

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Özgür YILMAZER

KARABÜK KISIKLI TÜNELLİ GEÇİŞİNİN JEOTEKNİĞİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARABÜK KISIKLI TÜNELLİ GEÇİŞİNİN JEOTEKNİĞİ

Özgür YILMAZER

DOKTORA TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 13/02/2009 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza.....

Yrd.Doç.Dr. İ. Altay ACAR
DANIŞMAN

İmza.....

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
ÜYE

İmza.....

Doç. Dr. Ergül YAŞAR
ÜYE

İmza.....

Doç. Dr. Sedat TÜRKMEN
ÜYE

İmza.....

Yrd. Doç. Dr. İsmail DİNÇER
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ

Enstitü Müdürü

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birim tarafından desteklenmiştir.

Proje No: MMF2007D1

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

KARABÜK KISIKLI TÜNELLİ GEÇİŞİNİN JEOTEKNİĞİ

Özgür YILMAZER

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Altay ACAR
Yıl:2009, Sayfa: 134

Jüri: Yrd.Doç.Dr. Altay ACAR
Prof.Dr. Aziz ERTUNÇ
Doç. Dr. Ergül YAŞAR
Doç. Dr. Sedat TÜRKMEN
Yrd. Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Çizgisel mühendislik yapılarının jeoteknik tasarımında ve özellikle kaya mekaniği ile iç içe olan tünel jeoteknik tasarımında; mühendislik jeolojisi ilkeleri büyük önem taşımaktadır. Cildiksık Tüneli Geçişini çok bileşenli bir mühendislik yapısı olarak bu kapsamda yapılan çalışmalara kaynak oluşturmuştur. Jeolojik araştırma verileri doğrultusunda tanımlanan jeoteknik tasarım değiştirgeleri ile; uygulanmak üzere olan mevcut proje yerine, daha emniyetli, ekonomik ve en önemlisi çevre ile barışık bir proje üretilmiştir. Farklılık; jeoteknik değiştirgelerin belirlenmesi aşamasında kullanılan; RQD, RMR, Q-Sistemi ve GSI gibi mevcut kaya kütle sınıflandırma/tanım sistemlerinin mühendislik jeolojisi ilkeleri doğrultusunda şekillendirilmesiyle elde edilmiştir. Mevcut sistemlerin; Su – Süreksizlik – Kil ilişkisi dikkate alınarak kullanılması gerekliliği ve jeoteknik tasarıma esas jeoteknik değiştirgelerin belirlenmesi aşamasında bu ilişkinin oynadığı rol üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak mevcut sistemlerinin hiçbirinin tek başına etkili ve yeterli olmadığını, kaya kütlelerinin jeoteknik değiştirgelerinin belirlenmesi söz konusu olduğunda mühendislik jeolojisi verilerinin de ayrıca dikkate alınması gerekliliği belirlenmiştir. Bu yaklaşımla oluşturulan öneri Cildiksık Tüneli Geçişini projesi ile mevcut projeye göre; uygulanacak destek sistemi ve yoğunluğu yaklaşık %75 oranında azaltılmış, tünel trafik güvenliği artırılmış ve tünel girişinde oluşturulması düşünülen büyük kanyon dolgusu engellenerek geri dönüşü olmayacak önemli bir çevre sorunu ortadan kaldırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Jeoteknik, Tünel, Mühendislik Jeolojisi, Kaya Kütle Sınıflandırması, Su-süreksizlik-kil.

ABSTRACT

PhD THESIS

GEOTECHNICS OF KARABUK KISIKLI TUNNEL

Ozgur YILMAZER

DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor: Assis.Prof.Dr. Altay ACAR
Year:2009, Pages: 134

Jury: Assis.Prof.Dr. Altay ACAR
Prof.Dr. Aziz ERTUNC
Assoc.Prof.Dr. Ergul YASAR
Assoc.Prof.Dr. Sedat TURKMEN
Assis.Prof. Dr. Ismail DINCER

Engineering geology fundamentals have an essential role in geotechnical design of linear engineering structures especially in tunnel engineering. Cildikısık Tunnel Crossing has been a great source in defining this role in terms of engineering geology. The findings, from the field, obtained through only geological investigations have lead to remarkable changes in the existing tunnel project that is to be applied. The new project, which has been proposed through this study as an alternative to the existing, has resulted in important gaining in the overall construction. The project turned to be much safer, economical with regards to construction expenses, and environmentally friendly. The achievement has been due to the use of engineering geology fundamentals in the use of well known rock mass classifications/definition systems such as; RQD, RMR, Q-System and GSI. The role of Water – Discontinuity Clay trinity in the use of such systems and in the determination of geotechnical design parameters has been clarified. As a result, it was pointed out that none of the existing systems alone is sufficient to make precise evaluation of the rock mass geotechnical design parameters. With the proposed project for Cildikısık Tunnel Crossing, which has been based upon this approach, has provided 75% of reduction in support systems and density, besides, it has lead to increase in traffic safety. The, environmental gaining is on the other hand is invaluable. The canyon before the tunnel inlet has been saved from being completely filled by earth material which would make it irrecoverably destroyed.

Keywords: Geotechnics, Tunnel, Engineering Geology, Rock Mass Classification, Water - Discontinuity – Clay.

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince desteklerini ve katkısını eksik etmeyen danışmanım sayın Yrd.Doç.Dr. Altay ACAR'a teşekkür ederim. Ayrıca değerli katkılarından dolayı sayın Prof.Dr. Aziz ERTUNÇ'a, sayın Doç.Dr. Ergül YAŞAR'a, sayın Doç. Dr. Sedat TÜRKMEN'e ve sayın Yrd.Doç.Dr.İsmail DİNÇER'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın sürdürülmesinde ve tamamlanmasında önemli rolü olan sayın Dr.Ali ÖZVAN'a, yazım ve düzenleme aşamasındaki desteklerinden dolayı sayın Jeol.Y.Müh.Evrin ULUADAM'a ve bu süreçte özverili desteklerinden dolayı babam Prof.Dr. İlyas YILMAZER ve annem Raziye YILMAZER'e teşekkür ederim.

Sağladıkları motivasyon nedeniyle eşim Yasemin YILMAZER ve çocuklarım Arda ve Ada YILMAZER'e minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç	2
1.2. Tarihçe.....	3
1.3. Çalışma Alanının Yeri.....	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1. Materyal	10
3.2. Metot	11
3.2.1. Maliyet	11
3.2.2. Emniyet	14
3.2.3. Zaman	14
3.2.4. Estetik – Çevre	15
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	17
4.1. İklim ve Yüzey Şekilleri	17
4.1.1. İklim.....	18
4.1.2. Yüzey Şekilleri	21
4.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi	22
4.3. Tektonik ve Depremsellik	25
4.4. Yapısal Jeoloji	29
4.5. Mühendislik Jeolojisi	32
4.5.1. Su – Süreksizlik ve Kil İlişkisi	33
4.5.2. Duraysız Alanlar.....	35

4.5.3. Mühendislik Jeolojisi Verileri	39
4.6. Mühendislik Yapıları	40
4.6.1. Tünel Girişi Öncesi Büyük Kanyon Geçişi.....	42
4.6.2. Tünel Girişi Ulaşım Dolgusu	44
4.6.3. Tünel Yapısı	45
4.6.4. Tünel Çıkış Ağız İstinat Duvarı Yapısı	48
4.7. Kaya Kütle Sınıflandırmaları: Su-Süreksizlik - Kil Etkisinin Kaya Kütle Değerlendirmesindeki Yeri Ve Önemi.....	50
4.7.1. Kaya Kütle Sınıflandırmaları	52
4.7.1.1.Kaya Kalite Belirteci (Rock Quality Designation, RQD).....	54
4.7.1.2.Kaya Kütle Değerlendirmesi (<i>RMR: Rock Mass Rating</i>).....	60
4.7.1.3.Q-Sistemi (Q-Sınıflandırması).....	65
4.7.2. GSI-Sistemi	75
4.8. Jeoteknik Değerlendirme: Çalışma Alanında Bulunan Kaya Kütlelerinin Jeoteknik Değiştirgelerinin Belirlenmesi	84
4.8.1. Kretase Yaşlı Flişel İstifi (Kt) Jeoteknik Değiştirgeleri	84
4.8.1.1.Tünel Kazısı İçinde Kt Jeoteknik Değiştirgeleri.....	85
4.8.1.2.Tünel Çıkışı Sağ-Sol Yamaç için Kt Jeoteknik Değiştirgeleri	87
4.8.2. Tünel Çıkışı Alın Yamaç için Kt Jeoteknik Değiştirgeleri	93
4.8.3. Eosen Yaşlı Taban Tortulları (Et) Jeoteknik Değiştirgeleri.....	96
4.8.4. Eosen Yaşlı Kireçtaşları (Ek) Jeoteknik Değiştirgeleri	98
4.9. Jeoteknik Tasarım: Çalışma Alanındaki Kaya Kütlelerinin Tünel Jeoteknik Tasarımına Etkileri.....	101
4.9.1. Tünel Yapımında Kaya Kütleleri Davranışı.....	102
4.9.2. Tünel Destek Sistemlerinin Oluşturulması	105
4.9.3. Mevcut ve Öneri Projenin Karşılaştırılması.....	110
5. SONUÇLAR	114
KAYNAKLAR.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	125
EKLER	
EK – I. Sondajlı Araştırma Veri Kütükleri	126

EK – II. Sondaj Karot Sandıkları Fotoğrafları	132
---	-----

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. KSY kapsamında uygulanan keşif artışları (Yılmaz, 2002b).....	12
Çizelge 4.1. Bölge su kaynakları gizilgücü (DSİ, 2008)	20
Çizelge 4.2. Çalışma alanında hasar yaratan son yüzyıl depremleri (KRDAE, 2008)	29
Çizelge 4.3. Ek birimi RMR kaya kütle değerinin belirlenmesi.....	62
Çizelge 4.4. Q-sistemi değer aralıkları ve anlamları	66
Çizelge 4.5. Çalışma alanındaki Ek birim için Q-sistemi kaya kütle sınıflandırması	69
Çizelge 4.6. Çalışma alanındaki Et birim için Q-sistemi kaya kütle sınıflandırması	72
Çizelge 4.7. Kt içinde açılacak tünele ait jeoteknik tasarım değıştirgeleri.....	87
Çizelge 4.8. Kt içinde açılacak yüksek yarmalara ait jeoteknik tasarım değıştirgeleri	89
Çizelge 4.9. Kt 'de açılacak tünel alın yarmasına ait jeoteknik tasarım değıştirgeleri.....	95
Çizelge 4.10. Et 'de açılacak tünele ait jeoteknik tasarım değıştirgeleri	97
Çizelge 4.11. Ek içinde tünel alın yarmasına ait jeoteknik tasarım değıştirgeleri.....	101
Çizelge 4.12. Mevcut ve Öneri Proje için öngörülen maliyetler	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. 1955 öncesi ve sonrasına ait karayolu geçkileri.	4
Şekil 1.2. Çalışma alanına ait yerbulduru.	5
Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresinin ortalama yıllık yağış dağılımı (DMİ, 2008).	18
Şekil 4.2. Eylül'den başlayarak 12 ayın ortalama yağış değerleri.	19
Şekil 4.3. Ocaktan başlayarak 12 ayın ortalama sıcaklık değerleri.	20
Şekil 4.4. Çalışma alanı ve çevresinin yüzey şekli ve yapısal özellikleri.	22
Şekil 4.5. Bölge yüzey şekli (Karadeniz – KAF arası enkesit).	22
Şekil 4.6. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası (MTA, 2002).	23
Şekil 4.7. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti.	24
Şekil 4.8. Çalışma alanı genel jeoloji haritası.	26
Şekil 4.9. Çalışma alanındaki jeolojik birim istifsel ilişkileri (Tünel Çıkış Ağızı).	27
Şekil 4.10. Çalışma alanı ve çevresinin deprenselliği (AİGM, 1996).	27
Şekil 4.11. Çalışma alanında son yüzyılda gerçekleşmiş hasar yaratan depremler.	28
Şekil 4.12. Kt içerisinde izlenen kıvrım ve kırılmalar.	31
Şekil 4.13. Kt ile Et arasında izlenen açılal uyumsuzluk.	31
Şekil 4.14. Et içerisinde gelişmiş geniş kıvrımlanmalar.	32
Şekil 4.15. Plt ile Et arasında izlenen açılal uyumsuzluk.	32
Şekil 4.16. Su molekülünün çizgisel enkesiti (Yilmazer ve ark, 2007).	34
Şekil 4.17. Tek yönlü yapılar içeren bakışsımsız bir dağın çizgisel enkesiti.	34
Şekil 4.18. Katyon değişimi açısından iki tipik kil minerali (Yilmazer ve ark, 2007).	34
Şekil 4.19. Çalışma alanındaki duraysızlıkların 1/25.000 ölçekli haritada görünümü.	36
Şekil 4.20. Son buzul çağı sonrasına ait büyük ölçekli Et kaymaları.	37
Şekil 4.21. İlk kısımlarında Aç-Kapa yöntemi uygulanan mevcut karayolu tüneli.	39
Şekil 4.22. “Ek” birimi sondajlı araştırma veri kütüğü.	41
Şekil 4.23. Tünel Girişinden önce yer alan köprülü kanyon geçişi.	43
Şekil 4.24. Tünel Girişi ve giriş ağızı ulaşım dolgusu.	43
Şekil 4.25. Tünel Girişinde yer alan kanyondan görünüm.	44
Şekil 4.26. Cildikısıık tüneli mevcut ve öneri proje harita görünümü.	46
Şekil 4.27. Cildikısıık tüneli mevcut ve öneri proje boykesiti.	47
Şekil 4.28. Tünel çıkış ağızında yapıımı planlanan istinat duvarı yapısı.	49
Şekil 4.29. 8-Ağustos tünelinin içinde yer aldığı Bitlis Masifi.	55

Şekil 4.30. RQD<20 olan yüksek dayanımlı ve duraylı Bitlis Masifi üyeleri.....	57
Şekil 4.31. Kil minerali üretmeyen metakuvarsit/kuvarsist incekesitleri.	58
Şekil 4.32. Negatif destek sistemine rağmen sorunsuz açılan 8-Ağustos Tüneli.	59
Şekil 4.33. “Ek” içerisinde 55 yıl önce açılmış desteksiz çevirme tüneli.....	63
Şekil 4.34. “Ek” içerisinde ters eğimde duraylı eski yol yarmaları.....	65
Şekil 4.35. Fliş türü heterojen kaya kütleleri için GSI (Marinos&Hoek, 2000-2001).	77
Şekil 4.36. Kt içinde açılacak h=50 m olan yarma için GSI ve jeoteknik değiştirgeler...	79
Şekil 4.37. Kt içinde açılacak 50 m yüksekliğindeki yarmanın sayısal incelemesi.....	80
Şekil 4.38. Kt içinde açılacak yarmada uygulanabilir yamaç eğimi ve yüksekliği.	81
Şekil 4.39. Kt içinde açılacak duraysız yarmanın destekli sayısal incelemesi.	82
Şekil 4.40. Kt içindeki dik ve dike yakın eğimde demiryolu ve karayolu yarmaları.	82
Şekil 4.41. Kt içinde açılacak tünele ait GSI ve jeoteknik değiştirgeler.	86
Şekil 4.42. Mevcut Kt yarma enkesitinde GK=1.0 değerini veren geri analiz.....	88
Şekil 4.43. GK:1.0 değerini veren kaya kütle değiştirgeleri için GSI değerlendirmesi. ...	89
Şekil 4.44. Tünel çıkış ağzı kinematik incelemesi ve değerlendirmesi.	91
Şekil 4.45. Tünel çıkış ağzı sağ ve sol yüksek yarmaları kinematik incelemesi.	92
Şekil 4.46. Tünel çıkış ağzı alın yarma yamacı kinematik incelemesi.	94
Şekil 4.47. Kt içinde açılacak tünel alın yarmasına ait GSI ve jeoteknik değiştirgeler...	95
Şekil 4.48. Et içinde açılacak tünele ait GSI ve jeoteknik değiştirgeler.....	97
Şekil 4.49. Ek içinde devam eden ikincil çimentolanma.....	99
Şekil 4.50. Ek içinde açılacak tünele ait GSI ve jeoteknik değiştirgeler.	100
Şekil 4.51. Phases sayısal incelemesine esas jeolojik ve jeoteknik model.....	103
Şekil 4.52. Desteksiz açılacak tünelde karşılaşılacak deformasyon miktarı dağılımı. ...	104
Şekil 4.53. Desteksiz açılacak tünelde toplam yerdeğiştirme miktarı ve dağılımı.	106
Şekil 4.54. Jeoteknik tasarım kapsamındaki destek sistemi bileşenleri ve özellikleri....	108
Şekil 4.55. Destekli açılacak tünelde toplam yerdeğiştirme miktarı ve dağılımı.	109
Şekil 4.56. Destekli açılacak tünelde hacimsel Şekil değiştirme dağılımı.	110

SİMGELER VE KISALTMALAR

τ	: Kayma dayanımı
C	: Kohezyon
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
E	: Elastik Modülü
MEZE	: Maliyet, emniyet, zaman ve estetik-çevre
KSY	: Karadeniz Sahil Yolu
DSİ	: Devlet Su İşleri
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
AİGM	: Afet İşleri Genel Müdürlüğü
RQD	: Kaya Kütle Belirteci
SK	: Sondaj Kuyusu
RMR	: Kaya Kütle Değerlendirmesi
Q	: Kaya Tüneli Kalite İndisi
GSI	: Jeolojik Dayanım İndisi
q_0	: Tek eksenli basınç dayanımı
NGI	: Norveç Geoteknik Enstitüsü

1. GİRİŞ

Cildikısıık Tünelli Geçişinde olduğu gibi, yüksek engebeli sahalarda, derin vadilerin ve/veya büyük yükseltelerin olduğu kesimlerde; standartlarının ani değişimi istenilmeyen çizgisel mühendislik yapıları için ekonomik, estetik ve çevre dostu projeler üretmek önemli bir çağdaş mühendislik yaklaşımıdır. Bu yaklaşım doğrultusunda; yukarıdaki tarife uygun, bir dar geçit özelliği taşıyan Cildikısıık Tünelli Geçiş T.C. Karayolları açı içerisinde yer alan ve projesi yakın zamanda tamamlanarak uygulama aşamasına gelinmiş olan çizgisel bir mühendislik yapısıdır. Söz konusu proje; mevcut tünelin, kilometre artış yönünde, sağına aynı kotta açılacak yeni bir tünel ve giriş kısmında yer alan büyük bir kanyonun doldurulması ile elde edilecek yüksek dolgulu bir geçiş içermektedir.

Bu teze konu oluşturan çalışmalar kapsamında ise; uygulama aşamasına gelinmiş olan mevcut proje yerine, kanyonun koruyacak şekilde, yüksek dolgunun tek kirişli bir köprölü geçiş ile değiştirildiği, tünel giriş ağzının daha yüksek kotta olduğu ve bu şekilde daha duraylı bir tünelli geçiş sağlayacak bir öneri proje ortaya konulmuştur. Tez içerisinde sıklıkla değinilecek olan bu iki farklı projenin ayrımını yapmak ve metin içerisinde takibini kolaylaştırmak adına; henüz hazırlanmış ve yapıma gönderilmek üzere idarece onaylanmış proje: “mevcut proje” ve buna alternatif olarak bu tez çalışması kapsamında üretilen proje ise: “öneri proje” olarak adlandırılmıştır. Tüm rapor içerisinde bu adlandırma kullanılacaktır.

Üretilen öneri mühendislik çözümünün oluşturulmasında taban veri olarak; jeoloji, hidrojeoloji, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik temel ilkeleri kullanılmış ve çözümün çevre etki değerlendirmeleri ayrıca göz ününde tutulmuştur. Her mühendislik projesinde olduğu gibi; üretilen çözümün oluşturulacak mühendislik yapısına maliyet, emniyet, zaman ve estetik-çevre (MEZE) açısından etkileri değerlendirilerek en uygun geçkinin ve yol bileşenlerinin ortaya çıkarılması bu çalışmanın temel ereği olmuştur.

Geçki belirleme aşamasından yol bileşenlerinin seçimine ve araştırmadan tasarıma kadar geçen her aşamada çalışılan geçki için, ayrıntılı biçimde incelenen jeolojik koşullar ve jeoteknik tasarım ilkeleri ortaya konmuştur. Bu kapsamda, amaca

yönelik güncel diğer çalışmalardan, ulusal ve uluslararası yol/tünel projelerinden örnekler seçilmiş ve önerilen proje ile aralarında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu şekilde; sürdürülen çalışmaların anlatımı zenginleştirilerek elde edilen bulguların evrenselleştirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Ulaşılan sonuçların farklı kesimlerde yer alan ancak benzer nitelikler sunan mühendislik sorunları için özgün çözümler üretmeye katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Buna göre, Cildikısıık tünelinin yanı sıra farklı tünel ve bunların yaklaşım yollarına ait araştırma ve tasarım çalışmaları gerçekleştirilerek;

- a. su, süreksizlik ve kil üçlüsünün tünel jeoteknik tasarımına etkisi,
- b. suyun kayanın dayanımına olan olumsuz etkisinin; kayanın türü, mineral içeriği, ayrışma derecesi ve benzeri özelliklerinin bağımlı bir değişkeni olduğunu ortaya koyan çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu su etkisinin, özellikle, kayma dayanımını $[\tau(c, kPa; \phi, ^\circ)]$ ve elastik modülü (E, MPa) nasıl etkilediği güncel örnekler üzerinde incelenmiştir.

1.1. Amaç

Bu incelemenin temel ereği olarak ulaşılan noktalar özet olarak aşağıda sunulmuştur.

1. Karayolu başta olmak üzere tüm çizgisel mühendislik yapılarının geçki ve bileşenlerinin seçiminde izlenecek aşamaların ilkelerinin belirlenmesi,
2. Jeoteknik araştırma programlarının amaca uygun biçimde hazırlanması, gerçekleştirilmesi ve elde edilen verilerin değerlendirmesine yönelik temel ilkelerin ortaya konulması,
3. Mühendislik projelerinin maliyet, emniyet, zaman ve estetik-çevre açısından değerlendirme şekillerinin açıklığa kavuşturulması,
4. Duraysız alanların ve duraysızlık nedenlerinin belirlenmesine yönelik kullanılacak yöntem ve yaklaşımlarının bilimsel temelde kurgulanması,
5. Özellikle tünel ve köprülü geçiş gibi önemli yol bileşenlerinin konumlandırılmasında jeoloji ve jeoteknik model çalışmalarının öneminin güncel örneklerle belgelenmesi,

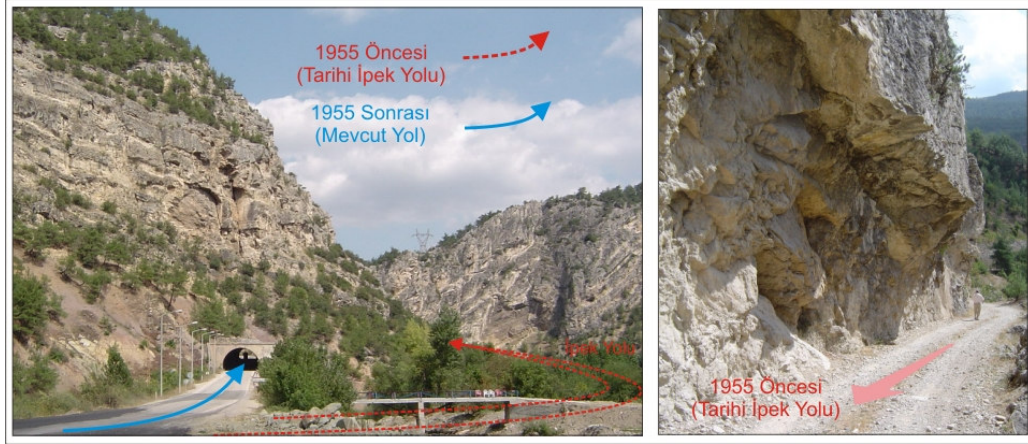
6. Tünel kazısı sırasında ve sonrasında karşılaşılan jeoteknik sorunların jeolojik koşullar ile ilişkisinin ortaya konulması ve bunların tünel geçkisinin belirlenmesi aşamasında giderilmesinin öneminin vurgulanması,
7. Kazı yamaçları ve tünel gibi yol bileşenlerinin duraylılığını denetleyen su, süreksizlik ve kil (Su - Süreksizlik - Kil) üçlüsünün eşgüdümlü etkilerinin incelenmesine yönelik teknik yaklaşımların belirlenmesi,
8. Kaya kütle özelliklerinin belirlenmesine yönelik kullanılan sınıflandırma yöntemlerindeki ‘suyun olumsuz etkisinin’; kayanın türü ve mineralojik bileşiminin bağımlı bir değişkeni olduğu konularına açıklık getirmek amaçlanmıştır.

1.2. Tarihçe

1997 yılında ihale edilen Karabük - Eskipazar - 4. Bölge Hududu Yolu Etüt Proje Mühendislik Hizmetleri İşine ait tünelli geçiş jeoteknik proje çalışmalarına 2005 yılında başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen ve tezin şekillendirilmesine önemli katkı sunan, diğer karayolu tünel projeleri arasındaki; Van – Kuzgunkıran Geçişinde 1 ve Ayrım - Bitlis Devlet Yolu projesinde 5 adet olmak üzere toplam 6 adet tünelli geçiş projesine ise 1997 yılında başlanmıştır. Bu tünellerden; Van – Kuzgunkıran ve Bitlis 8 – Ağustos Tünellerinin yapım işi ise 2008 yılı içerisinde tamamlanmıştır. Tüm bu projelerin temel bileşenleri olan; yol yarma ve dolgusu gibi toprak işleri, köprü-menfez gibi sanat yapıları ve tünellerin giriş-çıkış (portal) ve eksen kazılarının, yer seçiminden yapım aşamasına kadar geçen her aşaması yazar tarafından işin araştırmacısı ve tasarımcısı olarak doğrudan takip edilmiştir. Bu şekilde; tez çalışması kapsamında, öne sürülen yaklaşımların uygulamadaki örnekler ile desteklenmesi ve bu şekilde tez ile ortaya konulan değerlendirmelerin mühendislik jeolojisi açısından genelleştirilebilmesi açısından gereksinim duyulan veriler, bu süre içerisinde tüm ayrıntıları ile elde edilebilmiştir.

Bu veriler paralelinde irdelenen ve kendine özgü jeolojik – jeoteknik özellikleri çalışılan, Karayolları Kastamonu Bölge Müdürlüğü hudutları içerisindeki, Cildikısık Tünelli Geçiş; İstanbul ve Ankara ile Karabük, Kastamonu, Sinop ve Samsun’u

bağlayan önemli bir yol koridorunda yer alan bir dar geçit özelliğindedir. Bu geçit; 1955 öncesine kadar tarihi ipek yolunun genişletilmesi ve kısmen iyileştirilmesi yoluyla kullanılmıştır. Sonrasında ise tek tüplü bir karayolu tüneli içeren yeni hat işletmeye açılmıştır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. 1955 öncesi ve sonrasına ait karayolu geçitleri.

1.3. Çalışma Alanının Yeri

Cildikısık Tüneli Geçışı; İstanbul ilini sanayi kenti olan Karabük iline bağlayan ve Safranbolu, Kastamonu, Sinop ile birlikte Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi illerine açılan I. Sınıf Devlet Yolunun önemli dar geçitlerindedir (Şekil 1.2). Çalışma alanı 1/25000 ölçekli ‘Zonguldak F29-d3’ paftasında yer almaktadır. Toplam uzunluğu 40 km olan Karabük – Eskipazar - 4. Bölge Hududu Devlet Yolunun KM:16+000 – 17+000 arasında yer alan tüneli ve kanyon köprülü geçışı, bu tez çalışmasında uygulama alanı olarak seçilmiştir. Projelendirilen yolun diğer kesimleri; toprak (dolgu+yarma) işleri ağırlıklıdır ve göreceli olarak sorunsuzdur.



Şekil 1.2. Çalışma alanına ait yerbulduzu.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma alanı olan Cildikısıık Tünelli Geçiş 40 km uzunluğundaki bölünmüş devlet yolu projesinin orta kesiminde yer alır. Tünelli ve kanyon köprülü geçişin uzunluğu yaklaşık 1,0 kilometredir. Bu tür büyük ölçekli mühendislik projelerinde; küresel ölçekli jeolojik çalışmalardan bölgesel jeolojiye ve buradan çalışılan sahanın yerel jeolojisine kadar daha önce yapılan çalışmaların değerlendirmeye alınması, hidrojeolojik, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik model çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve jeoteknik tasarım aşamasına geçilmesi açısından önem taşımaktadır. Çalışma alanının yer aldığı, Bolu – Karabük kütleli (masifi) ile bunun yakından ilişkide olduğu Kuzey Anadolu Fay Kuşağı birçok araştırmaya konu olduğundan bölgede daha önce yapılmış olan çok sayıda çalışmaya ulaşmak mümkündür. Buna göre, farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

Tasman (1944), 1943-1944 Tosya, İsmetpaşa, Bolu depremlerinin etkilerini bölgede jeolojik birimlere göre araştırmıştır. Yılmaz ve ark (1999a-b; 2001a-b; 2004a; 2007) ve Yılmaz (2002a)'de vurgulanan ova-kaya ilişkisini çok genel de olsa ele almıştır. Depremın yıkıcı etkisinin toprak zemin niteliğindeki alüvyon ovalarda belirgin olduğuna dikkat çekmiştir.

Blumenthal (1948), “Bolu Bölgesi” adını vererek tanımladığı bölgede yaptığı çalışmalar sonucunda, yüzeylenen kayaları; “Bolu Masifi”, “Mezozoik-Tersiyer flişi”, “karışık tektonik fasiyesli seri” olarak birimlere ayırarak tanımlamıştır. Bolu Masifi'nin eski bir taban olduğunu belirtmiştir. Bolu masifinin Metamorfik ve Magmatik kristalen kayalardan; amfibolit ve diyoritlerden oluştuğunu Metamorfik kayalardan ise fillit, şist ve kuvarsitlerden teşkil olduğunu ortaya koymuştur. Bu kütleli kuzey, güney ve doğusunda Kretase ve Eosen yaşlı tortul istiflerin yüzlek verdiğini belirtmiştir.

MTA (1961), bölgenin 1/500.000 ölçeli jeoloji haritasını hazırlamışlardır. Günün zor çalışma koşullarına karşın temel jeolojik birimlerin sınırlarını ayrıntılı biçimde belirlemişlerdir. Bu harita daha sonraki pek çok çalışmaya ışık tutmuştur.

Canik (1980), Kuzey Anadolu Fayı boyunca gelişen “Bolu sıcak su kaynaklarının hidrojeolojik incelemesinde” şistlerle, mermerlerin Prekambriyen yaşta olabileceğini ileri sürmüştür. Yaptığı çalışma sırasında Üst Kretase ile Paleosen arasındaki tektonik dokunağı da vurgulayarak sıcak su oluşumuna açıklık getirmeye çalışmıştır.

Kaya ve Dizer (1982a-b), çalışma alanının kuzeybatı bölgesinde yaptıkları çalışmada; Üst Kretase ve Paleojen yaşlı istiflerin çökelim ortamı ilişkilerini ortaya koymuşlardır.

Aktimur ve ark (1983), bölgede egemen olan Paleozoik, Mezozoik ve Tersiyer birimleri çalışmışlardır. “Bolu ve yakın çevresinin yerbilim sorunları ve muhtemel çözümleri” çalışmalarında; söz konusu birimlerin mühendislik jeolojisi özellikleri ile yerleşim alanı olarak kullanılabilme durumlarını incelemişlerdir. Kuzey Anadolu Fayı ve buna bağlı olarak depremin yerleşim alanları üstüne etkilerini araştırmışlardır.

Kovari ve Amstad (1983), tünelcilikte göz önünde bulundurulması gereken en önemli konulardan birisi olan odaklaşma ölçümlerinin ana ilkelerini ortaya koymaya çalışmışlardır. Yeni Avusturya Tünel Yöntemi (NATM) olarak ileri sürülen yaklaşımın da temel kuramını oluşturan “bekle, ölç ve gerekli desteği uygula” konusunun temelini atmışlardır.

Serdar ve Demir (1983), Bolu, Mengen ve Devrek çevresinin petrol olanaklarını araştırmak amacı ile yapılan jeolojik çalışmada Paleozoik, Mezozoik ve Tersiyer birimlerini tanımlamışlardır. Bu çalışmada, tabanda yer alan yeşilşist fasiyesinde amfibolit, gnays ve bazik kayalardan oluşan birimi, Yedigöller Formasyonu olarak adlandırmışlardır.

Aydın ve ark (1987), “Çamdağ (Sakarya), Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi” incelemesinde, Prekambriyenin metabazik, amfibolitler ve bantlı gnayslardan oluştuğunu ve paleozoyik birimlerin iki farklı çökeltme döneminde oluştuğunu belirtmektedirler. Kumtaşları ve çamurtaşlarından oluşan Fındıcak birimlerinin Üst Kretase- Paleosen yaşlı olduğunu ve Tokmaklar formasyonu ile geçişli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Erendil ve ark (1991), Maden Tetkik Arama Enstitüsü projesi kapsamında, Bolu kütlelesinin bütününe örtü kayaları ile birlikte inceleyerek haritalamışlardır.

Kovari (1991), Kuzey Anadolu Fay kuşağında yer alan Gerede havzası suyunun tünellerle Çamlıdere barajına aktarılması projesi kapsamında çok çarpıcı teknik değerlendirmelerde bulunmuştur. Tektonik olarak aktarılan gerilmelerin üst düzeyde olduğu bu kuşakta uzun tünel açılmayacağını vurgulamıştır.

Kovari ve ark (2000), basınçlı ve akışkan özellikli ezik kuşaklarda tünel açma teknikleri üzerinde durmuş ve çözüm önerileri bulmaya çalışmıştır.

Nurlu (1993), Bolu – Sapanca gölü arasında Landsat uydu fotoğrafları üzerinde kırıkları incelemiş ve kırıkların Kuzey Anadolu Fay Kuşağı (KAFK) içerisinde iki egemen doğrultuda (K80D ve DB) yoğunlaştığını belirlemiştir. KAFK 'nın K85B olduğunu, maksimum çekme gerilmesinin K50D doğrultusunda, maksimum basınç gerilmesinin ise K40B doğrultusunda olduğunu belirtmiştir.

Dalgıç (1994), Bolu-Kaynaşlı, Asarsuyu vadisinin ve tünel çevresinin jeolojik haritasını yapmış ve bölgede yer alan birimleri; Yedigöller formasyonu, İkizoluk formasyonu, Abant karmaşığı, Elmalık graniti, Atyayla formasyonu, Bayramışlar formasyonu, Fındıcak formasyonu, Apalar formasyonu, Asarsuyu formasyonu, Kuvaterner oluşuklar olarak isimlendirmiştir.

Barka (1996), Kuzey Anadolu Fayı üzerindeki ötelemelerin alansal dağılımını 1939 – 1967 depremlerini çalışarak ortaya koymaya çalışmıştır.

Tüysüz (1999), Batı Pontit kuşağında oluşan Kretase yaşlı çökelim ortamını araştırmıştır. Çalışma alanı içerisinde yer alan en yaşlı birim olan Kretase yaşlı tortul istif de bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Bozkurt (2001), Kuzey Anadolu Fayına da yer vererek Anadolu'nun güncel tektoniği hakkında bir model oluşturmaya çalışmıştır.

Ay ve Tolluoğlu (2001), otoyolun Bolu dağı geçişindeki köprü alanlarının ayrıntılı jeolojisini ve özellikle kaya türlerini bileşimsel olarak çalışan bir çalışma yapmışlardır. 12 Kasım 1999 Kaynaşlı depreminde resmi olarak yıkılmadığı açıklanan otoyol köprülerinin aldığı hasarı fotoğraflayarak belgelemişlerdir.

Ay (2002), Kaynaşlı, Yığılca çevresinde yer alan metamorfik ve sedimanter kayaların mineralojik-petrografik, yapısal özelliklerini incelemiş ve kataklastik kuşak

haritası yapmıştır. Bu çalışmada, Bolu metamorfileri, Alt metamorfiter ve Üst metamorfiter olmak üzere iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Alt metamorfiterin; amfibolit ve amfibol-gnays, gnays, metadiyorit ve meta granit türü kayalardan, Üst metamorfiterin ise kuvarsit, meta kumtaşı, fillit-arduvaz ve rekristalize kireçtaşlarından oluştuğu belirlenmiştir.

MTA (2002), çalışma alanını da içeren bölgenin 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasını güncelleştirmişlerdir. Jeolojik birimler üyelere kadar incelenmiş ve tektonik özellikler haritalanıp raporlandırılmıştır.

Atalay (2002), Türkiye'nin çevreyle ilgili (ekolojik) bölgelerini çalışmış ve söz konusu çalışma alanı da bu kapsamda yer almıştır. Kuzey Anadolu Fay kuşağının güney eteklerinde yer alan çalışma alanı yumuşak karasal iklim içermektedir. Özellikle derin kanyonların olduğu kuzey kesimde yere özgü bitki ve hayvan topluluklarının varlığını vurgulamıştır.

Duman ve ark (2005), 1/500.000 ölçekli Zonguldak paftası üzerinde Türkiye heyelan döküm (envanteri) haritasını yapmışlardır. Bölgenin tektonik ve depremselliğinin yanı sıra jeoloji ve iklimsel özelliklerini araştırmışlardır.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışma konusunun seçiminden çalışmanın derlenip tez haline getirilmesine kadar geçen süreçte kullanılan araç ve yöntemler sırasıyla aşağıda verilen alt başlıklar altında sunulmuştur.

3.1. Materyal

Çalışma alanının bölgesel jeoloji kapsamında değerlendirilmesi amacıyla MTA (2002) tarafından hazırlanmış olan 1/500.000 ölçekli Zonguldak Genel Jeoloji Harita ve açıklamaları kullanılmıştır. Yine çalışma alanının içinde yer aldığı 1/25.000 ölçekli Zonguldak F29-d3 paftası ile daha ayrıntılı çalışmaya olanak sağlayan ve mevcut yol projesi kapsamında alımı yapılan 1/2000 ölçekli topoğrafik haritalar çalışmanın altlığını oluşturmuşlardır.

Tünel çıkış ağzında tanımlanan jeolojik birimlerin birbirleri ile olan dokunak ilişkilerini ortaya koymak ve birim mühendislik özelliklerini tanımlayabilmek amacıyla yaklaşık 7 m derinliğinde bir gözlem çukuru açılmıştır. Yine tünelde kesilecek jeolojik birimlerin mühendislik özelliklerini belirlemek ve devamlılıkları konusunda veri toplamak amacıyla çıkış ağzında: 33 m ve 35 m derinliğinde iki adet yatay sondaj kuyusu açılmıştır. Jeolojik birimlerin daha net izlenebildiği giriş ağzında ise tünel jeoteknik tasarımına kullanılabilecek jeoteknik değiştirgelerin belirlenmesine yönelik 15 m derinliğinde bir adet düşey sondaj kuyusu açılmıştır.

Sondajlardan ve arazide seçilen tanımlayıcı karot ve kaya örnekleri üzerinde; Nokta Yükleme ve Tek Eksenli Basınç deneyleri yapılarak ilgili kaya kütle sınıflamalarında gereksinim duyulan deneysel veriler elde edilmiştir. Bununla birlikte ilerleyen aşamalarda sunulacak öneri ve yaklaşımları desteklemek amacıyla ilgili kaya kütlelerinden alınan örneklerden ince kesitler hazırlanarak bunların mikroskop altında mineralojik inceleme ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çalışma alanında yapılan araştırmaların yanı sıra, elde edilen bulguların ve öne sürülen yaklaşımların desteklenmesi amacıyla Bitlis ve Van Bölgelerinde araştırma çalışmaları tamamlanmış ve bir kısmının yapımı bitmiş olan 6 farklı tünelden veriler

elde edilmiştir. Söz konusu tünellerin yer seçiminde, giriş-çıkış destek sistemlerinin oluşturulması ve tünel jeoteknik tasarımının oluşturulması aşamalarında, işin araştırmacısı ve tasarımcısı sıfatıyla, görev alınmıştır.

3.2. Metot

Tez çalışması birbirine bağımlı dört aşamada tamamlanmıştır. Bunlar sırasıyla aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Saha öncesi masa çalışması: Çalışma alanında yapılmış önceki araştırma ve tasarım çalışmalarının değerlendirilmesi,
2. Saha (gözlemsel ve sondajlı) çalışması: Gözlem çukuru ve sondaj kuyuları açılarak jeolojik birimlerin alansal yayılımlarının belirlenmesi ve birimlerin jeoteknik değiştirgelerinin bulunmasına yönelik örneklemelerinin yapılması,
3. Laboratuar çalışması: Sahadan elde edilen el örnekleri ve sondajlı araştırma kuyularından alınan karot örnekler üzerinde yapılan laboratuar deney çalışmaları,
4. Değerlendirme ve tez yazımı.

Her mühendislik projesinde olduğu gibi bu projede de maliyetleri en düşük seviyede tutacak şekilde; emniyeti yüksek, araştırma - tasarım ve yapım süresi kısa, faydalı ömrü uzun ve çevre dostu bir proje ortaya konulması temel erek olmuştur. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan proje kapsamında izlenen yöntemin temel unsurları ise aşağıdaki gibidir.

3.2.1. Maliyet

Maliyet; mühendislik projelerinin en önemli bileşenlerindedir. İlke olarak da, bir işin mühendislik olarak nitelendirilebilmesi için bakılması gereken en önemli değiştirgelerdendir. Doğru keşif çıkarmak ve bu doğrultuda ilgili yatırım için uygun zaman ve bütçe seçiminin yapılması aynı zamanda gelişmişliğin de ölçütüdür.

Bugün ülkemizin içinde olduğu ve yapımcı çıkarlarının mühendislik yaklaşımının önüne geçtiği koşullarda; maliyet unsurunun önemsizleştirilmesi ve

neredeyse yöntemin dışında bırakılması ile karşı karşıya kalınmaktadır. “Öngörülmeleyen Jeolojik koşullar!”, “Beklenmedik doğa olayı!” ve giderek yaygınlaşan; “Bozulursa yenisi yapılır!” anlayışı mühendislik ön-projelerinde jeoloji ve jeotekniğin önemini azaltmakta ve bu durum üretilen mühendislik projelerin kalitesini en aza indirmektedir. Jeoloji ve jeotekniğin amacı; zemin (toprak ve kaya) koşullarını ortaya koyarak proje aşamasında seçeneklerin değerlendirilmesi ve bu şekilde maliyet açısından en uygun olanın uygulanmasını sağlamak iken; ülkemizde bu daha çok yapımın çok geç bir aşamasında karşılaşılan bir sorunun tanım ve tarifinin yapılması için kullanılan bir araç haline gelmiştir.

Maliyet unsurunun mühendislik projelerinin oluşturulmasındaki önemi Karadeniz Sahil Yolu (KSY) projesi kapsamında karşı karşıya kalınan keşif artışları (Çizelge 3.1) incelendiğinde daha net olarak gözler önüne serilmektedir.

Çizelge 3.1. KSY kapsamında uygulanan keşif artışları (Yılmaz, 2002b)

Yolun Adı	Uzunluğu	İhale Bedeli	Keşif Artışı
	km	M\$	%
Giresun - Espiye	25	90,0	30
Espiye - Çarşıbaşı	15	0,55	140
Trabzon Şehir Geçişi	3	170	30
Çarşıbaşı - Trabzon	60	20,6	499
Araklı - İyidere	27	98,3	76
İyidere - Çayeli	33	100,6	142
Çayeli - Ardeşen - Hopa	77	218,3	134
Hopa - Sarp	22	55	593

Henüz tamamı bitirilmemiş olan Karadeniz Sahil Yolun kapsamında uygulanan ve ilgili çizelgede sunulan yüksek keşif artışları için çok çeşitli gerekçeler sunulabilmektedir. Araştırma çalışmalarının yetersiz veya mühendislik becerisinin eksik olduğu öne sürülebilir. Gerekçe büyük oranda bu olabilir. Ancak uygulanan

keşif artışlarının bu kadar yüksek olması öne sürülen gerekçeyi besleyen başka bir sorunun olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu durum; “maliyet” unsurunun üretilen mühendislik projelerinde “yöntem” olarak ele alınmamasının olumsuz sonucudur. Böylece, mühendislik ilkelerinin özellikle proje aşamasında ve kısmen yapım aşamasında uygulanmasının önüne geçilmektedir. Çalışma alanının seçilmesindeki önemli etkenlerden birisi de bu olumsuz tablonun tüm unsurlarını bir arada bulunduruyor olması ve bunların dillendirilmesi için önemli bir fırsat olarak ortaya çıkmış olmasıdır.

