

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

**SAMANLI-ORHANGAZİ TÜNELİ (YALOVA-BURSA) KM:31+500 –
31+530 ARASI DEFORMASYON ALANININ SAYISAL MODELLEME İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Atakan SÜLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2016

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

**SAMANLI-ORHANGAZİ TÜNELİ (YALOVA-BURSA) KM:31+500 –
31+530 ARASI DEFORMASYON ALANININ SAYISAL MODELLEME İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Atakan SÜLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 1741)**

2016

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAMANLI-ORHANGAZİ TÜNELİ (YALOVA – BURSA) KM: 31+500 –
31+530 ARASI DEFORMASYON ALANININ SAYISAL MODELLEME İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

ATAKAN SÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 24/6/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK (Danışman)

Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK

Doç. Dr. Hakan NEFESLİOĞLU

ÖZET

SAMANLI-ORHANGAZİ TÜNELİ (YALOVA-BURSA) KM:31+500 – 31+530 ARASI DEFORMASYON ALANININ SAYISAL MODELLEME İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Atakan SÜLER

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK

Mayıs 2016, 97 sayfa

Bu çalışmada, Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyolu Projesi kapsamında 30+830 ile 34+244 kilometreleri arasında çift tüp olarak inşa edilen Samanlı Tüneli'nin proje güzergâhında yer alan jeolojik birimler, jeoteknik açıdan incelenmiştir. Yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda, Prekambriyen yaşlı metamorfik kayalar (metakumtaşı, metakuvarsit, gnays) ve Eosen yaşlı volkanik kayaların (Aglomera – Bazalt, Andezit – Dasit) varlığı belirlenmiştir. Tünel güzergâhında rastlanan birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Birimlerin jeoteknik özellikleri, laboratuvar deneyleri ve ampirik bağıntılardan yararlanılarak tespit edilmiştir. Tünel kazısı sırasında yapılan jeolojik incelemeler sonucu, birimler RMR, NATM ve GSI sistemlerine göre sınıflandırılmış ve tünel için gereken destekleme elemanları belirlenmiştir. Destekleme elemanları üzerinde meydana gelebilecek asal gerilmeler ve toplam yer değiştirmeler (deformasyonlar), sonlu elemanlar yöntemi programı olan Phase² 7.0 kullanılarak saptanmıştır. Tünel kazı ve destekleme aşamalarında meydana gelen deformasyonlar, optik ölçümlerle kayıt altına alınmıştır. Alınan gerçek deformasyon değerleri ile sayısal analizlerde belirlenen deformasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Belirlenen ve kullanılan destekleme elemanlarının yeterliliği incelenmiştir. Kazı aşamalarındaki jeolojik çalışmalar ve deformasyon okumalarının doğru yorumlanması ile, NATM felsefesi doğrultusunda destek sistemlerinde değişikliklere gidilmiştir. Yapılan değişiklikler sonucunda, tünelin maliyeti, güvenliği ve ilerleme hızı olumlu yönde etkilenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Tünel, jeoteknik, Samanlı tüneli, mühendislik jeolojisi, kaya kütle sınıflama sistemleri, sonlu elemanlar yöntemi, deformasyon analizi, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM)

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK (Danışman)

Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK

Doç. Dr. Hakan A. NEFESLİOĞLU

ABSTRACT

EVALUATION OF DEFORMATION FIELD BETWEEN KM:31+500 – 31+530 IN SAMANLI-ORHANGAZI TUNNEL (YALOVA-BURSA) BY UTILIZING NUMERICAL MODELS

Atakan SÜLER

MSc Thesis in Geological Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özgür AKTURK
May 2016, 97 pages

In this study, the geological and geotechnical properties of rock units, located in project route of the Samanlı Tunnel constructed as a double tube between 30+830 and 34+244 kilometers of the Gebze – Orhangazi – İzmir Highway were investigated. As a result of the geological studies, it is determined that, Precambrien aged metamorphic rocks (metasandstone, metaquarsite, gneiss) and Eocene aged volcanic rocks (aglomera – basalt, andesite – dasite) were outcropped in the area. Studies to determine the engineering properties of the units that are found in the tunnel route is conducted. Geotechnical characteristics of the units were determined by using the laboratory experiments and empirical equations. During tunnel excavation, geotechnical units classified according to the RMR, NATM and GSI system, and the necessary support elements are determined for the tunnel. Total principal displacements (deformations) and stresses occurred on support elements was determined using finite element method software Phase² 7.0. Deformations occurred during tunnel excavation and support stages, was recorded by optical measurements. Deformations determined using numerical analysis were compared with the actual values of deformations. Specified supporting elements and adequacy of the support members was investigated. Geological studies in the excavation stages and correctly interpreted deformation measurements has been amended on support system in line with the philosophy of the NATM. As a result of the amendments, the cost of the tunnel, security and progress rate is positively affected.

KEYWORDS: Tunnel, geotechnics, Samanlı Tunnel, engineering geology, rock mass classification, finite element method, deformation analysis, New Australian Tunnelling Method (NATM)

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK (Supervisor)
Prof. Dr. Mahmut MUTLUTURK
Assoc. Prof. Dr. Hakan A. NEFESLİOĞLU

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyol Projesinde bulunan Samanlı Tüneli'nin 3591 ve 3586 m uzunluklarındaki tüplerinin, yapım aşamasında elde edilen jeolojik ve jeoteknik verilerinin incelenmesi, deformasyon ölçümlerinin analizleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal modellemelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında bana yol gösteren değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK'e, Tüneller Müdürü Maden Müh. Abdullah Kürşat EROL ve Jeoteknik Şefi Jeo. Müh. Metin ÇULFAZ'a, çalışma arkadaşlarım Tünel Şefi Jeo. Müh. Zafer GÜNEŞ ve Maden Müh. Burak EKMEN'e, Jeo. Müh. Necat ARIBAŞ ve Jeo. Yük. Müh. Emre BALCIOĞLU'na, meslektaşlarım ve arkadaşlarım Jeo. Yük. Müh. Selin HÖKEREK, Jeo. Yük. Müh. Neslihan ÜNAL, Jeo. Yük. Müh. Evren POŞLUK ve Jeo. Yük. Müh. Fatih UÇAR'a katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarımda arşivlerini kullanma izni veren, benim de üyesi bulunduğum OTOYOL YATIRIM A.Ş. – NÖMAYG A.O. Proje Müdürlüğü'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmalarımın hazırlanması aşamasında katkı ve desteğini esirgemeyen, aynı mesleği ve hayatı paylaştığım değerli eşim Jeo. Müh. Yasemin SÜLER, oğlum Ata Berk SÜLER ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Gebze – İzmir Otoyolu İnşaatı Projesinin Tanıtımı.....	1
1.3. Çalışma Alanının Konumu	2
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	4
2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	4
2.2. Samanlı Tüneli Jeolojisi	11
2.3. Kaya Kütlelerinin Tanımlanması	12
2.3.1. Süreksizlik türleri.....	12
2.3.2. Süreksizlik aralığı	14
2.3.3. Süreksizliklerin devamlılığı.....	15
2.3.4. Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı	16
2.3.5. Süreksizlik yüzeyinin açıklığı.....	16
2.3.6. Dolgu malzemesinin özellikleri	17
2.3.7. Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi ve dayanımı	18
2.3.8. Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu.....	19
2.3.9. Süreksizliklerin yönelimi ve süreksizlik takımı.....	21
2.3.9.1. Gül diyagramları ve histogramlar.....	21
2.3.9.2. Stereografik izdüşüm tekniği.....	21
2.3.10. Blok boyutu	22
2.4. Kaya Kütlelerinin Sınıflama Sistemleri.....	23
2.5. Kaya Kütle Değeri (Rock Mass Rating, RMR).....	24
2.6. Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri ve Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	26
2.7. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) Sınıflama Sistemi.....	27
2.8. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sayısal Analizler	30
2.8.1. Sonlu elemanlar yönteminde malzemenin tanımlanması	32
2.8.2. Sonlu elemanlar yönteminde yüklerin tanımlanması.....	32
2.9. Kaynak Taramaları	33
3. MATERYAL VE METOT	37

