

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARADENİZ SAHİLYOLU PROJESİ HAPAN TÜNEL
GÜZERGAHININ MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ VE
JEOMEKANİK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeol. Müh. Gökhan ŞANS**

Anabilim Dalı : JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : UYGULAMALI JEOLojİ

OCAK 2005

**KARADENİZ SAHİLYOLU PROJESİ HAPAN TÜNEL
GÜZERGAHI' NIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE
JEOMEKANİK DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeol. Müh. Gökhan ŞANS
(505021305)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Ocak 2005

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mahir VARDAR
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Nuh BİLGİN
Yrd. Doç.Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması, Karadeniz Sahilyolu (Samsun-Trabzon-Sarp arası) Bolaman-Perşembe Yolu Hapan Tüneli ve Güzergahı' nın Mühendislik Jeolojisi açısından irdelenmesi ve yeraltı kaya yapısına bağlı olarak oluşan zamana bağlı deformasyonların jeomekanik değerlendirmesini konu edinmiştir. 28 km uzunluğundaki otoyol 02.10.1997 tarihinde ihale edilmiştir. Bolaman-Perşembe arasındaki bu yolun inşaatı NUROL, TEKFEN, YÜKSEL Ortak Girişimi' nin taahhüdünde halen tünel, köprü, viyadük, toprak işleri, sanat yapıları gibi çalışmalar kapsamında devam etmektedir.

Önce tek tüplü olarak projelendirilen Hapan Tüneli, sonradan çift tüplü ve iki araç geçişli olarak yeniden tasarlanmıştır. Tünelin yapımı sırasında tez metni içinde de sorunlu kesim olarak adlandırılan sol tüp km 10+683.00–10+800.60 ile sağ tüp km 10+693.10–10+742.10 arasında meydana gelen zamana bağlı taban kabarmaları ve aşırı deformasyonlar şeklindeki jeomekanik sorunların temel nedenleri araştırılmıştır.

Kaya ortam ile teknik girişim arasındaki tekil çözümlü ve anlamlı bir yaklaşımın belirlenmesine iyi bir örnek olan Hapan Tüneli ve Güzergahı' nın tez kapsamında çalışılmasında beni cesaretlendiren ve benim için yeni olan konularla tanışmamı sağlayıp tezin her aşamasında bana destek olan Hocam Prof. Dr. Mahir VARDAR' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tezin ilk aşamalarından itibaren gerilme ortamları ile ilgili hesaplar kapsamında yardımlarını esirgemeyip bilgilerini benimle paylaşan Araş. Gör. Cenk KOÇAK ve haritalama konularında bana yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Can TERZİOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım. Sorunlu kesim ile ilgili iyileştirme çalışmalarıyla ilgili bilgilerin derlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Halil KARAOĞLAN ve Bülent KOÇAK' a çok teşekkür ederim. Bu tezin oluşturulmasında bilgilerini benimle paylaşan ve tünel çalışmaları sırasında arazide bilgilerinden yararlandığım başta tünel şefi Naci ASILKAZANCI olmak üzere tüm NTY yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim. Hapan Tünel Güzergahı' nın tez konusu olarak hazırlanmasında benden desteklerini ve deneyimlerini esirgemeyen Uygulamalı Jeoloji ABD üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimim süresince ve tez hazırlanması aşamasında beni sürekli destekleyen aileme en samimi ve içten teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2004

Gökhan ŞANS

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Karadeniz Sahilyolu Hapan Tünel Projesinin Tanıtılması	2
1.3. Haritalama ve Çalışma Yöntemi	4
2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI	5
2.1. Coğrafi Konum ve Morfoloji	5
2.2. İklim ve Bitki Örtüsü	8
2.3. Ulaşım	8
2.4. Ekonomi	8
2.5. Tarihçe	9
3. GENEL JEOLojİ	11
3.1. Önceki Çalışmalar	11
3.2. Bölgesel Jeoloji	12
3.3. Tünel Güzergahının Jeolojisi	24
3.3.1. Hapan Tünel Güzergahında Geçilen Kaya Litolojileri	28
3.4. Tünel Güzergahının Yapısal Jeolojisi	31
3.5. Depremsellik	34
3.6. Bölgenin Tektonik Evrimi	35
4. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ VE JEOMEKANİK DEĞERLENDİRME	38
4.1. Hapan Tüneli Proje Bilgileri	38

4.2. Yeni Avusturya Tünel Açım Yöntemi	40
4.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikler	43
4.4. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri	45
4.5. Güzergah Boyunca Geçilen Ortamın Kaya Sınıflamaları	47
4.6. Güzergahın Mühendislik Jeolojisi ve Deformasyon Değerlendirmesi	51
4.6.1. Sol Tüp Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi	54
4.6.2. Sağ Tüp Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi	56
4.7. Su durumu	62
4.7.1. Formasyonların Su Taşıma Özellikleri	62
4.7.2. Kaynaklar	64
4.8. Tünel Duraysızlıklarına İlişkin Analizler	65
5. SONUÇLAR	80
KAYNAKLAR	83
EKLER	86
ÖZGEÇMİŞ	113

KISALTMALAR

cm	: Santimetre
km	: Kilometre
m	: Metre
mm	: Milimetre
MÖ	: Milattan Önce
g	: Yerçekimi İvmesi, Gravite
Q	: Kaya Kalitesi
ESCAP	: Asya ve Pasifik Ekonomik ve Sosyal Komisyonu
ALTID	: Asya Kara Taşımacılığı Altyapısını Geliştirme Projesi
MM	: Modifiye Mercaili
MN	: Mega Newton
RMR	: Kaya Kütlesi Sınıflaması
RQD	: Kaya Kalitesi Tanımlaması
SRF	: Dayanım Azaltma Faktörü
UCS	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
NATM	: Yeni Avusturya Tünel Açım Yöntemi (New Austrian Tunnelling Method)
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1.	H TSK4 Sondajında Yapılan Fiziksel ve Mekanik Deneylerin Sonuçları	44
Tablo 4.2.	Portal Kesimleri İçin RQD Oranları	49
Tablo 4.3.	Tünel Kesimleri İçin Q Parametreleri	50
Tablo 4.4.	Hapan Tüneli Kaya Sınıflaması (Temelsu, 1997b)	51
Tablo 4.5.	Sağ Tüp Ölçüm İstasyonları ve Deformasyon Değerleri	59
Tablo 4.6.	Sağ Tüp Ek Ölçüm İstasyonları ve Deformasyon Değerleri	59
Tablo 4.7.	Farklı Kayaç Türleri İçin Post Failure Deneylerinde Elde Edilen Direnç Düşüm Değerleri	68
Tablo 4.8.	Hesap Analizlerinde Kullanılan Malzeme Parametreleri	73
Tablo 4.9.	Hesap Analizlerinde Kullanılan Destek Sistemleri Malzeme Parametreleri	74
Tablo Ek 3.1.	NATM' a göre kaya sınıflaması ve yapılacak işlemler	88

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	: Asya - Avrupa Karayolu Taşımacılığı Kapsamında Yer Alan Karayolları (http://www.kgm.gov.tr haritasından türetilmiştir)	2
Şekil 2.1	: Ordu İli' nin ve İnceleme Alanının Coğrafik Konumu (MTA)	5
Şekil 3.1	: Bölgede Yüzeyleyen Jeolojik Birimler (MTA verilerinden uyarlanmıştır)	15
Şekil 3.2	: Karadeniz ile Canik Dağları Arasında Kalan Alanın Genelleştirilmiş Dikme Kesiti (Yılmaz ve Terlemez 1980' den uyarlanmıştır)	17
Şekil 3.3	: Hapan Tüneli Kazılarında Çıkan Bazaltik Tüf ve Aglomera Litolojileri	29
Şekil 3.4	: Kuzey Anadolu Dağları ve Kuzey Anadolu Fayı' nın Ordu' ya Göre Konumları	31
Şekil 3.5	: Vadi Oluşumu ve Tünel Güzergahının Doğal Drenaj Sistemiyle Olan İlişisini Gösteren Blok Diyagram	33
Şekil 3.6	: Hapan Tünel Güzergahında Yapılan Tabaka Ölçümlerine Ait Gül Diyagramı	34
Şekil 4.1	: Hapan Tüneli Çift Tüplü Tasarıma Ait Portal Yapısı	48
Şekil 4.2	: Hapan Tüneli Yapım Aşamasında Giriş Portali	49
Şekil 4.3	: Hapan Tüneli Sorunlu Kesimine Ait Deformasyon Göstergesi	52
Şekil 4.4	: Hapan Tüneli Deplasman Okuma Noktaları	53
Şekil 4.5	: Tünel Tabanında Kabarmaların Gözlendiği Kesimler	54
Şekil 4.6	: Su ile Temasta Kabarak Grobetonu Kıran Andezitik ve Bazaltik Bileşimli Kil Bantları	56
Şekil 4.7	: Tavanda Görülen Ayrışma ve Kavlaklanmalar	58
Şekil 4.8	: Kaya Mekanğinde Aynı Ortamın “Sistem Büyüklüğü”ne Bağlı Olarak Farklı Şekilde Davranmasının Post- Failure Davranışı ile Açıklanması (Vardar, 2002)	65
Şekil 4.9	: Tek Eksenli Basınç Dirençlerine Bağlı Olarak Taş-Kaya İlişkisi (Vardar, 2002)	66
Şekil 4.10	: Hapan Tüneli İlk Durum Sayısal Modeli – Çift Tüp Çift Fay	
Şekil 4.11	: Hapan Tüneli Sol Tüp B3 İçin, Sağ Tüp B2' den B3' e Geçiş İçin Sayısal Modeli – Çift Tüp Çift Fay	72 75
Şekil 4.12	: Ters Kemerli B3 Kaya Sınıfı Tasarımı İçeren İyileştirme Kesiti (Emay, 2003)	77
Şekil 4.13	: B2 Kaya Sınıfından B3 Kaya Sınıfına Geçiş İçeren İyileştirme Kesiti (Emay, 2003)	78
Şekil Ek 4.1	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+738.00	

	Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	91
Şekil Ek 4.2	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+733.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	91
Şekil Ek 4.3	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+727.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	92
Şekil Ek 4.4	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+722.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	92
Şekil Ek 4.5	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+718.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	93
Şekil Ek 4.6	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+713.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	93
Şekil Ek 4.7	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+707.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	94
Şekil Ek 4.8	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+738.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri (Yatay Ölçümler)	94
Şekil Ek 4.9	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+733.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri (Yatay Ölçümler)	95
Şekil Ek 4.10	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+727.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri (Yatay Ölçümler)	95
Şekil Ek 4.11	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+722.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri (Yatay Ölçümler)	96
Şekil Ek 4.12	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+718.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri (Yatay Ölçümler)	96
Şekil Ek 4.13	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+713.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri (Yatay Ölçümler)	97
Şekil Ek 4.14	: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+707.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri (Yatay Ölçümler)	97
Şekil Ek 4.15	: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+738.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	98
Şekil Ek 4.16	: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+728.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	98
Şekil Ek 4.17	: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+714.50 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	99
Şekil Ek 4.18	: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+713.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri	99
Şekil Ek 5.1	: Hapan Tüneli İlk Durum Tek Eksenli Gerilme Dağılımı	100
Şekil Ek 5.2	: Hapan Tüneli İlk Durum Yatay Yer Değiştirme Dağılımı	101
Şekil Ek 5.3	: Hapan Tüneli İlk Durum Düşey Yer Değiştirme Dağılımı	102
Şekil Ek 5.4	: Hapan Tüneli İlk Durum Toplam Yer Değiştirme Dağılımı	103
Şekil Ek 5.5	: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Tek Eksenli Gerilme Dağılımı	104
Şekil Ek 5.6	: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Tek Eksenli Gerilme Dağılımı ve Yenilen Kaya Bulonları	105
Şekil Ek 5.7	: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Yatay Yer Değiştirmeler ve Yenilen Destek Elemanları	106
Şekil Ek 5.8	: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Düşey Yer Değiştirmeler ve Yenilen Destek Elemanları	107
Şekil Ek 5.9	: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Toplam Yer Değiştirmeler ve Yenilen Destek Elemanları	108
Şekil Ek 5.10	: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Destek Sisteminde Yenilme Sonrası Durum	109

SEMBOL LİSTESİ

σ	: Basınç dayanımı
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ν	: Poisson oranı
γ	: Birim hacim ağırlık
σ_t	: Taş dayanımı
σ_{max}	: Maksimum Asal Gerilme
σ_{min}	: Minimum Asal Gerilme
c	: Kohezyon
E	: Elastisite Modülü
I_{UCS}	: Dayanım Parametresi Değeri
J_n	: Eklem Takımı Sayısı
J_r	: Eklem Pürüzlülük Sayısı
J_a	: Eklem Alterasyon Sayısı
J_w	: Eklem Su Azaltma Faktörü
$^{\circ}C$	: Derece Santigrad
$^{\circ}$	: Derece
'	: Dakika

KARADENİZ SAHİLYOLU PROJESİ HAPAN TÜNEL GÜZERGAHININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOMEKANİK DEĞERLENDİRİLMESİ ÖZET

Karadeniz Sahilyolu Projesi Türkiye’ nin kuzeyinde gerçekleştirilen önemli bir projedir. Projenin amacı Avrupa ve Asya kıtaları arasında rahat bir ulaşım ağının kurulmasıdır. Böylece Türkiye’ nin kuzeydoğudaki komşuları (Gürcistan, Ermenistan ve Azerbeycan) ile Avrupa arasında rahat bir ulaşım ağı kurulacaktır. Hapan Tüneli bu kapsamda Perşembe Bolaman otoyol projesine bağlı olarak açılan ve 3 776 m uzunluğu ile ülkemizin halen projelendirilmiş en uzun çift tüplü karayolu tünelidir.

Tünel, portallerde 33 m, ve güzergah boyunca da 75 - 375 m derinliğinde projelendirilmiştir. Herbir tüpün çapı 12.6 m ve kazı sonrası açıklığı 80.96 m² dir. Tünelde sol tüp için 117 m, sağ tüp için 49 m uzunluğunda bir bölgeyi kapsayan kesimde taban kabarmaları ve tavanda kavlaklanmalar şeklinde gelişen zamana bağlı deformasyonlar ölçülmüştür. Bu durum göz önünde tutularak ano boyları da dikkate alındığında km: 10+683.00 - 10+800.60 sol tüp ve km: 10+693.10 - 10+742.10 sağ tüp arası için iyileştirme çalışmaları kaçınılmaz olmuştur. Bu Yüksek Lisans Çalışması’ nda sorunlu kesimde ölçülen deformasyonlar incelenmiş ve sorunlu kesimdeki güzergaha ait mühendislik jeolojisi verileri yorumlanmış ve geri hesap yöntemi kullanılarak iyileştirme çalışmaları için öneriler getirilmiştir.

Tünel güzergahı tektonizma ve erozyonun şekillendirdiği vadi tabanlarından geçmektedir. Bölge tektonik olarak günümüzde de yükselmeye devam etmekte ve bunun sonucunda faylanmalar gelişmektedir. Ayrıca bu yükselmeye karşıt aktif olan nehirler yataklarını daha derin kazmakta ve bunun sonucunda da vadi tabanlarında zayıflık zonları oluşmaktadır.

Güzergah boyunca geçilen ortam bazalt, aglomera, bazaltik and andezitik tüfler ve denizaltı volkanitleridir. Sorunlu bölümlerde andezitik ve bazaltik litolojilerin alterasyon ürünleri olarak kil bantları görülmektedir. Üst Kretase- Eosen yaşlı bu birimler güzergah boyunca birbirlerinden keskin dokanaklarla ayrılamamakta, bir birlerini üzerlemektedirler.

Anılan sorunlu kesimde yeni bir iyileştirme çalışması yapılması için öncelikle 1:100 ölçekli ayna kayıtları kullanılarak her tüp için tünel düzeyi jeoloji haritaları ve boy kesitleri hazırlanmıştır.

Buna ek olarak sorunlu kesimin litolojik ve morfolojik olarak değerlendirilebilecek blok diyagram hazırlanmıştır. Bu modelden de anlaşılacağı gibi tünel güzergahı D-B yönelimli faylar tarafından kırılmakta ve hem yatay hem de düşey hareket bileşenleri

içermektedir. Ayrıca yüzeysuları bu süreksizlik yüzeylerini izleyerek tünel kotuna kadar inmekte ve volkanik birimlerin dayanımlarını düşürmektedir.

Bu jeolojik ve tektonik verilerin yardımıyla tünelin uygulama projesinde belirtilen kaya kaliteleri her tüp için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucunda uygulama projesinde kullanılan jeomekanik parametrelerin laboratuvar ortamını yansıttığı ve yenilme sonrası değerlendirmelerde yetersiz kaldığı görülmüştür. Böyle laboratuvar verilerinden kaya ortamın yerli yerinde elde edilebilecek jeomekanik parametreleri hesaplanmıştır. Bunun sonucunda en kötü durumu yansıtmaması açısından sol tüpte km: 10+714.50' de ölçülen maksimum 14 cm' lik deformasyonu içeren bir en kesit hazırlanarak bu ortamın hesap modeli oluşturulmuştur. Hesap modeli sonlu elemanlar ve sınır elemanları içeren karma hesap yöntemini kullanmaktadır.

Hesaplamalarda öncelikle mevcut durum çözülerek stabilite problemleri, ve iksa sistemine düşen yükler belirlenmiştir. Buradan, yetersiz ve hafif tutturulmuş kaya bulunu kullanımı ve tabanda ters kemer kapanımı kullanılmaması sonucunda stabilitenin bozulduğu anlaşılmıştır. Böylece ortamın jeomekanik parametreleri değiştirilmeden yeni bir tünel modeli oluşturularak yeni bir hesaplama yapılmış ve bu hesaba uygun destekleme ve iyileştirme sistemler önerilmiştir. Daha önce belirtilen su durumu ve birimlerin ayrışması da göz önünde tutularak drenaj sisteminin değiştirilmesi önerilmiştir.

ENGINEERING GEOLOGY AND GEOMECHANICAL EVALUATION OF BLACK SEA COASTAL ROAD PROJECT HAPAN TUNNEL ALIGNMENT SUMMARY

The Black Sea Coastal Express Road Project is one of the important projects, constructed in Northern Turkey. The aim of the project is get continuous and comfortable transportation between the Europe and Asia continents. This coastal route project connects northeast neighbours of Turkey (Georgia, Armenia, and Azerbaijan) to Europe. In this scope Hapan Tunnel is constructed as a part of the Bolaman – Perşembe Highway. Hapan Tunnel is the longest double tube road tunnel projected in Turkey with a length of 3 776 meters. Depth of the tunnel is 33 meters at the tunnel portals, and ranges between 75 - 375 meters throughout the tunnel route.

The diameter of the tunnel is 12.6 meters and the cross-section area after excavation is 80.96 m². The problematic sections, where high deformations occurred are approximately 117 meters for the left, and 49 meters long for the right tubes. In this manner, according to excavation steps, it must be projected a rehabilitation study between ch. 10+683.00 - 10+800.60 km for the left tube, and 10+693.10 - 10+742.10 km for the right tube. The measured deformation values, and engineering geological observations are studied, and is given a new approach for the rehabilitation for the problematic section in this Master of Science Thesis.

The morphology of the tunnel route is described as steep topography and divided with valleys. The tunnel route is still under the effect of young tectonics as a uplifting and faulting. Also the river network is digging its bed more steep.

Lithological sequences along the tunnel route contains Upper Cretaceous-Eocene basalt, agglomerate, basaltic and andesitic tuffs as submarine volcanism products. In some of the sections clay can be seen as alteration products of basalts and andesites.

The tunnel level geological maps and cross section was prepared for each tube, according to 1:100 scaled excavation records. Also, a block diagram prepared to understand the lithological setting and geomorphology in the problematic section. According to these parameters, tunnel alignment is being deformed under the D-B directional fault system and also lateral spreading. Added to that condition, surface waters was drained into the tunnel.

When designing a tunnel it is important that designer should use the in-situ geomechanical parameters of the rock. So, the in-situ parameters was calculated for geomechanic design of the problematic section. The calculation was hold on back –

analysis method which contains both finite element and boundary element calculation methods. The calculation model section was carried the measured maximum deformation station, namely km: 10+714.50.

In first stage of the calculation, the existing condition was studied to understand the stability problem. After that, some construction parameters added the design and recalculated for the stabilisation of the model. After calculations it is clear that an invert should be installed to each tunnel. Also, additional rock bolts should be installed along the problematic section. Drainage ring should be fixed with invert for removing the water from the tunnel and clay zones.

1. GİRİŞ

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında Karadeniz Sahilyolu Projesi kapsamında yapımı devam eden Bolaman-Perşembe otoyolu kapsamında açılan Hapan Tüneli'nde görülen taban kabarmalarıyla zamana bağlı deformasyonların irdelenmesi ve güzergahın mühendislik jeolojisinin tanımlanması yapılmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen çalışmanın amacı, proje bilgileri ile haritalama ve çalışma yöntemleri açıklanmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Hapan Tüneli'nin jeoteknik modelinde tünelin yapım aşamasında oluşan taban kabarması ve yan duvarlar ile tavanda görülen aşırı deformasyonlar şeklinde görülen tünelcilik sorunlarının kökenlerinin açıklanması bu çalışmanın temel amacıdır. Bu kapsamda tünel güzergahı üzerinde ölçülen maksimum deplasmanların olduğu sorunlu kesimde, sol tüp km 10+683.00 – 10+800.60 ile sağ tüp km 10+693.10 – 10+742.10 arası incelenmiştir. Jeomekanik parametreler değerlendirilerek geri analiz yöntemiyle kaya ortam değerlendirilmiş ve sorunlu kesim için destek sisteminin üzerine gelecek olan yükler hesaplanmıştır. Bu işlemlerin yapılmasında sonlu elemanlar ve sınır elemanlar yöntemini kullanan Phase2 bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

Sorunlu kesimde görülen deplasmanların oluşmasında, jeoteknik model yanında güzergahın morfolojisini etkileyen tektonizma, erozyon ve doğal drenaj sistemi gibi dış etmenlerin de büyük payı vardır. Tünel içinde oluşan deformasyonlar denizaltı volkanizmasına bağlı lav ve piroklastik kaya litolojilerine ve bu birimlerin su ve atmosfer etkisiyle hızlıca ayrışan ürünlerine de bağlı olduğundan tünelin geçtiği

ortamın jeolojik koşulları da tariflenmiştir. Bu amaçla tünel ayna kesitleri kullanılarak tünel eksenini boyunca jeoloji haritası ve jeolojik boy kesitleri her iki tüp için hazırlanmıştır.

1.2. Karadeniz Sahilyolu Hapan Tünel Projesi' nin Tanıtılması

1992 yılında Asya ve Pasifik Ekonomik ve Sosyal Komisyonu (ESCAP) tarafından Asya Kara Taşımacılığı Altyapısını Geliştirme (ALTID) Projesi kapsamında Asya Karayolu, Asya Demiryolu ve Trans-Asya Demiryolu' nu kapsayacak şekilde Asya ulaşım ağları oluşturulmuştur. ESCAP Sekreteryası tarafından ESCAP' a yeni üye olan Gürcistan ve Azerbaycan' a da bağlantı sağlanması talep edildiğinden A-Yolu bağlantısı Karadeniz Sahil Yolu güzergahı ve Ankara–İstanbul Otoyolu ülkemizdeki Asya Karayolu Ağına ilave edilmiştir. Bu ilave proje ile Türkiye A yolları 5 247 km olacaktır.



Şekil 1.1: Asya-Avrupa Karayolu Taşımacılığı kapsamında yer alan karayolları
(<http://www.kgm.gov.tr> haritasından türetilmiştir)

Türkiye'deki Karadeniz Ring Koridoru doğu ile batı arasında yeni bir bağlantı oluşturmaktadır. Bu nedenle, iki şeritli karayolu standardı daha yüksek bölünmüş yola dönüştürülecektir. Bu koridor, Avrupa ülkelerini Karadeniz ülkelerine ve ilerisinde Orta Asya ve Uzak Doğu' ya bağlayacaktır. Söz konusu güzergah, Karadeniz çevresindeki düzenli ulaşımı ve farklı bölgelerin bütünleşmesini sağlayacak bir karayolu ağının yapımı için faydalı olacaktır.

28 km uzunluğundaki karayolu 02.10.1997 tarihinde ihale edilmiş olup, NUROL+TEKFEN+YÜKSEL Ortak Girişimi' nin taahhüdünde devam etmektedir. Halen Tünel, Köprü, Viyadük, Toprak İşleri, Sanat yapıları gibi imalat çalışmaları sürdürülmektedir. Bolaman-Perşembe Yolu Projesi 715 km' lik Sinop-Samsun-Trabzon-Sarp Karadeniz bölünmüş yolunun 27.6 km' lik kesimini içerir. Samsun' dan 120 km mesafede bulunan, Bolaman' dan başlayan proje, 42 km' lik mevcut Bolaman-Perşembe sahil yolunu terk edip, Çalışlar Vadisi boyunca ilerleyerek Türkiye' nin en uzun karayolu Tüneli olan Hapan Tüneli' nden (3 775 m) geçtikten sonra Akçaova vadisi üzerinden Ordu İli' ne ulaşır.

Güzergah üzerinde 3 775 m uzunluğundaki Hapan Tüneli' nin dışında dört adet kısa tünel de mevcut olup bunların toplam uzunluğu 811 m' dir. Ayrıca güzergah üzerinde 34 adet köprü bulunmakta olup köprülerin toplam uzunluğu 3887.4 m' dir. Sonuç olarak güzergah, 4 587 m tünel, 3 600 m köprü, 19 413 m toprak işi olmak üzere toplam 27 600 m' dir.

Proje, 27 600 km uzunlukta, çift şeritli olarak projelendirilmiş, toprak tesviye, sanat yapıları, tünel üst yapı ve tamamlama işlerini kapsamakta olup, Bolaman – Perşembe yolunun km 0+000 – 27+600 arasındaki bölümü oluşturur. Bolaman – Perşembe yolu bünyesinde 28 adet 7 200 m uzunlukta nehir geçiş köprüsü, 4 adet 110 m üst geçit köprüsü, 2 adet 177.4 m uzunlukta kavşak köprüsü, 61 adet 3 264 metre uzunlukta hidrolik menfez ve altgeçit ile beş adet toplam uzunluğu 9173 m olan, çift tüplü tünel bulunmaktadır.

Hapan tüneline de içeren proje güzergahı, D-010 yolunun Samsun' dan itibaren 120. km deki Bolaman' dan Km 0+334 başlayarak doğuda Çalışlar Vadisi boyunca uzanır. Vadiyi aştıktan sonra batı-doğu doğrultusunda dört adet tüneli geçer ve Kırılı köyüne varır. Akçaova deresinde vadi boyunca ilerleyip Kumbaşı kavşağında D-010 yoluna tekrar bağlanarak sonlanır.

Bolaman Perşembe arasındaki beş tünelden biri olan Hapan Tüneli, gidiş geliş yönleri için ayrılmış çift tüplü ve 3 776 m uzunluğuyla da halen ülkemizde projelendirilmiş en uzun karayolu tünelidir. Sorunlu olarak nitelendirilen kesimde iki tane de tüpleri birbirine bağlayan araç geçişi mevcuttur. Tünelin tasarım derinliği giriş ve çıkış

portallerinde 33 m, güzergah boyunca da 75 m ile 375 m arasında değişen derinliklerde seçilmiştir. İncelenen sorunlu kesimde (sol tüp km 10+683.00 – 10+800.60 ile sağ tüp km 10+693.10 – 10+742.10) tasarım derinliği 375 m' dir.

1.3. Haritalama ve Çalışma Yöntemi

Önceki alt başlıklarda belirtilen amaç doğrultusunda tünelin tip kesitleri, seçilen geometrileri, projelendirmede kullanılan kaya parametreleri ve öngörülen kaya sınıflarına ve yüklenme koşullarına göre sağlamlaştırma-kaplama projeleri incelenerek değerlendirilmiştir. Bu işlemlere ek olarak tünel güzergahının morfolojik, jeolojik ve su durumu değerlendirmesi yapılarak karşılaşılan olumsuzlukların olası nedenleri ve ilerisi için oluşturduğu riskleri açıklanmıştır.

Bu çerçevede tünelin açımı sırasında oluşturulan tutanaklar, raporlar, mevcut deplasman ölçüm kayıtları ve tünelin 1:100 ölçekli ayna tanımlamaları kullanılarak mühendislik jeolojisi boy kesitleri ve haritaları hazırlanmış ve böylece sorunların nedenleri belirlenmiştir.

Vadi tabanının ve kırık sistemlerinin tünel duraysızlığına etkisinin açıklanması için güzergahın, altından geçtiği morfoloji ile çakışan, blok diyagramı hazırlamıştır. Bu blok diyagram üzerinde ayrıca kırık ve çatlak sistemleri de belirtilerek Çalışlar dersini drene eden doğal drenaj ağı tanımlanmaya çalışılmıştır.

Deplasmanların değerlendirilmesinde düzenli aralıklarla kayıtları tutulan konverjans ölçümlerinin grafik gösterimleri irdelenmiş ve tünel kesiti çevresinde tepe, omuz, yan duvar, topuk ve taban kesimlerindeki deplasmanlar yorumlanmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda kaya ortamda, gerçekleştirilen teknik girişimin oluşturduğu ikincil gerilmelerin yönelimleri açıklanmıştır.

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

Bu bölümde, inceleme alanının ve bulunduğu ilin coğrafi konumu, morfolojisi, iklim ve bitki örtüsü açıklanmıştır. Bu bilgilere ek olarak inceleme alanının bulunduğu coğrafyanın ulaşım bilgileri ve ekonomisi tanıtılmıştır.

2.1. Coğrafi Konum ve Morfoloji

İnceleme alanının bağlı olduğu Ordu ili, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, $40^{\circ} 18'$ ve $41^{\circ} 08'$ kuzey enlemleriyle $36^{\circ} 52'$ ve $38^{\circ} 12'$ doğu boylamları arasında kalır (Şekil 2.1). İl, 6 001 km² lik yüzölçümü ile ülke topraklarının % 0.8 ini oluşturmaktadır.



Şekil 2. 1: Ordu İlının ve İnceleme Alanının Coğrafi Konumu (MTA)

İlin doğudaki doğal sınırı güney-kuzey doğrultulu Pazarsuyu vadisi ile ilin en yüksek noktası olan Karagöl Dağı (3 105 m) ve daha güneyindeki Yedigözü Yaylası' dır. Terme ve Çarşamba ovaları ile Yeşilirmak vadisi ise Ordu ilinin batıdaki doğal sınırır. Doğu-batı doğrultusunda uzanan ve Kuzey Anadolu dağ sırasını iç kesimden ayıran Kelkit Vadisi ilin güney sınırını oluşturur. Ordu ilinin doğal kuzey sınırı Karadeniz' dir.

İncelenen güzergahın bulunduğu Bolaman-Perşembe Yolu Projesi, Bolaman'da Çalışlar deresinden başlayıp, güneydoğu yönünde ilerleyerek 3 775 m uzunluğundaki Hapan Tüneli'nden sonra, Akçaova deresinde kuzeydoğu yönünde Ordu Boztepe' nin batı tarafından Kumbaşı sahiline inmektedir.

Yönetim açısından, Ordu' nun batısında Samsun' un Terme ve Çarşamba ilçeleri; doğusunda ise Giresun' un Merkez ve Bulancak ilçeleri yer alır. İlin güneyinde ise Tokat' ın Erba, Niksar, Reşadiye ve Sivas' ın Koyulhisar ilçeleri vardır.

Doğu Karadeniz Bölgesi' nin orta kesiminde yer alan Ordu ili genel olarak dağlık bir morfoloji sunar. Karadeniz' e olan kıyısındaki küçük akarsuların ağızlarında deltalar oluşmuştur. Ordu, morfolojik bakımından iki bölümde incelenebilir. Birinci bölüm, doğu-batı doğrultulu, yükseltileri yer yer 3 000 m' yi aşan ve güç geçit veren Karadeniz kıyı dağları ile Karadeniz arasındaki dar şerittir. Bu bölüm Karadeniz' e dökülen kısa akarsuların vadileriyle bölünmüştür. İkinci bölüm ise, güneydeki çeşitli tektonik sıkışmalar sonucunda bölünmüş iç kesimdir. Güneyden denize doğru akan Turnasuyu, Melet Irmağı, Akçaova Deresi, Ilıca Deresi, Bolaman Irmağı, Elekçi Deresi, Curi Deresi, Ceviz Deresi ve Akçay Deresi bölgeyi derin vadilere bölmektedir. Bu vadiler 60° ile 70° eğimlere varan diklikte ve şiddetli erozyonun etkisinde kalmış kesik tepelerden oluşmuştur.

İl sınırları içinde kalan dağların en önemlileri Karadeniz kıyı dağları ve Karagöl Dağı' dır. Eteklerinde Ordu kentinin kurulduğu Boztepe' nin yüksekliği ise 450 m' ye ulaşır. Canik Dağları ya da Doğu Karadeniz Kıyı Dağları olarak adlandırılan dağlar Karadeniz' e koştur olarak uzanırlar. Dağların yükseltileri batıya doğru azalır. Melet Vadisi' nin batısında kalan dağlar Canik Dağları' nın doğu uzantılarıdır. İl sınırları içindeki dağların en yükseği olan Karagöl Dağları ilin güneydoğusundadır. Karagöl üzerinde buzulların oluşturduğu çeşitli yeryüzü şekilleri vardır. Bunların en

önemlileri, dağların kuzey yamacındadır. Eteklerinde Ordu Kenti yer alan Boztepe' nin yüksekliği 50 m dir. Genel olarak denize dik inen Boztepe' de, taraçalar oluşmuştur. Yöre bol yağışlı olduğundan Boztepe yer yer sel yataklarıyla bölünmüştür.

Ordu' da dağlardan sonra en çok alan kaplayan yeryüzü şekli platolardır. Kuzey Anadolu Dağları' nın bir kolu olan Canik Dağları' nın akarsu vadileriyle parçalanmış kesimlerinde birtakım yaylalar oluşmuştur. Yaylalar arasında 2 000- 500 m arasında değişen yükseklikte doruklar vardır. İldeki başlıca yaylalar; Çambaşı Yaylası, Keyf Alanı Yaylası ve Perşembe Yaylası' dır.

Güney kesimi Yeşilırmak Havzası dahilinde kalan Ordu ilinde irili ufaklı birçok akarsu vardır. Bunların tümü Karadeniz' e dökülür. İldeki akarsular genellikle, yağmurla beslenen ve özellikle sağanak yağışlar sonrasında taşan, yüksek kotlardan doğan, kısa ırmaklardır. Akarsular, bölgenin yağmuru bol ve iklimi ılıman olduğundan, hiçbir zaman tümüyle kurumazlar. İldeki başlıca akarsular Melet, Cüreni, Cevizdere, Lahna, Curi, Akçaova, Acısu, Bülbül ve Civil dereleridir.

Dağların yüksek kesimlerinde buzul gölleri oluşmuştur. Bunlardan en önemlisi Karagöl Dağı' nın doruğunda oluşmuş bir krater gölü olan Karagöl' dür. Yüksekliği 3 000 m üstünde olduğundan, suyunun sıcaklığı çok düşüktür ve yaz aylarında bile buzlanmaya rastlanır. Fatsa' ya 15 km uzaklıktaki Gaga Gölü ile Gököy' e 16 km uzaklıktaki Ulugöl, ilin diğer önemli gölleridir.

Ordu İli' nin kuzeyde, Karadeniz' de 136 km uzunluğunda kıyısı vardır. Ordu kıyıları, yer yer dik, yer yer de alçak eğimlidir. Kıyılar, merkez ilçe ile Fatsa arasında yüksek ve diktir. Perşembe kıyılarında doğal barınaklar vardır. Ancak, il kıyılarında genel olarak kapalı koylar azdır. Alçak eğimli kıyılarda, akarsularca taşınmış alüvyonlar birikerek ovaları oluşmuştur. Ayrıca ıyıda Melet ve Civil vadileri arasında sığ plajlar bulunur.

İl toprakları irili ufaklı birçok vadiyle yarılmıştır. Bunların başında, Melet ve Bülbül Deresi vadileri gelir.

2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Ordu ilinde kıyı kesiminde, tipik Karadeniz iklimi egemendir. Karadeniz iklimi her mevsimde bol yağışlı bir iklim türüdür. Ayırt edici niteliği, sıcaklık ortalamasının görece yüksekliği, yazların serin, kışların ılık geçmesidir.

Kuzeyden gelen soğuk rüzgarlar taşıdıkları deniz nemini Canik Dağları' nın kuzey eteklerine bırakırlar. Bu duruma bağlı olarak anılan bölge bol yağışlıdır. Deniz etkisinden uzak kalan Canik Dağları' nın güney bölümüne ise tümüyle karasal iklim egemendir. Yörede bağıl nem oranı % 76 ya ulaşmaktadır.

Doğal bitki örtüsü olarak, kıyıdan başlayıp, 500-600 m yükseltili yamaçları izleyerek yer yer morfolojiye bağlı olarak daralan ya da genişleyen bir orman şeridi vardır. Kıyı şeridinin bitkisel örtüsü de yer yer, bakıma ve toprak özelliklerine bağlı olarak, bozulmuş ve seyrekleşmiştir.

2.3. Ulaşım

Karadeniz kıyısında, Doğu ve Orta Karadeniz bölümleri sınırında bulunan Ordu ili, Ankara' dan karayolu ile 584 km uzaklıktadır. Erzincan-Amasya Karayolu' nu Koyulhisar' dan geçip Harçbeli Geçidi (1 940 m) ile Gürgentepe Geçidi' ni (1 275) aşarak Karadeniz kıyı yoluna bağlayan karayolu kentte kavşak yapar. Kentin denizyolu ulaşımı Karadeniz sahilleri boyunca devam eden feribot seferleri ile yapılmaktadır. Bu seferler ile ilin en yakın limanları batıda Samsun ile doğuda Giresun' dur.

2.4. Ekonomi

İlin ekonomik yapısı, tarım ve imalat sanayisine dayalıdır. İl halkı geçimini başta fındık olmak üzere mısır, patates, lahana, buğday, elma, arpa ve armut yetiştiriciliğinden sağlar. İlde ayrıca kiraz, ceviz, üzüm, incir, soya ve çay da yetiştirilir. Fındığın bir bölümü kentte işlenir diğer bölümü de Fındık İhracatçıları Birliği aracılığıyla yurtdışına ihraç edilir. İlin başlıca sanayi ürünleri, fındık ürünleri, un, çimento ve yağdır. Hapan Tünel Güzergahı' nın bulunduğu inceleme alanı şiddetli aşınım alanı içinde kalmakta olup, sürüme elverişsizdir.

Tarıma dayalı ekonomisi hızla artan nüfusa yeterli iş olanakları sağlayamadığından, Ordu, 1950' lerin ortalarından başlayarak il dışına yoğun göç veren bir yöre olmuştur. Yinede bu göçe karşılık il nüfusu 1950-1980 arasında bir kata yakın bir artış göstermiştir.

İlde, balıkçılık ve hayvancılık bitkisel üretimi tamamlar niteliktedir. Kıyı şeridinde yaşayan halkın küçük bir bölümü balıkçılıkla uğraşmaktadır. İlin iç kesimlerinde yapılan hayvancılıkta meracılığa dayanan koyun yetiştiriciliği ağır basar. Yaylalarda arıcılıkta yapılmaktadır. Hapan Tünel Güzergahı' nın bulunduğu inceleme alanı şiddetli aşınım alanı içinde kalmakta olup, sürüme elverişsizdir.

Ulaşım olanaklarının yetersizliği ve devlet yatırımlarının sınırlılığı sonucunda ilde imalat sanayi yakın döneme kadar gelişmemiştir. İmalat sanayinin gelişmesi, fındık ticaretinden sağlanan birikimin 1960' ların ikinci yarısında sanayiye kaymasıyla ve ilin 1972' de kalkınmada öncelikli iller arasına alınmasıyla sağlanmıştır.

Metalik ve metalik olmayan hammaddelerce de zengin olan ilin Fatsa yöresinde bentonit, Gököy yöresinde kurşun-çinko-bakır ve demir, Mesudiye yöresinde traverten, Perşembe yöresinde demir, Ulubey yöresinde de demir içeren cevher yatakları vardır.

Ordu kenti, güneybatısında Boztepe' nin yer alması nedeniyle çizgisel biçimde doğuya doğru gelişmektedir. Sanayi tesisleri kentin doğu kesiminde, ticaret kuruluşları da kent merkezinde yer alır. Ordu İli' nin çevresindeki plajlar, yazlık talepleri karşılayacak kapasite oluşturmakta ve deniz turizmi faaliyetlerine cevap verebilecek potansiyeldedir.