İhale sisteminde henüz yapılan bir değişiklik ile geçilen “götürü usulü” yöntem yüksek keşif artışlarını azaltmayı amaç edinse dahi yukarıda değinilen sorunun çözümüne önemli hiçbir katkı sağlamamaktadır. Çünkü projenin üretimi yapımcıdan bağımsız olarak gerçekleştirildiğinden yapım sırasında ortaya çıkan olumsuz jeolojik ve jeoteknik koşullarının yaratabileceği mühendislik sorunlarının sorumluluğu “Öngörülmeleyen koşullar” ve/veya “mücbir nedenler” adı altında ek maliyetler olarak işverene (devlete) yüklenmeye devam etmektedir. O halde “maliyet” unsurunun yöntem olarak kullanılabilmesi, bilimin, mühendisliğin ve üretimin kendiliğinden zorunlu hale geleceği, birçok gelişmiş ülkede uygulanan ve aşağıda özetlenen çağdaş ihale sisteminin benimsenmesi gerekmektedir.

- a. Mühendislik yapılarının standartları ve çevre etki değerlendirme ölçütleri ilgili devlet kurumu tarafından verilmelidir.
- b. Araştırma, tasarım ve yapım işleri hep birlikte ve anahtar teslimi olarak ihale edilmelidir.
- c. Sözleşmede belli bir teslimat süresi konulmalı ve belirtilen sürede bitirilmemesi durumunda her geçen gün için gecikme cezası uygulanmalıdır.
- d. Yapının faydalı ömrü süresince bakımı ve onarımı yükleniciye ait olmalıdır.

Maliyet unsurunun mühendislik tasarımının oluşturulmasında ve proje üretiminde esas yöntemlerden biri olarak ele alınması ancak bu şekilde bir sorumluluk yüklenişi ile mümkün olabilecektir. Çalışma alanında üretilen, jeolojik ve jeoteknik esaslara göre oluşturulmuş ve bu tez kapsamında önerilen mühendislik projesi ancak bu koşullarda değer görecektir ve engellenen değil aranılabilecektir.

3.2.2. Emniyet

Üretilen mühendislik projenin gerek yapım aşamasında gerekse işletme aşamasında can ve mal kayıplarına karşı tüm önlemleri alacak şekilde yönetilmesi gerekir. Bu konuda uluslararası kabul gören pek çok standart geliştirilmiştir ve bunlardan bağımsız proje üretmenin kabul görmesi mümkün değildir (Karaman ve ark, 2001).

3.2.3. Zaman

Mühendislik projelerinde zaman ölçütü en az diğerleri kadar büyük önem taşımaktadır. Zaman ölçütünün; “araştırma-tasarım ve yapım” ile “faydalı ömür” olmak üzere iki bileşeni vardır. Zaman unsuru proje üretiminde ve yönetiminde diğer mühendislik ölçütlerinden bağımsız tutulamayacağı gibi onlarla doğrudan etkileşim içerisindedir. Örneğin, bir mühendislik yapısının işletmeye açılması için geçen zaman arttıkça, ilave harcama yapılmasa dahi o yapının gerçek maliyetinde faiz nedeniyle artış kaydedilecektir.

Bu durum devlet kurumlarına yapılan hizmetlerde dikkate alınmamaktadır. Tüm maliyet hesaplamaları sözleşmenin yapıldığı tarihteki birim fiyatlar esas alınarak belirlenmektedir. Yapılan tüm harcamalarda ve yükleniciye yapılan tüm ödemelerde ülkedeki enflasyon oranlarına bağlı artış katsayıları kullanılmakla birlikte yapım toplam maliyet hesapları artışın uygulanmadığı birim fiyat değerler üzerinden yapılmakta ve yatırılan paranın işletme kayıpları dikkate alınmamaktadır. Bu şekilde; mühendislik projesinde zaman yönteminin dikkate alınmamasının maliyet açısından ne denli büyük kayıplara yol açtığı gerçeği gözden kaçırılmaktadır.

Oysa, “zaman” unsurunun mühendislik projelerinde yöntemin parçası olarak kullanılması gerekliliği temel bir “mühendislik ekonomisi” yaklaşımıdır. Bu yaklaşım gereği;

- a. Yatırılan ana para
- b. Yatırım süresi
- c. Genel giderler

- d. Faydalı ömür ve
- e. Yatırım anındaki faiz oranı

birlikte değerlendirilmeli ve bütün mali değerler yatırımın tamamlandığı zaman itibarıyla belirlenmelidir. Öyle ki, hiç enflasyonun olmaması halinde dahi bugün yatırıma dönüştürülen miktar pazar faiz oranları nedeniyle gelecekte aynı değere sahip olmayacaktır. Mühendislik ekonomisinde; “maliyetin gelecek zamana taşınması” olarak bilinen bu yöntem uyarınca bugünün yatırım değerinin gelecekteki değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$FV = PV(1 + r)^N \quad (3.1)$$

- FV : Yatırımın gelecekteki değeri
- PV : Yatırımın bugünkü değeri
- N : Yatırımın yapıldığı tarihten itibaren geçen süre
- r : Yatırımın yıllık faiz oranı

Örneğin; yıllık faiz oranının %10 olduğu bir dönemde yatırıma dönüştürülen 1000 TL ‘nin 10 yıl sonraki değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$FV = 1000 (1+0,1)^{10} = 2.593 \text{ TL.}$$

Bu yaklaşımla; 1997 yılında ihalesi yapıp sözleşmesi imzalanan Cildikısık Tüneli Geçişinin açılmasının gecikmesi ve açılmasını geciktirecek mevcut mühendislik projelerinin uygulamaya sokulması projenin mali boyutunu daha da artıracaktır. Bu çalışma kapsamında hazırlanan mühendislik projesinde ise “zaman” unsuru yöntemin önemli bir bileşeni olarak kabul edilip, çözüm üretimi o doğrultuda yapıldığından ortaya çıkarılan projenin ekonomiye katkısı o oranda yüksek olacaktır.

3.2.4. Estetik – Çevre

“Çevre Etki Değerlendirmesi” mühendislik projelerinin önemli bir diğer ölçütüdür. Rio de Janeiro (1992) ve Kyoto (1997) protokolleri ile imza altına alındığı

gibi çevre ve dolayısıyla doğa varlıklarına karşı küresel bir sorumluluk bilinci oluşmaya başlamıştır. Üretilen tüm mühendislik projeleri için ivmesi giderek artan bu sorumluluk bilincinin şekillendirici olması gerekmektedir.

Bu tez kapsamında hazırlanan ve çevresel etkilerin yöntemin bir bileşeni olarak kullanıldığı öneri Cildikısıık Tünelli Geçişli projesinde; yöreye ün katan Kastamonu kanyonlarından birinin korunabilmesi için çaba harcanmıştır. Mevcut proje kapsamında tamamının doldurulması planlanan yaklaşık 30 m derinliğindeki kanyonun tek açıklıklı bir köprü ile geçmek mümkündür. Üstelik öneri seçenek; tabanında >200 m uzunluğunda kapalı menfez yapılacak kanyon dolgusundan, çok daha elverişlidir.

Söz konusu çözümün bulunabilmiş olması elbette proje hazırlamada kullanılan yöntem ile ilgilidir. Bu yöntem çevre sorumluluğun proje hazırlanması aşamasında projeci üzerinde yaptığı baskıdır. Ve yine bu çalışma kapsamında görülmüştür ki; bu baskının kurumsal olarak hissedilmesi ve yüklenicilerin hissetmelerinin sağlanması bugün mühendislik alanında karşılaşılan sorunların çözümünde önemli yer tutacaktır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Jeolojik araştırmalar; yol bileşenlerinin belirlenmesi, konumlandırılması ve tasarımı aşamalarına ışık tutacak ve ileri araştırmalara yön verebilecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Çevrede yüzeyleyen tüm jeolojik birimler; doğal ve yapay yüzleklere yapılan gözlem, araştırma ve değerlendirmeler ışığında tanımlanmıştır. Birimlerin neden oldukları yüzey şekilleri, birbirleri ile olan istifsel ilişkileri, bölgenin tektonik kuşaktaki yeri ve bölgeye ait diğer fiziksel – fizyografik nitelikler araştırılarak çalışma kapsamında oluşturulacak tasarım ve değerlendirmelere ışık tutacak bulgular derlenmiştir. Nihayet, mevcut proje kapsamında uygulanacak yol bileşenleri ve sadece bu aşamada elde edilen bulgular doğrultusunda ortaya konulan “öneri yol bileşenleri” hakkında tanımlayıcı veriler elde edilmiştir. Derlenen bulgular ve yapılan değerlendirmeler aşağıda verilen ana başlıklar altında sunulmuştur;

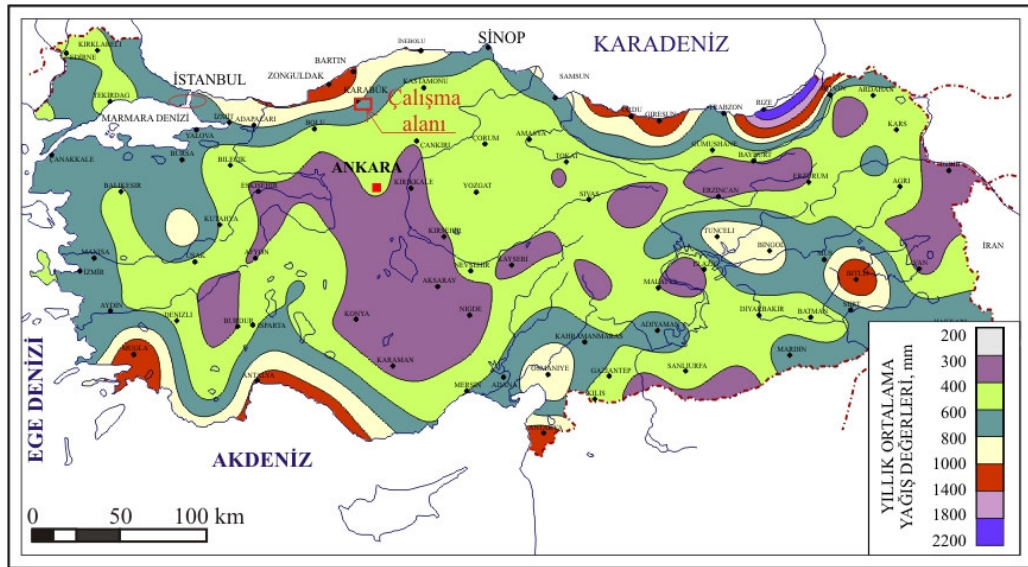
- a. İklim ve Yüzey şekilleri
- b. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi
- c. Tektonik ve Depremsellik
- d. Yapısal Jeoloji
- e. Mühendislik Jeolojisi
- f. Mevcut ve Öneri Proje doğrultusunda oluşturulacak mühendislik yapılar

4.1. İklim ve Yüzey şekilleri

Bölgenin yüzey şekillerinin oluşmasında birimlerin jeolojik özelliklerinin ve tektonik kuşaktaki konumlarının önemi olduğu kadar o bölgedeki egemen iklimsel koşullarında etkisi yüksektir. Özellikle göreceli zayıf birimler ve/veya çok sayıda süreksizlik tarafından kesilen jeolojik birimlerde; hava nem oranı, yağış miktarı, türü ve şiddeti ile yüksek ısısız değişimler bölge yüzey şekillerinin oluşmasında etkili olabilmektedir. Bu bağlamda, elde edilen bulgular iki alt başlık altında ilerleyen kısımlarda görüleceği gibi sunulmuştur.

4.1.1. İklim

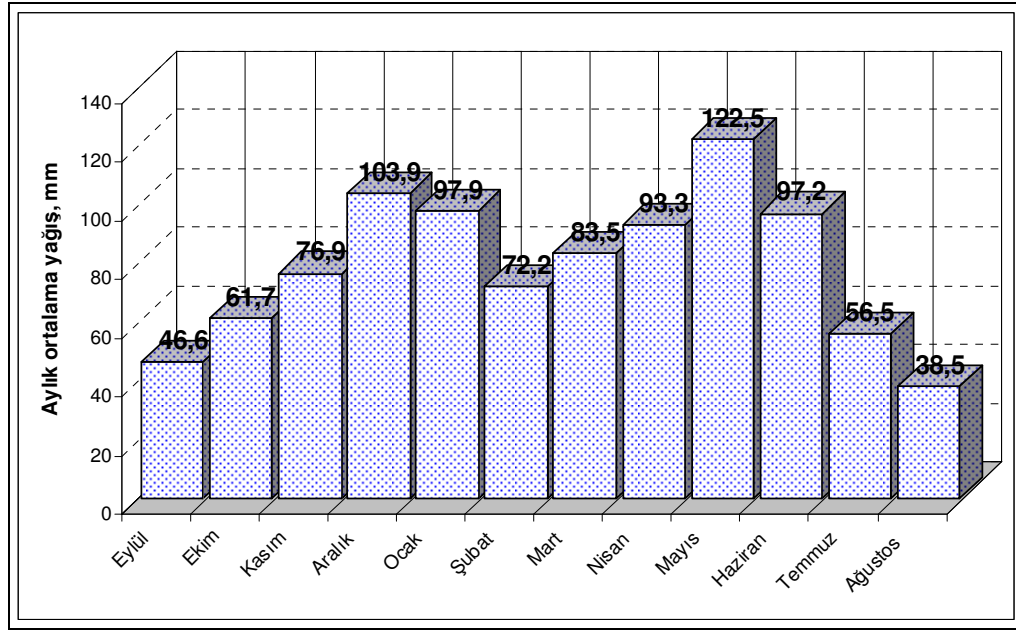
Çalışma alanında; yılın hemen her mevsiminde yağış miktarı ve nem oranının yüksek olduğu Karadeniz iklimi egemendir (Şekil 4.1). Çalışma alanını çevreleyen Yenice ve Mahmut dağları kış aylarında kar yağışı almakla birlikte çalışma alanı ve devamındaki kanyonlu vadilerde daha yumuşak kış koşulları egemendir. Bu şekilde doğal yaşam için son derece uygun ortamlar sunan bu kanyonlar önemli bir doğa varlığı olarak dikkat çekmektedir.



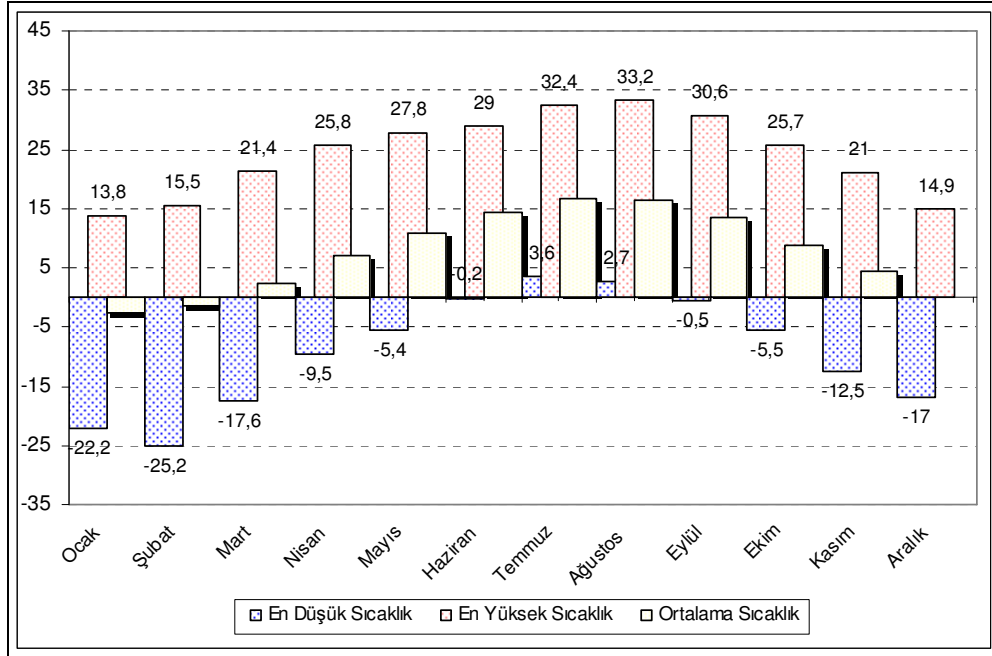
Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresinin ortalama yıllık yağış dağılımı (DMİ, 2008).

Hemen her mevsim yağışlı olan bölgedeki kaya kütlelerinde her dönem sızıntı ve/veya nem şeklinde su çıkışlarını görmek olasıdır. Filyos Çayı vadisi içinde yaklaşık 250 m kotunda kurulmuş olan Karabük Meteoroloji Ölçüm istasyonundan alınan aylık yağış dağılımı verileri Şekil 4.2 'de sunulmaktadır. Diğer taraftan çalışma alanının 200 m daha yüksek kotlarda yer alıyor olması nedeniyle gerçek yağış değerlerinin burada sunulan ortalama değerlerden daha yüksek olacağı göz önünde bulundurulmalıdır (Yılmaz ve Çongar 1994a; Yılmaz ve Yılmaz, 1997).

Yıllık ortalama yağış değerinin 951 mm olduğu çalışma alanının yine meteorolojik verilere göre aylık sıcaklık değişimi Şekil 4.3 'de sunulduğu gibidir. Buna göre; ortalama sıcaklığın (Tort) 12.2 C oluğu çalışma alanında ölçülen en yüksek sıcaklık (Tey) ve en düşük sıcaklık (Ted) sırasıyla 35,8 ve -4,7 C'dir.



Şekil 4.2. Eylül'den başlayarak 12 ayın ortalama yağış değerleri.



Şekil 4.3. Ocaktan başlayarak 12 ayın ortalama sıcaklık değerleri.

Kastamonu DSİ 23. Bölge Müdürlüğü ve Meteoroloji verilerine göre bölge; Türkiye ortalamasının iki katı yağış almaktadır. Jeoteknik tasarımda önemli veri sunabilecek iklimsel ve hidrojeolojik veriler Çizelge 4.1 'de sunulduğu gibi özetlenebilir.

Çizelge 4.1. Bölge su kaynakları gizilgücü (DSİ, 2008)

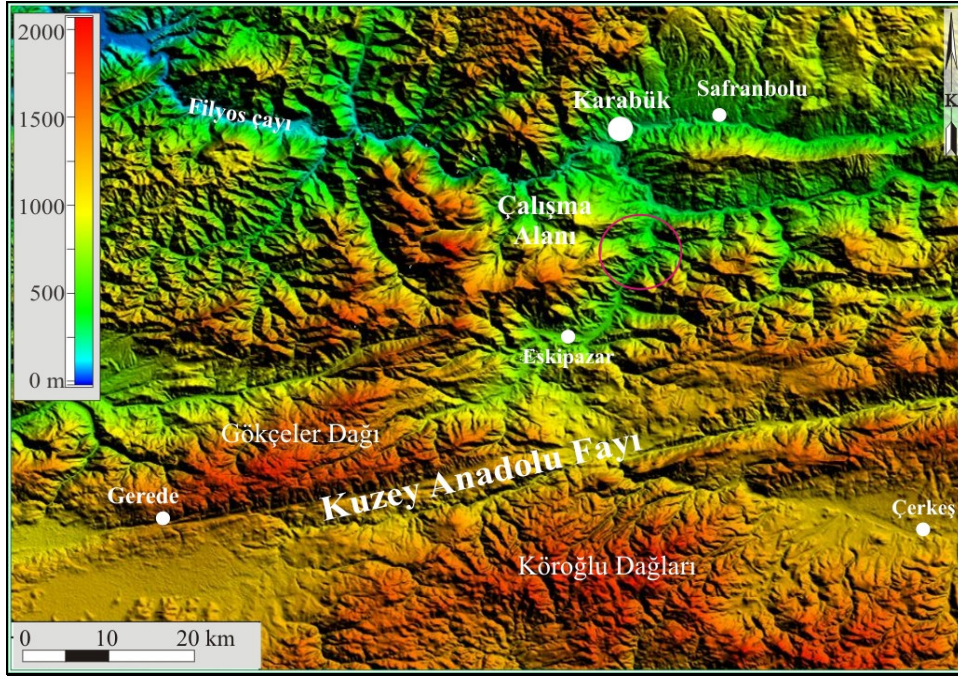
Değişirge	Değer	Birim
Yüzölçümü	4 069	km ²
Yıllık Ortalama Yağış	951	mm
Toplam Su Potansiyeli	1 883	hm ³ /yıl
Yıllık Ortalama Sıcaklık	12,2	°C
En Yüksek Sıcaklık	35,8	°C
En Düşük Sıcaklık	-4,7	°C
Ortalama Nispi Nem	71,5	%
En Düşük Nispi Nem	24	%
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	90	gün
Ortalama Rüzgar Hızı	1,6	Bofor
En Hızlı Rüzgarın Yönü ve Hızı	8	SW Bofor

4.1.2. Yüzey Şekilleri

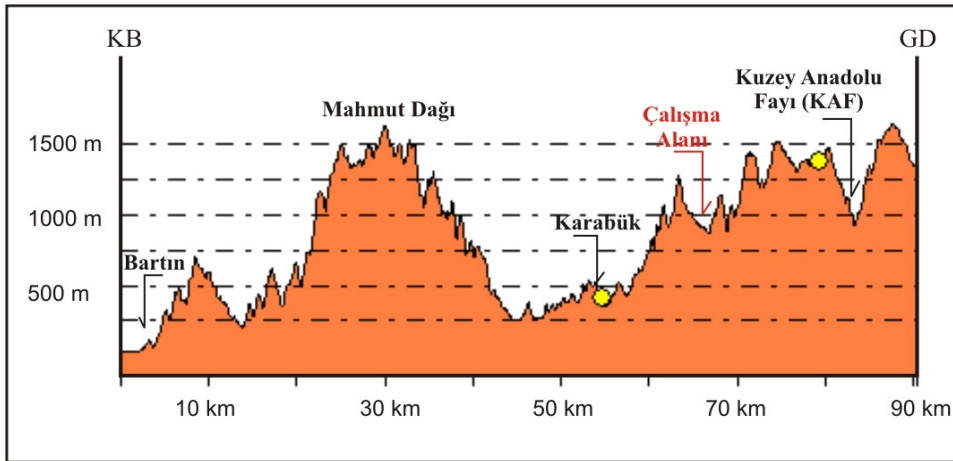
Çalışma alanı Batı Karadeniz bölgesinde yer almaktadır ve genel olarak yüksek dağlar ile çevrilidir (Şekil 4.4). Bolu Dağ Silsilesinin doğu ucunu oluşturan bölgenin sınırı; güneyde Gökçeler dağı, kuzeyde ise Aladağ ile çizilmektedir. Bu dağlar arasında kalan ve yer yer düşey yamaçlı derin kanyonlu geçişlere yerini bırakan vadinin ortasında Eskipazar Çayı akmaktadır.

Çalışma alanındaki yüksek dağlar ve engebeli yüzey şekli bölge tektonik yapısı ve jeolojik birimlerin fiziksel özellikleri denetiminde gelişmiştir. Bölge, Neotetis okyanusunun kapanma izi olarak bilinen, geniş yayılımı ve etkin durumu ile tüm bölgedeki yüzey şekillerinin oluşmasında belirleyici olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) yakınında yer almaktadır. Fayın çizgiselliği ve yüzey şekilleri üzerindeki etkisi Şekil 4.4 üzerinde açıkça görülebilmektedir. Fayın ezik kuşaklar şeklinde evrimleştirdiği bölge yüzey şekli; bundan daha az etkilenen dayanımlı kaya kütlelerinin oluşturduğu yükseltiler ile engebeli görünüm kazanmıştır. Özellikle dayanımlı - yüksek dayanımlı aralığında izlenen bölge kireçtaşlarındaki etkin süreksizlik düzlemlerinin (genellikle tabaka düzlemleridir) yamaç-ıçeri ve yamaç-dik olduğu kesimlerde yüksek uçurumlar izlenmektedir.

Bölgede egemen olan genel yüzey şekilleri; Karadeniz ile Kuzey Anadolu Fayı arasından alınan ve çalışma alanının da içinde kaldığı bir enkesit ile Şekil 4.5 'de gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.4. Çalışma alanı ve çevresinin yüzey şekli ve yapısal özellikleri.



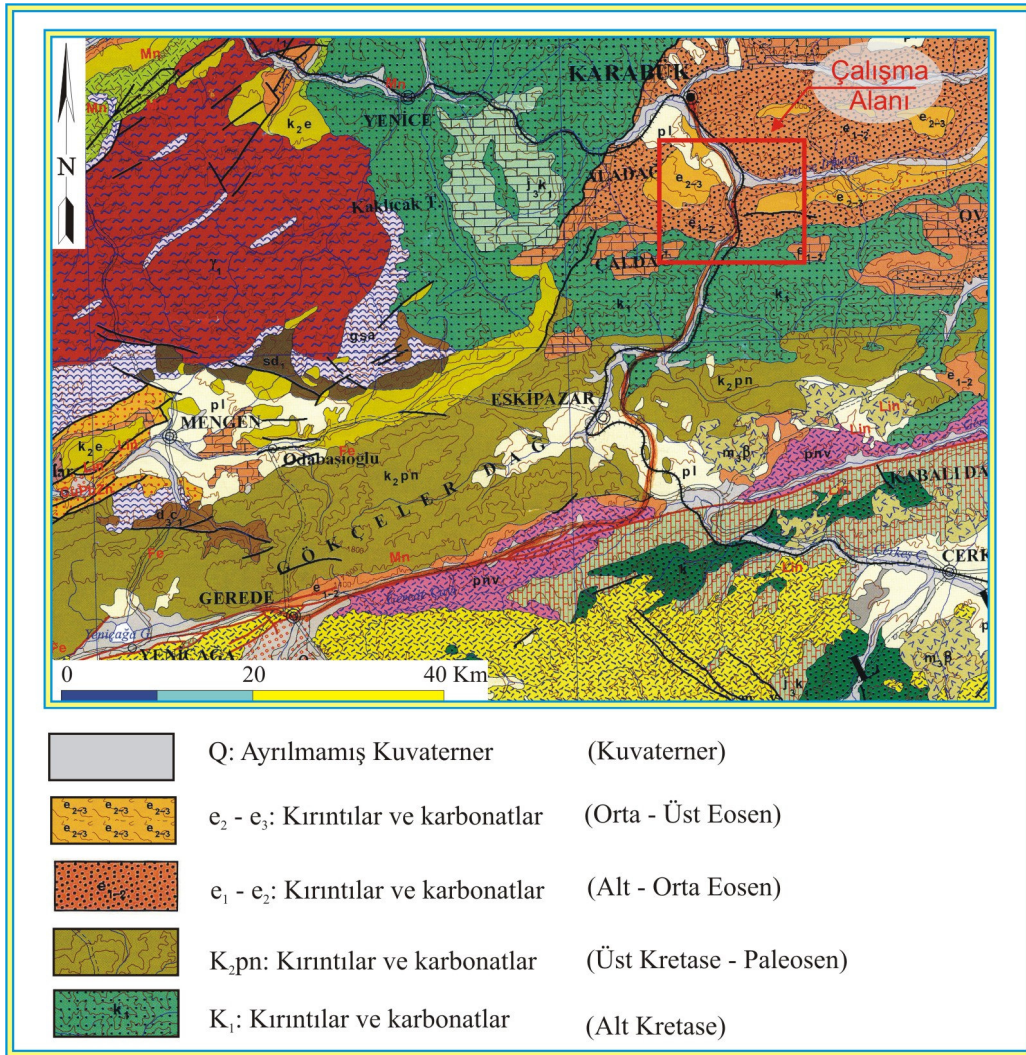
Şekil 4.5. Bölge yüzey şekli (Karadeniz – KAF arası enkesit).

4.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Bölgenin genel jeoloji çalışmaları MTA tarafından 1997 yılında yayınlanan 1/500.000 ölçekli Zonguldak Paftası (Şekil 4.6) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Ayrıntıları, çalışma sahasında yapılan jeolojik araştırma ve incelemeler sonucunda belirlenen çalışma alanı ve yakın bölgesine ait jeoloji Şekil 4.7 'de sunulan genelleştirilmiş dikme kesitte gösterilmeye çalışılmıştır.

Çalışma alanında daha ayrıntılı tanımlanan jeolojik birimlerin rapor içinde izlenmesini kolaylaştırmak adına MTA tarafından kullanılan farklı bir simge dizisi kullanılmıştır. Bunlar ile ilgili tanım ve açıklamalar dikme kesitte sunulduğu gibidir.



Şekil 4.6. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası (MTA, 2002).

ZAMAN ÇAĞ	PERİYOT	ALT PERİYOT	ÇAĞ	ÖNERİ BELİRTE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
FANEROZOYİK (pN)	SENOZOYİK (Gz)	NEOJEN	Kuvaterner (Q)	Holosen	Qy	Yapay dolgu (Qy): Genellikle denetimli sıkı-çok sıkı yol dolgusu ve yer yer de denetimsiz dolgu alanlarıdır.
					Qa	Akarsu çökeli (Qa): Genellikle kumlu - çakıllı tortullar egemendir. Yüzeyle gevşek olup artan derinlikle çok sıkıya değişim gösterir.
					Qm	Moloz (Qm): Yamaç molozu olup genellikle kristalin ve/veya mineral çimentolu kayalardan türemiştir. Yamaç aşağı çökelim eğimli katmanlaşma sunar. Köşeli çakıl ve kum ana bileşendir. Çoğunlukla sıkı özellik taşır.
					Qg	Güncel örtü (Qg): Ayırtlanamayan güncel örtü "Qg" olarak haritalanmıştır. Genellikle organik içerikli olup zemin türü MH-ML olarak izlenir. Türediği birime göre mineral ve fiziksel özellikleri değişim gösterir. Genel olarak tane tutturmalı birimlerin üzerindeki gevşeyen kısım veya o birimden türeyen malzemenin yamaç eteklerinde oluşmuştur. Yumuşak - az katı özelliktedir.
	PALEOJEN	Tersiyer	Eosen	Pliyosen	Plt	Pliyosen yaşlı tortul istif (Plt): Miyosen sonrası Kuzey Anadolu'da dağlar arası çukurluklar gelişen karasal ve göl çökelim ortamları ürünüdür. Göl ve/veya sığ deniz çökelim ortamlarında oluşan kesimlerinde katmanlaşma belirgindir. Çökelim ortamı kenarlarında ise belirgin değildir. Kütleli görünüm sunar. Genellikle aşırı zayıf dayanımlı kaya niteliğindedir. Aşırı zayıf dayanımlıdan iyi tutturulmuş orta dayanımlıya değişen; çakıl, kumtaşı ve miltaşı gibi farklı litolojik seviyeler içermektedir. Dayanım özellikleri tane boyu ve karbonat bileşeninin oranına göre değişmektedir. Orta-yüksek dayanımlı kalkarenit seviyeleri çökelim ortamını besleyen birimlerin kalkerli olduğu yerlerde gözlenmektedir. Katmanlaşma eğimi; çökeli m ortamı taban eğiminin ve güncel tektoniğin etkisinde genellikle kuzeye ve güneye doğrudur.
					Ek	Eosen yaşlı kalkerli istif (Ek): Kretase yerleşim yaşlı karmaşığın oluşturduğu sıradağ kuşağının önünde oluşan denizel ortamda oluşmuştur. Doğal olarak çökelim ortamının derin yerlerinde Et'den oluşan taban çökel kayarının üzerine uyumlu ve tortul geçişli olarak gelir. Ancak çökelim ortamının tepelik bölümlerinde; resifal kireçtaşları, fosilli kireçtaşları veya kalkerli çamurtaşı olarak yaşlı birimleri açısız uyumsuzlukla üzerler. Burada Kt üzerine doğrudan açısız uyumsuzlukla geldiği yerler gözlenmektedir. Tabaka eğim açıları 15 - 25 derece arasında değişmektedir. Çalışma alanında kuzeydoğuya eğimlidirler. Et'ye tortul geçişli olarak üzerlerken yer yer de (çökelim ortamının tepelik kesimlerinde ise doğrudan Kt'yi açısız uyumsuzlukla üzerler. Yapısal ve tektonik dokunak bölgelerinde yüksek eğim yaygındır.
					Et	Eosen yaşlı tortul istif (Et): Kretase yerleşim yaşlı karmaşığın oluşturduğu sıradağ kuşağının önünde oluşan denizel ortamda oluşmuş taban çökel kayalarıdır. Kırıntılı ve tane tutturmalı zayıf-aşırı zayıf çamurtaşı, çakıl, kumtaşı ve kumtaşıdan oluşur. Tabaka eğim açıları 15 - 25 derece arasında değişmektedir. Çalışma alanında kuzeydoğuya eğimlidirler. Kt'yi açısız uyumsuzlukla üzerler. Yapısal ve tektonik dokunak bölgelerinde yüksek eğim yaygındır.
					Kt	Kretase yerleşim yaşlı renkli karmaşığın yarattığı çökelim ortamı tortulları (Kt): Üst Kretase karmaşığının oluşumu sonrasında filişel tortul çökel ortamına geçiş sağlanır. Tektonik olarak etkinliğini azaltmış ancak, yitirmemiş bir çökelim ortamıdır. Bu bağlamda çok ince katmanların egemen olduğu birimde tektonik olarak enerji seviyesinin yükseldiği dönemlerde kalın tabakalı seviyelerinde oluştuğu ve bu dönüşüm çok sık izlendiği bir ortamda oluşmuştur. İçerisinde ters faylarında oluştuğu birim içerisinde tabaka eğim açısı 90°'ye kadar çıktığı gözlenmektedir.
	MEZOZOİK (Mz)	KRETASE	Üst Kretase	Karmaşık (Tektonik ve tektonotortul)	Kk	Kretase yerleşim yaşlı renkli (offiyolitik) karmaşık (Kk): Derin deniz kabağına ait ultrabazik kayalar (Kkg) ve büyük ölçekli kireçtaşı tekttaşları (olistoliths) bu karmaşığın ana bileşenlerindedir. Çalışma alanında tektonik karmaşık olarak görünmesine karşın daha kuzey doğusunda tortul karmaşık yüzleklerine de rastlanmaktadır. Karmaşık içinde yer alan kristalize kireçtaşlarının özellikle Triyas karmaşığına (Trk) ait tekttaşlar (Kkk) oldukları bilinmektedir. Genellikle orta dayanımlıdır. Süreksizlikleri, faylar dışında kesintilidir.

Şekil 4.7. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti.

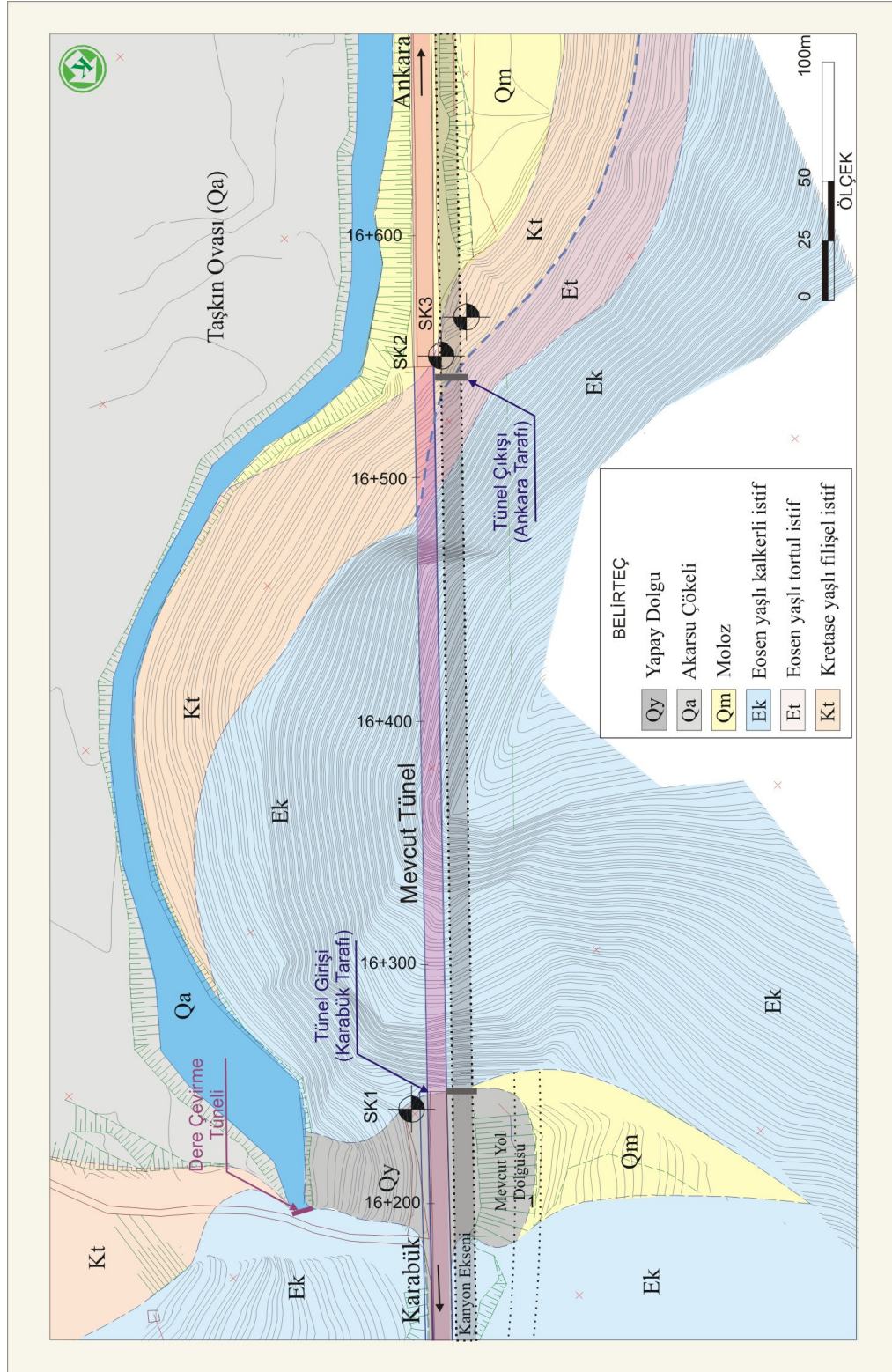
Çalışma alanında ve özellikle projelendirilen tünelli geçişte ayrıntılı olarak hazırlanan genel jeoloji haritası ise Şekil 4.8 'de sunulmuştur. Dikme kesitte tanımları yapılan jeolojik birimler bu harita üzerinde kısaltmalar ile temsil edilmiştir ve birimlerin plandaki ilişkileri gösterilmeye çalışılmıştır. Mevcut tünelin de gösterildiği haritada tünel çıkışında yer alan jeolojik birim ilişkileri dikkat çekicidir. Bu ilişki aynı zamanda çalışma alanın tez konusu olarak seçilmesindeki önemli etkenlerdendir. Haritadan görülebileceği gibi; Eosen yaşlı tortul istifin zayıf dayanımlı taban tortullarının (Et) alansal yayılımı tünel çıkışında etkilidir. Tünelcilik açısından elverişsiz özellik sunan bu birimin istifteki durumu ve diğer jeolojik birimler ile dokunak ilişkisi ise Şekil 4.9 'da gösterilmeye çalışılmıştır.

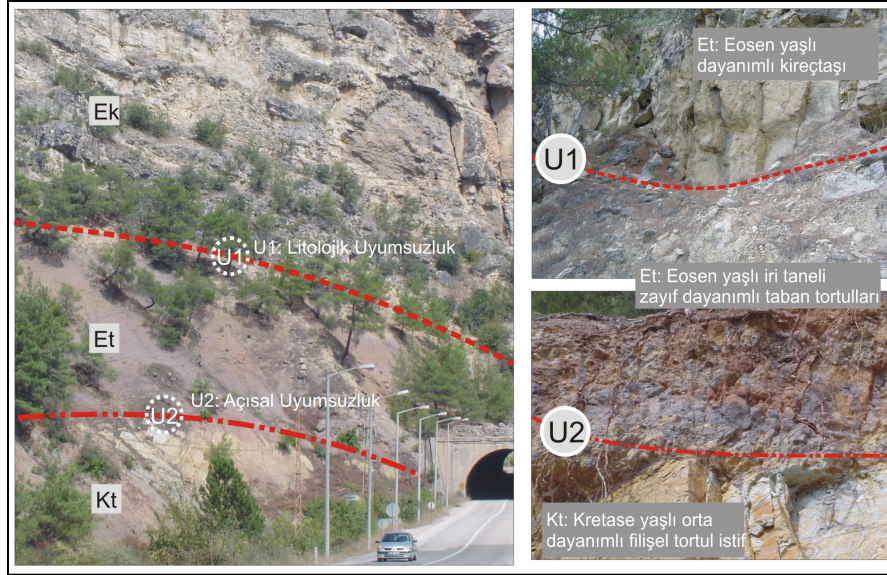
4.3. Tektonik ve Depremsellik

Çalışma alanın tektonik tarihçesi ve içinde yer aldığı tektonik kuşak ile ilgili bilgiler MTA (2002) tarafından hazırlanmış olan 1/500.000 ölçekli pafta çalışmaları dikkate alınarak belirlenmiştir.

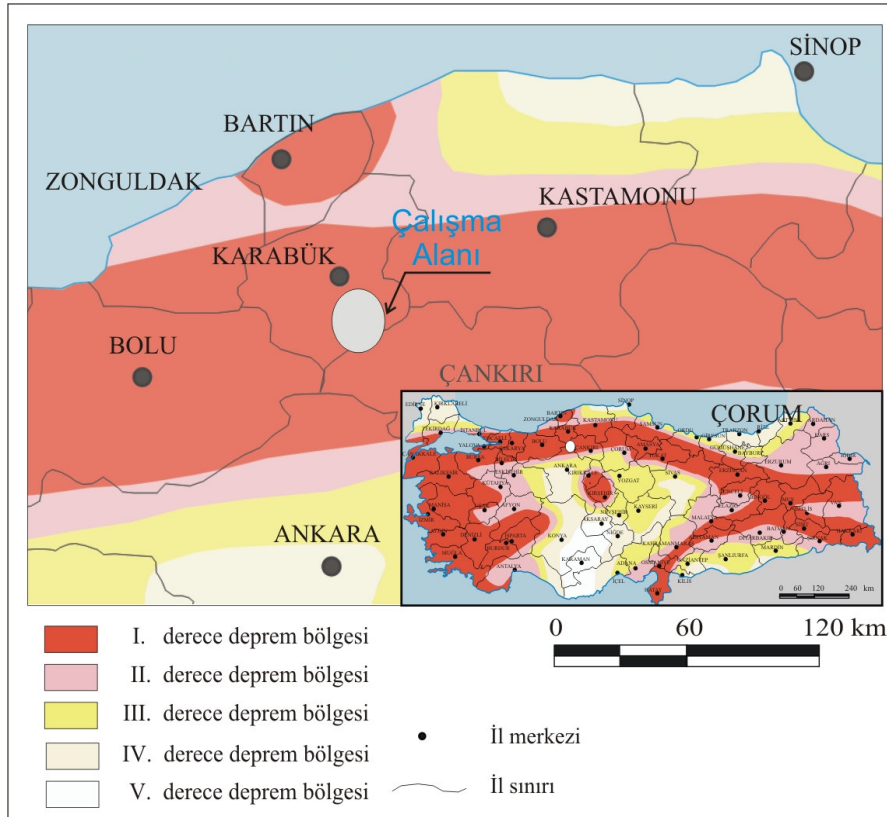
Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay kuşağında yer almaktadır. Bölge; depremsellik açısından, Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1996 yılında yayınlanan ve ülkemizdeki mühendislik uygulamalarında başvuru alan 'Türkiye Deprem Risk Haritası' verilerine göre, I. Derecede Deprem Kuşağı içerisindedir (Şekil 4.10). Buna göre; gerçekleştirilecek jeoteknik tasarımlarda, deprem ivme katsayısı (a) sanat yapıları için 0.4g ve toprak işleri için 0.2g kullanılmalıdır.

KAF kuşağı içinde yer alan bölge depremler açısından etkindir . Kayıt altına alınmış çok sayıda deprem mevcuttur. Bunlardan son yüzyıl içerisinde gerçekleşen ve yıkıcı etkileri ile kayıtlara geçen bazı önemli depremler Şekil 4.11 ve Çizelge 4.2 'de sunulmuştur.