3.1. Materyal	37
3.2. Metot.....	37
3.2.1. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM).....	38
3.2.2. Tünel yapım aşamaları	40
3.2.2.1. Kazı aşamaları.....	40
3.2.2.2. Destekleme (Tahkimat) sistemleri	42
3.2.3. Jeolojik / jeoteknik çalışmalar	45
3.2.3.1. Tünel aynası çizimleri.....	45
3.2.3.2. Tünel (açılım) haritası.....	48
3.2.4. Araştırma delgisi	48
3.5. Gözleme ve Ölçümleme (Monitoring).....	50
4. BULGULAR	53
4.1. Sondaj Çalışmaları Verileri	53
4.2. Tünel Aynası Çizimleri.....	54
4.3. Tüneldeki Jeolojik Birimlerin Geçiş Kilometreleri	54
4.4. Süreksizlik Ölçümleri	54
4.5. Taban Kotu Jeoloji Haritası	57
4.6. Çalışılan Bölgeye Ait RMR Verileri.....	57
4.7. NATM Sınıfları.....	58
4.8. Araştırma Delgisi Logları	58
4.9. Yeraltı Suyu Durumu	59
4.10. Deformasyonlar	59
4.11. Tünel Perimetri (Açılım) Haritası.....	61
4.12. Samanlı Tüneli KM: 31+500 – 31+530 arası Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri	61
4.13. Sayısal Modelleme Aşamaları	63
4.13.1. Ana yapılandırma ayarları ve düğüm noktalarının (kafes) oluşturulması	63
4.13.2. Kaya kütlelerinin tanımlanması	63
4.13.3. Destekleme elemanlarının tanımlanması	64
4.13.4. Yapım aşamalarının tanımlanması	64
4.13.5. Gerilme ve sismik yüklerin tanımlanması.....	65
4.14. KM: 31+500 – 31+530 arası gerilme – deformasyon analizleri (B3 destek sınıfı) ..	66
4.15. KM: 31+500 – 31+530 arası Gerilme – Deformasyon Analizleri (C2 Destek Sınıfı)	69
4.16. KM: 31+500 – 31+530 arası Gerilme – Deformasyon Analizleri (C2 – B3 Destek Sınıfı).....	72
4.17. Gerilme – Deformasyon Analiz Bulguları	75
4.18. Nümerik Analiz ve Deformasyon Karşılaştırılması.....	75

5. SONUÇLAR	79
6. KAYNAKLAR	80
7. EKLER.....	88
Ek-1 Samanlı Tüneli Jeoloji Haritası ve Jeolojik Boy Kesiti.....	89
Ek-2 Sondaj Laboratuvar Özet Tabloları	90
Ek-3 Km: 31+500 – 31+532 arasında yapılan tünel aynası jeolojik haritalama çalışmaları	91
Ek-4 Taban Kotu Jeoloji Haritası.....	92
Ek-5 Samanlı Tüneli’ndeki kazı ve destek sistemlerinin şematik kesiti ile ön görülen ve gerçekleşen değerlerine ait grafikler.....	93
Ek-6 Araştırma Delgisi Formları.....	94
Ek-7 Deformasyonlara ait yatay ve düşey deplasman miktarlarının ve vektörel diyagramlarının grafikleri.....	95
Ek-8 Tünel Haritası Uygulama Paftası.....	96
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

B	Tünel profili ile tünel eksenini arasındaki açı
γ	Birim hacim ağırlık
σ_{ci}	Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı
σ_1	En büyük asal gerilme
σ_3	En küçük asal gerilme
m_b	Kaya kütlelerine ait boyutsuz malzeme sabiti
D_e	Eşdeğer boyut

Kısaltmalar

CLT	Çıkış sol tüp
CRT	Çıkış sağ tüp
F	Fay
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
GLT	Giriş sol tüp
GRT	Giriş sağ tüp
GSI	Jeolojik dayanım indeksi
ISRM	Uluslararası kaya mekaniği derneği
J_a	Eklem ayrışma sayısı
J_n	Eklem takımı sayısı
J_r	Eklem pürüzlülük sayısı
J_v	m^3 'teki toplam eklem sayısı
J_w	Eklem suyu indirgeme sayısı
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
Km	Kilometre
kNm	KiloNewtonmetre
kW	Kilowatt
m	Aşınmadan dolayı ilerleme azaltma faktörü
mm	milimetre
MPa	Megapaskal
n	porozite
PR	Anlık ilerleme
Q	Kaya kütle kalitesi
RMI	Kaya kütle indeksi
RMR	Kaya kütle sınıflaması
RQD	Kaya kalite indisi
RQD _o	Yönlendirilmiş kaya kalite indisi
SRF	Gerilme indirgeme faktörüdür
TCK	Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
UCS	Tek eksenli sıkışma dayanımı
YİD	Yap – İşlet - Devret