2.5. Tarihçe

Osmanlıların hakimiyeti altına geçen Ordu İli, MÖ 8. yüzyılda Miletoslu Kolonistlerce kurulan Cotyora' dan sonra 14. yüzyıl ortalarına doğru şehrin 5 km güneydoğusunda bugünkü Eskipazar' da Bayramlı adıyla kuruldu. Ordu il merkezi ise bu kasabanın iskelesiydi ve Bucak adını taşırdı. 18. yüzyılda, Bucak pazar yeri ve iskele olma özelliğinden yararlanarak gelişti. Bu büyüme sırasında, 1869' da Bucak' a, Bayramlı' nın eski adı olan Ordu verildi. Bayramlı kasabası 18. yüzyıl başlarında

eski canlılığını kaybedince batıda bucak adıyla yeni bir ilçe merkezi doğdu. Bucak adı 1869-1870’ de Ordu adına çevrildi. Bu yeni ilçe merkezine Bolaman, Perşembe, Ulubey, Hansamana ve Aybastı bucakları bağlıydı.

Ordu il sınırları içinde bilinen en eski yerleşme ise, MÖ 8. yüzyılda Miletoslular’ ca kurulan ve bugün Bozukkale diye anılan Kotyora koloni kentiydi. Ordu yöresini de kapsayan bölge ise Roma İmparatorluğu Dönemi’ nde Pontus Polemoniacus adıyla anılıyor, Bizans egemenliği sırasında ise Armeniakon Theması içinde yer alıyordu.

Yazılı tarih öncesi bulgular, Ünye’ deki Cevizderesi boyunda ve bu derenin doğusundaki bölgelerde Chelleen tipte el baltalarıdır (**Kökten, 1963**). Bu aletler Alt Paleolitik Dönem’ e ait Karadeniz kıyılarında bulunan ilk buluntulardır. Kökten’ in Ünye civarında yaptığı arkeolojik kazı ve tetkiklere göre Ordu İli’ nde yerleşmeye ve medeniyet eserlerinin verilmesine MÖ 15 bin yıllarında başlanmıştır. Yine Mesudiye ilçesinde Prehistorya ve daha sonraki eski tunç devrine ait bir çok buluntular ele geçmiştir. Ordu ili yazılı tarih dönemleri, MÖ ikinci binde Kaşkarlar’ la başlar. Kaşkar yıldırısı altında kalan Hitit Devleti, Ege Göç Kavimleri’ nin hareketi sonucunda yıkılmış, Kaşkar tarihi de buna bağlı olarak MÖ 1190-1170 arasında sona ermiştir. Kolonileşme döneminde Orta ve Doğu Karadeniz Kıyıları’ nda kurulan bir çeşit pazar yeri olan Emperion yerleşkeleri Ordu İli’ ne egemen olmuştur. MÖ 550 ila 331 arası Pers egemenliğine giren bölge daha sonradan sırasıyla İskender’ in, Pontoslar’ ın, Romalılar’ ın, Anadolu Selçukluları’ nın, ve Osmanlı İmparatorluğu’ nun egemenliğine girmiştir.

Ordu ilçesi 1920 yılına kadar Trabzon Vilayeti’ ne bağlı bir kaza merkezi iken 17 Nisan 1920 tarih ve 69 sayılı Ordu Müstakil Livası Teşkiline Dair Kanunla merkezi Ordu olmak üzere Canik Sancağı’ na bağlı olan Fatsa kazası da Ordu’ ya bağlanmış ve müstakil Ordu Livası teşkil edilmiştir. Cumhuriyet’ ten sonra Ordu, aynı adla oluşturulan ilin merkezi oldu. Bugün, ilin onsekiz ilçesi, beş bucağı, altmışbeş belediyesi, beşyüzbeş köyü ve üçyüzirmiyedi mahallesi bulunmaktadır. İle ait İlçeler; Akkuş, Aybastı, Çamaş, Çatalpınar, Çaybaşı, Fatsa, Gököy, Gülyalı, Gürgentepe, İkizce, Kabadüz, Kabataş, Korgan, Kumru, Mesudiye, Perşembe, Ulubey ve Ünye’ dir.

3. GENEL JEOLojİ

Karadeniz Sahilyolu Ünye-Piraziz yol çalışmaları kapsamında yer alan Perşembe-Boloman kesimi arasında açılan Hapan Tüneli, denizaltı volkanizmasının ürünlerinin yüzeylendiği bir bölgededir. Tünel güzergahı jeolojik özellikleri açısından Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer almaktadır. Bu bölümde öncelikle tünel güzergahındaki jeolojik birimlerin bölgedeki yayılımının iyi anlaşılabilmesi için Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan alanın stratigrafisi ve yapılan önceki çalışmalar sunulmuştur. Tünel güzergahının geçtiği Mesudiye Formasyonu'na ait litolojik, ve yapısal özelliklere ise daha ayrıntılı olarak değinilmiştir.

3.1. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanını içeren en eski jeolojik çalışmalar Karadeniz silsilesine ait fliş tabakaları içinde **ALTINLI (1946)** tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda toplanan fosiller Terebratula sp., Pecten sp., Ornithaster cordiformis Bohm, Cardiaster sp., Crinoides, Rhynchonella sp., Inoceramus bahicus Bohm, Chlamys trigeminata Gold., Radiolitides, Ceratides, Spatangoides olarak sıralanabilir. Bu fosiller birimin Senoniyen yaşlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca Fatsa ve Boloman civarından toplanıp yaş tayinleri yapılan fosiller arasında:

Orbitoides media d'Archiac
Ananchytes ovata Lam.
Inoceramus balticus Bohm
Pycnodonta vesicularis Lam.
Hippurites cf. lapeironsei Gold.
Bekmnites mucronata Schloth.
Gryphaea -vesicularis Sow. vb.

bulunmuştur. Buna göre adı geçen kalker ve marnlar Üst Kretase yaşı verirler. Üst Kretase' nin alt ve orta kısımları genel olarak kalker fasiyesi olmasına karşılık, Üst kısımları fliş fasiyesidir.

SCHULTZE-WESTRUM (1960-1962) tarafından Giresun ve Ordu yöresinde jeoloji haritası alımı ve cevher yatakları prospeksiyonu çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar takipçileri için temel olmuştur.

Daha sonraları bölgede **WEDDIN (1963), AĞRALI (1967), KRONBERG (1969), BORA, ERLER ve ILDIZ (1970), GEDİKLİOĞLU (1970), PEJATOVIC (1971)**, çeşitli ölçekte jeoloji haritası alımı ve cevher yatakları prospeksiyonu çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmaları takip eden jeokimya ve stratigrafi çalışmalarında artış görülmüştür.

Bu çalışmalara ek olarak **GÖKSU (1974)** Samsun ve civarının 1:500 000 ölçekli jeoloji haritasının yapımı sırasında inceleme alanında, Fatsa ve dolayında fosiller ile yaş tayini yapmıştır. Bu çalışmayla denizaltı volkanizmasına bağlı litolojilerin oluşumları araştırılmıştır.

KALYONCUOĞLU, YAŞAR ve KARABULUT (1975) ve **SEYMEN (1975)** yine bölgedeki litolojileri belirlemek üzere jeoloji haritası çalışmaları yapmışlardır. Doğu Karadeniz Bölgesi' nde Eosen yaşlı kalk-alkalen andezitler ve jeotektonizma araştırmaları kapsamında **TOKEL (1977)** bölgeyi çalışmıştır.

TERLEMEZ ve YILMAZ (1980), Ünye Ordu Koyulhisar Reşadiye arasında kalan bölgenin stratigrafi çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. **EREN ve KADİR (2001)** Doğu Pontidler' de jeokimya amaçlı olarak Kretase yaşlı kırmızı renkli çökel kayaçları incelemişlerdir.

3.2. Bölgesel Jeoloji

Dünya jeoloji literatüründe Pontidler olarak anılan Kuzey Anadolu Dağları boyunca Eosen yaşlı yoğun andezitik volkanizma, 80-100 km genişlikte bir zon oluşturarak uzanmaktadır. Bu zon güneyden yaklaşık olarak Kuzey anadolu Fayı ve Kuzey Anadolu Ofiyolitleri ile sınırlıdır. Anılan genişlikte bir alanda çizgisel olarak uzanan volkanizma Eosen' de gelişen bir jeotektonizmaya işaret etmektedir (**Tokel, 1977**).

Bölgede Eosen' e ait volkanik seriler, kalın andezit lavları, andezitik piroklastikler, dasitik lavlar ve bunlara ardışık volkanik arenitlerden, ince merceksel biyoklastik kireçtaşlarından ve andezitik aglomeralardan oluşmuştur. Bu seri Kretase ve daha yaşlı formasyonlar üzerine belirgin bir açıl uyumsuzlukla yerleşir. Birimlerin kalınlıkları yatayda belirgin farklılıklar göstermektedir.

İki bölge arasındaki sınır güney grubun Mesozoyik-Kenozoyik yaşlı asidik sokulum kayaçlarının yüzeyletiği bölgeden başlar (**Eren, 2001**). Genelde, güneydeki kesimde, Paleozoik temeli oluşturan metamorfik ve granit kayaları uyumsuz olarak üzerleyen sedimanter kayalar görülür. Bu istif en altta Paleozoik yaşlı gnays, mikaşist, ve mermerlerden oluşan metamorfik kayaçlar ile başlar. Metamorfik kayaların arasına Jura yaşlı bazik dayklar ve stoklar yerleşmiştir. Bu kayaçların üzerine Mesozoyik yaşlı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı, kireçtaşı, aglomera ve tüffitlerin alterasyon ürünleri ve dolomit ve dolomitik kireçtaşları gelmektedir. Mesozoyik yaşlı kayaçları uyumsuz olarak Kretase yaşlı altta konglomera, üste doğru gidildikçe sarı kalkarenit ve kırmızı pelajik kireçtaşları türbidit, dasit lavları ve nummulite içeren kumlu kireçtaşları içeren bir seri görülür. Serinin en üstünde Tersiyer yaşlı tüffit ve aglomeralar ile hornblend içeren andezitik lavlar, bunların üzerinde de yine aglomera, tuf ve yastık lavlar bulunur. Yastık lavlar bazik dayklarca sıklıkla kesilmiştir. Kuvaterner yaşlı çökeller ise breş, traverten ve alüvyon çökelimidir.

Kuzey kesimlerde ise dalma-batma olaylarına bağlı olarak gelişmiş volkanik ve piroklastik kayaçlar yaygındır. Lav ve piroklastik kayaç parçalarını içeren volkanikler sedimanter kayaçlar ile geçişlidir (**Bektaş ve diğ., 1995**). Tabanda Kretase yaşlı volkano-sedimanter kompleks bulunmaktadır. Bu istif, yoğun volkanikler ve sokulumlar, kaotik olarak tabakalanma gösteren sedimanter kayalar, ve metamorfik temele ait blok parçaları içeren bir ada yayıdır. Bu istifin üzerine kırmızı mikritik kireçtaşları, dasitik lavlar ve piroklastikler gelir. Mesozoyik' in üst seviyeleriye andezitik, bazaltik ve dasitik lavlar ve bunların piroklastik ürünleriyle ara tabakalanma gösteren kireçtaşları, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmalarından oluşur. Mesozoyik' in en üst seviyesinde türbiditik kireçtaşları vardır. Mesozoyik istifin üzerine uyumsuz olarak granitodin kestiği Eosen yaşlı bazalt-andezit lavları ve piroklastları ile yer yer kumtaşı ve çamurtaşı üzerler. Bu birimler olivin-ojit içeren bazalt lavları ve piroklastik kayaçlar tarafından

üzerlenirler. Kuvaterner çökelimleri olarak traverten ve alüvyon görülür **(Gedik ve diğ., 1996)**. Bu çökeller genelde dere yataklarında ve hidrotermal alterasyonun yoğun olduğu kesimlerde görülmektedir.

Bölgede yüzeylenen litolojik birimler, Hapan Tünel Güzergahı' nın kestiği birimlerin oluşum, evrim ilişkilerini ve konumlarını açıklanması açısından bu alt başlık altında toplanmıştır (Şekil 3.1). Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan alanın tabanını Jura-Kretase yaşlı birimler oluşturur. Zinav Kireçtaşı (JKz), bölgede yüzeylenen en yaşlı litolojidir. Zinav Kireçtaşı' nın litolojik özelliklerini ve görünür kalınlığını belirlemek amacıyla Zinav boğazında alınan ölçülü tip kesitte birimin kalınlığı 300' m dir **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

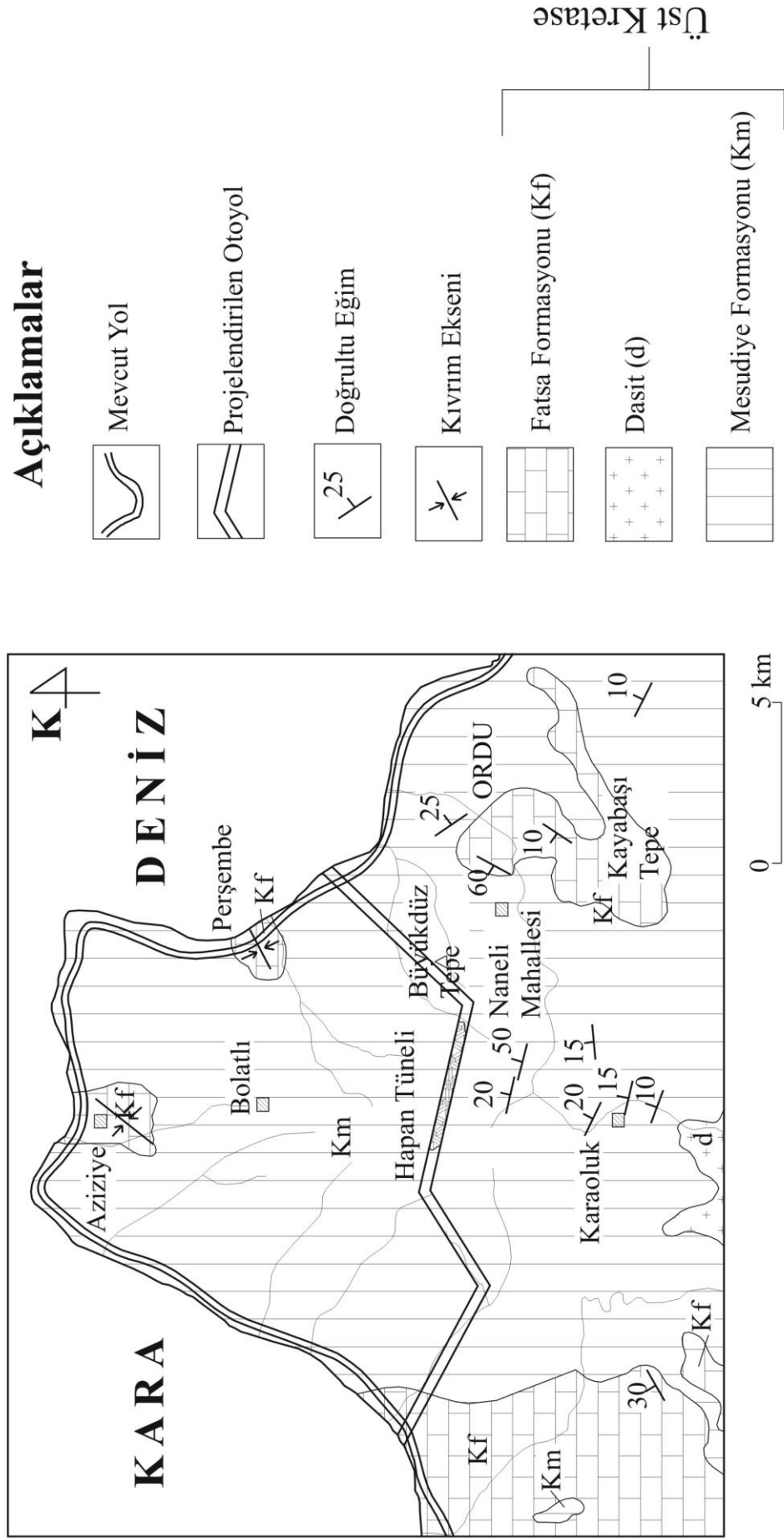
Bu kireçtaşının genel rengi açık gridir. Alt ve üst düzeyleri tabakasız ya da çok kalın tabakalı, orta düzeyleri ise kalın tabakalıdır. Bol çatlaklı, çatlaklar kalsit dolgulu; ince tanelidir. Kristallenmiş ve Belemnites, Terebratula, gastropod makrofosillidir **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Bölgede Zinav Kireçtaşı' nın alt dokanağı görülememektedir. Farklı seviyelerinde dereceli tabakalanma gösteren kırıntılı kireçtaşı içerir. Birim içinden toplanan örneklerde bulunana fosillere göre birim, Orta-Üst Jurasik (Kimmericiyen-Portlandiyen) yaşındadır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Mesudiye formasyonu (Km), aglomera, bazik akıntı, kireçtaşı, tüfit ve kumtaşından oluşur. Bu formasyona Gölköy-Aybastı çizgisinden Karadeniz' e kadar olan bölgede, Mesudiye ve dolayında, Reşadiye-Koyulhisar arasındaki Kelkit vadisinin kuzey yamacında, Reşadiye'nin kuzeyinde ve Zinav Gölü dolayında rastlanır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Bu formasyonu oluşturan aglomera, koyu gri, kahverengi renkli, tabakasız, ve yer yer çok kalın-kalın tabakalıdır. Aglomerayı oluşturan daneler köşeli, boylanmamış, ufak veya büyük çakıllar ve blok boyutlarındadır.

Mesudiye Formasyonu içerisinde, harita birimi olarak ayıramayan kireçtaşı düzeyleri ve farklı özellikteki killi, tüflü ve kumlu kireçtaşı düzeyleri bulunur. Gri,



Şekil 3. 1: Bölgede Yüzevlenen Jeolojik Birimler (MTA verilerinden)

yeşil ve bordo renkli, ve genellikle ince-orta tabakalıdır. İçerisindeki kum ve kil oranı kuzeyde, tuf ve kil oranı ise güneyde daha yoğundur. Bu formasyon farklı yönlerde çatlaklı, çatlaklar kalsit ve silis dolgulu, ince kristalli, dokusuz ve pürüzlüdür, yer yer bazik akıntı ve aglomera parçaları içermekte ve bunlar birbirleriyle dereceli geçiş göstermektedir. Tüfit, Mesudiye Formasyonu'nda en yaygın litolojidir. Güneyde, tüfitler, kuzeye göre daha yaygındır. Genellikle koyu gri, yeşil ve kahverengi, ince-orta tabakalı bazen tabakasız veya kalın tabakalıdır. Pürüzlü, tane boyları ufak çakıl ve az miktarda kireçtaşı çakıllıdır. Kırılgan, ince taneli, yer yer kaba taneli ve kloritleşmiş mika ile feldspat taneleri içerir.

Mesudiye Formasyonu içerisinde en az görülen litolojik birim olan kumtaşının daneleri tamamen volkanik kökenlidir. Yeşil, gri, kırmızı ve kirli sarı renkte, ince-orta tabakalıdır. Genellikle taneleri orta derecede yuvarlanmıştır. Daneler, kötü yer yer de orta derecede boylanmıştır.

Bu formasyon içinde stratigrafik adlamada litolojik birimler olarak ayrılan Tolluk Üyesi ve Nebişeyh Üyesi aşağıda açıklanmıştır. Tolluk Tuf-Kumtaşı Üyesi (Kmt), Mesudiye Formasyonu içerisinde ayırtlanmamış olan ve formasyonun en alt düzeyini oluşturan tuf-kumtaşı ardalanmasıdır. Bu üye genellikle tuf ve kumtaşı ardalanmalı, orta tabakalı, kumtaşları biraz kireçli, yer yer yeşilimsi, gri kireçtaşı arakatlıdır.

Nebişeyh Kiretaşı Üyesi (Kmm), Mesudiye Formasyonu' nun her düzeyinde görülen kireçtaşının en tipik yüzeylemeleri Nebişeyh dolayında izlenir. Bu kireçtaşı genellikle kırmızı, düzenli ve ince-orta tabakalı, yer yer kumlu, gevrek yapılı, kırıntılı, ve yer yer marn arakatlıdır.

Formasyon içinden toplanan fosillerin verdiği yaşlara göre Mesudiye Formasyonu, Senoniyen-Kampaniyen yaşındadır (**Terlemez ve Yılmaz, 1980**). Ayrıca bu formasyon içerdiği fosillere göre pelajik ve denizaltı volkanizmasının etkin olduğu bir ortamda çökelmiştir (Şekil 3.2).

Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan bölgede Topçam çevresi ve batısında, Gölköy' ün kuzeydoğusundaki Damarlı Köyü dolayında ve Gölköy' ün kuzeybatısındaki Çavuşçayır Mahallesi dolayında siyenit yüzeylemeleri vardır.

SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	LİTOLOJİ	KÜMÜLATİF KALINLIK (m)	BİRİMİN KALINLIĞI (m)	AÇIKLAMALAR
Quaterner		Alüvyon		Qal		3390		Güncel Çökeller
Miyosen (?)	Pliyosen	Canik		Tc		2990	50-400	Genellikle bazalttan oluşmakta, tabakasız, yer yer kalın tabakalı
Eosen	Lutesiyen	Yeşilce	Hatipli	Tyh		2190	800	Tüfit ve bazik akıntı arakatıkları içeren kumtaşı, aglomera ar dalanması
				Tya		1990	200	Kumtaşı, tüf ve bazik akıntı arakatıkları içeren aglomera
	Paleosen	Gölköy	Selectik Kireçtaş Asarek	Tys		1940	50	Kireçtaşı; gri, sarı orta kalın tabakalı, bol fosilli
				Tg		1840	75 - 100	Kireçtaşı, killi, tüflü kireçtaşı, tüfit ve kumtaşı ar dalanmalı
	Üst Senoniyen (Maastrichtiyen)	Fatsa		Kf		1250	25 - 590	Siyenit; pembe renkli, iri taneli Kumtaşı ve aglomera arakatlı kireçtaşı, killi, kumlu, tüflü kireçtaşı ve tüfit ar dalanması
Üst Kretase	Üst Senoniyen (Kampaniyen)	Mesudiye		Km			250 - 1250	Açık pembe, gri renkli ayrırmış pirit içeren dasit Aglomera, bazik akıntılar, kireçtaşı, tüfit ve kumtaşı ar dalanması

Şekil 3. 2: Karadeniz ile Canik Dağları arasında kalan alanın genelleştirilmiş dikme kesiti (Yılmaz ve Terlemez, 1980' den uyarlanmıştır)

Siyenit genellikle pembe renkli, ayrışma rengi kirli sarı-kahverengi olup, beyaz ve pembe renkli feldspat, kuvars, biyotit ve albitleşmiş amfiboller çıplak gözle görülür. Genel olarak iri taneli yer yer ise ince tanelidir.

Mesudiye Formasyonu' nun siyenit üzerine geldiğinde (daha genç olduğuna) ait hiçbir veriye rastlanılmamıştır. Bundan da siyenitlerin Mesudiye Formasyonu' nu kestiği görüşüne varılmıştır. Yine bu bölgede siyenitlerle dokanak halinde olan Gölköy Formasyonu' nun siyenitler üzerine bir taban çakıltası ile gelir.

Çalışma alanındaki siyenitlere genel bir yaş verilirse; Mesudiye Formasyonu' nu kestiğinden Kampaniyen sonrası, Gölköy Formasyonu' nun siyenitler üzerine bir uyumsuzluk göstererek gelmesinden de Paleosen öncesi bir yaşlandırma yapılmalıdır.

Bölgesinin Gölköy-Aybastı çizgisinin kuzeyinde kıyıya kadar çeşitli yerlerde dasit yüzeylemelerini görmek olanaklıdır. Ulubey' in kuzeybatısı, kuzeyi ve kuzeydoğusu, ayrıca Fatsa-Aybastı arasında Akkaya köyü ve Kabataş köyünün dolayı dasitin en yoğun olduğu yerlerdir **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Dasit, genellikle açık pembe, açık gri renkte olup, pembe ve beyaz feldspat, kuvars ve biyotitleri çıplak gözle görmek olanaklıdır. Ayrışma rengi kirli gridir. Yer yer breşik yapı göstermekte, bazı yüzeylemeleri saçılmış pirit içermekte ve andezit daykalarıyla kesilir **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Ulubey doğusunda, dasitin, Mesudiye Formasyonu ile dokanağında dasitlerin oldukça ayrılmış olduğu ve ayrışan dasitin içerisinde Mesudiye Formasyonu' na ait tuf parçaları izlenmiştir **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**. Bu veriler dasitlerin Mesudiye Formasyonu' nu kestiğini kanıtlamaktadır.

Bölgedeki dasitlere genel bir yaş verilirse; Mesudiye Formasyonu' nu kestiğinden ve Fatsa Formasyonu dasitler üzerine bir uyumsuzluk göstererek geldiğinden Maastrihtiyen öncesi bir zamanda dasitlerin oluşmuştur **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**. Bu oluşum olası Kampaniyen yaşlı birimlerin çökmeye devam ettiği zaman kesitinde deam etmiştir.

Reşadiye Formasyonu (Kr) Bereketli Üyesi ve İğdir Üyesi'nden oluşur. Bereketli Üyesi'nde (Krb) marn, egemen litolojidir. Genellikle gri renkte, değişmiş rengi grimsi sarı, ince tabakalı, yer yer laminalı, aralarında sert çıkıntılar yapan orta tabakalı killi ve kumlu kireçtaşı arakatkıları oldukça fazladır. Kireçtaşı, gri renkte, değişmiş rengi sarı, orta-kalın tabakalı, tane boyları çakılcık, pürüzlü ve yer yer kil ve kum oranı değişmektedir. **Yılmaz ve Terlemez (1980)** tarafından belirtilen fosillere göre Bereketli Üyesi, Maastrichtiyen yaşında olup genel olarak netritik, ancak denizin yer yer derinleştiği yerlerde de pelajik bir ortamda çökelmiştir.

İğdir Kireçtaşı Üyesi (Kri) genellikle gri, beyazımsı ve yer yer sarı renkte, değişmiş rengi kirli gri ve sarı, orta-kalın tabakalı, bazen çok kalın, yer yer ince tabakalı kireçtaşlarından oluşmuştur. Kil ve kum oranı yer yer değişmekte, az olarak çakıltaşı niteliğinde, az yeniden kristalize ve çok az ince tabakalı marn ara katkılıdır.

Terlemez ve Yılmaz (1980)'a göre birim Maastrichtiyen yaşındadır. Reşadiye formasyonu Kelkit vadisi kuzey yamacında kıyıya yakın ve neritik bir çökme ortamını, kuzeybatı yönünde gidildikçe denizin derinleştiği, neritik ve pelajik faunanın iç içe yaşadığı bir çökel ortamı temsil eder.

Fatsa Formasyonu (Kf), kireçtaşı, killi-kumlu ve tüflü kireçtaşı ve tüfit aralanmaları ile yer yer kumtaşı, aglomera ve yersel çakıltaşı arakatkılarından oluşan bu dizinin en tipik yüzeylenmeleri Fatsa ve dolayındadır. Bu formasyonu oluşturan litolojik birimlerde kireçtaşı, genellikle gri, beyaz sarımsı renkte, orta kalın tabakalı, çok az kumlu ve killi olup, aralarında yer yer ince tabakalı killi düzeyler görülür. Bazı düzeyleri çakıltaşı niteliğinde, dayanıklı ve diğer düzeylere göre oldukça sert çıkıntılar oluşturmakta, bazen makrofosil kavkılı ve bol mikrofosillidir (**Terlemez ve Yılmaz,1980**).

Killi-kumlu ve tüflü kireçtaşı, genellikle gri, mavimsi ve açık sarı renkte, ince-orta tabakalı olup, kil-tüf ve kum oranı oldukça fazladır. Kırılma yüzeyi pürüzlü, çok ince, aralarında yer yer kalın tabakalı kireçtaşı düzeyleri bulunur.

Tüfit, gri ve açık sarı renkte, düzenli ince tabakalı olup, oldukça ayrıışmıştır. Çok az killi ve kumludur. Kumtaşı, gri ve yeşilimsi renkte, orta tabakalı ve ince danelidir. Danelerin büyük bir oranı volkanik kökenlidir.

Aglomera, formasyon içerisinde 0.5 m kalınlığında düzeyler halindedir (**Terlemez ve Yılmaz, 1980**). Tabakasız olup, çeşitli boylarda andezit çakılları köşeli, boylanmamış, birbirleriyle teması az ve gevşek tüf çimentoludur.

Çakıltaşı, formasyonun daha çok alt dokanağına yakın yerlerde bulunmaktadır. Tabakasız, çakılları volkanik, gri kireçtaşı, killi kireçtaşı ve bordo renkli kireçtaşından oluşmakta, yuvarlanmış ve kısmen boylanmıştır. Tüf-kum ve kireç çimentolu danelerin birbirleriyle teması oldukça azdır. Çimentosu genellikle gevşektir.

Fatsa formasyonunun kalınlığı, özellikle sahilde tabakaların büyük dalgalanmalar göstermesinden değişken olup, Çamaş kuzeybatısında en büyük kalınlığa (590 m) ulaşır. Bu formasyon içerisindeki kil, kum oranı ve volkanik katkı sahilde ve Ulubey dolayında oldukça fazla olmasına karşın Gököy' ün hemen kuzeyinde kil ve kum oranı daha az, volkanik katkı yok denecek kadar azdır.

Terlemez ve Yılmaz (1980)' a göre Fatsa Formasyonu Üst Senoniyen (Maastrihtiyen) yaşlıdır. Genel olarak formasyon Perşembe ve Gököy dolayında neritik bir ortamda, Fatsa, Ordu ve Ulubey dolayında ise denizin yer yer derinleştiği ve volkanik faaliyetin az da olsa egemen olduğu bir ortamda çökelmiştir.

Fatsa Formasyonu ve Reşadiye Formasyonu gerek içerdikleri fauna, gerekse litoloji bakımından benzer çökme ortamlarını temsil ettikleri söylenebilir. Ancak Fatsa Formasyonu' ndaki volkanik katkı Reşadiye Formasyonu' na göre daha fazladır.

Jura-Kretase yaşlı birimlerin üzerine Tersiyer yaşlı birimler gelmektedir. Gököy Formasyonu (Tg), kireçtaşı, killi ve tüflü kireçtaşı, tüfit ve kumtaşı ardalanması, kömür ve yer yer aglomera arakatkılarından oluşur. Kireçtaşı, genellikle koyu gri ve sarı, orta-kalın tabakalı, ince taneli, bazen kaba kum taneli ve kaba kristallidir. Bazı düzeyleri çakıltaşı niteliğindedir. Aralarında bazen ince tabakalı killi kireçtaşı ve tüfit arakatkıları izlenmektedir.

Killi ve tüflü kireçtaşı, gri, açık gri ve sarı renkte, ince-orta tabakalı, kil oranı yer yer % 50' ye kadar çıkmaktadır. Çok az oranda kumlu, kalın tabakalı kireçtaşı, tabakasız gevşek aglomera ve tüfit arakatkıları izlenir.

Kumtaşı, orta-kalın tabakalı, tanelerinde volkanik malzeme egemen, feldspat, kuvars ve biyotit taneleri orta derecede yuvarlanmış, kötü boylanmış, kaba taneli ve kalsit hamur içerisindedir. Gölköy Formasyonu' nun görünür kalınlığı kuzeyde (Gölköy civarında), güneye göre daha fazla olsa da gerçekte güneyde daha kalın ve iyi gelişmiş olduğunu fakat genç bazaltlarla örtülü olmasından dolayı ufak yüzeylemeler halinde görülür. Gölköy Formasyonun' dan toplanan örneklerle göre birim Paleosen yaşlıdır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**. Formasyon zaman zaman ilerleme ve çekilme gösteren kıyı çizgisi ve derin olmayan denizel bir ortamda çökelmiş ve bir yandan da yer yer volkanik işlemler devam etmiştir.

Yeşilce Formasyonu (Ty), Selecik Üyesi, Hasanşeyh Bazaltı, Asarcık Üyesi, Hatipli Üyesi' nden oluşmaktadır. Selecik Kireçtaşı Üyesi' nin (Tys) genel rengi gri ve kirli sarı, orta-kalın tabakalı, bol fosillidir. Kaba kristalli ve çatlaklıdır. Bu kireçtaşı büyük kalınlıklara erişmez; kalınlığı Yeşilce dolayında 145 m iken Gölköy-Aybastı arasında 40-50 m ye düşer. Formasyon Alt-Orta (Lütesiyen) Eosen yaşlıdır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**. Bu kireçtaşı derin olmayan denizel bir ortamda çökelmiştir.

Hasanşeyh Bazaltı (Thys), genellikle siyah, tabakasız, yer yer kalın tabakalıdır. Yer yer ayrışmaya uğramış ve ayrışma rengi kırmızıdır. Bazaltların alt dokanağı Bereketli Üyesi ve İğdir Kireçtaşı Üyesi ile açılı uyumsuzluk gösterir. Bazaltların kalınlığı fazla bir değişim göstermemekte olup kalınlık 50-100 m arasındadır. Hasanşeyh Bazaltı' nın yaşını tayin edici herhangi bir ize rastlanamamıştır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**. Ancak arazi gözlemlerine dayanılarak Selecik Kireçtaşı Üyesi ile aynı yaşta, yani Eosen yaşlıdır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Asarcık Üyesi' nde (Tya), egemen litolojik birim aglomera, kumtaşı, tuf ve bazik akıntı arakatlılarından oluşur. Aglomera, genelde gri, bazen mor renkli, tabakasız, yer yer kalın tabakalı, ufak çakıl ve blok büyüklüğünde bazalt daneleri, sıkı ve yer yer gevşek tuf ve bazalt çimentosu içinde yer almaktadır. Taneleri boylanmamış, köşeli ve birbirleriyle teması sıkı çimentolu kesimlerde çok, seyrek çimentolu kesimlerde ise azdır. Bu üyenin kalınlığı genelde 200-600 m arasında değişmektedir. Asarcık Üyesi' nin az olarak arakatlılar halinde içerdiği kumlu kireçtaşları yaş saptamak için yeterli olmamıştır. Ancak alttaki Eosen yaşlı Selecik Kireçtaşı Üyesi ile kesin olarak dereceli geçiş göstermesi bu üyenin de Eosen yaşında olduğunu kanıtlar **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Hatıpli Üyesi (Tyh), kumtaşı ve aglomera ardalanması, tüfit ve bazik arakatkılarından oluşur. Kumtaşı genellikle gri, ince-orta tabakalı, daneleri ince ve volkanik olup orta derecede yuvarlanmış ve kötü boylanmıştır. Yer yer çimentosu açık yeşil tonlu, tane boyları büyümekte ve çakıltası niteliği kazanmaktadır. Ayrıca küresel ayrışma görülür.

Aglomera, çimentosu genellikle gri, bazen siyah ve koyu mor renkli, tabakasız, yer yer kalın tabakalıdır. Daneleri çeşitli boylarda andezit, yer yer bazalt ve tuf içermekte olup boylanmamış, köşeli ve birbirleriyle teması azdır. Çimentosu sıkı ve genellikle tuf olup yer yer andezit niteliğindedir. Kumtaşı ve aglomera ardalanması içerisinde yeşil ve gri renkli, ince tabakalı, aşınma yüzeyleri yumrulu olan tuf ve yeşilimsi, bordo ve gri ara maddesi içinde açık renkli, yer yer 2-6 mm çapında limonitleşmiş feldspat içeren, tabakasız andezit arakatkıları izlenebilmektedir.

Hatıpli Üyesi' nin içerdiği tortul birimlerde fosil örneğine rastlanmamaktadır. Ancak alttaki Eosen yaşlı Selecik Kireçtaşı ve Asarcık Üyesi ile uyumlu olması ve bazı yerlerde dereceli geçiş göstermesi bu üyenin de Eosen yaşındadır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Canik Formasyonu (Tc), genellikle bazalttan oluşan bir litolojiye sahiptir. Bu bazaltlar, genellikle siyah, koyu yeşil, koyu gri ve koyu mor renkli, tabakasız, yer yer kalın tabakalı olup, tabaka eğimleri yataya yakındır. Çatlaklı, çatlak yüzeyleri siyahımsı sarı renkli ve yer yer kalsit erime boşlukları görülür. Yer yer aglomeralı özellikte ayrılmış kısımları andezit görünümündedir.

Bu bazaltları, altındaki Eosen yaşlı Hatıpli Üyesi' nden bir açısal uyumsuzlukla ayırma olanağı yoktur. Ayrıca bölgenin dışındaki verilerin değerlendirilmesine ve eski araştırmacıların görüşlerine göre bu formasyon Eosen' in en üst seviyelerini ya da Eosen' den daha genç yaşı temsil eder **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Mesudiye-Reşadiye-Koyulhisar arasında kalan bölgede geniş yayılım sunan Erdembaba Bazaltları (Teb₁, Teb₂), kendi aralarında genç ve çok genç bazaltlar olarak iki gruba ayrılırlar. Genç Bazaltlar (Teb₁) genellikle siyah, yer yer gri renkli, tabakasız, yer yer kalın tabakalı ve tabaka eğimleri yataya yakındır. Değişmiş

yüzeyleri cüruf görünümünde ve yeşil likenlerle kaplıdır. Koyu renkli amfibol fenokristalleri ve ikincil olarak yerleşmiş sarımsı silis kristalleri içermektedir.

Çok Genç Bazaltlar (Teb₂) siyah ve mat renkte, tabakasız, orta kalın tabakalıdır. Sert, kırılma yüzeyleri konkoyidal biçimlidir. Ayırılmış yüzeyleri kirli kahverengi likenlerle kaplıdır. Bu bazaltlar vadileri doldurmuşlar ve sonraki aşınmalarla yer yer korunmuşlardır.

Erdembaba Bazaltları' nın alt dokanağı Üst Kretase ve Eosen yaşlı litolojiler ile kesin olarak açılal uyumsuzluk göstermektedir. Ayrıca Eosen yaşlı Hatipli Üyesi içerisinde bu bazaltların dayk ve sil yapıllı yerleşimleri vardır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Birim, diğer birimlerle olan dokanak ilişkisinden elde edilen verilere göre olasıllı Miyosen (?) -Pliyosen yaşlıdır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**. Bu bazaltları oluşturan genç volkanik işlem iki aşamada gelişmiştir. İlk aşamada oluşan genç bazaltlar genellikle Kelkit vadisinin kuzeyindeki tepelerde geniş yayılım gösterirler. İkinci aşamada oluşan çok genç bazaltlar ise genç bazaltların yaygın olduğu tepelerin kuzeyinde Eosen' in yontmuş olduğu vadilerle ve Koyulhisar kuzeyindeki İğdir Dağı' nın yüksek tepelerinde geniş yayılım gösterirler **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Yolüstü Bazaltı (Oy), genellikle gri, koyu gri ve siyah, tabakasız, lav kaynakları çevresinde bol gözenekli, Gözeneklerde beyaz zeolitler, kaya içinde hornblend, piroksen ve olivin çıplak gözle tanınabilir. Andezitik lavlar, açık gri ve pembe olup, 1-3 mm büyüklüğünde feldspatlar, 2-3 mm uzunluğunda hornblend prizmaları ve biyotit pulları çıplak gözle görülür büyüklüktedir.

Her püskürme merkezi, genellikle birden fazla krater ya da lav kaynaklarına sahiptir. Ancak lav akıntıları birbirine karışmış ve birbiriyle doğrudan ilişkili olmayan volkanlar ayrı ayrı püskürme merkezleri olarak kabul edilmiştir.

Yolüstü Bazaltı' nın oluşumu bölgenin faylanma tektoniği ile yakından ilişkili olup, Üst Kretase yaşlı Bereketli Üyesi ve Nebişah Kireçtaşı Üyesi' ni, Kuzey Anadolu Fayı' nın güneyinde ise Alt Miyosen yaşlı birimleri uyumsuzlukla örter. Yine bölgedeki lavların yer yer genç vadi tabanlarında da akmış olması ve taze bir

akıntının bütün özelliklerini görme olanağı olduğundan, bu genç volkanizmanın Holosen’ de etkinlik göstermiş olması gerekir **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**.

Bölgede Üst Kretase’ de kuzeyde volkanik, güneyde tortul; Eosen’ de kuzeyde tortul, güneyde volkanik fasiyesler egemendir. Bölgede, Jurasik-Alt Kretase ve Paleosen yaşlı yeni kayalar bulunmaktadır. Bölgede çeşitli zamanlarda olmak üzere 5 volkanizma devresi saptanmış olup, bu volkanizmalardan üçü denizaltı volkanizması, diğer ikisi ise plato bazaltlarıdır **(Terlemez ve Yılmaz, 1980)**. Volkanizma genel olarak kuzeyden güneye doğru gençleşmektedir.

Bölgenin, akarsuların etkili oldukları kesimlerinde, halen alüvyon oluşumları sürmektedir. Genç alüvyon çökelleri (Qal) bölgenin en genç birimlerini oluşturmaktadır.