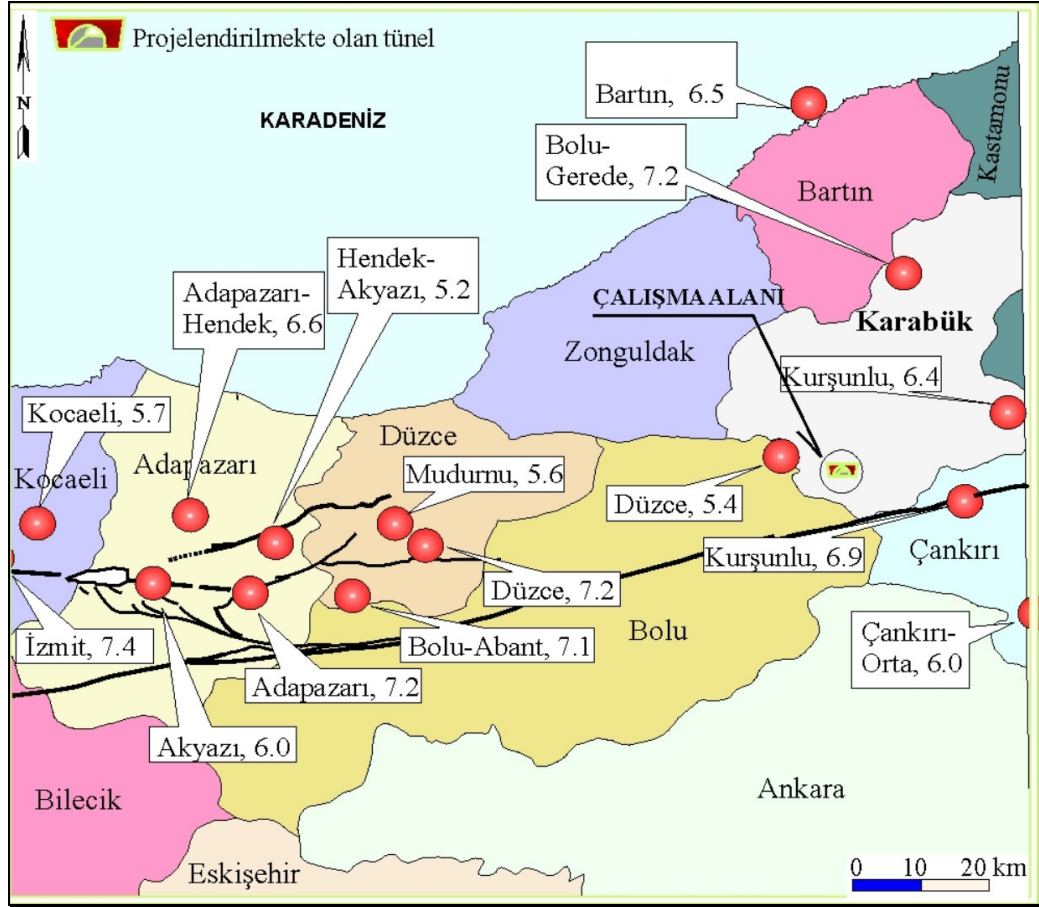




Şekil 4.9. Çalışma alanındaki jeolojik birim istifsel ilişkileri (Tünel Çıkış Ağzı).



Şekil 4.10. Çalışma alanı ve çevresinin depremselliği (AİGM, 1996).



Şekil 4.11. Çalışma alanında son yüzyılda gerçekleşmiş hasar yaratan depremler.

Çizelge 4.2. Çalışma alanında hasar yaratan son yüzyıl depremleri (KRDAE, 2008)

Yer	Büy.	Tarih	Enlem	Boylam	Ölü	Yaralı	Ağır Hasarlı	Derin.	Şiddet
İzmit	7,2	22.07.1967	40,67	30,69	89	235	5569	33	IX
Adapazarı-Hendek	6,6	20.06.1943	40,85	30,51	336	-	2240	10	IX
Akyazı	6	30.07.1967	40,7	30,4	2	40	-	18	-
Amasra-Bartın	6,5	03.09.1968	41,81	32,39	29	231	2073	5	VIII
Bolu-Abant	7,1	26.05.1957	40,67	31	52	100	4201	10	IX
Bolu-Gerede	7,2	01.02.1944	41,41	32,69	3959	-	20865	10	IX-X
Çankırı-Orta	6,1	06.06.2000	40,63	33,03	-	-	-	10	-
Düzce	5,4	10.02.1944	41	32,3	-	-	900	10	-
Düzce	Mw=7.2	12.11.1999	40,79	31,21	845	4948	15389	11	IX
Hendek-Akyazı	Md=5.2	23.09.2000	40,79	30,76	-	-	-	5	-
Kocaeli	Mw=7.4	17.08.1999	40,7	29,91	15000	32000	50000	20	IX
Kocaeli	Md=5.7	13.09.1999	40,8	30,03	-	-	-	5	-
Kursunlu	6,9	13.08.1951	40,88	32,87	52	208	3354	10	IX
Kursunlu	6,4	07.09.1953	41,09	33,01	2	-	230	40	VIII
Mudurnu	5,6	05.04.1944	40,84	31,12	30	-	900	10	-

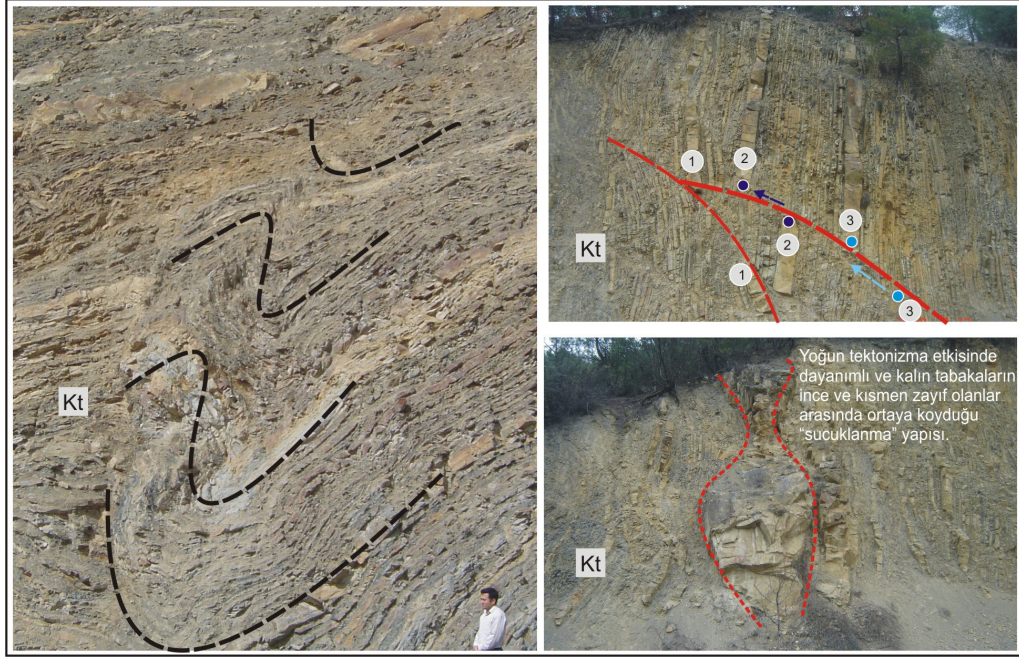
4.4. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı içerisinde gözlenen en belirgin yapısal öğeler; tektonizma etkisinde gelişmiş değişik şiddette kıvrımlanmalar ve faylar ile farklı çökelim ortamlarına ve enerji seviyelerine işaret eden jeolojik uyumsuzluk yüzeyleridir. Bu öğeler; yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibi sıralanabilir.

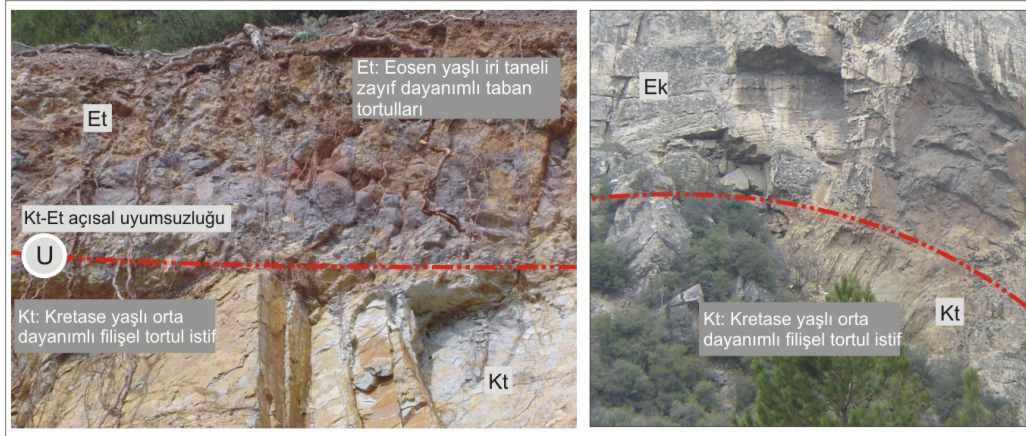
- Kt içerisindeki ters faylar ile sık ve sıkı kıvrımlanmalar (Şekil 4.12),
- Kt ile Et arasındaki açılma uyumsuzluk yüzeyi (Şekil 4.13). Soldaki şekilde görüldüğü üzere iri taneli ve zayıf dayanımlı Et taban tortulları Kt üzerine açılma uyumsuzluk ile yerleşmektedir. Hemen üzerine ise istifin normal

devamlılığı içerisinde Ek killi kireçtaşları ve dayanımlı kireçtaşı seviyeleri gelmektedir. Diğer taraftan sağdaki şekilde Kt doğrudan Ek kireçtaşları tarafından üzerlenmektedir ve geçiş tabakası olan Et taban çakılkayası izlenmemektedir. Bu durum çökelim ortamının yüzey şekilleri ile doğrudan ilişkilidir ve Eosen deniz tabanındaki yükselti ve alçaltıların tipik bir göstergesidir. Derin deniz çukurlarında çökelebilen çakılkaya enerji seviyesinin çok düşük olduğu bitişik yükseltiiler üzerinde yerini killi kireçtaşı ve kireçtaşlarına bırakmaktadır. Böylece taban kayası ile yapılan dokunakta konuma göre farklı tabaka seviyeleri izlenebilmektedir.

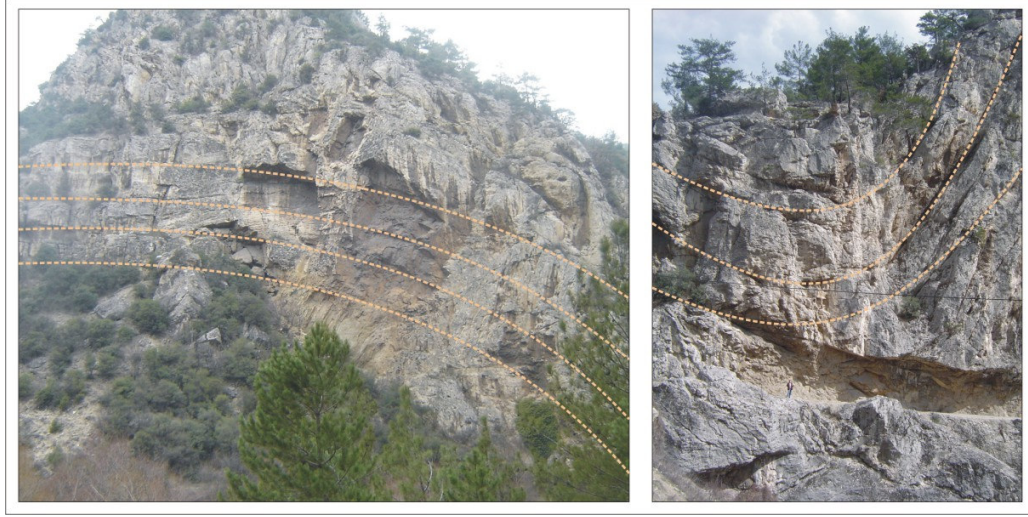
- c. Eosen yaşlı tortulların (Et-Ek) içerisinde gözlenen geniş kıvrımlanmalar (Şekil 4.14). Eosen yaşlı tortul birimler içerisinde gelişen kıvrımlanmalar daha çok kalın tabakalı ve dayanımlı kireçtaşı tabakalarında belirgindir. Kıvrım genişliğinin yüksek olduğu birimde ileri derecede faylanmalar söz konusu değildir. Birim içerisindeki su hareketi kireçtaşının özelliği gereği CaCO_3 çözülmesine ve yüzeye çıktığı kesimlerde yeniden çökmesine neden olmaktadır. Bu şekilde açık kireçtaşı yüzeylerinin çoğu zaman ince bir kireç tabakası ile örtülü olması nedeniyle birim içindeki yapısal unsurların izlenmesi güçleşmektedir. Diğer taraftan, bölgedeki genel durum dikkate alındığında yukarıdaki fotoğraflarda sunulan kıvrımlanmaların tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.
- d. Plt ile Et arasında izlenen açısız uyumsuzluk (Şekil 4.15).



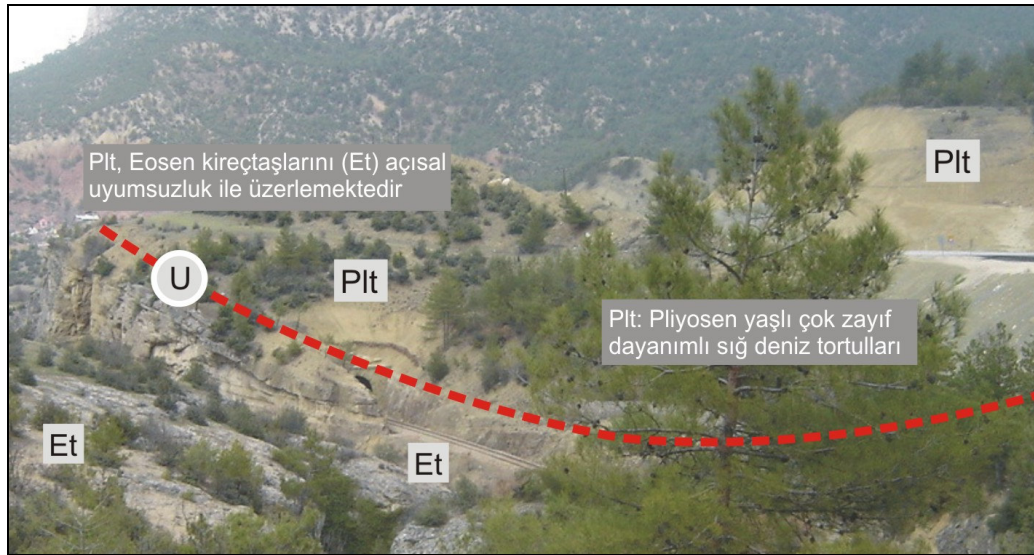
Şekil 4.12. Kt içerisinde izlenen kıvrım ve kırılmalar.



Şekil 4.13. Kt ile Et arasında izlenen açısız uyumsuzluk.



Şekil 4.14. Et içerisinde gelişmiş geniş kıvrımlanmalar.



Şekil 4.15. Plt ile Et arasında izlenen açısız uyumsuzluk.

4.5. Mühendislik Jeolojisi

Mühendislik jeolojisi kapsamında öncelikli olarak araştırılması gereken Su-Süreksizlik-Kil ilişkisi; jeoteknik problemlerin tanımlanması ve çözümlenmesi

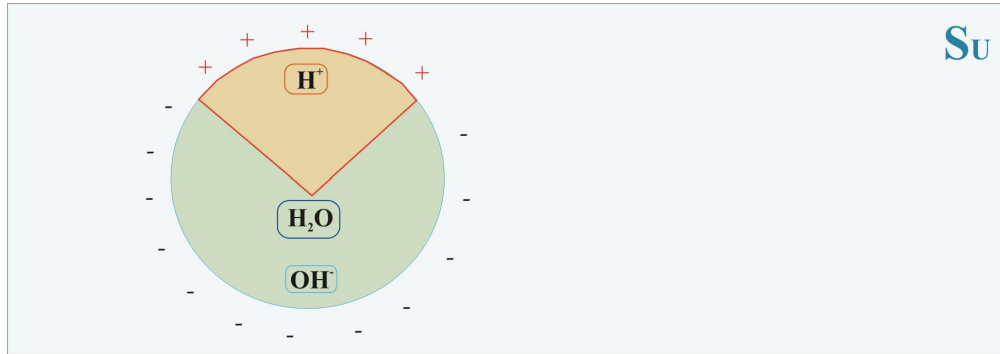
aşamalarında başvurulacak önemli bileşenlerdendir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular bu ilişki doğrultusunda değerlendirilerek konu;

- a. Su-Süreksizlik-Kil ilişkisi
 - b. Duraysız alanlar ve
 - c. Mühendislik jeolojisi verileri
- olmak üzere üç alt başlık altında sunulacaktır.

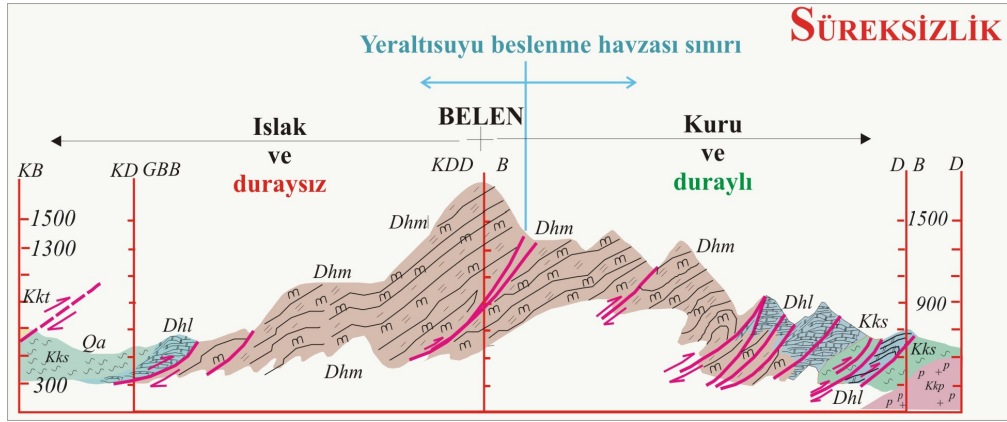
4.5.1. Su – Süreksizlik ve Kil İlişkisi

Jeoteknik sorunların ana nedeni olarak kabul edilen su – süreksizlik – kil ilişkisi özellikle yol gibi çizgisel mühendislik yapı alanlarının seçiminde ayrıntılı olarak araştırılması gereken önemli bir mühendislik jeolojisi verisidir (Yılmaz ve ark, 1999a; 2003). Bu temel yaklaşım doğrultusunda;

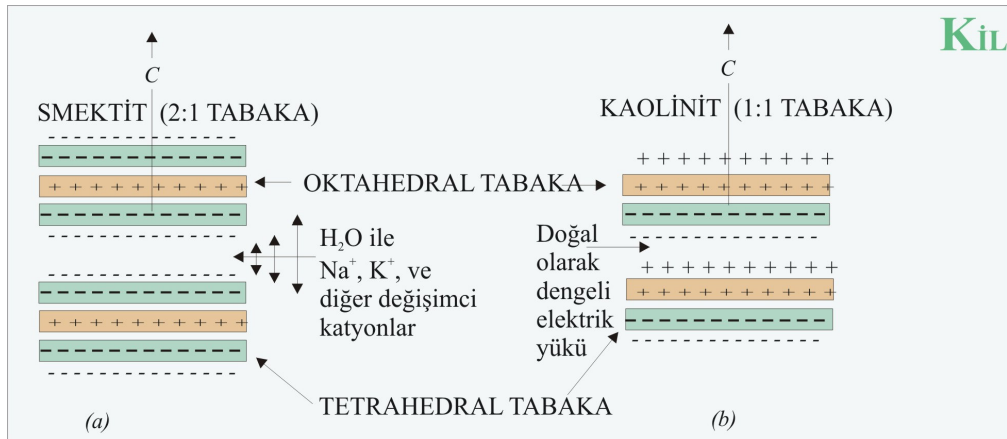
1. Su molekülü iki kutupludur ve ortam elektrik yüküne göre tercihli kimyasal bağ oluşturabilirler (Şekil 4.16).
2. Süreksizlikler yeraltı suyunun devinimini denetler. Su hareketi egemen süreksizlik boyunca gerçekleşir. Buna göre suyun hareketi yamaç yüzey eğiminden çok egemen süreksizlik eğim yönü etkisindedir (Şekil 4.17). Şekilden anlaşılabilceği üzere süreksizliklerin yamaç-dışarı eğimli olduğu batı yakası yeraltı suyu açısından zengindir ve duraysız alanlar bu kısımda kümeleşmektedir. Doğu yaka ise daha yüksek eğimli doğal yamaçlara sahiptir ve duraysızlık sorunu içermemektedir.
3. Özellikle montmorillonit (smektit) grubu killeri; suyun tercihli kimyasal bağ yeteneğinden ötürü çok sayıda su molekülü çekerler (Şekil 4.18). Ortamdaki su molekülü sayısının artışıyla birim kayma dayanımı $[\tau (kN / m^2) = c + \sigma'_n \tan \phi]$ sifıra yaklaşır (Hunt, 1986).



Şekil 4.16. Su molekülünün çizgisel enkesiti (Yilmazer ve ark, 2007).



Şekil 4.17. Tek yönlü yapılar içeren bakışsız bir dağın çizgisel enkesiti.



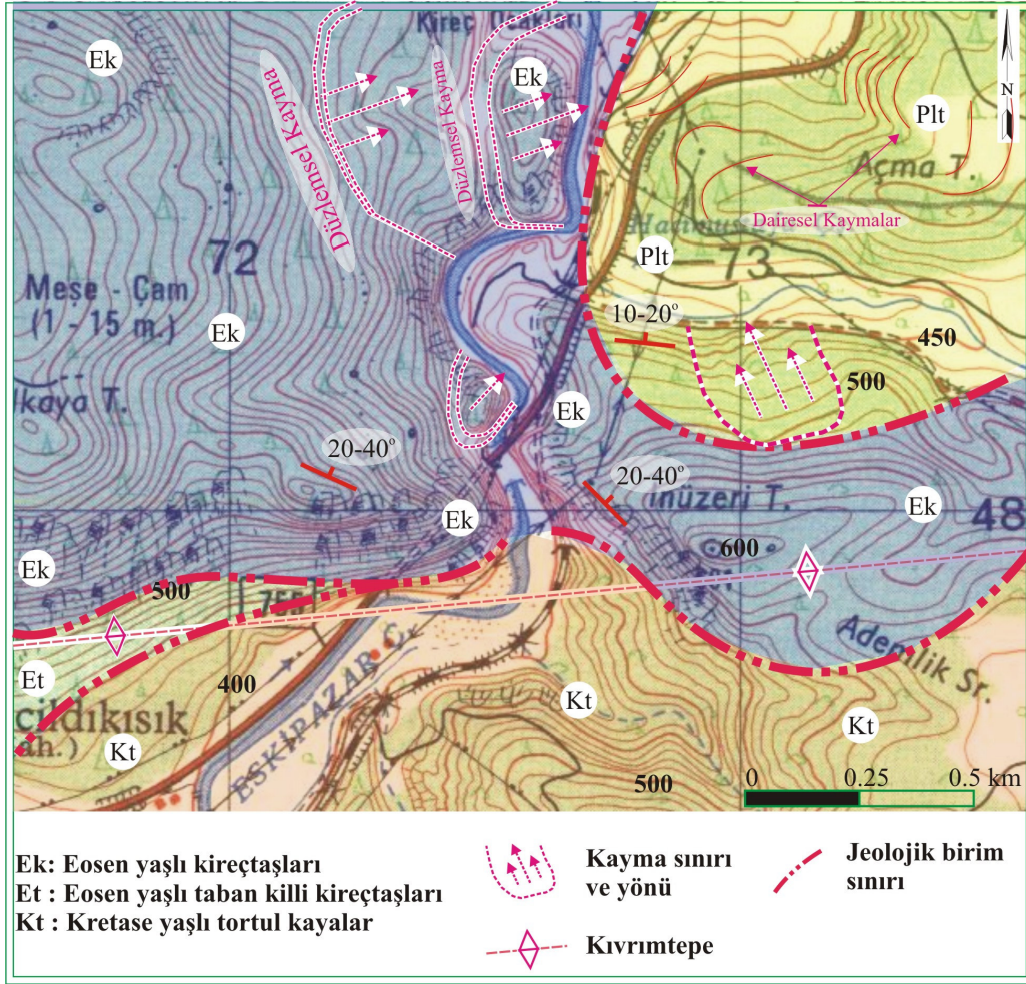
Şekil 4.18. Katyon değişimi açısından iki tipik kil minerali (Yilmazer ve ark, 2007).

4.5.2. Duraysız Alanlar

Cildikısıık Tünelli Geçişinde mevcut yapıları etkileyen önemli bir duraysızlık sorunu gözlenmemektedir. Diğer taraftan çalışma alanında; genel olarak Pliyosen yaşlı tortul istif (Plt) içerisinde, gelişmiş küçük/orta ölçekli güncel duraysızlıklar ile Eosen yaşlı tortul istif içerisinde buzul çağı (*Wisconsin Çağı: MÖ: 40.000 – 10.000*) sonrasındaki erime döneminde oluştuğu düşünülen, büyük ölçekli duraysızlık izleriyle karşılaşmıştır. Bunları, 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerindeki “eşyükselti eğrilerinin içbükey duruşları” ve “derelerin ötelenmesi yöntemi” (Yılmaz ve ark, 2001b; Akduman, 2003) kullanarak takip etmek mümkündür (Şekil 4.19). Ayrıntıları aşağıda verilen bu yöntem uyarınca belirlenen duraysızlık alanları yerinde araştırılarak, duraysızlıkların oluşum mekanizmaları hakkında veriler toplanmıştır. Bunlar, öneri tünelli geçişteki sanat yapıları ve özellikle tünel konumunun belirlenmesinde önemli rol oynamıştır.

Eşyükselti eğrilerinin içbükey duruşları ve derelerin ötelenmesi yöntemi ile tipik bir kayma geometrisinin topoğrafik haritada belirlenmesinin ana ilkeleri aşağıdaki gibi sunulmuştur.

1. Birbirlerine içbükey iki eşyükselti takımı gözlenir.
2. Kayma sahasının tepe yukarı bölümünde ve topuk kesiminde yamaç eğimi göreceli olarak yüksektir.
3. Kayma sahasının orta kısmında eğim yataya yakındır. Küçük ölçekli de olsa kayma gölleri veya ıslak alanlar gözlenebilir.
4. Genellikle topuk kısmında yer alan bir dere ve bu derenin ardışık kaymalarla ötelenmesi gözlenebilmektedir.
5. Kayma sahalaları toprak ve su açısından zengin olduğundan genellikle tarım amaçlı kullanımda izlenebilirler.
6. Yamaç-içeri konum içeren ana süreksizliklerin olduğu yamaçlar göreceli olarak daha yüksek eğimlidir. Yamaç-dışarı eğimli kesimlerde ise yamaç eğimi düşüktür ve duraysız alanları göstermektedir.

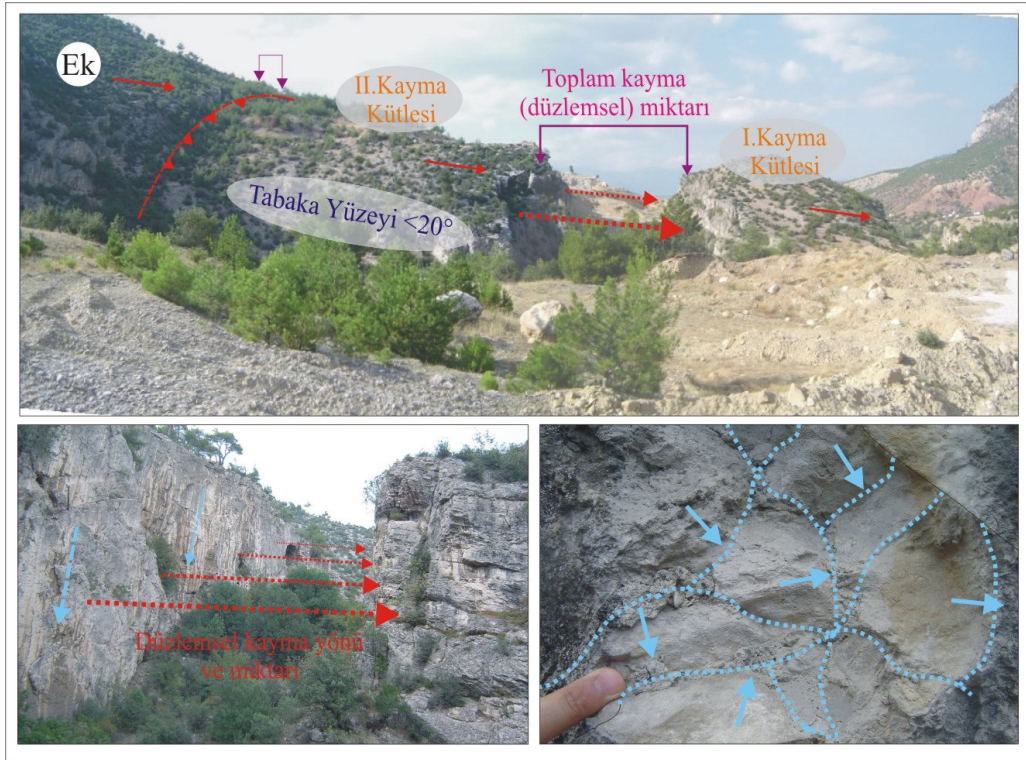


Şekil 4.19. Çalışma alanındaki duraysızlıkların 1/25.000 ölçekli haritada görünümü.

Özellikle kütleli görünümü ve dayanımlı kireçtaşları (Ek) içerisinde gelişmiş büyük ölçekli eski kaymalar çalışma alanındaki en dikkat çekici duraysızlıklardır (Şekil 4.20). Şekilden de izlenebileceği gibi; Egemen süreksizlik sistemi olan tabaka üzerinde gerçekleşen büyük ölçekli kaymalar Su-Süreksizlik ve Kil etkisinde $<20^\circ$ eğimde gerçekleşmiştir. Sol alttaki şekil su hareketinin tabakalar tarafından denetlendiğini göstermektedir. Tabakalardan sızan CaCO_3 içerikli sular eğim yukarısındaki tabaka yüzeylerini tamamen kaplamıştır. Düşen blok tarafında su çıkışı olmadığından yüzey örtülmemiş ve tüm katman sistemi izlenebilmiştir. Sağ alttaki şekilde; eğim aşağı yöndeki Et yüzeylerinde süreksizlikler boyunca çıkan suların

kaya kütlelerini süreksizlikler boyunca 'yeniden çimentolama' işlemine devam ettiği görülebilmektedir.

Bunların ayrıntılı incelenmesi ve oluşum mekanizmalarının araştırılması ile önerilen tünelli geçiş tasarımında kullanılacak önemli bulgulara ulaşılmıştır. Buna göre; söz konusu kaymalar Ek birimi içinde değil Ek biriminin üzerlediği daha zayıf dayanımlı ve kil içeriği yüksek Et tabakaları üzerinde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla duraysızlık oluşum mekanizması Su - Süreksizlik - Kil yöntemi ile birebir açıklanabilmektedir. Egemen süreksizlik sistemi olan tabakalanma yüzeyi kayma yüzeyinin kendisi olmuştur.



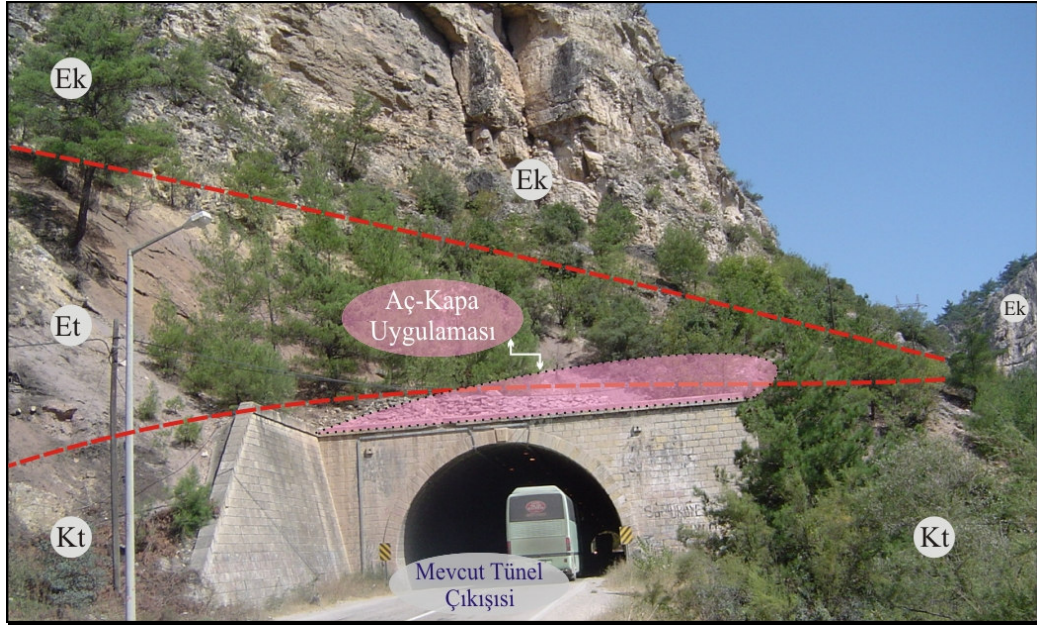
Şekil 4.20. Son buzul çağı sonrasına ait büyük ölçekli Et kaymaları.

Tabaka içinde kil içeriğinin yüksek olması ve üstteki geçirimli ($K > 10^{-4}$ m/s) kireçtaşı seviyelerinden (Ek) gelen suyun geçirimsiz ($K > 10^{-8}$ m/s) killi Et tabakalar tarafından tutularak hapsedilmesi sonucunda Su - Süreksizlik - Kil üçlüsü

tamamlanmıştır. Jeolojik tanımı doğrultusunda Eosen tortullarının bir parçası olan ve bu şekilde kaya kütlesi olarak değerlendirilmesi gereken birim; suyun ve içerisindeki kilin etkisinde son derece zayıf toprak zemin davranışı sergilemiştir. Kayma dayanımı en aza inen bu “Ek” – “Et” dokunağının hemen topukta yer alan Eskipazar Çayının sürekli aşındırma etkisi ile kaymaya neden olduğu ortaya konulmuştur. Yine KAF kuşağına çok yakın olunmasının bu denli büyük kaymaların oluşumunda önemli rol oynamış olduğu da düşünülebilir. Ancak bu durum daha çok ana mekanizmayı tetikleyici özelliktedir ve asıl nedenin Su - Süreksizlik - Kil ilişkisi olduğunun vurgulanmasında yarar görülmektedir.

Bu kaymaların varlığı ve oluşum mekanizmasının belirlenmesi; çalışma kapsamında tasarımı yapılacak olan tünel geçişinin mühendislik jeolojisi modelinin hazırlanmasına büyük katkı sağlamıştır. Böylece, tünel jeoteknik tasarımında esas alınacak jeolojik koşulların öngörülmesi ve projenin bu öngörü doğrultusunda şekillendirilmesi mümkün olmuştur. Buna göre; mevcut tünel giriş-çıkışlarında net olarak izlenememekle birlikte, dayanımlı kireçtaşı seviyeleri altında zayıf dayanımlı ve kil içeriği yüksek bir tortul seviye vardır. Bu seviye; Eosen yaşlı tortulların taban çakılkayası ile bunları üzerleyen kil tabakaları ve killi kireçtaşlarıdır. Birim; tünel tavanında ve özellikle kuzey yan duvarında önemli duraysızlık sorunlarına yol açacak ve/veya ileri destek sistemlerinin uygulanmasına neden olabilecektir.

Bu öngörüye destekler nitelikte olması açısından mevcut tünelin çıkış ağzında uygulanmış olan yapım yöntemi dikkat çekicidir. Tamamına yakınının dayanımlı kireçtaşı tabakaları içerisinde kaldığı düşünülen tünelin çıkış ağzında bir kaç 10 metre boyunca aç-kapa yöntemi uygulanmıştır (Şekil 4.21). Bu durum; yapımı 1955 yılında tamamlanan mevcut yol tünelinin bu kesimde kendini tutamayacak kadar zayıf bir birim içerisinde ilerlemiş olabileceğinin önemli bir göstergesidir. Daha sonrasında açılan derin gözlem çukurlarında söz konusu zayıf seviyeye ait Eosen yaşlı taban çakılkayası tespit edilmiştir. Birim, yeni açılacak tünelin mevcut ile aynı kotta olması halinde önemli bir kısmının bu birim içerisinde kalacağı görülmüştür.



Şekil 4.21. İlk kısımlarında Aç-Kapa yöntemi uygulanan mevcut karayolu tüneli.

4.5.3. Mühendislik Jeolojisi Verileri

Çalışma alanında; ani topoğrafik yükselim gösteren kireçtaşlarının hakim olduğu tünel eksenini boyunca sondajlı ve/veya jeofizik araştırma yapılma olanağı bulunamamıştır. Bununla birlikte, mevcut kaya kütle değerlendirme sistemleri çerçevesinde, tünel jeoteknik tasarımını oluşturmak üzere gereksinim duyulan tek eksenli basınç dayanımı ve RQD değerlerin elde edilebilmesi amacıyla; eksen boyunca kesilecek birimleri temsil edecek şekilde 3 adet sondajlı araştırma kuyusu açılmıştır (Ek – I).

Bunlardan, SK1 olarak adlandırılan, ilki tünel girişinde mevcut yol kenarında yüzlek veren ve eksenin önemli bir bölümünün içerisinde kaldığı “Ek” birimine ait kireçtaşı içerisinde açılmıştır. Ayrışma derecesi düşük olarak kaydedilen birimden tanımlayıcı karot örnekleri alınmıştır (Ek – II).

Tünel çıkışında açılan SK2 ve SK3 sondajları, jeoteknik anlamda sorunlu olacağı öngörülen çıkış portalı yapılarının jeoteknik tasarımında kullanılmak üzere gereksinim duyulan verilerin elde edilebilmesini amaçlamıştır. Sondajlar, “Kt”

olarak adlandırılan, fişel istifteki egemen süreksizlik sistemi olan tabakalanmaya dik olacak şekilde yataydan belli bir açı ile açılmıştır. Fişel istifin doğası gereği tabakalanmaya dik açılan sondajdan >10 cm olan tam çaplı karot alınmasında güçlük yaşanmıştır. Tabaka kalınlıklarının yer yer 1 cm mertebesine kadar düşmesi ve tabaka açıklıklarının sert mineral dolgulu olmaması bu sonucun nedenleri arasında sayılabilir. Buna göre; dayanım değerleri yüksek olarak belirlenen birimden elde edilen RQD değeri %0 ile 40 arasında değişkenlik göstermiştir.

Elde edilebilen karot örnekler, kaya kütle sınıflandırma sisteminde kullanılmak üzere, kayanın tek eksenli basınç dayanımı değerinin belirlenmesi amacıyla laboratuara nakledilmiştir. İlerdeki bölümlerde yapılacak kaya kütle sınıflandırmalarında ve jeoteknik tasarım analizlerinde kullanılacak olan söz konusu kaya dayanım değıştirgeleri Şekil 4.22'de sunulduğu gibidir.

4.6. Mühendislik Yapıları

Yukarıda değinilen çalışmalar sonucunda; sadece bu aşamada elde edilen ön bulgulara dayanarak, ilgili dar-geçitte uygulanabilecek en uygun mühendislik yapılarının tanımını yapmak mümkün olabilmektedir. Önceki bölümlerde ayrıntıları verilen tüm mühendislik ilke ve yaklaşımlarda göz önünde bulundurularak, öneri proje kapsamında tariflenen yol bileşenleri ve bunların alternatifi olarak uygulama aşamasına gelinmiş olan mevcut proje yol bileşenlerinin tanım ve açıklamaları aşağıda sunulduğu gibi alt başlıklar ile özetlenebilir.

PROJE ADI / PROJECT NAME : Karabük - Eski Pazar - 4. Bölge Hıdıdu Yolu, Ciddikışık Tüneli

LABORATUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARI (Kaya) / RESULTS OF LABORATORY TESTS (Rock)

Kuyu / AÇ No	Numune No	Derinlik Depth		Su (Nem) İçerdiği Moisture content	Doğal birim hacim ağırlığı Bulk Density	Kuru birim hacim ağırlığı Dry Density	Özgül ağırlık Specific gravity	Boşluk Oranı Poisson Ratio	Su Emme Water Absorption	Porozite Porosity	Tak Eksenli Basınc Dayanımı Unconfined Comp. Strength	Nokta Yük Day. Denevi Point Load Strength Test	Üç Eksenli Basınc Dayanımı Triaxial Comp. Strength	Elastisite Modülü Elastic Modulus	Poisson's Ratio	C	φ	°	Petrografiik Analiz Petrographic Analysis	Schmidt çekiç Schmidt Hammer	Seyk Dayanımılık Stake durability	%10 uflanma değeri 10 % fines	# 200'den geçen % Passing # 200 %	Sodyum sülfat sağlamlık Sodium sulph. soundness	Notlar Remarks		
		from	m, ye to																								
SK-1	RC	12.18	12.32	1.03	2.65	2.62	420.35																				
SK-1	RC	13.45	13.60	1.24	2.67	2.64	308.10																				
SK-1	RC	13.60	13.77	1.01	2.66	2.63	399.52																				
SK-1	RC	13.80	14.00	0.96	2.69	2.67	759.59																				
SK-2	RC	7.00	7.17	0.99	2.43	2.40	253.10																				
SK-2	RC	13.60	13.75	1.19	2.52	2.49	297.99																				
SK-2	RC	17.00	17.15	1.02	2.48	2.45	139.47																				
SK-2	RC	19.75	19.95	0.83	2.50	2.47	170.03																				
SK-2	RC	26.62	26.76	0.72	2.51	2.49	196.60																				
SK-3	RC	7.85	8.00	1.24	2.51	2.48	334.91																				
SK-3	RC	11.10	11.27	0.74	2.52	2.50	644.09																				
SK-3	RC	11.48	11.61	0.67	2.50	2.48	701.82																				
SK-3	RC	24.53	24.71	1.45	2.49	2.45	226.32																				
SK-3	RC	27.00	27.13	1.24	2.50	2.47	249.66																				

ACIKLAMALAR:

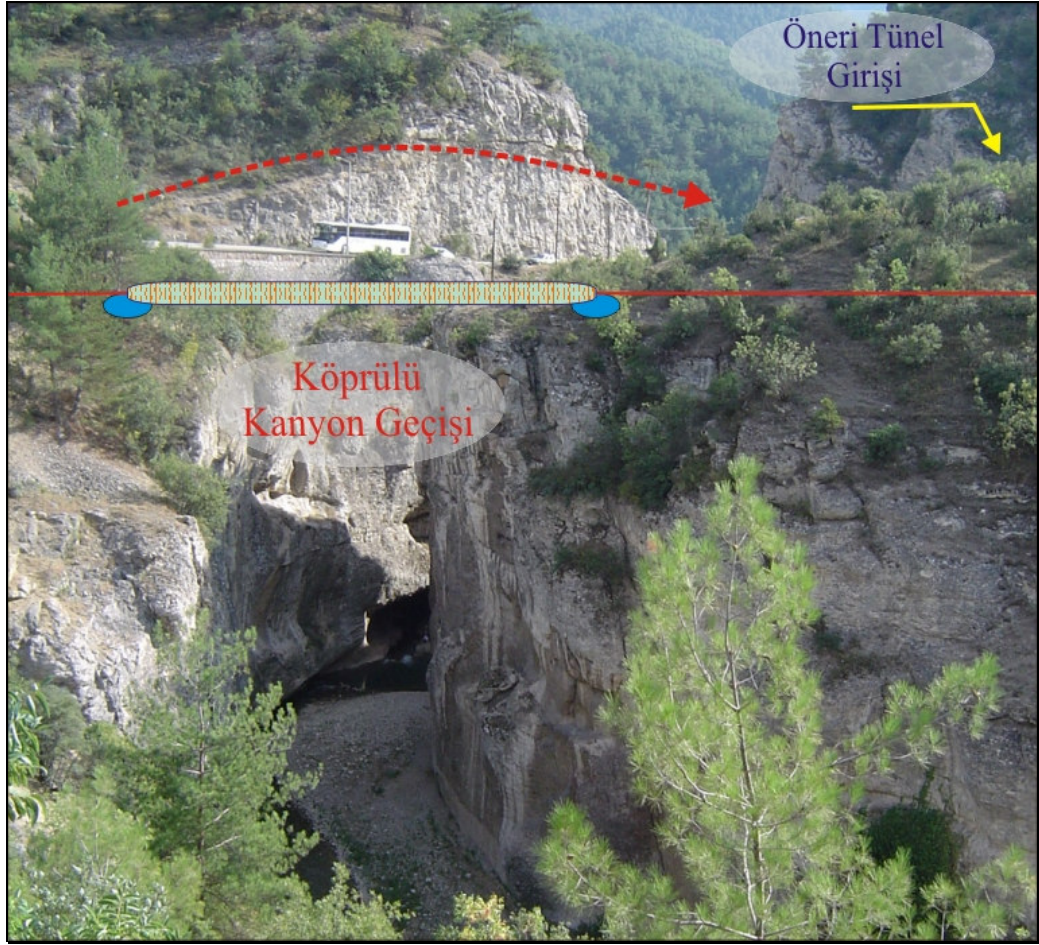
Şekil 4.22. "Ek" birimi sondajlı araştırma veri kütüğü.

