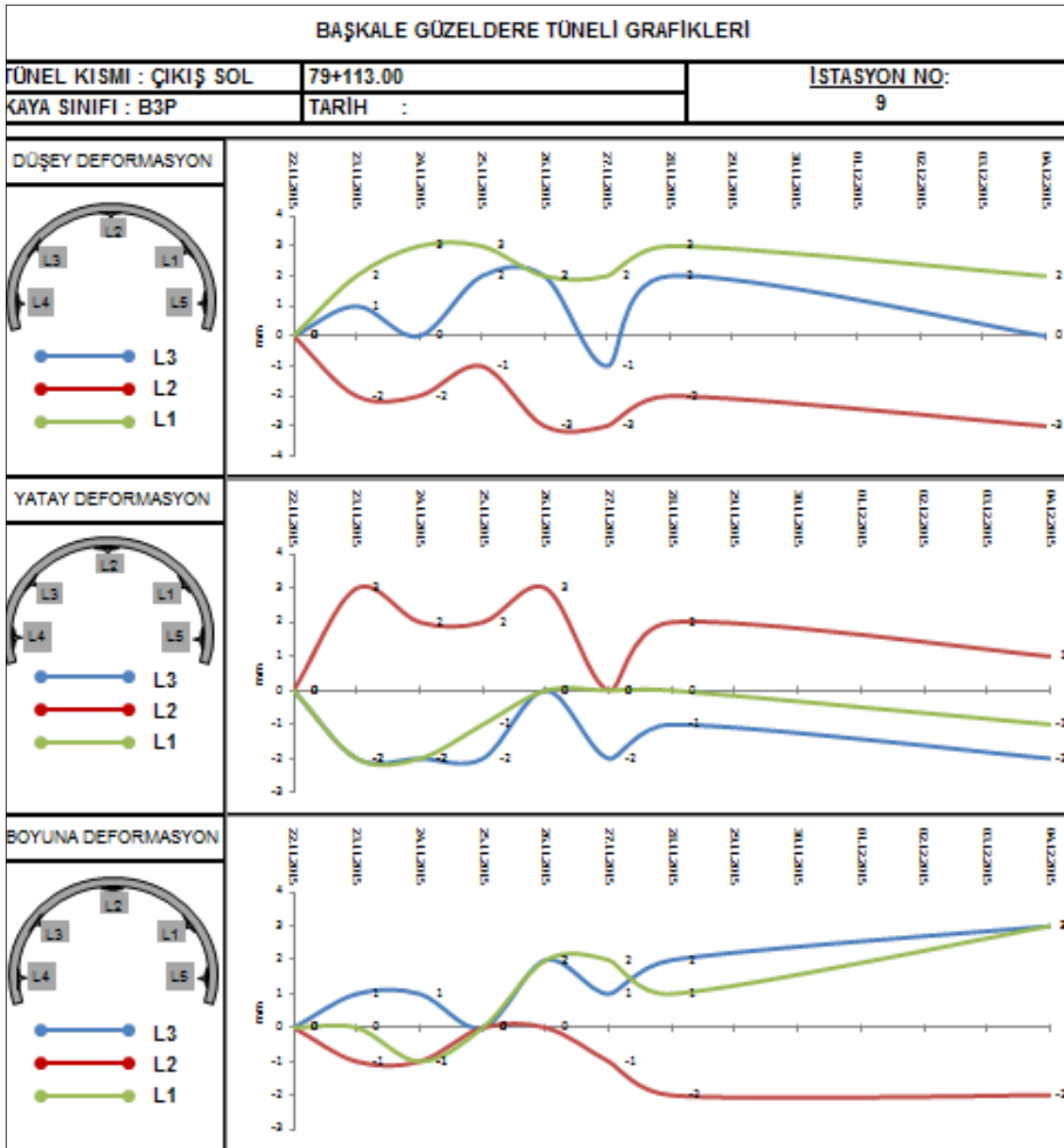
Çizelge 4.20. Km:76+038.30'da ölçülen deformasyonlara ait ölçüm değerleri