3.3. Tünel Güzergahının Jeolojisi

Hapan tünel güzergahı anılan Orta Karadeniz stratigrafik diziliminde yer alan Mesudiye Formasyonu içinden geçmektedir. Bu alt bölümde Mesudiye Formasyonu’ nun litolojik özellikleri petrografisi ve dokanak ilişkileri ile birimin yaşı açıklanmıştır. Ayrıca tünel geçkisinde karşılaşılan farklı jeolojik birimler de petrografik ve litolojik özelliklerine göre tanımlanmıştır.

Mesudiye Formasyonu’ nu oluşturan aglomera, koyu gri, kahverengi renkli, tabakasız, veya kalın tabakalıdır. Aglomeranın andezit ve bazalt kökenli daneleri köşeli, boylanmamış, ufak veya büyük çakıllar ve bloklar halindedir. Tüf ve andezit kökenli, çimento ise bu danelere gevşek veya sıkı tutturulmuştur.

Bazik lav akıntısı, andezit, bazalt ve spilitik bazalta doğru geçiş gösterir. Koyu gri, kahverengi, yeşil ve mor renkli, orta-kalın tabakalı, yer yer tabakasız, dokusu belirsiz, ince taneli, akıntı yapısı göstermektedir. Farklı yönlü çatlakları yer yer kalsit dolguludur. Bazaltlar, bazı kesimlerde aglomera şeklinde daneli ve ayrışmadan dolayı yer yer yumru biçimlidir. Mikroskopik olarak porfirik dokulu, serizitleşmiş, kısmen bozulmuş ve albitleşmiş plajiyoklas kristalleri, az miktarda klinopiroksen (ojit), ayrıca içlerinde klinopiroksen kalıntıları kapsayan klorit, tümüyle klorit ve bazen de uralitle doldurulmuş psödomorf ve bunların etrafında halka şeklinde kuvars

agregatları kloritik bir materyal ve opak mineralden oluşan hamur içerisinde izlenmiştir **(Yılmaz ve Terlemez, 1980)**.

Mesudiye Formasyonu içerisinde, harita birimi olarak ayrılamayan kireçtaşı düzeyleri ve farklı özellikteki killi, tüflü ve kumlu kireçtaşı düzeyleri de bulunur. Gri, yeşil ve bordo renkli, ve genellikle ince veya orta tabakalıdır. İçerisindeki kum ve kil oranı kuzeyde, tüf ve kil oranı ise güneyde yoğunudur.

Farklı yönlerde çatlaklı, çatlaklar kalsit ve silis dolgulu, ince kristalli, dokusuz ve pürüzlüdür, yer yer bazik akıntı ve aglomera parçaları içermekte ve bunlarla dereceli geçişlidir. Tüfit, Mesudiye Formasyonu' nda en yaygın litolojidir. Güneyde özellikle Mesudiye dolayında kuzeye göre daha yaygındır. Genellikle koyu gri, gri, yeşil ve kahverengi, ince-orta tabakalı bazen tabakasız veya kalın tabakalıdır. Pürüzlü, tane boyları ufak çakıl, ve az miktarda kireçtaşı çakıllıdır. Kırılgan, ince taneli, yer yer kaba taneli ve kloritleşmiş mika ile feldspat taneleri içermektedir.

Mesudiye Formasyonu içerisinde en az görülen litolojik birim olan kumtaşının daneleri tamamen volkanik kökenlidir. Yeşil, gri, kırmızı ve kirli sarı renkte, ince ve orta tabakalıdır. Genellikle taneleri orta derecede yuvarlanmıştır. Daneler, kötü yer yer de orta derecede boylanmıştır. Mikroskopik olarak ayrılmış feldspat kırıntıları, volkanik kaya parçaları, ojit, biyotit, sanidin ve trakit parçaları, kalsit demir hidroksit ve demirli opak minerale dönüşmüş bir hamur içinde izlenmektedir **(Yılmaz ve Terlemez, 1980)**.

Mesudiye Formasyonu içinde Tolluk tüf-kumtaşı üyesi (Kmt) ve Nebişeyh kiretaşı üyesi (Kmm) olmak üzere iki farklı stratigrafik alt birime (üyeye) vardır. Aşağıda, anılan bu üyeler açıklanmaktadır.

Tolluk tüf-kumtaşı Üyesi (Kmt), Mesudiye Formasyonu içerisinde ayırtlanmamış olan ve formasyonun en alt düzeyini oluşturan tüf-kumtaşı ardalanması yalnızca Zinav Gölü yakın kuzeyindeki Tolluk Tepe' de görülür. Bu üye genellikle tüf ve kumtaşı ardalanmalı, orta tabakalı, kumtaşları biraz kireçli, yer yer yeşilimsi, gri kireçtaşı arakatlıdır.

Nebişeyh Kiretaşı Üyesi (Kmm), Mesudiye Formasyonu' nun her düzeyinde görülen kireçtaşının en tipik yüzeylemeleri Nebişeyh dolayında izlenir. Bu üye ayırtlanmış olarak Zinav Gölü, Reşadiye kuzeyinde ve Mesudiye dolayında bulunur. Ancak ayırtlanamamış olarak da özellikle kuzeyde Mesudiye Formasyonu içerisinde ince düzeyler ve mercекler halinde izlenir. Bu kireçtaşı genellikle kırmızı, düzenli ve ince-orta tabakalı, yer yer kumlu, gevrek yapılı, kırıntılı, ve yer yer marn arakatkılıdır. Mesudiye Formasyonu'nun en alt düzeyini oluşturan Tolluk Tüf-Kumtaşı Üyesi ve Nebişeyh Kireçtaşı Üyesi' nin, Zinav Kireçtaşı' nın aşınmasıyla oluşan çukurları doldurmuş ve yüzeylelerini sıvamış biçimde uyumsuzluk oluşturmuştur (**Yılmaz ve Terlemez, 1980**).

Mesudiye Formasyonu kuzey-güney doğrultusunda farklı kalınlıklardadır. Formasyonun kalınlığı 100-300 m arasında değişir. Tolluk Tüf-Kumtaşı Üyesi' nin kalınlığı 20-25 m, Nebişeyh Kireçtaşı Üyesi' nin kalınlığı ise 40-60 m dir (**Yılmaz ve Terlemez, 1980**). Bu formasyon bölgenin en yaygın birimidir. Kuzeyde volkanik kayaç katkısının fazla olması, bölgede denizaltı volkanik etkinliğinin yoğun olduğu ve volkanizmanın azaldığı zamanlarda tortulların çökeldiğini gösterir. Karadeniz kıyı çizgisinden güneye doğru gidildikçe volkanik birimler yerini Nebişeyh Kireçtaşı Üyesi ile temsil edilen kireçtaşlarına bırakır. Mesudiye Formasyonu içerisindeki litolojik birimler dereceli geçiş göstermektedir. Formasyon içindeki tortul birimler sınırlı yanal devamlılık göstermekte ve kamalanmaktadır.

Tolluk Tüf-Kumtaşı Üyesi' nden derlenen örneklerde şu önemli fosiller görülmüştür.

Globotruncana cf. *Helvetica* Bolli,

Paeglobotruncana sp.

Hedbergella sp.

Marssonella sp.

Globotruncanidae

Globigeriniidae

Bunlara göre birim Senomaniyen-Turoniyen yaşındadır.

Nebişeyh Kireçtaşı Üyesi' nden derlenen örneklerde;

Globotruncana linneiana (d'Orb.)

G. cf. *coronata* Bolli

G. tricarinata (Que)

G. ventricosa veya *G. Concavata* arası tipler

G. cf. globigerinoides Plum

Bunlara göre birim Koniasiyen-Kampaniyen yaşındadır.

Ayırılanamamış Mesudiye Formasyonu'ndan derlenen örneklerde;

Globotruncana cf. ventricosa (White)

G. cf. fornicata (Plum.)

G. cf. area (Cush.)

G. linneiana (d'Orb.)

G. cf. elevata (Brotzen)

Bunlara göre birim Senoniyen (Kampaniyen) yaşındadır (**Yılmaz ve Terlemez, 1980**).

Yukarıdaki fosillerin verdiği yaşlardan da anlaşılacağı gibi Mesudiye Formasyonu, Senoniyen-Kampaniyen yaşındadır. Ayrıca bu formasyon içerdiği fosillere göre pelajik ve denizaltı volkanizmasının etkin olduğu bir ortamda çökelmiştir.

Bölgede Topçam çevresi ve batısında, Gölköy'ün kuzeydoğusundaki Damarlı Köyü dolayında ve Gölköy'ün kuzeybatısındaki Çavuşçayır Mahallesi dolayında siyenit yüzeylenir. Siyenit genellikle pembe renkli, ayrışma rengi kirli sarı-kahverengi olup, beyaz ve pembe renkli feldspat, kuvars, biyotit ve albitleşmiş amfiboller çıplak gözle görülür. Genel olarak iri taneli yer yer ince tanelidir. Mikroskopik olarak holokristalin fazla miktarda K-feldspat (serizitleşmiş, kil mineralleşmiş), daha az plajiyoklas, ikincil ve birincil kökenli kuvars, eser miktarda muskovit ve opak mineral içerir. Topçam batısında Mesudiye Formasyonu ile dokanağının yakın yerinde siyenit içerisinde bu formasyona ait silisleşmiş andezit anklavları ve kırmızı kireçtaşı döküntüleri bulunur.

Çalışma alanındaki siyenitlere genel bir yaş verilirse; Mesudiye Formasyonu'nu kestiğinden Kampaniyen sonrası, Gölköy Formasyonu'nun siyenitler üzerine bir uyumsuzluk göstererek gelmesinden de Paleosen öncesi bir yaşlandırma yapılmalıdır. Gölköy-Aybastı çizgisinin kuzeyinde kıyıya kadar çeşitli yerlerde dasit yüzeylenir. Ulubey'in kuzeybatısı, kuzeyi ve kuzeydoğusu, ayrıca Fatsa-Aybastı arasında Akkaya köyü ve Kabataş köyünün dolayı dasitin en yoğun olduğu yerlerdir.

Dasit, genellikle açık pembe, açık gri renkte olup, pembe ve beyaz feldspat, kuvars ve biyotitleri çıplak gözle görmek olanaklıdır. Ayırmaya uğramış olup, ayrışma rengi kirli gridir. Yer yer breşik yapı göstermekte, bazı yüzeylemeleri saçılmış pirit içermekte ve andezit dayklarıyla kesilmektedir. Mikroskopik olarak porfirik dokulu, fenokristaller halinde plajiyoklas (oligoklas), daha az kuvars, taşınmış cam hamur içinde plajiyoklas, kuvars ve çok az biyotit mikrolitleri ile opak mineralleri içerir.

Ulubey doğusunda, dasitin, Mesudiye Formasyonu ile dokanağında dasitlerin oldukça ayrılmış olduğu ve ayrışan dasitin içerisinde Mesudiye Formasyonu' na ait tüf parçaları vardır. Ayrıca tüflerin dokanakta oldukça sertleşmiş ve silisleşmiş olması dasitlerin Mesudiye Formasyonu' nu kestiğini kanıtlamaktadır. Gököy batısında yol üzerindeki dasitlerin Mesudiye Formasyonu içinde bir intrüzyon olarak bulunduğu konum, doku, ve dokanaktaki andezitlerin parçalanmasından anlaşılır. Bölgedeki dasitlere genel bir yaş verilirse; Mesudiye Formasyonu'nu kestiğinden ve Fatsa Formasyonu dasitler üzerine bir uyumsuzluk göstererek geldiğinden Maastrihtiyen öncesi (olasılı Kampaniyen yaşlı birimlerin çökelmeye devam ettiği) bir zamanda dasitlerin oluşmuştur (Yılmaz ve Terlemez, 1980).

3.3.1. Hapan Tünel Güzergahında Geçilen Kaya Litolojileri

Önceki başlıklar altında da vurgulandığı gibi proje alanın bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesi' nin büyük kesiminde geniş, yayılımlar gösteren Üst Kretase birimleri farklı ortam koşullarının kaya grupları ile temsil edilmektedir. Anılan kayaçların Doğu Karadeniz' deki bölgesel dağılımları ve görece yaşlı kayaçlarla olan dokanak ilişkileri bölgenin jeolojik evrimini açıklamada anlamlı bir örnek oluşturmaktadır. Proje alanında yüzeyleyen kaya birimleri tektonizmaya bağlı olarak gelişen volkanizma tarafından denetlenmektedir.

Bu genel jeolojik oluşum modeli içinde proje alanında Üst Kretase yaşlı şu ortamsal kaya birimleri tanınmaktadır;

- Adayayı volkanik kayaları
- Derin denizel (deep ocean) kireçtaşları
- Volkanojenik fliş çökeller

Doğu Karadeniz Bölgesindeki Üst Kretase volkanizması dalma-batma bölgesi ürünü olan adayayı niteliğindedir. Magmatik gereci okyanus kabuğunun batım zonundaki kısmi ergime düzeylerinden alan adayayı volkanizması derin denizel koşullarında geliştiğinden volkanizmanın magmatik ürünlerinin kimi düzeyleri türbidit akıntıları ile çökelim bağlamında doğrudan ilişkilidir. Duraksama evrelerinde adayayı volkanizmasına çökel kayaçlar eşlik etmektedir. Anılan çökel kayaçlar çoğunlukla volkanik ve pelajik kökenlidir.



Şekil 3. 3: Hapan Tüneli Kazılarında Çıkan Bazaltik Tüf ve Aglomera Litolojileri

Levha tektoniği kuramına göre dalma-batma bölgesi ürünü olan adayayı volkanizmasının magmatik kayaçları bazalttan riyolite değin uzanan bir mineralojik bileşimi içermektedir. Kimi zaman magmatiklerin sokulum kayaçları volkanizmanın belirli evrelerinde görülmesine karşın volkanizmanın egemen kayaç türü andezitik kökenlidir. Magmatik kayaçlar lav akmasının ürünü olabileceği gibi volkan püskürmesinin evrelerine bağlı olarak piroklastik nitelikte de bulunmaktadır.

Proje alanında geniş yayılımlar gösteren ve volkan püskürmesi ürünü olan piroklastik kayaçlar kül (< 4mm)' den lapilli (4-64 mm) ve blok (> 64 mm) boyutuna kadar uzanan gereç içerir. Anılan kayaçlar derin denizel ortamda birkaç jeolojik evrim geçirerek günümüzdeki konumlarını almıştır. Petrolojik adlama bağlamında

piroklastik kayalar proje alanı ve yakın y6resinde bazaltik t6f, andezitik t6f, dasitik t6f ve aglomera olarak y6zleklenmektedir.

Bazaltik ve andezitik t6f ile dasitik t6f6n kimi d6zeyleri bulantı akıntılarını ile bağlantılı olarak oluşmuştur, bu nedenle tipik "volkanik fliş fasiyesi" 6r6nleri ile ardalanmalıdır. Anılan 6yelerin kimi d6zeyleri ise piroklastiklerin plastik evrelerinde doğrudan 66keldiği i6in camsı doku ve camsı dokanak 6zelliği g6stermektedir.

6te yanda aglomera t6f hamur i6inde lapilli ve blok boyutunda volkanik kırıntılar i6ermektedir. Derecelenme g6stermeyen bu yapısı ile andezitik aglomera volkanik kırıntıların ve k6llerin taşlaşma 6r6n6d6r. T6f hamur bazaltik, andezitik ve dasitik k6kenlidir.

Derin denizel volkanizma 6r6n6 olan piroklastik k6kenli ikincil 66kel kayaların oluşumu t6rbidit akıntılarını ile doğrudan ilintilidir. Bu anlamda anılan kayalar b6t6n6yle "volkanik fliş fasiyesi" ortam koşullarını yansıtmaktadır.

6ıplak g6zle "volkanik kumtaşı" olarak adlandırılan volkanojenik fliş 66kellerin bu 6yesinde bulantı akıntılarının tipik 6zelliği olan "derecelenme" a6ık olarak g6r6lmektedir. Bu birim 6teki volkanik kayalarla ve pelajik kire6taşları ile camsı dokanak ilişkisi g6stermektedir. Aşağıda bu kayacın 6zet ince-kesit tanımlaması verilmektedir.

Proje alanında y6zeylenen kire6taşlarının tipik 6rnekleri 6zerinde yapılan ince-kesitler bu kire6taşlarının "pelajik" ve "t6rbiditik" k6kenli olduğunu g6stermektedir. Bu bağlamda proje alanındaki kire6taşları t6rbiditik akıntılarının 6r6n6 olup volkanizmanın duraksama evrelerini yansıtan ve ona eşlik eden derin denizel 66kellerdir.

Bol Giobotruncana ve Radyolarya i6eren bu birim 6st Kretase' den başlayarak 6oğunlukla Kampaniyen sonuna kadar yaş vermektedir. 66kelim doğrudan volkanizma ile denetlendiğinden farklı d6zeylerde ve farklı zaman aralıklarında oluşmuştur. Bu nedenle kalınlıkları ve yanal devamlılığı 6ok değişkendir.

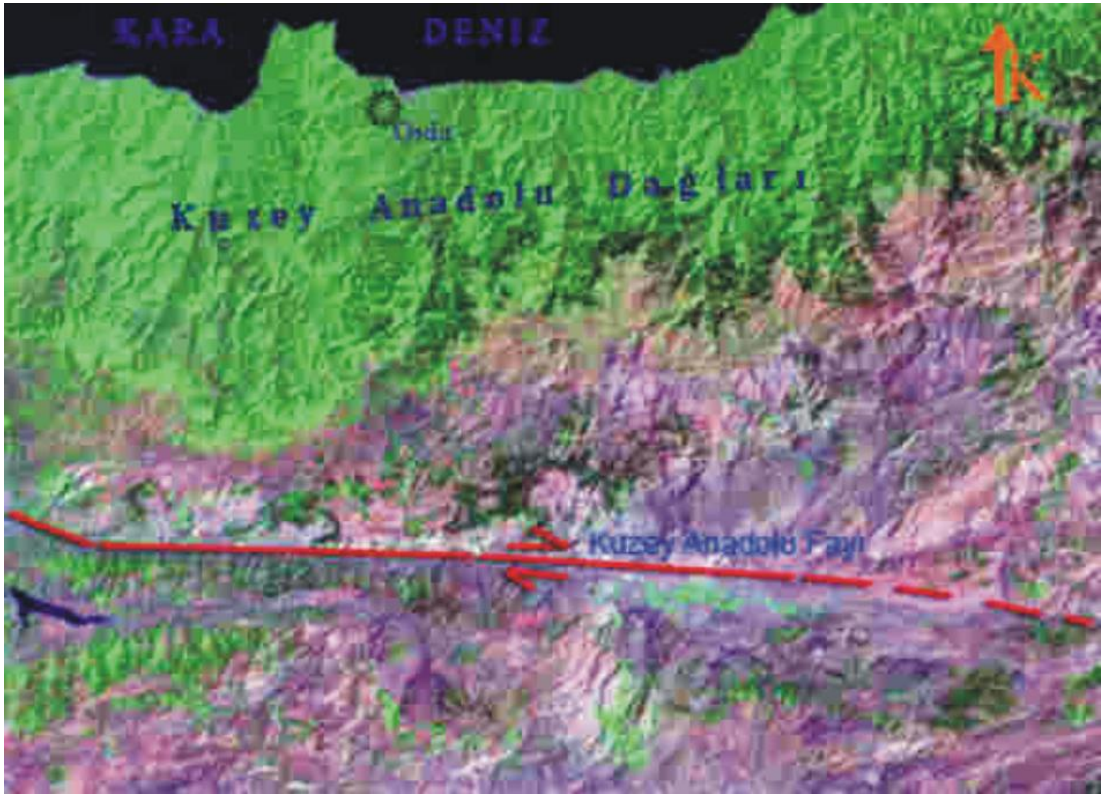
Piroklastik kayalar ile kire6taşları arasında pişmeye bağlı olarak kaynak dokanak ilişkisi vardır. 6zdeş dokanak ilişkisi kire6taş katmanlarının kendi i6inde de

gözlenmektedir. Bu özelliğin jeoteknik sonuçları ilerki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Proje alanında yüzeyleyen türbiditik ve pelajik kireçtaşları volkanik birimlerle ardalanmalı olarak görülmektedir. Bu durum ile volkanitler ve kireçtaşı düzeyleri tipik bir volkanojenik fliş görünümü vermektedir.

3.4. Tünel Güzergahı' nın Yapısal Jeolojisi

Türkiye' de Doğu Karadeniz Bölgesi' ndeki Alp Orojenik Kuşağı' nı Doğu Pontidler oluşturmaktadır (Şekil 3.4). Doğu Pontidler, doğu-batı doğrultulu yayılmakta ve dağ silsilesine paralel eksenli olarak iki alt gruba ayrılır (Arni, 1939).



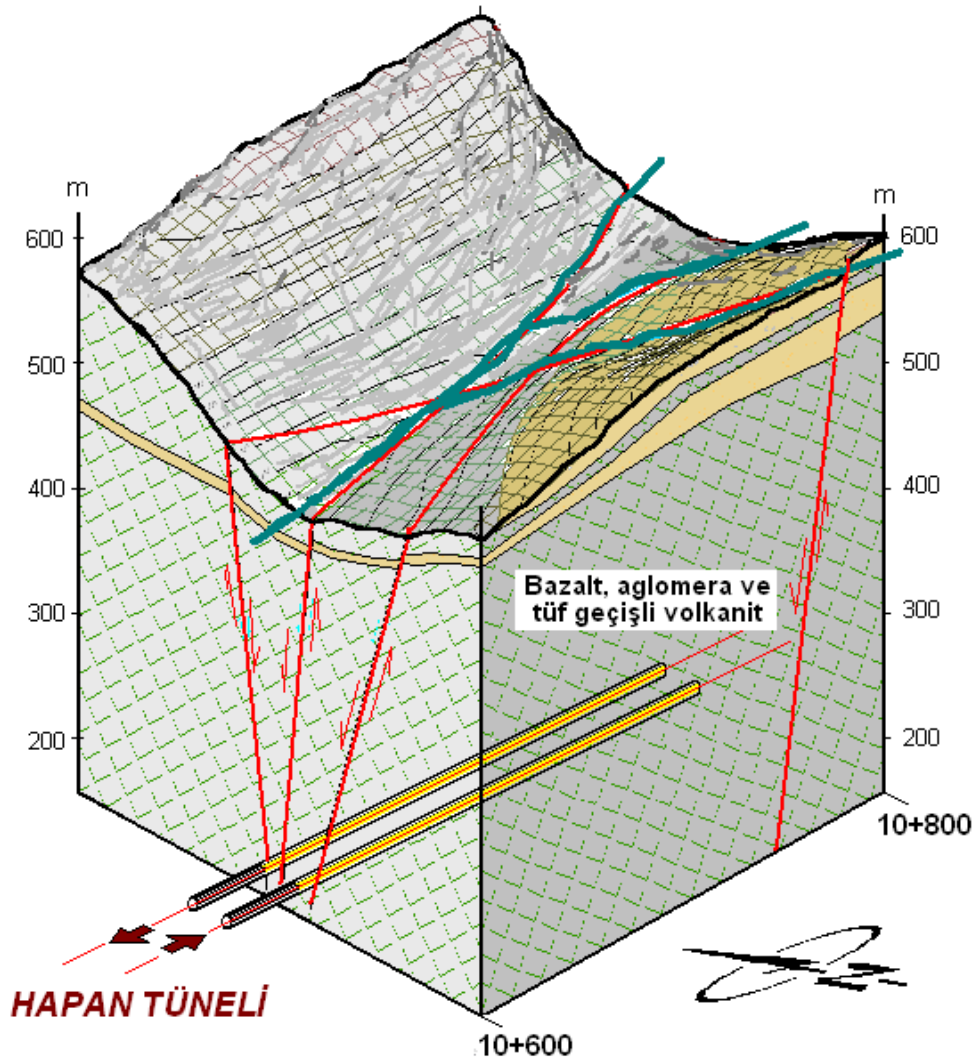
Şekil 3. 4: Kuzey Anadolu Dağları ve Kuzey Anadolu Fayı' nın Ordu' ya Göre Konumları.

Tünel güzergahının bulunduğu bölge, tektonizma ve erozyonun şekillendirdiği bir morfolojiye sahiptir. Tünel güzergahı boyunca morfoloji, dik topoğrafyalı ve yer yer vadilerle bölünmüştür. Genç tektonizmanın yükselttiği bu bölgede akarsular vadi tabanlarını aşındırmaya devam etmekte, çatlak, kırık ve faylardan sızan sular derin ve etkin ayrışmalara neden olmaktadır.

Yüzeysuları, daha az dayanımlı olan yerleri izlemektedir. Dolayısıyla yüzeydeki doğal drenaj ağı genelde yerin iç yapısı ve zayıflık zonları hakkında da önemli ipuçları verebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında Hapan Tüneli güzergahını hemen hemen ortasına rastlayan bir yerden (yaklaşık km: 11+100) iki farklı bölgeye ayırmak mümkündür. Doğu yarısı yaklaşıklıkla kuzey güney doğrultulu zayıflık zonlarını kısa mesafeler içinde kesmektedir. Burada, tünelin en kesitlerindeki yüklenme durumu simetrik ve genelde az değişkendir. Batı yarısında ise tünelin eksen, kuzeydeki masif blok ile güneydeki kırıklı bloğun arasında kalan vadinin altından geçmektedir. Bunun sonucu olarak hem yüklenme koşullarındaki simetri ve izotropluk bozulmakta, hem de kaya yapısı yeraltısuyunun etkili olduğu zayıflık bölgelerinin içinde kalınmaktadır (Şekil 3.5).

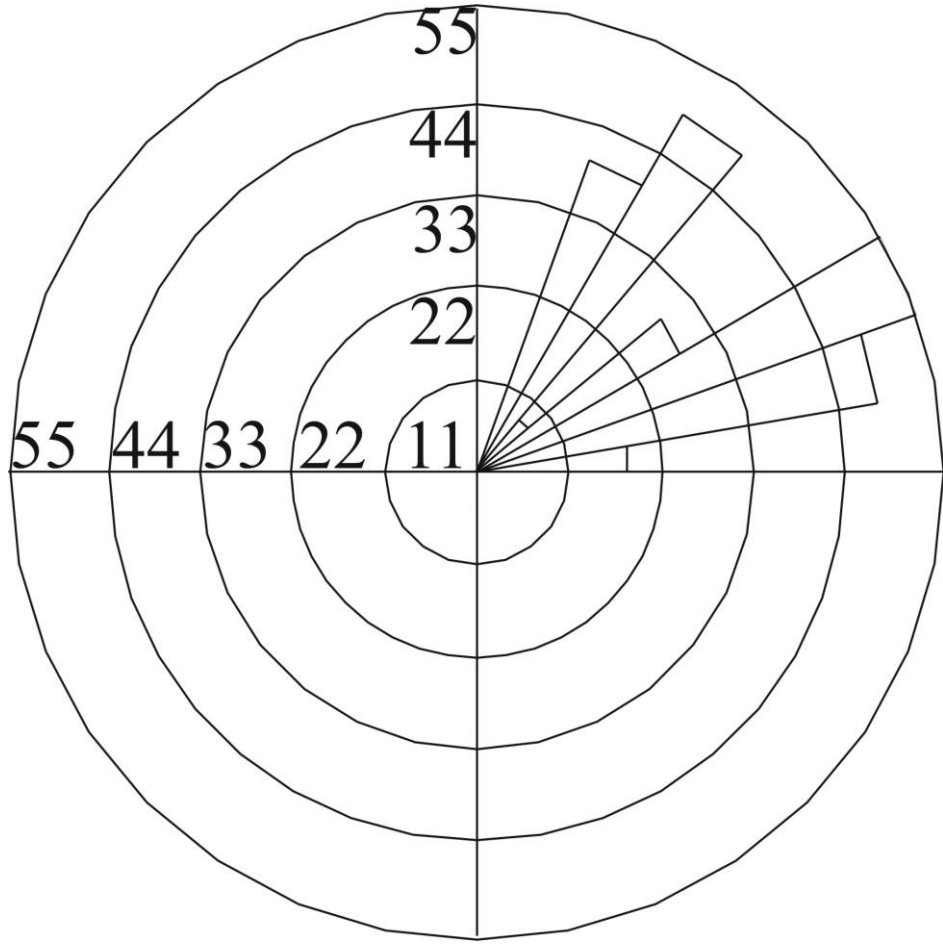
Sorunlu olan bu kesimde, vadiyi geliştiren D-B doğrultulu düşey faylar ve kırık sistemleri tünelin açıldığı kotlara kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.5). Ayrıca sağ tüpün bulunduğu güzergah boyunca batı-doğu doğrultulu fay hem düşeyde hem de yatayda atıma sahip olduğundan oblik fay özelliğini sunmaktadır. Bu durum, kaya kalitelerinin kestirilmesi sırasında yeterince dikkate alınmamış ya da anlaşılamamış olmalıdır. Çünkü radye kapanımını öngörmeyen kaya sınıflamalarına gidilerek proje uygulamaları yapılmış ve örtü yükünü taşıyamayan bu ortamda, kırık sistemleri boyunca dolaşan suyun da etkisiyle, volkanik kökenli birimler ayrılmıştır. Bu durumun sonrasında tünelde sökülmele, yer yer önlenemeyen ve giderek yaygınlaşan aşırı deformasyonlara ve nihayet taban kabarmalarına rastlanılmıştır.

Bölgedeki volkanizmanın etkisi sonucu tabaka sınırlarından çok birbirine tedrici geçişli dokanak ilişkileri gözlenmektedir. Volkanik kayalarda bu geçiş bölgeleri hidrotermal alterasyon sonucu parçalanmış, ezilmiş bir yapı gösterirler. Ayrıca vadi tabanlarında görülen gerilme yoğunlaşmalarına bağlı olarak da tünel güzergahı boyunca ezik zonları oluşmuştur. Bu ezik zonlar kayaların yumuşamasına ve bunun sonucunda dayanımlarının düşmesine neden olmaktadır. Fayların tünel kotuna kadar inmesinde dayanımda görülen bu düşüş önemli bir parametredir. Ayrıca sağ tüpü neredeyse tünel eksen boyunca iki parçaya ayıran normal atımlı fay, aynı zamanda vadi içinde gelişmekte olan diğer fayların da etkisiyle yanal atım da kazanmıştır. Böylece sağ tüpün geçtiği güzergah yanal ve düşeyde yer değiştirmelerin görüldüğü bir blok özelliği kazanmıştır.



Şekil 3. 5: Vadi Oluşumu ve Tünel Güzergahının Doğal Drenaj Sistemiyle Olan İlişisini Gösteren Blok Diyagram

Tünel güzergahının geçeceği ortamda 247 noktada yapılan ölçümler sonucunda hazırlanan gül diyagramı Şekil 3.6 ile sunulmuştur. Şekilde süreksizlik yüzeylerinin doğrultu değerleri belirtilmiştir. Buna göre ölçümlerin 40 tanesi K 30 D, 50 tanesi K 40 D, 12 tanesi K 50 D, 23 tanesi K 60 D, 55 tanesi K 70 D, 48 tanesi K 80 D, 19 tanesi K 90 D olarak görülmektedir. Bu süreksizlik yüzeyleri denizaltı volkanizmasına ve plato bazaltlarının yayılması sırasında ve sonrasında oluşan süreksizlik yüzeylerinin en çok hangi yönelimde geliştiğini göstermektedir.



Şekil 3. 6: Hapan Tünel Güzergahı' nda Yapılan Tabaka Ölçümlerine Ait Gül Diyagramı

Bölgenin neotektonik evrimi ve epirojenik yükselmeleri nedeniyle aşınım şekilleri çok gelişmiştir. Çalışlar vadisi ve yan kolları hızlı yükselmeye koşturarak derin vadi tabanları kazmaya günümüzde de devam etmektedir. Genç aşınım şekillerinin etkin olduğu morfoloji modeli bölge için çok karakteristiktir. Bu bağlamda vadilerde aşınım düzlükleri görülür. Ayrıca jeolojik yapı, drenaj sistemi ve kayaçların litolojik özellikleri morfolojinin oluşumunda etkindir. Anılan sorunlu kesimde de bu tipik morfoloji görülmektedir.

3.5. Depremsellik

Proje alanı 37°-38° enlem ve 41°-42° boylamları arasında yer almaktadır. Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı' nın hazırladığı deprem kataloğu (1970)' na göre

projenin yer aldığı yukarıda verilen enlem ve boylamların sınırladığı alanda aygıtsal ölçümlerle saptanan en yüksek deprem şiddetleri, 7.18, 8.65, 8.90 ve 9.12 MM (Modifiye Mercalli) olmuştur. Anılan bu dört değerin ortalaması 8.47 MM' dir ve bunun yerçekimi ivmesi karşılığı 0.23 g' dir. Bu proje için 0.2 g değeri kullanılmıştır.

3.6. Bölgenin Tektonik Evrimi

Anadolu sıra dağlarında varlıklarını korumuş olan Mesozoyik yaşlı çökel kayalar Tetis adı verilen ve Lavrasya ile Gondwana kıtasını birbirinden ayıran bir okyanusun tanınmasında ve yerinin belirlenmesinde önemli rol oynamıştır. Levha tektoniği ışığında kıtaları Permiyen başındaki konumlarına getirerek o günkü kıta mozayicini, özellikle Paleomagnetik verilere dayanarak oluşturan araştırmacılar Lavrasya ve Gondwana kıtası arasında batıya doğru daralarak biten üçgen biçimli bir açıklık alanının olması gerektiğini belirlemişlerdir. İki ana kıta arasında kalan bu açıklık alanının bir okyanusa karşılık geldiği ve dalma-batma sonucu Alp dağ sıralarını oluşturduğu vurgulanmıştır. Yok olan bu okyanus Tetis olarak adlandırılmıştır.

Permo-Triyas döneminde var olduğu ortaya konulan Tetis okyanus alanına karşılık Alp kuşağını Türkiye' nin geniş bir kesimini inceleyen araştırmacılar Alp dağlarını oluşturan deniz tabanı yayılımının Triyas ve Jura' da gelişmeye başladığını belirlemişlerdir. Çelişkili gibi görünen bu durumdan şu sonuç çıkmaktadır; Alp kuşağını oluşturan okyanusal alanın açılmasından önce var olan hatta varlığını bu açılma sırasında bir süre daha sürdürerek yok olan başka bir okyanus daha vardır. Bu iki okyanusu birbirinden ayırmak amacıyla önce var olmuş okyanusa "Paleo-Tetis", daha sonraki okyanus "Neo-Tetis" adıyla anılır. Proje alanının bulunduğu Rodop-Pontid tektonik kuşağı bu iki okyanusun izlerinin görüldüğü en tipik bölgelerden biridir.

Permiyen-Triyas döneminde Anadolu, Paleo-Tetis okyanusunun güneyinde bulunan Kimmer kıtasının kuzey kesimini oluşturmaktadır. Bu dönemde Neo-Tetis okyanus tabanı güneye doğru Kimmer kıtasının altına dalmaya başlamış ve bu dalıma bağlı olarak Paleo-Tetis okyanusu daralma sürecine girmiştir. Bu aşamada tektonik hareketlere bağlı olarak kıta tarafında gelişmiş Pontidler adıyla bilinen adayı magmatik kütlelerinin güneyinde Karakaya Kenar denizi oluşmuştur. Bu kenar deniz Erken Jura' da kapanmıştır.

Jura döneminde kuzeyden güneye dalımı süren Paleo-Tetis iyice daralmaktadır. Bu sırada Neo-Tetis' in güney kolu iyice açılmış, buna ek olarak Paleo-Tetis ile Neo-Tetis'in güney kolu arasında Neo-Tetis' in kuzey kolu olacak şekilde yeni bir kenar (marginal) deniz oluşmuştur. Tektonik evrim kendi dinamiği içinde dönüşüm yaparak Paleo-Tetis'in bütünüyle kapanması ile sonuçlanırken Neo-Tetis en geniş durumunu almıştır. Bu evrede, Anadolu-Toros platformu ve Sakarya Kıtası ada görünümündedir.

Geç Kretase' nin başlarında Neo-Tetis' in kuzey ve güney kolları, güneyden kuzeye doğru dalmaya başlamış ve anılan okyanusal kollar daralım sürecine girmiştir. Pontidlerin doğusunda yer alan proje alanı Neo-Tetis' in kuzey kolunun güneyden kuzeye doğru Pontidlerin altına dalmasıyla kıta yanında gelişen ada yayı volkanizmasının ürünleridir. Dalım zonu günümüzde Pontidlerin güney alanlarına denk gelir.

Geç Kretase' de Karadeniz, Rodop-Pontid ada yayının kuzeyinde kalan bir kenar deniz olarak açılmaktadır. Bu açılma Karadeniz' in batısındaki Srednogorie havzasına kadar uzanmaktadır. Jeolojik zaman içinde bu havza kapanmış ancak Karadeniz tabanındaki soğuma nedeniyle açık kalmıştır. Araştırmalar Karadeniz' in günümüzde afilimmi sürdürdüğünü doğrulamaktadır.

Proje alanındaki Jeolojik model bütünüyle yukarıda verilen tektonik evrime bağlı olarak gelişen adayayı volkanizması üzerine temellendirilmiştir. Burada anılan aşamaların sadece Üst Kretase' den günümüze değin gelişen tektonizması özet olarak irdelenecektir.

Tektonizmanın ilk evrelerinde güneyden kuzeye Kimmer kıtasının altında dalan Neo Tetis okyanusunun kuzey kolunun okyanus kabuğu kısmı ergime ile magmatik kütleler olarak yeniden yüzeylemektedir. Bu aşamada bir yanda magmatik kayalar kıta yanında volkanik yay oluştururken öte yanda okyanus tabanında çökelim sürmektedir. Bilindiği gibi okyanus kabuğu "bazaltik magma" dan oluşmaktadır. Bazaltik magmanın kısmi ergimesi ise toleyitik bazalttan riolite kadar değişen bir mineralojik serinin volkanik kayalarını üretebilmektedir. Ancak araştırmalar adayayı volkanizmasının egemen ürününün "andezitik" kütleler olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda proje alanından alınan kayaç örneklerin ince-kesit

sonuçları volkanizmanın Doğu Karadeniz' de adayayı niteliğinde olduğunu doğrulamaktadır.İkinci evrede ise volkanizmaya dalım yönünde eşlik eden çökel kayaçlar magmatik çekirdek üzerinde yığışım prizması oluşturmaktadır. Bu aşamada volkanizmanın duraksama evrelerine bağlı olarak volkan konisinin yakın yörelerinde çökel kayaçlarla volkanik kayaçlar ardalanmalı çökelebilir.

Dalımın kara yönünde kalan kesiminde ise sığ su çökelleri çökelimini sürdürmektedir. Bu anlamda volkanik ve çökel kayaçlar, karmaşık dağ oluşumunun büyümesine katkıda bulunmaktadır. Bu aşamada sadece sığ su çökellerinin deformasyonu görülür.

Bu evrelerin sonrasında ise önce kenar ve volkanik yay oluşumlarının deformasyonu, izleyen aşamada da kıta-kıta bindirmesi sonucu Neo-Tetis' in bütünüyle yitimi ve yay ardı havzasının oluşumu simgelenmektedir. Sonuç olarak da çarpışma bölgesi gerisinde açılma ile oluşan ve günümüzdeki Karadeniz' i simgeleyen şematik kesit verilmektedir (**Şengör ve Yılmaz, 1981**).

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOMEKANİK DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, Tünelcilik tarihçesine kısaca değinildikten sonra Hapan Tüneli' nin tasarımı ve açımı sırasında da kullanılan Yeni Avusturya Tünel Açım Yöntemi' nin temel ilkeleri açıklanmıştır. Bu bilgilendirmenin devamında her iki tüp için kayaçların mühendislik jeolojisi tanımları yapılmış ve güzergahta, ilk projelendirme aşamasında, kaya ortamın fiziksel ve mekanik parametrelerini belirlemek için yapılan deney sonuçlarına değinilmiştir. Elde edilen değerler ve kazı yöntemleri göz önünde tutularak Hapan Tüneli' ne ait kaya sınıflamaları verilmiştir. İzleyen alt başlıklarda ise sırasıyla sorunlu kesiminde ölçülen deplasmanlar değerlendirilerek kayadaki gerilmelerin ve iksanın üzerine düşen gerilmelerin yönü belirtilmiştir. Belirtilen tüm yükler, deplasmanlar ve kaya kalitesi değerlendirilerek geri-analizler yapılmış ve sonuçları sunulmuştur.

4.1. Hapan Tüneli Proje Bilgileri

Çeşitli amaçlarla, Mezapotamya, İran, Anadolu ve tüm Akdeniz yöresinde yapılmış olan kaya yapılarının Klasik ve Antik Çağlar' ın başarılı mühendislik çalışmaları olarak özel bir yeri vardır. Özellikle Roma uygarlığı süresince gelişen ve yoğunlaşan bu türden çalışmalar, zamanla önemini kaybetmiş ve madencilik amaçları dışında sürülen galerilerin ve açılan yeraltı boşluklarının sayısı giderek azalmıştır (**Vardar 1979a**).