4.6.1. Tünel Giriş Öncesi Büyük Kanyon Geçişi

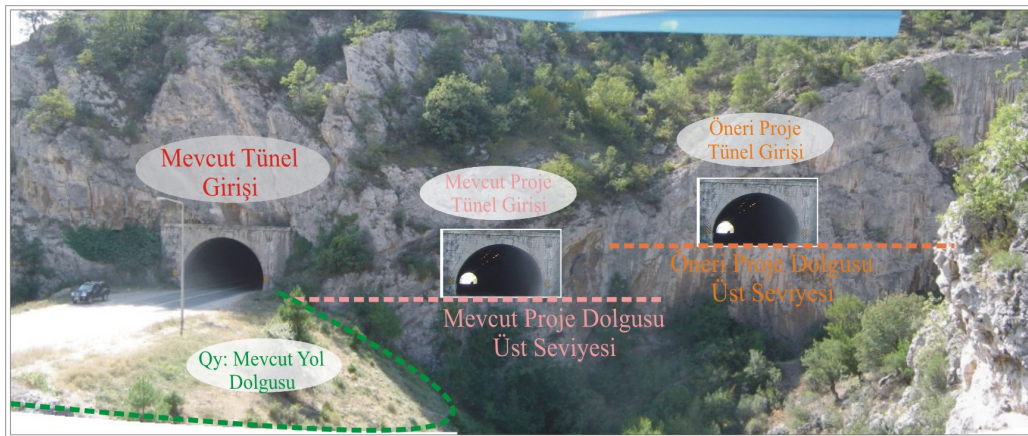
Yapılan ön çalışmalar doğrultusunda “Ek” olarak adlandırılan ve orta kaliteli/dayanımlı kireçtaşlarından oluşan jeolojik birimin taban oluşturduğu kanyonlu geçişin; tek açıklıklı 20m uzunluğunda bir köprü ile kat edilmesi en uygun mühendislik çözüm olarak ortaya konulmuştur (Şekil 4.23).

Buna göre, oluşturulan öneri proje kapsamında, tünel giriş ağzı; kilometre artış yönüne göre, yaklaşık 30.0 m sola kaydırılarak, tünel yaklaşımı; kanyona paralel ancak kanyonun dışında “Ek” birimi üzerinden sağlanacaktır (Şekil 4.24). Kanyonun dirsek yaptığı ve yol eksenini dik olarak kestiği kısa mesafeli geçiş ise tek açıklıklı bir köprü ile geçilerek (bkz. Şekil 4.23) doğa ile bütünleşik, ekonomik ve estetik bir mühendislik tasarımı gerçekleştirilmiş olacaktır. Öneri kanyon köprüsünün kenar ayakları dayanımlı kireçtaşı üzerine oturacağından taşıma gücü, oturma ve/veya devrilme açısından hiçbir jeoteknik sorun ile karşılaşılacaktır.

Mevcut projede ise; yol ekseni kanyonun ekseni ile çakışmaktadır ve mevcut tünel girişinin hemen yanında yer alan yeni tünel girişinin yaklaşım yolu; kanyonun tamamen doldurulması ile oluşturulacaktır. Kanyonun içinde akışını sürdüren Eskipazar Çayı ise; yaklaşık 200 m uzunluğunda, en az 15.0 m² kesit alanına sahip, kapalı beton menfez ile oluşturulacak dolgunun tabanında akıtılacaktır. Sadece menfezin uygulama zorluğu ve getireceği yapım maliyeti bile önerilen projenin uygun bir mühendislik yaklaşımla oluşturulmadığı izlenimini yaratmaktadır.



Şekil 4.23. Tünel Girişinden önce yer alan köprülü kanyon geçişi.



Şekil 4.24. Tünel Girişi ve giriş ağız ulaşım dolgusu.

4.6.2. Tünel Girişi Ulaşım Dolgusu

Tünel girişinde şuanda bir kısmı mevcut yol dolgusu ile dolu eski dere dirseği ile kanyonlu geçiş arasındaki boşlukta en çok 50 m uzunluğunda ve yaklaşık 25 m yüksekliğinde yeni bir dolgulu geçiş oluşturulacaktır. Mevcut projede ise yüksekliği daha az olmakla birlikte çok daha uzun bir dolgu oluşturulması gerekecektir. Daha önemlisi oluşturulacak yaklaşık 200 m uzunluğundaki bu dolgunun tamamı derin kanyonunu (Şekil 4.25) doldurarak ilerleyecektir. Bir önceki alt bölümde de değinildiği üzere; Kanyon içinde akışını sürdüren Eskipazar Çayı bu dolgu tabanında kapalı beton menfez içine alınacaktır.



Şekil 4.25. Tünel Girişinde yer alan kanyondan görünüm.

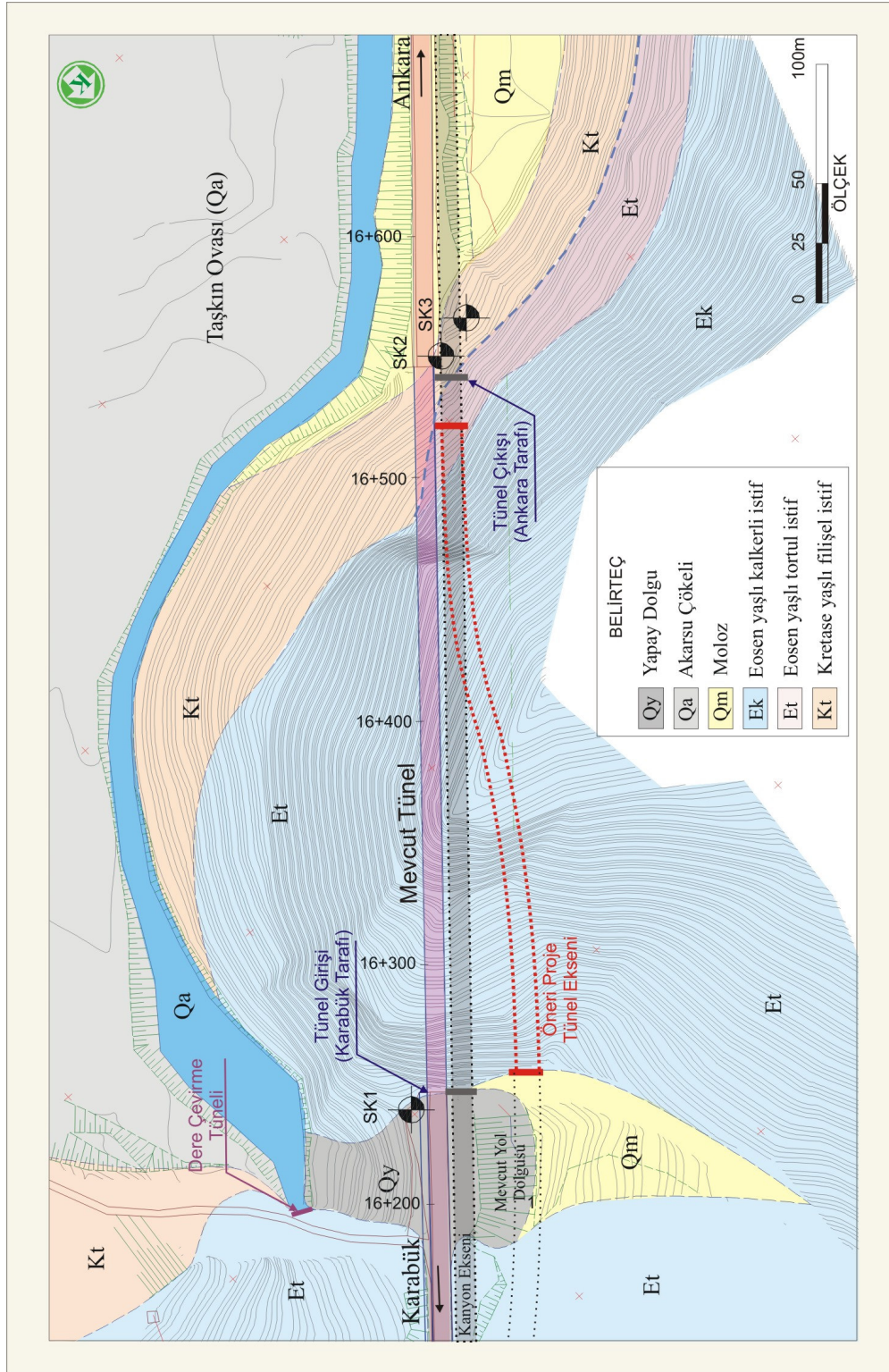
4.6.3. Tünel Yapısı

Bölünmüş yol yapımı kapsamında gereksinim duyulan tünel; mevcut yol tünelinin yanına tek tüp olarak inşa edilecektir. Kilometre artış yönüne göre mevcut tünelin sağında kalan yeni tüp; yaklaşık 300 m uzunluğundadır ve ortalama 100 metre üzerinde et kalınlığına sahip olacaktır.

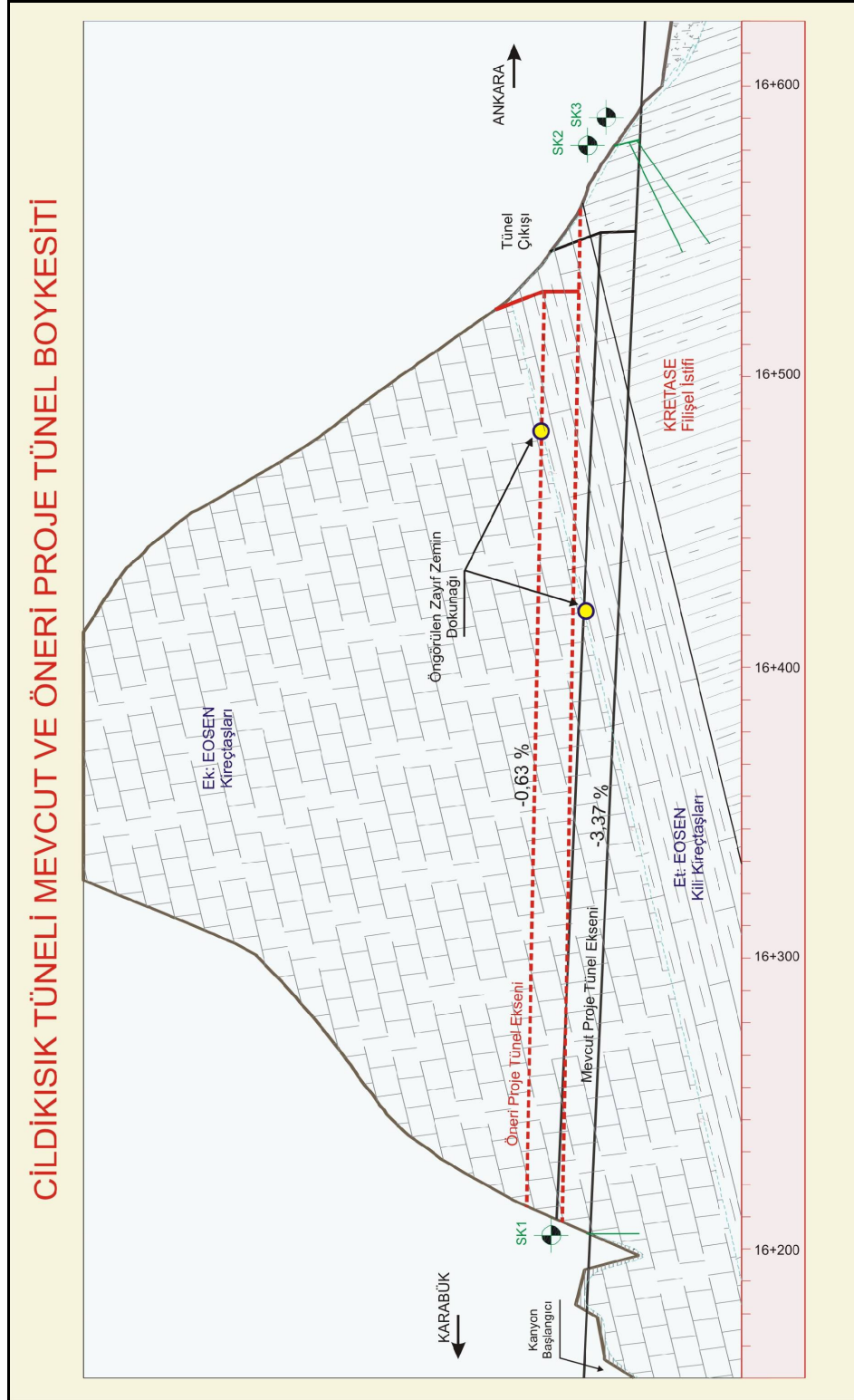
Tünel ekseninin önemli bir kesiminin “Ek” olarak adlandırılan dayanımlı kireçtaşları içerisinde kalması, sorunsuz bir imalat için, önem taşımaktadır. Çalışma alanında yapılan saha jeolojisi araştırmaları doğrultusunda ortaya konulan ve daha önceki bölümlerde sunulan jeolojik modele göre; tünel ekseninin daha çok hangi birim içerisinde kalacağı tünelin giriş ve çıkışlarının konumlandırılmaları ile yakından ilgilidir.

Mühendislik jeolojisi ilkeleri, oluşturulacak yapının maliyeti ve çevresel etkileri göz önüne alınarak oluşturulan öneri proje kapsamında ortaya çıkan tünel eksenini Şekil 4.26 ‘da gösterildiği gibi olacaktır. Buna göre; mevcut projede önerilenden yaklaşık 30 m daha sağdan ve yaklaşık 10 m yukarıdan başlayacak tünel eksenini, tünel içinde yapacağı bir kurp ile mevcut projede önerilen tünel çıkışından yaklaşık 10 m yukarıda son bulacaktır. Söz konusu tünel eksenini, bu tez kapsamında yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları neticesinde ortaya konulan bulgular doğrultusunda şekillendirilmiştir. Yeni eksen, tezin ortaya koyduğu yaklaşımlar ile üretilmiş öneri projenin belkemiğidir. Şekil 4.27 incelendiğinde; bu projenin uygulanması halinde elde edilecek ve genel hatlarıyla özetlenen kazanımların değerlendirilmesi daha kolay olacaktır. Buna göre; ekseninin önerildiği gibi konumlandırılması halinde;

1. Tünel girişi yaklaşımında, ayrıntıları bir önceki bölümde verildiği üzere, önemli bir doğa tahribatı önlenmiş olacaktır.
2. Mevcut projede yaklaşık %3,4 değerine ulaşan yol eğimi yaklaşık %0,6 değerine düşecektir. Tünel çıkışında oluşacak kot farkı ise ileride ayrıntısı sunulacak olan toprakarme duvar ile dereceli olarak kaybedilecektir.



Şekil 4.26. Cildıkışık tüneli mevcut ve öneri proje harita görünümü.



Şekil 4.27. Cildikisik tüneli mevcut ve öneri proje boykesiti.

3. Mevcut projede doğrusal olan tünel eksenini, kurp içinde kalacaktır. Bu durum, tünellilik açısından önemli bir ayrıntıdır. Öyle ki, sürüş konforu ve trafik güvenliği açısından tünelin giriş ve çıkışlarının birbirini görmemesi gerekir. Özellikle, bu tünelde olduğu gibi, kısa mesafeli tünellerde gündüz yetersiz aydınlatma koşullarında tünel girildiği anda karşı taraftaki gün ışığının geçici körlük yapması ve sürüş güvenliğini tehlikeye sokması olasılığına karşı tünel eksensinin doğrusal olmaması tercih edilir.
4. Tüm bunlar kadar önemli olan ve doğrudan yapım maliyetini ilgilendiren diğer bir konu ise tünel iç duraylılığıdır. Şekil 4.27 'da görüleceği üzere; eksenin yaklaşık 10 m yukarı alınması halinde; tünelin çok zayıf olduğu öngörülen dokunak içerisinde kalma mesafesi yarıdan daha fazla oranda azaltılmış olacaktır.

Tünelin zayıf birim içerisinde kalma mesafesinin azalması yanı sıra, tünel tavanında uygulanması gerekli olacak destek sisteminin dayanımlı kireçtaşlarına ulaşma mesafesi de azalacaktır. Buna göre; öneri projenin de bir kısmının zayıf zeminde kalıyor olmasına karşın, yapım maliyetleri açısından değerlendirildiğinde, mevcut projeye nazaran çok daha elverişli bir sonuçla karşılaşılacağı açıktır. Bu durum; uygulanacak destek sistemlerinin sayısal incelemeler yoluyla belirlenerek, iki proje arasındaki temel farkın net olarak ortaya konulduğu sonraki bölümlerde ayrıntılı biçimde yeniden incelenecektir.

4.6.4. Tünel Çıkış Ağız İstinat Duvarı Yapısı

Tünel girişinde kazanılan yaklaşık 10 m mertebesindeki kot farkı, tünelin çıkışında mevcut bölünmüş yola bağlanırken proje standartlarını bozmayacak şekilde kaybedilmelidir. Bölünmüş yolun kilometre artış yönünde solunda kalan kesimi dönüş yönüdür ve halihazırda kullanılan yolun iyileştirilmesi ile oluşturulacaktır. İki yol arasındaki refüj genişliği en fazla 3 metre dolayında olacağından; öneri proje tünel çıkış ağzında serbest şevli bir toprak dolgu uygulama imkanı bulunmamaktadır. Bu sorun, maliyeti göreceli olarak düşük ve uygulaması kolay olan donatılı toprak (toprakarme) duvar ve/veya harçlı taş dayanma duvarı ile aşılabilecektir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Tünel çıkış ağzında yapımı planlanan istinat duvarı yapısı.

Böylece, tünel girişinde kazanılan kot farkı, çıkışta oluşturulacak bu duvarlı yapı ile, geliş ve gidiş yol platformları arasında girişime neden olmaksızın uygun bir mesafede kaybedilebilecektir.

Buraya kadar geçen anlatım içerisinde; çalışma sahasında elde edilen araştırma bulguları doğrultusunda belirlenen, Cildikısıık Tüneli Öneri Mühendislik Projesi ve bunun alternatifi olarak uygulanmak üzere olan Cildikısıık Tüneli Mevcut Projesinin önemli bileşenleri belirlenerek bunların tanım ve tarifleri yapılmıştır. Bunların birbirinden farklılıkları ve birbirinden üstünlükleri incelenerek, mühendislik jeolojisi ilkeleri açısından, uygulanabilirliği daha yüksek olan öneri projenin oluşturulması aşamasında benimsenen yaklaşımlar ve projenin gerekçeleri ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışmasının da çıkış noktası olan ve temeli kaya kütle tanım ve değerlendirmesine dayanan; mühendislik jeolojisi ilkeleri, bunların halen yaygın olarak kullanılan yöntem ve yaklaşımlardan farklılıkları ve bu farklılıkların uygulamada neden olabilecekleri ise bir sonraki bölüm altında ayrıntılı olarak incelenecektir.

4.7. Kaya Kütle Sınıflandırmaları: Su-Süreksizlik - Kil Etkisinin Kaya Kütle Değerlendirmesindeki Yeri Ve Önemi

Bir önceki bölümde tariflenen “öneri proje mühendislik yapılarının” seçiminde belirleyici olan temel etken kaya kütle tanım ve değerlendirmeleridir. Bu değerlendirme çoğunlukla; yayınladıklarından buyana, özellikle pratik kullanımı nedeniyle, birçok mühendislik projede uygulanmış ve geniş kabul görmüş olan “kaya kütle sınıflandırma sistemleri” aracıyla yapılmaktadır. Kaya kütlelerinin genel mühendislik özellikleri açısından bulunduğu aralığa işaret etmesi ve bu şekilde tünel mühendisleri arasında ortak bir dil oluşturması açısından kullanışlılık arz eden bu sistemler; söz konusu mühendislik özelliklerin sayısallaştırılması ve tünel inşaat mühendisliğine veri sağlaması konusunda çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Elde edilen sayısal değerler, mühendislik jeolojisi ilkelerinin eksiliğinde, olması gerekenden daha yüksek veya daha düşük belirlenebilmektedir. Bu bağlamda; kullanılmaya başlandığından bugüne sürekli evrimleşen ve uygulamada karşılaşılan uyumsuzlukları giderilmeye çalışılan kaya kütle sınıflandırmalarının, özellikle tünel gibi mühendislik yapılarının tasarımlarında, birer kural gibi algılanmamasının ve sınıflandırmanın bir değiştirgesi olmasa dahi edinilen tüm mühendislik jeolojisi bulgularının kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmasının daha uygun olduğu görüşü benimsenmelidir.

Bu görüşün dayanakları; tez çalışması ve ona taban oluşturan diğer tünel mühendisliği uygulamalarında karşılaşılan durum değerlendirmeleri, mevcut kaya kütle sınıflandırma sistemlerinin, mühendislik jeolojisi ilkeleri eksikliğinde, sonuçladığı yanlışlıklar ve sınıflandırma sistemlerinin kaya kütle özelliklerinin sayısal ifadesindeki yetersizliklerinden örnekler verilmek üzere bu bölüm içeriğinde sunulacaktır. Yine bu bölümde, sınıflandırma sistemlerinin yetersizliklerinin aşılması amacıyla kullanılması önerilen; “Su-Süreksizlik-Kil” ilişkisi olarak isimlendirilen ve temeli mühendislik jeolojisi ilkelerine dayanan yaklaşımın ayrıntıları sunulacaktır.

Yazar, son 10 yıldır jeoloji mühendisi ve jeoteknik tasarımcı olarak içinde yer aldığı birbirinden farklı tünel projelerinde, birbirinden farklı jeolojik ortamlardaki kaya kütlelerini tanıma, tanımlama ve bunların mühendislik özelliklerini belirleyerek

jeoteknik tasarıma veri hazırlama görevinde bulunmuştur. Bir kısmının yapımının tamamlandığı bu tünellerin yapım aşamasında da yer alınarak ön projeler kapsamında hazırlanan bu verilerin doğrulanması ve neden-sonuç ilişkilerinin tanımlanabilmesi mümkün olmuştur. Böylece, bu bölümde sunulacak, yaklaşım ve değerlendirmelerin alt yapısını oluşturacak önemli miktarda ve nitelikte verinin toplanması sağlanabilmiştir.

Yapılan hemen her çalışmada; çoğu yere özgü farklılıklardan kaynaklanan ve bu nedenle mevcut kabullerle açıklanması mümkün olmayan çeşitli jeoteknik sorunlar ile karşılaşmıştır. Buna rağmen, mevcut sistemlerin dışına çıkılmaması nedeniyle üretilen mühendislik tasarımlar çoğunca istenildiği gibi şekillendirilememiştir. Bu durum, özellikle tünel mühendisliğinde dikkat edilmesi gereken mühendislik jeolojisi ilkelerinin ayrıntılı biçimde irdelenmesi, bunların mevcut kaya kütle sınıflandırma sistemlerine yansıtılması ve üretilen kaya kütle jeoteknik değiştirgelerin bu doğrultuda yenilenmesi üzerinde ayrıntıları sunmayı amaçlayan bu tez çalışmasının da çıkış noktası olmuştur.

Bu anlamda; tez çalışma sahasındaki Cildikısık tüneli ve onun içinde yer aldığı jeolojik ortamın, mühendislik jeolojisi açısından mevcut yaklaşımlar ile ortaya konulandan çok daha farklı özellikler sunuyor olması önemli bir fırsat olmuştur. Öyle ki bu özellikler; açılacak tüneldeki tünelcilik uygulamalarını, inşaat teknikleri ve maliyet belirlemelerini doğrudan etkileyeceğinden ve hatta onaylanan mevcut proje hattının tartışılarak alternatif üretme zorunluluğunu ortaya koyabileceğinden son derece önem taşımaktadırlar. Bu bağlamda; bulguların bu tez kapsamında değerlendirilerek daha önce yaşanan tecrübeler doğrutusunda hiç olmaz ise bundan sonraki uygulamalara ışık tutabilmesi açısından belgelendirilmesine gereksinim duyulmuştur. Bu bulguların pek çoğu özellikle uygulama içerisinde olan tünel mühendislerinin profesyonel yaşamlarında bir kez karşılaştıkları, nedenini açıklayabildikleri veya mevcut yaklaşımlar doğrutusunda yorumladıkları ve doğrudan veya dolaylı olarak yapım tekniklerine yansıtıkları mühendislik unsurları içermektedir.

Bu bölümde söz konusu bulgular tanımlanırken bunların tünel jeolojisi ve jeotekniği ile ilişkileri ve bu ilişkinin halen kullanılmakta olan mevcut sınıflandırma

ve değerlendirme sistemlerinde yer bulmaması üzerinde durulmuştur. Böylece mevcut yetersizlikler ve bunların uygulamadaki yansımalarına dikkat çekilmiştir. Sonuç olarak bu yetersizliklerin giderilmesi ve ortaya çıkan yanlış uygulamalar konusunda farkındalık yaratılması adına öneriler sunulmuştur. Böylece, genel mühendislik uygulamalarında kaya kütle değerlendirmesi aşamasında dikkat edilmesi gereken ve mevcut yaklaşım ve değerlendirmeler kapsamında olmayan mühendislik değiştirgelerden özellikle Su-Süreksizlik ve Kil ilişkisinden bahsedilerek farklı bir mühendislik yaklaşımı sergilenmiştir.

Bunun için öncelikle mevcut yaklaşım ve değerlendirmelerin tanımları, uygulamadaki kullanımı, yetersiz kaldıkları veya yanlış sonuç verdikleri jeolojik koşullar kısaca anlatılacak ve çalışma alanındaki durum bu bağlamda değerlendirilerek bu tez kapsamında oluşturulmuş olan öneri projenin jeolojik ve jeoteknik altyapısı sunulmaya çalışılacaktır. Söz konusu sunum aşağıda verilen sırada gerçekleştirilecektir.

- a. Kaya Kütle Sınıflandırmaları: RMR ve Q – Sistemi
- b. Kaya kütle jeoteknik değiştirgelerinin belirlenmesi: Hoek - Brown Yenilme Kriteri
- c. Su – Süreksizlik ve Kil üçlüsünün kaya kütle sınıflandırmalarına ve kaya kütle jeoteknik değiştirgelerinin bulunmasına etkisi

4.7.1. Kaya Kütle Sınıflandırmaları

Kaya kütlelerinin sıfatlar yerine sayısal değerler ile ifade edilmesi ve sayısal incelemelerde kullanılacak jeoteknik değiştirgelerin kolaylıkla elde edilemiyor olması; kaya mekaniği mühendisliğinde karşılaşılan önemli sıkıntılardan biri olmuştur. Temel nedenin ölçek sorunu olduğu kaya kütlelerinin, laboratuvar ortamında veya yerinde test edilmesi çoğunca imkansız veya çok zordur. Kaya kütle sınıflandırma teknikleri ise bu sıkıntılardan aşılması ve kaya kütle özelliklerinin sayısal ifadesinin sağlanabilmesi amacıyla ilk kez 1879 yılında oluşturulmaya başlanmıştır (Hoek ve Brown, 1980b). Gözlemsel verilerin ve mevcut deneyimlerin rakamlar ile ifade edilmeye çalışıldığı bu ilk sınıflama; yeraltı maden işletmelerinde

kullanılacak destek sistemlerinin önceden tahmin edilmesi ve planlanmasına duyulan gereksinimden yola çıkılarak oluşturulmuş ve takip eden yüzyıl içerisinde yine özellikle madencilik uygulamalarında destek sistemlerinin belirlenmesi amacına yönelik olarak gelişime uğramıştır.

Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği yöntem ve yaklaşımlarının uygulama içerisinde yer bulmaya başladığı erken dönemde ise farklı ülkelerde birbirinden farklı sınıflandırma sistemleri ve tünelcilik yöntemleri görülmeye başlanmıştır. Bunlardan ilki olan ve geniş uygulama alanı bulan ‘Terzaghi Kaya Kütle Sınıflaması’; Amerika Birleşik Devletlerinde geliştirilmiştir. ‘Kaya yükü’ kavramını ortaya koyan ve sadece çelik destek sistemine göre hazırlanan (Terzaghi, 1946) bu sistem; önemli kısıtları olmasına karşın uzun yıllar kullanılmış ve sonrasında geliştirilen diğer sınıflama sistemleri için çıkış noktası olmuştur.

Üretilen sınıflandırmadaki kısıtlar ve uygulamalarda karşılaşılan yere özgü koşulların değerlendirmelere dahil edilmesi konusundaki yetersizlikler; Terzaghi sınıflandırması ardından yeni kaya kütle sınıflandırmalarının oluşturulmasının doğal nedeni olmuştur. Özellikle inşaat mühendisliği uygulamalarında karşılaşılan sorunların bu sınıflamalar içerisinde dahil edilmesi adına çok verimli sınıflama sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan uluslararası geniş kabul görenek mühendislik projelerinin büyük kısmında kullanılan bazıları ve özellikle bu çalışma kapsamında ulaşılan sonucun tabanı olan sınıflandırma sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Kaya Kütle Belirteci (Rock Quality Designation, RQD)
2. Jeomekanik Sınıflandırma (Rock Mass Rating, RMR)
3. Kaya Tüneli Kalite İndisi (Rock Tunnelling Quality Index, Q)
4. Jeolojik Dayanım İndisi (Geological Strength Index, GSI)

İlerleyen alt başlıklar altında bu sistemlerin genel tanımları kısaca sunularak, çalışma alanındaki mühendislik uygulamalara etkileri anlatılacak ve bu çalışmanın amacı doğrultusunda yapılan değerlendirmeler sunulmaya çalışılacaktır.

4.7.1.1. Kaya Kalite Belirteci (Rock Quality Designation, RQD)

İlk kez, Deere (1964) tarafından önerilmiş ve geliştirilmiştir (Deere ve ark, 1988; Deere, 1989). Kaya kütle kalitesinin sadece süreksizlik yoğunluğuna göre ifade edilmesini amaçlamıştır. Süreksizliklerin dayanımı, geometrik ve mekanik özellikleri dikkate alınmamış ve bu şekliyle pek çok araştırmacı tarafından eleştiri konusu edilmiştir (Milne ve ark., 1998). Bununla birlikte kaya kütle kalitesinin süreksizlik yoğunluğunun bir ölçütü olarak mühendislik uygulamalarda geniş kabul görmüş, RMR ve Q gibi önemli kaya kütle sınıflamalarında etkili bir değiştirge olarak yerini almıştır.

Yıllar boyunca süregelen tartışmalar doğrultusunda RQD değerinin kaya kütle özelliklerinin tanımlanmasında yeterli olamayacağı ve hatta çeşitli nedenler ile ortaya çıkış amacını dahi karşılayamayacağı önerilmiştir. Bu konudaki güncel yayınlardan biri olan ve Grenon ve Hadjigeorgiou (2003) tarafından yapılan çalışma, örnekleme yöneliminin RQD değeri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Buna göre; aynı kaya kütle için yapılan farklı örnekleme yönelimleri kaya kütle içindeki mevcut süreksizlik yönelimine göre farklı sonuçlar vermektedir. Bununla beraber, kütle içindeki toplam süreksizlik sıklığı $3m^{-1}$ ve üzerinde olduğunda RQD değeri en yüksek değerlerine ulaşmakta ve bundan sonraki süreksizlik sıklıklarındaki değişim RQD değerine yansıtılmamaktadır. Benzer şekilde Milne ve Hadjigeorgiou (2000) sundukları bir bildiri de süreksizlik aralığı 10 cm ve üzerinde olduğunda RQD değerlerinin kaya kütle içinde süreksizlik değişimini yansıtmada yetersiz kaldığını vurgulamıştır. Benzer şekilde Palmstrom (2005) tarafından yapılan yayında kaya kütle içindeki süreksizlik durumunun RQD ile ifade edilmesinin çoğu zaman yanıltıcı olduğu belirtilmiştir. Araştırmacı; yalnızca bir yöndeki süreksizlik sayısına göre belirlenen RQD değeri yerine hacimsel süreksizlik değerinin (J_v) hesaplanmasının daha yerinde olacağı görüşünü ortaya koymuştur.

Yazar, yaptığı çalışmalarda gerçekleştirdiği gözlemler ve edindiği deneyimlere göre kaya kütle kalitesinin litolojik ve mineralojik özelliklerinin elde edilen RQD değerlerini doğrudan etkilediği sonucuna ulaşmıştır. Yapımı henüz biten yaklaşık 2000 m uzunluğundaki 8-Ağustos Tüneli Geçkisinde gerçekleştirilen araştırma ve

tasarım çalışmaları bu sonuca ulaşılmasında önemli bir veri kaynağı olmuştur. Geçki, Türkiye Jeolojisinde Bitlis Masifi olarak adlandırılan ve çok sayıda araştırmaya konu olan metamorfikler içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.29). Şistlerin egemen olduğu kaya kütlelerinde mikaşist, amfibolşist, ve kuvarşist esas tabakaları oluşturmaktadır. Yaklaşık 44 km uzunluğundaki Ayrım – Bitlis Devlet yolu projesi kapsamında sayısız defa kesilen birimin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini ortaya koymak adına ayrıntılı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamındaki çok sayıda yarma, dolgu, menfez ve köprü gibi yol bileşenlerinin jeoteknik tasarımlarında kullanılmak üzere çalışılan birimin genel kaya kütle özellikleri;

- Arazi jeolojisi,
- Sondajlı ve çukurlu araştırmalar,
- Yerinde kaya dayanım deneyleri ve
- Laboratuar çalışmalarına dayanılarak belirlenmiştir.



Şekil 4.29. 8-Ağustos tünelinin içinde yer aldığı Bitlis Masifi.

Buna göre yüksek dayanımlı, ayrışma derecesi düşük, süreksizlikleri mineral dolgulu veya kapalı olan, taşıma gücü ve duraylılık özellikleri yüksek, mühendislik özellikleri son derece olumlu bir kaya kütlesi tanımlanmıştır. Yapılan ön araştırma ve değerlendirmeler kapsamında tünelleme açısından son derece olumlu olarak tanımlanan birim içinde sondajlı araştırmaya girildiğinde farklı bir durum ile karşılaşmıştır. Birim içinde açılan tüm sondajlarda temel değıştirge olarak bakılan RQD değeri ‘sıfır’ veya sıfıra çok yakın olarak bulunmuştur (Şekil 4.30). Diğer taraftan, yine şekilde gösterildiği gibi aynı birimler içerisinde açılan mevcut yol yarmaları dike yakın yamaçlarda herhangi bir destek veya kaplama olmaksızın hiçbir duraysızlık sorunu yaratmayacak şekilde yıllardır hizmet vermektedirler.

Kaya kütle sınıflandırma sistemleri açısından çelişkili görülen bu durum; geçkiye ait tüm araştırma çalışmalarında başından sonuna bulunan yazarın gözlemleri doğrultusunda kaya kütesinin litolojik ve mineralojik yapısı ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle tünelleme sondajlarında yaşanan sıkıntılar bu konuda dikkat çekici olmuştur. Kuvarşışt tabakalarını kesen ve derinliği 110 m olan bir sondaj kuyusunda altı adet elmas uçlu sondaj matkabının aşınıp eridiğine tanık olunmuştur. Kesilen birim öylesine sert ve dayanımlıdır ki; sondajın düşük hızlarda ve düşük baskı ile ilerletilmesine rağmen önemli uç kayıpları kaçınılmaz olmuştur. Üstelik bu durum yani kayanın gevrek ve kırılğan doğası yazar tarafından bir başka olumlu mühendislik özellik ile bağdaştırılarak, sonucunda kaya kütle değerini olumlu yönde artıracak bir araştırma başlatılmıştır. Bu araştırma kaya kütesindeki kimyasal ayrışma derecesinin incelenmesi olmuştur. Arazi gözlemlerinde düşük olarak izlenen ayrışma derecesinin mikroskop altında yapılan incelemelerde düşünülenden çok daha az olduğu görülmüştür. Her jeoloji mühendisinin bilgisi dahilinde olacağı üzere Kuvars (SiO₂) kimyasal ayrışmaya uğramayan bir mineraldir (Şekil 4.31). Yer yer tamamen kuvarşıştlerden oluşan birimde ayrışma derecesinin bu denli düşük olması RQD ile tanımlanan kaya kütle özellikleri ile çelişki yaratan ikinci bulgu olmuştur.



Şekil 4.30. RQD<20 olan yüksek dayanımlı ve duraylı Bitlis Masifi üyeleri.



Şekil 4.31. Kil minerali üretmeyen metakuarsit/kuarsşist incekesitleri.

Kullanımda olan mevcut sınıflandırma sistemlerinde RQD değerinin önemli bir yer tutuyor olması ve bu konuda yerine konabilecek bir çalışmanın henüz üretilmemiş olması nedenleri ile yapılan çalışmaların raporlar içerisinde sunulması ile yetinilmiş bunların jeoteknik tasarıma etki ettirilmesi konusunda işveren ile anlaşma sağlanamamıştır. Bu şekilde olduğundan daha zayıf tanıtılan birim içerisinde açılan tünel teknik tüm sorunlara ve uygulama yetersizliklerine rağmen kısa sürede bitirilmiş, göçme, akma, şişme ve hatta dökülme gibi önemli bir jeoteknik sorun ile karşılaşılmeden sonuca ulaşılmıştır. Olduğundan zayıf gösterilen birim içinde açılan tünel öylesine sorunsuz olmuştur ki; birimi desteklemek amacıyla yerleştirilmesi gereken ancak yanlış uygulamalar sonucunda askıda kalıp birime yük bindiren çelik iksalar bile birimde önemli bir duraysızlık sorununa neden olmamıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Negatif destek sistemine rağmen sorunsuz açılan 8-Ağustos Tüneli.

Benzer şekilde ancak tam tersi bir ilişki ile çok yüksek RQD değerlerine rağmen son derece düşük kaya kütle özelliklerine sahip olan, Tarsus-Mersin arasında egemen olan, Miyosen yaşlı kilitaşı-çamurtaşı-militaşı-kumtaşı ardalanması yine dikkat çekicidir. Genellikle 20° eğim açısıyla güneye, Akdeniz havzasına eğimli olan birimde yapılan sondajlı araştırmalarda RQD değeri %85-100 arasında raporlandırılmıştır (Yılmaz ve ark, 1990-1993). Bu şekilde genel kaya kütle sınıflandırmalarında olumlu sayısal değerler sunmasına karşın 3Y:1D (eğim açısı: 18°) şeklinde oluşturulan kuzey kazı yamaçlarının tamamına yakınında önemli duraysızlık sorunları yaşanmıştır (Türkmen ve Yılmaz, 1998). Güney yamaçlarda duraylılık açısından sorun yaşanmamasının nedeni ise ana süreksizlik sistemi olan tabakaların yamaç içeri eğimli olması olarak belirtilmiştir (Türkmen ve Yılmaz, 1998; Yılmaz ve ark, 2003).

Sonuç olarak görülmektedir ki RQD değeri kaya kütle özelliklerinin belirlenmesinde belirleyici olamayacağı gibi yanlış yönlendirici de olabilmektedir.

Yukarıda verilen örneklerde olduğu gibi esas değiştirgelerin jeolojik koşullar ve bu bağlamda iyi tanımlanmış Su - Süreksizlik ve Kil ilişkisi doğrultusunda belirlenmesinin daha uygun olacağı sonucu dikkate alınmalıdır.

4.7.1.2. Kaya Kütle Değerlendirmesi (RMR: Rock Mass Rating)

Sınıflama sistemi ilk kez Bieniawski (1973) öncülüğünde, maden kazılarında kaya kütle kalitesinin belirlenmesi amacıyla South African Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) tarafından ortaya konulmuştur. Bieniawski (1976) tarafından ayrıntıları yayınlanan ve Kaya kütle oranlarının (Rock Mass Rating, RMR) Jeomekanik Sınıflandırması olarak adlandırılan sistem; aşağıda sıralanan 6 farklı değiştirgeye sayısal değerler atayarak kaya kütle kalitesini ifade eden tek bir rakama ulaşmak amacını taşır. Bu değiştirgeler:

1. Kaya tek eksenli basınç dayanımı
2. Kaya kalite belirteci (RQD)
3. Süreksizlik aralığı
4. Süreksizlik durumu
5. Su durumu
6. Süreksizlik yönelimidir.

Yapımı geręekleřtirilen mühendislik yapılar ve bunlardan kazanılan deneyimlerden yola çıkılarak hazırlanan sınıflama sistemi, aynı şekilde yıllar içerisinde uygulamada karşılaşılan ve sınıflama sisteminin mevcut hali ile değerlendirilemeyen koşullar dikkate alınarak 1974, 1976, 1979 ve son olarak 1989 yıllarında değişimlere uğratılmıştır Bieniawski (1989). Bu değişim süreci bile sınıflandırma sistemlerinin birer kural gibi algılanması yerine, yere özğü koşullar da dikkate alınarak, gözlem ve deneyimler doğrultusunda şekillendirilmesinin daha uygun olacağı sonucunu çıkarmaya yeterlidir. Yapılan değişimler her defasında farklı bir mühendislik jeolojisi değiştirgesinin sınıflandırmaya dahil edilmesi şeklinde geręekleřtirilmiřtir. Bunun en önemli aşaması ise Hoek (1994) tarafından ortaya konulan ve Jeolojik Dayanım İndisi olarak tanımlanan yaklaşımdır. Buna göre,

yapının içinde oluşturulacağı birimin mühendislik jeolojisi açısından tanımlanması o birimin kaya kütle kalitesinin belirlenmesinde önemli rol oynamalıdır.

Bu yaklaşım tez kapsamında çalışılan kaya kütle kalitelerinin belirlenmesinde büyük anlam bulmuştur. Öyle ki yaygın olarak kullanılan RMR kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilen birimin hesaplanan kalite değeri ile aynı birim içerisinde yıllar önce açılan mühendislik yapılarının hizmet durumu arasında önemli çelişkiler olduğu fark edilmiştir. Söz konusu birim; projelendirilen yeni tünelin önemli bir bölümünün içinde kalacağı Eosen yaşlı Kireçtaşlarıdır (Ek). Jeoteknik özelliklerini ortaya koymak için açılan sondajlı araştırma verileri (bkz. Ek – I) ve bu sondajdan elde edilen örnekler üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri (bkz. Şekil 4.22) ile birimin ayrıntılı olarak tanımlanması mümkün olmuştur. Buna göre ortalama RQD değeri 55 (orta kaliteli) ve ortalama tek eksenli basınç dayanımı (q_0) değeri 47 MPa (orta dayanımlı) olarak bulunan birim için RMR sınıflandırma sistemine göre belirlenen kaya kalite değeri, **RMR=53** olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Buna göre; orta kaya kütle kaliteli olarak nitelendirilen birim içerisinde açılacak 5 m açıklıktaki bir tünelin desteksiz kalma süresi; yine sınıflamanın önerisi doğrultusunda ortalama 1 haftadır. Yine Bieniawski (1989) tarafından verilen öneri tünel destekleme sistemine göre birim içinde açılacak bir tünelde;

- a. 4 m uzunluğunda,
- b. 1,5-2,0 m aralıklarla yerleştirilecek
- c. 20 mm çapında kaya bulonu ile
- d. 20-100 mm püskürtme betonun uygulanması gerekecektir.

Çizelge 4.3. Ek birimi RMR kaya kütle değerinin belirlenmesi

I. Temel RMR Sınıflama Değişirgeleri								
Kaya dayanımı, Mpa	Nokta Yükleme Dayanımı	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Daha düşük değerler için TEB değeri tercih edilir.		
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, TEB	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-15	1
Değer		15	12	7	4	2	1	0
<i>Çalışma Alanında</i>					6			
Kayaç kalite belirteci, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Değer		20	17	13	8	3		
<i>Çalışma Alanında</i>				13				
Süreksizlik aralığı, cm		>200	60-200	20-60	6-20	<6		
Değer		20	15	10	8	5		
<i>Çalışma Alanında</i>				10				
Süreksizliklerin durumu		Çok pürüzlü Süreksiz Kapalı Ayırışmasız	Az pürüzlü Açıklık: <1mm Az ayrıışmış	Az pürüzlü Açıklık: <1mm veya	Kayma Çizikli Dolgu<5mm Açıklık:1-5mm	Yumuşak dolgu >5mm veya Açıklık > 5mm Sürekli		
Değer		30	25	20	10	0		
<i>Çalışma Alanında</i>			25					
Yeraltı suyu	10 m tünel uz. gelen su, l/m	Yok	<10	10-25	25-125	>125		
	Genel Su durumu	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
Değer		15	10	7	4	0		
<i>Çalışma Alanında</i>					4			
II. Süreksizlik yönelimine göre değer düzeltme								
Toplam Değer		Çok olumlu	Olumlu	Orta	Olumsuz	Çok olumsuz		
Değer	Tünel&Maden	0		-5	-10	-12		
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25		
	Yarma Yamaç	0	-5	-25	-50	-60		
<i>Çalışma Alanında</i>				-5				
III. Çalışma Alanındaki Toplam RMR Değeri								
RMR		53						
IV. Toplam RMR Değeri ve Anlamı								
Toplam değer	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 -21	<21			
Sınıflandırma Numarası	I	II	III	IV	V			
Tanım	Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf			
Ortalama desteksiz kalma zamanı	15m açıklıkta 20 yıl	10m açıklıkta 1 yıl	5m açıklıkta 1 hafta	2,5m açıklıkta 10 saat	1m açıklıkta 30 dak.			
Kaya Kütle kohezyonu, kPa	>400	300-400	200-300	100-200	<100			
Kaya Kütle sürtünme açısı, °	>45	35-45	25-35	15-25	<15			

Buna karşılık, söz konusu birim içerisinde yaklaşık 55 yıl önce Eskipazar Çayı çevirmek amacıyla açılmış olan 6 m çapındaki dairesel kesitli bir tünelde hiçbir duraysızlık sorunu yaşanmamıştır (Şekil 4.33). Kaplama, bulon veya başka hiçbir tür destekleme sisteminin uygulanmadığı tünel bugünde sorunsuz bir şekilde hizmet vermeye devam etmektedir.