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Gebze-Orhangazi-İzmir Otoyol Projesi Güzergâhı (Otoyol AŞ. Teknik Bilgi Raporu 2012)	2
Şekil 1.2. Samanlı Tüneli Yer Bulduru Haritası	3
Şekil 1.3. Samanlı Tüneli plan kesiti	3
Şekil 2.1. Proje sahasının jeolojik haritası (Erendil vd 2005'ten değiştirilerek alınmıştır.)	4
Şekil 2.2. Kuzeybatı Türkiye'nin jeoloji haritası (Türkecan ve Yurtsever 2002; Gedik ve Aksay 2002; Okay vd 2008; Ö. F. Çelik vd 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).	5
Şekil 2.3. Armutlu Yarımadası'nın genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Emre vd 1999).....	6
Şekil 2.4. Marmara Bölgesi aktif tektonik haritası (Okay vd 2000).....	8
Şekil 2.5. Marmara Denizi doğusunun tektonik haritası (Okay vd 2000)	9
Şekil 2.6. Tünel güzergâhını kapsayan proje alanının Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasındaki yeri (Özmen vd 1997 ve Gülkan vd 1993).....	10
Şekil 2.7. Tünel güzergâhını kapsayan proje alanının diri fay haritası (Emre vd 2011)	10
Şekil 2.8. Pamukova ve İznik metamorfikleri için basitleştirilmiş tektono-stratigrafik kesitler (Göncüoğlu vd 1987 ve 1992)	11
Şekil 2.9. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Ulusay ve Sönmez 2007).	13
Şekil 2.10. Ölçüm hattı boyunca süreksizlik aralığının tayini (Ulusay ve Sönmez 2007)	14
Şekil 2.11. Süreksizliklerin devamlılığını gösteren izometrik diyagramlar (Ulusay ve Sönmez 2007).....	15
Şekil 2.12. Süreksizlik yüzeylerinin dalgalılığı ve pürüzlülüğü (Ulusay ve Sönmez 2007)	16
Şekil 2.13. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM 2007)	17
Şekil 2.14. Kapalı, açık ve dolgulu süreksizlikler (ISRM 2007)	17
Şekil 2.15. Schmidt geri sıçrama değeri ile kaya yüzeyinin sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Hoek ve Bray 1981)	20
Şekil 2.16. Gül diyagram ve kontur diyagram örneği (Rocscience Dips 6.0)	21
Şekil 2.17. RMR Kaya kütleli sınıflarına göre desteksiz durma süresi ve desteksiz tavan açıklığı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Bieniawski 1989).....	27
Şekil 2.18. GSI sınıflama sistemi (Hoek 1999a).....	29
Şekil 3.1. Yapım aşamasındaki tünel tip kesiti ve drenaj sistemleri.....	40
Şekil 3.2. Samanlı Tüneli kazı ve beton aşamaları şematik kesiti	41
Şekil 3.3. Üstyarı kazı (mekanik) aşaması (Samanlı Tüneli sağ tüp)	41
Şekil 3.4. Altyarı kazı ve destekleme aşaması (Samanlı Tüneli sol tüp).....	42
Şekil 3.5. Taban (invert) kazı ve destekleme aşaması (Samanlı Tüneli sol tüp)	42
Şekil 3.6. Süren uygulamasını gösteren şematik çizim.....	43
Şekil 3.7. Kaya bulonu imalat aşaması (Samanlı Tüneli sağ tüp).....	44
Şekil 3.8. Püskürtme betonu uygulama aşaması (Samanlı Tüneli sol tüp).....	45
Şekil 3.9. Samanlı Tüneli'ne ait örnek tünel aynası jeolojik haritası (km: 31+933,40)	46
Şekil 3.10. Pamukova metamorfiklerine ait metakumtaşı – metakuvarsit üyesi (km: 31+933,40).....	46

Şekil 3.11. Tünel aynası RMR değerlendirmesi örneği (km:31+933,40).....	47
Şekil 3.12. Tünel (Açılım) Haritası örnek pafta (Samanlı Tüneli sağ tüp).....	48
Şekil 3.13. Araştırma delgisi ve değerlendirme aşaması (Samanlı Tüneli sağ tüp).....	49
Şekil 3.14. Araştırma delgisi log kayıt örneği (Samanlı Tüneli sağ tüp).....	49
Şekil 3.15. Tünel içerisindeki deformasyon istasyonları ve ölçüm noktaları	50
Şekil 3.16. Tünelde konumlanmış bir istasyona ait deformasyon grafiği örneği.....	51
Şekil 3.17. Yatay ve düşey deformasyon grafiklerini gösteren bir örnek.....	51
Şekil 4.1. Samanlı Tüneli Giriş Portalı Süreksizlik Kontur Diyagramı (Yüksel Domanıç Ltd. Şti. 2012)	55
Şekil 4.2. Samanlı Tüneli Çıkış Portalı Süreksizlik Kontur Diyagramı (Yüksel Domanıç Ltd. Şti. 2012)	55
Şekil 4.3. Metakumtaşı Birimine Ait Kontur ve Gül Diyagramı	56
Şekil 4.4. Bazalt Birimine Ait Kontur ve Gül Diyagramı.....	56
Şekil 4.5. Dasit Birimine Ait Kontur ve Gül Diyagramı.....	56
Şekil 4.6. Samanlı Tüneli'ndeki hakim kuvvet yönü ve tektonik yapıyı gösteren çizimler	57
Şekil 4.7. Yeraltı suyu etkisini gösteren şematik kesit (Km: 31+000-31+700).....	60
Şekil 4.8. Tünel jeolojik açılım haritası hazırlanışına örnek çizimler (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006).....	61
Şekil 4.9. Sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri	62
Şekil 4.10. Modelleme yapılandırma ayarları (kafes türü, eleman türü vb.)	63
Şekil 4.11. Kaya kütle özelliklerinin tanımlanması	64
Şekil 4.12. Tünel destekleme elemanlarının tanımlanması.....	64
Şekil 4.13. Yapım aşamalarının ve desteklemelerin tanımlanması	65
Şekil 4.14. Gerilme ve sismik yüklerin tanımlanması	66
Şekil 4.15. Tasarım aşamasındaki tünellerin konumu (B3 destek sistemi)	66
Şekil 4.16. Kazı ve destekleme öncesi toplam yer değiştirme (B3).....	67
Şekil 4.17. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (B3)	67
Şekil 4.18. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (B3)	67
Şekil 4.19. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (B3)	68
Şekil 4.20. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (B3) ...	68
Şekil 4.21. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (B3) ...	68
Şekil 4.22. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (B3)....	69
Şekil 4.23. Tasarım aşamasındaki tünellerin konumu (C2 destek sistemi)	69
Şekil 4.24. Kazı ve destekleme öncesi toplam yer değiştirme (C2).....	70
Şekil 4.25. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2)	70
Şekil 4.26. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2)	70
Şekil 4.27. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2)	71
Şekil 4.28. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2) ...	71
Şekil 4.29. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2) ...	71
Şekil 4.30. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2)....	72
Şekil 4.31. Tasarım aşamasındaki tünellerin konumu (C2 – B3 destek sistemi).....	72
Şekil 4.32. Kazı ve destekleme öncesi toplam yer değiştirme (C2-B3).....	73
Şekil 4.33. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2-B3)	73
Şekil 4.34. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2-B3)	73
Şekil 4.35. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2-B3)	74