Yakın tarihte, gelişen teknolojiyle birlikte şehircilik ve ulaşım problemlerinin çözümünde yeraltı yapılarının önem kazanmaya başladığı görülür. Demiryolu yapımı sırasında, bağlantının en yakın ve eğimlerin olabildiğince küçük seçilmesi gerektiğinden doğan “Demiryolu Tünelleri” devresidir.

En yoğun çalışmaların 1850 ile 1916 yılları arasında yapıldığı bu devrede, çoğunlukla Alp dağları içinde uzunlukları 2 ila 20 km arasında değişen çok sayıda tünel açılmıştır. Bunlara örnek olarak **Vardar (1979a)**, Mont Cenis (12,8 km; 1857–

1871), Gotthard (15 km; 1872–1882), Arlberg (10 km; 1880-1884), Simplon (20 km; 1898-1906), Ricken (8,6 km; 1904-1910), Lötschberg (14,5 km; 1906-1913), Hauenstein (8,1 km; 1912-1916) demiryolu tünellerini vermiştir.

Karayolu araçlarının sayıca çoğalması ve ulaşım ile taşıma sorunlarının giderek artması ve önem kazanması ile belirlenen ve 1939 öncesi Almanya’ sından başlayarak, 2. Dünya Savaşı’ndan sonra bütün gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere yayılan karayolu tünelleri devresidir. Hızlı otoyollarının yapımı sırasında, dönemeç çaplarının artması ve yol eğiminin küçük tutulması ile coğrafik zorunluluklar büyük çaplı ve uzun karayolu tünellerini kaçınılmaz duruma getirmiştir (**Vardar, 1979a**).

Büyük yerleşme merkezlerinde nüfusun ve taşıtların yoğunlaşması ile ulaşımın yerüstünde istenilen sayı ve hızda sağlanamaması sonucu Metro kullanımı başlamıştır. Avrupa’ nın belli başlı Paris, Londra, Berlin gibi merkezlerinde daha 1. Dünya Savaşı öncesinde yapımına başlanan metrolar, 1950’ lerden bu yana daha da önem kazanarak, günümüzde hemen hemen her yerleşme merkezinde kaçınılmaz tek çözüm durumuna gelmiştir (**Erguvanlı, 1982**).

Karadeniz Sahilyolu Projesi kapsamında yapımı devam eden Bolaman-Perşembe otoyolu kapsamındaki Hapan Tüneli, gidiş geliş yönleri için ayrılmış çift tüpleri olan, 3 776 m uzunluğuyla da halen ülkenin projelendirilmiş en uzun karayolu tünelidir. Tüpler arasında ayrıca iki tane de araç geçişi bulunmaktadır. Tünelin tasarım derinliği giriş ve çıkış portallerinde 33 m, güzergah boyunca da 75 m ile 375 m arasında değişen derinliklerdedir. İncelenen sorunlu kesimde (sol tüp km 10+683.00 –10+800.60 ile sağ tüp km 10+693.10–10+742.10) ise tasarım derinliği 375 m’ dir.

Proje kabullerine göre geçilecek olan ortam; tünel boyutu ve geometrisi, jeoloji ve yüklenme koşulları ilkel (primer) gerilme durumu ile birlikte değerlendirildiğinde Yeni Avusturya Tünel Açım Yöntemi’ ne göre A2, B1, B2 ve B3 olacak şekilde öngörülmüştür. Ayrıca tünelde görülen duraysızlıklar için ek iyileştirme ve sağlamlaştırma çalışmaları hazırlanmıştır. Uygulama projesinde sağlamlaştırma genelde 4-6 m’ lik kısa ankrajlama, hafif hasır çelik (Q 180/180) ve püskürtme betondan oluşturulmuştur. Çelik iksa kullanımından olabildiğince kaçınılmış ve kullanıldığında da çok hafif tutulmuştur (B3 için I120). Ayrıca 40 cm kalınlığında donatısız iç kaplama kullanılmıştır.

Bunlar genelde donatısız betondan, soğuk derzli, mütemadi s  meller üzerine oturtulmuştur. S  mellerin geometrisi tünelin i  kaplama ağırlığı hariç, hiçbir düşey ya da yanal yük almayacağı varsayımına göre belirlenerek y  zeyssel temeller olarak projelendirilmiştir (Emay, 2003).

4.2. Yeni Avusturya Tünel A ım Yöntemi

Rabcewicz' in 1963 yılında Yeni Avusturya Tünel Yapımı Yöntemi adını verdiğı ve ana hatlarıyla 1957-1965 yıllarında geliştirilen tünel yapım yönteminin, gelişimi sırasındaki adımları yansıtan yayınlar dışında, ilk olarak **Vardar (1979b)** tarafından yirmi iki ana ilke olarak açıklamalı   virisi yayımlanmıştır. Bu temel ilkeler Hapan Tüneli' nin a ımı sırasında da uygulandığından bu alt bölümde öncelikle Yeni Avusturya Tünel A ım Yöntemi' nin temel ilkeleri değinilen yayına bağlı olarak aşağıda açıklanmıştır.

Yeraltı kaya yapısının ana malzemesi, dağın kendisidir. Tünelin esas taşıyıcı kısmı, boşluğu   vreleyen ana kayadır. Kayanın başlangıcındaki sağlamlığı ano işlemleri sırasında korunmalıdır. Bu nedenle uyulması gereken temel unsur, kayacın ilkel (primer) dayanımını korumaya çalışmaktır. Gevşemeler kayanın dayanım gücünü azaltıcı etken olduklarından imkan dahilinde önüne geçilmelidir.

Tek ve iki eksenli gerilme ortamını oluşturmaktan kaçınılmalıdır.        bu türden gerilmelerin etkisinde bulunan kayanın taşıma direnci düşer. Koruyucu zon, mümkün olduğunca, kayacın taşıma direnci azaltılmadan oluşturulmalıdır. Kazı sonrasında oluşan deformasyonlar; koruyucu zonun oluşmasında yeterli olacak, fakat kayacın aşırı gevşeyerek taşıma direncinin düşmesine neden olmayacak şekilde denetlenmeli ve yönlendirilmelidir.

Sağlamlaştırma işlemleri tam zamanında ve gerekli esneklikte yapılmalıdır. Bunu sağlamak için sağlamlaştırma işlemlerine ne çok erken, ne de çok geç başlanmalı ve iksa direncini oluşturan yapının ne çok rijit ne de çok zayıf olmamasına   zen gösterilmelidir.

Kaya ortamın kendini tutma süresi doğru olarak tahmin edilmelidir. Bu nedenle, kayanın özellikle kaya ile iksa sisteminin birlikteki, zamana bağlı kırılma

davranışlarını belirleyen kayanın kendini tutma süresi doğru olarak saptanmalıdır. Zaman faktörünün ve kayanın kazı sonrasındaki deformasyon davranışının önceden belirlenebilmesi için laboratuarda ve arazide deneylerin yapılması ve deneme galerisinde konverjans ve deformasyonların ölçülmesi zorunludur.

Sağlamlaştırma, kuvvetleri bağlayıcı türde olmalıdır. Kazı sonrasında büyük deformasyonların ve gevşemelerin beklendiği durumlarda, sağlamlaştırma direnci yayılı yükler olarak ve sağlamlaştırma önlemi boşluk yüzeyini bağlayacak şekilde olmalıdır. Bunu sağlayan en başarılı yöntem, prizlenme süresi az olan püskürtme beton kullanımıdır. Geçici ve kalıcı sağlamlaştırma kaplamaları ince kabuk şeklinde ve bükülebilir esneklikte olmalıdır. Böylelikle kabuk içinde eğilme momentlerinin oluşması ve bunların meydana getireceği ölçme ve kesme kırıkları önlenilebilecektir.

Sağlamlaştırma, kabuğun kalınlaştırılması ile değil, kabuğa gerekli esnekliği verecek olan çelik hasır ve bağlarla sağlanmalıdır, kayayı kendi kendine taşıtmak için etkin gerilmeler ankrajlarla dağın içine aktarılmalıdır. Tünel duvarındaki ve onu çevreleyen kayalar içindeki deformasyonların ve gerilmelerin ölçülmesi, kayacın uygulama sırasındaki davranışını göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Tünel denilince, statik bakımından taşıyıcı zon ile sağlamlaştırma kabuğunun oluşturduğu bir halka anlaşılmalıdır. Modern anlamda tüneller dairesel kesitli yapılardır. Dağın içinde, boşluk gerisinde oluşturulan gerilme halkası (taşıyıcı zon) ile boşluk duvarına yapıştırılan sağlamlaştırma kabuğu birlikte çalışan bir halka oluştururlar. Sağlamlaştırma kabuğu, kapalı halka şeklinde olmalıdır. Halka en kısa zamanda oluşturulmalıdır ve dağ olabildiğince az kurcalanmalıdır.

Tünel açma yönteminin uygulanış biçimi, yeraltı kaya yapısının duraylılığı ve güvenliği açısından, kayanın zamana bağlı davranışını doğrudan doğruya etkilediği için, büyük önem taşır. Yöntemler, uygulanış biçimlerine göre, organizasyon ve zamanlama açısından büyük farklılıklar oluştururlar. Bu bakımdan arın anosunun uzunlukları, atım derinlikleri, sağlamlaştırma sırasında geçen süre, tabanın ters kemer ile kapanması ve sağlamlaştırma direncinin oluşturulması yeraltı yapılarının güvenliğine büyük ölçüde etkir.

Yeraltı boşluğunun, en kesiti daire veya elips şeklinde olmalı, çıkıntı, çentik ve köşeler bulunmamalıdır. Bunlar yapı duvarında ve kaya içinde gerilmelerin yoğunlaştığı bölgeler meydana getirerek aşırı boyutlandırmaya neden olurlar. Buna ek olarak yapının güvenliğini ve duraylılığını tehlikeye sokarlar.

İki kabuklu sağlamlaştırmalarda iç kabukta istenmeyen eğilme momentlerinin oluşmaması için iç kabuk ince olmalıdır. Ancak dış kabuktan gelebilecek olan yükleri kesmeye çalışmaması için, dış kabuğa sürtünmesiz bir şekilde ve tam yüzeyi ile sıkıca oturması sağlanmalıdır.

Ön sağlamlaştırma işlemleriyle yapının stabilitesi sağlanmış olmalıdır. Kabuk ve çevresindeki kayadan oluşan yeraltı kaya yapısının deformasyonları iç kabuğun yerleştirilmesinden önce durdurulmuş, yani ikincil gerilme durumu dengeli son şeklini almış olmalıdır. Ancak saldırgan (agresif) yeraltı sularının bulunduğu durumlarda iç kabuk tüm yükleri alacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Bu durumlarda iç kabuk ve dış kabuğun arası izole edilmelidir. Geçici sağlamlaştırmanın en önemli öğelerinden biri olan ankrajların kalıcı sağlamlaştırma durumları için de hesaba katılabilmesi için bunların korozyona karşı korunmuş olması gerekir.

Tüneller, inşa edildikleri ortamların genellikle anizotropik ve heterojen davranış gösteren süreksizlik yapıları, eklem takımları ve bunların dağılımları, olası kayma düzlemleri, yeraltı suyunun etkisi ve bunlara bağlı olarak zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin sağlıklı olarak belirlenmesindeki güçlükler nedeni ile tasarımları güç yapılarıdır. Tünel geometrisinin değişkenliği, destek elemanlarının özel durumları, kaya yapısı ile kaya-zemin ortamın birbirleriyle olan etkileşimi, yük dağılımının karmaşıklığı, tünel açım yönteminin gerilme dağılımına etkisi gibi faktörler de problemin güçlüğünü artıran etkenlerdir.

Yukarıda ana hatları ile özetlenen tüm bu belirsizlikler içinde ve özellikle tünel açılmadan mühendislik jeolojisi verileriyle tünel tasarımı yapabilmek için tek bir yöntem yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, tünellerin yapısal tasarımında amprik yöntemler, analitik yöntemler ve sayısal yöntemler olmak üzere başlıca üç farklı yaklaşımdan yararlanılır.

Açılan tünellerin gözlenmesi sonucu kazanılan deneyimlere dayandığından amprik yöntemlerde kaya kütlesinin kalitesi ve duraylılığı sınıflandırılarak önceden benzer nitelikteki kaya ortamlarda denenmiş destek sistemlerine geçilir **(Bieniewski, 1984)**. Yaygın olarak kullanılan kaya sınıflama yöntemleri Barton' un geliştirdiği Q sistemi ve Bieniawski' nin geliştirdiği RMR (Rock Mass Rating) Jeomekanik Sınıflamadır. Tünel geçkisinin yer aldığı kayanın niteliği, çatlak sistemi ve koşulları, yeraltı suyunun bulunması gibi özelliklerini sayısal olarak değerlendirerek sınıflandıran bu sistemlerin yanısıra, kayanın tüm davranış özelliklerini bir bütün olarak tanımlayan ve NATM sınıflaması olarak anılan ÖNORM B-2203 sınıflaması da, özellikle Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır **(Goodman, 1993, 2003)**. Tünel açımı sırasında yapılacak gözlemlere ve deformasyon ölçümlerine dayanarak denetlenen NATM sınıflaması, Bieniawski' nin belirttiği ve Lauffer' in de katıldığı gibi, Q ve RMR sınıflamalarını tamamlar niteliktedir **(Yüzer ve Vardar, 1986)**.

4.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Hapan Tünel' i giriş portalinde 1 adet, çıkış portalinde 1 adet ve geçki sondajı olarak iki adet olmak üzere toplam dört adet sondaj kuyusu açılmıştır. İncelenen sorunlu kesime ait fiziksel ve mekanik parametrelerin değerlendirilmesi için güzergah üzerinde yapılan en yakın sondaj (HTSK-4)' a ait deneylerin değerleri göz önüne alınmıştır.

Genelde koyu gri, siyah ve yeşil renkli andezit, dasit ve dasitik tüf, bazalt ve bazaltik anglomera litolojili sekiz adet deney numunesi üzerinde yürütülen deney sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo 4.1). En yüksek dayanım parametresi dasitlerde görülmektedir. En düşük dayanım ise atmosfer ve su etkisiyle hızla ayrışan bazalt ve bazaltik aglomeralarda görülmektedir. Bazalt numuneleri, çatlaklı ve çatlakları kalsit dolguludur.

Dasit litolojili numunenin ayırık kayaç özelliği gösteren kesimlerinde yapılan makaslama deneyi sonucunda elde edilen içsel parametreleri (c, Ø) bazalt numunesinin tüfleşmiş ayırık kayaç özelliği göstren kesimlerinde yapılan deneylerden elde edilen değerlere oranla daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar bazaltların taşıyıcı özelliğini büyük oranda yitirdiğini göstermektedir.

Tablo 4.1: H TSK-4 Sondajında Yapılan Fiziksel ve Mekanik Deneylerin Sonuçları

Numune Adı	Litolojik Tanımlama	S (MPa)	γ (g/cm ³)	E (GPa)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	ν
TSK-4 No: 020 314.40 355.50 m	Gri, yeşil orta-iri daneli andezit	63.83	2.49				
H TSK-4 No: 022 366.10 366.40 m	Gri, ince daneli camsı dokulu dasit	123.57	2.35	35.71	2.01	35.13	0.27
H TSK-4 No: 016 368.25 368.55 m	Gri, ince daneli camsı dokulu dasitik tüf	71.72	2.55				
H TSK-4 No: 017 372.75 373.05 m	Koyu gri, siyahımsı çok ince daneli bazalt	35.08	2.58				
H TSK-4 No: 015 375.70 375.90 m	Koyu gri, çok ince hamur içinde volkanik kırıntı içeren bazaltik aglomera	35.86	2.51				
H TSK-4 No: 019 378.30 378.55 m	Koyu gri, siyahımsı çok ince daneli bazalt	36.34	2.46		0.89	33.42	
H TSK-4 No: 021 383.20 383.60 m	Koyu gri, siyahımsı çok ince daneli bazalt, çatlakları kalsit dolgulu	41.19	2.40	15.00	1.34	30.54	0.21
H TSK-4 No: 018 386.30 386.55 m	Koyu gri, siyahımsı çok ince daneli bazalt	32.95	2.32				

4.4. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri

Bu bölümde kaya kütlelerinin mühendislik davranışlarını belirleyen süreksizlik düzlemlerinin çatlak aralıkları, çatlak açıklıkları, çatlak dolgu malzemesinin nitelikleri (EK 1), pürüzlülüğü ve konumları, oluşum koşulları açısından, irdelenerek tünel kaya sınıflamasına veri tabanı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Tünelin geçtiği inceleme alanı denizaltı volkanizmasının etkili olduğu ve yer yer de türbiditik kireçtaşlarının çökelmiş olduğu bir ortamdır. Litolojik birimler magmatik ve volkanik kayalar, volkanojenik fliş çökeltileri, ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Her iki tüp boyunca kesilen magmatik kayalar bazaltik, andezitik, dasitik tüflerdir. Açık-koyu gri, yeşilimsi, kimi düzeylerde pembemsi renkli andezitik tüfler kül (<4 mm) hamur içinde genelde lapilli (4-64 mm) boyutunda daneler içerir. Andezitik tüf özelliğindeki volkan külü ve piroklastik kırıntılar volkanizmanın plastik evrelerinde ısı ve basınç altında çökeltilmiş düzeylerde camsı doku sunar. Bu düzeylerde anılan birimin akma yapıları arasında camsı dokanak ilişkisi vardır. Bu düzeyler volkanizmanın sık aralıklarla ama bağıl olarak az kul ve kor kırıntıları püskürttüğü evrelerdir. Bu nedenle anılan düzeyler genelde laminalı ve kalın katmanlı (60-200 cm) tabakalanmalar içerir. Bu evrelerde volkanizma duraksama gösterdiğinden andezitik tüf çoğunlukla volkanojenik kumtaşı ve kireçtaşları ile ardalanmalı çökeltilmiştir. Bu oluşum sonucunda andezitik tüfün çökeliminde kendine eşlik eden diğer kayalarla olan süreksizlik düzlemlerinde camsı dokanak ilişkisi vardır.

Yukarıda sunulan oluşum koşullarının ürünü olan andezitik tüf genelde masif bir yapı sunar. Katman düzlemleri kalın (60-200 cm) ve düzlemler arası sıkı (0.1-0.5 mm)' dir. Katmanların üst yüzeyleri dalgalı ve çok pürüzlü bir yapı gösterir.

Volkanizmanın görece daha uzun evrelerde püskürme ürünü olan andezitik tüf, tabakalanma olarak on metreye varan kalınlıklar vermektedir. Bol volkanik malzemenin püskürtüldüğü bu evrelerde çökelin kalınlığı nedeniyle andezitik tüf, camsı doku ve akma düzlemleri arasında camsı dokanak ilişkisi göstermez.

Dalma batma bölgelerindeki tektonizmanın sonucu olan adayı volkanizması, bazı evrelerinde su içerir. Bu duruma bağlı olarak andezitik tüf kütlelerinin içinde

hidrotermal ayrışmalar görülmektedir. Ayrışma düzeyleri süreksiz ve cep şeklinde oluşmuştur. Bu düzeylerde hidrotermal ayrışmaya bağlı olarak çok yönlü kırılanmalar görülmektedir. Bu yapısal zayıflık zonları andezitik kütleleri dayanımının düşürmektedir.

Tünel geçkileri boyunca kesilecek olan aglomeratik kütlelerin daneleri andezitik tüflerden oluşmaktadır. Ancak dane boyu, hidrotermal ayrışma dereceleri, tutturulma oranları açısından andezitik tüflerden farklı mühendislik özellikler sunmaktadırlar. Aglomeralar, tüfit hamur içinde çakıl - iri çakıl boyutunda değişik volkanik kökenli kırıntılar içerir. Ayrıca, tüflere göre daha dayanımlı bir yapı göstermektedirler.

Andezitik tüflerde gözlenen cepler şeklindeki hidrotermal ayrışma, aglomeratik kütlelerde çok etkin değildir. Koyu siyah, koyu yeşilimsi bazaltik tüf en tipik yüzeylenmeleri giriş portalinin bulunduğu vadi içindedir. Bazaltik tüflerin volkanizmanın uzun aralıklı püskürme ürünü olan görece kalın düzeylerinde, bol miktarda içerdiği olivin mineraline bağlı olarak hidrotermal ayrışmanın etkileri yaygındır. Bu ayrışma türü andezitik tüflerde olduğu gibi belirli düzeylerde yoğunlaşmamasına karşın kütlenin dayanımını düşürmesi açısından belirgindir. Tünel güzergahı boyunca geçilecek çökel kayalar volkanik kökenli kumtaşı ve kireçtaşları ile temsil edilir.

Derin denizel ortam koşullarında gelişen kütle hareketlerinin ürünü olan ve çökeli mi doğrudan volkanizma kökenli bulunan volkanojenik fliş çökellerinin tünel boyunca kesilebilecek egemen üyesi volkanik kumtaşıdır.

Açık-koyu yeşil, yeşilimsi, açık gri volkanik kumtaşının en belirgin yapısı türbiditik akıntıların karakteristik özelliği olan dereceli tabaklanma göstermesidir. Volkanizmanın kısa aralıklı evrelerinde çökelen volkanik kumtaşı lamina ve kalın tabaka düzeyine varan kalınlıklarda komşu kayalarla camsı dokanak ilişkisi gösterir.

Volkanizmanın bağıl olarak uzun duraksama evrelerinde çökelen kumtaşı on metreye kadar kalınlık vermektedir. Bu düzeylerde kalınlığa bağlı olarak kendi içinde camsı dokanak ilişkisi göstermemektedir.

Açık-koyu gri, yeşilimsi, pembemsi renkler sunan kireçtaşları, pelajik ve türbiditik ortam ürünleridir. Bu iki farklı ortam inceleme alanında benzer mühendislik özellikler verdiklerinden her ikisi de kireçtaşı olarak adlandırılmıştır.

Volkanizmanın kısa aralıklı duraksama evrelerinde çökelen ve camsı dokulu piroklastik kayalarla ardalanmalı olan laminalı ve kalın tabakalı kireçtaşı anılan üyelerle kaynaklanması sonucunda camsı dokanak ilişkisi göstermektedir. Kireçtaşlarının sürekli olduğu ve tünel giriş ağzında 25-30 m kalınlıkta olduğu düzeyler volkanizmanın daha uzun aralılarla duraksama evrelerindeki türbidit akıntılarının ürünüdür. Bu jeolojik evrenin kireçtaşı kütleleri camsı dokulu olmalarına karşın, komşu kayalarla camsı dokanak ilişkisi göstermezler.

Giriş ağzı ve dolayında tipik yüzeylenmeler veren görece kalın bu kireçtaşlarında süreksizlik düzlemleri iyi gelişmiş, ince (6-20 cm) ve orta (20-60 cm) tabakalı ve bunları dik kesen iki eklem takımı ile temsil edilmektedir. Süreksizlik düzlemlerinin tümü, yüzeyde açık (2.5-10.0 mm) ve hemen derinde orta açık (0.5-2.5 mm)' tir. Bu durum vadilerde, akarsuyun aşındırdığı düzeylerde çok iyi gözlenmektedir. Eklem ve tabakalar dalgalı ve pürüzlüdür.

4.5. Güzergah Boyunca Geçilen Ortamın Kaya Sınıflamaları

Kaya sınıfları, tünel kazısının başlamasından önce ayna kazısındaki jeolojik yapının irdelenmesi sonucu yapılır. Ayna kazısındaki davranışı zamana bağlıdır. Bu nedenle belirlenen kaya sınıfı jeoteknik ölçüm sonuçları ve deformasyonların miktarına bağlı olarak revize edilebilir. Bu kaya sınıflaması ÖNORM B2203 kaya sınıflandırma sistemine göre belirlenen jeolojik koşullar ışığı altında yapılır. Değişen zemin şartlarına jeoteknik ölçüm istasyonlarından alınan sonuçlara ve deformasyon miktarlarına göre kaya sınıfının değiştirilmesi mümkün olmaktadır (Ayaydın, 2003).

Başlangıçta tek tüplü olarak tasarlanan Hapan Tüneli' nin jeoteknik araştırmalarına ilişkin çalışmalar bu alt bölümde derlenmiştir. İzleyen dönemde, genelde ülkemizin, özelde Doğu Karadeniz bölgesinin Karayolu taşımacılığına duyulan gereksinimin artması nedeniyle, bu proje yukarıda anılan adla ve aynı proje kapsamında bu kez çift tüplü olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1: Hapan Tüneli Çift Tüplü Tasarıma Ait Portal Yapısı

Çoğu ampirik ve özel tanımlara dayalı olmakla birlikte çok sayıda mühendislik jeolojisi parametrelerinin birleştirilerek sunulduğu daha geniş kapsamlı bağıntılar da vardır. Bunlar arasında en yaygını ve kullanışlısı tüneller için geliştirilmiş olan Q sınıflamasıdır (**Barton, 1976**).

Bu sınıflamada RQD dışında, Süreksizlik sayısı (J_n), Süreksizliğin pürüzlülük sayısı (J_r), Süreksizliğin ayrışma sayısı (J_a), Süreksizlikte su azaltma faktörü (J_w) ve Gerilme azaltma faktörü (SRF) adlı, herbiri kendine özgü çizelgeler kullanılarak saptanan sayısal değerlerin kaya niteliği,

$$Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF) \quad (1)$$

formülüyle belirlenmektedir.

Tünelin açıldığı kaya ortamın Q sınıflaması yapılmıştır. Ayrıca bu kaya sınıflamasına bütünleyici nitelikte olan RMR (Bieniawski) kaya sınıflaması da güncelleştirilerek kaya kütlelerine özgü içsel parametrelerinin (c ve ϕ) ve dayanım parametrelerinin (σ) daha duyarlı olarak belirlenmesi sağlanmıştır.

Aşağıda verilen tablolarda portal ve tünel kesimleri için kullanılan Q parametreleri verilmiştir.

Tablo 4. 2: Portal Kesimleri İçin RQD Oranları

	Giriş Portalı	Çıkış Portalı
RQD (%)	80	80
Jn	2x9 (2F)	2x6 (2E)
Jr	3.0 (3B)	3.0 (3B)
Ja	2.0 (3C)	4.0 (4F)
Jw	1.0 (5A)	1.0
SRF	0.954	1.098 (UCS: 55 MPa, h:33 m)
Q	6.90	4.50



Şekil 4. 2: Hapan Tüneli Yapım Aşamasında Girişi Portalı

Tablo 4. 3: Tünel Kesimleri İçin Q Parametreleri

	T-1 Tünel Kesimi	T-2 Tünel Kesimi	T-3 Tünel Kesimi	T-4 Tünel Kesimi	T-5 Tünel Kesimi	T-6 Tünel Kesimi	T-7 Tünel Kesimi	T-8 Tünel Kesimi	T-9 Tünel Kesimi
RQD (%)	90	100	100	100	100	90	100	100	90
J _n	6 (2E)	3 (2C)	3 (2C)	3 (2C)	3 (2C)	3 (2C)	3 (2C)	3 (2C)	6 (2E)
J _r	3.0 (3B)	3.0 (3B)	3.0 (3B)	3.0 (3B)	3.0 (3B)	3.0 (3B)	3.0 (3B)	3.0 (3B)	3.0 (3B)
J _a	2.0 (4C)	1.0 (4B)	0.75 (4A)	0.75 (4A)	0.75 (4A)	1.0 (4B)	1.0 (4B)	1.0 (4B)	1.0 (4B)
J _w	1.0 (5A)	1.0 (5A)	1.0 (5A)	1.0 (5A)	1.0 (5A)	1.0 (5A)	1.0 (5A)	1.0 (5A)	1.0 (5A)
SRF	1.017	1.802	3.019	4.501	5.424	15.567	11.231	7.513	3.413
UCS	100 Mpa	100 Mpa	100 Mpa	100 Mpa	100 Mpa	45 Mpa	50 Mpa	50 Mpa	50 Mpa
h	75 m	125 m	200 m	300 m	375 m	375 m	300 m	200 m	100 m
Q	22.10	55.40	44.1	29.60	24.50	5.70	8.90	13.30	13.10

Analitik çözümlerde kullanılan elastisite modülü gibi fiziksel parametreler RMR değerlerine bağlı olarak geliştirilen formüllerle ayrıca hesaplanabilmektedir. Kaya dayanımı, RQD ve süreksizlik aralıklarının değeri M-RMR' nı aşağıda belirtilen formülleri ile daha hassas olarak hesaplanmıştır.

$$I_{UCS} = 0.856\sigma_t^{0.515} \quad (2)$$

Burada;

I_{UCS} : Dayanım parametresi değeri

σ_t : Taş dayanımı (MPa)

$$I_{RQD} = 2.7 + 0.173RQD$$

I_{RQD} : RQD parametre değeri

$$I_s = 3.93J_s^{0.187} \quad (3)$$

I_s : Süreksizlik aralık değeri

J_s : Süreksizlik aralığı (mm)

Tablo 4. 4: Hapan Tüneli Kaya Sınıflaması (Temelsu, 1997b)

Q aralığı	$Q \leq 40$		$10 \leq Q < 40$					$4 \leq Q < 10$			
Q (hesap)	55.4	44.1	29.6	24.5	22.1	13.3	13.1	8.9	6.9	5.7	4.5
M-RMR (hesap)	75.89	75.89	75.89	75.89	69.19	71.14	66.48	71.14	65.75	66.40	59.31

Uygulama projesinde belirtilen bu değerler göz önüne alındığında tasarım derinliği 375 m olan sorunlu kesim için ön görülen NATM kaya sınıfı A2 olarak belirlenmiştir. Zamanla kırılğan ortamlarda uygulanan bu yöntem tünelin açımı sırasında kazı ve iksa sisteminin göz önünde bulundurulmasıyla kırılğan ve dökülen ortamı niteleyen B sınıfı yöntem kullanılmıştır. Ek 3 ile tüm NATM için kullanılan kaya sınıflarını özetleyen bir tablo sunulmuştur.

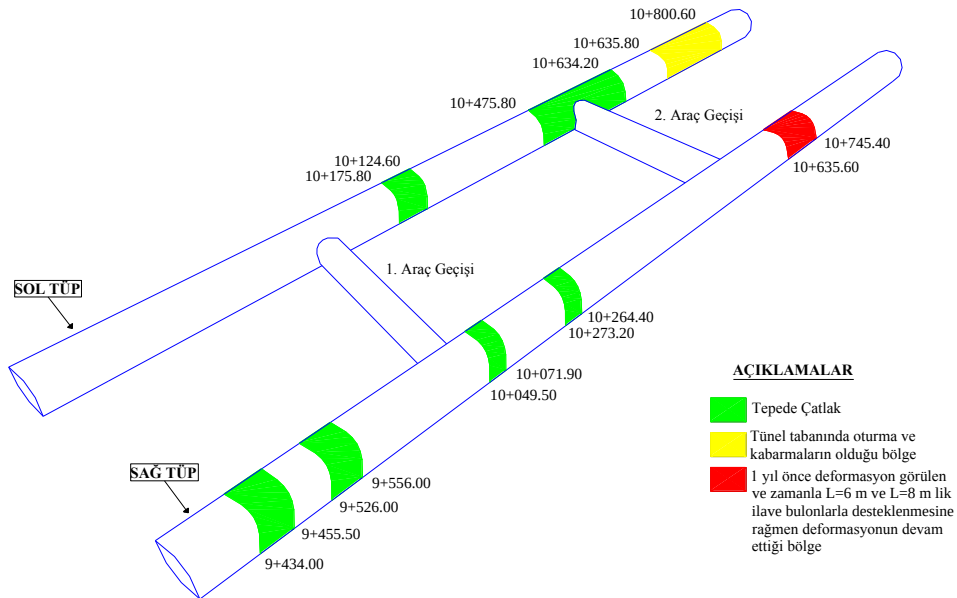
4.6. Güzergahının Mühendislik Jeolojisi ve Deformasyon Değerlendirmesi

Yol güzergahının geçtiği bölgede Üst Kretase yaşlı bazaltik, andezitik lavlar ve piroklastlardan oluşan volkanik birimler ile bunların üzerine yerleşmiş olan Üst Kretase–Eosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlı kayalar bulunmaktadır. Bu volkanik katkılı sedimanter seri litolojik birim olarak bazik özellikli volkanik lavlar (bazalt, diyabaz), bazik volkanik piroklastlar (andezitik-bazaltik tuf, breş, aglomera) ve sedimanter kayalar (kiltaş, çamurtaş, şeyl) içerir. Hapan Tüneli’ nin çıkış ağzında, litoloji yaygın olarak sert, sağlam, çatlaklı bazaltik lavlardan oluşmaktadır. Bu duruma karşın, giriş tarafında daha zayıf dayanımlı, yer yer sediment katkılı bazik piroklastlar (tuf, breş, aglomera) egemendir.

Bu piroklastik kayaç serisi içinde yer yer gri renkte, hafif ve gevrek yapıda andezitik tüflere de rastlanır. Bu birim kolayca ayırt edilebilen kesin dokanaklarla ayrılmamıştır. Düzensiz biçimde değişik seviyelerde ortaya çıkmaktadır. Hapan Tüneli’ nin ortam özellikleri ve jeolojik koşulları tünelin giriş ve çıkışında farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar litolojiye bağlı olmakla birlikte daha çok tektonizma ve beraberinde ayrışma sonucugelişmiştir. Kayanın dayanımı ve su gelişi çok kısa aralıklarla çok büyük değişimler göstermektedir. Genelde Hapan Tüneli’ nin giriş

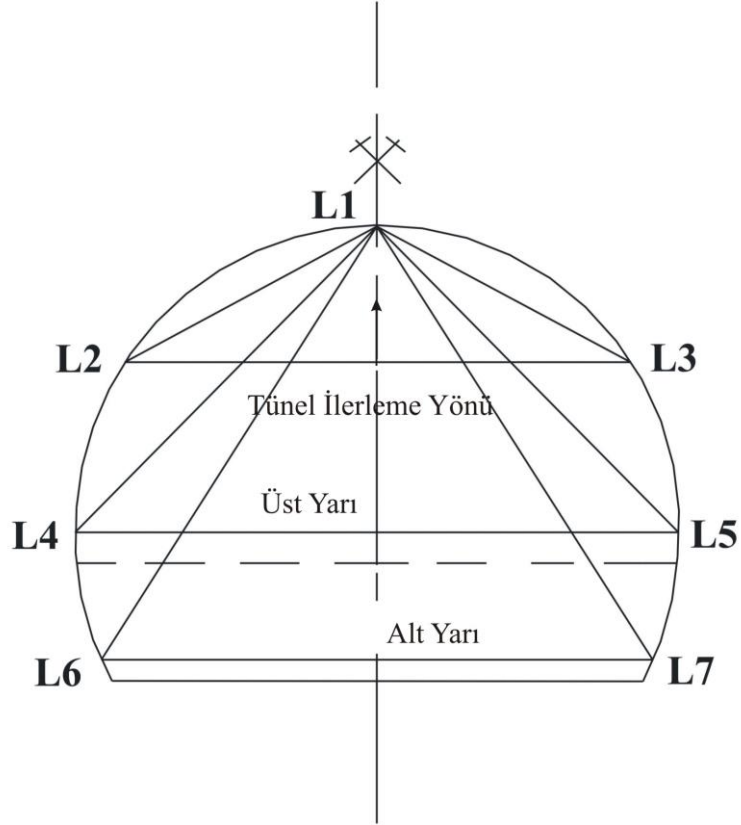
kısımında bazaltik-andezitik lapilli tuf-breş birimi içerisinde sedimanter blok parçaları ve bantları görülmüştür. Birim, genelde çatlaklıdır. Süreksizliklerin dolgu malzemesi kalsit ve kil olup kalınlıkları 1 mm – 15 cm arasında değişir. Açık ve aralanmış kırık ve çatlaklar da yaygındır. Bu durum, çatlaklar boyunca yeraltısuyunun dolaşımına izin vermektedir. Tünelin açımıyla gevşeyen bölgeler yeraltısuyunu toplayarak tünele yönlendirmekte, tünel bir su toplama galerisine dönüşmekte, tüfler giderek ayrışmakta ve killeşmiş zonların yük taşıma özelliği düşmektedir.

Yeraltındaki jeolojik durum ve koşulların ortaya konulabilmesi için 1:100 ölçekli mevcut kazı aynası kayıtları ve tutanakları her ilerleme adımı için teker teker haritalanmıştır. Haritalama işlemi için toplam sol tüp için 101 adet, sağ tüp için 35 adet ayna profili kullanılmıştır. Böylece tünelin sorunlu kesimine ait tünel düzeyi mühendislik jeolojisi haritaları ve boy kesitleri hazırlanmıştır (Ek 1 ve Ek 2). Hazırlanan bu haritalar, sağ tüp için km 9+434.80-9+455.50, km 9+526.00-9+556.00, km 10+049.50-10+071.90, km 10+237.20-10+264.40 ve km 10+635.60-10+745.40' ı ve sol tüp için de km 10+124.60-10+175.80, km 10+475.80-10+634.20, km 10+635.80-10+800.60 aralıklarını kapsar.



Şekil 4. 3: Hapan Tüneli Sorunlu Kesime Ait Deformasyon Göstergesi

Şekil 4.3 ile sunulduğu gibi Hapan Tüneli' nde görülen başlıca deformasyonlar tünel tabanında oturmalar, ve tavan ve omuzlarda görülen çatlaklardır. Deformasyonların daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için ölçüm istasyonları yerleştirilmiş ve bu ölçümler ana destek sisteminin zarar görmemesi için oluşturulacak iyileştirme projesine temel olmuştur. Ölçümler, Şekil 4.4 ile gösterilen konverjans noktalarından sayısal okuma yoluyla yapılmıştır. Ölçümlere ait grafikler Ek 4 ile verilmiştir.



Şekil 4. 4: Hapan Tüneli Deplasman Okuma Noktaları

Sağ tüp için de km 10+707, 10+713, 10+714, 10+718, 10+722, 10+727, 10+728, 10+733 ve 10+738 nolu anolarında 29.05.2002 ile 14.02.2004 tarihleri arasında önce sık, daha sonra artan aralıklarla tavan, omuz, yan ve taban noktalarında çapraz yer değiştirmeler ölçülmüş ve bu şekilde tünel duvarlarının kapanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu dokuz kesite ait deformasyon ölçümleri irdelenmek üzere tepe-omuz (L1-L2 ve L1-L3), tepe yan (L1-L4 ve L1-L5), tepe ayak (L1-L6 ve L1-L7) ile omuzlar arası kapanım (L2-L3), yan kapanım (L4-L5) ve ayak kapanımları (L6-L7) olmak üzere zamana bağlı deplasman miktarını veren grafikler şeklinde derlenmiş ve gösterilmiştir.

Aşağıdaki alt başlıklarda kazı aynalarına göre hazırlanan sol tüpün km: 10+683.00 ile 10+800.60 arasını ve sağ tüpün km: 10+693.10 ile 10+742.10 arasını yansıtan mühendislik jeolojisi değerlendirmeleri her bir tüp için ayrı olarak açıklanmakta ve sol tüpün sorunlu kesimlerinde ölçülen deformasyonlar irdelenmektedir.

4.6.1. Sol Tüp Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi

Hapan Tüneli' nin sol tüp güzergahında km: 10+699.80 ile 10+751.40 arasında süreksizlik açıklıkları 10–100 cm arasında değişmektedir. Bu durum yeraltı suyunun dolaşımını kolaylaştırmakta ve adı geçen bölümdeki birimlerin ayrışmasına neden olmaktadır. Yine sol tüp boyunca süreksizlik aralıkları 20–60 cm arasında değişmektedir. Süreksizlik devamlılığı sol tüp güzergahı boyunca 3–10 m arasında değişmektedir. Süreksizlikler kil ve kalsit dolguludur.

İncelenen güzergah boyunca tünel, KB-GD ve KD-GB doğrultulu faylarca kesilmiştir. Makaslama faylar şeklinde gelişen bu süreksizlikler, tünel güzergahının vadi tabanından geçtiğinden tünel açımı sırasında gerilme değişimleri sonucu litolojik birimlerin aşırı kırılanmalarına ve ezilmelerine neden olmuştur.



Şekil 4.5: Tüneli Tabanında Kabarmaların Gözlendiği Kesimler

Tünelin incelenen kesiminde kil ve tuf birimlerinin bulunduğu bölümlerden km: 10+691.40 ile km: 10+704.60 arasında kazı aynası değerlendirmelerinde su gelirine rastlanmaktadır. Ayrıca aglomeraların bulunduğu km: 10+785.00 ile 10+786.20 arasında yine kazı aynasında su gelirine rastlanmaktadır (Şekil 4.5).

Km: 10+683.00 ile 10+800.60 arasında alınmış olan 99 adet tünel ayna kesitlerinden çıkarılan tünel taban jeoloji haritası değerlendirildiğinde, sol tüpün incelenen kesiminde dört farklı birimin bulunduğu anlaşılmıştır.