Şekil 4.33. “Ek” içerisinde 55 yıl önce açılmış desteksiz çevirme tüneli.

Çalışma alanı içerisinde bulunan tünel; bugün bu birim içerisinde açılacak bir başka tünelin jeoteknik tasarımında kullanılabilir en gerçekçi veri kaynağıdır ve güncel kaya kütle sınıflandırmalarındaki yetersizliğe dikkat çekebilmek adına önemli bir delil olarak gösterilebilecektir.

Benzer şekilde, mühendislik jeolojisi ilkelerine dikkat etmeden yapılabilecek bu RMR değerlendirmesi sonucunda Ek birimi için bulunan jeoteknik değişirgeler dikkat çekicidir. Sınıflama önerisine göre “orta kaya kütle” olarak tanımlanan birim için sayısal incelemelerde kullanılması önerilen içsel sürtünme açısı $25-35^\circ$ arasında değişmektedir (bkz.Çizelge 4.3). RMR=53 değerine göre yapılacak bir değerlendirmede söz konusu birim için kullanılması gereken sürtünme açısı değeri ise yaklaşık 30° olacaktır.

Diğer taraftan, birimin jeolojik özellikleri ve dolayısıyla fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alındığında kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerini doğrudan etkileyen önemli bir dönüşüm iziyle karşılaşmaktadır. $CaCO_3$ bileşimindeki kireçtaşları dayanımlı ancak sertliği düşük bir kaya türüdür ve su etkisinde diğer pek çok kayaya göre daha hızlı çözünür. Çözelti halindeki sular ise dolaştığı süreksizlikler boyunca doygun hale geldiği kesimlerde çökerek süreksizliklerin mineral dolgular şeklinde yeniden çimentolanmasını sağlarlar. Bu durum süreksizliklerin oluşum süreciyle eşzamanlı olabileceği gibi sonraki su hareketleri ile de olabilir.

Söz konusu bu ikincil çimentolanma, kaya kütle kalitesinin belirlenmesinde ağırlığa sahip olması gereken değişirgedir. Zira kaya kütlelerinin kohezyon ve daha önemlisi içsel sürtünme açısını büyük oranda artırıcı etkisi olacaktır. Dolayısıyla, birimdeki ölçülebilir süreksizlik açıklığı ve sıklığı ne olursa olsun kaya kütlelerinin genelinde izlenen bu çimentolanma etkisi kütlelerin jeomekanik özelliklerini tamamen değiştirmektedir. Çalışma alanında tanımlanan Ek birimi içinde açılmış (-) eğimdeki yol yarmaları (Şekil 4.34) bu durumun en belirgin örneğidir ve mühendislik jeolojisinin kaya kütle değerlendirmelerindeki önemini anımsatması açısından dikkat çekicidir.

Birim için bu yaklaşımlar doğrultusunda yapılan ve sayısal incelemelerde kullanılması önerilen kaya kütle jeoteknik değiştirgeleri sonraki bölümde sunulacaktır.



Şekil 4.34. “Ek” içerisinde ters eğimde duraylı eski yol yarmaları.

4.7.1.3. Q-Sistemi (Q-Sınıflandırması)

Kaya tünelleri ve yeraltı odalarında (cavern) kullanılacak destekleme sistemlerinin belirlenmesi amacıyla Norway Geotechnical Institute (NGI) bünyesinde N.Barton, R.Lien ve J.Lunde (1974) tarafından yayınlanan kaya kütle sınıflama sistemidir. Kaya tünel mühendisliğinde önemli bir gelişim aşaması olarak kabul edilen sistem, yaygın biçimde kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir. Logaritmik ölçekte belirlenen Q sayısal değeri 0.001 ile 1000 arasında değişmektedir (Çizelge 4.4) ve aşağıdaki formül uyarınca hesaplanmaktadır:

Çizelge 4.4. Q-sistemi değer aralıkları ve anlamları

Q Değeri	Sınıf	Kaya Kütle Kalitesi
400-1000	A	İstisnai İyi
100-400	A	Aşırı İyi
40-100	A	Çok İyi
10-40	B	İyi
4-10	C	Orta
1-4	D	Kötü
0.1-1	E	Çok Kötü
0.01-0.1	F	Aşırı Kötü
0.001-0.01	G	İstisnai Kötü

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

RQD : Kaya niteliği belirteci

J_n : Süreksizlik takım sayısı

J_r : Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü

J_a : Süreksizlik ayrışma durumu

J_w : Süreksizlik su durumu indirgeme etmeni

SRF : Gerilim azaltma etmeni

Barton (1974) Q değerinin hesaplanmasında kullanılan denklik bileşenlerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

- RQD/J_n, Blok Boyutu: Birimsiz bu oranın kaya kütlesi içindeki blok boyutunu vermesi amaçlanmıştır. Daha önceki bölümlerde RQD değerimin kaya kütlesi süreksizlik durumunu tam olarak yansıtamayacağına dair verilen bilgiler doğrultusunda; denklikteki bu bileşenin güvenilirliği tartışma konusudur (Grenon ve Hadjigeorgiou, 2003)
- J_r/J_a, Bloklar arası kayma dayanımı: Süreksizliklerin ve içindeki dolgu malzemesinin pürüzlülük ve sürtünme özelliklerinin ifadesidir. Bu bileşen

ağırlıklı olarak ayrışmamış ve pürüzlü süreksizlik yüzeylerini tanımlamaktadır (Hoek, 2004). Sınıflandırma; süreksizlik açıklığının dolgulu veya kil dolgulu olma durumunu dikkate almakla birlikte suyun kil içerikli dolgu malzemesi üzerindeki etkisini doğrudan değerlendirmemektedir. Bu durum ise Su - Süreksizlik - Kil üçlüsünün su bileşeni etkisinin genel kaya kütle kalitesine tam olarak yansıtılmaması sonucunu doğurmaktadır.

- J_w /SRF, Etkili gerilmeler (Active Stresses): Gözlemsel verilere göre iki grup gerilme değıştirgesinin birbirine oranıdır. Barton (2002) tarafından yayınlanan makalede J_w değıştirgesinin yüksek su basıncı, yüksek hidrolik geçirimsizlik ve olası yüksek su boşalımlarının tünel duraylılığına olumsuz etkilerini değerlendirmeye alma amacıyla tasarlandığını belirtmiştir. O halde yukarıda da belirtildiği gibi; suyun killi süreksizlik dolgularında neden olduğu sürtünme kayıplarını (Olson, 1974) kapsayabilecek bir değıştirge olmayıp Su - Süreksizlik - Kil üçlüsünün su ve kil bileşenlerinin bileşkesinin kaya kütle değeri üzerindeki etkisini gözden kaçırmaktadır. SRF ise gerilme indirgeme sayısıdır ve tayini kolay ve pratik olmayan bir değıştirgedir. Gözlemsel verilere göre belirlenen sayının değeri aralıkları Grimstad ve Barton (1993) tarafından yapılan yayın ile güncelleştirilmiştir.

Kendisinde sürekli gelişime ve değişime uğratan sınıflama sisteminin kısıtlarını konu alan çeşitli yayınlar yapılmıştır. Bunlardan ilki yine Norveçli olan Palmstrom ve ark (2002) tarafından yayınlanmıştır. Q-Sisteminin kısıtlarını tartışan araştırmacı daha sonra Palmstrom ve Broch (2006) tarafından yapılan yayında bu eleştiri ve görüşlerini ayrıntılı biçimde dile getirmiştir. Araştırmacılar, özellikle blok boyutu, su durumu, yüksek Q-değerlerinin kullanımı, öneri destek sistemlerinin geçerliliği ve su-kil ilişkisi gibi Q-sisteminin yetersiz veya yanlış kullanıldığı noktalarda ayrıntılı açıklamalar sunmuşlardır.

Sözü edilen bu yetersizlikler kaya kütle özellikleri çok iyi olan “Ek” biriminde Q sistemine göre gerçekleştirilen sınıflandırmada çok belirgin değildir. Diğer bir deyişle Q-sistemine göre yapılan sınıflandırma sistemi çalışma alanındaki Ek

biriminin kaya kütle özelliklerini ve bunun tünelcilik açısından anlamını ortaya koymak yönünden genel anlamda yeterli olmuştur. Öyle ki; RMR yöntemine göre “orta kaliteli” bulunan kaya bu sisteme göre yapılan sınıflamada $Q=39$ için “iyi kaliteli” (bkz. Çizelge 4.4) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5) ve bu sonuç, tünel jeoteknik tasarımı açısından, RMR ile elde edilene göre çok daha iyidir.

Diğer taraftan daha önce yapılan açıklamalar ve öneriler doğrultusunda yeniden bir değerlendirme yapıldı;

- RQD : 100 (süreksizlikleri genel olarak çimentolu olan birimde kırıklı yapı önemsenmez ise)
- J_w : 1 (kilin olmadığı ortamda suyun kaya kütle değerine olumsuz etkimeyeceği hatta, daha önce belirtildiği üzere, çalışma alanındaki kireçtaşlarında bunun olumlu sonuçlarının izlendiği dikkate alınarak)

olarak değerlendirmeye alındığında $Q=67$ için “çok iyi” kaya kalitesine ulaşılabilmektedir. “Ek” biriminin zaten olumlu çıkan kütle özellikleri için bu farklılık dikkate çekici olmayabilir. Zira uygulanacak destek sistemi ve oluşturulacak tünel projesi açısından iki sınıf arasında büyük bir farklılık yoktur. Ancak, sayısal olarak bakıldığında Q değerinde yaklaşık %100 oranında bir artış olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Daha kritik bir kaya kütlelerinde bu farklılık çok daha anlamlı olabilecektir. Bu anlamda Su - Süreksizlik - Kil üçlüsünün etkisinin ana değiştirge olarak kaya kütle değerlendirmelerine dahil etmenin önemi belirgindir.

Çizelge 4.5. Çalışma alanındaki Ek birim için Q-sistemi kaya kütle sınıflandırması

Smf	RQD, %	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
A	0-25	Çok Zayıf		Sondajın kireçtaşı tabakaları içerisinde kalan kesiminden elde edilen karot yüzdelere göre belirlenmiştir
B	25-50	Zayıf		
C	50-75	Orta	55	
D	75-90	İyi		
E	90-100	Çok İyi		
<i>RQD ≥ 10 olup 5'in katları olarak seçilir</i>				
Smf	Ekleme Set Sayısı, Jn	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
A	0.5 - 1.0	Masif, birkaç süreksizlik		Egemen olan süreksizlik tabakalanma olup bunun dışında belirli bir sisteme dahil edilemeyen çeşitli sayıda süreksizlikler mevcuttur
B	2	Bir süreksizlik seti		
C	3	Bir set + Düzensiz süreksizlikler	3	
D	4	İki süreksizlik seti		
E	6	İki set + Düzensiz süreksizlikler		
F	9	Üç süreksizlik seti		
G	12	Üç set + Düzensiz süreksizlikler		
H	15	Dört ve daha fazla set / Çok eklemli		
J	20	Tamamen ezilmiş kaya kütleli		
<i>Kesişim için (3.0*Jn) ve b) Portaller için (2.0*Jn)</i>				
Smf	Ekleme Pürüzlülük, Jr	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
a) Duvar teması ve b) <10cm kayma için duvar teması				
A	4	Devamsız Süreksizlikler		Birim litolojisi gereği süreksizlikler, dolgunuz, ayrışmaz ve pürüzlü niteliktedir. Tabakalanma dışındaki süreksizlikler ise düzensiz ve dalgalı özellik taşımaktadır
B	3	Pürüzlü veya düzensiz/dalgalı	3	
C	2	Pürüzsüz, dalgalı		
D	1.5	Kayma çizikli, dalgalı		
E	1.5	Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel		
F	1.0	Pürüzsüz düzensiz/düzlemsel		
G	0.5	Kayma çizikli/düzlemsel		
<i>Tanımlamalar küçük ve orta ölçekte geçerlidir</i>				
b) Duvar teması yok				
H	1.0	Kalın kil mineral içerikli		
J	1.0	Kumlu, çakıllı veya kaya parça dolgu		
<i>Ortalama Aralık >3m ise Jr değeri 1.0 artırılır</i>				
Smf	Su Durumu, Jw	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
A	1.0	Kuru veya çok az akış (<5 l/min)	0,8	Süreksizlikler boyunca su hareketi mevcuttur. Her mevsim en azından damlama veya sızıntı şeklinde su girişi olacaktır
B	0.66	Orta akış veya basınç, nadiren eklem yıkanmaları		
C	0.5	Yüksek akış veya basınç		
D	0.33	Yüksek akış veya basınç, önemli boyutta eklem yıkanmaları		
E	0.2-0.1	Zaman içinde azalan çok yüksek su girişi veya basıncı		
F	0.1-0.05	Zaman içinde önemli oranda azalmayan çok yüksek su girişi veya basıncı		
<i>C ve F arasındaki sınıflar kaba tahminlerdir. Drenaj önlemi varsa Jw değeri artırılabilir</i>				

Çizelge 4.5. devamı

Smf	Ekleme Alterasyon, Ja	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
a) Duvar teması var (mineral dolgusu yok, sadece leke şeklinde)				
A	0.75		Geçirimsiz mineral dolgu, sıkı-kapalı	Genç kireçtaşı tabakalarında bozuşma-ayırışma olmayıp mevcut olanlar yüzey lekeleri şeklinde kendini göstermektedir
B	1.0	25-35°	Bozuşma yok, sadece yüzey lekeleri	
C	2.0	25-30°	Az bozuşmuş ekleme duvarları, kilsiz, kumlu, kaya parçalı ve mineral lekeli	
D	3.0	20-25°	Siltli, kumlu ve kil sıvama, yumuşamayan kil içerikli	
E	4.0	8-16°	Yumuşayan, veya düşük sürtünme açılı kil mineral sıvama; mika,talk vb.	
b) Duvar teması <10cm için var (ince mineral dolgulu)				
F	4.0	25-30°	Kumlu, kil içermeyen ve ayrılmış kaya parçalı	
G	6.0	16-24°	Yumuşamayan, aşırı önyüklemeli kil dolgusu (<5mm kalınlıkta)	
H	8.0	12-16°	Yumuşayan, orta/az önyüklemeli kil dolgusu (<5mm kalınlıkta)	
J	8-12	6-12°	Şişen kil; kil miktarı ve su içeriğine göre değer verilir (<5mm kalınlıkta)	
c) Duvar teması yok, (kalın mineral dolgulu)				
K	6,8 veya 8-12	6-24°	Ayrılmış, ufalanmış kaya parçalı ve killi dolgu bantları (kil egemen durum için G,H ve J dikkate alınmalıdır)	
L				
M				
N	5.0	-	Yumuşamayan az kil içerikli, silt-kum egemen bantlı	
O	10,13 veya 13-20	6-24°	Kalın kil dolgu bantlı (kil egemen durum için G,H ve J dikkate alınmalıdır)	
P				
R				
Stres İndirgeme Değeri, SRF				
Smf	Stres İndirgeme Değeri, SRF	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
H	2.5	Yüze yakın, düşük stres, açık eklemler		Stres şartlarının uygun olduğu birim içerisinde orta şiddetli stres koşulları egemendir
J	1.0	Orta stres, uygun stres koşulları	1,5	
K	0.5-2.0	Yüksek stres, gergin yapı, duraylı, duvar duraylılığı üzerinde etkili		
L	5-50	Masif kayalarda >1 saat için dilimli sökülme (slabbing)		
M	50-200	Masif kayalarda birkaç dakikadan sonra dilimli sökülme veya kaya patlaması		
N	200-400	Masif kayalarda önemli kaya patlamaları ve dinamik deformasyonlar		
Sembol	Tanım	Birim	Değer	Açıklama
Q	Kaya Kütle Değeri	-	39	$(RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF)$
NATM	NATM Kazı Sınıfı Karşılığı	-	A2	
RMR	RMR Kaya Sınıfı Karşılığı	-	77,0	(Bieniawski, 1976; Jethwa ve diğ., 1982)
Em	Elastisite Modülü	GPa	47,31	$Em=10^{(RMR-10)/40}$

Buna en güzel örnek yine çalışma alanında mevcuttur. Daha önce tanımı yapılan ve Et olarak adlandırılan Eosen yaşlı tortulların killi taban seviyesi Q-sistemi ile değerlendirilmesi mümkün olmayan bir birimdir. Çalışma alanında yüzlekler veren birimin ayrıntılı tanımı ve jeoteknik özellikleri önceki bölümlerde sunulmuş, buna göre bölgede yer alan en belirgin duraysızlık sorunlarının ana nedeni olduğu ortaya konulmuştu. Söz konusu birim için yaklaşık değerler atanarak yapılan Q sınıflaması sonucunda ise; daha önce yapılan tanım ve değerlendirmelerin tersine, olumlu kaya kütle özellikleri sunan bir birim tarifiyle karşılaşılmıştır (Çizelge 4.6). Bu çelişki dikkat çekicidir ve ilgili sınıflama sisteminin Et birimi için uygun olamayacağı sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır.

Zira, sınıflama sistemine göre Q=9 için “iyi kaliteli” olarak belirlenen birimin tünelcilik açısından önemli bir sorun teşkil etmeyeceği düşünülmelidir. Esasında mühendislik jeolojisi ilkeleri gözetilerek geniş bir alanda yapılan ayrıntılı saha incelemelerin olmadığı koşullarda sınıflama sistemi ile bulunan bu değer kullanılmasında herhangi bir sakınca görülmeyecektir. Öyle ki, tüm değiştirgeler; sistemin önermelerine uygun olarak ve o önermeler doğrultusunda tanımlanan birim özellikleri gözetilerek belirlenmiştir.

Ancak, çizelgelerdeki açıklama kısımlarına dikkat edilirse; özellikle J_n , J_w , J_r ve J_a değerlerinin birimin jeolojik özellikleri nedeniyle tanımlayıcı olması beklenmemelidir. Örneğin birimdeki süreksizlik sayısının az olması yüksek kaya kalitesinin göstergesi olmaktan çok birimdeki kil içeriği ile ilişkili fiziksel bir olgudur. Yine birimdeki su akışının düşük (<5 l/s) olması o birimdeki suyun azlığından değil birimin hidrolik geçirimsizliğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Öyle ki birimin kil içeriği yüksek olduğunda kolay akışa geçmeyen önemli bir su doygunluğuna sahiptir. Bunun, özellikle, deprem gibi büyük ve ani bir tektonik yükleme etkisinde; yüksek boşluk suyu basıncına, dolayısıyla, kendi içerisinde ve üzerindeki birimleri etkileyen önemli duraysızlık sorunlarına neden olması kaçınılmaz hale gelebilecektir.

Çizelge 4.6. Çalışma alanındaki Et birim için Q-sistemi kaya kütle sınıflandırması

Smf	RQD, %	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
A	0-25	Çok Zayıf		Kil oranı yüksek kütleli birimin; ikincil süreksizliklere ev sahipliği yapacak kadar gevrek karakterde olmayıp %100 RQD değerinin elde edilebileceği kesimlere sahiptir
B	25-50	Zayıf		
C	50-75	Orta	70	
D	75-90	İyi		
E	90-100	Çok İyi		
<i>RQD ≥ 10 olup 5'in katları olarak seçilir</i>				
Smf	Eklem Set Sayısı, Jn	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
A	0.5 - 1.0	Masif, birkaç süreksizlik		Egemen olan süreksizlik tabakalanma olup bunun dışında herhangi bir süreksizlik sistemi veya kırıklanma izlenmemektedir.
B	2	Bir süreksizlik seti	2	
C	3	Bir set + Düzensiz süreksizlikler		
D	4	İki süreksizlik seti		
E	6	İki set + Düzensiz süreksizlikler		
F	9	Üç süreksizlik seti		
G	12	Üç set + Düzensiz süreksizlikler		
H	15	Dört ve daha fazla set / Çok eklemli		
J	20	Tamamen ezilmiş kaya kütlesi		
<i>Kesişim için (3.0*Jn) ve b) Portaller için (2.0*Jn)</i>				
Smf	Eklem Pürüzlülük, Jr	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
a) Duvar teması ve b) <10cm kayma için duvar teması				
A	4	Devamsız Süreksizlikler		Egemen süreksizlik sistemi tabakalanma olup tabakalar tedrici olduğundan belirgin bir süreksizlik yüzeyinden bahsetmek mümkün değildir. Buna rağmen sayısal hata olmaması nedeniyle uygun bir değer atanmıştır.
B	3	Pürüzlü veya düzensiz/dalgalı		
C	2	Pürüzsüz, dalgalı	2	
D	1.5	Kayma çizikli, dalgalı		
E	1.5	Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel		
F	1.0	Pürüzsüz düzensiz/düzlemsel		
G	0.5	Kayma çizikli/düzlemsel		
<i>Tanımlamalar küçük ve orta ölçekte geçerlidir</i>				
b) Duvar teması yok				
H	1.0	Kalın kil mineral içerikli		
J	1.0	Kumlu, çakıllı veya kaya parça dolgu		
<i>Ortalama Aralık >3m ise Jr değeri 1.0 artırılır</i>				
Smf	Su Durumu, Jw	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
A	1.0	Kuru veya çok az akış (<5 l/min)	0,8	Kil içeriği yüksek olan birimde hidrolik geçirimsizlik düşük olduğundan bir su hareketinden bahsetmek mümkün değildir. Ancak, birimin üzerleyen kireçtaşlarından gelen su ile beslendiğini ve suya doygun olduğunu öngörmek mühendislik jeolojisi ilkeleriyle birebir örtüşmektedir
B	0.66	Orta akış veya basınç, nadiren eklem yıkanmaları		
C	0.5	Yüksek akış veya basınç		
D	0.33	Yüksek akış veya basınç, önemli boyutta eklem yıkanmaları		
E	0.2-0.1	Zaman içinde azalan çok yüksek su girişi veya basıncı		
F	0.1-0.05	Zaman içinde önemli oranda azalmayan çok yüksek su girişi veya basıncı		
<i>C ve F arasındaki sınıflar kaba tahminlerdir. Drenaj önlemi varsa Jw değeri artırılabilir</i>				

Çizelge 4.6. devamı

Smf	Ekleme Alterasyon, Ja	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
a) Duvar teması var (mineral dolgusu yok, sadece leke şeklinde)				
A	0.75			Birim içerisinde ikincil ayrışma ile oluşmuş bir kil-dolgu olmamakla birlikte birimin ana bileşeni kildir. Bu anlamda bir Ja değeri atamak oldukça güçtür. Diğer taraftan en olumsuz koşul dikkate alınarak sınıflamanın lehinde olmaya çalışılmıştır
B	1.0	25-35°		
C	2.0	25-30°		
D	3.0	20-25°		
E	4.0	8-16°	4	
b) Duvar teması <10cm için var (ince mineral dolgulu)				
F	4.0	25-30°		
G	6.0	16-24°		
H	8.0	12-16°		
J	8-12	6-12°		
c) Duvar teması yok, (kalın mineral dolgulu)				
K	6,8 veya 8-12	6-24°		
L				
M				
N	5.0	-		
O	10,13 veya 13-20	6-24°		
P				
R				
Stres İndirgeme Değeri, SRF				
Smf	Stres İndirgeme Değeri, SRF	Tanımlama	Çalışma Alanında	Açıklamalar
H	2.5	Yüzece yakın, düşük stres, açık eklemler		Stres şartlarının uygun olduğu birim içerisinde orta şiddetli stres koşulları egemendir
J	1.0	Orta stres, uygun stres koşulları	1,5	
K	0.5-2.0	Yüksek stres, gergin yapı, duraylı, duvar duraylılığı üzerinde etkili		
L	5-50	Masif kayalarda >1 saat için dilimli sökülme (slabbing)		
M	50-200	Masif kayalarda birkaç dakikadan sonra dilimli sökülme veya kaya patlaması		
N	200-400	Masif kayalarda önemli kaya patlamaları ve dinamik deformasyonlar		
Sembol	Tanım	Birim	Değer	Açıklama
Q	Kaya Kütle Değeri	-	9	$(RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF)$
NATM	NATM Kazı Sınıfı Karşılığı	-	B1/A2	
RMR	RMR Kaya Sınıfı Karşılığı	-	64,1	(Bieniawski, 1976; Jethwa ve diğ., 1982)
Em	Elastisite Modülü	GPa	22,52	$Em=10^{(RMR-10)/40}$

Farklılığa neden olan unsurlardan bir diğeri ise süreksizlik durumudur. Zayıf dayanımlı birim içerisinde belirgin bir süreksizlik izine rastlanılmamaktadır. Kıvrım ekseninin ortasında bulunmasına karşın, rijiditesi düşük olan birim; tektonik kuvvetler etkisinde çoğunlukla akıcı-plastik davranış sergilemiştir. Buna göre; seçilebilen tek süreksizlik sistemi tabakalanma olan birimde tabakalar tedrici geçişli olduğundan arada bir yüzey tanımlayarak onun pürüzlülüğü ve ayrışma derecesinden bahsetmek mümkün olmamaktadır.

Buna rağmen, yazarın bu değerlendirmede yaptığı gibi, değiştirgeleri en kritik koşulları sağlayacak şekilde yorumlayıp, olmayan değerleri var gibi göstermek yoluyla sınıflama sistemini yönlendirmek mümkündür. Ancak bu durumda sınıflama sisteminin evrenselliği ve genel uygulanabilirliği azalacaktır. Böylece, yapılan sınıflamanın üçüncü kişiler tarafından anlaşılmasız ve tamamen yanlış olduğu şeklinde yorumlanması olasılığı gündeme gelebilecektir.

Diğer taraftan en kritik koşullar bile dikkate alındığında sınıflandırma sonucu $Q=9$ olarak bulunmuştur (bkz. Çizelge 4.6). Başka bir deyişle birim; “orta/iyi kaliteli” kaya kütlesi sınıfında yer almalıdır. Ancak, su etkisinde yumuşayan, üzerindeki “Ek” birimine ait masif ve büyük boyutlu kireçtaşlarının kolaylıkla hareketini sağlayarak çok büyük ölçekli duraysızlıklara neden olmuş olan (bkz. şekil 4.19 ve şekil 4.20) ve birimin; tünel yapımında karşılaşılması istenilmeyecek özelliklere sahip olduğu açıktır. Bu çelişkili sonuç; kaya kütle değerlendirmelerinde mühendislik jeolojisi ilkelerinin ve özellikle Su - Süreksizlik ve Kil ilişkisinin önemini vurgulama açısından önem taşımaktadır. Sınıflandırmadaki tüm yeniliklere karşın bu ilişkinin kurulamaması yapılan çalışmaların özellikle bazı jeolojik birimlerdeki geçerliliğinin sorgulanmasına neden olacaktır.

O halde bu ve diğer sınıflandırma sistemlerinin birer kural gibi ele alınarak elde edilen sonucun kaya kütlesinin jeoteknik değiştirgelerinin sayısal ifadesinde tek başına bir araç olarak kullanılması algısından vazgeçilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bunun için, mühendislik jeolojisinin uygulamadaki yeri teşvik edilerek yere özgü koşulların öncelikli olarak belirlenmesinin bu tür sistemlerin uygulanmasından önce yapılması gereken ön çalışma olduğu şartı kabul edilmelidir. Sınıflandırma sistemleri ile bulunan değerlerin esnek olduğu ve yapılan ön

çalışmalardan elde edilen bulgular doğrultusunda değişikliğe uğratılabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. En önemlisi kaya kütle değerlendirmelerinde Su - Süreksizlik ve Kil ilişkisinin tanımlanmasında dikkat edilmelidir. Aksi takdirde bu çalışma alanında olduğu gibi gerçeği tam yansıtmayan sonuçlara ulaşmak söz konusu olabilecektir.

4.7.2. GSI-Sistemi

Geological Strength Index (GSI) olarak tanımlanan sistem ilk kez Hoek (1994) tarafından ortaya konulmuştur. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında ve jeoteknik değiştirgelerinin belirlenmesinde; jeolojik koşulların birincil önemi olduğunu vurgulayan sistem gerçekçi sonuçlara ulaşılması açısından önemli bir aşama olarak kabul edilebilir. GSI sistemi esasında; kaya kütleleri için önerilen Hoek - Brown Dayanım Kriteri denkliğinde kullanılacak değiştirgelerin belirlenmesi amacıyla üretilmiştir (Hoek ve Brown, 1980a-b). Bu anlamda bir kaya kütle sınıflandırma sistemi olarak ortaya çıkmamıştır. Diğer taraftan kaya kütlesi ve süreksizlik durumu dikkate alınarak yapılan değerlendirme dolaylı olarak kaya kütle kalitesini yansıtmaktadır. Üstelik Hoek - Brown Dayanım Kriteri denkliklerine veri sağlayan sistem ile kaya kütlesi dayanım değiştirgeleri (E , ϕ° ve c) belirlenebilmektedir. Bununla birlikte yazar, daha önceki bölümlerde anlatılan yetersizlikler doğrultusunda, GSI sistemi ile bulunan sonucun diğer sınıflandırma sistemlerinden elde edilenler ile eşleştirilmeye çalışılmasının uygun olmayacağı görüşündedir.

Jeolojik koşulları dikkate alarak değerlendirme yapan GSI sistemi daha gerçekçi görölmekle birlikte, kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi söz konusu olduğunda, ilgili mühendislik yapısının tasarımında tek veri olarak doğrudan kullanılmasının uygun olmayacağı düşünölmektedir. Öyle ki, Su - Süreksizlik ve Kil ilişkisi GSI ile yapılan değerlendirmelerde de gözardı edilmektedir. Bu durum yine çok güvenli ve dolayısıyla gereğinden daha fazla maliyetli jeoteknik tasarımların yapılması ve uygulanmasına neden olabilmektedir.

Sürekli yenilerek geliştirilmeye çalışılan GSI sisteminde en son yapılan değişiklik ile flişel istiflerin ayrı bir kaya kütlesi olarak değerlendirmeye alınmasının

daha uygun olacağı görüşü ortaya konulmuştur (Marinos ve Hoek, 2000 - 2001). Şekil 4.35 'de yapılan yeni tanımlamaya göre GSI sistemi; kumtaşı, miltaşı, kıltaşı ve şeyl tabakalarının varlığı ve hatta bunların tektonik etkiler altında uğradıkları kıvrım ve kırılma şekillerini dikkate alarak bir değerlendirme imkanı sağlamaktadır. Böylece önemli ve yaygın bir jeolojik birim olan flişel istiflerin olması gerektiği gibi ayrı bir kategori altında ele alınarak daha gerçekçi bir kaya kütlesi tanımı yapmak mümkün olabilmektedir.

FİLİŞ TÜRÜ HETEROJEN KAYA KÜTLELERİ İÇİN GSI (Marinos ve Hoek 2000).		SÜREKSİZLİKLERİN YÜZEY DÜZLEMLERİ (Özellikle tabaka düzlemleri)	İYİ - Dalgalı, çok az günlenmiş yüzeyler	AZ İYİ - Düzgün, orta derecede günlenmiş ve ayrılmış yüzeyler	ZAYIF-Çok düzgün, yer yer sıkı kaplamalı veya köşeli parçacıklar içeren kayma gizli yüzeyler	ÇOK ZAYIF-Çok düzgün kayma gizli veya yumuşak kil kaplamalı veya dolgu ileri derecede günlenmiş yüzeyler. Kayma gizli
<p>SÜREKSİZLİKLERİN YÜZEY DÜZLEMLERİ (Özellikle tabaka düzlemleri)</p> <p>FİLİŞ TÜRÜ HETEROJEN KAYA KÜTLELERİ İÇİN GSI (Marinos ve Hoek 2000). Kaya türü, yapı ve yüzey durumu (özellikle katmanlaşma düzlemleri) göz önünde tutularak çizilmeden ilgili kutuyu seç. Süreksizlikleri göz önünde tutarak kutu içerisindeki konularını belirle ve ortalama GSI değerini eşdeğer eğrilerinden bul. Çok hassas değer okumaya yeltenmeyin. 33-37 okuması 35'ten daha gerçekçidir. Unutmayınız ki Hoek-Brown ölçütü yapısal olarak denetlenen yenilemelerde kullanılmaz. Olumsuz konumlu zayıf düzlemsel süreksizliklerin olduğu yerlerde kaya küttele davranışını bunlar belirlerler. Bazı kaya kütlelerinin dayanımı yeraltısuyunun varlığında düşer. Bu durumda elde edilen okuma aralığı sağa doğru kaydırılarak az iyi, zayıf ve çok zayıf doğru kaydırılarak tasarım ortalama değeri elde edilir. Su basıncı GSI değerini değiştirmez. Bu durum etkin gerilme incelemeleriyle karşılanır.</p>		<p>A. Kalın tabakalı, büyük bloklulu kumtaşı Tabakalar üzerindeki kil kaplamalarının etkisi kaya kütlesinin sıklığı nedeniyle en düşük düzeydedir. Sığ tünel ve yamaçlarda bu tabaka düzlemleri yapısal olarak denetlenir. Duraysızlıklara neden olabilir.</p>	<p>İYİ - Dalgalı, çok az günlenmiş yüzeyler</p>	<p>AZ İYİ - Düzgün, orta derecede günlenmiş ve ayrılmış yüzeyler</p>	<p>ZAYIF-Çok düzgün, yer yer sıkı kaplamalı veya köşeli parçacıklar içeren kayma gizli yüzeyler</p>	<p>ÇOK ZAYIF-Çok düzgün kayma gizli veya yumuşak kil kaplamalı veya dolgu ileri derecede günlenmiş yüzeyler. Kayma gizli</p>
<p>A. Kalın tabakalı, büyük bloklulu kumtaşı Tabakalar üzerindeki kil kaplamalarının etkisi kaya kütlesinin sıklığı nedeniyle en düşük düzeydedir. Sığ tünel ve yamaçlarda bu tabaka düzlemleri yapısal olarak denetlenir. Duraysızlıklara neden olabilir.</p>		<p>70</p>	<p>60</p>	<p>50</p>	<p>40</p>	<p>30</p>
<p>B. İnce miltaşı ara katmanlı kumtaşı</p>		<p>50</p>	<p>40</p>	<p>30</p>	<p>20</p>	<p>10</p>
<p>C. Eşit oranda mil ara katmanlı kumtaşı</p>		<p>40</p>	<p>30</p>	<p>20</p>	<p>10</p>	<p>0</p>
<p>D. Kumtaşı ara katmanlı miltaşı veya milli ve yapraklanmalı kumtaşı (şeyl)</p>		<p>30</p>	<p>20</p>	<p>10</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>E. Kumtaşı ara katmanlı zayıf miltaşı veya killi şeyl veya milli ve yapraklanmalı kumtaşı (şeyl)</p>		<p>20</p>	<p>10</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>F. Tektonik olarak biçim değişime uğramış, parçalanmış ve düzensiz yapılu kumtaşı katmanları içeren ileri derecede kıvrılmış/kırıklanmış makaslanmalı killi şeyl.</p>		<p>10</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>G. Çok ince kumtaşı katmanları içeren veya hiç içermeyen örselenmiş milli veya killi şeyl.</p>		<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>H. Kil cepleri içeren ve tektonik olarak biçim değişime uğratıldığından karışık yapılu milli veya killi şeyl. İnce kumtaşı katmanları da kırılarak küçük kaya parçaları görünümündedir.</p>		<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>0</p>

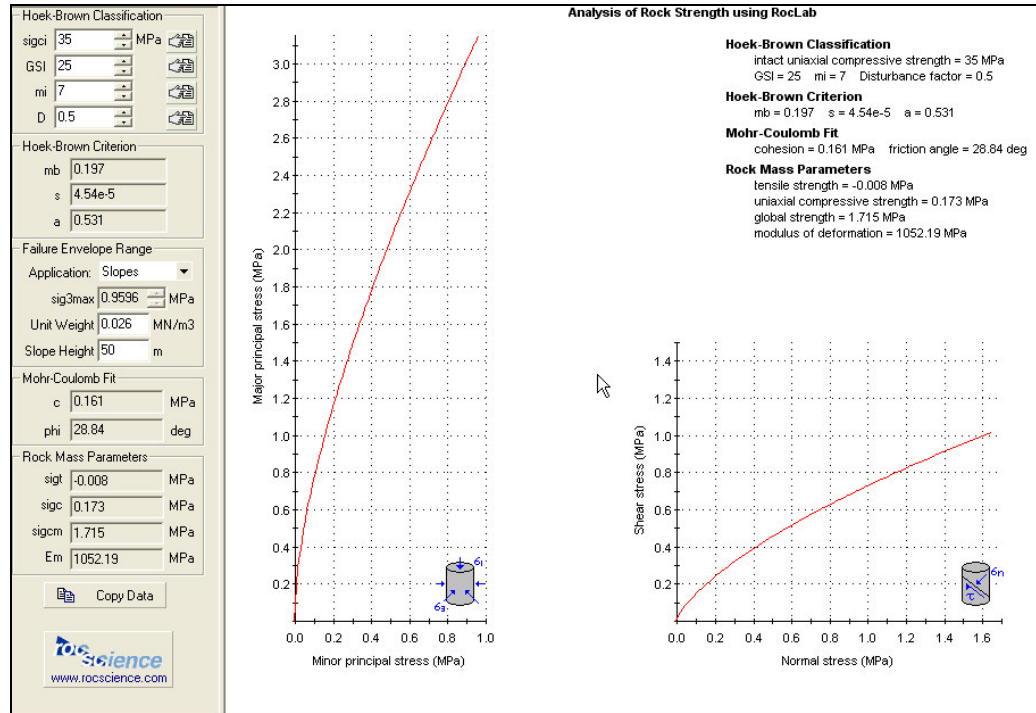
Şekil 4.35. Fliş türü heterojen kaya kütleleri için GSI (Marinos&Hoek, 2000-2001).

Buna karşılık Su - Süreksizlik ve Kil ilişkisinin önemine ve kaya kütle kalitesi ve dayanım değıştirmeleri üzerindeki etkisine değinilmemiştir. Suyun olumsuz etkisinin değlendirmeye yansıtılması netleştirilmemiş, süreksizlik yöneliminin kaya kütle kalitesine etkisi konu edilmemiştir. Buna göre yapılan bir değlendirmede; flişel istife ait kaya kütle kalitesi ve dayanım değıştirmelerinin olduğundan daha yüksek veya daha düşük belirlenme olasılığı her zaman mevcuttur. Çalışma alanında yer alan ve 3 ana jeolojik birimden biri olarak haritalanan flişel istif (Kt) bu durumu açıklayan belirgin bir örnek olarak kendini göstermektedir. Kt birimi daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere kumtaşı - miltaşı ve kiltası ardalanmasından oluşan ileri tektonik etki altında ileri derecede faylanmış, kırıklanmış ve kıvrımlanmış (bkz. Şekil 4.12) ancak etkili süreksizlik sistemi olan tabakalanması belirgin olarak izlenen jeolojik birimdir. Çalışma alanında geniş yüzlekler veren birim açılacak tünelin çıkışa yakın kısmında ve çıkış ağzının tamamında kesilecektir. Bu bağlamda jeoteknik tasarımın önemli bir kısmında birimin jeoteknik değıştirmelerine gereksinim duyulacaktır. Buna göre; GSI sistemi uyarınca değlendirilen birim;

- Tektonik etki altında kırıklı, kıvrımlı ve faylı olmak üzere bozulmuştur ve
- Kalın kumtaşı tabakaları arasında miltaşı ve kiltası seviyeleri içermektedir
- Bu şekliyle birim; F veya iyi olasılıkla E sınıfında (bkz. Şek. Fliş GSI) yer almaktadır.
- Miltaşı egemen birimde mi:7 değerinin kullanılması uygundur. Buna göre; hasar etki katsayısı (disturbance factor) gerilme rahatlamaları ve kazıcı etkisi dikkate alınarak D:0,5 olarak seçilmiştir.
- Süreksizlik yüzeyleri az pürüzlü, ayrışma derecesi orta veya kil dolguludur. Buna göre birim GSI değerinin 20 ile 30 arasında değışebileceği önerilebilir.
- SK2 ve SK3 sondajlarından (bkz. Ek – I) elde edilen karotlar üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre kaya tek eksenli basınç dayanımı yaklaşık 35 MPa olarak bulunmuştur (bkz. Şekil 4.22).

Bu veriler ışığında, örneğin bir yarma yamacı için yapılan değlendirmede, birim kaya kütle dayanım değıştirmeleri Hoek - Brown Dayanım Kriteri esas alınarak

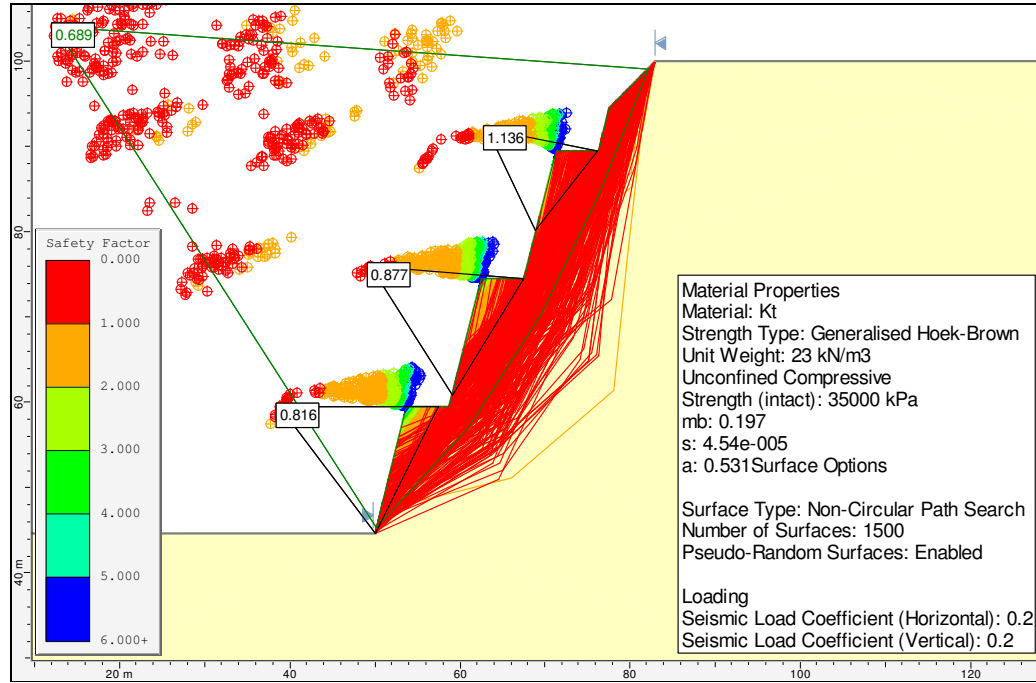
hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamaların bilgisayar ortamında yapılmasına olanak sağlayan RocLab programı (Rockscience, 2003) yardımıyla yaklaşık 50 m (tünel çıkış ağızı alın yamacında kesilecek birimde oluşturulması planlanan ortalama yarma yüksekliğinde) yüksekliğinde açılacak bir yarmanın sayısal incelemesinde kullanılacak jeoteknik değiştirgeler aşağıdaki gibi bulunmuştur (şekil 4.36).



şekil 4.36. Kt içinde açılacak h=50 m olan yarma için GSI ve jeoteknik değiştirgeler.

- Kaya kütle kohezyonu, c : 0.16 MPa
- Kaya kütle sürtünme açısı, ϕ : 28°
- Elastisite Modülü, E_m : 1052 MPa

Bu değiştirgeler baz alınarak yapılan sayısal incelemeye (I. derece deprem bölgesi için (bkz. şekil 4.10) deprem ivme katsayısı 0.2g alınmıştır) göre 1Yatay:4Dsey (79°) oranında oluşturulacak yarmada belirgin bir duraysızlık sorunu (Güvenlik Katsayısı < 1) yaşanacaktır (şekil 4.37).