Şekil 4.36. Sağ tp – sol tp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2-B3)	74
Şekil 4.37. Sağ tp – sol tp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2-B3)	74
Şekil 4.38. Sağ tp – sol tp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2-B3)	75
Şekil 4.39. Sağ tüpte ölçülen deformasyon miktarlarının karşılaştırma grafikleri	77
Şekil 4.40. Sol tüpte ölçülen deformasyon miktarlarının karşılaştırma grafikleri	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Süreksizlik türleri için veri formlarında ve jeoteknik loglarda yaygın olarak kullanılan simgeler (Ulusay ve Sönmez 2007).....	13
Çizelge 2.2. Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri (ISRM 2007).....	14
Çizelge 2.3. Süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (ISRM 2007)	15
Çizelge 2.4. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçüler (ISRM 2007).....	16
Çizelge 2.5. Kaya kütlelerinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM 2007)	18
Çizelge 2.6. Kaya malzemesinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM 2007) ...	19
Çizelge 2.7. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM 2007).....	19
Çizelge 2.8. Kaya kütleleri için su sızıntılarının sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM 2007)	20
Çizelge 2.9. Hacimsel eklem sayısına (Jv) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM 2007)	23
Çizelge 2.10. Güncel Jv sınıflaması (Palmstrom 1982, 1996).....	23
Çizelge 2.11. RMR Kaya kütleleri sınıflama sistemi (Bieniawski 1989).....	25
Çizelge 2.12. Süreksizlik yüzeyi koşulunun puanlandırılması için önerilen kılavuz (Bieniawski 1989).....	26
Çizelge 2.13. NATM Kaya Sınıflama Sistemi (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006)..	28
Çizelge 2.14. NATM, RMR ve Q eşleştirilmesi (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006)	30
Çizelge 3.1. Samanlı Tüneli tünel aynası çizimlerinin istatistikleri.....	47
Çizelge 3.2. Araştırma delgisi istatistikleri	50
Çizelge 3.3. Samanlı Tüneli Deformasyon Ölçüm İstatistikleri	52
Çizelge 4.1. Samanlı Tüneli Sondaj Bilgileri.....	53
Çizelge 4.2. Jeolojik Birimlerin Geçiş Kilometreleri.....	54
Çizelge 4.3. Çalışılan bölgeye ait RMR verileri	57
Çizelge 4.4. Gerçekleşen NATM Kaya Sınıflamaları Tablosu.....	58
Çizelge 4.5. Çalışılan bölgeye ait araştırma delgisi log kayıt tablosu	58
Çizelge 4.6. Samanlı Tüneli kazı sonrası su durumunu gösteren tablo	59
Çizelge 4.7. Sayısal analizlerde kullanılan kaya kütle parametreleri.....	62
Çizelge 4.8. Kazı ve destekleme sonrası σ_1 , σ_3 ve toplam yer değiştirme değerleri.....	76
Çizelge 4.9. Kazı ve destekleme sonrası ölçülen reel vektörel deformasyon değerleri ..	77

1. GİRİŞ

Dünyada yer altı yapılarının önem kazanmasıyla birlikte, ülkemizde de hem projelendirme hem de yapım çalışmalarında tüneller, çoğunlukla tercih edilen yapılar haline gelmiştir. Gelişen teknoloji ve tecrübelerle birlikte ülkemizde son yıllarda tünel projelendirilmesi ve yapımı büyük bir hızla artmaktadır.

Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyol Projesi kapsamında inşa edilen Samanlı Tüneli tamamlandığında, 3033 metre uzunluğundaki Türkiye'nin en uzun otoyolu tüneli olan Selatin Tüneli'nden bu unvanını alacaktır. Bu proje sayesinde, Yalova – Orhangazi arasında trafik problemleri olan ve uzun süren devlet yolu by-pass edilmiş olup, hem seyahat süresi azalmış olacak hem de her türlü meteorolojik koşullardan etkilenmeyecek olması neticesinde otoyol konforu ve trafik güvenliği artacaktır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada ülkemizin önemli projelerinden biri olan “Gebze – İzmir Otoyolu İnşaatı Projesi” kapsamında yer alan ve ayrıca Türkiye'nin en uzun otoyol tüneli unvanını alan 3591 metre (çift tüp) Samanlı Tüneli konu alınmaktadır.

Bu çalışmada temel olarak, ön görülen tünel destek sisteminin uygulama ile örtüşmesi incelenmiştir. Bu amaçla, tünel kazısı esnasında alınan jeolojik verilerle sayısal analizlerle gerilme – deformasyon karşılaştırılması yapılmıştır. Belirlenen ve kullanılan destekleme elemanlarının yeterliliği incelenmiştir. Ayrıca jeolojik ve jeoteknik incelemelerin, projenin doğru yapım yöntemleriyle, planlanandan daha hızlı ilerlemesine olan katkısı da ele alınmıştır.

1.2. Gebze – İzmir Otoyolu İnşaatı Projesinin Tanıtımı

Projeyi gerçekleştirecek taraf olarak OTOYOL A.Ş.(Otoyol Yatırım ve İşletme A.Ş.) Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından, Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyol Projesini Yap, İşlet, Devret (YİD) sözleşmesi çerçevesinde gerçekleştirmek üzere seçilmiştir. Proje, toplam 377 km'lik otoyol ile İzmit Körfezi üzerinde inşa edilecek olan yaklaşık 3 km uzunluğundaki asma köprü, üç adet tünel (Samanlı Tüneli, Selçukgazi Tüneli ve Belkahve Tüneli) ve ayrıca 46 km uzunluğundaki yaklaşım yollarının inşasını kapsamaktadır (Şekil 1.1). Otoyolun inşası ve işletimi YİD sözleşmesinin toplam süresi 22 yıl 4 aydır.

OTOYOL A.Ş., NÖMAYG Yapım Ortaklığı'nı (Nurol, Özaltın, Mak-Yol, Astaldi S.p.A, Yüksel İnşaat ve Göçay) Otoyol Projesinin inşaat aşamasının ana mühendislik, tedarik ve inşaat yüklenicisi olarak atamıştır. Köprü inşası için IHI, Samanlı Tüneli inşası için Dağcan İnşaat A.Ş. yüklenici olarak belirlenmiştir. Otoyol kesin proje raporu ve proje çizimleri Yüksel Domaniç Mühendislik Ltd. Şti. tarafından hazırlanmıştır.

Mevcut İstanbul – İzmir güzergâhı, Türkiye'nin en önemli ulaşım bağlantılarından biridir. Son yıllardaki büyüme hızı ve gelişme, ortalama 35.000 araca

ulaşan trafik yükünü meydana getirmiş ve bu güzergâhta önemli trafik problemlerini oluşturmuştur. Bu proje ile seyahatlerde zaman tasarrufu, iller arası erişimlerin kolaylaşması, mevcut yolun yetersiz standartlarından kaynaklanan trafik kazalarında azalma ve mevcut karayolundaki trafiğin yaklaşık %30 azaltılması amaçlanmıştır.

Proje genelinde inşaat öncesi hazırlık çalışmaları 2011 yılında başlamıştır. Samanlı Tüneli yapım çalışmalarına ise 12 Şubat 2012 tarihinde başlanmıştır. Tünelin sağ tüp (3591 m) kazı ve destekleme çalışmaları 19 Şubat 2014 tarihinde sonlanmış olup, bu sınıftaki bir tünel için bir Türkiye rekorudur.



Şekil 1.1. Gebze-Orhangazi-İzmir Otoyol Projesi Güzergâhı (Otoyol AŞ. Teknik Bilgi Raporu 2012)