Hapan Tüneli km: 10+683.00 ile 10+800.60 arası sol tüpte rastlanan Üst Kretase yaşlı başlıca volkanik ve piroklastik kayalar andezit, bazalt ve andezitik ve bazaltik tüflerdir. Bu birimlerden yeşil renkli bazaltlar özellikle km: 10+692.60 ile 10+719.00 arasında aşırı çatlaklanmış ve çatlakların arası kalsit ile dolmuştur. Bu yeşil-gri geçişli andezitik birimler kesin dokanaklar oluşturmadan birbirlerini üzerler şekildedir.

Güzergah boyunca km 10+683.00 ile 10+733.40 arasında volkanik birimlerin ezilmesi, ufalanması ve ayrışması sonucu ortaya çıkan orta sert ve yumuşak killi zonlara (milonitlere) rastlanmaktadır. Bunlar camsı dokulu bazaltların ve kalsit dolgulu kırıklı türevlerinin yeraltı suyu etkisiyle aşırı ayrışması sonucu oluşmuşlardır ve tünel tabanında km: 10+739.40 ile 10+765.80 arasında kil merceği olarak gözlenmektedir. Bu birimler tünel tabanında şişme, kabarma ve yarılmalara neden olmaktadır.

Sol tüpte km: 10+702.20 – 10+721.40 arasında kalan aşırı faylanmış bölgede tektonizma etkisiyle bazaltik birimlerin aşırı ezildiği zayıflık zonu oluşmuştur. Km: 10+768.20 – 10+776.60 arasında, sol tüpün kuzey duvarında aynı bazaltik birimin tektonizma etkisiyle kırıklandığı yerlerde aşırı sökümler gözlenmektedir. Andezitik ve bazaltik birimlerin birbirlerini üzerledikleri km: 10+797.20 – 10+803.00 arasında sol tüpün güney duvarında da benzer sökümler görülmektedir.

Ayna kayıtlarına göre sol tüp km: 10+702.20 ile 10+727.40 arasında tünel tabanında KD–GB doğrultulu sil yapısı olarak bazaltik lavlar ve ayrışmış türevlerini kesen dasit sokulumu gözlenmektedir. Sol tüpün incelenen kesiminde km: 10+770+60 ile 10+803.00 arasında volkanik birimleri tektonik dokanaklı aglomeralar

üzerlemektedir. Bu kısımlarda herhangi bir deformasyon ile karşılaşılmemiştir. Ancak su gelişi fazladır.

Km: 10+697.40' dan 10+726.20' ye kadar olan kısımda tavanda kavlaklar ve aşırı sökülmeler, km: 10+697.40'dan 10+777.80' e kadar değişik oranlarda etkili olan taban kabarmaları izlenmiştir. Taban kabarmalarının maksimum olduğu km: 10+711 ila 10+726 arasında sağ ayak da 20 cm' yi aşan deformasyonlar ölçülmüştür. Ölçülen değerler, tünel ekseninde daha da büyük değerlere ulaşmıştır.

4.6.2. Sağ Tüp Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi

Üst Kretase yaşlı, yeşil renkli bazaltik lavlar sağ tüpte km: 10+693.10 ile 10+703.60 arasında genelde çatlaklı ya da camsı dokuludur. Bu sağlam dokulu bazaltlar yine çatlaklanmış bazaltik lavlar ayrışma ürünleri killeri ile birlikte bulunmaktadır.

Sağ tüpte km: 10+696.10 ile 10+742.10 arasında andezitik ve bazaltik tüfler zayıf dayanımlı bir yapı sunmakta ve KB–GD doğrultulu bir fay boyunca killi birimlerden ayrılmaktadırlar.



Şekil 4. 6: Su ile Temasta Kabararak Tabandaki Grobetonu Kıran Andezitik ve Bazaltik Bileşimli Kil Bantları

Ayrışma ürünü killi ve siltli birimler su aldıklarında aşırı şişmekte ve tünel içinde deformasyona neden olmaktadır. İncelenen tünel kesimi boyunca rastlanan birimler yer yer çok fazla ayrılmış ve killeşmiştir. Tünel tabanının tamamına yakını killi ve siltli su ile temasında şişen litolojik birimlerden geçmektedir. Bu birimlerin üzerinde süreksizlikler ile sınırlanan andezitik ve bazaltik bileşimli kil bantları bulunmaktadır (Şekil 4.6).

Sol tüpün km: 10+711.10 ile 10+742.10 arasında kalan kesiminde bazaltik birimlerin üzerinde tektonik dokanıklı olarak aglomera görülmektedir. Bu kesimlerdeki aglomera yer yer çok çatlaklı-kırıklı bir yapı kazanarak dayanımını önemli ölçüde kaybetmiştir.

Hapan Tüneli' nin km: 10+693.10 ile 10+742.10 arasında kalan süreksizliklerin açıklığı 0.25-0.5 mm arasında değişmektedir. Süreksizlik aralığı 20-60 cm olup süreksizlik devamlılığı km: 10+693.10 ile 10+721.60 arasında 1-3 m, 3-10 m' dir.

Güzergah boyunca izlenen KB-GD doğrultulu faylar KD-GB doğrultulu faylar ile verev olarak kesişmektedir. Bu yapı, kil bantlarının aşırı ezilmesi sonucunda ezik zonlarının oluşmasına neden olmaktadır. Sağ tüp km: 10+713.00 İstasyon 91' de ölçülen maksimum deformasyon 11 cm ve yine sağ tüp km: 10+714.00 İstasyon 92' de ölçülen maksimum deformasyon 14 cm' dir. Bu deformasyonların gözlemlendiği bölümlerde tünel tabanında aşırı kabarmalar ve tavanda sökülmeler görülmektedir.

Hapan tünelinin güzergahının geçtiği vadi tabanında litolojik birimlerin tektonik kuvvetlerce kırıklandığı ve suyun dolaşımı sonucunda ayrışmanın arttığı gözlenmektedir. Yönlü kuvvetlerin etkisinde gelişen faylar KB-GD ve KD-GB doğrultularda birimleri kesmektedir. Bu yapısal durum, tünel geometrisinde deformasyonlara neden olmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7: Tavanda Görülen Ayrışma ve Kavlaklanmalar

Deformasyon ölçümlerinin sonucunda elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur. Sağ tüp km 10+633' den itibaren andezitik tüf biriminin egemen olduğu volkano sedimanter seride açılmıştır. Bu kesimde kazı Mayıs 2002 tarihinde yapılmış olup Haziran 2002 ayında okunan deformasyon değerleri normal sınırlar içinde (3-5 cm) çıkmıştır. Ancak sol tüpteki kazı çalışmalarının, sağ tüpün aynı kilometresine geldiği Temmuz-Ağustos 2002' de sol tüp kazı patlamalarının da tetiklemesiyle sağ tüpte andezitik tüfün ve fay zonunun yer aldığı 10+707-10+738 km arasında deformasyonlar oluşmuştur. Bu bölgedeki istasyonlara ait dikkate değer okumalar aşağıda verilmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4. 5: Sağ Tüp Ölçüm İstasyonları ve Deformasyon Değerleri

İstasyon No	Kilometre	Tarih	Deformasyon
90	10+707	28.06.2002	4 cm
		09.09.2002	7 cm
91	10+713	28.06.2002	4 cm
		28.07.2002	7 cm
		09.09.2002	11 cm
92	10+714	28.06.2002	5 cm
		28.07.2002	7 cm
		09.09.2002	14 cm

En fazla deformasyonun ölçüldüğü 10+714 km deki 92 nolu istasyonda 09.09.2002 tarihinde 14 cm lik bir değer okunmuştur. Tünel tavanında ve omuzlarda püskürtme betonda çatlama, kavraklanma ve dökülmeler oluşmuştur. B2 sınıfında açılmış bu kesimde stabiliteyi sağlamak için 6 m ve 8 m uzunluğunda ilave betonlar çakılmıştır. Ayrıca km 10+707-10+738 arasında 7 adet ilave deformasyon istasyonu tesis edilmiştir. Her istasyonda L4-L5-L6-L7 olmak üzere 4 adet konverjans noktası eklenerek daha detaylı ölçüm sağlamıştır. 22.05.2003 tarihinde yapılan okumalar değerlendirildiğinde son iki ayda oluşan deformasyonların dikkate değer olanları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4. 6: Sağ Tüp Ek Ölçüm İstasyonları ve Deformasyon Değerleri

İstasyon No	Kilometre	Konverjans Noktaları	Deformasyon
91A	10+713	L6-L7	0.7 cm
92A	10+718	L4-L5	1.1 cm
		L6-L7	1.4 cm
92B	10+722	L6-L7	1.2 cm
93A	10+727	L6-L7	0.9 cm
93B	10+733	L4-L5	0.9 cm
		L6-L7	0.9 cm

Tünel tabanına yakın yatay ölçümlerde (L6-L7) yaklaşık 1.4 cm ye varan değerler okunmuştur. Tünel tabanındaki andezitik tüfün killeşmesinden kaynaklanan bu durum, tünel çeperindeki hareketin kazının üzerinden yaklaşık 1 yıl geçmiş olmasına rağmen sönümlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla betonlamadan önce nihai değer olarak deformasyonun 2 mm den az olma koşulunun sağlanamadığı görülmektedir.

10 Mayıs 2003' te yapılan incelemede B3 sınıfında açılan km 10+640-10+780 bölgede tünel tabanında şişme, kabarma ve yarılmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan topoğrafik ölçümlerde kabarmaların 20 cm ye ulaştığı görülmüştür.

Tabandaki deformasyonların meydana geldiği bu kesime ait jeolojik ayna kesitleri incelendiğinde, zeminin yer yer killeşmiş andezitik tüften oluştuğu bu bölgede bir çok fay ve kayma düzleminin yer aldığı görülmektedir. Sağ tüpteki deformasyon yapan bölge ile aynı kilometreye tekabül eden tabandaki bu deformasyonların aynı zemin yapısından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Bu değerlendirmeler ışığında, Hapan Tüneli giriş tüpünde zayıf kaya niteliğindeki tüf-breş-aglomera egemendir. Bu birim çok kırıklı, çatlaklı ve faylanmalıdır. Yer yer kil içeren makaslanma zonları mevcuttur. Bu seri içerisinde en problemli litolojik birim beyaz renkte hafif ve gevrek yapıda andezitik tüftür. Orjinal yerinde sağlam kaya niteliğinde olan bu birim hava ve su temasında içerdiği feldispatların bozunması sonucu tamamen ayrışıp dağılmakta ve zamanla kil özelliği gösteren ayrık kayaç halini almaktadır. Bu birim sağ tüpte km: 10+640-10+750, sol tüpte km: 10+640-10+800 arasında yoğun olarak bulunmaktadır. Çıkış tüpünde yer alan andezit, bazalt formasyonunun çatlaklarından sızan sular, cazibe ile giriş ağzına aktığından söz konusu birimi olumsuz yönde etkilemektedir. Sağ tüpteki henüz sönümlenmeyen deformasyonlar ile sol tüpteki yeni oluşan tabandaki şişme ve kabarmaların, tünelin aynı kilometrelerinde oluştuğu ve aynı zemin cinsinden kaynaklandığı görülmektedir.

Hapan Tüneli km: 10+693.10 ile 10+742.10 arası sağ tüp taban jeolojisi 35 adet ayna tanımlamasına göre hazırlanmıştır. Güzergah boyunca bazalt ve andezit lavları ve bunların ayrışma ürünleri görülmektedir.

Km: 10+713, 10+714 ölçüm kesitlerinde, 29.05.2002 ile 09.09.2002 tarihleri arasında tepe-omuz (L1-L2 ve L1-L3), tepe yan (L1-L4 ve L1-L5), omuzlar arası kapanım (L2-L3) ve yan kapanım (L4-L5) arası deformasyonlar ölçülmüştür. Ölçüm kestlerine ait grafikler Ek 4 olarak verilmiştir.

Ölçüm değerlerine göre; km: 10+713 kesitinde maksimum deformasyon L4-L5 (yan kapanım) arasında 103. günde 11.2 cm dir. L1-L5 (tepe sağ yan) arasında ise deformasyon aynı süre içerisinde 7.8 cm olarak ölçülmüştür. 10+714 kesiti için ise maksimum deformasyon L4-L5 (yan kapanım) arasında 103. günde 14.8 cm ve L1-L4 (tepe sol yan) arasında 9.5 cm'dir. Bu kesitlerde arazideki gerilmeler, tüneli sağ ve sol yönlü olarak sıkıştırmaktadır.

Km: 10+728 kesitinde 28.05.2002 ile 09.09.2002 tarihleri, km 10+738 kesitinde ise 05.06.2002 ile 09.09.2002 tarihleri arasında, omuzlar arası kapanım (L2-L3), tepe-omuz (L1-L2 ve L1-L3) deformasyonları ölçülmüştür. Km: 10+728' de maksimum deformasyon L2-L1 ve L2-L3 arası çok benzer olup sırası ile 5.7 ve 5.6 cm'dir.

Km: 10+738 kesiti için ise maksimum deformasyon L2-L1 arası 6.8 cm, L2-L3 4.96 cm olarak belirlenmiştir. Bu kesitlerde arazi tüneli omuzdan ve özellikle sağ omuzdan sıkıştırmaktadır.

Yukarıda açıklanan ölçümler dışında, 21.09.2002-14.02.2004 tarihleri arasında ayrıca sürekli, ayrıntılı ölçümler yapılmıştır. Km: 10+707, 10+713, 10+718, 10+722, 10+727, 10+733 ve 10+738 kesitlerinde tepe-omuz (L1-L2 ve L1-L3), tepe yan (L1-L4 ve L1-L5), tepe ayak (L1-L6 ve L1-L7) ile omuzlar arası kapanım (L2-L3), yan kapanım (L4-L5) ve ayak kapanımlarına (L6-L7) ilişkin değerlendirmeler yedi farklı ölçüm kesiti için kısaca özetlenmektedir.

Km 10+707 kesitinde maksimum 440. günde L2-L3' de (omuzlar arası kapanım) 2.9 cm ve 441. günde L1-L3 (tepe sağ omuz) 2.6 cm, L1-L4'de (tepe sol yan) 2 cm deformasyon izlenmiştir. Km 10+713' te maksimum 511. günde L6-L7 (ayaklar arası kapanım) ve L2-L3 (omuzlar arası kapanım) 3.9 cm, L1-L6'da ise (tepe sol ayak) 2.5 cm deformasyon ölçülmüştür. Km 10+718' de maksimum deformasyon 441. günde L1-L5' de (tepe sağ yan) 3.7 cm ve 511. günde L6-L7' de (ayaklar arası kapanım) 8 cm, L4-L5' de (yan kapanım) 5 cm'dir. Km 10+722'de maksimum 441. günde L1-

L5 (tepe sağ yan) 4.2 cm ve 511. günde L6-L7 (ayaklar arası kapanım) 6.4 cm, L4-L5 (yan kapanım) 5.1 cm deformasyon ölçülmüştür. Km 10+727 kesitinde maksimum deformasyon 511. günde L6-L7' de (ayaklar arası kapanım) 5.5 cm, L4-L5' de (yan kapanım) 4.5 cm ve L1-L7' de (tepe sağ ayak) 2.8 cm' dir. Km 10+733' de maksimum deformasyon 511. günde L6-L7 (ayaklar arası kapanım) 5.7 cm, L4-L5 (yan kapanım) 4.4 cm, L1-L7' de (tepe sağ yan) 2.8 cm ve L1-L6' da (tepe sol ayak) 3 cm' dir. Km 10+738 kesitinde maksimum deformasyon ve 441. günde L1-L2 (tepe sol omuz) 4.1 cm ve 511. günde L6-L7 (ayaklar arası kapanım) 4.4 cm, L4-L5 (yan kapanım) 4.3 cm ölçülmüştür. Bu kesitlerde tünel her yönde sıkışmakta ve bu etki özellikle omuzlarda ve yan duvarlar ile ayaklarda görülmektedir.

Deformasyon ölçümlerinin de gösterdiği gibi her iki tüpte de litolojiye, arazi yüküne, yatay ve düşey gerilmelere, süreksizlik sistemine bağlı olarak yüzey sularının tünel içine sızmasına bağlı olarak zamana bağlı deformasyonlar görülmektedir. Gözlemlenen mevcut deformasyonların zaman içinde artması sonucunda kurulan ek ölçüm istasyonlarında da yeni deformasyonların gözlenmesi sonucunda sağ tüpte Km: 10+700 - 10+738 arası, uygulama projesinde belirtilen A2 kaya sınıfı terk edilerek B2 destek sınıfı uygulanmıştır. Tarama ve ek destek çalışmaları sonucunda tüplerdeki deformasyonlar tolerans limitlerinin altına inmemiştir.

4.7. Su Durumu

Su durumunun belirlenmesi için izleyen alt başlıklarda yerüstü ve yeraltı su koşulları açıklanmıştır. Tünel güzergahının geçtiği vadi tabanlarını kesen fay ve kırık sistemlerine bağlı oluşan doğal drenaj ağı yeraltı sularına ek olarak yüzey sularını ve güzergah boyunca Bolaman yönünde akan Çalışlar deresini de tünelin taban kotlarına kadar toplamaktadır.

4.7.1. Formasyonların Su Taşıma Özellikleri

Önceki bölümde ayrıntılı oluşum koşulları ve mühendislik tanımları verilen kayaçların su taşıma özellikleri incelendiğinde aşağıda belirtilen somut hidrojeolojik koşullar ortaya çıkmaktadır. Magmatik kayaçların camsı doku ve camsı dokanak ilişkisi gösteren piroklastik üyeleri pratik anlamda geçirimsizdir. Bu anlamda akifer

olma özellikleri yoktur. Diğer yandan piroklastik kayaçların volkanizmanın uzun aralıklı duraksama evrelerinin ürünü olan ve görece daha kalın düzeyler sunan kesimlerinde ayrışmaya bağlı yerel geçirimli bölgeler oluşmuştur. Ancak bu bölgeler alttan ve üstten geçirimsiz birimlerle kuşatıldığından piroklastiklerin anılan düzeyleri kütle içinde uzun süreli su taşımaz. Özdeş durum piroklastiklerin hidrotermal ayrışmadan etkilendiği zonlar için de geçerlidir.

Volkanik kumtaşı, tünelin birçok kesiminde çevre kayaçlarla camsı dokanak ilişkisi içindedir. Bu nedenle geçirgen olan bu birim geçirimsiz piroklastik kayaçlarla kuşatıldığı için su ile ilintisi kesilmiştir.

Volkanizmanın uzun aralıklı duraksama evrelerinin ürünü olan tünel giriş ağzında 25-30 m arası kalınlık veren kireçtaşı tabakalarının akifer olma özellikleri olmasına karşın geçirimsiz birimlerle çevrelendiği için su ile doğrudan ilişkisi olamaz.

Sonuç olarak; tünel geçkisi boyunca kesilecek olan kaya kütleleri senklinal oluşturmaya karşın kütlelerin görece geçirgen birimleri geçirimsiz birimlerle çevrelendiğinden ve süreklilik göstermediğinden tünelde yeraltısuyunun etkisinden çok çatlak suyundan söz edilmelidir.

Tünel açımı sırasında kayıt edilen günlük kazı aynası tutanaklarında belirtildiği gibi her iki tüpte de, özellikle ezik zonlarda ve killi birimlerde, yüksek debili (>2 litre/s) su geliri ölçülmüştür. Bu durum tüfler ve aglomeralar gibi su ile temas halinde ayrışan ya da zamanla dayanımını büyük ölçüde kaybeden ya da şişen birimlerde tünelin stabilitesini bozmakta, taban kabarmalarına ve aşırı konverjansa neden olmaktadır. Bu bakımdan suyun kesinlikle tünel ayaklarından uzaklaştırılması ve tünel tabanının olabildiğince kuru tutulması gerekmektedir.

Volkanik ve tortul birimlerin camsı dokanak düzlemleri arasındaki az çatlaklı kesimlerde geçirimsiz seviyeler vardır. Az geçirimli seviyeler ise birimlerin iki çatlak düzlemi içerdiği kesimlerde bulunur. Çok kırıklı zonlarda geçirimli seviyeler vardır.

Magmatik kayaçların camsı dokanak ilişkisi gösteren piroklastik üyeleri pratik anlamda geçirimsizdir. Bu anlamda su taşıma özellikleri yoktur. Öte yandan piroklastik kayaçların volkanizmanın uzun aralıklı duraksama evrelerinin ürünü olan

ve görece daha kalın düzeyler sunan kesimlerinde ayrışmaya bağlı yersel geçirgen zonlar oluşmuştur. Ancak bu zonlar alttan ve üstten geçirimsiz birimlerle kuşatıldığından piroklastiklerin anılan düzeyleri kayaç içinde sürekli dönüşümlü su taşımaz. Özdeş durum piroklastiklerin hidrotermal ayrışmadan etkilendiği zonlar için de geçerlidir.

Volkanik kumtaşı tünelin çoğu kesimlerinde diğer kayaçlarla camsı dokanak ilişkisi içinde geçilmiştir. Bu nedenle geçirgen olan bu birim geçirimsiz piroklastik kayaçlarla kuşatıldığı için su ile iltisapı kesilmiştir ve tünele su taşıma olasılığı yoktur.

Volkanizmanın uzun aralıklı duraksama evrelerinin ürünü olan tünel giriş portalında 25 – 30 m izlenebilir kalınlık veren kireçtaşlarının su taşıma yetileri olmasına karşın geçirimsiz birimlerle çevrildiği için su ile doğrudan ilişkisi olamaz. Derin sondaj kuyularında sondaj suyu ile yeraltısuyu karıştırmamak için yeraltısuyu ölçümleri, çok geniş aralıklarda, örneğin 25 – 30 m gibi yapılmış ve sonuçta ölçülen su düzeylerinin kuyu derinliğine koşut (paralel) düştüğü belirlenmiştir **(Temelsu, 1997a)**.

Bolaman yönünde akan Çalışlar vadisi ile Ordu yönünde akan Ağcaova vadisi kimi kesimlerde çok derinde oyulmuş vadilerdir. Bu vadiler tünelde kesilecek jeolojik birimlerin su taşıma özelliklerini bir laboratuvar zenginliği içinde sunmaktadır. Anılan iki vadiye yapılan yüzey jeolojisi çalışmalarında bu vadilerin tabanında ve tünel kayasını oluşturan birimlerin üst yükseltilerinde pınarlara rastlanmamıştır.

4.7.2. Kaynaklar

Bolaman yönünde akan Çalışlar vadisi ile Ordu yönünde akan Akçaova vadisi bazı kesimlerinde çok derin oyulmuş vadilerdir. Çalışlar ve Akçaova Dereleri' ne su sağlayan kaynakların hidrojeolojik özellikleri izleyen paragraflarda belirtilmiştir.

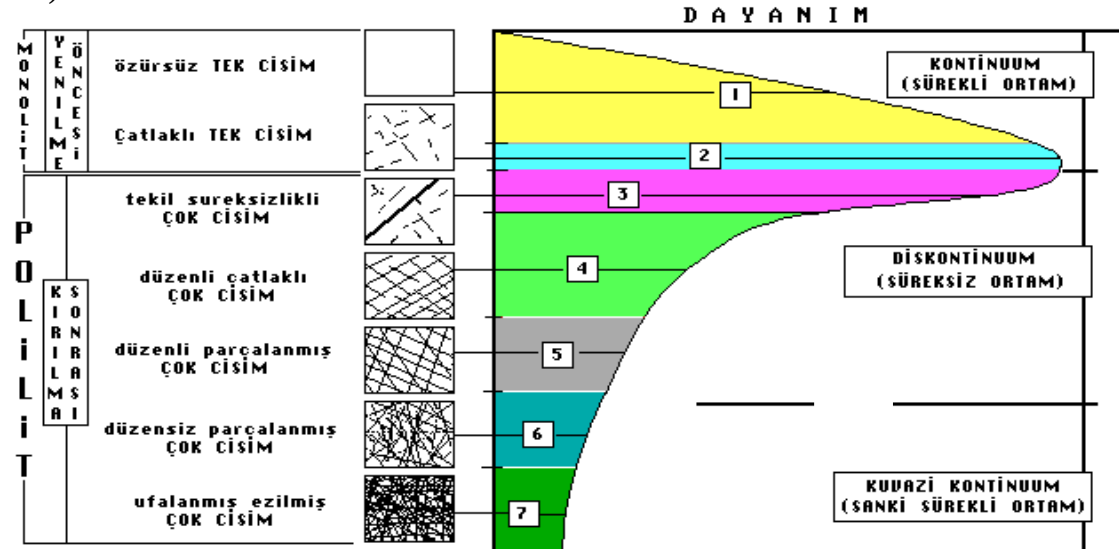
İçinde çoğunlukla piroklastik kayaçlar içinde değişik kalınlıkta ve camsı dokanak ilişkisi sergilemektedir. Bu nedenle kireçtaşının bahsi geçen düzeylerinin su taşıma olasılığı yoktur.

Anılan iki dere de tuf hamur içinde mikro gabro blokları içeren ve proje alanı ile yakın yöresinde birçok alanda üst yükseltileri oluşturan düzeylerden boşalan sularla beslenmektedir. Bu düzeylerin altında genellikle camsı dokulu andezitik kütleler bulunmaktadır. Bu anlamda proje alanının üst kotlarında boşalan kaynaklar yamaç döküntüsü kaynaklarıdır (Temelsu, 1997a).

4.8. Tünel Duraysızlıklarına İlişkin Analizler

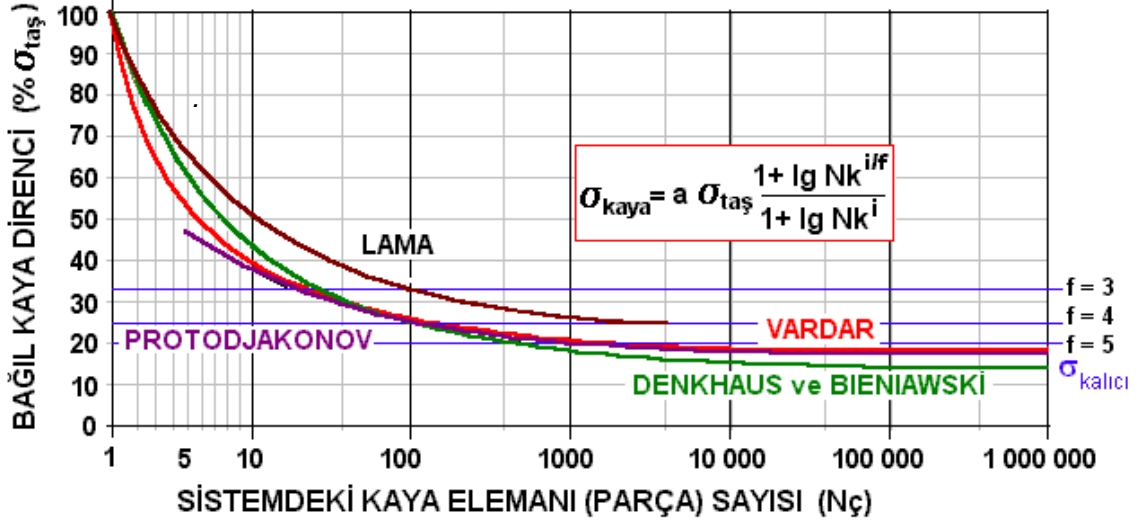
Sorunlu tünellerde açım süresince ölçülen konverjansı ve izlenen diğer duraysızlıkları, tutulan litolojik bilgilerin ve yapısal özelliklerin kullanıldığı hesaplama modelleriyle açıklamak ve daha sonra bunlara dayanarak yeni çözümler geliştirmek en doğru ve kullanışlı yol olarak benimsenmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda laboratuvar deneyleri sonuçlarının kayaya aktarılamıyacağı ve kayanın her yeni ortam ve koşulda her yeni teknik girişim için yerinde kendine özgü mekanik parametreler göstereceği saptanmıştır. Bu duruma bağlı olarak da sistem büyüklüğüne bağlı olarak kırılma öncesi, sırası ve sonrasında kaya ortam farklı davranışlı olacak ve farklı dayanım parametreleri sunacaktır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Kaya Mekanikinde Aynı Ortamın “Sistem Büyüklüğü”ne Bağlı Olarak Farklı Şekilde Davranmasının Post-Failure Davranışı ile Açıklanması (Vardar, 2002)

Mevcut proje deneyimleri ile de uyum içindeki bu sonuçlara ilişkin ilk bağıntı, çok sayıdaki model deney ve arazi çalışmalarına dayalı olarak geliştirilmiştir (**Vardar, 2002**).



Şekil 4.9 : Tek Eksenli Basınç Dirençlerine Bağlı Olarak Taş-Kaya İlişkisi (Vardar, 2002)

Şekil 4.9’ da belirtildiği gibi bağıl kaya direncinin % 80 azalmasıyla sistemdeki kaya elemanı sayısı sonsuza gitmektedir. Buna bağlı olarak bağıl kaya direncinde ise bir değişim görülmemektedir.

$$\sigma_{arazi} = a \times \sigma_{lab} \frac{1 + \lg (N_k)^{i/f}}{1 + \lg (N_k)^i} \quad (4)$$

Bu eşitlikte

- σ_{arazi} : Kayanın arazide beklenen tek eksenli basınç direnci (σ_{kaya})
- σ_{lab} : Laboratuvar örneğinin deneyde belirlenen tek eksenli basınç direnci ($\sigma_{taş}$)
- a : Anizotropi yükleme yönüne bağlı olarak azalan dayanımın oransal değeridir.
($0.2 \geq a \leq 1$)
- N_k : Teknik girişimden etkilenen alandaki parça (birim kaya elemanı) sayısı
- i : Heterojenlik sayısı
- f : Direnç düşüm sayısı ($3 > f < 40$) dır.

σ_{lab} ve a , yönlü örneklerin kullanıldığı tek eksenli basınç direnci deneyleri ile laboratuvarla kolayca belirlenebilirken i ve f için daha özel deneylere ihtiyaç duyulur. Bunların başında yenilme sonrası (Post failure) deneyleri gelmektedir.

Anizotropi sayısına ise yönlü örneklerde elde edilen tek eksenli basınç dirençlerinin karşılaştırılması ile ulaşılır. Tabakaların etkisinin görüldüğü durumlarda ölçülen en küçük direncin en büyük dirence oranı a' yı vermektedir.

$$a = \sigma_{min} / \sigma_{max} \quad (5)$$

Belirgin süreksizliklerin bulunduğu ortamlarda anizotropi sayısı saptanırken süreksizliklerin ve taşın yenilmesi için gereken asal gerilme oranlarının karşılaştırılması gerekir. Bu durumda anizotropi, $n = \sigma_{2,3} / \sigma_1$ olmak üzere

$$a = n_{süreksizlik} / n_{taş} \quad (6)$$

şeklindedir. Mohr hipotezi gereği, asal gerilme oranının içsel sürtünme açısından hareketle belirlenmesi de mümkün olduğundan $n = \sigma_{2,3} / \sigma_1$ ilişkisi

$$n = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi) \quad (7)$$

bağıntısı kullanılarak da bulunabilir. Ancak bu durumda da taşın ve süreksizliklerin içsel parametreleri, 3 eksenli deneyler ve kesme kutusu deneyleriyle saptanmış olmalıdır. Araştırmalar anizotropi sayısının 0.2 ila 1 değerleri arasında değişebileceğini göstermiştir. Ayrıca; taşın asal gerilme oranlarının 4' den küçük olduğu durumlarda anizotropi etkisinin azaldığı ve a değerinin giderek 1' e yaklaştığı gözlenmiştir. Buradan çıkarılacak sonuç, dayanımı düşük kayalarda ve ayrışma zonlarında yön bağımlı davranışların çok sınırlı olabildiğidir.

Laboratuvar deneylerinde elde edilen Post failure eğrileri incelendiğinde, kayaç türlerinin kalıcı (rezidüel) dayanım için belirleyici olduğu anlaşılmıştır. Yüksek dirençli gevrek kayalarda, kırılma sonrasında elde edilen rezidüel dayanım, oransal olarak çok büyük düşüş göstermiş, daha zayıf ve plastik davranışlı kayalarda ise bu düşüş daha sınırlı kalmıştır.

Sonuçta; post failure davranışının asimptotu şeklinde de ifade edilebilecek olan bu direnç düşüm faktörü “f” için kullanılabilir değerleri içeren bir çizelge (Tablo 4.7) hazırlanmıştır.

Tablo 4. 7 : Farklı Kayaç Türleri İçin Post Failure Deneylerinde Elde Edilen Direnç Düşüm Değerleri

Kayaç Türü	Direnç düşüm sayısı “f”
Obsidiyen	>40
Kuvarsit	30-40
Granit	25-35
Bazalt	20-30
Kumtaşı	15-25
Kireçtaşı	12-20
Marn	8-15
Kiltaşı	3-12

Arazide beklenen kaya direncini veren (5) nolu bağıntı, daha sonraki çalışmalarda projedeki kazı boyutlarını ve mühendislik jeolojisi parametrelerini öne çıkaran anlayışlarla geliştirilmiştir (Vardar, 2002).

$$\sigma_{arazi} = a \times \sigma_{lab} \times \frac{1+2i / f \times \lg (SB k)}{1+2i \times \lg (SB k)} \quad (8)$$

Bu denklemde

k : eşdeğer çatlak sıklığı (k_{Stini})

SB : Sistem Büyüklüğü olup yeraltı açıklığının 8 katı kadardır.

$$SB = 8 D^{\phi} \quad (9)$$

D^{ϕ} : Yeraltı açıklığının eşdeğer çapı (kazı açıklığının ortalama çapı) dır.

i ve f değerleri için de Barton ve Müller yaklaşımlarından alınan değerlerin kullanıldığı yeni bağıntılar geliştirilmiştir.

Buna göre:

$$i = \kappa J_R (J_A)^{0.5} \quad (10)$$

ve

$$f = \text{SRF} \tan \phi \quad (11)$$

olacak şekilde belirlenmiştir.

Kayanın yük taşıma direncinin bilinmesi, tünel hesapları için yetersiz kaldığından, çatlaklanma ve kırılanmanın etkisiyle içsel parametrelerdeki değişimlerin de yeni bağıntılarla somutlaştırılması gerekmektedir. Bu kapsamdaki çalışmalar kayanın teknik kohezyonunun

$$c_{kaya} = c_{lab} i^{0.5} \sigma_{kaya} / \sigma_{lab} \quad (12)$$

ve sürtünme açısının

$$\phi_{kaya} = 90 - ((2 \arctan (2 c_{kaya} / \sigma_{kaya})) \quad (13)$$

eşitlikleriyle verilebileceğini göstermiştir.

Dış etkilere bırakılan kayanın içsel parametrelerinin zaman, su ve psödoplastikleşme etkisiyle alabileceği son değerler için ise Barton ve Bieniawski parametreleriyle:

$$\phi_{rez} = \phi_{kaya} J_W RMR_{final} / RMR_{basic} \quad (14)$$

ve

$$c_{rez} = 0.018 c_{kaya} \quad (15)$$

bağıntıları geliştirilmiştir.

Yukarıda değinilen bilgiler ışığında Hapan Tüneli' ne ait laboratuvar parametreleri oluşturulacak sonlu elemanlar hesap kesitine jeomekanik veri tabanı oluşturmuştur. **Oreste (2004)**' nin de belirttiği gibi bir kaya yapısının tasarımında ve inşasında kullanılacak uygun iksa tipinin ve yapım tekniğinin seçiminde, kaya kütlelerinin jeomekanik parametrelerini doğru anlamak ve yorumlamak son derece önemlidir. Tünelin imalatı süresince ve herhangi bir deformasyon problemiyle karşılaşıldığında, kazı aynası çevresinde ölçülen deplasmanların ve iksanın üzerine düşen yük miktarlarının geri analizlerinin yapılmasındaki temel amaç, kaya ortamın ilkel (primer) jeomekanik parametrelerinin kalibrasyonunu gerçekleştirmektir.

Phase2, sonlu elemanlar yöntemi, sınır elemanlar yöntemi ve bu iki yöntemin tekniklerini birlikte kullanan karma yöntemden istenilen yöntemi kullanarak yeraltı kaya yapılarının gerilme ve deformasyon analizini yapan bir yazılımdır. Program, Hoek yönetimindeki Toronto Üniversitesi Kaya Mühendisliği Grubu tarafından, tünellerin Hoek ve Brown' nun önerdiği yöntemlere göre tünel tasarımı için özel olarak geliştirilmiştir (**Hoek ve diğ., 1995**).

Sonlu elemanlar ile sınır elemanlar yöntemlerini birleştiren karma yöntem özellikle yeraltı kazılarında tercih edilir. Bu yöntemde, kazıyı çevreleyen kaya kütlesi sonlu elemanlar, kazı çeperi ile kazıya uzak olan bölge ise sınır elemanları ile modellenir. Bu teknikle elasto-plastik ve heterojen davranış gösteren kaya kütlesi, gerektiğinde süreksizlik düzlemleri ile birlikte ele alınabilir. Modelde kullanılan her eleman düğüm noktalarının koordinatları ile tarif edilen değişik geometriye ve izotropik malzeme özelliklerine sahip olabilir. Malzeme verileri; birim ağırlık, elastisite modülü, Poisson oranı, ayrık kayacın içsel sürtünme açısı ve kohezyon özellikleri ile önceki bölümlerde belirtilen dayanım ve kırılma parametreleridir.

Değişik sonlu elemanlar aynı modelde, her türlü geometriyi tanımlayacak ve yapısal sürekliliği sağlayacak şekilde bir araya getirilebilir. Modelde kullanılan nokta, eleman, malzeme sayısı, yükleme ve sınır koşulları ile ilgili hemen hemen hiç bir sınırlama yoktur. Analizde kullanılacak modelin büyüklüğü ve denklem sayısı tamamen yazılımın kullanıldığı bilgisayarın işlem yapabilme kapasitesine bağlıdır. Program, elemanlarda oluşan gerilme dağılımları ile asal gerilmeleri ve deformasyon miktarlarını, istenen kırılma kuramına göre plastikleşme bölgelerini ve güvenlik katsayılarını, her türlü yükleme ve kazı aşaması için ayrı ayrı olmak üzere, bilgisayar çıktısı veya grafik çizimler halinde sunar.

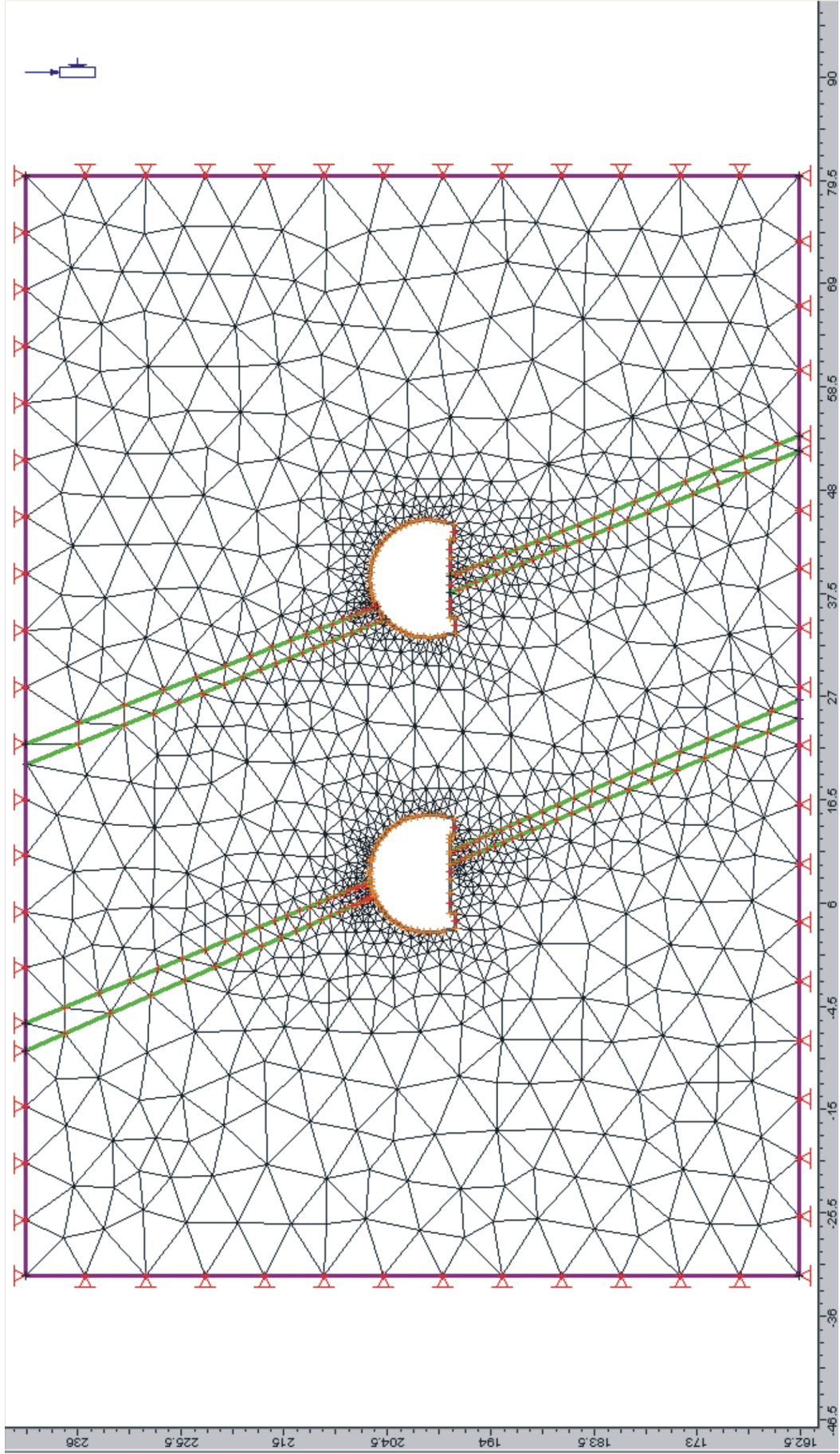
Tasarımı yapılacak olan tünelin sayısal modeli Phase2 programına, topografik yüzey veya etkili yük yüksekliği, tünel kesitinin son kazı sınırı, kazı aşamalarını gösteren iç sınırlar ve malzeme sınırları olarak tanımlanır. Destek sisteminde yer alan püskürtme beton veya iç kaplama farklı bir malzeme sınırı ile, bulonlar ise enjeksiyonlu, uç ankrajlı veya öngermeli olarak, kazı çevresi ve tünel eksenini boyunca iki yönlü uygulama aralıkları ile birlikte tanımlanır.