BAŞKALE (GÜZELDERE) TUNELİ JEOTEKNİK ÖLÇÜM DEĞERLERİ																		
TÜNEL YERİ	GİRİŞ SOL						GİRİŞ						ÇIKIŞ					
İSTASYON NO	1						1						1					
KİLOMETRE	76+038.30						76+038.30						76+038.30					
KAYA KLASI	B3-P						B3-P						B3-P					
YER-TARİH																		
TARİH	L1			L1 (mm)			L2			L2 (mm)			L3			L3 (mm)		
	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X
10.07.2017	2520.306	403424.823	4228591.028	0	0	0	2522.128	403424.199	4228586.998	0	0	0	2520.167	403423.742	4228582.468	0	0	0
11.07.2017	2520.305	403424.824	4228591.029	-1	1	1	2522.129	403424.198	4228586.999	1	-1	1	2520.169	403423.741	4228582.469	2	-1	1
12.07.2017	2520.305	403424.824	4228591.029	-1	1	1	2522.129	403424.197	4228586.998	1	-2	0	2520.169	403423.741	4228582.469	2	-1	1
13.07.2017	2520.304	403424.823	4228591.029	-2	0	1	2522.129	403424.197	4228586.997	1	-2	-1	2520.167	403423.740	4228582.468	0	-2	0
14.07.2017	2520.305	403424.825	4228591.028	-1	2	0	2522.128	403424.197	4228586.997	0	-2	-1	2520.169	403423.742	4228582.467	2	0	-1
15.07.2017	2520.306	403424.823	4228591.027	0	0	-1	2522.127	403424.199	4228586.998	-1	0	0	2520.168	403423.741	4228582.468	1	-1	0
16.07.2017	2520.305	403424.824	4228591.028	-1	1	0	2522.127	403424.198	4228586.998	-1	-1	0	2520.168	403423.741	4228582.467	1	-1	-1

NOT: \* PROJE KM ARTIŞ YÖNÜNE GÖRE; L1, L5 SOL L2 EKSEN, L3, L4 SAĞ

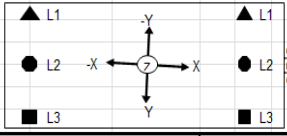
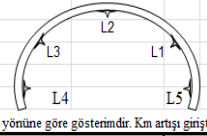
#### 4.9.1.2. Sol tüp çıkış portalı km: 79+112.50-79+121.50 arasında ölçülen deformasyonlar

Sol ve sağ tüp çıkış portalları içinde düşey ve yatay deformasyon ölçümleri alınmıştır. Sol tüp çıkış portalı için km: 79+113.00'da alınan yaklaşık 15 günlük deformasyon ölçümlerine göre ihmal edilebilir boyutlarda yer değiştirmelerin olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.42). Elde edilen yer değiştirme değerleri genellikle 0.0-3.0 mm arasında değişmektedir. Söz konusu bu deformasyon değerleri sol tüp çıkış portalı için sol ve sağ duvarlar ve tavanda meydana gelmiştir (Çizelge 4.21).



Şekil 4.42. Km: 79+113.00'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler.

Çizelge 4.21. Km: 79+113.00'da ölçülen deformasyonlara ait ölçüm değerleri

BAŞKALE (GÜZELDERE) TUNELİ																		
JEOTEKNİK ÖLÇÜM DEĞERLERİ																		
TUNEL YERİ	ÇIKIŞ SOL																	
STASYON NO	9																	
KİLOMETRE	79+113.00																	
KAYA KLASI	B3-P																	
YER-TARİH																		
TARİH	L1			L1 (mm)			L2			L2 (mm)			L3			L3 (mm)		
	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X
22.11.2015	2613.440	406410.549	4227866.119	0	0	0	2614.854	406411.460	4227868.637	0	0	0	2613.412	406412.758	4227872.278	0	0	0
23.11.2015	2613.442	406410.547	4227866.119	2	-2	0	2614.852	406411.463	4227868.636	-2	3	-1	2613.413	406412.756	4227872.279	1	-2	1
24.11.2015	2613.443	406410.547	4227866.118	3	-2	-1	2614.852	406411.462	4227868.636	-2	2	-1	2613.412	406412.756	4227872.279	0	-2	1
25.11.2015	2613.443	406410.548	4227866.119	3	-1	0	2614.853	406411.462	4227868.637	-1	2	0	2613.414	406412.756	4227872.278	2	-2	0
26.11.2015	2613.442	406410.549	4227866.121	2	0	2	2614.851	406411.463	4227868.637	-3	3	0	2613.414	406412.758	4227872.280	2	0	2
27.11.2015	2613.442	406410.549	4227866.121	2	0	2	2614.851	406411.460	4227868.636	-3	0	-1	2613.411	406412.756	4227872.279	-1	-2	1
28.11.2015	2613.443	406410.549	4227866.120	3	0	1	2614.852	406411.462	4227868.635	-2	2	-2	2613.414	406412.757	4227872.280	2	-1	2
04.12.2015	2613.442	406410.548	4227866.122	2	-1	3	2614.851	406411.461	4227868.635	-3	1	-2	2613.412	406412.756	4227872.281	0	-2	3