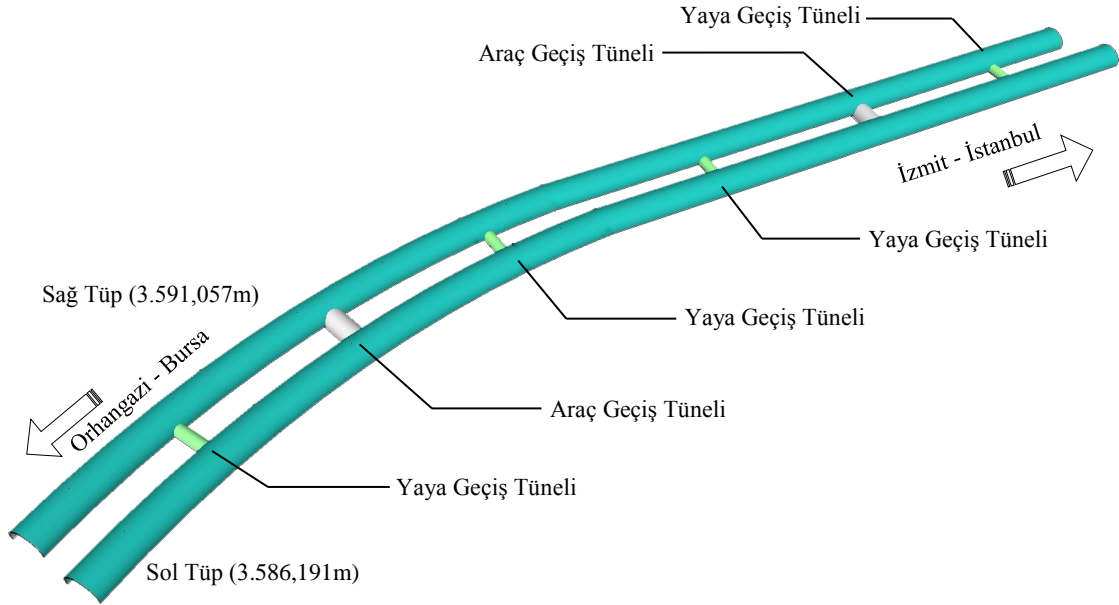
1.3. Çalışma Alanının Konumu

Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyolu, Gebze – Orhangazi Kesimi üzerinde KM: 30+830 ile 34+244 arasında bulunan Samanlı Tüneli, Yalova ile Bursa illeri arasında yer almaktadır. Tünel giriş portalı Yalova ili Laledere köyü sınırlarında olup, tünel çıkış portalı ise Bursa ili Orhangazi ilçesi Ortaköy sınırlarında bulunmaktadır (Şekil 1.2). Çalışma alanının yakınlarında Kılıç, Gacık, Elmalık, Laledere, Sugören, Ortaköy ve Yeniköy köyleri bulunmaktadır. Çalışma alanının en önemli yapısı, bölgenin morfolojisini oluşturan 746m yüksekliğindeki Samanlı Dağı'dır.



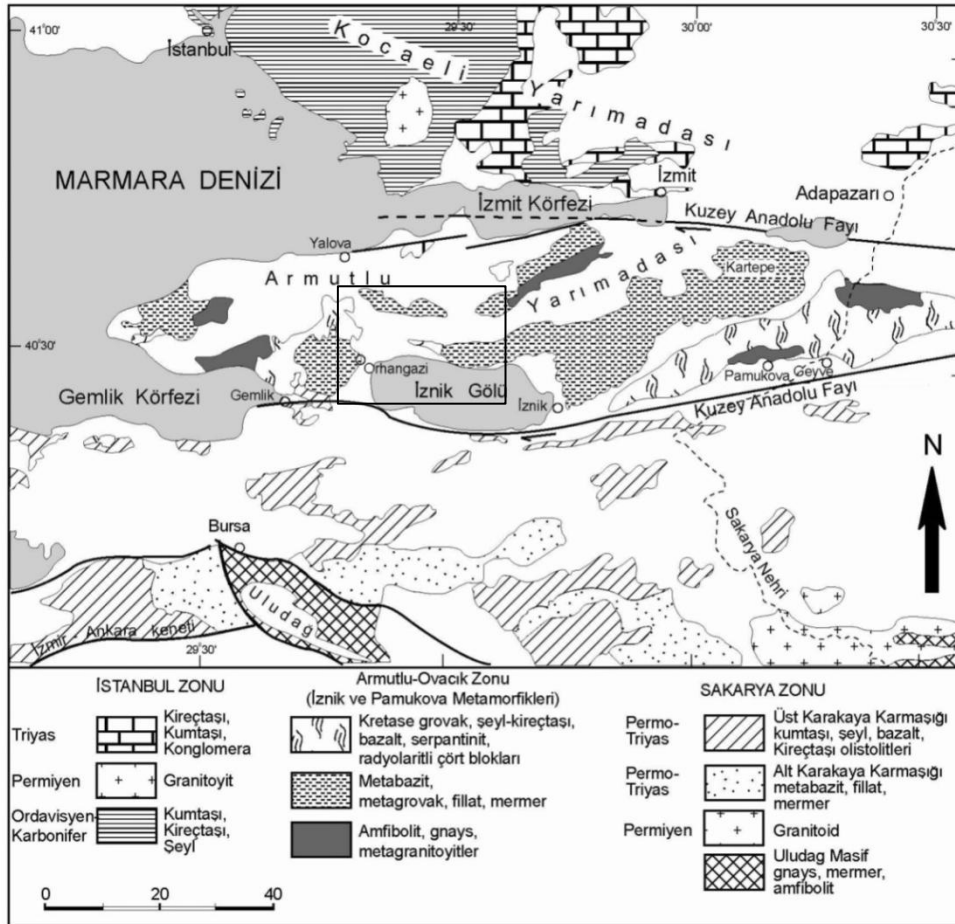
Şekil 1.2. Samanlı Tüneli Yer Bulduru Haritası

Samanlı Tüneli plan kesitinde de görüldüğü gibi, acil durumlarda tahliye amaçlı yapılan dört adet yaya geçişi ve iki adet araç geçişi tünelleri bulunmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Samanlı Tüneli plan kesiti

(2012), bu iki horst için şöyle demektedir: “İzmit Körfezi Grabeni ve jeomorfolojik görünüşlerindeki aykırılık kadar belirgin stratigrafik ve tektonostratigrafik gelişim süreçleri gösteren her iki horst, tümüyle Batı Pontidler (Ketin 1966) içinde yer almaktadır. Ayrıntıda ise, Rodop – Pontid Sakarya kıtaları (Şengör ve Yılmaz 1981) ya da onlara eşdeğer İstanbul/Sakarya zonlarının (Okay vd 1994) dokanağı grabenin uzun ekseninden geçirilmiştir.” Armutlu yarımadasının jeolojik ve jeoteknik detaylarına, ilgili alt başlıklarda yer verilecektir.