Aşamalı kazı yapılmasına sistemdeki gerilmelere göre karar verilir. Aşamalı kazılarda gerilmeler, kazı öncesi başlangıç gerilmelerinde yola çıkılarak ve istenildiğinde toplam veya herhangi iki kazı aşaması arasındaki gerilme farkı olarak hesaplanabilir. Destek sistemi de kazı aşamaları gibi gerekli görülen herhangi bir aşamada modele dahil edilmekte, püskürtme beton, bulonlar, öngermeli ankrajlar ve geri dolgu istenilen aşamada tanımlanabilmektedir. Destek sisteminin alacağı yük toplam yükün yüzdesi olarak tanımlanabilir, böylece ayırık kültelerin izin verilen deplasman sınırları içinde kendi kendisini taşımasına ve geri kalan yüklerin desteklere aktarılmasına olanak sağlanır.

Hapan Tüneli' nin sayısal modelleri, yukarıda belirtilen esaslar doğrultusunda, tünel-kaya karşılıklı etkileşimini gerçekçi olarak yansıtabilecek ve sonuçların hassasiyetini olabildiğince arttıracak şekilde hazırlanmıştır. Kullanılan beton ve kaya ortam elemanları özellikle gerilme yoğunlaşmalarının önemli olduğu kazı açıklığı çevresinde olabildiğince küçük seçilmiş ve yerleşim yönleri sistemde oluşacak asal gerilmelerin akış yönüne uygun olarak modellenmiştir. Modeller hazırlanırken, iki tünelin kazı aşaması ve destek sistemi uygulaması sırasında meydana gelebilecek en olumsuz gerilmeleri yaratacak koşullar düşünülmüştür.

Hapan Tüneli' ne ait geri hesap analizleri oluşturulurken sorunlu kesimde, 09.09.2002 tarihinde sağ tüpte, km: 10+714 92 No'lu istasyonda ölçülen 14 cm' lik deformasyon dikkate alınarak bir kesit modeli oluşturulmuştur. Aynı kesit eksenine doğrultusunda sol tüpte, tabanda 20 cm' ye ulaşan kabarmalar ölçülmüştür. Hesap adımlarında öncelikle uygulama projesindeki mevcut durum değerlendirilmiştir (Şekil 4.10).

Mevcut durumun sayısal modeli oluşturulurken B2 ile geçilen sağ tüp ve B3 ile geçilen sol tüp belirtilerek karma yöntem kullanılmıştır. Ayrıca tüplerin her birine fay zonu eklenmiştir. Karma model oluşturulurken kazı açıklığı topoğrafik yükseltinin 500 m altında seçilmiştir. Mohr-Coulomb kırılma koşuluna göre yapılan hesaplarda $E = 3500 \text{ MPa}$, $\nu = 0.2$ olarak seçilmiştir. Geri analiz modelinde 2448 adet eleman ve 1316 adet düğüm noktası kullanılmıştır. İlk durum değerlendirmeleri ileride sunulacak olan mekanik parametrelerin tesbitinde yardımcı olmuştur. İlk duruma ait gerilme ve deplasman grafikleri Ek 5 ile sunulmuştur.



Şekil 4. 10 : Hapan Tüneli İlk Durum Sayısal Modeli- Çift Tüp Çift Fay

Şekil Ek 5.1’ de görüldüğü gibi ters kemerli olmayan (invertsiz) kazı açıklıklarına ait tek eksenli basınç dağılımı her iki tüpte de yan duvarlarda yoğunlaşmaktadır. Gerilmeler özellikle tabanda invert kullanılmamasına bağlı olarak topuklarda ve tabanda artmıştır.

Şekil Ek 5.2, Şekil Ek 5.3 ve Şekil Ek 5.4 sırasıyla tünelde görülen yatay, düşey ve toplam yer değiştirmeleri göstermektedir. Şekil Ek 5.2’ de görüldüğü gibi kazı açıklığında, sol tüpte, tavanda sıkışma görülürken yan duvarlarda genişleme ve tabanda yine sıkışma görülmektedir. Yine sağ tüpte benzer koşullar görülmektedir. Bu duruma en fazla etki tüpleri kesen faylardır. Şekil Ek 5.3’ de görülen düşey yer değiştirmeler tünelin aynı zamanda topk ve tavandan kazı açıklığına doğru düşeyde de sıkışmakta olduğunu göstermektedir. Şekil Ek 5.4 yer değiştirmelere ait bu iki durumun bileşkesini sunmaktadır. Buna göre, her iki tüpte de düşey yönlü deplasmanlar tabanda kabarmalara ve tepe kavlaklanmalara neden olmaktadır. Ayrıca sol ve sağ tüpler yanal olarak deforme olmakta ve genişlemektedir. Yapılan hesaplamalarda maksimum 21 cm deformasyon görülmüştür.

Hapan Tüneli’ ne ait taştan kayaya geçişi sağlayan bağıntılar ve ilk duruma ait hesap modeli değerlendirildiğinde Tablo 4.8 ile verilen ortam parametreleri elde edilmektedir. Bu parametreler yenilme öncesi ve yenilme sonrası içsel parametreler ile her bir ortam için hesaplanan özgül ağırlık, Poisson oranı ve elastisite modülünü kapsamaktadır.

Tablo 4.8 : Hesap Analizlerinde Kullanılan Malzeme Parametreleri

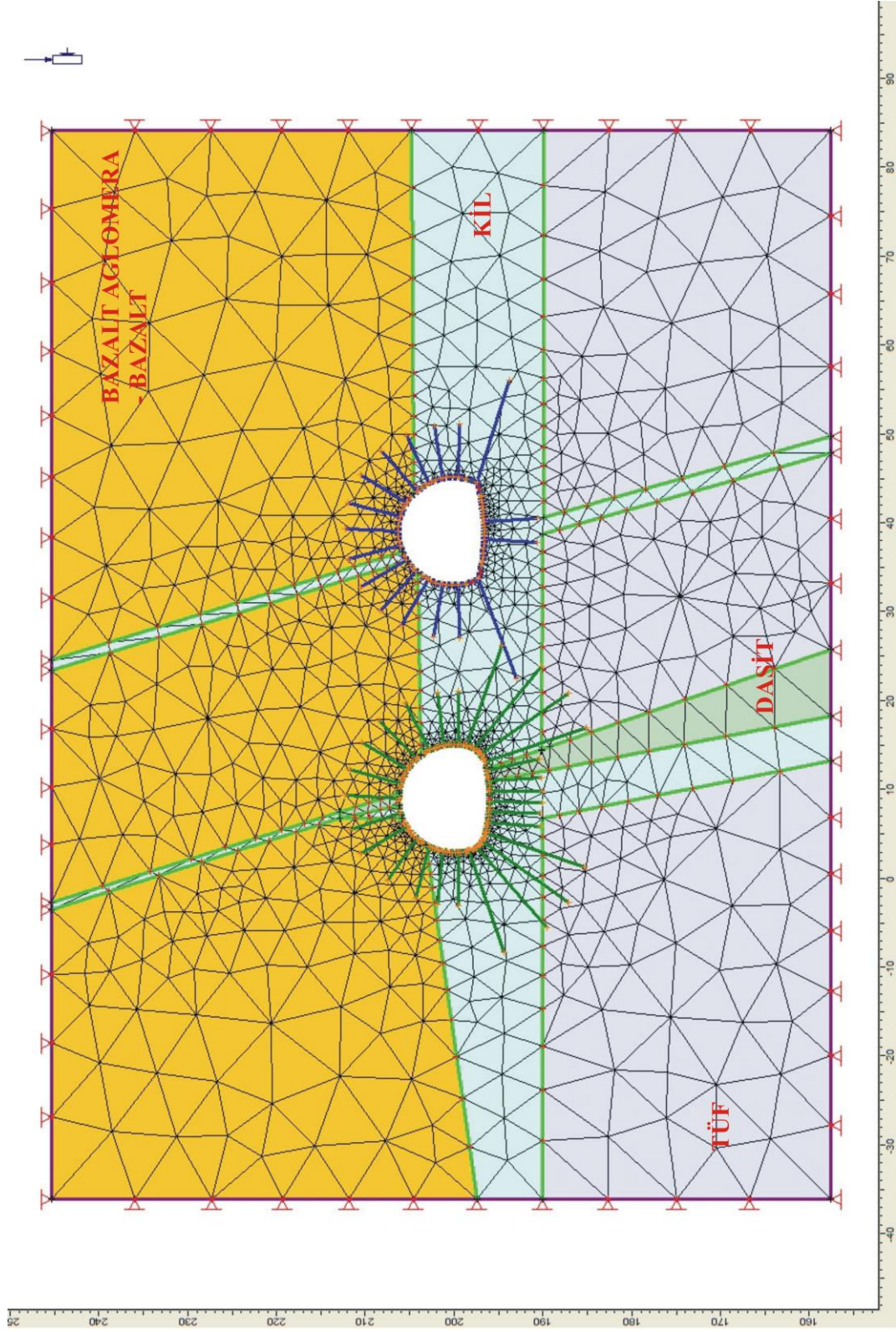
Litoloji	Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler						
	γ (MN/m ³)	$C_{elastik}$ (MPa)	$C_{plastik}$ (MPa)	$J_{elastik}$ (°)	$J_{plastik}$ (°)	E (MPa)	ν
Tüf	0.023	2.2	1.2	40	34	4300	0.25
Dasit	0.026	15	10	57	50	11000	0.21
Kil	0.019	1	0.1	22	13	3500	0.31
Bazalt Aglomera - Bazalt	0.025	3	2.2	50	42	6500	0.24

Hesaplanan bu parametrelerin de kullanılmasıyla tf, dasit, kil bazalt aglomera-bazalt olarak adlandırılan ve jeomekanik parametreleri belirlenmiş olan yeni bir hesap kesiti oluşturulmuştur. Hesaplamalar, sol tüpte B3 sınıfı, sağ tüpte B2' den B3' e geçiş olmak üzere km: 10+714' deki jeolojik verileri içeren bir ortam için yapılmıştır. Hesap analizlerinde kullanılan destek sistemleri malzeme parametreleri Tablo 4.9' da gösterilmiştir. Yapılan tüm hesaplamalarda bulon paternlerini oluşturan ilerleme adımları projede uygulandığı gibi alınmıştır (Emay, 2003).

Tablo 4. 9: Hesap Analizlerinde Kullanılan Destek Sistemleri Malzeme Parametreleri

İksa Türü	Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler					
	Kalınlık (m)	Kaya Bulonu apı (mm)	Kapasite (MN)		E (MPa)	v
			Taşıma Yükü	Kalıcı Taşıma Yükü		
Püskürtme Beton	B2 sınıfı için: 0.2				27000	0.2
	B3 Sınıfı için: 0.25					
elik İksa	0.12				310000	0.15
Kaya Bulonu		28	0.1	0.1	200000	

şekil 4.11' de geri-hesap analizleri için oluşturulan hesap modeli sunulmuştur. Topoğrafyanın 500 m altında seçilen kazı açıklığı daha önce de anılan ortamların bulunduğu modele yerleştirilmiştir. Ayrıca her iki tüpe ayrı ayrı fay yerleştirilmiştir. En yüksek deplasmanlar topuklarda olmuş, her tüpte 7 adet kaya bulonu yenilmiş, püskürtme beton dayanımını kaybetmemiştir. Yapılan analizler, sorunlu kesime ait verilere göre, tünelde görülecek en olumsuz koşulları yansıtmaktadır. Her iki tüpe de uygulanan püskürtme beton, ilave bulon ve elik iksa sistemleri sonucunda oluşan gerilme durumları, yer değiştirmeler ve yenilen bulonlar şekil Ek 5.6 ila şekil Ek 5.11 arasında sunulmuştur.



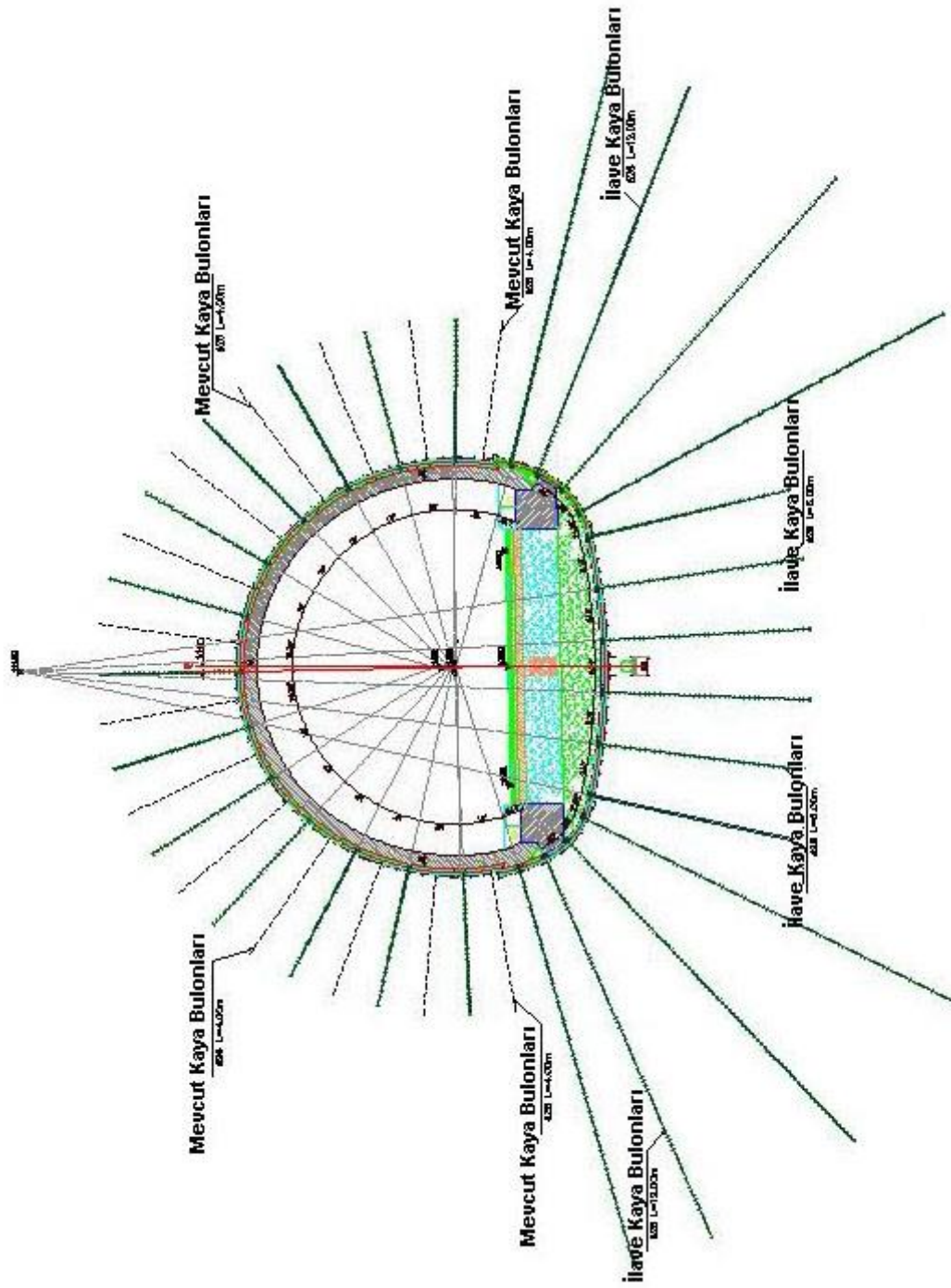
Şekil 4. 11 : Hapan Tüneli Sol Tüp B3 İçin, Sağ Tüp B2' den B3' e Geçiş İçin Sayısal Modeli - Çift Tüp Çift Fay

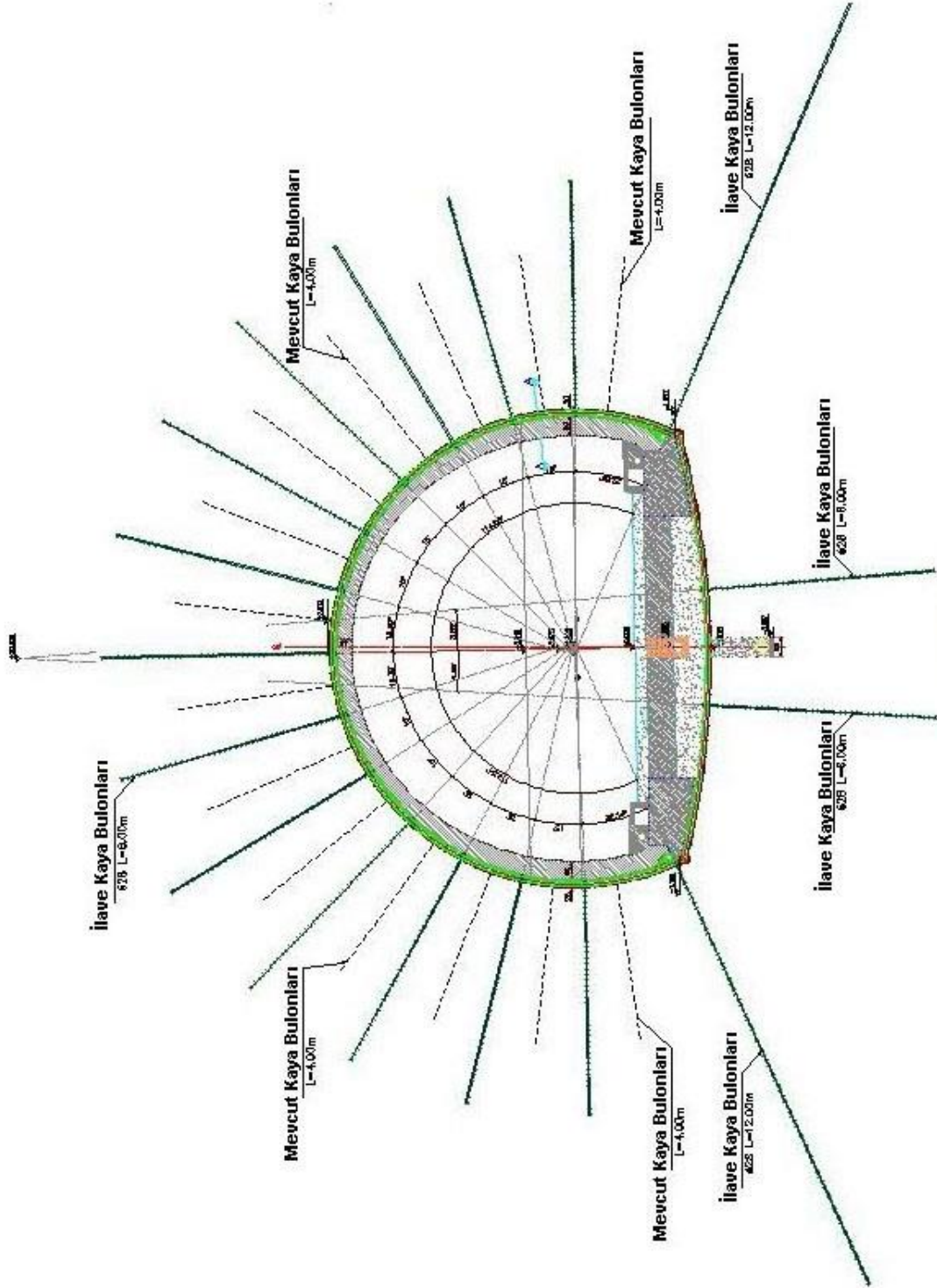
Şekil Ek 5.6' da görüldüğü gibi gerilme dağılımı sol ve sağ tüplerde topuklarda yoğunlaşmaktadır. Tavan ve tabanda ise gerilmelerin çok düşük değerlerde oldukları gözlenir. Şekil Ek 5.7' de tek eksenli gerilme durumunda yenilen bulonlar görülmektedir. Şekil Ek 5.8 yatay yer değiştirmeleri göstermektedir. Şekil 5.9 düşey yer değiştirmeleri göstermektedir. Şekilde görülen tavandaki deplasmanlar ve tabanda görülen kabarmalar yer değiştirme oranının ayırt edilebilmesi için abartılarak gösterilmiştir. Şekil Ek 5.10 toplam yer değiştirmeleri göstermektedir. Yine düşey yer değiştirmelerde olduğu gibi tavanda ve tabanda görülen deplasmanlar yer değiştirme oranının anlaşılabilmesi için abartılarak gösterilmiştir. Mevcut tüm bu verilerin kullanılması sonucunda Şekil Ek 5.11 yenilen bulon paternlerini göstermektedir. Bu ortam şartlarında desteksiz durumda görülen gerilme dağılımları yan duvarlarda ve topuklarda yoğunlaşmaktadır.

Tabanda ters kemer (invert) ile halka kapanımının sağlandığı desteklenmiş durumda gerilme dağılımlarının topuklarda yoğunlaşmadığı ve tabanda ve yan duvarlarda görülen deplasmanların da büyük ölçüde azaldığı görülmektedir. B2' den B3' e geçiş tip kesitinde tabandaki 2 adet kaya bulonunun, B3 tip kesiti için ise tabandaki 5 adet kaya bulonunun yenildiği görülmüştür. Yapılan hesaplamalarda maksimum deplasmanlar 2.2 cm olarak bulunmuştur.

Önerilen B2' den B3' e geçiş tip kesitinde ise bu anların arasında, mevcut püskürtme beton ve çelik hasırın kesilmesi ile yerleştirilen çelik iksa ve yeni bulon paternleri ile ters taban kemer bulunmaktadır. Kesilen çelik hasır ve kırılan püskürtme beton yeni malzeme ile tanımlanmaktadır. Böylece ardaalanmalı olarak üst yarıda bir eski bir yeni kesit oluşmakta, taban ise boydan boya ters kemerli imal edilmektedir. Kaya bulonlarının üçüncü boyuttaki birbirlerine olan uzaklığı B2' den B3' e geçiş tip kesiti için 1.5 m B3 tip kesiti için ise 1.2 m' dir.

Oluşturulan bu hesap kesiti sonucunda Hapan Tüneli' nde sorunlu kesim sol tüp km: 10+684 ila 10+804, sağ tüp km: 10+693 ila 10+741 arasında önerilen iyileştirme tip kesitleri aşağıda Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 ile sunulmuştur.





Şekil 4. 13: B2 Kaya Sınıfından B3 Kaya Sınıfına Geçiş İçeren İyileştirme Kesiti (Emay, 2003)

Hesaplamaların sonucunda elde edilen parametreler ışığında tünelin sorunlu kesimlerinde ters kemerli (invertli) sağlamlaştırılmış sol tüp için B3 sınıfı ile sağ tüp için B2 sınıfından B3 sınıfına geçişli rehabilitasyon işlemlerini kapsayan tip kesitler önerilmektedir (Şekil 4.12 ve 4.13).

B3 kaya sınıfı olarak tanımlanmış sol tüpte km: 10+684.00 – 10+804.00 arasındaki 120 m' lik kesim için önerilen tip kesitte alt yarı kazısı için tabanda boydan boya ters kemer (invert) kapanımı vardır. Tabanda ilave olarak 6 adet 6 m uzunluğunda kaya bulonları konulmuştur. Herbirinde üçer adet olmak üzere toplam 6 adet 12 m uzunluğunda ilave kaya bulonu topuklara eklenmiştir. Tepe, omuzlar ve yan duvarlara da 4 m' lik mevcut kaya bulonlarının arasına 4 m uzunluğunda 13 adet ilave kaya bulonu konulmuştur. Tünelin içine sızan su stabilite açısından önemli bir parametre olduğundan uygulama projesinde topuklarda tüm yükü taşıyacak şekilde tasarlanan ve yalıtımı kötü olan drenaj sistemi değiştirilmeli ve yeni bir sistem tünelin tabanından geçecek şekilde tasarlanmalıdır. Drenaj sistemi keçeye sarılı olmalı ve su yalıtım tabakası içermelidir.

B2 kaya sınıfından B3 kaya sınıfına geçiş olarak tanımlanmış sağ tüpte km: 10+693.24 – 10+741.24 arasındaki 48 m' lik kesim için önerilen tip kesitte alt yarı kazısı için tabanda boydan boya ters kemer (invert) kapanımı uygulanmalıdır. Tabanda ilave olarak 2 adet 8 m uzunluğunda kaya bulonları konulmuştur. Herbirinde ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet 12 m uzunluğunda ilave kaya bulonu topuklara eklenmiştir. Tepe, omuzlar ve yan duvarlara da 4 m' lik mevcut kaya bulonlarının arasına 6 m uzunluğunda 11 adet ilave kaya bulonu konulmuştur. Tünelin içine sızan su sağ tüpte de etkin ayrışmaya neden olmakta ve mevcut drenaj sistemi yeterli olmamaktadır. Bu yüzden uygulama projesinde tasarlanan drenaj sistemi yerine tabanda invertin altında kalan bir seviyeye yeni bir drenaj sistemi tasarlanmalıdır. Sol tüpte olması gerektiği gibi sağ tüpte de drenaj sistemi keçeye sarılı olmalı ve su yalıtım tabakası içermelidir.

5. SONUÇLAR

Hapan Tüneli, Karadeniz Sahilyolu Projesi kapsamında yapımı devam eden Bolaman-Perşembe arası otoyolu kapsamında açılan beş tünelden biridir. Gidiş geliş olmak üzere çift tüplü projelendirilen tünelde ayrıca tüpler arasını bağlayan iki adet araç geçişi vardır. Tünel, 3 775 m uzunluğuyla Türkiye' nin projelendirilmiş en uzun karayolu tünelidir.Hapan Tüneli' ne ait imalat çalışmaları halen devam etmektedir. Tünelin tasarım derinliği giriş ve çıkış portallerinde 33 m, güzergah boyunca da 75 m ile 375 m arasında değişen derinliklerde seçilmiştir. Tünelin imalat çalışmaları sürerken kazısı bitmiş ve geçici desteklemesi yapılmış sol tüp km 10+683.00 – 10+800.60 ile sağ tüp km 10+693.10 – 10+742.10 arasında zamana bağımlı olarak gelişen deformasyonlarla karşılaşmıştır. Anılan sorunlu kesimde tasarım derinliği 375 m' dir.

Tünel güzergahının, Çalışlar Deresi Vadisi boyunca seçilmesi, bölgede aktif olan yükselme, aşınma ve tektonik sıkışmalar sonucunda oluşan ezilme zonlarının ve makaslama fayların şekillendirdiği bir vadi modeli oluşturmaktadır. Burada incelenen sorunlu kesim vadi tabanındaki gerilmelerce zorlanmaktadır. Ayrıca vadiden tünel kotuna kadar ulaşan fayların etkisiyle drene edilen yüzey suları tünel seviyesindeki birimlerin dayanımında büyük oranda düşüş göstermektedir. Tünelin uygulama projesi hazırlanırken bu durum yeterince değerlendirilmemiş olup tabanda ters kemer kapanımı uygulanmamış ve topuklar oluşan kesme gerilmesini taşıyamamıştır. Hapan tüneli, litolojik olarak denizaltı volkanizması ürünü andezitik piroklastlar ve bunların alterasyonu ile gelişmiş kil birimler ile plato bazaltları ile bazaltik özellikte aglomeraların hakim olduğu bir bölgeden geçmektedir.

Her iki tüpte de etkili olan taban kabarmaları ve aşırı deplasmanlar başta tüfler olmak üzere su etkisiyle ayrıışmış volkanitlerin ve bunların oluşturdıkları killerin bulunduğu kesimlerde meydana gelmiştir.

Sorunlu bölgede sol tüp km: 10+698.60 ile 10+728.60 arasında ve sağ tüp km: 10+697.10 ile 10+706.60 arasında anılan gerilme şartlarına bağlı olarak gelişmiş zayıflık zonlarına rastlanmaktadır. Yüzeysuları, daha az dayanımlı olan yerleri izlemektedir. Dolayısıyla yüzeydeki doğal drenaj ağı genelde yerin iç yapısı ve zayıflık zonları hakkında da önemli ipuçları verebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında Hapan Tüneli güzergahını hemen hemen ortasına rastlayan bir yerden (yaklaşık km: 11+100) iki farklı bölgeye ayırmak mümkündür. Doğu yarısı yaklaşıklıkla kuzey güney doğrultulu zayıflık zonlarını kısa mesafeler içinde kesmektedir. Burada, tünelin en kesitlerindeki yüklenme durumu simetrik ve genelde az değişkendir. Batı yarısında ise tünelin ekseni, kuzeydeki masif blok ile güneydeki kırıklı bloğun arasında kalan vadinin altından geçmektedir. Hapan tünel güzergahında 247 noktada yapılan süreksizlik yüzeyi ölçümleri sonucunda 40 tanesi K 30 D, 50 tanesi K 40 D, 12 tanesi K 50 D, 23 tanesi K 60 D, 55 tanesi K 70 D, 48 tanesi K 80 D, 19 tanesi K 90 D doğrultusunda olduğu görülmektedir.

Bu koşullar değerlendirildiğinde Hapan Tüneli km: 10+683.00 – 10+800.60 sol tüp ile km: 10+693.10 – 10+742.10 sağ tüp arasında zamana bağlı deformasyonlar sonucunda iyileştirme çalışmalarına gerek görülmüştür. Bu çalışmalar için tez kapsamında öncelikle mevcut durum incelenmiş ve tutulan 1:100 ölçekli günlük ayna jeolojisi bilgileri kullanılarak her bir tüp için tünel düzeyi açılım haritası ve jeolojik boy kesitleri hazırlanmıştır. Böylece sorunlu kesimin bulunduğu aralığın jeolojisi modellenmiştir (Ek 1, 2). Ayrıca deplasmanlara ait gerçekleştirilen deformasyon ölçüm değerlerinin grafikleri hazırlanarak zamana bağlı deformasyonların en fazla olduğu kesim anlaşılmaya çalışılmıştır (Ek 4). Buna göre sağ tüpte km: 10+714 92 No'lu istasyonda ölçülen 14 cm' lik deplasman maksimum deformasyondur. Aynı kesit ekseni doğrultusunda sol tüpte, tabanda 20 cm' ye ulaşan kabarmalar ölçülmüştür. Bu iki deplasman değeri göz önüne alınarak sonlu elemanlar ve sınır

elemanlar yöntemini kullanan Phase2 hesap programıyla geri analiz çözümleri hazırlanmıştır. Öncelikle mevcut durumun uygulama projesindeki haliyle çözüm yapılarak stabilite sorunları model üzerinde görülmüştür. Bu değerlendirmenin sonrasında laboratuvar ortamında saptanan jeomekanik parametrelerin yetersiz kaldığı ve bu yüzden kaya ortama ait yerinde (in-situ) değerlendirmelerin yapılması uygun görülmüştür. Bu yüzden taştan kayaya geçişi temsil eden formüllerle yeniden elastik ve plastikleşme süreçlerine denk düşen parametreler hesaplanmıştır.

Saptanan yeni parametreler yardımıyla anılan maksimum deformasyonların görüldüğü kesit için yeni bir hesap modeli kullanılmıştır. Bu modelde ilave bulon, püskürtme beton, çelik iksa gibi destek tipleri kullanılmış. Topuklardaki yenilmeleri önlemek amacıyla tabanda ters kemer (invert) kapanımına gidilmiştir. Bunun sonucunda, tünelin sorunlu kesimlerinde ters kemerli (invertli) sağlamlaştırılmış sol tüp için B3 sınıfı ile sağ tüp için B2 sınıfından B3 sınıfına geçişli rehabilitasyon işlemlerini kapsayan tip kesitler önerilmektedir .

Sonuç olarak, Hapan Tüneli' ne benzer tam olarak ortamın mühendislik jeolojisi verileri kestirilemeyen yeraltı kaya yapılarında kazı sırasında ve sonrasında olası sorunlar içeren kesimlerde gözlem ve ölçüm değerlerine ve ayna profillerine dayanan ayrıntılı mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılmalıdır. Ayrıca sorunlu kesimlerde uygulanmış olan tünel destek sınıfları yeniden gözden geçirilmelidir. Gerektiğinde, sorun yaratabileceği beklenen kesimlerde ayrıntılı ve sürekli gözlem ve ölçümlerle kazı ve destek sistemlerinde iyileştirme ve sağlamlaştırma yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altınlı, E.**, 1946. Ordu-Giresun vilayetlerinin jeolojik etüdü. MTA Yayını, Ankara.
- AnaBritannica**, 1989. AnaBritannica, Genel Kültür Ansiklopedisi, cilt 17, s. 145-144, Ana Yayıncılık, Maslak, İstanbul.
- Arni, P.**, 1939. Teknonische grundzüge ostranatoliens und benachbarter gebiete. *MTA yayını*, seri B, 4, Ankara, 90 pp.
- Ayaydın, N.**, 2003. Austrian standards ÖN B2203-1 and -2 for underground works. *Felsbau*, 4, 8-12.
- Barton, N.**, 1976. Recent experiences with the Q-System of tunnel support design.- Norv. Geotech. Inst., Oslo.
- Bektaş, O., Yılmaz C., Tash K., Akdağ K. ve Özgür S.**, 1995. Cretaceous rifting of the Eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonate breccia and turbidites as evidence of a drowned platform. *Giornale di Geologia*. 57 (1-2), 233-244.
- Bieniawski, Z. T.**, 1984. Rock mechanics design in mining and tunneling. AA. Balkema, Rotterdam.
- British Standard Institution**, 1981. Code of practice for site investigations, BS 5930. United Kingdom.
- Büyük Larousse**, 1986. Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, cilt 14, s. 8871-8872, Gelişim Yayınları, Levent, İstanbul.
- Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı**, 1970. Deprem Katoloğu. Ankara.
- Emay Uluslararası Mühendislik Müşavirlik Ve Tic. Ltd. Şti.**, 2003. Karadeniz Sahilyolu Boloman-Perşembe Arası km: 0+000-27+000 Hapan Tüneli Hesap Raporu. Üsküdar, İstanbul.
- Ediger, V. Ş.**, 1992. Jeolojik zaman tablosu, *TPAO Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı Eğitim Yayınları*, 22, s. 17.