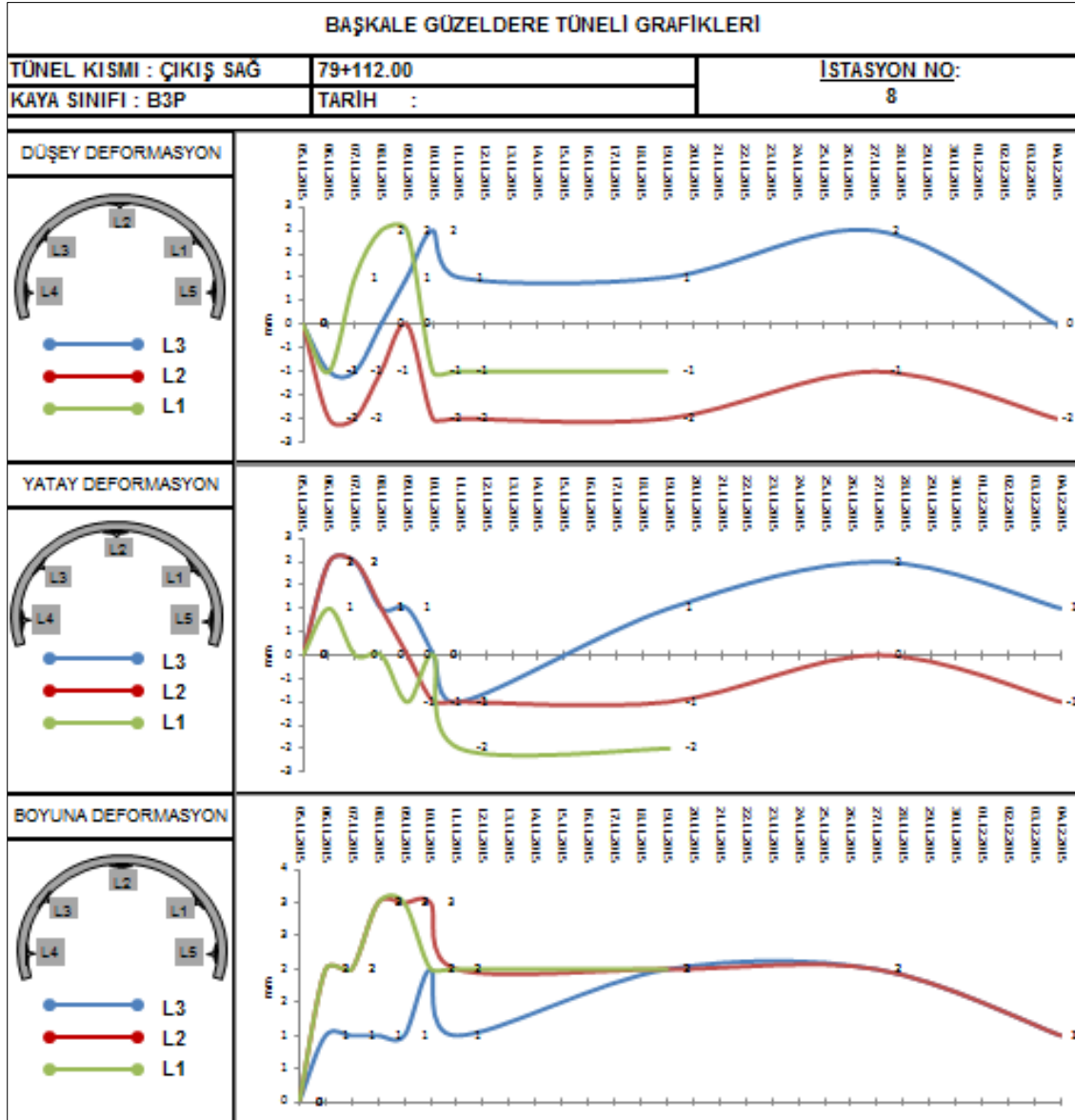
NOT: Km artış yönüne göre gösterimdir. Km artışı güneyden çıkışadır.

NOT: PROJE KM ARTIŞ YÖNÜNE GÖRE; L1, L5 SAĞ L2 EKSEN, L4, L3 SOL

#### 4.9.1.3. Sağ tüp çıkış portalı km: 79+098.50-79+119.50 arasında ölçülen deformasyonlar

Sağ tüp çıkış portalı için km: 79+112.00'da alınan yaklaşık 1 aylık deformasyon ölçümlerine göre yine benzer olarak ihmal edilebilir boyutlarda yer değiştirmelerin olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.43). Elde edilen yer değiştirme değerleri genellikle 0.0-3.0 mm arasında değişmektedir. Söz konusu bu deformasyon değerleri sağ tüp çıkış portalı için sol ve sağ duvarlar ve tavanda meydana gelmiştir (Çizelge 4.22).