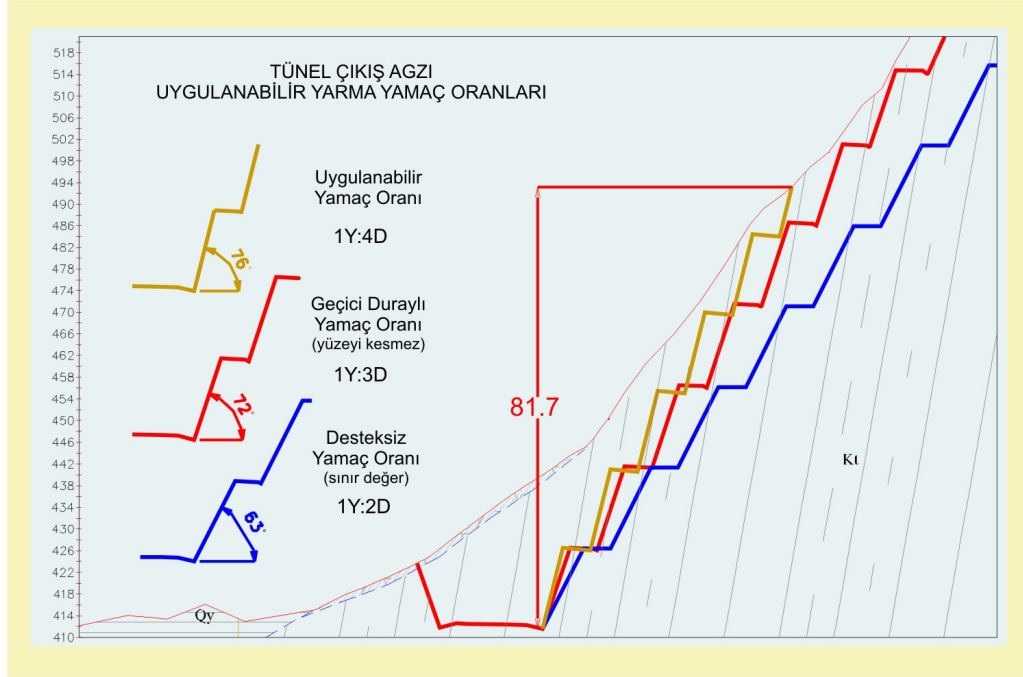


Şekil 4.37. Kt içinde açılacak 50 m yüksekliğindeki yarmanın sayısal incelemesi.

Cildikısıp Tüneli Geçişinde uygulanmak üzere olan mevcut projede yarma yamaç eğiminin 1Yatay:4Düşey (76°) 'den daha düşük açılabilmesi mümkün değildir. Aksi takdirde, yarma yüksekliği uygulanabilir olmaktan çıkmaktadır (Şekil 4.38). Buna göre; yarmalar açılrsa dahi yoğun bir destek sistemi kullanılarak desteklenmesi gerekecektir.

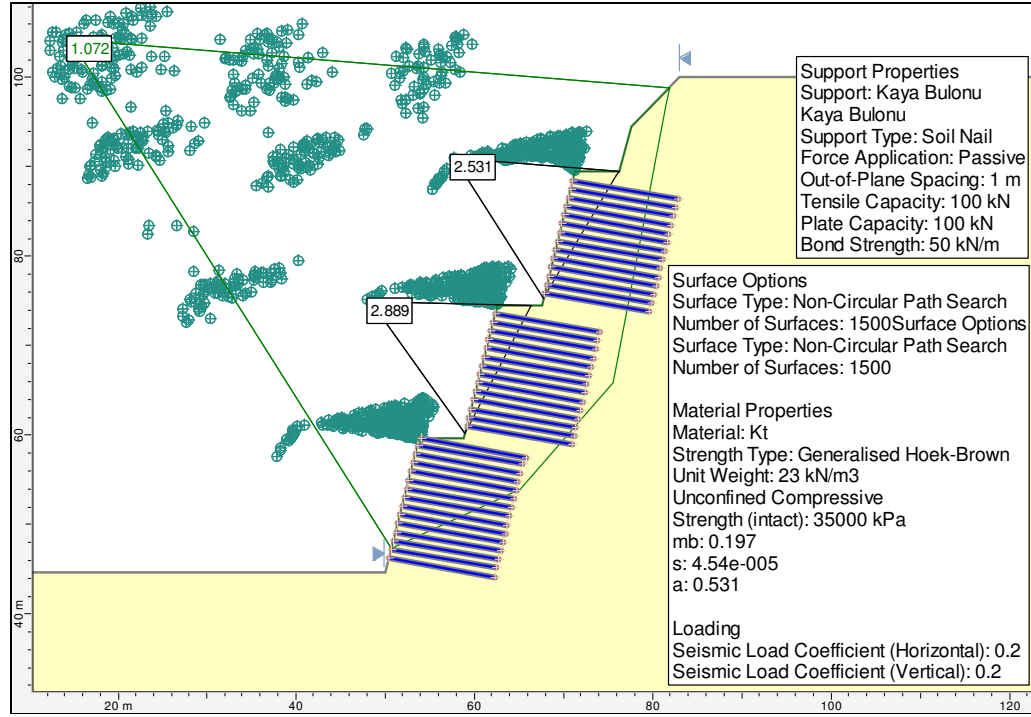
Bu durumu sayısalştırmak adına söz konusu şevler için uygulanabilecek en ekonomik ve pratik destek sistemi seçilerek destekli şevlerin güvenlik analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.39). Buna göre; yatay-düşey aralığı 1.0m ve uzunluğu 12m olan kaya bulonu uygulamasını içeren yoğun bir destek sistemi oluşturulmuştur. Buna rağmen elde edilen şev güvenlik katsayısı ancak duraylılık sınırına kadar yükseltilebilmiştir. Bu durum; alternatifi olduğu halde yapının, şevlerin bu denli yüksek çıkmasına neden olacak şekilde, tercihli konumlandırmasının doğal bir sonucudur. Yoğun destek uygulaması ile yapı güvenliği sağlanmış olsa bile ortaya

çıkan maliyet, yapılan işin mühendislik boyutunun sorgulanmasını gerektirecek kadar yüksek olacaktır.

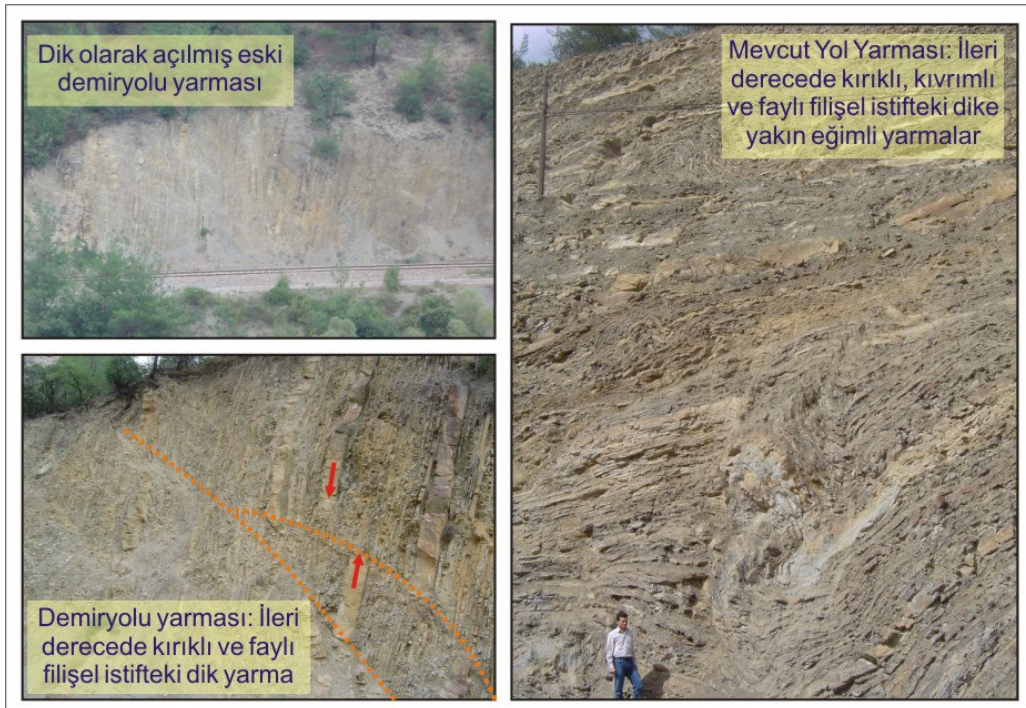


Şekil 4.38. Kt içinde açılacak yarmada uygulanabilir yamaç eğimi ve yüksekliği.

Diğer taraftan birim içerisinde cumhuriyet döneminde yapılmış mevcut tren yolunun dik ve dike yakın yüksek yarmaları (>20 m) hiçbir destek sistemi ve/veya kaplamaya gereksinim duymadan ve herhangi bir duraysızlık sorununa neden olmaksızın bugün de hizmet vermeye devam etmektedirler (Şekil 4.40). Bu araştırma bulgusunun önemi yüksektir. Zira, aynı jeolojik birim içerisinde uygulanan benzer yarma şevleri için farklı duraylılık değerleri elde edilmektedir. Bu farklılık ise ancak süreksizlik durumu ve uygulanacak mühendislik yapısına göre konumu dikkate alındığında açıklanabilmektedir.



Şekil 4.39. Kt içinde açılacak duraysız yarmanın destekli sayısal incelemesi.



Şekil 4.40. Kt içindeki dik ve dike yakın eğimde demiryolu ve karayolu yarmaları.

Bu bağlamda, bu tezinde konusu olduğu üzere, kaya kütle değerlendirmesi yapılırken ve kaya kütlesi jeoteknik değiştirgeleri belirlenirken Su - Süreksizlik ve Kil ilişkisi ve bunların yapı konumuyla ilişkisi mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Buna göre aynı birim için farklı konumlara göre farklı mühendislik değiştirgelerine ulaşılabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma alanında izlenen Kt birimi göreceli olarak düşük kaya kütle özelliklerine sahip olmasına karşın açılan dik yarmalarda önemli bir duraysızlık sorunu ile karşılaşılmamaktadır. Zira, şekillerden de dikkat edilebileceği gibi, açılan dik yarmaların hepsinde egemen süreksizliklerin eğim yönü açılan yamaç yüzeyi doğrultusuna dik (yamaç-içeri) veya buna $\pm 20^\circ$ eğimli (yamaç-verev) konumlandırılmıştır.

Bu noktada yapılan sayısal incelemelerin söz konusu kaya kütlesi için geçerliliği tartışılabilir. İleri derecede kırıklanmış olsa dahi süreksizlik sistemleri belirgin olan ve olası duraysızlık tipleri bu süreksizlikler tarafından kontrol edilen bir kaya kütlesi için yapılacak sayısal analizlerde, yukarıdaki gibi bir yenilme mekanizmasının gelişmeyeceği bunun yerine salt düzlemsel ve/veya kama tipi lokal duraysızlıkların oluşabileceği önerilebilir. Esasında bu itirazlar, tezin içinde sürekli vurgulanan ve kaya kütlelerinin Su - Süreksizlik ve Kil üçlüsünün ilişkisine göre yorumlanmasını öneren yaklaşımın doğrudan bir sonucudur. Diğer bir deyişle yazar bu itirazlara katılmaktadır.

Ancak, kaya kütlesi özelliklerinin sayısallaştırılması ve kaya kütle jeoteknik değiştirgelerinin üretilmesi, çoğu zaman yanlış sonuçlar verebilecek, bu kullanımı teşvik etmektedir. Bunun doğal sonucu olarak; ayrıntıların araştırılarak mevcut sistem ve uygulamalara yeni yaklaşımlar getirmek ve bu şekilde daha güvenilir ve az maliyetli jeoteknik tasarımlar oluşturmaya çalışmak yerine, standartlaşmış ve çoğu zaman yere özgü koşullarla uyuşmayan ancak kolaylıkla uygulanabilen yöntemlerin seçilmesi tercih edilir olmuştur (Yılmaz ve ark., 1992).

Bu aşamada tekrar etmekte yarar görölmektedir ki; yazar bugüne kadar kaya kütle değerlendirmesi ve dayanım değiştirgelerinin belirlenmesine yönelik yapılan hiçbir çalışmanın karşısında değildir. Araştırmacıları tarafından sürekli değişime uğratarak yenilenen (Ertunç, 1984) tüm bu çalışmaların kaya mekaniğine özellikle

tünel ve maden mühendisliği konularında çok büyük katkılar yaptığı açıktır ve bu durum tez kapsamında incelenen sayısız yayında kendini göstermektedir. Buna karşın, bu sistem ve yöntemlerin birer reçete gibi kullanılmaya çalışılmasının yanlış olduğu ve bu şekilde tasarıma büyük etkisi olabilecek diğer ayrıntıların kaçırılıyor olduğunun altı çizilmek istenmektedir.

4.8. Jeoteknik Değerlendirme: Çalışma Alanında Bulunan Kaya Kütlelerinin Jeoteknik Değiştirgelerinin Belirlenmesi

Çalışma alanında yapımı planlanan tünelli geçişin; köprü, tünel ve tünel giriş-çıkış ağızlarındaki yüksek yarma bileşenlerinin jeoteknik tasarımında kullanılmak üzere ilgili jeolojik birimlerin jeoteknik değiştirgelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Geçişte kesilecek ve tamamı kaya kütleleri olan jeolojik birimlere ait jeoteknik değiştirgeler; sahada yapılan sondaj, araştırma çukuru verileri ve bunlardan elde edilen örnekler üzerinde yapılmış olan laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak GSI yöntemi uyarınca belirlenecektir. Söz konusu yöntemde kullanılan veriler yazarın sahada elde ettiği bulgular ışığında ve Su - Süreksizlik ve Kil üçlüsünün etkileri göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Böylece, yere özgü koşulların GSI yöntemi ile elde edilen sonuçlara etki ettirilmesine gayret edilerek optimum jeoteknik tasarımın oluşturulabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Sahadaki üç ana jeolojik birim aşağıdaki gibidir ve ayrıntılı değerlendirmeleri alt başlıklarda sunulacaktır.

1. Kretase yaşlı flişel istif, Kt
2. Eosen yaşlı tortul istifin alt üyesi, Et
3. Eosen yaşlı tortul istifin üst üyesi, Ek.

4.8.1. Kretase Yaşlı Flişel İstifi (Kt) Jeoteknik Değiştirgeleri

Kretase yaşlı flişel istif; kıltaşı-miltaşı-kumtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Ayrıntılı açıklaması önceki bölümlerde yapılan kaya kütlelerinin farklı tabakalarında

çok farklı dayanım değerlerine ulaşılmakla birlikte, değerlendirmeyi daha karmaşık hale getirmemek amacıyla, birim;

- ‘orta dayanımlı’ kabul edilmiştir. SK2 ve SK3 sondajlarından (bkz. Ek – I) elde edilen karotlar üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre kaya tek eksenli basınç dayanımı yaklaşık 35 MPa olarak bulunmuştur (bkz. Şekil 4.22).
- Süreksizlikleri düzgün yüzeyli, az pürüzlü ve yer yer yumuşak dolguludur.
- Süreksizlik yüzeylerinde orta derecede ayrışma izlenmektedir.
- Kıltaşı – miltaşı seviyeleri ince tabakalı (1-5 cm) iken kumtaşı tabakaları ince-orta kalınlıktadır (5-25 cm).
- Buna göre miltaşının egemen olduğu kabul edilen birimde mi:7 değerinin olarak kabul edilmiştir.
- Flişler için düzenlenmiş olan GSI değerlendirmesine göre (bkz. Şekil 4.35) birim; E veya F sınıfında değerlendirilmiş, GSI:25 olarak seçilmiştir.

Diğer taraftan önceki bölümlerde gerekçeleri açıklandığı üzere yazar, söz konusu birimin, Su – Süreksizlik ve Kil ilişkisi dikkate alınarak, aşağıda sıralanan üç farklı koşul için üç farklı şekilde değerlendirilmesinin uygun olacağı görüşünü benimsemiştir. Bu koşullar ve onlara bağlı değerlendirme biçimi ve ayrıntıları ilerleyen alt başlıklarda sunulmuştur.

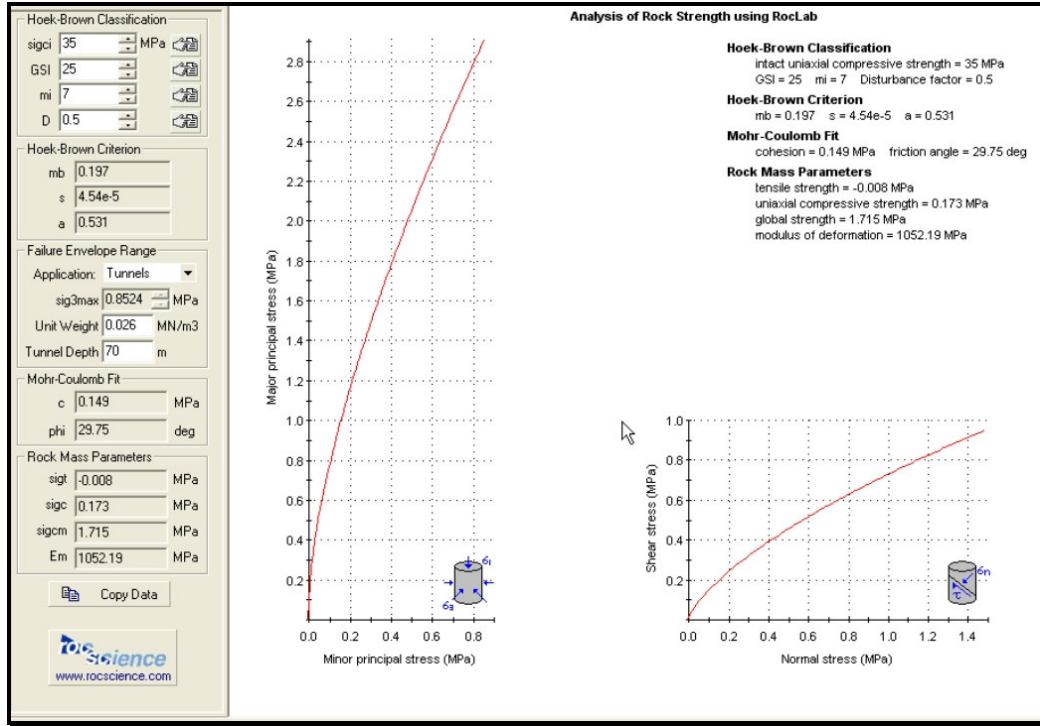
4.8.1.1. Tünel Kazısı İçinde Kt Jeoteknik Değişirgeleri

Tünel kazısı içinde yapılacak jeoteknik tasarımlarda güvenli tasarım tarafında kalabilmek amacıyla; orijinal tanıma sadık kalınarak ve kütleli duraysızlık olasılığı göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Buna göre; Şekil 4.35 ‘de sunulan tanımlamalar doğrultusunda birim;

- F veya iyi olasılıkla E sınıfında yer almaktadır
- Süreksizlik yüzeyleri az pürüzlü, ayrışma derecesi orta veya kil dolguludur
- Birim GSI değerinin 20 ile 30 arasında değişebileceği önerilebilirken tasarımda bu değer GSI:25 olarak seçilmiştir.

- Hasar etki katsayısı (disturbance factor) gerilme rahatlamaları ve patlatma etkisi dikkate alınarak D:0,5 seçilmiştir.
- Tünel et kalınlığı en yüksek yerinde geçerli olacak şekilde 70 m olarak alınmıştır.

Bu veriler doğrultusunda belirlenen kaya kütle jeoteknik değiştirgeleri; Hoek - Brown dayanım kriterine uygun olarak, daha önce adı geçen, RocLab bilgisayar programı aracılılığıyla hesaplanmıştır (şekil 4.41 ve izelge 4.7).



şekil 4.41. Kt içinde açılacak tünele ait GSI ve jeoteknik değiştirgeler.

Çizelge 4.7. Kt içinde açılacak tünele ait jeoteknik tasarım değiştirgeleri

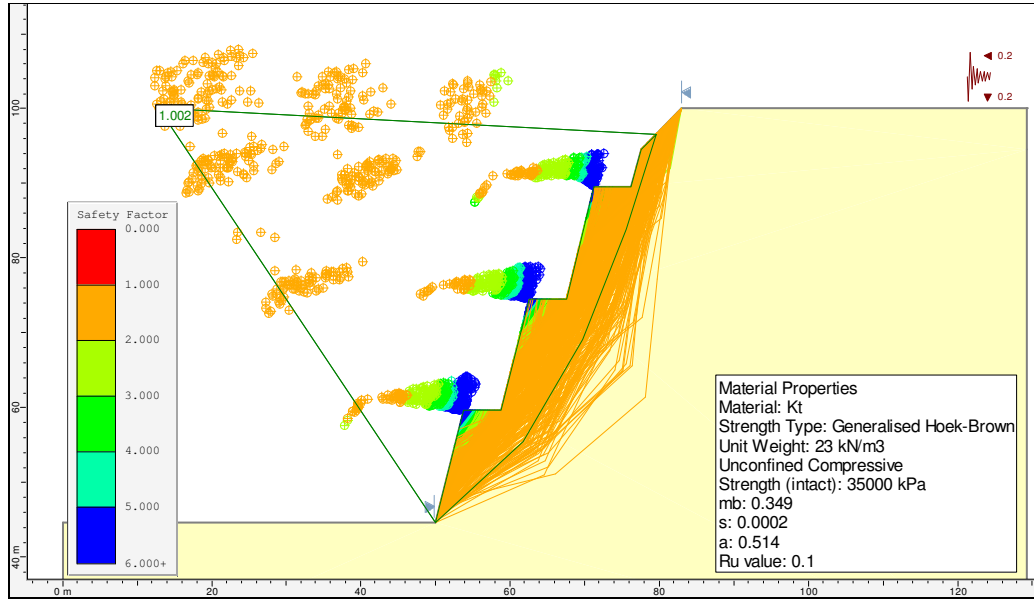
GSI Kaya Küttele Değerlendirme Sonuçları				
	mb			0.197
Hoek - Brown Değiştirgeleri	s			4.54 E-5
	a			0.531
Jeoteknik Değiştirgeler	İçsel Sürtünme	ϕ	$^{\circ}$	30
	Kohezyon	c	kPa	15
	Elastisite Modülü	Em	MPa	1052

4.8.1.2. Tünel Çıkışı Sağ-Sol Yamaç için Kt Jeoteknik Değiştirgeleri

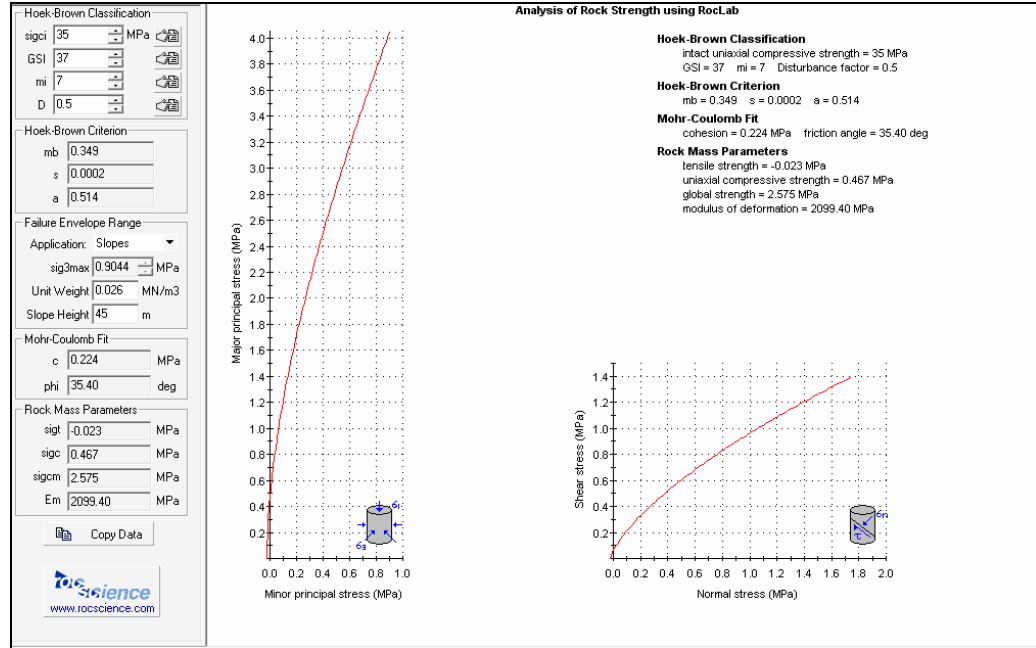
Tünel çıkışında oluşturulacak yüksek yarmaların hemen tamamında kesilecek olan Kt biriminin jeoteknik değiştirgelerinde yine GSI yönteminden yararlanılacaktır. Ancak, yöntem; süreksizlik durumu (yönelim ve eğimi) dikkate alınarak kullanılmaya çalışılacaktır. Buna göre; Şekil 4.35 'de sunulan tanımlamalar doğrultusunda birim;

- F veya iyi olasılıkla E sınıfında yer almaktadır
- Süreksizlik yüzeyleri az pürüzlü, ayrışma derecesi orta veya kil dolguludur
- GSI değeri; şev duraylılığı desteksiz olarak uzun süredir korunan mevcut dik Kt yarma enkesitlerinde yapılan geri analizlere göre belirlenmiştir (Şekil 4.42). Güvenlik Katsayısı (GK) 1.0 değeri için yapılan geri analiz sonuçlarına göre birim duraylılığı GSI=37 için bulunan kaya kütle jeoteknik değiştirgeleri ile sağlanmaktadır (Şekil 4.43). Tünel içinde kullanılan GSI değeri ile kıyaslanınca, bu bölümde aynı birim için farklı bir değerin kullanılmış olması çelişkili görülebilir. Ancak, bu farklılık, yazarın tez boyunca vurgulamaya çalıştığı; mühendislik jeolojisi ilkeleri kapsamında anlam bulan; Su – Süreksizlik – Kil üçlüsünün jeoteknik değiştirgelerin belirlenmesinde kullanılması yaklaşımından kaynaklanmaktadır. Süreksizliklerin konumu oluşturulacak yarmalar açısından son derece uygun ve olumludur. Farklı GSI değeri ise bu durumun doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

- Hasar etki katsayısı (disturbance factor) gerilme rahatlamaları ve patlatma etkisi dikkate alınarak D:0,5 seçilmiştir.
- Birim içinde oluşturulması planlanan en büyük yarma 80 m yüksekliğinde olacaktır.



Şekil 4.42. Mevcut Kt yarma enkesitinde GK=1.0 değerini veren geri analiz.



Şekil 4.43. GK:1.0 değerini veren kaya kütle değiştirgeleri için GSI değerlendirmesi.

Bu veriler doğrultusunda belirlenen kaya kütle jeoteknik değiştirgeleri; Hoek - Brown dayanım kriterine uygun olarak RocLab bilgisayar programı aracılığıyla Çizelge 4.8 'de verildiği gibi belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Kt içinde açılacak yüksek yarmalara ait jeoteknik tasarım değiştirgeleri

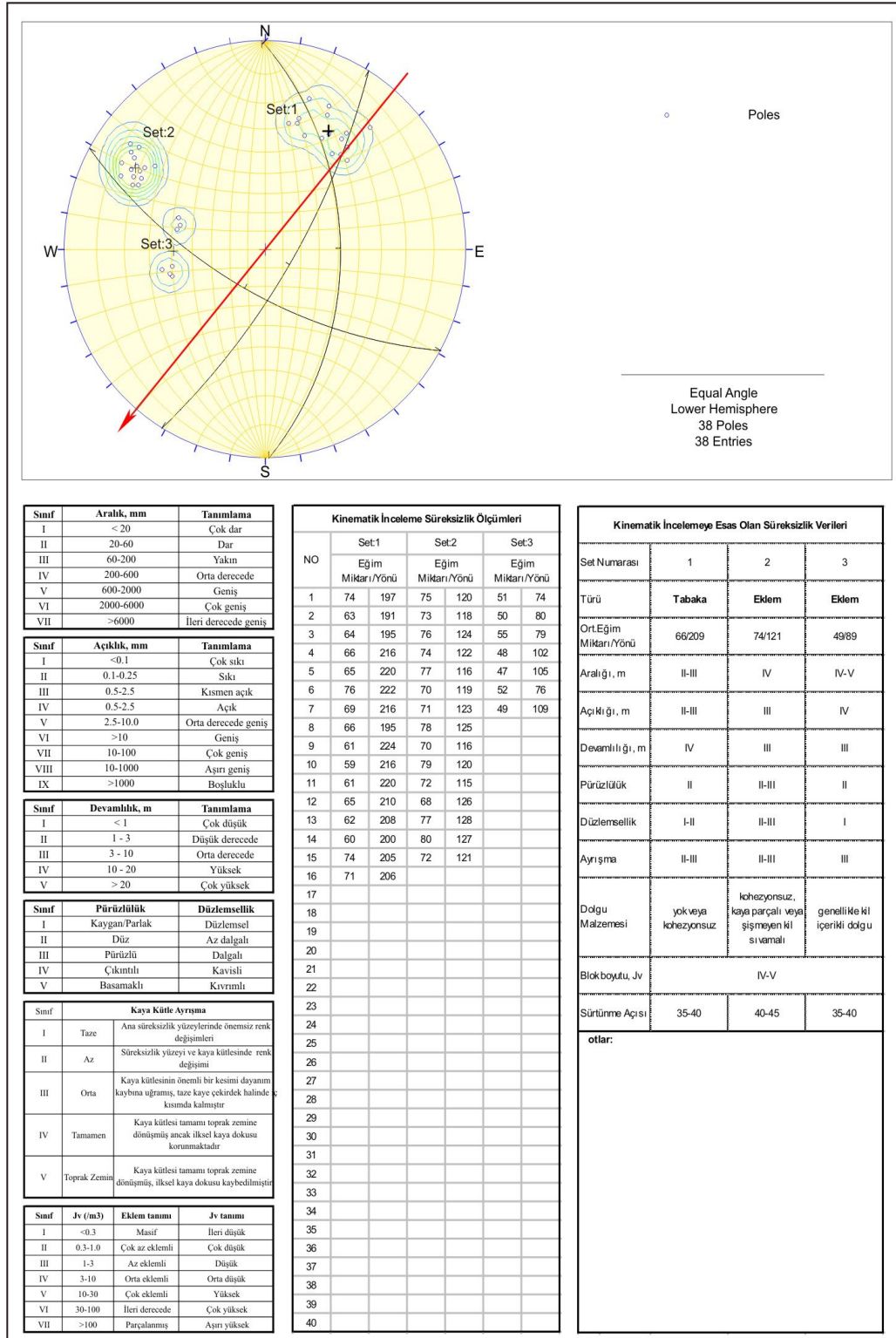
GSI Kaya Kütle Değerlendirme Sonuçları				
	mb			0.349
Hoek - Brown Değiştirgeleri	s			0.0002
	a			0.514
	İçsel Sürtünme	ϕ	$^{\circ}$	35
Jeoteknik Değiştirgeler	Kohezyon	c	kPa	224
	Elastisite Modülü	Em	MPa	2100

Aynı birim için, farklı mühendislik yapılarının tasarımında kullanılmak üzere, belirlenen jeoteknik değiştirgelerin birbirinden farklı olması; birim içindeki süreksizlik eğim ve yöneliminin oluşturulacak yapıya göre konumundan

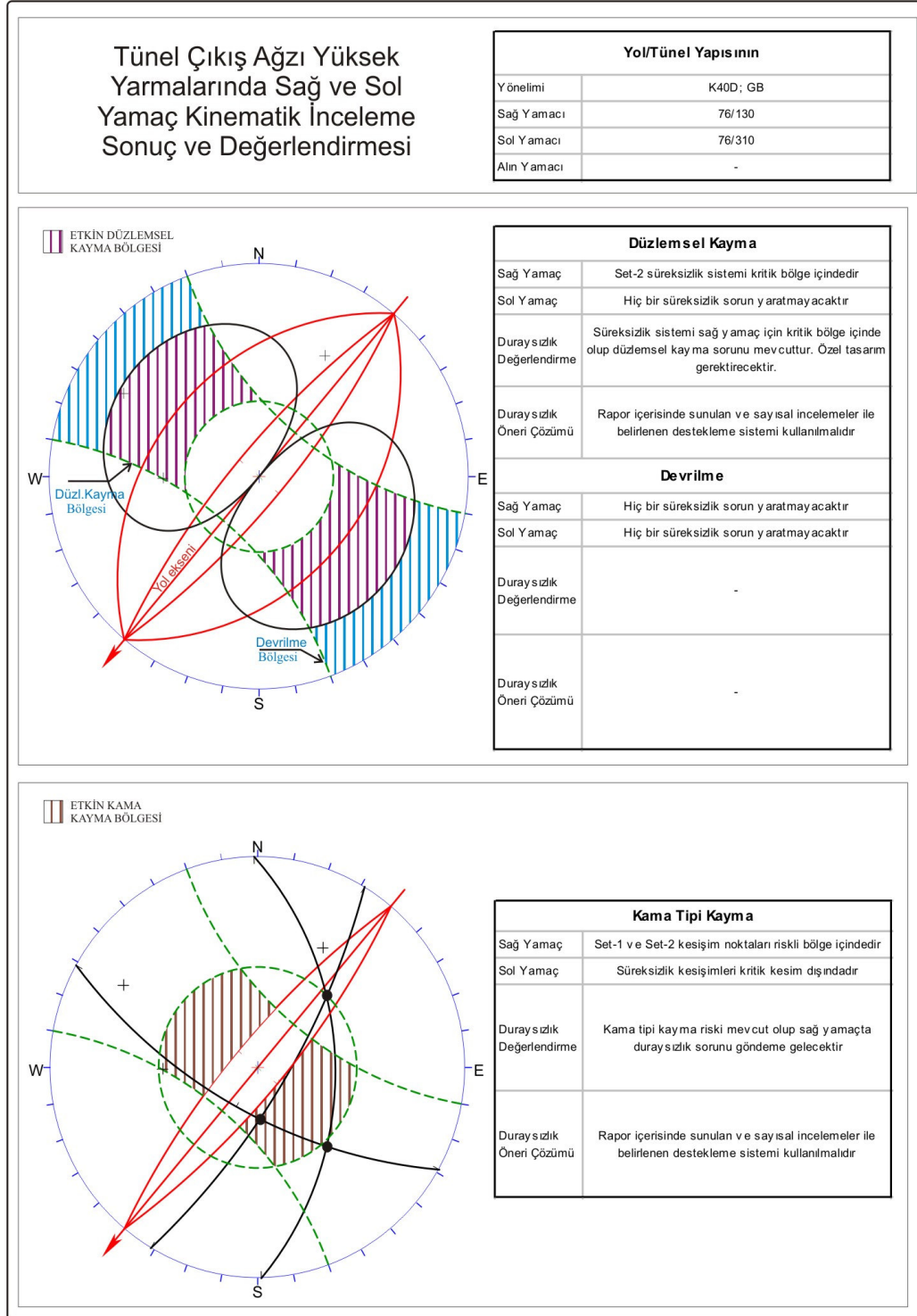
kaynaklanmaktadır. Egemen olan süreksizlik doğrultusunun tünel çıkışında oluşturulacak yarmaların eğim yönüne dik olması kaya kütesinin jeoteknik tasarımdaki yerini tamamen değiştirecektir. Buna göre; kaya kütesinin mühendislik özelliklerinin ifadesinde süreksizlik durumunun da dikkate alınması önem taşıyacaktır. Bu etkiyi sayısallaştırarak kaya kütle sınıflandırmalarıyla bütünleştirilmesi üzerine çalışmalar mevcuttur (Bieniawski, 1989), ancak bunun en doğru ifadesinin kinematik analizler yoluyla yapılabileceği düşünülmektedir.

Bu doğrultuda; çalışma sahasında yüzlek veren Kt birimi için kinematik incelemeler yapılarak süreksizlik durumunun mühendislik yapılarına etkilerinin ortaya konulmasına çalışılmıştır. Tünel çıkış ağzındaki yüksek yarmalarda kesilecek birimde egemen olan süreksizlik sisteminin (Set:1) eğim yönü; oluşturulacak sağ ve sol yarma yamaçları eğim yönüne yaklaşık dik konumdadır (Şekil 4.44). Bu durumda küçük ölçekli kaya düşmeleri dışında önemli bir duraysızlık sorunu ile karşılaşmak söz konusu olmayacaktır. Daha önce belirtildiği üzere aksi uygulanabilir olmadığından 1Yatay:4Düşey (76°) yamaç eğimi (bkz. Şekil 4.38) en düşük sınır değerdir ve kinematik incelemeler buna göre yapılmıştır.

Diğer taraftan Set:2 olarak isimlendirilen süreksizlik sisteminin yarma sağ yamaçlarında düzlemsel kayma riski taşıdığı görülmektedir (Şekil 4.45). Gelişigüzel dağılmış süreksizlikler olarak tanımlanan ve devamlılıkları düşük olan bu süreksizliklerde oluşacak duraysızlıklar ise küçük hacimli kaya düşmeleri olarak izlenecektir. Öyleki; düzlemsel kayma riski taşıyan bu süreksizliklerin eğim açıları yüksektir ve kayacak kaya kütesi boyutu o oranda düşük olacaktır. Bu risk ise serbest şev yüzeylerinin, özellikle portal şevlerinde standart olarak uygulanan, püskürtme beton ve kaya bulon bileşenli destek sisteminin uygulanması ile tamamen ortadan kaldırılmış olacaktır. Uygulanacak destek sistemi; kütleli hareketten çok parça düşmelerini ve yüzey bozunmalarını önlemek amaçlı olacağından, diğer bir deyişle yük taşıma fonksiyonu olmayacağından, hafif yoğunlukta oluşturulabilecektir. İler iyileştirme ve desteklemeye gereksinim duyulmayacaktır.



Şekil 4.44. Tünel çıkış ağzı kinematik incelemesi ve değerlendirmesi.



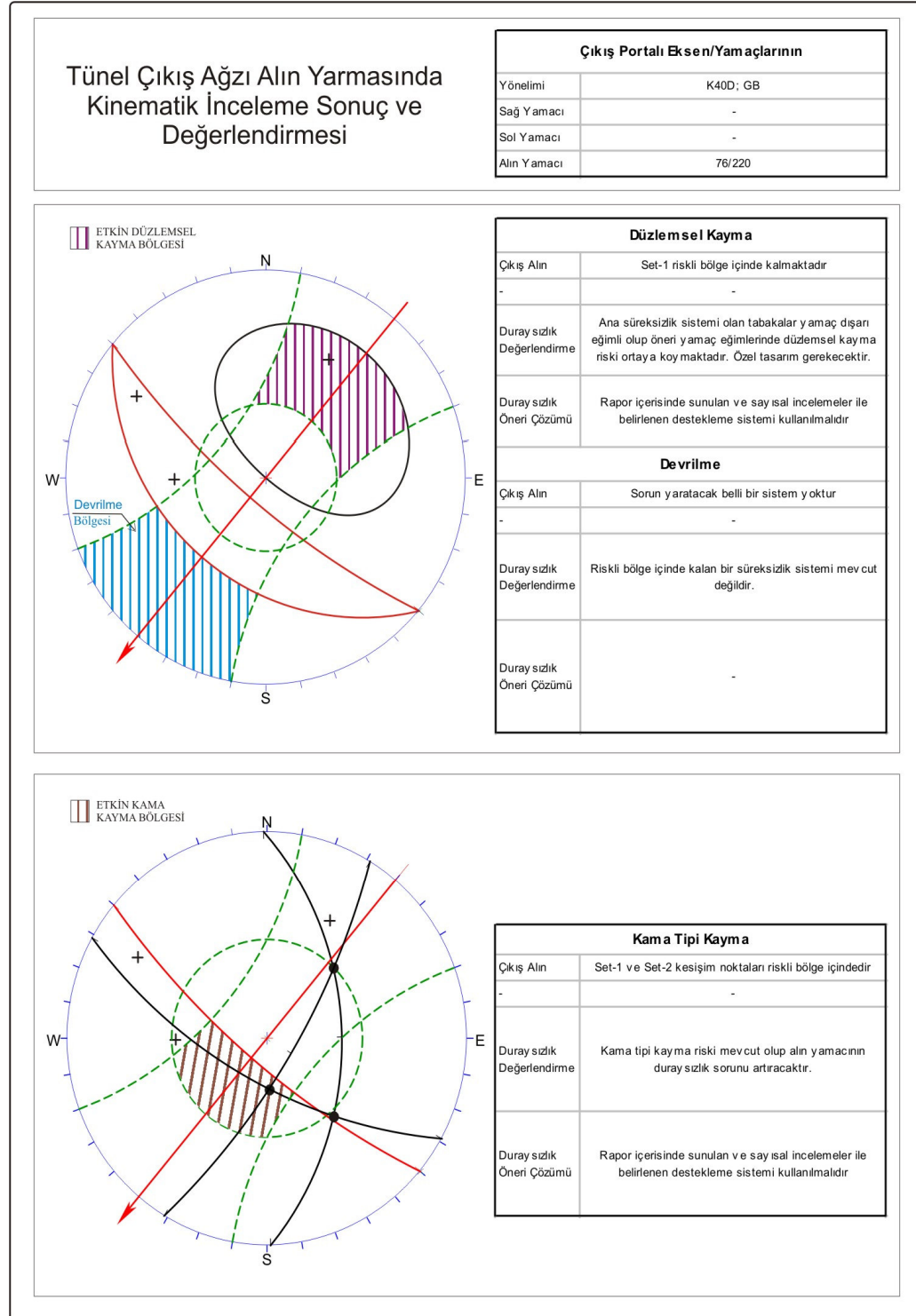
Şekil 4.45. Tünel çıkış ağızı sağ ve sol yüksek yarmaları kinematik incelemesi.

4.8.2. Tünel Çıkışı Alın Yamaç için Kt Jeoteknik Değişirgeleri

GSI yöntemi uyarınca belirlenecek olan jeoteknik değiştirgeler, yine, Kt içindeki egemen süreksizlik sisteminin durumu ile ilişkilendirilecektir. Tünel çıkışı sağ-sol yarma yamaçlardakinin aksine alın yamaçta oluşturulacak yarmaların eğim yönü süreksizlik sisteminin eğim yönüne paralel ve yamaç dışarı konumdadır (Şekil 4.46). Tünel çıkışı alın yamacında egemen süreksizlik sistemi olan tabakalanma eğim yönünün yamaç eğim yönüne yaklaşık paralel olması jeoteknik değiştirgelerin seçiminde belirleyici olmalıdır. Birimdeki kıltaşı – miltaşı tabakalarının ardalanma sıklıkları ve diğer genel jeolojik özellikleri dikkate alındığında dairesel kayma yüzeyi üzerinde kütleli bir duraysızlık hareketi olacağı düşünölmemektedir. Ancak, düzlemsel kayma olasılığı yüksek olacak ve kesişen diğer süreksizlikler ile oluşturulan ara yüzeyle boyunca kama tipi kaymalar gerçekteşecektir.

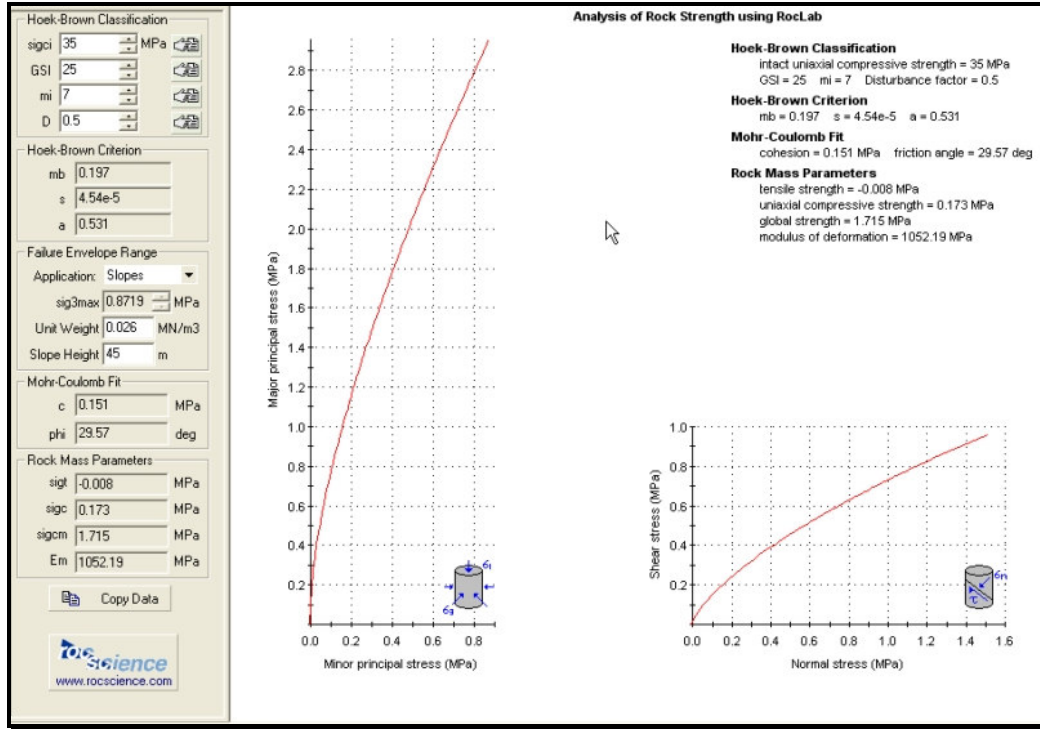
Bu durumda oluşturulacak yarmalarda önemli duraysızlık sorunlarının yaşıması olasılığının mevcut olduğu görölebilmektedir. Bu durum dikkate alınarak yapılan değerlendirmede; Şekil 4.35 'de sunulan tanımlamalar doğrultusunda birim;

- F veya iyi olasılıkla E sınıfında yer almaktadır
- Süreksizlik yüzeyleri az pürüzlü, ayrışma derecesi orta veya kil dolguludur
- GSI değerinin 20 ile 30 arasında değişebileceği önerilebilirken tasarımda bu değer GSI:25 olarak seçilmiştir. Süreksizliklerin konumu oluşturulacak yarmalar açısından son derecede elverişsizdir. Buna göre; duraysızlık sorunu olasılığı çok yüksek olacağından, kaya kütleli jeoteknik değiştirgelerini belirlenmek üzere seçilen GSI değeri bu durum dikkate alınarak belirlenmiştir.
- Hasar etki katsayısı (disturbance factor) gerilme rahatlamaları ve patlatma etkisi dikkate alınarak D:0,5 seçilmiştir.
- Yarma yüksekliği, yüksek yerinde geçerli olacak şekilde 45 m olarak alınmıştır.