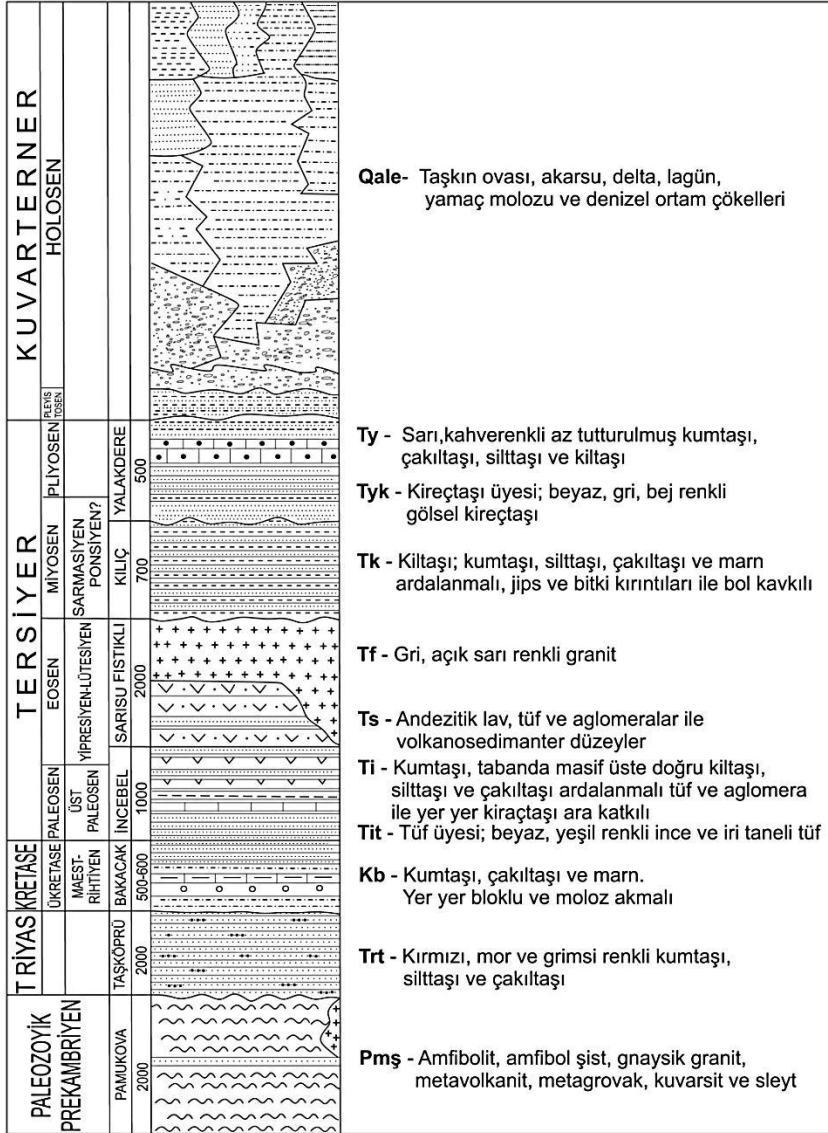


Şekil 2.2. Kuzeybatı Türkiye'nin jeoloji haritası (Türkecan ve Yurtsever 2002; Gedik ve Aksay 2002; Okay vd 2008; Ö. F. Çelik vd 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).

2.1.1. Stratigrafi

Armutlu Yarımadası

Armutlu Yarımadası, Paleozoyik yaşlı birimlerden günümüze değişen kaya türlerini içermektedir. Bölgenin temel kayası, Samanlı Tüneli Kesin Proje Raporu'na (2012) göre Pamukova metamorfiklerinden oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Armutlu Yarımadası'nın genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Emre vd 1999)

2.1.1.1. Pamukova Metamorfikleri (Pmş)

Pamukova Metamorfikleri, Armutlu yarımadasının temel kayasını oluşturmaktadır. Amfibolit, amfibolşist, granit, metavolkanit, metagrovak, metakuvarsit ve fillitten oluşan temel kaya, apilit, pegmatit ve kuvars damarlarıyla yer yer kesilmektedir (Yüksel Domaniç Ltd. Şti. 2012).

2.1.1.2. Sarısu Formasyonu (Ts)

Yalova ili Elmalık köyü güneyinde yüzeylenen Sarısu Formasyonu, çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan yaklaşık 5 – 10 metre kalınlıkta bir seviye ile metamorfik birimlerin üzerinde başlar. Konglomeralar köşeli kuvars klastlarından oluşur ve tane desteklidir (Yüksel Domaniç Ltd. Şti. 2012). Çamurtaşları, kuvars taneli,

kalkerli çamurtaşı niteliğindedir. Kireçtaşları ise litoklastik ve biyoklastik, nümümlitli, kuvars taneli istiftaş türündedir (Yılmaz vd 2010). Yaklaşık 1000 metre kalınlıkta inca-kaba taneli tuf, andezitik tuf ve lapilli tuf içeren piroklastik kayalar bu seviyenin üzerinde bulunur. Plajiyoklas, piroksen (ojit) ve hornblend fenokristalli andezitik volkanik kayalardan oluşan ortalama 5m kalınlıktaki lav akıntıları, piroklastik kayalar ile ardalanmıştır. Bu istif, ojitve plajiyoklas bileşenli bazalt daykları, üst seviyelerde kesmektedir. Eosen yaşlı andezit, dasit, aglomera ve bazalt birimleri arazide yüzleklenmiştir.

2.1.1.3. Kuvaterner çökelleri

Sarı ve boz renkli, tabakalı, yer yer bol fosilli, gevşek çimentolu kum, killi kum, marn ve siltten oluşan çökeller vadi tabanlarında ve kıyı şeridinde yaygın olarak gözlenmektedir. Bu birimlerin üzerinde ise alüvyon çökelleri bulunmaktadır (Yüksel Domaniç Ltd. Şti. 2012).

2.1.2. Yapısal jeoloji ve tektonik

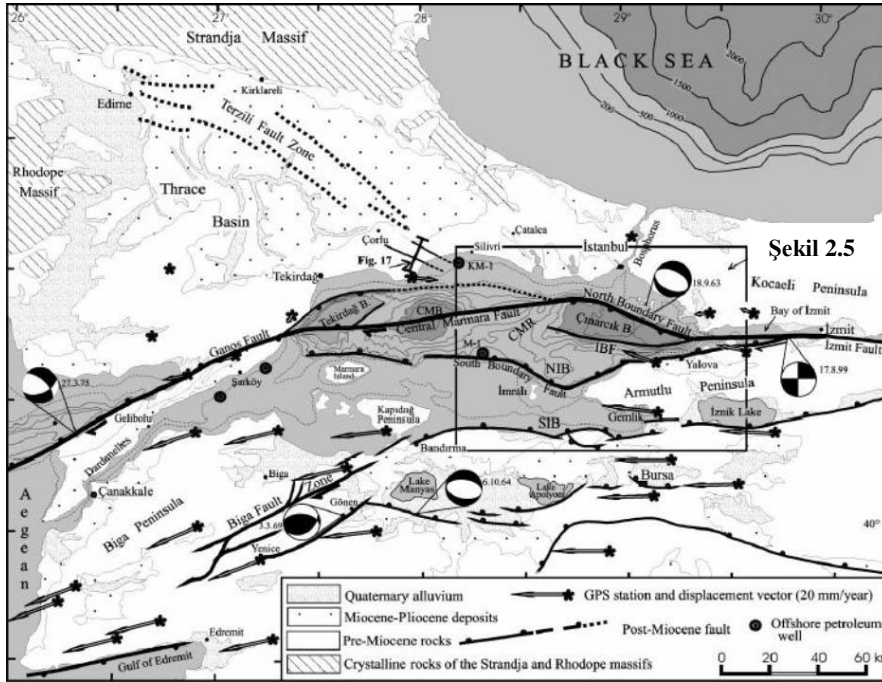
Paleotektonik dönemde kuzeybatı Türkiye’de, Neotetis’in kuzeye Pontidler’in altına dalmasına bağlı olarak Geç Kampaniyen – Erken Maastrichtiyen döneminde İstanbul – Zonguldak birliği ve Sakarya Kıtası Intra – Pontid kenedi boyunca, Sakarya Kıtası ile Anatolid – Torid Bloğu ise Geç Paleosen’de İzmir – Ankara kenedi boyunca çarpışmışlardır (Okay ve Tüysüz 1999). Bu çarpışmalı tektonik dönemi izleyen Geç Eosen – Oligosen döneminde ise Batı Pontidler’de, basma (kompresyonel) kuvvetlerin etkisiyle gelişen yapılar sıkışmalı tektonik dönemin büyük ölçekli temel yapısal özelliklerini oluşturmuşlardır. Erken-Orta Miyosen evresinde ise İstanbul – Zonguldak birliği durağan bir dönem geçirmiştir.