Tünelin giriş ve çıkış portallarında ölçülen yer değiştirme değerlerine bakıldığında zaman genellikle 0.0-3.0 mm (sol tüp giriş portal kesiminde 0,  $\pm 1$  mm ve  $\pm 2$  mm, sol tüp çıkış portal kesiminde 0,  $\pm 1$  mm,  $\pm 2$  mm,  $\pm 3$  mm ve sağ tüp çıkış portal kesiminde 0,  $\pm 1$  mm,  $\pm 2$  mm,  $\pm 3$  mm) arasında değişen deformasyon değerleri kaydedilmiştir. Bu değerler içerisinde en fazla değer 3 mm olması ve değerlerde sürekli bir artışın gözlemlenmemesi, tünelin kazı ve destekleme sonrasında ihmal edilebilir değerlerde deformasyonun meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ayrıca tünel güzargahı boyunca destekleme sistemlerindeki gözlemler ve ölçümler elde edilen bu düşük deformasyon değerlerini desteklemektedir. Diğer taraftan milimetre boyutundaki bu çok düşük deformasyon değerlerinin elde edilmesinde personelden kaynaklı okuma hatalarının yapılabileceği göz ardı edilmemelidir.



Şekil 4.43. Km: 79+112.00'da ölçülen deformasyonlara ait grafikler.

Çizelge 4.22. Km:79+112.00'da ölçülen deformasyonlara ait ölçüm değerleri

BAŞKALE (GÜZELDERE) TUNELİ JEOTEKNİK ÖLÇÜM DEĞERLERİ																		
TÜNEL YERİ	ÇIKIŞ SAĞ					GİRİŞ												
İSTASYON NO	8					8												
KILOMETRE	79+112.00					79+112.00												
KAYA KLASI	B3-P					B3-P												
YER-TARİH																		
TARİH	L1			L1 (mm)			L2			L2 (mm)			L3			L3 (mm)		
	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X
05.11.2015	2614.571	406402.882	4227838.550	0	0	0	2614.814	406403.516	4227840.440	0	0	0	2614.714	406404.033	4227841.915	0	0	0
06.11.2015	2614.570	406402.883	4227838.552	-1	1	2	2614.812	406403.518	4227840.442	-2	2	2	2614.713	406404.035	4227841.916	-1	2	1
07.11.2015	2614.572	406402.882	4227838.552	1	0	2	2614.812	406403.518	4227840.442	-2	2	2	2614.713	406404.035	4227841.916	-1	2	1
08.11.2015	2614.573	406402.882	4227838.553	2	0	3	2614.813	406403.517	4227840.443	-1	1	3	2614.714	406404.034	4227841.916	0	1	1
09.11.2015	2614.573	406402.881	4227838.553	2	-1	3	2614.814	406403.516	4227840.443	0	0	3	2614.715	406404.034	4227841.916	1	1	1
10.11.2015	2614.570	406402.882	4227838.552	-1	0	2	2614.812	406403.515	4227840.443	-2	-1	3	2614.716	406404.033	4227841.917	2	0	2
11.11.2015	2614.570	406402.880	4227838.552	-1	-2	2	2614.812	406403.515	4227840.442	-2	-1	2	2614.715	406404.032	4227841.916	1	-1	1
19.11.2015	2614.570	406402.880	4227838.552	-1	-2	2	2614.812	406403.515	4227840.442	-2	-1	2	2614.715	406404.034	4227841.917	1	1	2
27.11.2015							2614.813	406403.516	4227840.442	-1	0	2	2614.716	406404.035	4227841.917	2	2	2
04.12.2015							2614.812	406403.515	4227840.441	-2	-1	1	2614.714	406404.034	4227841.916	0	1	1

NOT: Km artış yönüne göre gösterimdir. Km artışı güncellenmiş çığaştır.

NOT: PROJE KM ARTIŞ YÖNÜNE GÖRE, L1, L5 SAĞ L2 EKSEN, L4, L3 SOL

Tünelin giriş ve çıkış portalları için elde edilen düşey, yatay ve boyuna deformasyon değerleri bir araya getirilerek toplam yer değiştirme miktarları elde edilmiştir. Toplam yer değiştirme değerlerine bakıldığı zaman (Çizelge 4.23), sol tüp giriş portalı için en yüksek yer değiştirme değerleri sol ve sağ duvarlarda meydana geldiği, sol ve sağ tüp çıkış portallarında ise sağ duvar ve tavanda meydana geldiği görülmüştür.