Şekil 4.46. Tünel çıkış ağızı alın yarma yamacı kinematik incelemesi.

Bu veriler doğrultusunda belirlenen kaya kütle jeoteknik değiştirgeleri; Hoek - Brown dayanım kriterine uygun olarak, daha önce adı geçen, RocLab bilgisayar programı aracılığıyla hesaplanmıştır (şekil 4.47 ve izelge 4.9).



şekil 4.47. Kt içinde açılacak tünel alın yarmasına ait GSI ve jeoteknik değiştirgeleri.

Çizelge 4.9. Kt 'de açılacak tünel alın yarmasına ait jeoteknik tasarım değiştirgeleri

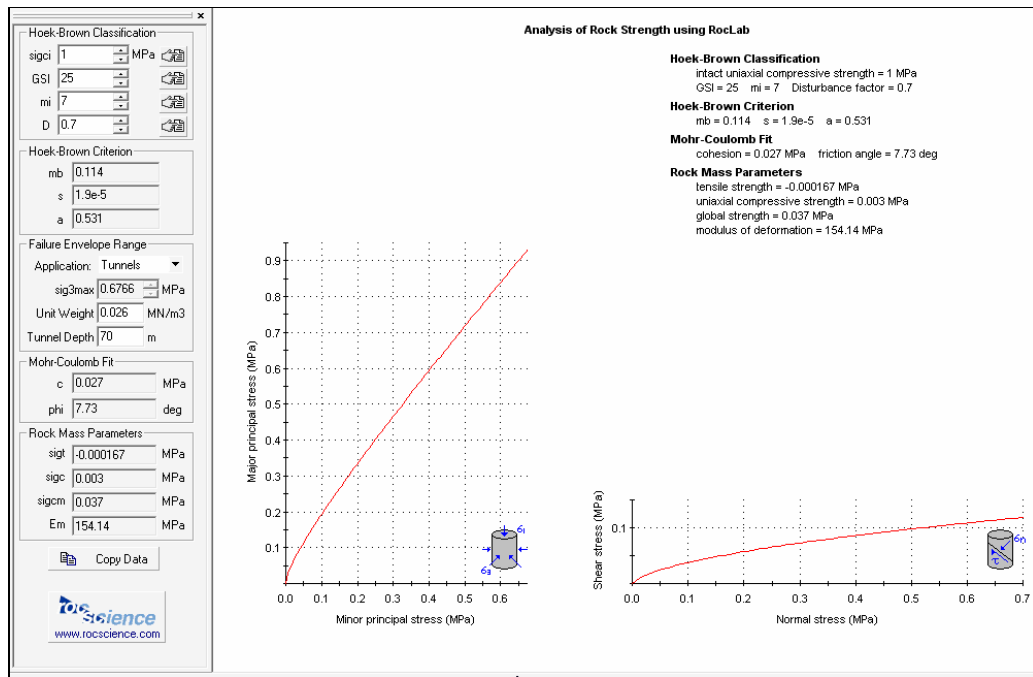
GSI Kaya Kütle Değerlendirme Sonuçları				
	mb			0.197
Hoek - Brown Değiştirgeleri	s			4.54 E-5
	a			0.531
	İçsel Sürtünme	ϕ	$^{\circ}$	29
Jeoteknik Değiştirgeleri	Kohezyon	c	kPa	151
	Elastisite Modülü	Em	MPa	1052

4.8.3. Eosen Yaşlı Taban Tortulları (Et) Jeoteknik Değişirgeleri

Birim içerisindeki egemen süreksizlik sistemi tabakalanmadır. Tabakalar tedrici geçişli olduğundan belirgin bir süreksizlik yüzeyi ve bu yüzeyde geçerli bir aşınma derecesi tanımlamak mümkün değildir. Bu durum, ilk aşamada olumlu bir kaya kütle özelliği olarak yorumlanabilse dahi gerçekte öyle olmayıp birimin olumsuz litolojik özellikleri ile ilişkilidir. Birim, kil içeriği yüksek, zayıf dayanımlı ve zayıf kaya kütle özelliklerine sahiptir. Ortamda suyun varlığı halinde kil içeriğine bağlı olarak yumuşayacak birimde önemli dayanım kayıpları oluşabilecektir. Bu durum kaya kütle jeoteknik değişirgelerinin belirlenmesi aşamasında kullanılan GSI sistemine de yansıtılmaya çalışılmıştır. Benzer şekilde, yapılan değerlendirmede su etkisinde çok daha zayıf hale gelecek (kayma dayanımı sifıra yaklaşabilecektir) birim için önerilen kaya kütle jeoteknik değişirgeleri; bu özellik ve aşağıdaki değerlendirme dikkate alınarak belirlenmiştir.

- GSI değerlendirmesine göre ayrılmış (disintegrated) zayıf yüzey koşulları sınıfında değerlendirilen birim için GSI:25 olarak seçilmiştir. Söz konusu kaya kütesinin GSI değerinin seçimi de oldukça kritiktir. Zira birim; kaya kütesinin parçası olmakla birlikte GSI Yönteminde sunulduğu gibi bir süreksizlik sistemi ve/veya süreksizlik yapısına sahip değildir. Birim; süreksizlik açısından değerlendirildiğinde masiftir (tek süreksizlik sistemi tabakadır ve tabaka yüzeyi belirsizdir). Süreksizlikler tarafından kesilen birimin kırıklı-parçalı ve bloklu olması durumu söz konusu değildir. Buna göre; birim için uygun GSI değerinin seçilmesinde mühendislik jeolojisi tecrübesinin önemini vurgulamakta yarar görülmektedir.
- Çok zayıf dayanımlı birim için kaya basınç dayanımı 1.0 MPa olarak alınmıştır.
- Zayıf dayanımlı kayanın tünel yapımı sırasında sahip olacağı bütünselliğin önemli oranda bozulacağı varsayımıyla D:0.7 kabul edilmiştir.
- Tünel içinde kesilecek birim en derin yerde 70 m yüksekliğinde bir kaya yükü altında kalacaktır.

Bu veriler doğrultusunda belirlenen kaya kütle jeoteknik değiştirgeleri; Hoek - Brown dayanım kriterine uygun olarak RocLab bilgisayar programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Birim, özellikle tünelin çıkış ağzında ve daha çok tünel içerisindeki kazı ve destekleme çalışmaları üzerinde etkili olacaktır. Buna göre; jeoteknik değiştirgeleri; tünel içerisinde geçerli olacak şekilde belirlenerek elde edilen sonuçları şekil 4.48 ve Çizelge 4.10 'da sunulmuştur.



şekil 4.48. Et içinde açılacak tünele ait GSI ve jeoteknik değiştirgeleri.

Çizelge 4.10. Et 'de açılacak tünele ait jeoteknik tasarım değiştirgeleri

GSI Kaya Kütle Değerlendirme Sonuçları				
Hoek - Brown Değiştirgeleri	mb			0.114
	s			0.00019
	a			0.531
Jeoteknik Değiştirgeleri	İçsel Sürtünme	ϕ	$^{\circ}$	8
	Kohezyon	c	kPa	27
	Elastisite Modülü	Em	MPa	154

4.8.4. Eosen Yaşlı Kireçtaşları (Ek) Jeoteknik Değişirgeleri

Daha önceki bölümlerde ayrıntıları verildiği üzere; egemen süreksizliğin tabakalanma olduğu birim, gevrek karakteri kontrolünde, çok sayıda süreksizlik tarafından kesilmektedir. Bununla birlikte süreksizliklerin büyük bölümü; pürüzlü/çok pürüzlü, az ayrışmış, dalgalı ve çoğunlukla CaCO₃ mineral çimentoludur (bkz. Şekil 4.33). Bu şekliyle oldukça olumlu kaya kütle özellikleri sunan (bkz. Şekil 4.34) birim masif olarak kabul edilebilecektir. Q – sınıflama sisteminde ‘iyi kaliteli’ kaya sınıfına oturtulabilen birim hemen tüm mühendislik uygulamaları için uygun özellikler taşır.

İkincil mineral çimentolanma oluşumunun birimin kaya kütle jeoteknik değişirgelerine son derece olumlu yansıdığı düşünölmektedir. Bu öngörüye ancak Su - Süreksizlik ve Kil üçlüsünün kaya kütle içindeki bulunuş durumları ve özelliklerinin dikkatli incelenmesi ile ulaşılabilir. Tez başından buyana vurgulandığı üzere kaya kütle jeoteknik özelliklerine doğrudan etkiyen bu ilişkinin çalışma sahasındaki izlenme şekli aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Su - Süreksizlik - Kil üçlüsünün su bileşeni tarafından çözülebilen CaCO₃ çözeltilinin belli bir yoğunluğa ulaştığı buharlaşma dönenimde geri çökebilir. Kireçtaşı mağaralarında gelişen sarkıt ve diktlerin oluşmasında işleyen fiziksel ve kimyasal işlem açılan tünel boşluğuna ilerleyen suların etkisinde aynen geçerli olacaktır. Yapımı yaklaşık 55 yıl önce tamamlanan Eskipazar çevirme tüneli (tavanı ve yan duvarları tamamen CaCO₃ ile kaplanmış olduğundan doğal bir destek sistemi oluşmuştur) bu yaklaşımın en belirgin kanıtı olarak bir model çalışma niteliğinde çalışma sahasının içinde sergilenmeye devam etmektedir (Şekil 4.49). Devininin önemli bir bölümünü süreksizlikler içerisinde tamamlayan su bileşeni; süreksizlikler içindeki kili yıkayıp süreksizlik yüzeyine pürüzlü ve mineral dolgulu yeni şeklini kazandırmaktadır. Benzer şekilde fay düzlemlerinde yüksek basınç altında kristalleşen kalsit dolguları dikkat çekicidir (bkz. Şekil 4.49). Bunların hepsi mineral çimento özelliğindedir ve anakayanın kaya kütle dayanımını önemli oranda artırmaktadır.

2. Su - Süreksizlik – Kil üçlüsünün süreksizlik bileşeninin yüzeyindeki kilin yıkanıp CaCO_3 ile sıvanması kaya kütle özelliklerine doğrudan etkiyecektir. Çok sayıda süreksizlik tarafından kesilen birimde, süreksizlik açıklıkları kapanacak, mineral çimentolu daha kütleli bir birime dönüşüm gerçekleşecektir (bkz. Şekil 4.33).
3. Su - Süreksizlik – Kil üçlüsünün kil minerali bileşeni birim içerisinde yok denecek kadar azdır. Fay ve kıvrım eksenli kuşaklarında birimin parçalanıp ufalanmasıyla ortaya çıkan kiler ise yukarıda bahsedilen süreksizlik suyunun devinimi sırasında yıkanarak ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Killerin yıkanmasıyla ortaya çıkan boşlukların CaCO_3 ile doldurulması ve bu şekilde kaya kütlelerinin kenetlenmesi yine kaya kütle dayanımını olumlu yönde artırıcı bir rol oynayacaktır.

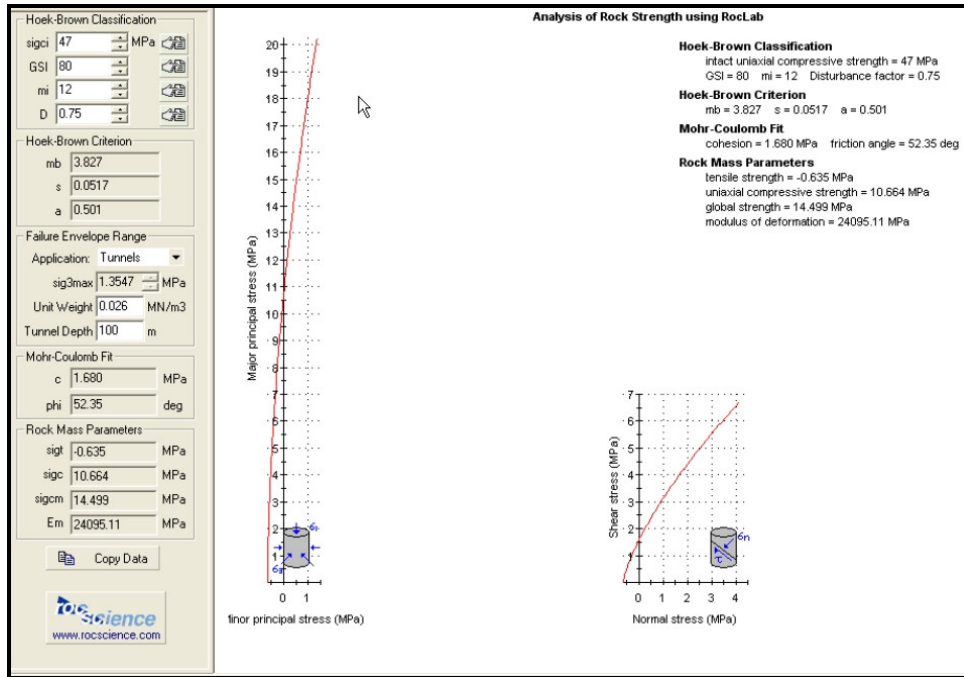


Şekil 4.49. Ek içinde devam eden ikincil çimentolanma.

Bu öngörü, değiştirgelerin belirlenmesi aşamasında kullanılan GSI sisteminde, kayanın az bloklu/kütlesel olarak seğilmesiyle sayısallaştırılmaya çalışılmıştır. Buna göre “Ek” kaya kütlesi için;

- GSI:80 olarak seğilmiştir.
- SK1 sondajından (bkz Ek – I) elde edilen örnekler üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı sonuçlarına göre; ortalama basınç dayanımı (q_0) değeri 47 MPa (orta dayanımlı) olarak bulunmuştur (bkz. şekil 4.22).
- Mikritik ve sparitik kireçtaşı özelliğindeki birim iim $m_i:12$ seğilirken,
- patlatmalı tünel kazısı için hasar etki katsayısı yüksek tutularak $D:7.5$ olarak değerlendirilmiştir.

Birim içinde açılacak tünelin et kalınlığı en derin yerinde 100 m olacaktır. Bu veriler doğrultusunda belirlenen kaya kütle jeoteknik değiştirgeleri; Hoek - Brown dayanım kriterine uygun olarak, RocLab bilgisayar programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Buna göre; tünel içinde geçerli olacak değiştirgeler şekil 4.50 ve izelge 4.11 ‘de sunulmuştur.



şekil 4.50. Ek içinde açılacak tünelle ait GSI ve jeoteknik değiştirgeleri.

Çizelge 4.11. Ek içinde tünel alın yarmasına ait jeoteknik tasarım değiştirgeleri

GSI Kaya Küttele Değerlendirme Sonuçları				
	mb			3.827
Hoek - Brown Değiştirgeleri	s			0.0517
	a			0.501
	İçsel Sürtünme	ϕ	$^{\circ}$	52
Jeoteknik Değiştirgeler	Kohezyon	c	kPa	1680
	Elastisite Modülü	Em	MPa	24095

4.9. Jeoteknik Tasarım: Çalışma Alanındaki Kaya Kütlelerinin Tünel Jeoteknik Tasarımına Etkileri

Bu bölüm altında; tez sahasında ayrıntılı biçimde incelenerek, jeoteknik değiştirgeleri belirlenen kaya kütlelerinin tünel jeoteknik tasarımındaki yerleri irdelenmiştir. Eldeki araştırma bulguları ve bu tez çalışması kapsamında vurgulanan mühendislik jeolojisi ilkeleri kullanılarak belirlenen jeoteknik değiştirgeler esas alındığında; yine araştırma bulguları doğrultusunda konumlandırılan tünel yapısının içerisinde kalacağı jeolojik birimlerin yapım çalışmalarına ve oluşturulacak destek sistemlerine etkisi incelenmiştir. Böylece önerilen proje ile mevcut proje; tünel yapım zorluğu ve oluşturulacak destek sistemlerinin farklılığı açısından karşılaştırılarak, kaya kütle sınıflandırmalarında mühendislik jeolojisi ilkelerinin ve özellikle su – süreksizlik – kil ilişkisinin kullanılmaması durumunda üretilen mühendislik tasarımların durumu tartışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan jeoteknik tasarımlar ve bunların sayısal incelemeleri; kısa ismi “PHASE2 v6.0” olan; sonlu elemanlar yöntemine göre, yer üstü ve yer altı toprak ve kaya kütlesi kazılarında sayısal inceleme programı (Elasto-Plastic Finite Element Stress Analysis Program for Underground or Surface Excavations in Rock or Soil) yardımıyla yapılmıştır.

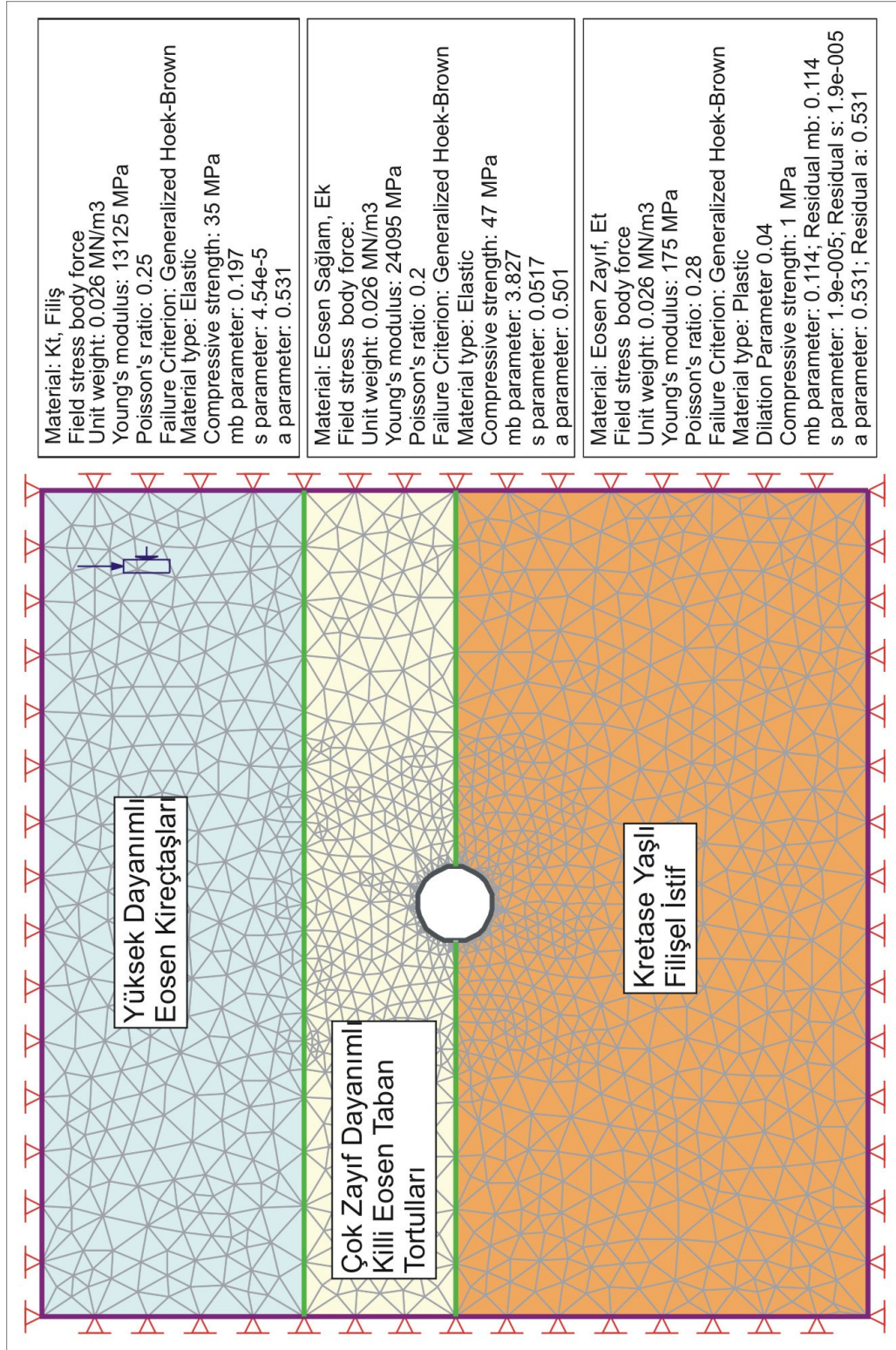
Sayısal incelemeler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada; mevcut proje kapsamında karşılaşılabilecek ortam koşullarında, yaklaşık 10 m çapındaki, tünel yapımı sırasında oluşacak toplam yerdeğiştirme (displacement) ve buna bağlı tünel

duraylılığı incelenmiştir. Daha sonra hesaplanan yerdeğiştirmelere göre tünel duraylılığını sağlayacak destek sistemlerinin oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Sayısal incelemeler, en düşük yerdeğiştirmeleri veren, en uygun destek sistemi belirlenene kadar devam ettirilecek ve tünel duraylılığını sağlayacak nihai destek sistemi belirlenmiştir. Böylece mevcut proje ve öneri proje, tünel yapım zorluğu ve destek sistemi ağırlığı dikkate alınarak, karşılaştırılmış ve öneri proje kapsamında kullanılan mühendislik jeolojisi ilkelerinin önemine vurgu yapılmıştır.

4.9.1. Tünel Yapımında Kaya Kütleleri Davranışı

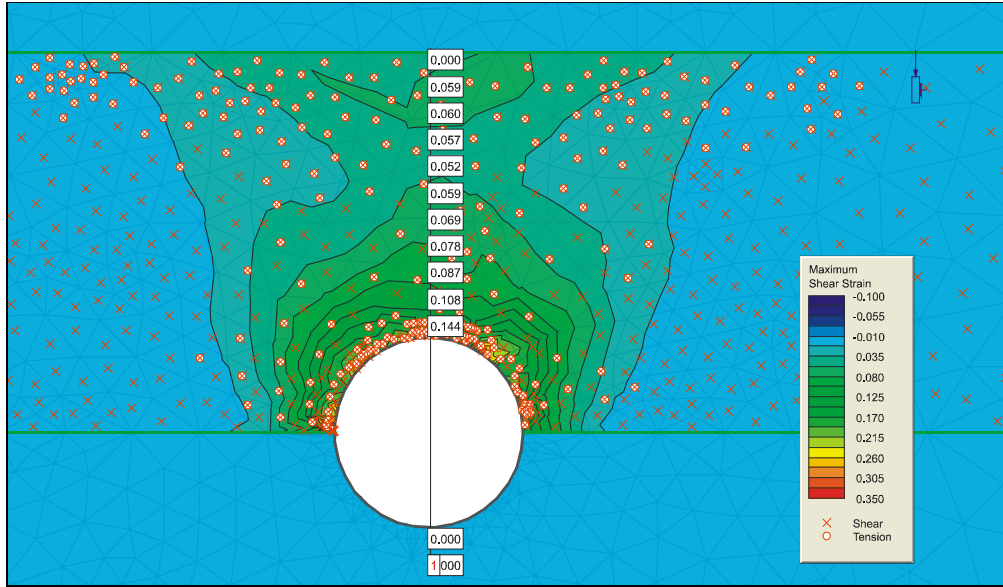
Bu bölümde, tünelin içerisinde kalacağı jeolojik birimlerin yapım sırasında sergileyecekleri malzeme davranışı incelenmiştir. Daha önceki bölümlerde ayrıntılı tanımları yapılan ve jeoteknik özellikleri belirlenen üç ana jeolojik birim egemendir. Bunlar, yukarıdan aşağıya; yüksek dayanımlı Eosen yaşlı kireçtaşları (Ek), çok zayıf dayanımlı Eosen yaşlı Kıltaşı-Marn Seviyesi (Et) ve en altta Kretase yaşlı miltaşı ve Kumtaşlarından oluşan Flişel istifdir (Kt). Mevcut projeye göre yapımı planlanan tünel ekseninin önemli bir kısmı Kretase yaşlı flişel istif ile Eosen yaşlı marnların dokunağında ve Eosen yaşlı marnların içerisinde kalmaktadır. Son derece zayıf olan marnların tünel üzerindeki kalınlığı 15 metrenin üzerinde olacaktır. Tünel yapım zorluğu da bu kesimde kendini gösterecektir. Sayısal incelemelere esas olan jeolojik model ve bu çalışma kapsamında kullanılan jeoteknik değiştirgeler Şekil 4.51 'de sunulmuştur.

Buna göre sayısal incelemeler; en kritik koşul dikkate alınarak yapılmış, tünel yapısının çok zayıf dayanımlı marnlar içerisinde kalması hali değerlendirilmiştir. Malzeme türü belirgin bir dayanımı ve gevrekliliği (rigidity) olan Kt ve Ek için Elastik olarak alınırken, çok zayıf dayanımlı Et birimi için Plastik malzeme türü dikkate alınmıştır.



Şekil 4.51. Phases sayısal incelemesine esas jeolojik ve jeoteknik model.

Sayısal incelemeler sonucunda tünel yapısının hemen üzerinde ve ona bağlı olarak üst kısımdaki yüksek dayanımlı kireçtaşına kadar tüm tabaka kalınlığı boyunca önemli makaslama deformasyonları olacağı belirlenmiştir (Şekil 4.52).



Şekil 4.52. Desteksiz açılacak tünelde karşılaşılabilecek deformasyon miktarı dağılımı.

İçinde büyük oranda yenilmelerin olduğu zayıf tortul tabakanın jeoteknik değiştirgeleri belirlenirken birim; tortul istifin bir parçası, diğer bir deyişle, kaya kütlesinin bir bileşeni olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda birim; Hoek-Brown Kriterleri açısından kaya kütlesi özellikleri sunar ve buna göre hesaplanan değiştirgelere sahiptir.

Ancak, oldukça zayıf dayanım özelliklerine sahip birimin, tünel yapımı sırasında mutlaka plastik deformasyona geçiş yapacağı görülebilmektedir. Plastik deformasyona uğrayan birimin ise öncesindeki ile aynı mühendislik özellikleri sunması beklenemez. Plastik deformasyona geçen birim; gerek malzeme basınç dayanımı gerekse kayma dayanımı değiştirgeleri bakımından çok daha zayıf özelliklere sahip olacaktır. Birim; mevcut sınıflama sistemleri içinde “fay-kili” tanımına yakın bir özellik kazanabilecektir. Ancak, bu değişimin boyutlarının tam olarak öngörülemiyor olması nedeniyle oluşacak dayanım kaybının jeoteknik

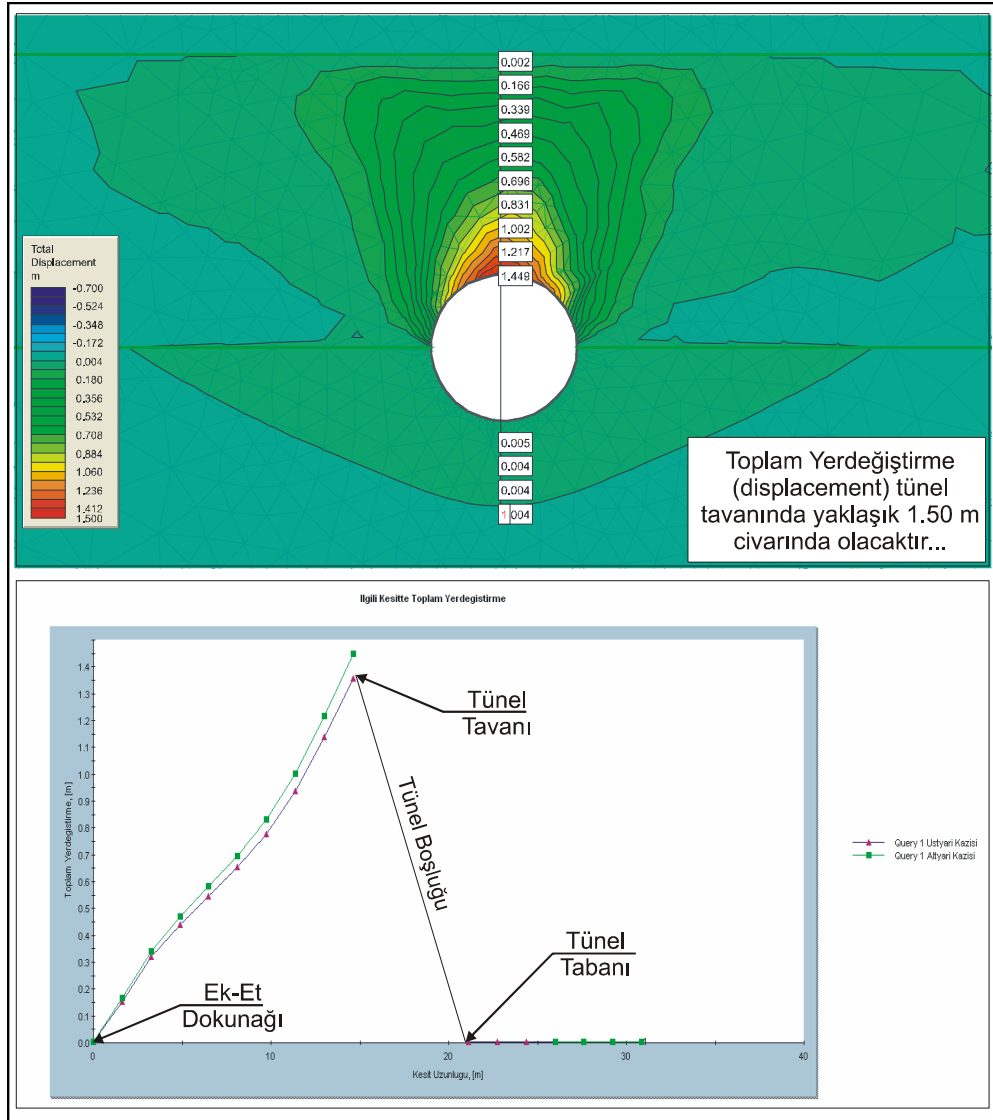
değiştirgelere ve dolayısıyla sayısal incelemelere yansıtılmamasının daha uygun olacağı görüşü benimsenmiştir. Bu durum, ancak yapım sırasında netleşecektir ve şu aşamada yalnızca tünel yapımı sırasında karşılaşılabilecek olumsuz koşullara ilave bir not olarak eklenmiş olacaktır.

Dayanım kaybı dikkate alınmadan yapılan sayısal incelemelere göre mevcut projenin uygulanması halinde tünel yapımı sırasında tünel tavanında ve tünel üst kısmındaki zayıf dayanımlı tabaka içerisinde oluşacak toplam yerdeğiştirme miktarı dağılımı Şekil 4.53 'de sunulduğu gibi olacaktır. Buna göre en yüksek yerdeğiştirmenin hemen tünel tavanında olduğu gösteren dağılıma göre; yaklaşık 1.50 metre civarında bir yerdeğiştirme söz konusu olacaktır. Oldukça yüksek bulunan bu değer anlamı kaçınılmaz tünel göçükleridir.

Şekilde sunulan grafikten de görülebileceği üzere tünel üst kotlarında ve tünel tabanında yer alan sırasıyla, yüksek dayanımlı kireçtaşları ve Kretase yaşlı fliş içerisinde tünel yapımına bağlı herhangi bir deformasyon oluşmayacak veya dikkate alınmayacak kadar az olacaktır.

4.9.2. Tünel Destek Sistemlerinin Oluşturulması

Bir önceki bölümde sunulan sayısal incelemelere göre, plastik malzeme davranışına göre modellenen zayıf dayanımlı marnlar içerisinde önemli duraysızlık sorunları yaşanacaktır. Diğer taraftan, günümüz mühendislik uygulamaları kapsamında hemen her türlü zemin koşullarında tünel açılmasının mümkün olabileceği bir gerçektir. Uygun destek sistemlerinin, uygun yoğunlukta kullanılması halinde pek çok olumsuz ortam koşulu tünel yapısı tarafından hissedilmeden etkisiz hale getirilebilmektedir.



Şekil 4.53. Desteksiz açılacak tünelde toplam yerdeğiştirme miktarı ve dağılımı.

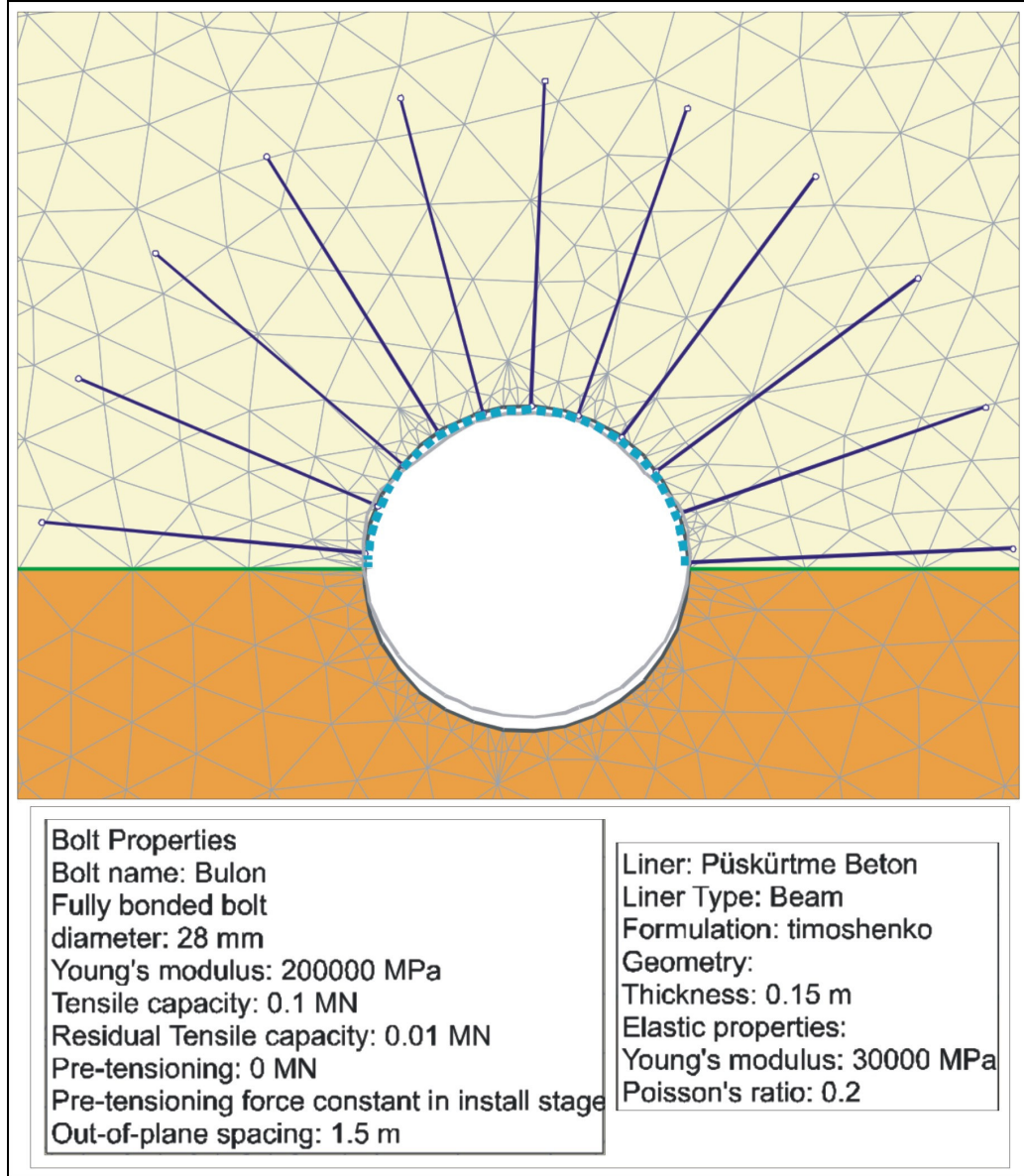
Bu proje kapsamında karşılaşılan duraysızlık sorunlarının çözümüne yönelik oluşturulan jeoteknik tasarım gereği; bulonlu ve püskürtme betonlu bir destek sistemi tünel duraylılığının sağlanması açısından yeterli olabilecektir. Ayrıntıları Şekil 4.54 'de sunulan destek sisteminde;

- tünel tavanı ve yan duvarlarında 1.5x1.5m düzeninde ve 10m uzunluğunda
- tüm uzunluğunda çimentolanmış
- öngermesiz bulonlar ile

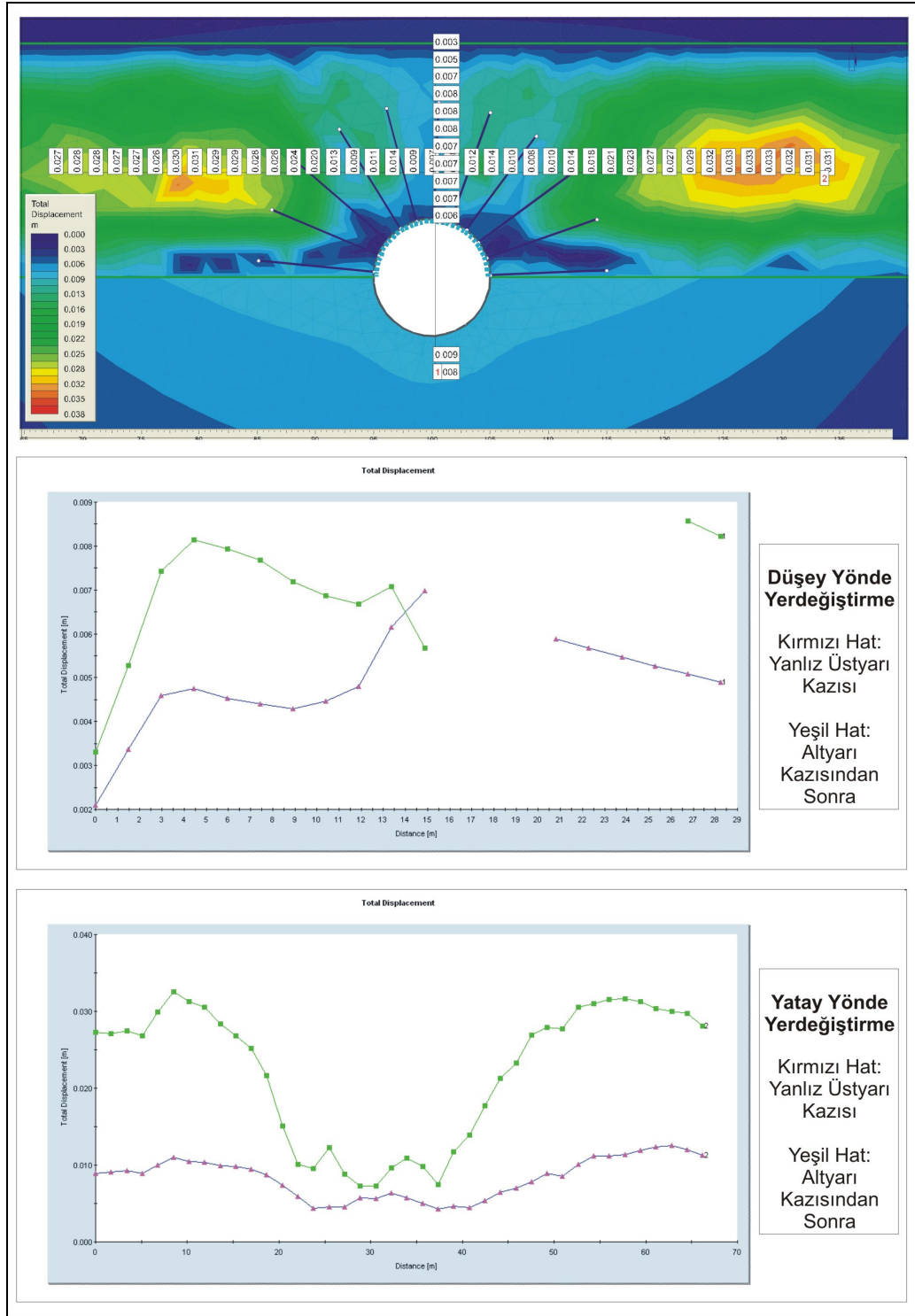
- kalınlığı 150 mm olan püskürtme beton uygulaması ile duraysızlık sorunun aşılabileceği ve toplam deformasyon miktarının en aza indirilebileceği belirlenmiştir. Öneri destek sistemi;

- Tünel üstyarı kazısının tamamlanması takiben uygulanacaktır.
- Tünelin tabanda Kt içerisinde kalacağı durum analiz edildiğinden yalnızca üstyarıda (tavanda ve yan duvarların üst kısmında) uygulanacaktır.
- Kazı ile destek uygulaması arasında zorunlu olarak geçecek en kısa süre boyunca kaya yükünün %30 oranında serbest kaldığı (deformasyona dönüştüğü) ve destek sisteminin geri kalan %70 oranında yükü taşıyacağı varsayımı yapılmıştır (bu oran; analizde kullanılan Phases Programı teorisinde sunulduğu gibi seçilmiştir ve çeşitli tünel uygulamalarında karşılaşılan duruma göre yapılan bir genelleme esasına dayanmaktadır. Gerçek değerler, ancak yapım sırasında alınacak ölçümler ile belirlenebilecektir).

Buna göre gerçekleştirilen sayısal incelemeler sonucunda hesaplanan toplam yerdeğiştirme miktarı dağılımı Şekil 4.55 'de sunulduğu gibidir. Şekilde görülebileceği üzere düşey yönde kaydedilecek toplam yerdeğiştirme miktarı dağılımı; hem düşey yönde hem de yatay yönde çizilen hatlar boyunca değerlendirilmiştir. Buna göre düşey yönde çizilen hatta toplam düşey yerdeğiştirme miktarının 1.0 cm 'nin altında kalacağı görülmektedir. Yatay yönde çizilen hat boyunca ise toplam düşey yerdeğiştirme miktarı en fazla 4.0 cm olarak ölçülecektir.

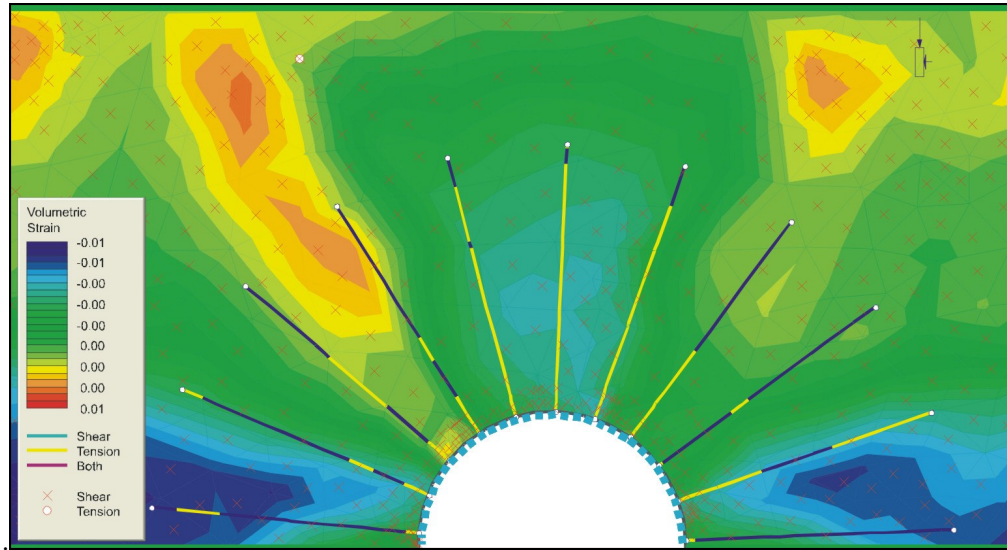


Şekil 4.54. Jeoteknik tasarım kapsamındaki destek sistemi bileşenleri ve özellikleri.



Şekil 4.55. Destekli açılacak tünelde toplam yerdeğiştirme miktarı ve dağılımı.

Diğer bir deyişle, yerdeğiştirme en çok bulonların çekme gerilmesi etkisinde kalan iç kesimlerde gerçekleşecektir. Tünel yakın çevresinde ise kayda değer bir yerdeğiştirme söz konusu olmayacaktır. Bu durum Şekil 4.56 'de izlenen hacimsel şekil değiştirme miktarı dağılımı eşdeğer eğrilerinden de açıkça anlaşılabilir. Aynı şekilde, ayrıca, uygulanacak destek sisteminin duraylılığıda incelenmiştir. Buna göre oluşturulacak bulonlar yer yer en yüksek dayanım kapasitelerine ulaşacaklar ancak yenilme gerçekleşmeyecektir. Püskürtme betonda ise herhangi bir dayanım kaybı gerçekleşmeyecektir.



Şekil 4.56. Destekli açılacak tünelde hacimsel şekil değiştirme dağılımı.