- Eren, M., Kadir, S.,** 2001. Colour genesis of Upper Cretaceous pelagic red sediments within the eastern Pontides, NE Turkey. *Yerbilimleri, Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, **24**, 71-79, Ankara.
- Erguvanlı, K.,** 1982. Mühendislik Jeolojisi, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Gedik İ., Kırmacı M.Z., Çapkinoğlu Ş., Özer E., ve Eren M.,** 1996. Doğu pontidlerin jeolojik gelişimi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi 30. yıl Sempozyumu Bildirileri*, Trabzon, 654-677.
- Goodman, R. E.,** 2003. Kaya Mekaniğine Giriş, 2. baskı, Çev. Kayabalı, K., Gazi Kitabevi, Ankara.
- Goodman, R. E.,** 1993. Engineering Geology: rock in engineering construction, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- Göksu, E.,** 1974. 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Samsun, Ed. Pamir, H. N. ve Erentöz, C., M.T.A. Enstitüsü Yayını, Ankara.
- Hoek E., et all.,** 1995. Support of underground excavation in rock, Rotterdam.
- Kökten, I. K.,** 1964. Ordu-Ünye civarı arkeolojik kazı ve tetkikler, İstanbul Üniversitesi Dil Tarih ve Coğrafya Fakültesi Prehistorya Tarihi Kürsüsü, İstanbul.
- Oreste, P.,** 2005. Back-analysis techniques for the improvement of the understanding of rock in underground constructions, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Elsevier, **20**, 7-21
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y.,** 1981. Tethyan evolution of Turkey; a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, **75**, p. 181-241, Elsevier Scientific Publishing Company, Netherlands.
- Temelsu,** 1997a. Hapan Tüneli Kesin Proje Mühendislik Jeolojisi Raporu, T.C.K. Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Temelsu,** 1997b. Hapan Tüneli Kesin Proje Raporu, **1** T.C.K. Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Terlemez, İ. ve Yılmaz, A.,** 1980. Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan yörenin stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **23**, 179-191.
- Tokel, S.,** 1977. Doğu Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı kalk-alkelen andezitler ve jeotektonizma, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **20**, 49-54.
- Vardar, M.,** 1979a. Mühendislik jeolojisi yeraltı kaya mekaniği ilişkisi, *Mühendislik Jeolojisi Simpozyumu*, İstanbul, s. 29-36.
- Vardar, M.,** 1979b. Yeraltı kaya yapıları mekaniğinde yeni avusturya tünel açma yönteminin ana ilkeleri, ankrajlar ve boyutlandırılması, *D.S.İ. Mühendislik Jeolojisi Toplantısı*, **6**, Yalova-İstanbul.
- Vardar, M.,** 2002. Kayanın Dayanım Parametreleri, Ders Notları, *Yayınlanmamış*, İstanbul.
- Yurt Ansiklopedisi,** 1983. Yurt Ansiklopedisi, cilt 9, s. 6248-6255, Ana Yayıncılık, Maslak, İstanbul.
- Yüzer, E. ve Vardar, M.,** 1986. Kaya Mekaniği, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

<http://www.kgm.gov.tr>

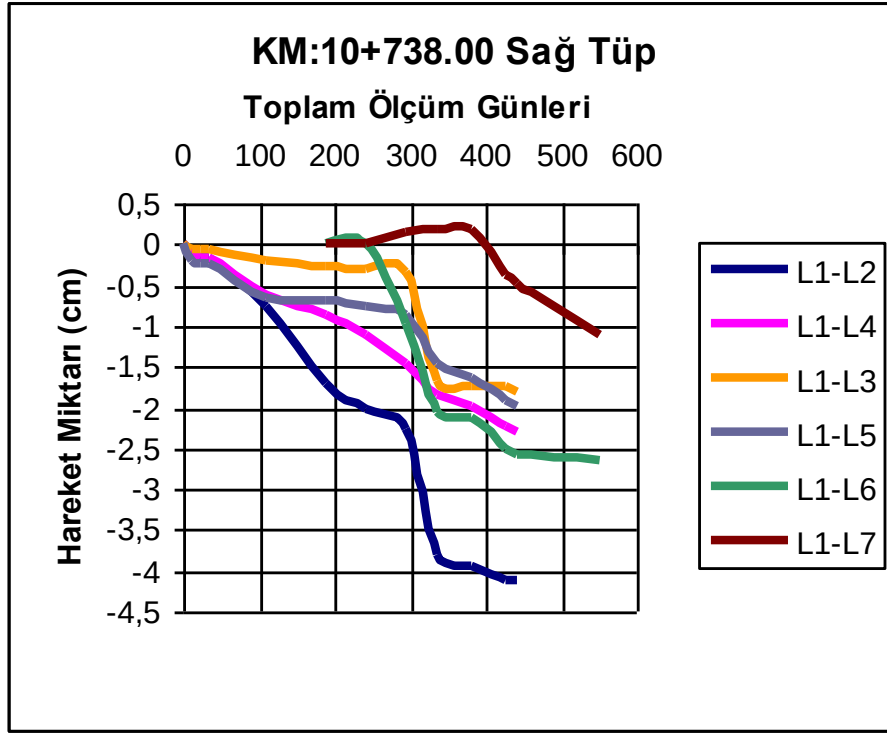
http://www.mta.gov.tr/mta_web/fiziki3

<http://www.stratigraphy.org>

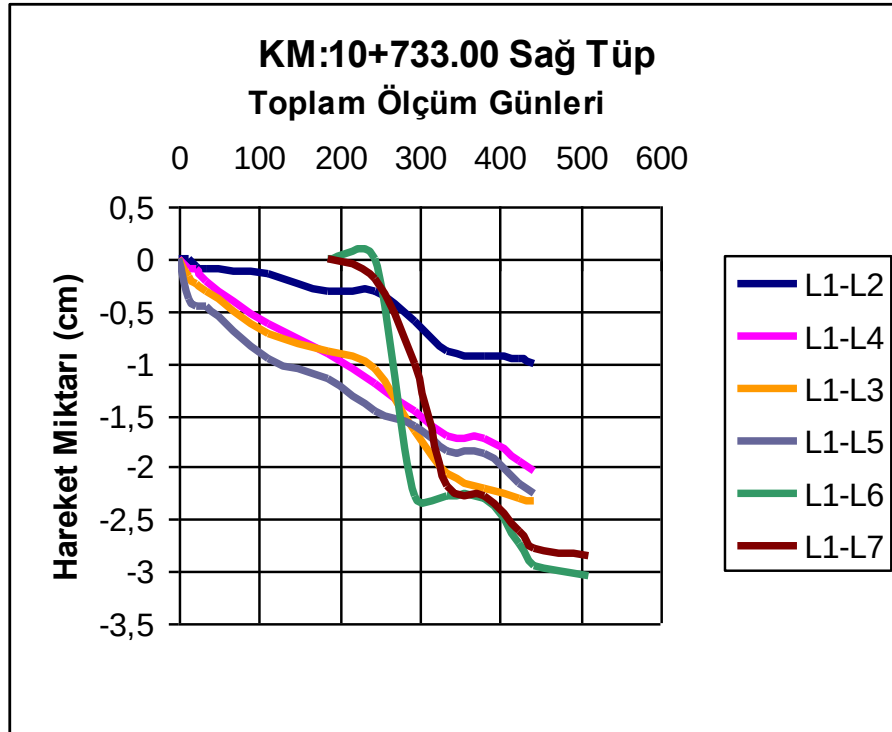
Kaya Sınıfı		Tanımlama	Çevrimli Açım	Sürekli Açım		Duraylılık Süresi
A	Tablo Ek 3.1: NATM' a göre Kaya Sınıflaması ve yapılacak işlemler A1	Sağlam	Destekleme gerekmez. İlerleme adımlarının uzunluğu ilke olarak çalışma tekniğine kısıtlanır	Destekleme gerekmez		3 haftadan fazladır
	A2	Zamanla kırılğan	Destekleme tavanda, omuzlarda ve üst yarlarda yer yer, tekil parçaların güvenceye alınması için gerekir. İlerleme adımlarının uzunluğuna aşırı sökülmelerin kısıtlanması amacıyla sınırlama getirilir	Destekleme tavanda, omuzlarda ve üst yarlarda yer yer, tekil parçaların güvenceye alınması için gerekir. Destekleme ve sağlamlaştırma işlemleri arın berisindeki 2. çalışma bölgesinde gerçekleştirilir.		4 gün ile 3 hafta
B	B1	Kırılğan	Destekleme düzenli olmakla birlikte dar kapsamlıdır. İlerleme adımları duraylılık süresi, serbest açıklık boyuna ve sağlamlaştırma ve destekleme elemanlarının oluşturulması için gereken süreye bağlı olarak belirlenir. Yer yer arının desteklenmesi gerekebilir	B1.1	Düzenli fakat dar kapsamlı destekleme tavanda, omuzlarda ve üst yarlarda arın öncesindeki 2. çalışma bölgesinde makinalı kazıyı engellemeksizin gerçekleştirilir	4 gün ile 2 gün
				B1.2	Tavanda, omuzlarda ve üst yarlarda düzenli ve dar kapsamlı destekleme 1. ve 2. çalışma bölgesinde gerçekleştirilir. Kazı makinasının çalışmaları destekleme ve sağlamlaştırma önlemlerinin alınması sırasında kısıtlanır.	2 gün ile 10 saat
	B2	Çok kırılğan	Destekleme tavanda, omuzlarda ve yarlarda düzenli ve çoğun arını da içerecek şekilde geniş kapsamlıdır. Parçalı kazı kesitleri gerekir. İlerleme adımları azalan duraylılık süresi, serbest açıklık boyuna göre belirlenir ve arın sürekli olarak desteklenir.	B2.1	<i>Kazı kafasının hemen arkasından başlamak üzere düzenli destekleme gerçekleştirilir. İlerleme hızını bu çalışmaların gerektirdiği süre belirler. Frezeli makina kullanılıyorsa parçalı kazı yapılır.</i>	10 - 5 saat

				B2.2	Kazı kafasının hemen arkasında ön çalışma bölgesini (1.bölgeyi) çepeçevre saracak şekilde düzenli destekleme gerekir. İlerleme hızını bu çalışmaların gerektirdiği süre belirler. Frezeli makina kullanılıyorsa parçalı kazı yapılır 1. ve 2. çalışma bölgesinde gerçekleştirilir.	5 - 2 saat
	B3	Döküntülü	Arının ön sürenlerle desteklenmesi, çok parçalı kazıda çalışabilmek için bile kayaç niteliğini iyileştirici ve duraylılığı artırıcı önlemlerin alınması gereklidir. Aynayı da kapsamak üzere tüneli çepeçevre saracak şekilde düzenli ve yoğun bir destekleme gerekir.		Şiltsiz makinalar ancak ön sağlamlaştırma gibi çok özel önlemlerin alınmış olduğu durumlarda kullanılabilir.	2 saat ten daha azdır
C	C1	Kaya patlamalı	Destekleme çoğunlukla belirli bölgelerde hemen ve oldukça sık yerleştirilmiş kısa kaya saplamalarıyla yapılır. Gerektiğinde çelik hasır da kullanılır. Kayadaki gerilmelerin boşaltılması için gevşetme delikleri açılabilir veya patlatma ile ortam gevşetilebilir		1. çalışma bölgesinde sık aralıklarla kısa kaya saplamaları ve gerektiğinde çelik hasır kullanılır. Makinalı kazı bundan fazlaca etkilenmez.	
	C2	baskılı	Destekleme ve sağlamlaştırma bütün kesiti kaplayacak şekilde düzenli olarak yapılır. Aynada çoğunlukla geçici duraylılık bulunduğu kazı kesiti ve biçiminin stabilitenin korunması ve artırılmasına yardımcı olacak şekilde seçilmesi gerekir. Sağlamlaştırma işlemlerinin hedefi yenilme mekanizmalarını denetleyerek kırılmaları sınırlandırmaktır. Atım-ilerleme boyu arındaki stabiliteye göre belirlenir.	C2.1	Destekleme düzenli ve kapsamlı şekilde 1 ve 2. çalışma bölgesinde tavanda, omuzlarda ve yanlarda kademeli olarak gerçekleştirilir. Bu çalışmalar makinalı kazı çalışmalarını engeller. Makinanın sıkışmasının önüne geçmek için gerekli önlemler alınmalıdır.	2 gün ile 10 saat
				C2.2	Kazı kafasının hemen arkasından başlamak üzere düzenli destekleme gerçekleştirilir. İlerleme hızını bu çalışmaların gerektirdiği süre belirler. Parçalı kazı yapılarak ilerlenir. Tünel açma makinasının	10 - 5 saat

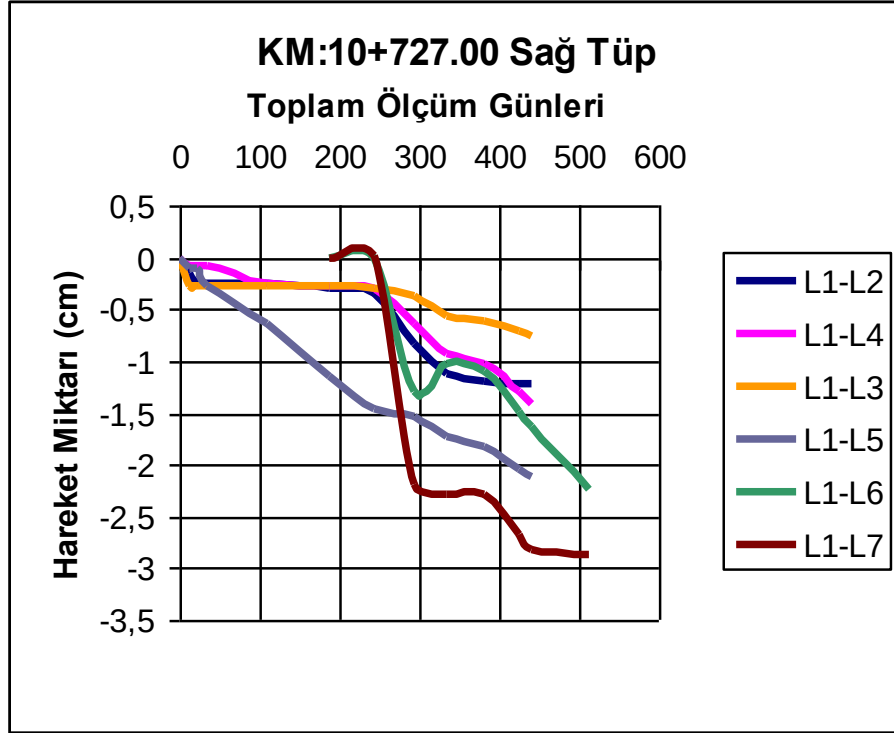
C					sıkışmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.	
	C3	Çok baskılı	Serbest yüzeylerin desteklenmesi ve sağlamlaştırılması gerekir. Parçalı kazı kesitleri gerekir. Deformasyonların büyüklüğü çoğunlukla deformasyon yarıkları veya biçim değiştirebilen destek öğelerinin kullanımı gibi özel yapısal önlemlerin alınmasını zorunlu kılar. İlerleme adımları aynanın duraylılığına ve deformasyon hızlarına göre belirlenir.	Düzenli ve yoğun bir destekleme kazı kafasının arkasındaki ön çalışma bölgesini saracak şekilde gerçekleştirilir. Frezeli kazı ancak parçalı olarak ve önemli duraksamalarla yapılabilir. Tünel açma makinasının sıkışmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.	5 - 2 saat	
	C4	Akıcı	Gerçekleştirilen iyileştirme ve aynanın ön sürenlerle desteklenmesi gibi özel önlemlerle ortam niteliğinin, çok parçalı kazıda ilerlemeyi sağlayacak şekilde önceden ve imalat sırasında geliştirilmesi zorunludur. Her parçada aynayı ve kazı yüzeylerini çepeçevre saracak şekilde düzenli ve yoğun destekleme ve sağlamlaştırma önlemlerinin alınması gerekir.	şiltsiz makineler ancak ön sağlamlaştırma gibi çok özel önlemlerin alınmış olduğu durumlarda kullanılabilir.	2 saat ten daha azdır	
	C5	Şişen-Kabaran	Zaman içinde de şişme-kabarma basınçlarını alabilen uygun destekleme önlemleri ve işlemleriyle kabarma deformasyonlarının oluşumu önlenebilir ya da bunların zararlı etkileri engellenebilir.	Zaman içinde de şişme-kabarma basınçlarını alabilen uygun destekleme önlemleri ve işlemleriyle kabarma deformasyonlarının oluşumu önlenebilir ya da bunların zararlı etkileri engellenebilir. Şiltsiz makineler ancak çok özel önlemlerin alınmış olduğu durumlarda kullanılabilir.	Duraylılık süresini belirten veri yoktur	



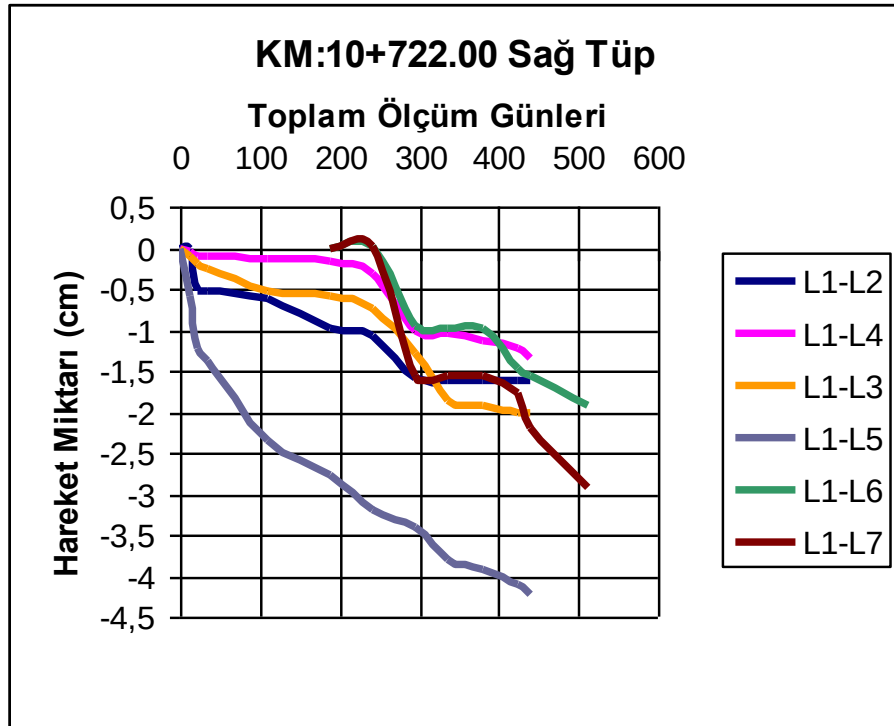
Şekil Ek 4.1: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+738.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



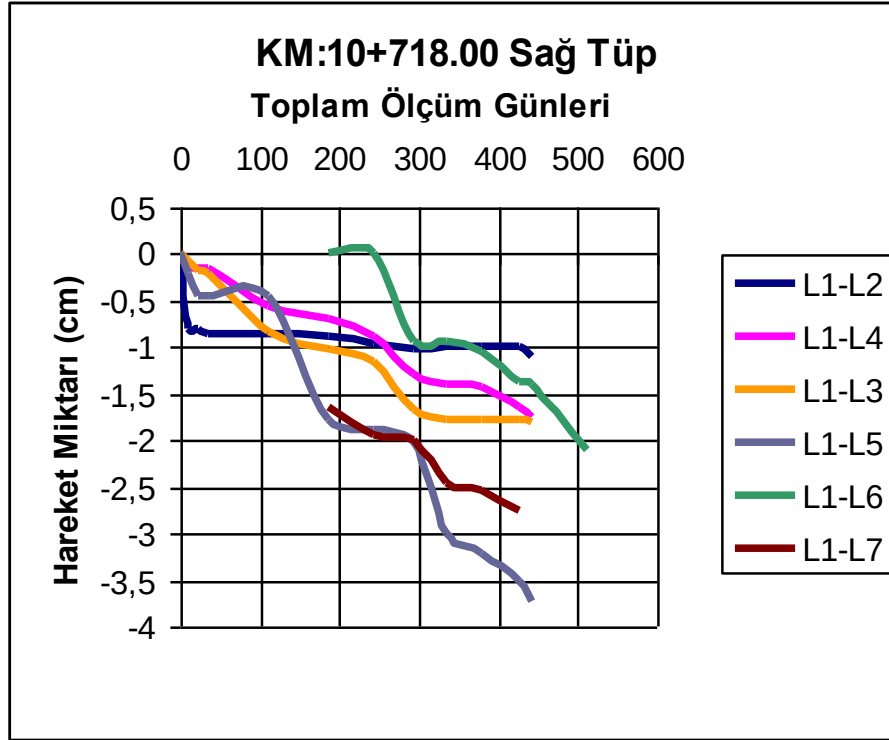
Şekil Ek 4.2: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+733.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



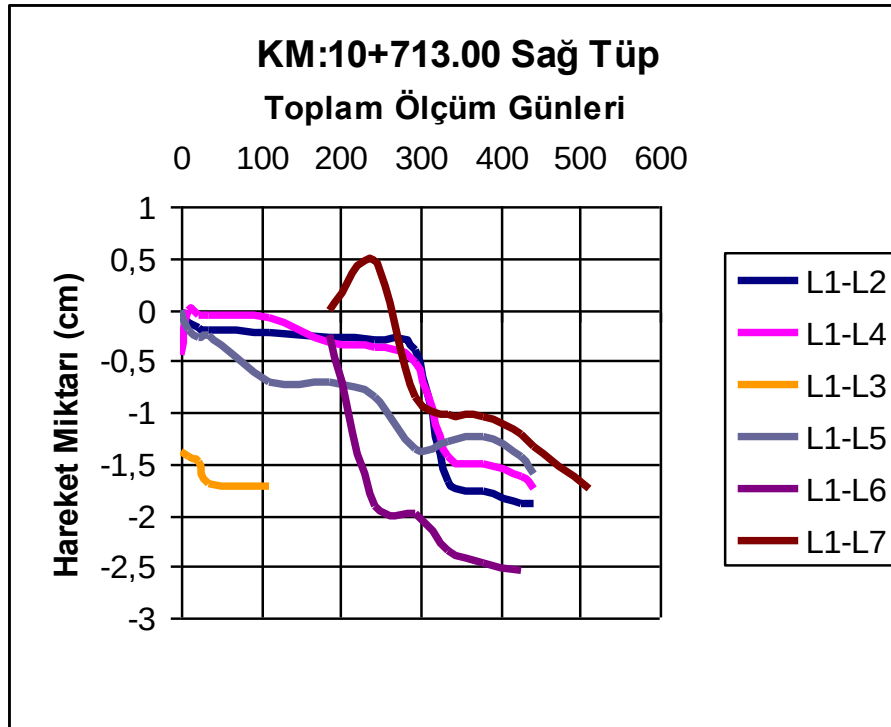
Şekil Ek 4.3: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+727.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



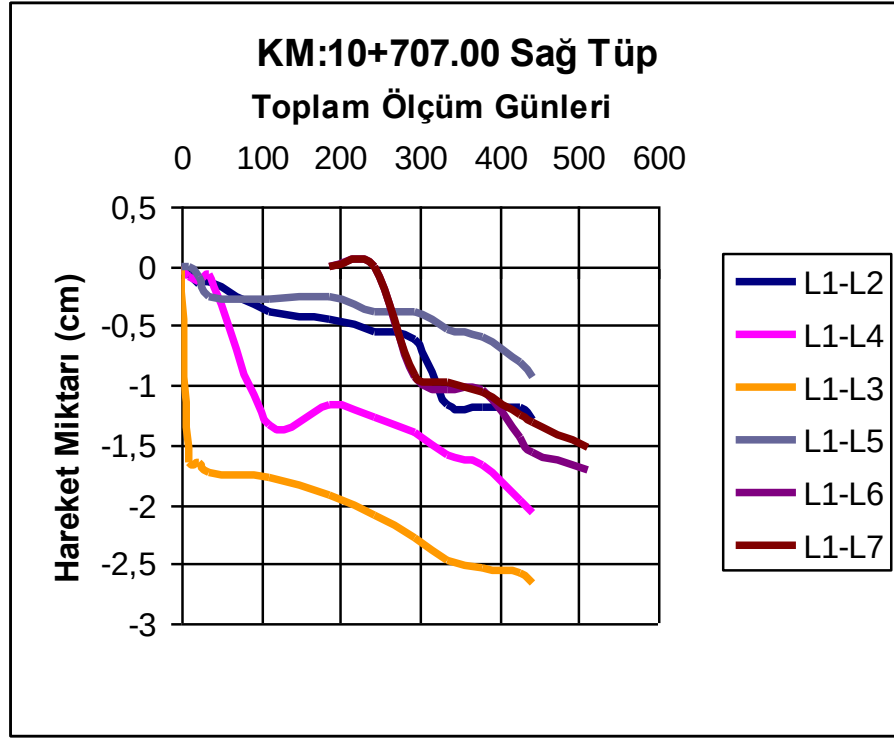
Şekil Ek 4.4: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+722.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



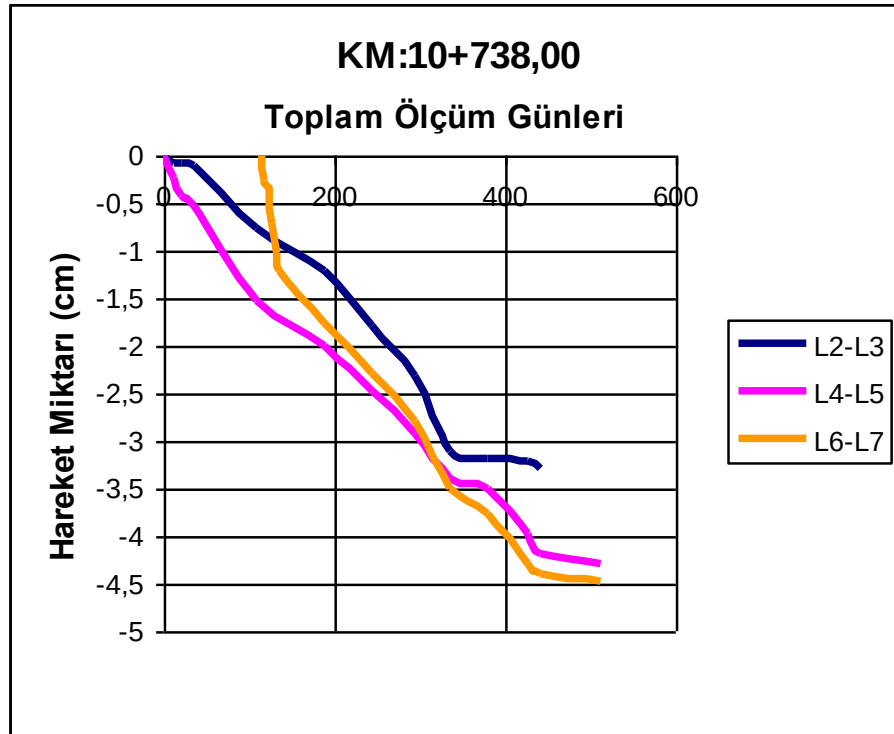
Şekil Ek 4.5: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+718.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



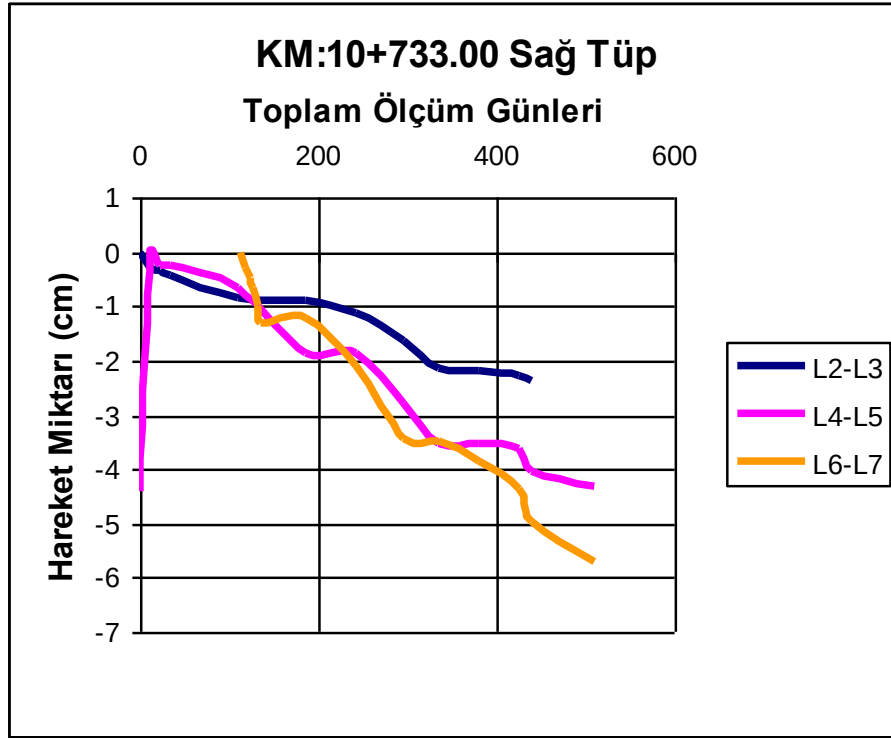
Şekil Ek 4.6: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+713.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



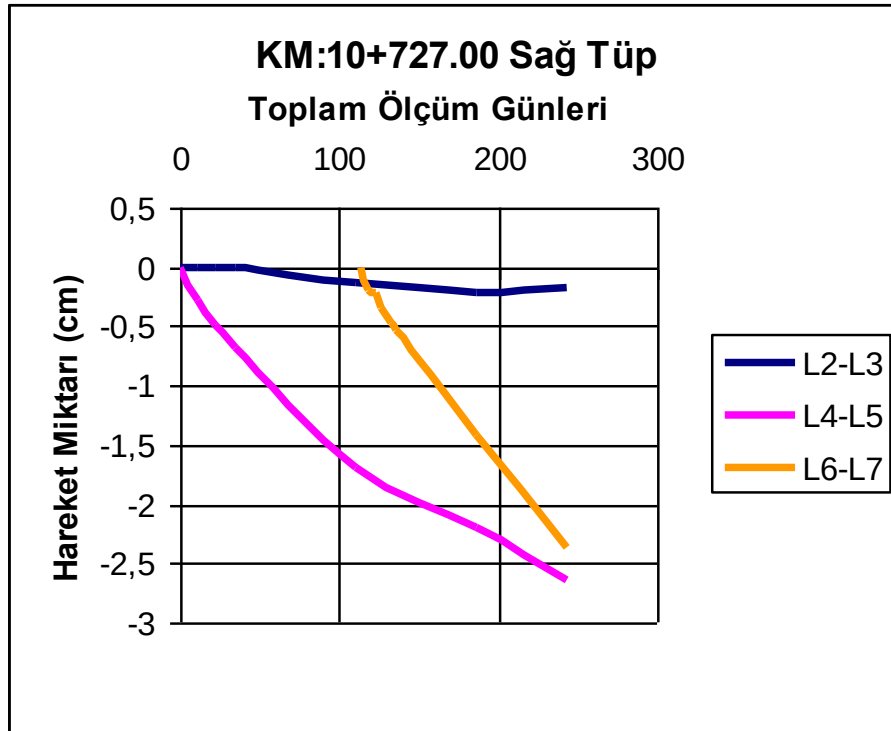
Şekil Ek 4.7: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+707.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



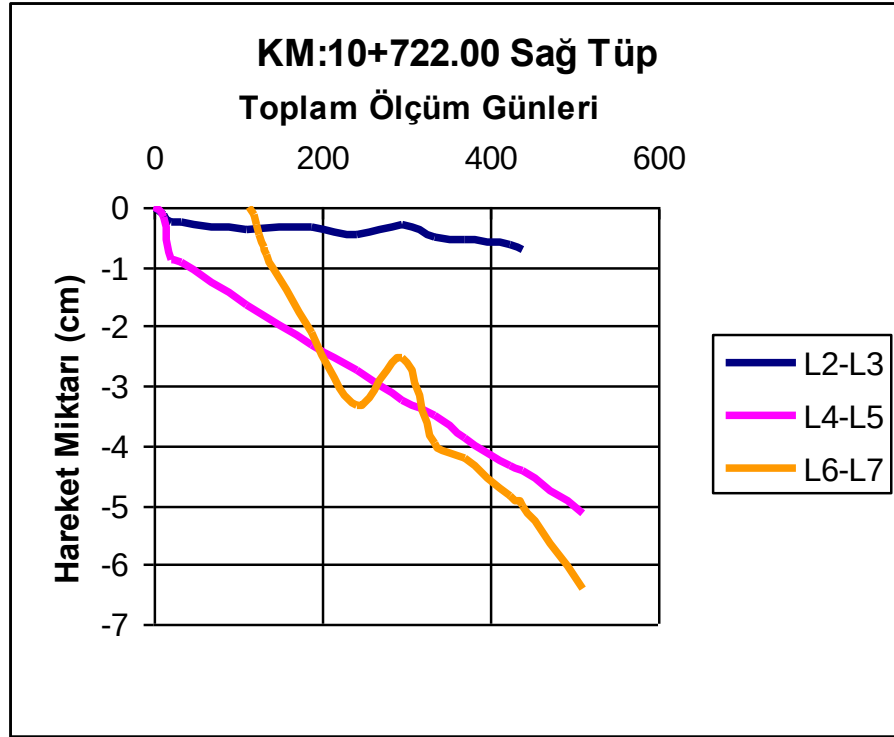
Şekil Ek 4.8: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+738.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



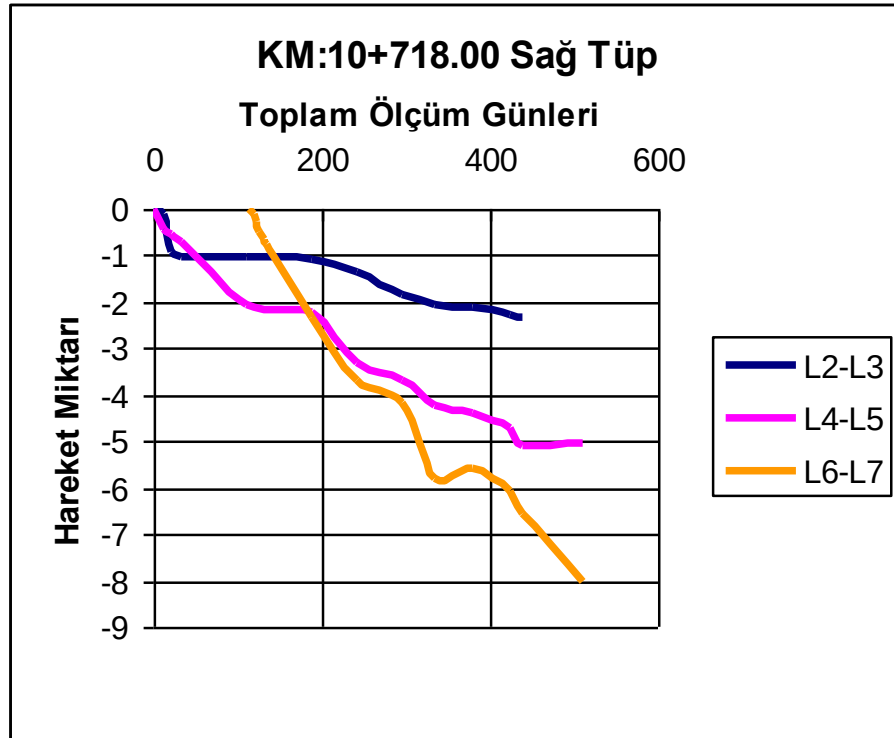
Şekil Ek 4.9: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+733.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



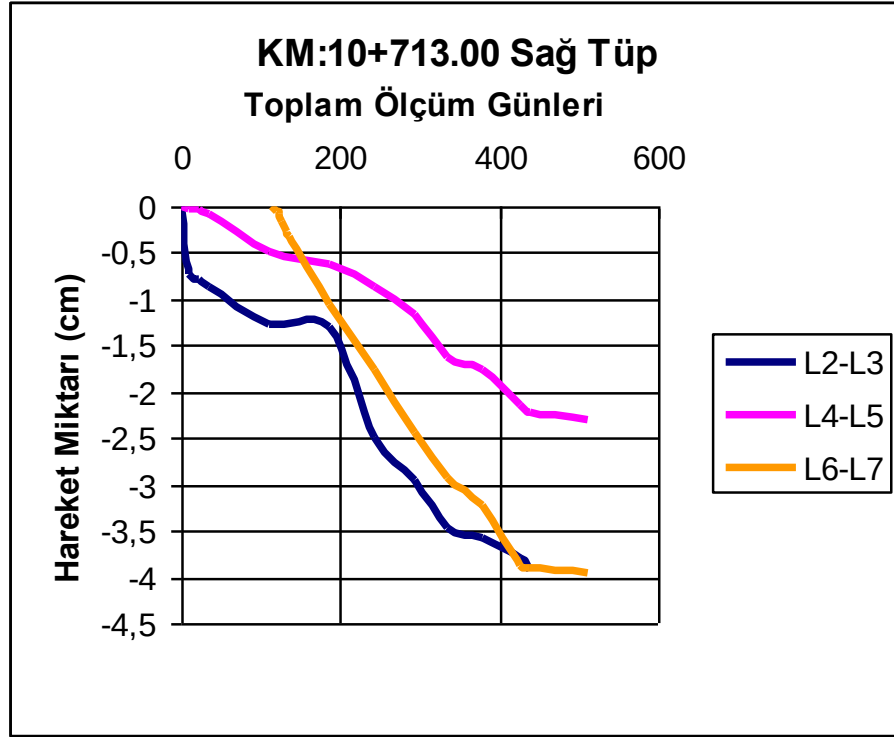
Şekil Ek 4.10: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+727.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



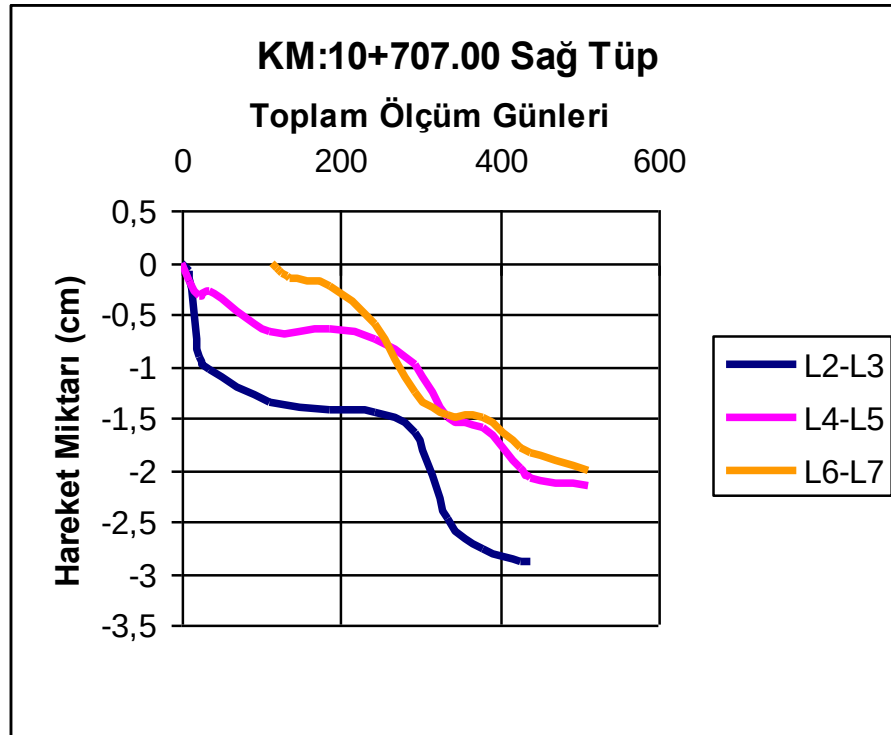
Şekil Ek 4.11: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+722.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



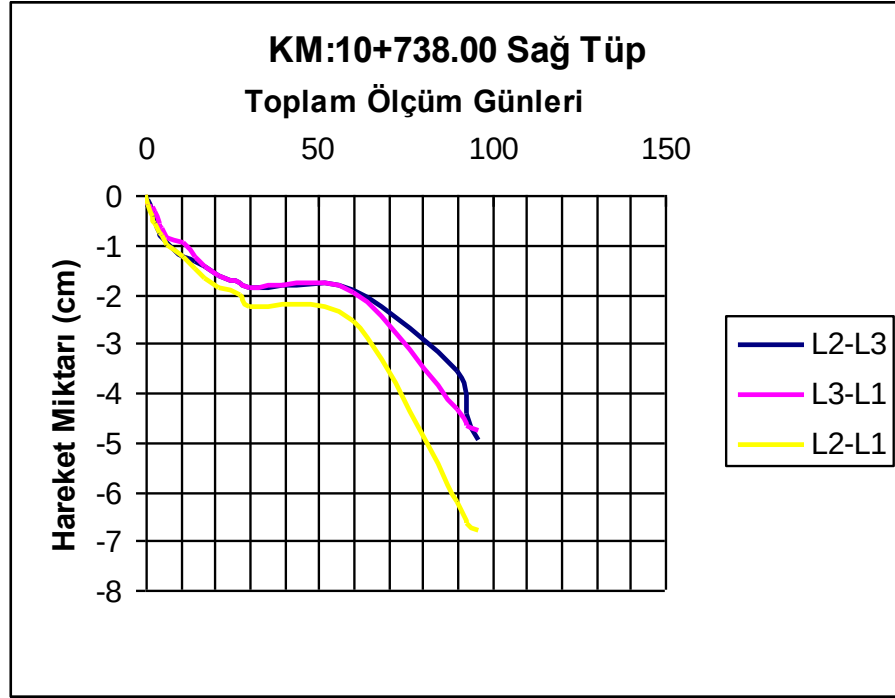
Şekil Ek 4.12: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+718.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



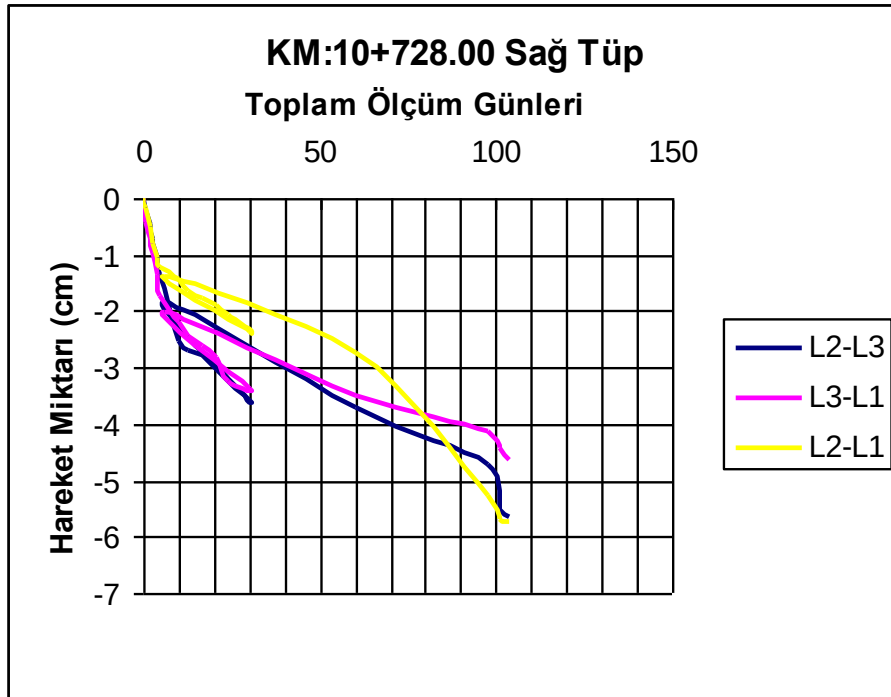
Şekil Ek 4.13: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+713.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



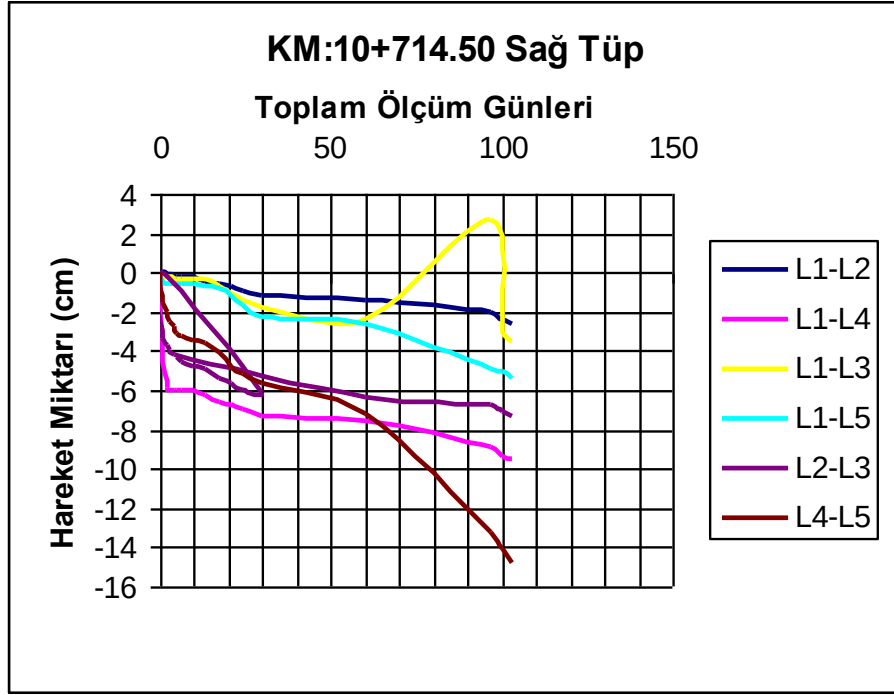
Şekil Ek 4.14: 21.09.2002-14.02.2004 Tarihleri Arasında Km: 10+707.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