Çizelge 4.23. Giriş ve çıkış portal kesimlerine ait deformasyon değerleri

		Sağ Duvar	Tavan	Sol Duvar
<b>Sol Tüp Giriş Portalı</b> <b>Km: 76+038.30</b>	Düşey Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	2	1	2
	Yatay Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	2	2	2
	Boyuna Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	1	1	1
	Toplam Deformasyon (mm)	5	4	5
<b>Sol Tüp Çıkış Portalı</b> <b>Km: 79+113.00</b>	Düşey Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	3	3	2
	Yatay Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	2	3	2
	Boyuna Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	3	2	3
	Toplam Deformasyon (mm)	8	8	7
<b>Sağ Tüp Çıkış Portalı</b> <b>Km: 79+112.00</b>	Düşey Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	2	2	2
	Yatay Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	2	2	2
	Boyuna Deformasyon (okunan en büyük mm değeri)	3	3	2
	Toplam Deformasyon (mm)	7	7	6

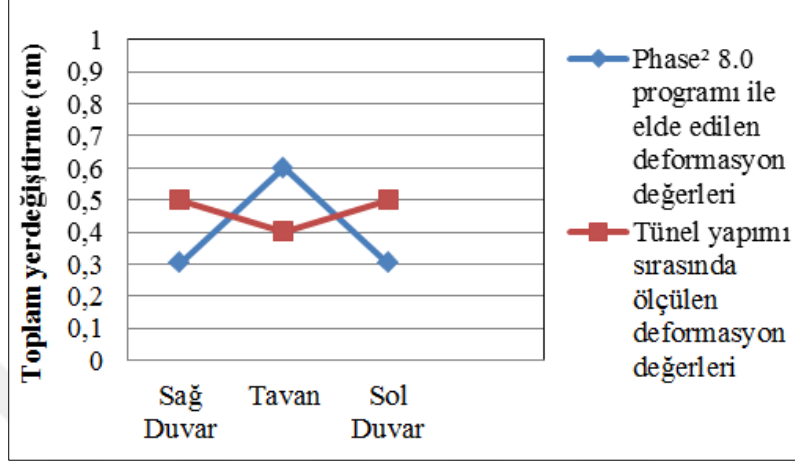
#### 4.9.2. Tahmin edilen ve ölçülen deformasyon değerlerinin karşılaştırılması

Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile tahmin edilen, sol ve sağ tüp giriş ve çıkış portal kesimlerine ait toplam yer değiştirme değerleri Şekil 4.35-4.38 ve Çizelge 4.18, 4.19’da sunulmuştur.

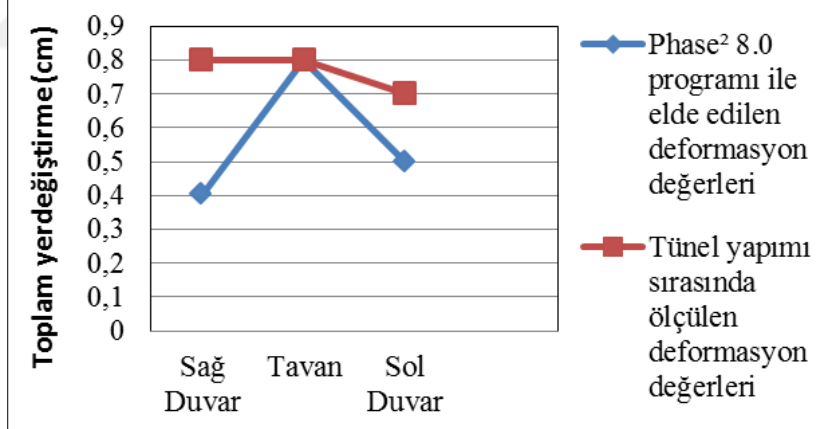
Tünel yapımı sırasında, kazı ve destekleme çalışmaları bittikten sonra deformasyon ölçümleri targetlerle yapılmış olup sonuçları Şekil 4.40-4.43 ve Çizelge 4.20-4.23’te sunulmuştur.



Aşağıdaki Şekil 4.44-4.46 ve Çizelge 4.24'te Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçümü yapılan deformasyon değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Söz konusu bu toplam deformasyon değerleri depremin olmadığı durumlar için değerlendirilmiştir.