4.9.3. Mevcut ve Öneri Projenin Karşılaştırılması

Yukarıda yapılan sayısal incelemeler ve kullanılan yaklaşımlar doğrultusunda mevcut proje kapsamında oluşturulacak tünel ekseninde önerilen destek sisteminin uygulanması halinde önemli bir duraysızlık sorunu ile karşılaşmayacaktır. Bu durumda alternatif olarak sunulan ve bu tez çalışması kapsamında üretilen öneri projenin değeri ve gerekliliği tartışılabilir.

Oluşturulacak yapının çevre, estetik ve emniyet boyutu bir kenara bırakılıp yalnızca ekonomi boyutu ele alındığında dahi mevcut proje ile öneri proje arasındaki belirgin farklılık gözler önüne serilmektedir. Mevcut proje kapsamında oluşturulacak tünel ekseninin önemli bir kısmında –ki bu yaklaşık 150 m civarındadır- yukarıda ayrıntısı verilen destek sistemi uygulanacaktır. Destek sistemi;

- 1.5x1.5m düzeninde (sık aralıklı) ve
- 12.0m uzunluğunda (zayıf dayanımlı birim içerisinde kalacak) bulonlar ile
- 150mm kalınlığında püskürtme betonundan oluşacaktır

Öneri proje kapsamında yine destekli geçilmesi zorunlu olan kesim ise en fazla 40.0 m uzunluğunda olacaktır. Tünel tavanında yüksek dayanımlı kireçtaşı seviyesine yaklaşıyor olması nedeniyle oluşturulacak bulon boyları ise çok daha kısa olabilecektir.

Buna göre sadece ekonomi boyutu ele alındığında, en olumsuz koşulda dahi, tez kapsamında önerilen tünel projesi; uygulanmak üzere olan mevcut tünel projesinden daha avantajlı olacaktır.

Benzer şekilde mevcut projeye uyulması halinde, tünel çıkış portalının özellikle alın ve sağ yamacında çok yüksek yarmalara girilmesi gerekecektir. Bu yarmalar, topoğrafik koşullar nedeniyle ve tez içerisinde önceki bölümlerde sunulduğu üzere dik eğimlerde açılacaktır. Yamaç duraylılığı açısından yine daha önce belirtildiği şekilde desteklenmesi gereken bu yarmaların mali boyutunun yüksek olduğu yapılan ön değerlendirme sonucunda belirgin olarak ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4.12). Çizelgeden de görülebileceği gibi tünelin mevcut projede olduğu gibi düşük kottan başlatılması halinde, sadece portal kazıları ve bunların uygun yerlere hafriyatı işi dahi öngörülen toplam inşaat maliyetinin büyük kısmını oluşturmaktadır. Öneri projenin uygulanması halinde ise; şev yükseklikleri ve toplam kazı miktarı belirgin biçimde azaltılacağından sadece toprak işleri için ortaya çıkacak maliyetin yaklaşık %75 oranında azaltılması mümkün olabilecektir. Buna paralel olarak yarma şevlerinde uygulanacak destek sisteminin yoğunluğu ve miktarı da azalacak böylece destekleme maliyetleride önemli oranda düşürülmüş olacaktır.

Çizelge 4.12. Mevcut ve Öneri Proje için öngörülen maliyetler

İşin Adı	Poz No	Birim	Birim Fiyat*	Miktarı	Mevcut Proje	Miktarı	Öneri Proje
El veya kompresörle yumuşak kaya kazısı	TCK-14.008/K-A	m ³	21,06	87500 ¹	1 842 750	21875 ²	460 688
Kazılan malzemenin dolguda kullanılması	TCK-14.004/K-A	m ³	14,81	120000 ¹	1 777 200	21875 ²	323 969
Bulon deliklerinin açılması	DSİ-B-D 304	m	12,44	42 000 ¹	522 480	10 500 ²	130 620
Bulon tesis edilmesi	DSİ-B-32.D/3	kg	3,61	72 376 ¹	261 276	18 094 ²	65 319
Püskürtme Beton	TCK-16.581/1	ton	68,24	1 260 ³	85 982	315 ³	21 496
Menfez Betonu	Byndrk-16.044/4	m ³	115,5	850 ⁴	98 218	-	-
Menfez İşçilik	Byndrk-21.015/3	m ²	45	3200	144 000	-	-
Ocak taşı ile duvar inş.	DSİ-17001	m ³	59	-	-	2000	118 000
Kanyon Köprüsü ⁵	-	-	-	-	-	-	1 750 000
Çevre Etkisi					Değer Biçilemez		
TOPLAM					4 731 906		2 870 091

* Birim fiyatlar ilgili kurumun 2008 yılında yayınladığı listeden seçilmiştir.

(1) Ortalama 70mx50m yüzey alanlı şev yamacında 1x1x12m düzeninde bulon uygulanacak ve yarma malzemesi ile 200x40x15m boyutlarında kanyon dolgusu oluşturulacaktır.

(2) Yarma yüksekliği yarıya inecek, tünel aç-kapa ilerleyeceğinden oluşturulacak yarmalar geçici kazı sınıfında olup 2x2x6m bulonlu hafif destek sistemi kullanılacaktır.

(3) Tüm şev yüzeyinde 15 cm kalınlık için.

(4) BS20 betondan imal 15 m² kesit alanlı kutu menfez için.

(5) 20x12m tek açıklıklı öngermeli kirişli kenar ve orta ayaksız köprü için yaklaşık değer.

Öneri projeye göre uygulanması gereken köprülü kanyon geçişi; söz konusu projenin en maliyetli bileşenidir. Çizelgeye, kesin hesabı şu aşamada verilememekle birlikte, kenar ve orta ayakları olmayan (iki kenarında doğrudan anakaya üzerine oturtulacaktır) tek açıklıklı köprü için olası en yüksek fiyat girilmiştir. Benzer şekilde öneri proje kapsamında ilave olarak uygulanması gereken tünel çıkışı toprakarme duvarı inşaata ek bir maliyet getirecektir. Tüm bu ilave maliyetler karşın; toplam inşaat maliyetleri karşılaştırıldığında öneri projenin mevcut projeye nazaran yaklaşık %50 oranında daha avantajlı olacağı görülebilmektedir.

Bununla birlikte ve bir o kadar önemli olan çevresel etkiler, estetik ve trafik güvenliği gibi değiştirgeler dikkate alındığında; önerilen projenin mevcut projeye karşı üstünlüğü sayısal olarak ifade edilemeyecek kadar yüksek olacaktır.

5. SONUÇLAR

Çizgisel mühendislik yapılarının ve özellikle kaya mekaniği ile iç içe olan tünel mühendisliğinde; mühendislik jeolojisinin önemi ortaya konulmuştur. Jeoteknik tasarımının oluşturulmasında ve tasarıma esas jeoteknik değişirgelerin belirlenmesinde mühendislik jeolojisi ilkelerinin belirleyici olması gerektiği, mevcut kaya kütle sınıflandırma sistemlerinin kalıplar halinde kullanılması yerine mühendislik jeolojisi bulgularıyla şekillendirilmesinin önemi, farklı örnekler kullanılarak, açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu kapsamda; Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde projesi tamamlanan, 1. Sınıf Devlet Yolu niteliğindeki Karabük – Eskipazar yolu üzerinde yer alan, Cildikısık Tüneli Geçışı çok bileşenli bir mühendislik yapısı olarak yapılan çalışmalara kaynak oluşturmuştur. Söz konusu proje; mevcut tünelin, kilometre artış yönünde, sağına aynı kotta açılacak yeni bir tünel ve giriş kısmında yer alan büyük bir kanyonun doldurulması ile elde edilecek yüksek dolgulu bir geçışı içermektedir. Bu şekliyle, oluşturulacak mühendislik yapısının maliyet, emniyet, zaman ve estetik-çevre açısından çok yönlü etkileri mevcuttur ve bunlar ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır. Bunların, mevcut ortam koşulları ve jeolojik araştırma bulguları ile uyumu denetlenerek, uygulanmak üzere olan projenin; yüksek maliyet getireceği, emniyetsiz olduğu ve çevre açısından dönüşü olmayacak zararlara neden olacağı ortaya konulmuştur.

Bu değerlendirmeler doğrultusunda ve yapılan ayrıntılı jeolojik-jeoteknik çalışmalar sonucunda aynı mühendislik yapısının çok daha emniyetli, ekonomik ve en önemlisi çevre ile barışık hale getirilebileceği görülmüştür. Buna göre üretilen öneri proje ile kaya mekaniğini ilgilendiren mühendislik yapılarında mühendislik jeolojisinin önemine vurgu yapılmıştır. Kaya kütle sınıflandırmalarında dikkat edilmesi gereken ve mühendislik jeolojisinin konusu içerisinde kalan temel unsurlar ön plana çıkarılmıştır. Bunlar genel anlamda; Su – Süreksizlik – Kil ilişkisi adı altında toparlanmıştır. Bu ilişkinin kaya kütlesi jeoteknik değişirgelerine; ilgili kaya kütlelerinin türüne ve içerisinde oluşturulacak mühendislik yapısına göre farklı

biçimde yansıtılabileceği, çalışma alanındaki örnekler üzerinden gidilerek, anlatılmaya çalışılmıştır.

Bu doğrultuda yapılan çalışmalar sonucunda ise; uygulama aşamasına gelinmiş olan mevcut proje yerini alabilecek, yapım maliyetleri, riskleri ve çevre etkisi açısından çok daha uygun bir proje üretilmiştir. Üretilen alternatif proje ile;

- tünel girişindeki yüksek dolgu, kanyonun koruyacak şekilde, tek kirişli bir köprülü geçiş ile değiştirilmiş,
- tünel giriş ağzı mevcut girişten >50 metre sağa (kilometre artış yönünde) kaydırılarak tünel yaklaşımının kanyon üzerinden değil sağlam kireçtaşları üzerinde yapılması sağlanmış ve
- tünel girişi daha yüksek kottan başlatılarak tünelin önemli bir bölümünün çok zayıf dayanımlı birim içerisinden çıkarılması mümkün olmuştur.

Üretilen öneri mühendislik çözümünün oluşturulmasında taban veri olarak; jeoloji, hidrojeoloji, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik temel ilkeleri kullanılmış ve çözümün çevre etki değerlendirmeleri ayrıca göz önünde tutulmuştur. Bu kapsamda, amaca yönelik güncel diğer çalışmalardan, ulusal ve uluslararası yol/tünel projelerinden örnekler seçilmiş ve önerilen proje ile aralarında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu şekilde; elde edilen bulguların evrenselleştirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Ulaşılan sonuçların farklı kesimlerde yer alan ancak benzer nitelikler sunan mühendislik sorunları için özgün çözümler üretmeye katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda; özellikle tünel mühendisliğinde yaygın olarak benimsenen çok verili sınıflama sistemlerinden faydalanılmıştır. Çalışma alanındaki kaya kütleleri; Kaya Kütle Belirteci (Rock Quality Designation, RQD), Jeomekanik Sınıflandırma (Rock Mass Rating, RMR), Kaya Tüneli Kalite İndisi (Rock Tunnelling Quality Index, Q) ve Jeolojik Dayanım İndisi (Geological Strength Index, GSI) yöntemleri kullanılarak tanımlanmış ve bunların araştırma bulguları ile uyumu denetlenmiştir. Sonuç olarak kaya kütle sınıflandırma sistemlerinin hiçbirinin tek başına etkili ve yeterli olamadığı, kaya kütlelerinin jeoteknik deşirtirgelerinin belirlenmesi söz konusu olduğunda mühendislik jeolojisi verilerinin de ayrıca dikkate alınması gerekliliği ortaya konulmuştur.

Bu bazen, kaya kütlesi içerisindeki kil-su ilişkisi olarak belirlenmiş ve bu ilişkinin çok dayanımlı kaya kütleleri içerisinde büyük ölçekli duraysızlık sorunlarına neden olabileceği (çalışma sahasından edinilen araştırma bulguları doğrultusunda) bulunmuştur. Kil ve su birlikteliği kaya kütle dayanımını sıfıra indirgeyebilmekte ve uygun süreksizlik konumunda duraysızlık kaçınılmaz olmaktadır. Çalışma alanındaki Et birimi böyle bir duraysızlık sorununa örnek teşkil etmektedir. Birim; Eosen yaşlı tortul istifinin bir parçasıdır ve genelde dere içindeki sınırlı sayıda yüzlekte izlenmektedir. Üzerinde yer alan ve istifin devamı olan, yüksek kalınlıklı ve çok dayanımlı Ek biriminde izlenen büyük ölçekli duraysızlık sorunlarının anlaşılması ve bu sahada oluşturulacak mühendislik yapılarının jeoteknik tasarımları için yorumlanması; zayıf dayanımlı Et birimi ile olan ilişkisi anlaşılmeden yapılamayacaktır. Süreksizlik içsel sürtünme açısı $>45^\circ$ olan Ek biriminde $<20^\circ$ eğiminde düzlemsel kayma düzlemlerinin yer alması ancak altındaki kil içeriği yüksek Et biriminin su etkisinde uğrayacağı dayanım kaybı ile açıklanabilecektir.

Bazı hallerde sadece egemen süreksizlik sisteminin oluşturulacak mühendislik yapısı ile ilişkisi dahi kaya kütlelerinin sayısal incelemelere ve jeoteknik tasarıma esas değiştirgelerinin seçilmesinde belirleyici olabilmektedir. Yine çalışma alanındaki Kt birimi bu değerlendirme için uygun bir örnek teşkil etmektedir. Oluşturulacak mühendislik yapısının egemen süreksizlik sistemleri ile ilişkisi; aynı birim için birbirinden farklı jeoteknik değiştirgeler elde edilmesine neden olmuştur. Egemen süreksizlik sistemi doğrultusunun tünel çıkışında yer alan yarma eğim yönleri ile yaptığı açısının 0 ile 90° arasında değişmesi; birim için seçilen GSI değerinin sırasıyla 25 ile 60 arasında farklılık göstermesine neden olmuştur. Bu değişim; birim içinde oluşturulacak mühendislik yapılarının jeoteknik tasarımı açısından oldukça belirleyicidir ve oluşturulacak mühendislik yapısının emniyetsiz veya gereksiz yüksek maliyetli olması sınır durumlarında kalmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla, kaya kütle sınıflandırmaları yapılırken, süreksizlik sistemlerinin tespiti, durumlarının incelenmesi ve bunların tasarımcının yorumu doğrultusunda mevcut kaya kütle sınıflandırma sistemleriyle bütünleştirilmesi önem taşımaktadır.

Çalışma alanındaki genel jeolojik yapı, bahsi geçen Su – Süreksizlik – Kil ilişkisi dikkate alınarak incelendiğinde; yapımı önemli bir çevre sorunu yaratacak ve

yüksek maliyete neden olabilecek mevcut proje yerine bu tez kapsamında sunulan öneri proje ile önemli kazanımlar sağlanabilecektir. Bunları şu şekilde özetlemek mümkündür;

- mevcut projede yaklaşık 150 m boyunca çok zayıf birim içerisinde kalacak tünel uzunluğu 40 m 'ye düşürülerek uygulanacak destek sistemi yaklaşık %75 azaltılabilecektir.
- tünel kotu yükseltildiğinden söz konusu 40 m içerisinde uygulanacak destek sistemi hafifletilebilecektir. Bulon boyları sağlam birime kısa mesafede gireceğinden boyları en az %50 oranında kısılacaktır.
- tünel tavanında yer alan zayıf dayanımlı birim kalınlığı düşeceğinden kaplama sistemi üzerindeki kaya yükü en aza indirilmiş olacak ve böylece kaplama kalınlığı düşürülebilecektir.
- tünel girişi, mevcut projedekine göre, daha sağa kaydırıldığından derin kanyon dolgusu yapılmayacak, böylece, önemli bir olumsuz çevre etkisi ortadan kaldırılmış olacaktır.
- tünel girişinin kaydırılması ile tünel eksenin geniş bir kurpta gitmesi sağlanacak ve böylece sürüş emniyetine katkıda bulunacaktır.

Tüm bu kazanımlar, özellikle tünel mühendisliğinde, jeolojinin ve mühendislik jeolojisinin öneminin görülmesi açısından değer taşımaktadır. Cildikısık tüneli ve bileşenleri bu önemin somut örnekler ile gösterilmesi açısından çok sayıda veri sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların sayısal değerlere dönüştürülerek mevcut sınıflandırma sistemleriyle bütünleştirilmesi bu aşamada mümkün görülmemektedir. Böyle bir çalışmanın da çok anlamlı olacağı düşünülmektedir. Öyle ki; kaya kütlelerinin değerlendirilmesinde yere özgü koşullar büyük önem taşımaktadır ve bunlar yere göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durumda bulguların ve kaya kütle özelliklerinin sayısallaştırılması yerine çalışma alanındaki mühendislik jeolojisi verilerinin değerlendirilmesi ve bunların tasarımcının yorumu doğrultusunda jeoteknik değiştirgelerine yansıtılması en uygun çözüm olarak ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- AFET İSLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (AİGM), 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası: Yerleşim Birimleri ve Deprem Bölgeleri. AİGM Yayını Ankara.
- AKDUMAN, L., 2003. Otoyol bileşenlerinin seçiminde seldâğnaklık sisteminin önemi: Pozantı – E5 Ereğli Kavşağı Otoyolu. Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü 127 s. (yayınlanmamış).
- AKTİMUR, H.T., ALGAN, U., ATEŞ, S., ORAL, A., ÜNSAL, Y., KARATOSUN, H., ÖZTÜRK, V., ve SÖNMEZ, M., 1983. Bolu ve yakın çevresinin yerbilim sorunları ve muhtemel çözümleri: MTA Rap. Derleme no: 7387 (yayınlanmamış).
- ATALAY, I., 2002. Türkiye'nin ekolojik bölgeleri. Orman Bakanlığı Yayınları, no : 163, 266 s., İzmir.
- AY, A.M., 2002. Kaynaşlı, Yığılca civarındaki (Bolu Kuzeybatısı) metamorfik ve sedimanter kayaçların mineralojik-petrografik, yapısal özelliklerinin incelenmesi ve kataklastik zon haritalarının çıkarılması: Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 129s, (yayınlanmamış).
- AY, A.M. ve TOLLUOĞLU, Ü., 2001. Fay zonlarının belirteci kataklastik kayaçların Sınıflama kriterleri ve kataklaz zonlarının değişik mühendislik yapılarının ve yerleşim alanlarının tasarlanmasındaki önemi: 53. Türkiye Jeoloji Kurultayı
- AYDIN, M., SERDAR, H.S., ŞAHİNTÜRK, Ü., YAZMAN, M., ÇOKUĞRAŞ, R., DEMİR, Ü., ve ÖZÇELİK, Y., 1987. Çamdağ (Sakarya) - Sunnicedağ (Bolu) Yöresinin Jeolojisi: TJK Bülteni, 30:1-14.
- BARKA, A., 1996. Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1238-1254.
- BARTON, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterizations and tunnel design. International Journal of Rock Mechanics ve Mining. Vol:39 s.185-216.

- BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6 (4) 189-236.
- BIENIAWSKI, Z. T., 1973. Engineering classification of rock masses. *Trans. South African Inst. Civil Engineering*, 15, 335-344.
- _____, 1976. Rock mass classification in rock engineering. *Proc. Symp. On Exploration for Rock Engineering*, Cape Town, Balkema, 97-106.
- _____, 1989. Engineering rock mass classification. John Wiley and Sons, 237 s.
- BLUMENTHAL, M., 1948. Bolu Civarı ve Aşağı Kızılırmak Mecrası Arasındaki Kuzey Anadolu Silsilelerinin Jeolojisi: M.T.A. Enst. Yayınları, Seri B, No:13, 265 s.
- BOZKURT, E., 2001. Neotectonics of Turkey – Asynthesis. *Geodinamica Acta* 14,3-30.
- CANİK, B., 1980. Bolu Sıcaksu Kaynaklarının Hidrojeoloji İncelemesi: Doçentlik Tezi, Selçuk Üni. Fen Fak. Yayını No:1 75s.
- DALGIÇ, S.Ö., 1994. Otoyolun Bolu Dağı geçişinin jeolojisi. *Astaldi - Rendel arşivi* (yayınlanmamış rapor), 240 s.
- DEERE, D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1, 17-22.
- _____, 1989. Rock quality designation (RQD) after 20 years: U.S. Army Corps Engrs. Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: Waterways Experimental Station.
- DEERE, D.U. ve DEERE, D.W., 1988. The rock quality designation (RQD) Index in practice. In *Rock classification systems for engineering purposes*: (ed.L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am.Soc.Test.Mat.
- DUMAN, T.Y., EMRE, Ö., ÇAN, T., NEFESLİOĞLU, H.A., KEÇER, M., DOĞAN, A., DURMAZ, S., ve ATEŞ, Ş., 2005. Türkiye heyelan envanteri haritası : 1/500.000 ölçekli Zonguldak paftası. MTA Gen. Müd., Özel Yayın Serisi - 4, 25 s.

- GRENON, M. ve HADJIGEORGIOU, J., 2003. Evaluating discontinuity network characterization tools through mining case studies. Soil Rock America 2003, Boston. Vol:1 s.137-142.
- GRIMSTAD, E. BARTON, N., 1993. Updating of the Q-system for NMT. International symposium on sprayed concrete. Proceedings, s.46-66.
- ERENDİL, M., AKSOY, A., KUŞÇU, İ., 1991. Bolu Masifi ve Çevresinin Jeolojisi: M.T.A. Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Rapor No: 379.
- ERTUNÇ, A., 1984. Tünellerde yapılan Kaya Sınıflamaları: E.İ.E., Tünelcilik Semineri:164-206.
- HOEK, E., 1994. Strength of rock and rock masses, ISRM News Journal, 2(2), 4-16
- HOEK, E. ve BROWN, E.T. 1980a. Underground excavations in rock. Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons, London, 527s.
- _____, 1980b. Rock Mass Classification. Hoek's Corner. Alıntı: Aralık 2007 www.roscience.com.
- HUNT, R.E., 1986. Geotechnical Engineering analysis and foundation. McGraw-Hill Company, p. 729.
- KARAMAN, S. ve YILMAZER, İ., 2001. Ankara - İstanbul Arası Ulaşım Sorunları ve Çözüm Önerileri. Türkiye 3. Enerji Sempozyumu. Aralık 2001, Ankara.
- KAYA, Ö., ve DİZER, A., 1982a. Mengen (Bolu) Eosen Kömür Havzasının Stratigrafisi: M.T.A. Derg., 97/98: 123-139.
- _____, 1982b. Bolu Kuzeyi Üst Kretase ve Paleojen Kayalarının Stratigrafisi ve Yapısı: M.T.A. Derg., 97/98: 55-77.
- KOVARİ K., 1991. Isıklı tunnel feasibility report. Technical Notes, DSİ, Ankara.
- KOVARİ, K., AMBERG, F. Ve EHRBAR, H., 2000. Mastering of squeezing rock in the Gotthard Base. World Tunneling, june 2000, 234-238.
- KOVARİ, K. Ve AMSTAD, C., 1983. Fundamentals of Deformation Measurements: International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Zurich, september 5-8, proceedings p. 219 – 239.
- KYOTO, 1997. Kyoto Agreement. www.kyotoprotocol.1992.
- MADEN TETKİK ARAMA ENSTİTÜSÜ (MTA), 1961. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Zonguldak paftası. MTA Gen. Müd., Ankara.

- _____, 2002. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Zonguldak paftası. MTA Gen. Müd., Ankara.
- MARINOS, P. ve HOEK, E. 2000. Bulletin of the engineering geology ve the environment /IAEG) Vol:60 s.85-92.
- _____, 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogenous rock masses such as flysch. Bulletin of the engineering geology ve the environment /IAEG) Vol:60 s.85-92.
- MILNE, D., ve HADJIGEORGIOU, J., 2000. Practical considerations in the use of rock mass classification in mining. An International Conference on Geotechnical and Geological Engineering. Geoeng2000, Melbourne, Australlia.
- MILNE, D., ve HADJIGEORGIOU, J., PAKALNIS, R., 1998. Rock mass characterization for underground hard rock mines. Tunnelling and Underground Space Technology, October 1998, Vol: 13, s. 383-391
- NURLU, M., 1993. Kuzey anadolu Fay Zonu'nda (Bolu-Sapanca Gölü arası) etken olan gerilimlerin fay analizleri ve uydu görüntüleri yardımıyla saptanması: T.J.K. Bülteni, s.8, 258-266.
- OLSON, R.E., 1974. Shearing strengths of kaolinite, illite, and montmorillonite. Proc. A.S.C.E., Jl, Geotec. Engn. Div., 100, Paper No. 10947, 1215-1229.
- PALMSTROM, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnelling and Underground Space Technology. Vol:20, s.362-377.
- PALMSTROM, A., BLINDHEIM, O.T. ve BROCH, E., 2002. The Q-system possibilities and limitations (in Norwegian). Norwegian National Conference on Tunnelling, 2002. s.41-43.
- PALMSTROM, A., ve BROCH, E., 2006. Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. Tunnels and Underground Space Technology. Vol:21, s.575-593.
- ROCSCIENCE, 2003. RocLab Software Version:1.007. www.rocscience.com, Rocscience Inc. Toronto Canada. Alıntı: Mayıs 2007.

- RIO DE JANEIRO, 1992. Rio de Janeiro Agreement. www.riodejaneiroprotocol.1992.
- SERDAR, S. ve DEMİR. Ö., 1983 Bolu – Mengen dolayının Jeolojisi ve Petrol olanakları: TPAO Rap. (yayınlanmamış).
- TASMAN, C., 1944. Gerede – Bolu Depremi: M.T.A. Ens. Mec. Yıl: 9, Sayı:1/31.
- TERZAGHI K., 1946. Introduction to Tunnel Geology. Rock tunneling with steel supports. Proctor ve White, p.5-153.
- TÜRKMEN, S. ve YILMAZER, Ö., 1998. Engineering geology of caliche as evident in instabilities faced on the TAG motorway project: Turkey. Environmental and Engineering Geoscience, V. iv, no. 4, pp. 519-523.
- TÜYSÜZ, Ö., 1999. Geology of the Cretaceous sedimentary basins of the Western Pontids. Geol. J. 34 : 75-93.
- _____, 2002. Deprem sorununa kalıcı çözüm. Kaynak Yayınları, 104 sayfa.
- YILMAZER, Ö. AYTEKİN, E., ve ERHAN, F., 1990. Engineering geology of the Tarsus – Mersin motorway. Karayolları Gen. Müd. Raporluğu (arşivi), 65 s. (yayınlanmamış).
- YILMAZER, Ö. AYTEKİN, E., ve ERHAN, F., 1991. Subsurface investigation (factual) report of the Tarsus – Mersin motorway. Karayolları Gen. Müd. Raporluğu (arşivi), 1450 s. (yayınlanmamış).
- YILMAZER, Ö. AYTEKİN, E., ve TEYFİK H. 1992. Interpretative report of the Tarsus – Mersin motorway. Karayolları Gen. Müd. Raporluğu (arşivi), 95 s. (yayınlanmamış).
- YILMAZER, Ö. SMITH, I. ve BAŞTEKİN, A., 1993. Final design report of the Tarsus – Mersin motorway. Karayolları Gen. Müd. Raporluğu (arşivi), 124 s. (yayınlanmamış).
- YILMAZER, İ. ve ÇONGAR, B., 1994. Significance of discontinuity survey and physiographical study in engineering works. Proceedings of the 7th congress of the International Association of Engineering Geology Organizing Committee, 1105-1111, 5-9 September 1994, Lisbon-Portugal.
- YILMAZER, I. ve YILMAZER, Ö., 1997. Interrelation between hydrogeological and geological models: case studies. Proceedings of the International

- Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, organized by Near East University, Nicosia, North Cyprus, November 17-21, 613-621.
- YILMAZER, İ., YILMAZER, Ö., and DOĞAN, U., 1997. Significance of water-discontinuity-clay (WDC). Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment, sponsored by International Assoc. of Engineering Geology, Athens-Greece, June 23-27 '97, 457-462
- YILMAZER, İ., YILMAZER, Ö. ve GÖKÇEKUŞ, H., 1999a. Practical engineering approaches to mitigate earthquake disasters. Proceedings of the International Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region, by Near East University, Nicosia, North Cyprus, October 18-22 '99, pp. 409-416.
- _____, 1999b. Tensional tectonic regimes and engineering works: Interactions and mitigation measures. Proceedings of the International Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region, by Near East University, Nicosia, North Cyprus, October 18-22 '99, pp. 439-444.
- YILMAZER, İ. ve YILMAZER, Ö., 2001. An earthquake in turkey is not a natural disaster. Abstracts the 4th International Symposium on Eastern Mediterranean Region Geology, May 21 –25 '01, Isparta/Turkey, p. 164.
- YILMAZER, İ., YILMAZER, Ö., AKDUMAN L. ve LEVENTELİ Y., 2001. A radical solution to mitigate earthquake catastrophe in Turkey. Abstracts of the Fourth International Turkish Geology Symposium, September 24-28 '01 Adana/Turkey, 139.
- YILMAZER, İ., 2002a. Deprem sorununa kalıcı çözüm (A permanent solution to earthquake disaster). Kaynak Yayınları, 104 sayfa.
- _____, 2002b. Karadeniz'de ulaşım sorunları ve çözümleri. Kaynak Yayınları, 96. sayfa
- YILMAZER, Ö. YILMAZER, İ. ve BULUT, C., 2003. Kesinleşmiş yol mühendislik jeolojisi raporu. Yılmazzer Eğitim ve Mühendislik ile Karayolları Gen. Müd. Raporluğu (arşivi), 65 s. (*yayınlanmamış*).
- YILMAZER, İ., YILMAZER, Ö., SARAC, C., 2003. Case history of controlling a major landslide at Karandu, Turkey. Engineering Geology 70, 47-53.

YILMAZER, İ. YILMAZER, Ö., ÖZVAN, A. ve BİÇEK, C., 2004. Why the earthquake disasters occur only in fertile soil grounds?: Turkey. Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 2, 667–669, Thessaloniki, Greece, 14–20 April 2004.

YILMAZER, ÖZG., YILMAZER, ÖZL., ÖZVAN, A., LEVENTELİ, Y. ve YILMAZER, İ., 2007. Earthquake is a manmade catastrophe rather than a natural disaster: Turkey. Proceedings of the International Conference on “The Environment: Survival and Sustainability”, organized by Near East University, Nicosia, North Cyprus, February 18 – 25, 2007.

İnternet Siteleri

DMİ, 2008. Devlet Meteoroloji İşleri Uluslararası Ağ Sayfası, www.dmi.gov.tr

DSİ, 2008. Devlet Sular İdaresi Uluslararası Ağ Sayfası, www.dsi.gov.tr

KRDAE, 2008. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRAE) Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) Uluslararası Ağ Sayfası, www.koeri.boun.edu.tr

ÖZGEÇMİŞ

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde 1992 yılında mühendislik eğitimime başladım ve ikinci sınıfta Ankara üniversitesine geçerek 1996 yılında mezun oldum.

1996-1998 yıllarında İngiltere Leeds Üniversitesi Yer Bilimleri Bölümü Mühendislik Jeolojisi Bölümünde yüksek lisansımı bitirdim.

Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde inşaat mühendisi olarak 2004 yılında mezun oldum.

1996 yılından bugüne Yılmaz EĞİTİM ve Mühendisliğin çalışanı olarak 8 tünel projesi ve 1000 km'nin üzerinde karayolu projelerinin yer seçimi, araştırma ve tasarım aşamalarında doğrudan yer aldım.

Ellinin üzerinde ulusal ve uluslararası bilimsel etkinlikte yer alarak yazılı ve sözlü yayınlarda bulundum. Yurtiçi ve yurtdışı mühendislik projelerinde araştırma, uygulama ve raporlandırma çalışmalarımı ve bilimsel etkinlikleri sürdürmekteyim.

Ek – I

Sondajlı Araştırma Veri Kütükleri

TOPRAK - KAYA ZEMİN SONDAJLI ARAŞTIRMA VERİ KÜTÜĞÜ



BAYINDIRLIK VE İŞKAN BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Karayolları 15.Bölge Müdürlüğü





YILMAZER EĞİTİM VE MÜHENDİSLİK
Limited Şirketi
(Jeoteknik Yüklenici)

Proje Adı	KARABÜK-ESKİPAZAR-4.BL.HD.YL CILDIKISIK TÜNELİ (KM.15+550-16+900)			Sayfa 1/1
Sondaj No	SK1	Koordinatlar	x= 472 508 y= 4 640 901 z= 423	Sondaj Firması
Sondajın Amacı	Tünel			Limit San. Tic. Aş.
Sondaj Der., m	15.00	YAST Durumu		Sondaj Mühendisi
Sondaj Yöntemi	Rotary	No	Der. m	Tarih
Sondaj Tarihi	24.03-28.03.2006	1	Kuru	22.04.2006
Sondaj Makinesi	D900	2	-	-
				Genel Notlar



Derinlik (m)	İlerleme Türü	Örnek Türü	Ö. Der., m	Muh. Borusu	Su Seviyesi	Standart Penetrasyon Deneyi					Kaya Kütle Özellik.					Litolojik Belirteç	Litolojik Tanımlama
						Vuruş Değerleri				SPT Grafik	KY. %	TÇK. %	RQD. %	Ayr. Der.	Süreks.		
						15	30	45	N	10							
0																	
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	

KISALTMALAR	GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)	TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİRME				KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRME			
		İNCE TANELİ (N)		İRİ TANELİ (N)		RQD. %		AYRIŞMA DEREJESİ	
BRG : Burgulu İler.	<1 Geçirimsiz	<2 Çok Yumuşak	<4 Çok Zayıf	0-25 Çok Zayıf	A1 Tamamen Ayrış	>50 S1 Ufalanmış			
KRT : Karotlu İler.	1-5 Az Geçirimli	2-4 Yumuşak	4-10 Gevşek	25-50 Zayıf	A2 Çok Ayrışmış	10-50 S2 Çok Sık Ar.			
UD : Şelbi Tüp	5-10 Orta Geçirimli	4-8 Orta Katı	10-30 Orta Sıkı	50-75 Orta	A3 Orta	3-10 S3 Sık Aralıklı			
KY : Karot Yüzdesi	10-25 Geçirimli	8-15 Katı	30-50 Sıkı	75-90 İyi	A4 Az Ayrışmış	1-3 S4 Geniş Ar.			
TÇK : Tamçaplı Kıt.	>25 Çok Geçirimli	15-30 Çok Katı	>30 Sert	90-100 Çok İyi	A5 Taze	<1 S5 Kütlesel			
RQD : Kaya Kl. Değ.									

TOPRAK - KAYA ZEMİN SONDAJLI ARAŞTIRMA VERİ KÜTÜĞÜ																	
 BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ Karayolları 15.Bölge Müdürlüğü					 YILMAZER EĞİTİM VE MÜHENDİSLİK Limited Şirketi (Jeoteknik Yüklenici)					Proje Adı KARABÜK-ESKİPAZAR-4.BL.HD.YL.CİLDİKISIK TÜNELİ (KM.15+550-16+900) Sayfa 1/2							
Sondaj No		SK2		Koordinatlar			x= 472 267		Sondaj Firması		Limit San. Tic. Aş.						
Sondajın Amacı		Tünel		Y= 4 649 678			Z= 422		Sondaj Mühendisi		Jeo.M.Karaca KARAKAŞ						
Sondaj Der., m		33,00		YAST Durumu					Sondör		Murat ASAL						
Sondaj Yöntemi		Rotary		No		Der. m		Tarih		Veri Düzenleyen		Jeo.Y.M.Evrım ULUADAM					
Sondaj Tarihi		29.03-07.04.2006		1		Kuru		22.04.2006		Genel Notlar							
Sondaj Makinesi		D900		2		-		-									
Derinlik (m)	İlerleme Türü	Örnek Türü	Ö. Der., m	Muh. Borusu	Su Seviyesi	Standart Penetrasyon Deneyi					Kaya Kütle Özellik.					Litolojik Belirteç	Litolojik Tanımlama
						Vuruş Değerleri				SPT Grafik	Kç. %	Tçk. %	RQD. %	Ayr. Der.	Sürets.		
15	30	45	N	10	20	30	40	50									
0																	
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
KISALTMALAR		GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)			TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİRME					KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRME							
					İNCE TANELİ (N)					İRİ TANELİ (N)							
					RQD. %					AYRIŞMA DERESESİ							
					Sür. Sayısı (say/m)												
BRG : Burgulu İler.		<1 Geçirimsiz			<2 Çok Yumuşak					<4 Çok Zayıf							
KRT : Karotlu İler.		1-5 Az Geçirimli			2-4 Yumuşak					4-10 Gevşek							
UD : Şelbi Tüp		5-10 Orta Geçirimli			4-8 Orta Katı					10-30 Orta Sıkı							
KY : Karot Yüzdesi		10-25 Geçirimli			8-15 Katı					30-50 Sıkı							
TÇK: Tamçaplı Krt.		>25 Çok Geçirimli			15-30 Çok Katı					>30 Sert							
RQD: Kaya Kl. Değ.																	

TOPRAK - KAYA ZEMİN SONDAJLI ARAŞTIRMA VERİ KÜTÜĞÜ (devamı)

Sondaj No		SK2										Sayfa 2/2					
Derinlik (m)	İlerleme Türü	Örnek Türü	Ö. Der., m	Muh. Borusu	Su Seviyesi	Standart Penetrasyon Deneyi					Kaya Kütle Özelliği					Litolojik Belirteç	Litolojik Tanımlama
						Vuruş Değerleri				SPT Grafik	K _v , %	TÇK, %	RQD, %	Ayr. Der.	Süreks.		
						15	30	45	N	10							
16				Kullanıldı													Açık kahve, koyu gri, koyu yeşil grimsi renkli düşük derecede metamorfizma izleri taşıyan Kumtaşı- Miltığı ve yer yer ince Kiltığı seviyelerinin ardalanması şeklinde izlenen fişel istif (METAFİLİŞ). (Miltığı egemen seviyeler)
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
						K.Sonu: 33,00 m											
KISALTMALAR		GEÇİRLİLİK (LUGEON)		TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİRME				KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRME									
				İNCE TANELİ (N)		İRİ TANELİ (N)		RQD, %		AYRIŞMA DERECESESİ		Sür. Sayısı (sayı/m)					
BRG : Burgulu İler.		<1 Geçirimsiz		<2 Çok Yumuşak		<4 Çok Zayıf		0-25 Çok Zayıf		A1 Tamamen Ayrış		>50 S1 Ufalanmış					
KRT : Karotlu İler.		1-5 Az Geçirimli		2-4 Yumuşak		4-10 Gevşek		25-50 Zayıf		A2 Çok Ayrışmış		10-50 S2 Çok Sık Ar.					
UD : Şelbi Tüp		5-10 Orta Geçirimli		4-8 Orta Katı		10-30 Orta Sıkı		50-75 Orta		A3 Orta		3-10 S3 Sık Aralıklı					
KY : Karot Yüzdesi		10-25 Geçirimli		8-16 Katı		30-50 Sıkı		75-90 İyi		A4 Az Ayrışmış		1-3 S4 Geniş Ar.					
TÇK: Tamçaplı Kıt.		>25 Çok Geçirimli		15-30 Çok Katı		>30 Sert		90-100 Çok İyi		A5 Taze		<1 S5 Kültüsel					
RQD: Kaya Kl. Değ.				>30 Sert													

TOPRAK - KAYA ZEMİN SONDAJLI ARAŞTIRMA VERİ KÜTÜĞÜ																	
 BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ Karayolları 15.Bölge Müdürlüğü				 YILMAZER EĞİTİM VE MÜHENDİSLİK Limited Şirketi (Jeoteknik Yüklenici)													
Proje Adı		KARABÜK-ESKİPAZAR-4. BL.HD.YL.CİLDİKISIK TÜNELİ (KM.15+550-16+900)										Sayfa 1/2					
Sondaj No		SK3		Koordinatlar		x= 472 221		Sondaj Firması		Limit San. Tic. Aş.							
Sondajın Amacı		Tünel		y= 4 548 670		Sondaj Mühendisi		Jeo.M.Karaca KARAKAŞ									
Sondaj Der., m		35.00		Z= 422		Sondör		Murat ASAL									
Sondaj Yöntemi		Rotary		YAST Durumu		Veri Düzenleyen		Jeo.Y.M.Evrım ULUADAM									
Sondaj Tarihi		08.04-21.04.2006		1 Kuru		22.04.2006		Genel Notlar									
Sondaj Makinesi		D900		2													
Derinlik (m)	İlerleme Türü	Örnek Türü	Ö. Der., m	Müh. Borusu	Su Seviyesi	Standart Penetrasyon Deneyi					Kaya Kütle Özellik.					Litolojik Belirteç	Litolojik Tanımlama
						Vuruş Değerleri				SPT Grafik	KY. %	TÇK. %	RQD. %	Ayr. Der.	Süreks.		
						15	30	45	N	10							
0																	Düşük derecede metamorfizma izleri taşıyan Kumtaşı-Miltası ve yer yer ince Killi taşı seviyelerinin ardalanması şeklinde izlenen filişel istif (METAFİLİŞ). (Miltası egemen seviyeler)
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8	KRT																
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
KISALTMALAR		GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)		TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİRME				KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRME									
				İNCE TANELİ (N)		İRİ TANELİ (N)		RQD. %		AYRIŞMA DERECESESİ		Sür. Sayısı (sayı/m)					
BRÖ : Burgulu İler.		<1 Geçirimsiz		<2 Çok Yumuşak		<4 Çok Zayıf		0-25 Çok Zayıf		A1 Tamamen Ayış		>50 S1 Ufalanmış					
KRT : Karotlu İler.		1-5 Az Geçirimli		2-4 Yumuşak		4-10 Övşek		25-50 Zayıf		A2 Çok Ayırışmış		10-50 S2 Çok Sık Ar.					
UD : Şelbi Tüp		5-10 Orta Geçirimli		4-8 Orta Katı		10-30 Orta Sıkı		50-75 Orta		A3 Orta		3-10 S3 Sık Aralıklı					
KY : Karot Yüzdesi		10-25 Geçirimli		8-15 Katı		30-50 Sıkı		75-90 İyi		A4 Az Ayırışmış		1-3 S4 Geniş Ar.					
TÇK : Tamçaplı Kit.		>25 Çok Geçirimli		15-30 Çok Katı		>30 Sert		90-100 Çok İyi		A5 Taze		<1 S5 Kütlezel					
RQD : Kaya Kl. Değ.				>30 Sert													

TOPRAK - KAYA ZEMİN SONDAJLI ARAŞTIRMA VERİ KÜTÜĞÜ (devamı)																	
Sondaj No		SK3										Sayfa 2/2					
Derinlik (m)	İlerleme Türü	Örnek Türü	Ö. Der., m	Muh. Borusu	Su Seviyesi	Standart Penetrasyon Deneyi					Kaya Kütle Özellik					Litolojik Belirteç	Litolojik Tanımlama
						Vuruş Değerleri				SPT Grafik	KY, %	TÇK, %	RQD, %	Ayr. Der.	Süreks.		
						15	30	45	N	10							
16																Düşük derecede metamorfizma izleri taşıyan Kumtaşı-Milttaşı ve yer yer ince Killi taş; seviyelerinin ardalanması şeklinde izlenen filizel istif (METAFİLİZ). (Milttaşı egemen seviyeler)	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25	KRT																
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
K.Sonur: 35,00 m																	
KISALTMALAR		GEÇİRİMLİLİK (LÜGEON)		TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİRME			KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRME										
				İNCE TANELİ (N)		İRİ TANELİ (N)	RQD, %	AYRIŞMA DERESESİ		Sür. Sayısı (sayı/m)							
BRÖ: Burgulu İler.		<1 Geçirimsiz		<2 Çok Yumuşak		<4 Çok Zayıf	0-25 Çok Zayıf	A1	Tamamen Ayrış	>50 S1 Ufalanmış							
KRT: Karotlu İler.		1-5 Az Geçirimli		2-4 Yumuşak		4-10 Gevşek	25-50 Zayıf	A2	Çok Ayrışmış	10-50 S2 Çok Sık Ar.							
UD : Şelbi Tüp		5-10 Orta Geçirimli		4-8 Orta Kati		10-30 Orta Sıkı	50-75 Orta	A3	Orta	3-10 S3 Sık Aralıklı							
KY : Karot Yüzdesi		10-25 Geçirimli		8-15 Kati		30-50 Sıkı	75-90 İyi	A4	Az Ayrışmış	1-3 S4 Geniş Ar.							
TÇK: Tamçaplı Kt.		>25 Çok Geçirimli		15-30 Çok Kati		>30 Sert	90-100 Çok İyi	A5	Taze	<1 S5 Kütleli							
RQD: Kaya Kl. Değ.																	

Ek – II
Sondaj Karot Sandıkları Fotoğrafları

SK1 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	1/1	
Derinlik	0,00-15,00	

SK2 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	1/3	
Derinlik	0,00-17,00	

SK2 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	2/3	
Derinlik	17,00 - 28,00	

SK2 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	3/3	
Derinlik	28,00 - 33,00	

SK3 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	1/4	
Derinlik	0,00-10,50	

SK3 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	2/4	
Derinlik	10,50-17,50	

SK3 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	3/4	
Derinlik	17,50-27,00	

SK3 (KAROT SANDIĞI)		
Sandık Numarası	4/4	
Derinlik	27,00-35,00	