Neotektonik dönem, Arap ve Anadolu levhalarının 11 milyon yıl önce çarpışması sonucu Anadolu levhasının batıya kaçış hareketiyle başlamış, bunun bir sonucu olarak da Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) gelişmeye başlamıştır (Şengör 1979, Barka 1992). K-G yönlü sıkışmalı tektonik bir rejimi başlatan bu olayla beraber inceleme alanını oluşturan bölgede Geç Miyosen’de, Trakya – Kocaeli Penepeni ve Çamdağ – Akcakoca Yükseltisi arasında morfolotektonik bir koridor olarak nitelendirilen sol yönlü Adapazarı - Karasu Fay Zonu (AKFZ) gelişmiştir (Elmas 2003, Yiğitbaş vd 2004). Pliyo – Kuvaterner döneminde ise AKFZ’nun batısında kalan Doğu Marmara bölgesinde etkin olan K-G yönlü sıkışmalı tektonik rejim KAFZ’nun ortaya çıkmasıyla karakter değiştirmiştir (Emre vd 1998). AKFZ’nun doğusunda kalan Batı Kardeniz bölgesinde ise bazı genç döküntüler dışında Oligosen’den daha genç birimlerin bulunmaması ve 1968 Bartın depremi için önerilen ters fay çözümleri (Alptekin vd 1985, Taymaz ve Tan 1999) bölgenin halen sıkışma kuvvetlerince denetlendiğinin belirtisi olarak kabul edilmiştir (Sunal ve Tüysüz 2002).

2.1.3. Depremsellik

Marmara Bölgesi’nin depremselliği Kuzey Anadolu Transform Fayı’nın (Barka 1997, Barka ve Kadinsky – Cade 1988, Şengör 1979, Şengör vd 1999; Şengör vd 2001, Şengör vd 2004, Wong vd 1995, Armijo vd 1999, Okay vd 2000) batı uzantısını

oluşturan kolları tarafından denetlenmektedir. Armijo vd (2002) ve Okay vd (2000)'e göre Marmara Denizi altında 165 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fayı, Le Pichon vd (1999) tarafından öne sürüldüğü gibi tek bir parçadan değil birkaç parçadan oluşmaktadır. Okay vd (1999)'a göre batıdaki Ganos segmenti (15 km) Ganos Fayı'nın deniz altındaki devamını temsil etmektedir. Orta Marmara segmenti 105 km uzunlukta olup doğuya doğru 45 km uzunlukta Kuzey Sınır segmenti ile devam etmektedir. İzmit Körfezi girişinde Kuzey Sınır segmenti D-B yönelimli İzmit segmenti ile birleşmektedir (Okay vd 2000) (Şekil 2.4 ve 2.5). Kuzey Anadolu Fayı'nın İzmit segmenti 17 Ağustos 1999 İzmit depremine (Ms 7.4) neden olan koldur.

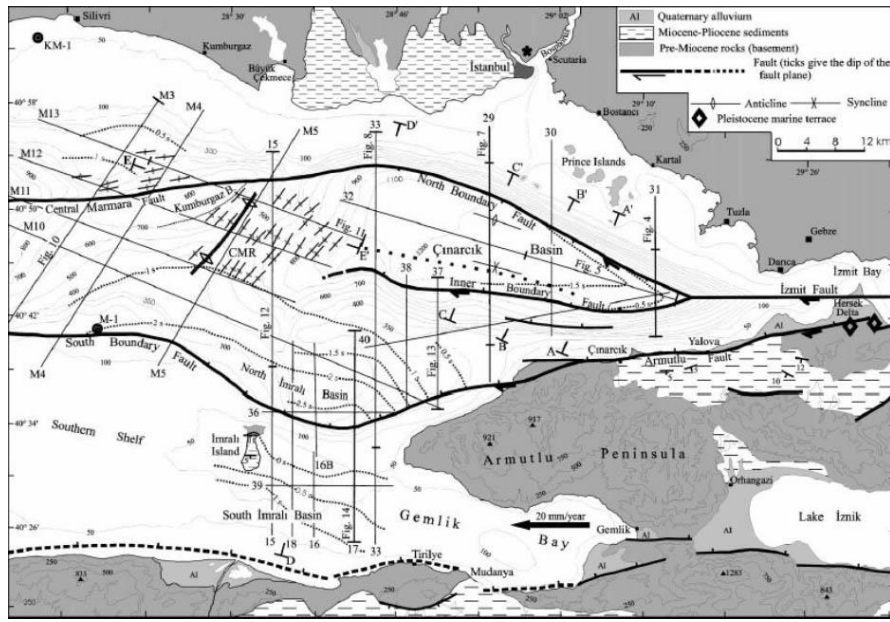


Şekil 2.4. Marmara Bölgesi aktif tektonik haritası (Okay vd 2000)

Ambraseys ve Finkel (1991)'e göre kuzey sınır fayı büyük bir olasılıkla 10.07.1984 depreminde kırılmış ve İstanbul'da büyük hasara neden olmuştur. Ganos Fayı'nın 45 km uzunluğundaki segmenti ve bunun denizdeki 15 km'lik uzantısı 09.08.1912 depreminde kırılmıştır (Ambraseys ve Finkel 1991). Ancak, yaklaşık 20 mm/yıl deplasman gösteren Orta Marmara segmentinin 1776'dan beri kırılmadığı bilinmektedir (Okay vd 2000). Bu fay Marmara bölgesi için ciddi bir tehdit olarak kabul edilmektedir.

Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyolu'nun, Gebze – Orhangazi arası proje güzergâhı ülkenin en önemli aktif faylarından olan Kuzey Anadolu Fay Zonu içerisinde yer almaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu, Dokurcun yöresinde 2 ana kola ayrılmaktadır. Güney kol Dokurcun - Geyve – İzmit hattını izleyerek Gemlik Körfezi'nde Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Buradan batıya doğru Marmara Denizi güneyini morfolojik olarak sınırlandıran güney kol Bandırma'ya kadar izlenmektedir. Kuzey kol ise Dokurcun - Karapürçek - Sapanca Gölü üzerinden batıya doğru devam ederek İzmit Körfezi'nde Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Hersek deltası doğusunda kalan kesiminde bu koldaki faylar morfolojik olarak İzmit Körfezi'nin güney kıyılarını

sınırlandırmaktadır. Yalova bölgesinde deprem kaynağı olabilecek aktif faylar Marmara Denizi tabanında yer almaktadır. Hersek deltası batısında Kuzey Anadolu Fayı'nın bu deniz içerisindeki konumu hakkında yeterli veri yoktur. Bu denizde fayın yapısı ve geometrisi hakkında değişik görüşler ileri sürülmektedir. Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisindeki konumuna ilişkin yapılan birçok araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmalarda fayın kuzey kolunun KD – GB yönlü doğrultu atımlı fay segmentleri ve bunlar arasındaki normal faylardan oluşan bir patern sunduğu konusunda görüş birliği vardır. Emre vd (1998) tarafından, İzmit Körfezi'nin doğu yarısında Kuzey Anadolu Fayı zonundaki aktif ana fayların D-B yönünde uzandığı KD - GB uzanımlı fayların Kuzey Anadolu Fayı'nın ilk oluşum aşamasındaki makaslama yapıları şeklinde gelişmiş olduğu açıklanmıştır. 17.08.1999 depreminde gelişen yüzey kırıklarının geometrisi ikinci görüşü doğrulamaktadır.