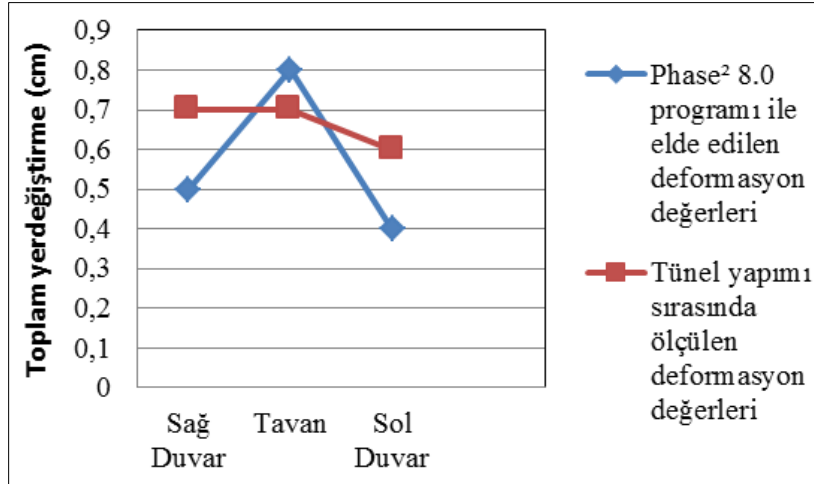


Şekil 4.44. Sol tüp giriş portal kesimine ait Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerleri.



Şekil 4.45. Sol tüp çıkış portal kesimine ait Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerleri.





Şekil 4.46. Sağ tüp çıkış portal kesimine ait Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerleri.

Çizelge 4.24. Phase<sup>2</sup> 8.0 programı ile elde edilen ve tünel yapımı sırasında ölçülen deformasyon değerlerinin özet bilgileri

	Phase <sup>2</sup> 8.0 Programı ile Elde Edilen Deformasyon Değerleri			Tünel Yapımı Sırasında Ölçülen Deformasyon Değerleri		
	Sağ Duvar (cm)	Tavan (cm)	Sol Duvar (cm)	Sağ Duvar (cm)	Tavan (cm)	Sol Duvar (cm)
<b>Sol Tüp Giriş Portal Kesimi</b>	0.3	0.6	0.3	0.5	0.4	0.5
<b>Sol Tüp Çıkış Portal Kesimi</b>	0.4	0.8	0.5	0.8	0.8	0.7
<b>Sağ Tüp Çıkış Portal Kesimi</b>	0.5	0.8	0.4	0.7	0.7	0.6

Sol tüp giriş portal kesimi için; tünel yapımına başlanılmadan önce Phase<sup>2</sup> 8.0 programı kullanılarak belirlenen en yüksek deformasyonun tavanda gerçekleştiği ve bu değer 0.6 cm olduğu, tünel yapımı sırasında ölçümü yapılan deformasyonların en yüksek sağ ve sol duvarlarda gerçekleştiği ve bu değerlerin 0.5 cm olduğu görülmüştür.

Sol tüp çıkış portal kesimi için; tünel yapımına başlanılmadan önce Phase<sup>2</sup> 8.0 programı kullanılarak belirlenen en yüksek deformasyonun tavanda gerçekleştiği ve bu değer 0.8 cm olduğu, tünel yapımı sırasında ölçümü yapılan deformasyonların en yüksek sağ duvar ve tavanda gerçekleştiği ve bu değerlerin 0.8 cm olduğu görülmüştür.

Sağ tüp çıkış portal kesimi için; tünel yapımına başlanılmadan önce Phase<sup>2</sup> 8.0 programı kullanılarak belirlenen en yüksek deformasyonun tavanda gerçekleştiği ve bu değerin 0.8 cm olduğu, tünel yapımı sırasında ölçümü yapılan deformasyonların en yüksek sağ duvar ve tavanda gerçekleştiği ve bu değerlerin 0.7 cm olduğu görülmüştür.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen ana sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Başkale Tüneli konglomera-kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı ar dalanmasından oluşan Kırkgeçit formasyonu içerisinde açılmaktadır. Arazi çalışmaları ile laboratuvar analizleri, giriş ve çıkış kesiminde yer alan konglomera-kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı ar dalanmasından (Kırkgeçit Formasyonu, Tk) oluşan birimlerin zayıf kaya özelliği sergilediğini göstermektedir.

Başkale Tüneli giriş ve çıkış olmak üzere 2 tüpten oluşmakta ve yapılan tüm analizler, değerlendirmeler giriş portal kesimi ve çıkış portal kesimi olarak yapılmıştır.

Giriş portal kesimi için; proje aşamasındaki çalışmalarda RMR değeri 39, Q değeri 0.188 olarak bulunmuştur. Tünel yapım aşamasındaki çalışmalarda ise hazırlanan tünel aynası jeolojik haritalarında RMR değerleri en küçük 32.2, en büyük 42.1 ve Q değerleri en küçük 0.27, en büyük 0.82 olduğu görülmüştür. Bu değerler neticesinde her iki aşamada da kayanın NATM kaya sınıflandırma sistemine göre B3 kaya ve destek sınıfı olduğu belirlenmiştir.