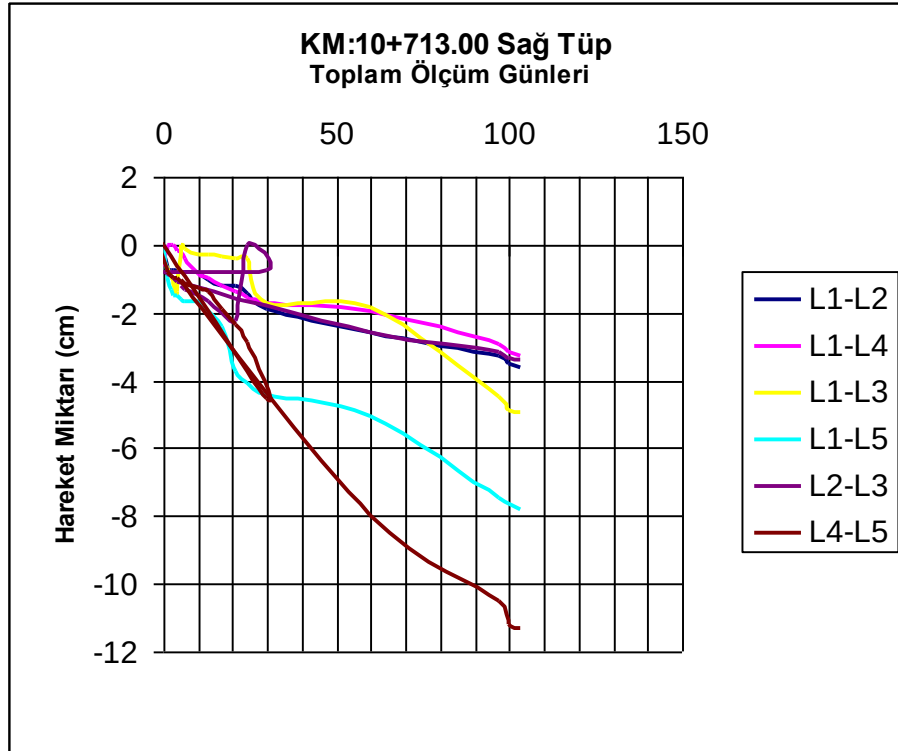
Şekil Ek 4.15: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+738.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



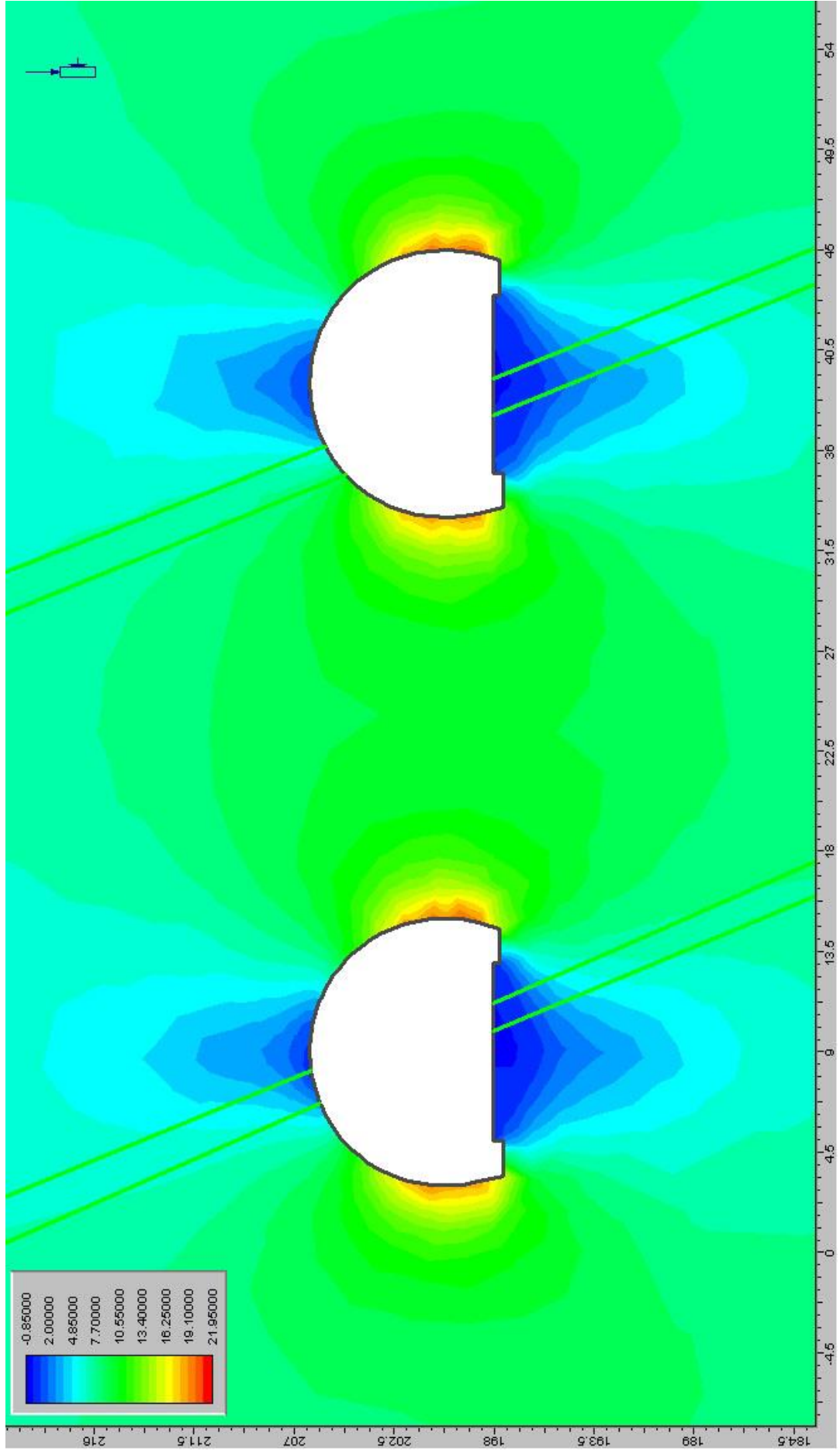
Şekil Ek 4.16: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+728.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



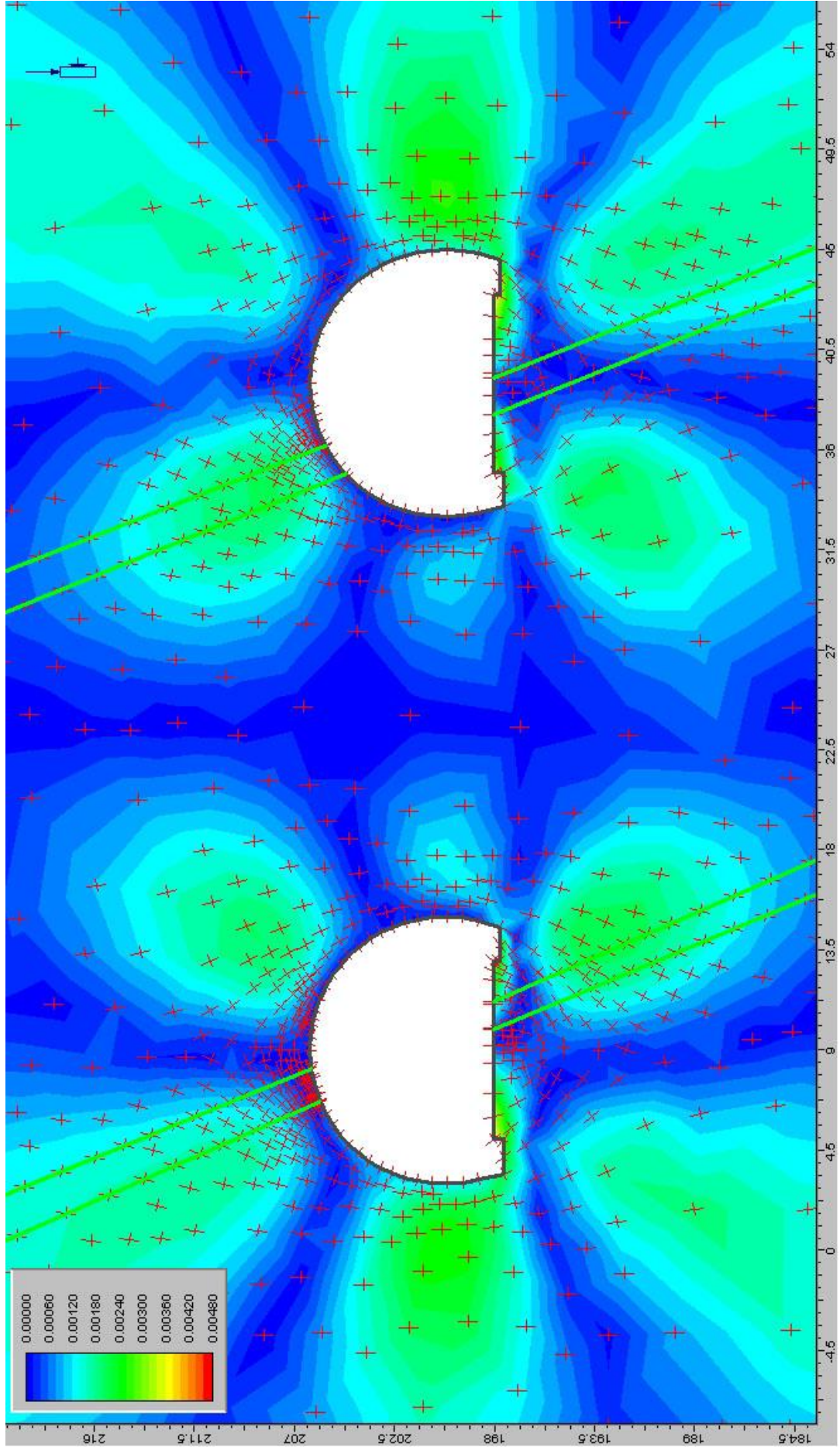
Şekil Ek 4.17: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+714.50 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



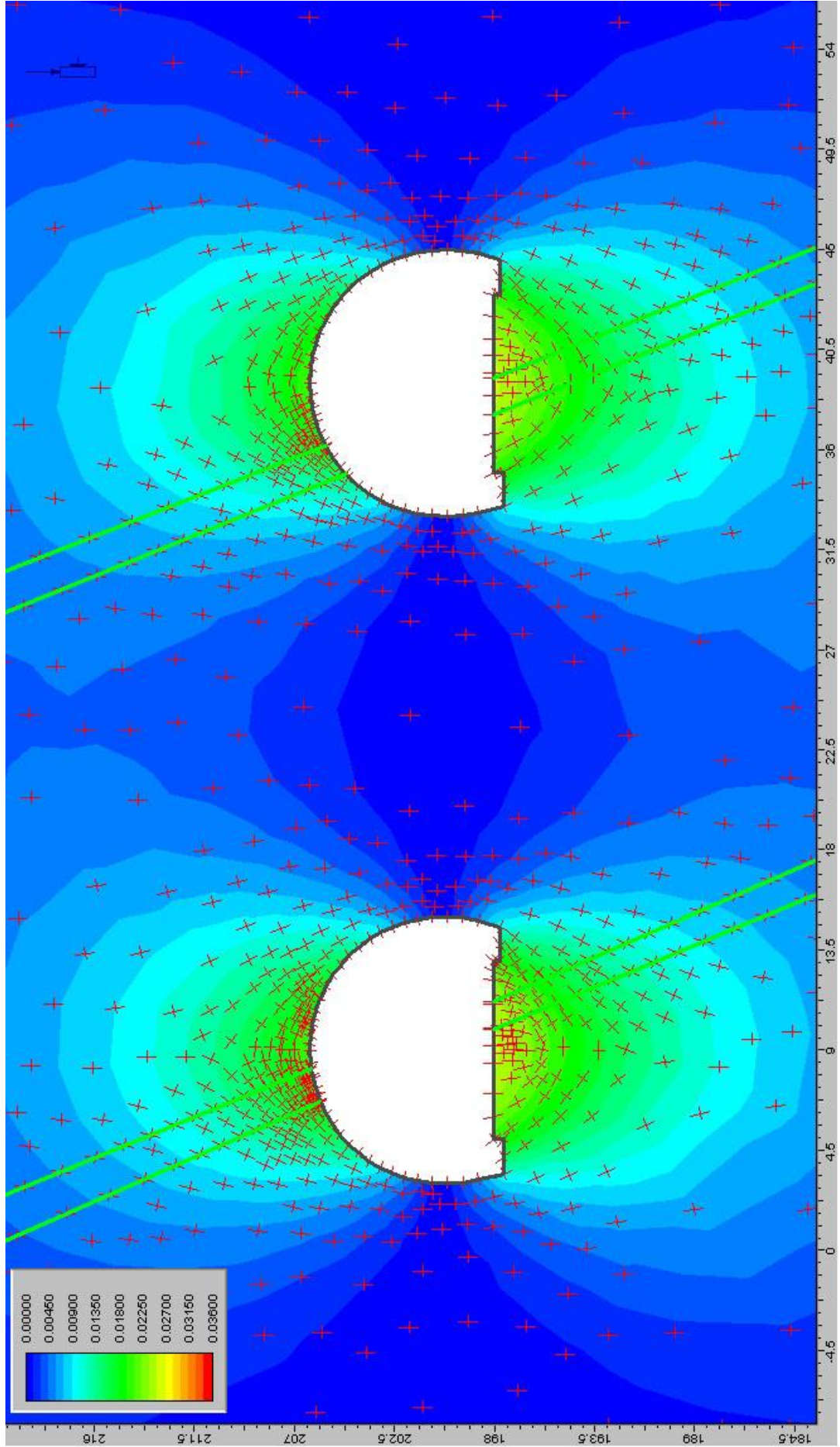
Şekil Ek 4.18: 05.06.2002-09.09.2002 Tarihleri Arasında Km: 10+713.00 Sağ Tüp Konverjans Ölçüm Değerleri



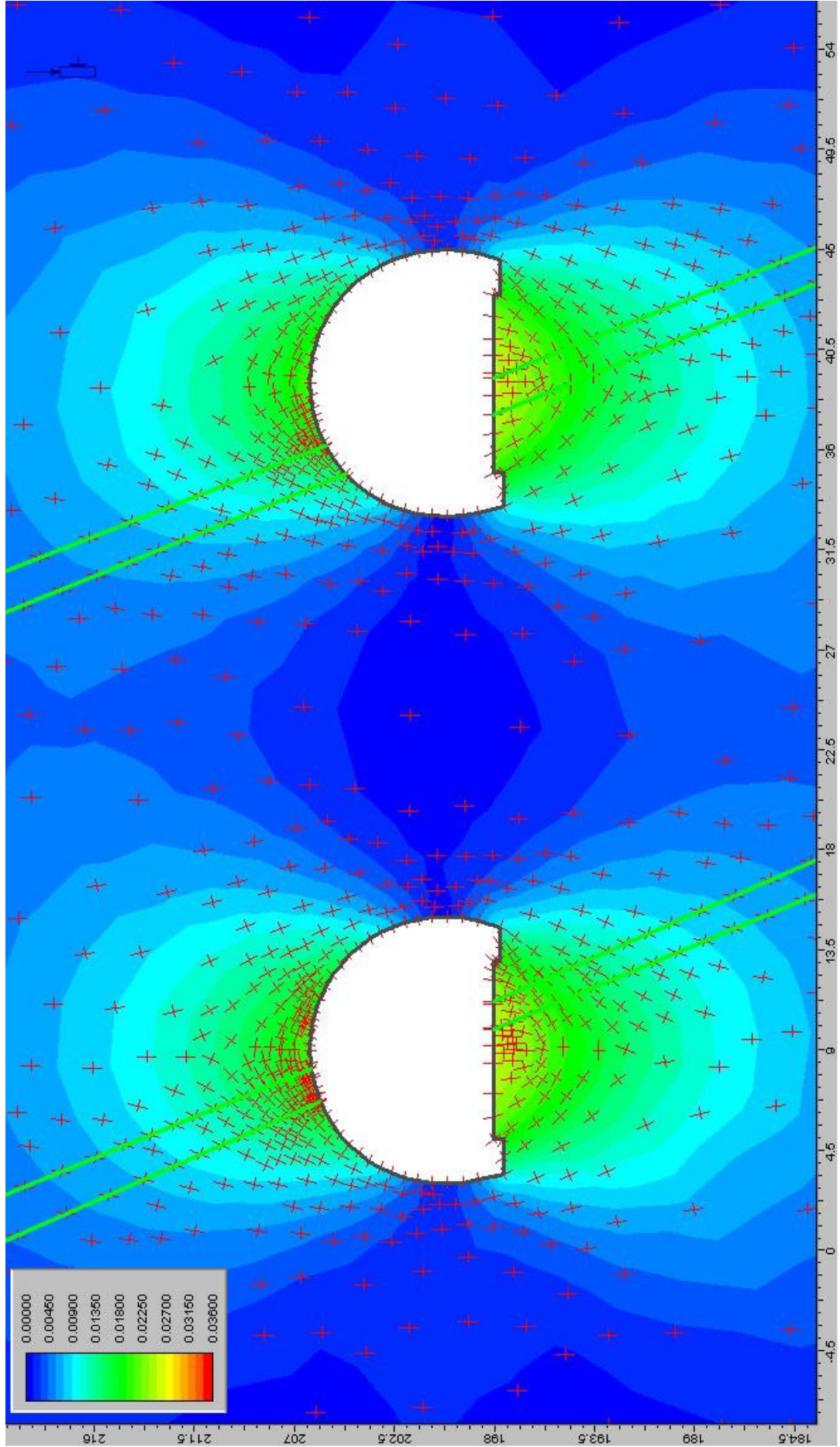
Şekil Ek 5. 1: Hapan Tüneli İlk Durum Tek Eksenli Gerilme Dağılımı



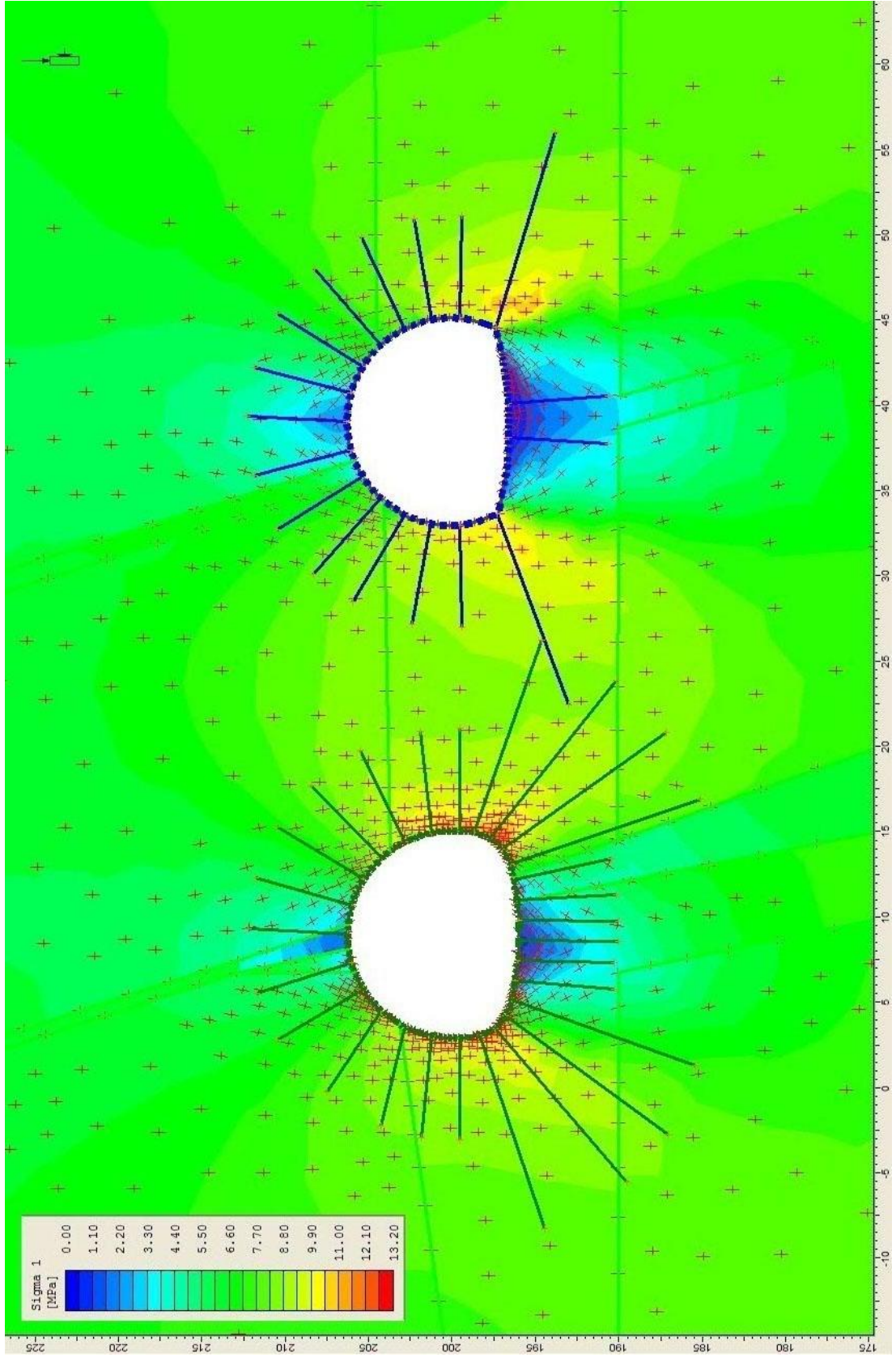
Şekil Ek 5.2 : Hapan Tüneli İlk Durum Yatay Yer Değiştirme Dağılımı



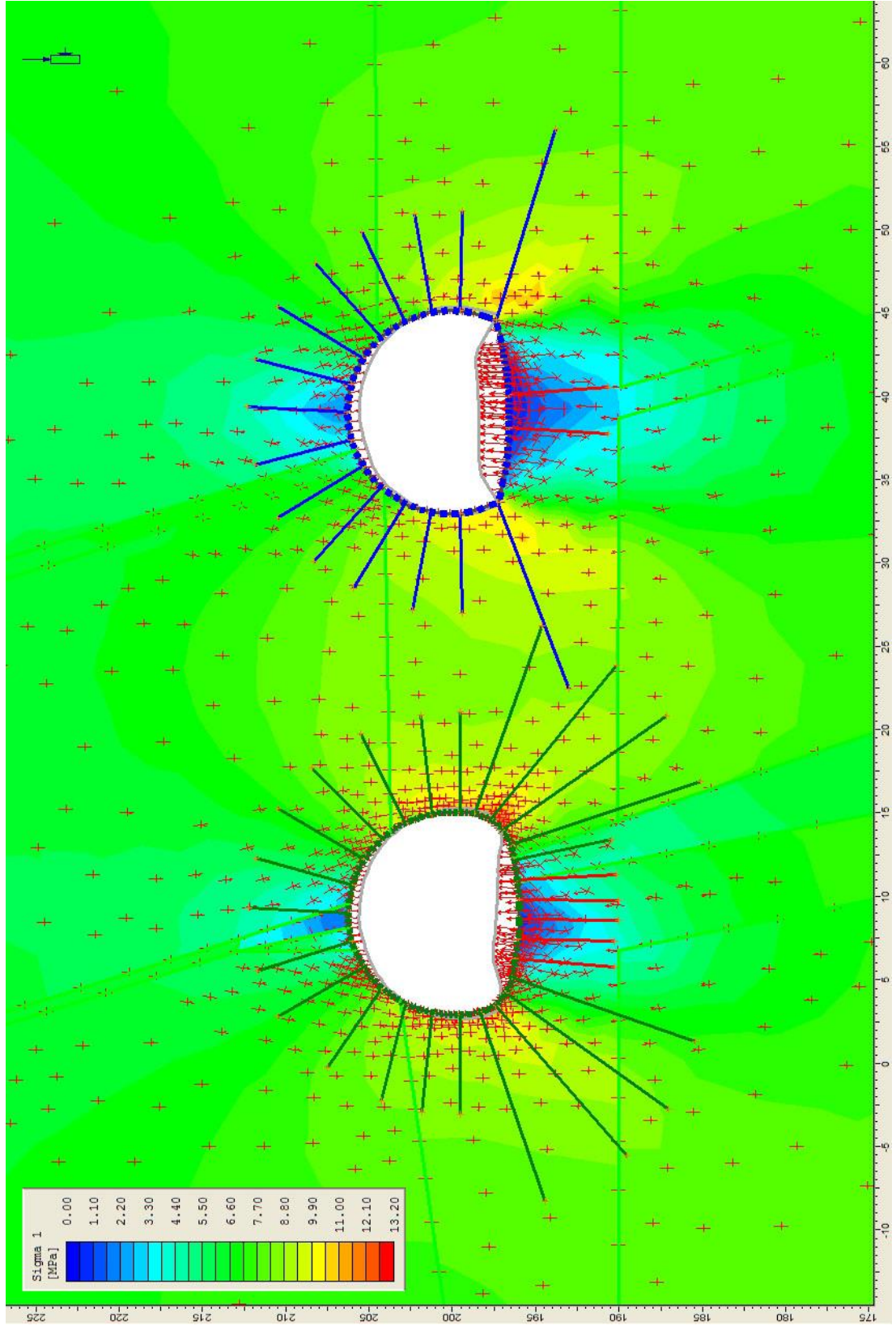
Şekil Ek 5. 3: Hapan Tüneli İlk Durum Düşey Yer Değişime Dağılımı



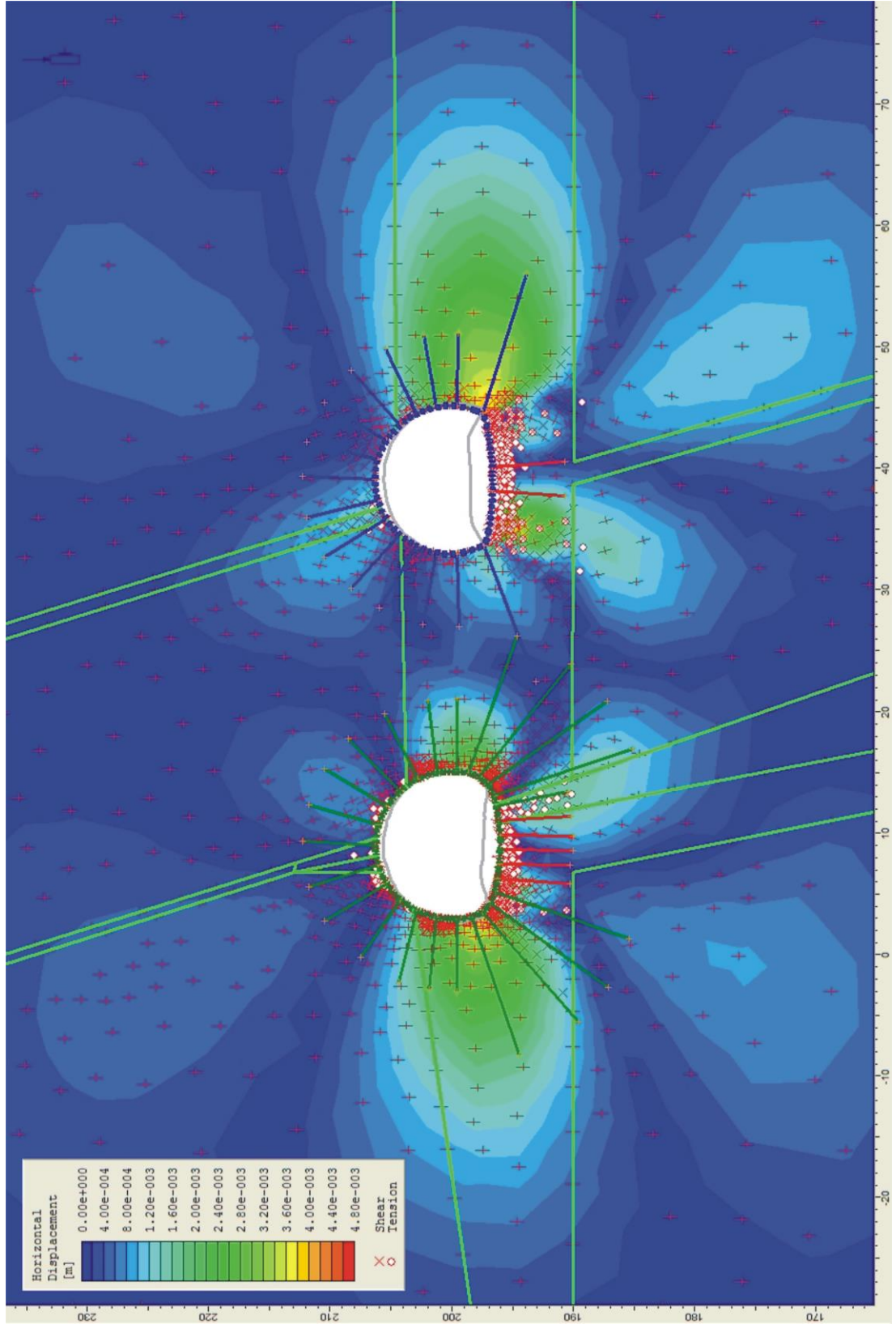
Şekil Ek 5. 4: Hapan Tüneli İlk Durum Toplam Yer Değiştirme Dağılımı



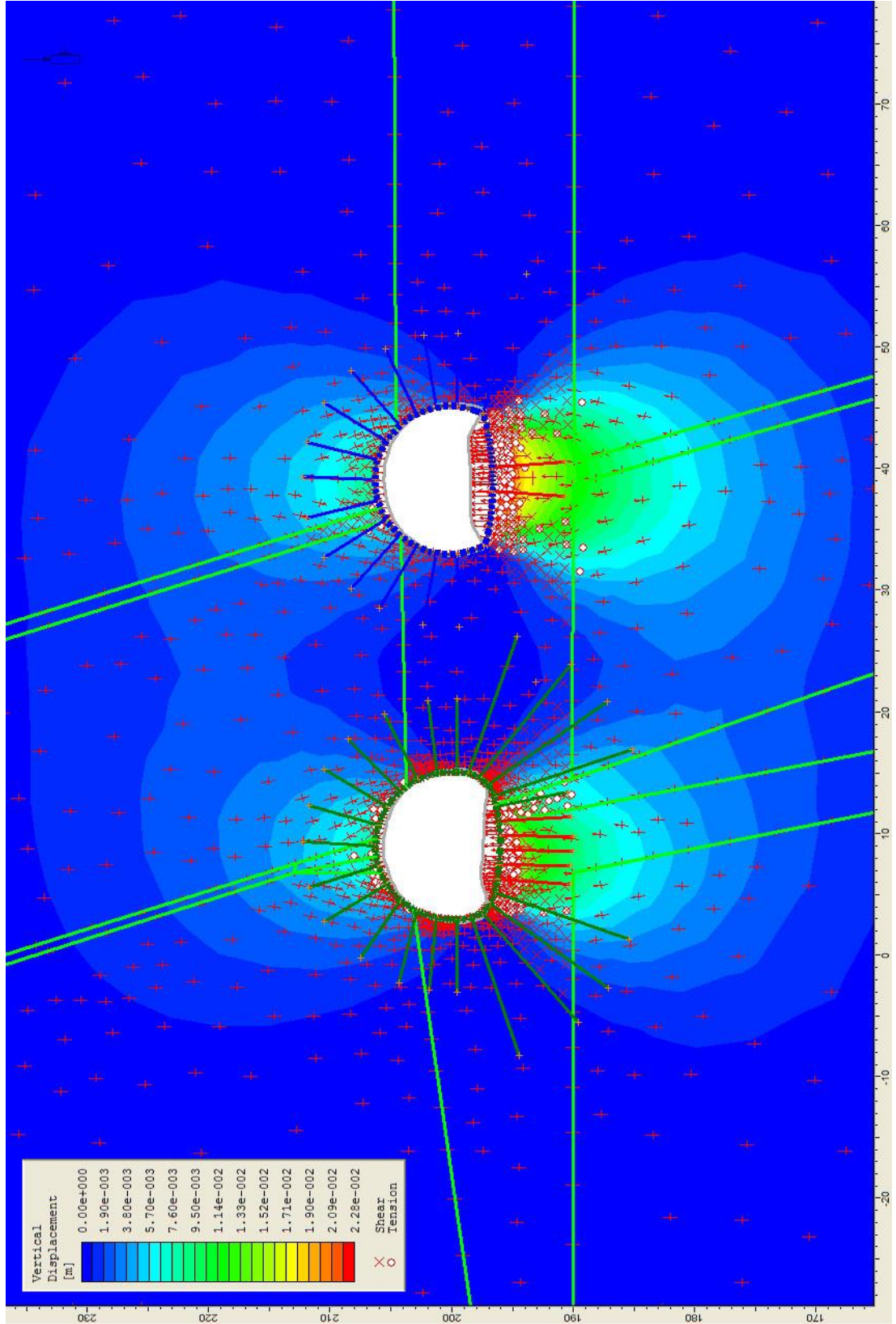
Şekil Ek 5. 5: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Tek Eksenli Gerilme Dağılımı



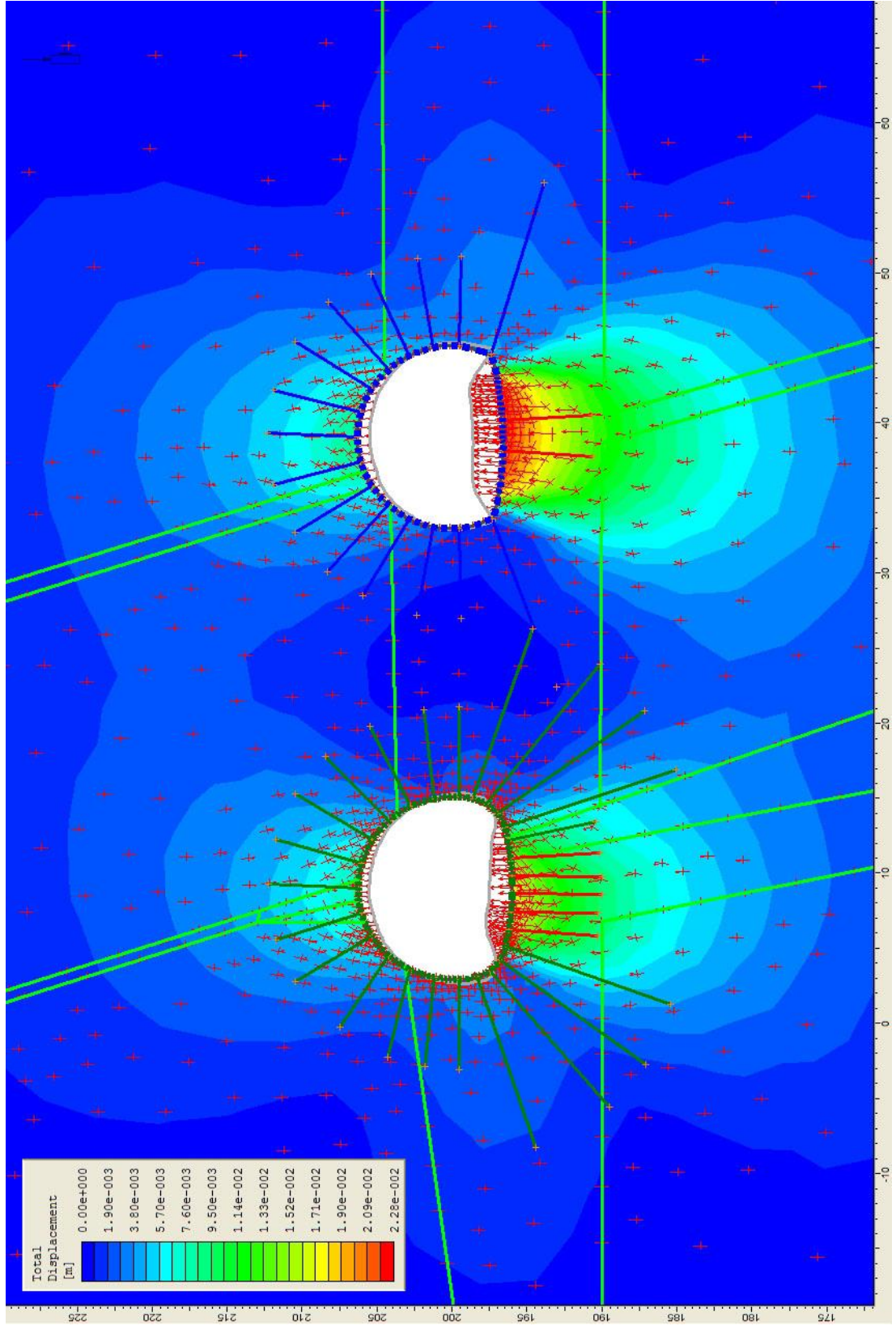
Şekil Ek 5. 6: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Tek Eksenli Gerilme Dağılımı ve Yenilen Kaya Bulonları



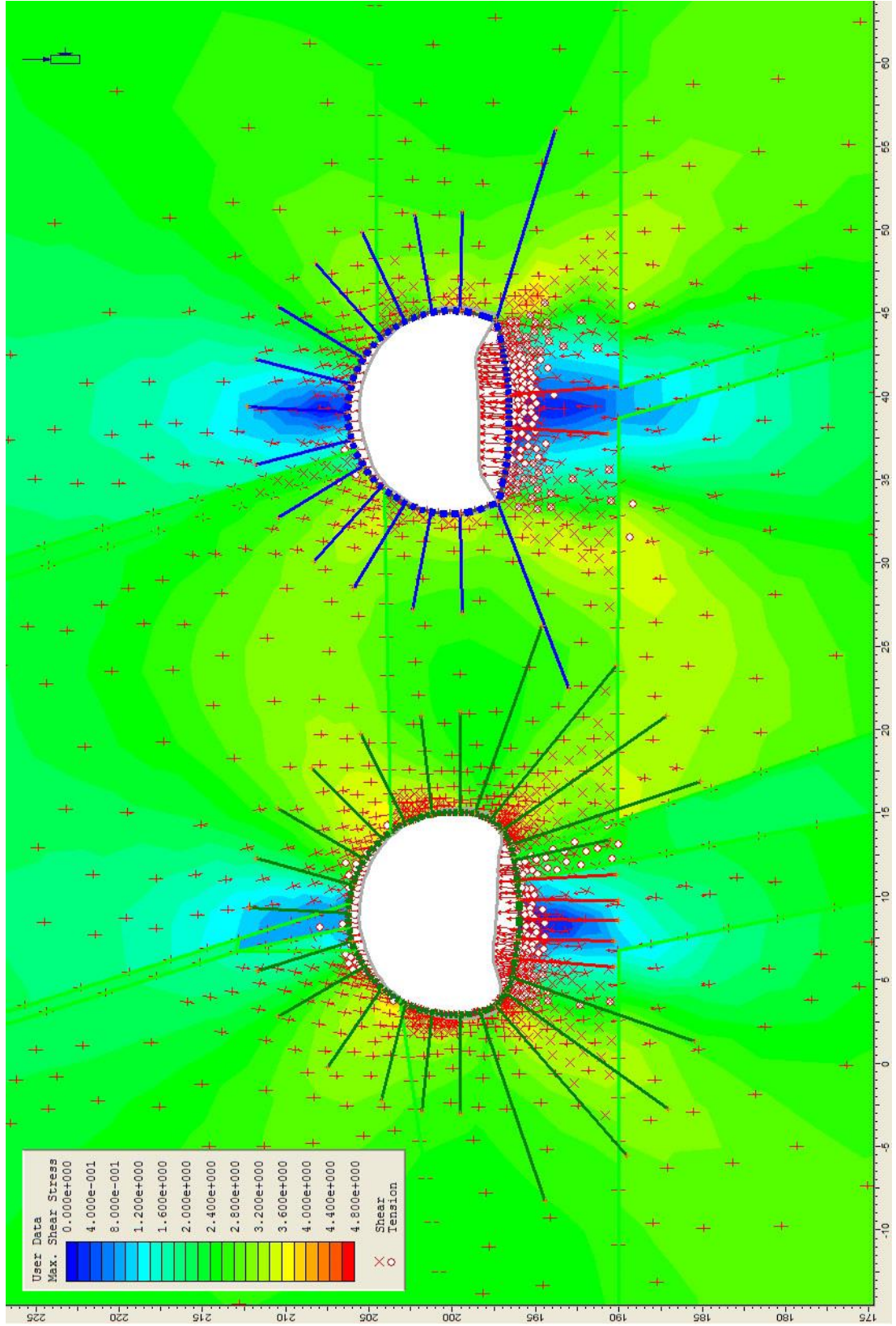
Şekil Ek 5. 7: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Yatay Yer Değişimleri ve Yenilen Destek Elemanları



Şekil Ek 5. 8: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Düşey Yer Değiştirmeler ve Yenilen Destek Elemanları



Şekil Ek 5. 9: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Toplam Yer Değiştirme ve Yenilen Destek Elemanları



Şekil Ek 5. 10: Hapan Tüneli Sorunlu Kesim Destek Sisteminde Yenilme Sonrası Durum

ÖZGEÇMİŞ

Bu Tezi hazırlayan Yüksek Lisans öğrencisi 1978 yılında İstanbul’ da doğdu. 1995 yılında lise eğitimini Semiha Şakir Lisesi’ nde tamamladı. 1997 yılında İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’ nde üniversite eğitime başladı. 2002 yılında bu bölümden mezun olarak aynı dönemde İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’ ne bağlı olarak Uygulamalı Jeoloji Programı’ nda yüksek lisans eğitime başladı. Yazar, 2002 güz döneminden itibaren İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji ABD’ nda Araştırma Görevlisi olarak akademik kariyerine devam etmektedir.