Çıkış portal kesimi için; proje aşamasındaki çalışmalarda RMR değeri 39, Q değeri 0.313 olarak bulunmuştur. Tünel yapım aşamasındaki çalışmalarda ise hazırlanan tünel aynası jeolojik haritalarında RMR değerleri en küçük 45.86, en büyük 48.34 ve Q değerleri en küçük 1.23, en büyük 1.62 olduğu görülmüştür. Bu değerler neticesinde proje aşamasında kayanın NATM kaya sınıflandırma sistemine göre B3 kaya ve destek sınıfı olduğu, yapım aşamasında kayanın NATM kaya sınıflandırma sistemine göre B2 ve B3 kaya ve destek sınıflarının olduğu belirlenmiştir.

Arazi ve laboratuvar verilerinden elde edilen sonuçlara göre, Phase<sup>2</sup> 8.0 programı kullanılarak toplam yer değiştirmeler (deformasyonlar) belirlendi. Depremin dikkate alınmadığı durumda; giriş portal kesimi için en büyük yer değiştirme değerinin sol ve sağ tüplerde tavan kısmında ve 0.6 cm olduğu, çıkış portal kesimi için de en büyük yer değiştirme değerinin sol ve sağ tüplerde tavan kısmında ve 0.8 cm olduğu belirlenmiştir. Her iki tüpün giriş ve çıkış portal kesimlerinde sismik yüklerin artmasıyla toplam yer değiştirme değerlerinin de arttığı ve en çok tavan kısmının etkilendiği tespit edilmiştir.

Tünel yapımı sırasında targetlerle toplam yer değiştirmeler (deformasyonlar) belirlendi. Ölçülen deformasyon değerlerine göre sol tüp giriş portal kesimi için en büyük yer değiştirme değerinin sol ve sağ duvarlarda ve 0.5 cm olduğu, sol tüp çıkış portal kesimi için en büyük yer değiştirme değerinin sağ duvar ve tavanda ve 0.8 cm olduğu, sağ tüp çıkış portal kesimi için en büyük yer değiştirme değerinin sağ duvar ve tavanda ve 0.7 cm olduğu belirlenmiştir.

B3 kaya sınıfı için deformasyon toleransı KGM'nin uygulamalarına göre 7 cm'den düşük olmalıdır. Sayısal analizlerden ve tünel güzergahı boyunca yapılan çalışmalardan elde edilen deformasyon değerlerinin bu sınırların oldukça altında olduğu belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre Başkale Tüneli'nde uygulanan kazı ve destek sistemlerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Sümengen (2008) yapmış olduğu çalışmalarda Kırkgeçit formasyonunun konglomera-kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı aralanmasından olduğunu belirtmiş olup yapmış olduğumuz arazi gözlemlerinde, tünel kazı çalışmalarında ve hazırlanan tünel aynası jeolojik haritalarda bu birimlerin yanı sıra kiltarı biriminin de yer aldığı tespit edilmiştir.

Literatürde B3 destek sınıfının ilerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 1,25-1,50 m, alt yarı kazısında ise 3 m'den fazla olmaması gerektiği ifade edilir. Ancak oluşabilecek gerilmeler portal kesimlerinde (giriş ve çıkış) daha fazla gerçekteleceğinden tünelin sağlamlığı ve güvenilirliği açısından bu kesimler için ilerleme adımı uzunluğu üst yarı kazısında 1.00 m, alt yarı kazısında 2.00 m olarak uygulanmıştır.

Depremliler için yapılan analizlerde; sismik yükün artmasıyla asal gerilme ve toplam yer değiştirme değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla tünelin devam eden yapım çalışmalarında depremliler durumun da dikkate alınarak daha kapsamlı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Tünel yapım çalışmalarında öngörülemeyen süreksizlik hatları, tünelin orta kesimlerinde fazla su çıkışları gözlemlenmiştir. Bu olumsuz durumlar imalat süresinin uzamasına ve proje maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu nedenle bundan sonraki yapım çalışmalarında bu unsurların da dikkate alınarak gerekli görülen lokasyonlarda daha fazla sondaj ve jeofizik çalışmaların yapılması, tünel açımı sırasında ayna arkasındaki jeolojik koşulların, kayaçların jeomekanik özelliklerinin ve su

durumunun tespitine yönelik gerektiği yerlerde aynadan yatay sondaj uygulamaları yapılmalıdır. Elde edilen verilere göre önlem alınması gereken kısımlar için daha yoğun destek sistemleri uygulanmalıdır.





## KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*.
- Akartuna M., Turgut M., 1984. *Sevenli (Van-Başkale) Dolayının Jeolojisi*.
- Anonim 2013a. Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü, 2013. *Van-Başkale Devlet Yolu Başkale Tüneli (Km: 76+087-79+231), Jeolojik-Jeoteknik Kesin Proje Raporu*, Van.
- Anonim 2013b. Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü, 2013. *Van-Başkale Devlet Yolu Başkale Tüneli (Km: 76+087-79+231), Portal Kesin Proje Raporu*, Van.
- Anonim 2015. Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü, 2015. *Van-Başkale Devlet Yolu Güzeldere Ripajı (Km: 75+905.00-85+785.97 (Geri) / 85+837.42 (İleri)) Başkale Tüneli (Km: 76+035.00-79+123.00) Portal Kesin Proje Raporu*, Van.
- Barton, N., Lien, R., Lunde J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, **6** (4): 189-236.
- Barton, N., Grimstad, E. 1994. The Q-System following twenty years of application in NTM support selection. *Felsbau*, **12** (6): 428-436.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Transactions of the South African Institute of Civil Engineers*, **15** (12): 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering Applications. *Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering*, South Africa, Balkema, Rotterdam, 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1979. The Geomechanics Classification in Rock Engineering Application. *Proceedings 4th International Congress on Rock Mechanics, Montreux*, 2-8 September 1979, Vol. 2, 41-48.
- Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley and Sons, ISBN 0471601721, New York, 251.
- Deere, D. U., 1964. *Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposed*, Rock Mechanics and Rock Engineering, 1, 17-22.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Balkema, Rotterdam, 215.
- ISRM., 1981. *ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring*, E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013. *Karayolu Teknik Şartnamesi*, Ankara.
- Kayabalı K., 2014. *Mühendislik Jeolojisi*, Ankara Üniversitesi Yayınevi, 674, Ankara.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1986. *Başkale (Van) Yöresinin Jeolojisi* (Ed. Ali Çevikbaş), Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Rapor: 7908, Ankara.
- Varol O. O., Ayhan M., 2018. Van (Başkale) Tünelinin Yapımında Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri. *4. Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu & Sergisi*. 13-14 Eylül 2018, İstanbul.
- Rabcewicz, L. V., 1948. "Patentschrift" Austrian patent No. 165 473.
- Rabcewicz, L., 1964. *The New Austrian Tunneling Method*. Waters Power, Nov., 453-457.
- Rocscience, Roclab (Ver.1.0), Toronto, Canada, <http://www.rocsience.com>.
- Rocscience, Phase<sup>2</sup>, Toronto, Canada, <http://www.rocsience.com>.

- Selçuk A. S., Düzgün M., 2017. Başkale Fay Zonu'nun Tektonik Jeomorfolojisi. *MTA Dergisi*, 154.
- Selçuk A. S., Zorer H., 2017. *Başkale Bölgesi'nin (Van) Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikleri Türkiye Jeoloji Bülteni*. 60:1.
- Sonmez, H., Ulusay, R., 1999. Modifications to the Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36 (6): 743-760.
- Sümengen M., 2008. *Başkale-L51 Paftası*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2002. *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*. Türk Mimar ve Mühendisler Odası Birliği, Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları. Ankara. ISBN 975-395-466-2.
- Unal E., 1983. *Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs*, PhD Thesis, Pennsylvania State University, 355.
- Yavuz E., Hoşbaş G., Ersoy N., 2019. *Tünellerde Modern Ölçme Sistem ve Yöntemlerin Kullanılması*, [https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/12H46bff625bdb03939\\_ek.pdf](https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/12H46bff625bdb03939_ek.pdf).



## ÖZ GEÇMİŞ

Berçem İLDİZ, 1986 yılında Van'da doğdu. İlköğrenimini İnönü İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini Milli Piyango Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2010 yılında Van Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü AR-GE Başmühendisliği'nde göreve başladı ve halen de aynı yerde çalışmaktadır.



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 01/08/2019

Tez Başlığı / Konusu: *Başkale Tüneli'nin (Giriş ve Çıkış Kesimi) Jeolojik ve Jeoteknik Açından Değerlendirilmesi*

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 88 sayfalık kısmına ilişkin, 01/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNITIN intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinalite raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5 (Beş) tir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinalite Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

  
Berçem İLDİZ  
01/08/2019

Adı Soyadı: Berçem İLDİZ

Öğrenci No: 169101112

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği


Programı: Yüksek Lisans

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI  
UYGUNDUR

  
Doç. Dr. Levent SELGUK  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)

  
ENSTİTÜ ONAYI  
UYGUNDUR  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)  
Enstitü Müdürü