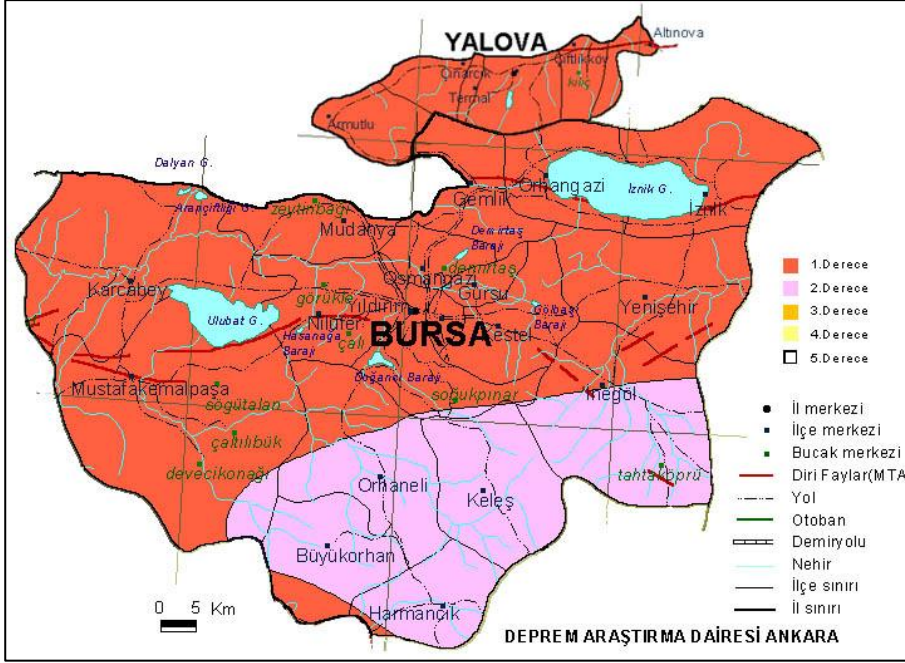


Şekil 2.5. Marmara Denizi doğusunun tektonik haritası (Okay vd 2000)

17.08.1999 depreminde Altınova doğusunda deniz içerisinde başlayan ve en doğuda Gölyaka'ya kadar uzanan yaklaşık 130 km uzunluğunda yüzey kırılması gerçekleşmiştir. Yalova doğusunda yer alan Laledere deltasında bu depremde gelişmiş bir faylanmayla yorumlanabilecek yapısal özellikler sunan yüzey kırıkları gözlenmiştir. Delta düzlüğü üzerinde kabaca doğu - batı doğrultusunda uzanan bu kırıklar, devamlılığı olmayan birkaç cm'lik sağ yönlü doğrultu atım bileşeni olan normal fay ve açılma çatlakları şeklindedir. Normal faylanma gösterenlerin kuzey blokları aşağıda olup, Yalova Havaalanı batısında 15 cm'lik maksimum eğim atımı izlenmiştir. Taşköprü kuzeyinde izlenen bu yüzey kırılması delta üzerinde kabaca BKB – DGD doğrultusunda uzanan normal fay zonunda gelişmiştir. Bu özellikleri ile kırıkların tektonik kökenli, dolayısıyla 17.08.1999 depremine bağlı olarak meydana gelen yüzey kırılması sonucu oluştuğu görüşü ağırlık kazanmaktadır.

Fay boyunca depremlerin batıya doğru düzenli şekilde ilerlemekte oluşu Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizi altındaki bölümlerinde yakın gelecekteki deprem riskini arttırmıştır. Dolayısıyla 17.08.1999 depremi sonrasında Yalova ilinin de

içerisinde bulunduğu bölge deprem riski en yüksek alanlardan biri haline gelmiştir (Şekil 2.6). Tarihsel deprem aktivitesi ve son deprem, bölgedeki aktif fayların Yalova bölgesi için sürekli tehlike oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.6. Tünel güzergâhını kapsayan proje alanının Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasındaki yeri (Özmen vd 1997 ve Gülkan vd 1993)

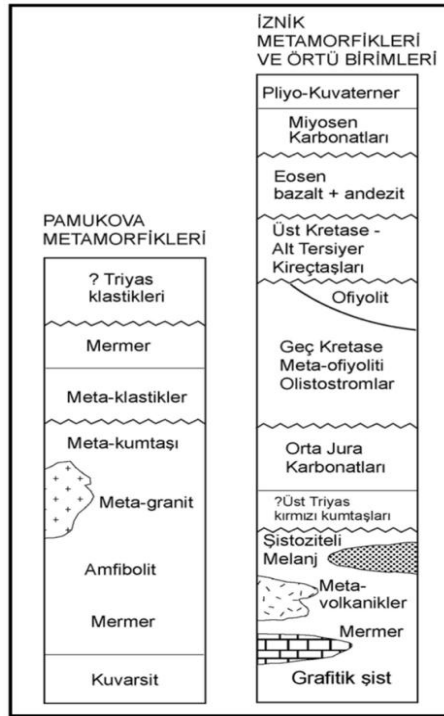


Şekil 2.7. Tünel güzergâhını kapsayan proje alanının diri fay haritası (Emre vd 2011)

2.2. Samanlı Tüneli Jeolojisi

Samanlı Tüneli'nde Km: 30+830 ile Km: 32+200 ve Km: 33+270 ile Km: 34+030 arasında Pamukova Metamorfikleri, Km: 32+200 ile Km: 33+270 ve Km: 34+030 ile Km: 34+244 arasında Sarısu Formasyonu yer almaktadır (Bkz. Ek-1).

Samanlı Tüneli giriş portal kesiminde yüzeylenen Pamukova Metamorfikleri'ne ait yeşil, gri-yeşil, boz ve bej renkli metakumtaşları, metakuvarsit ve metabazikler Km:30+800 ile Km:30+975 arasında bulunmaktadır. Bu bölgedeki sondaj verilerinde elde edilen düşük RQD değerleri, bu birimlerde yoğun süreksizler bulunduğunu göstermektedir. Tünel çıkış portal kesiminde kesilen Pamukova metamorfikleri ise, giriş kesiminden farklı olarak açık ve koyu gri gnayslar Km: 33+270 ile 34+030 arasında yüzeylenmiştir. Pamukova metamorfiklerine ait basitleştirilmiş stratigrafik dikme kesit Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Pamukova ve İznik metamorfikleri için basitleştirilmiş tektono-stratigrafik kesitler (Göncüoğlu vd 1987 ve 1992)

Yalova İlinin doğusundan batısına kadar güney kesimi boyunca Kurtköy, Termal, Teşvikiye civarında yaygın olarak yüzeylenen sarımsı kahverenkli, koyu yeşil renkli andezitik lav-tüf ve aglomeralardan oluşan volkanik istif Sarısu volkanikleri olarak adlandırılmıştır (Göncüoğlu vd 1992). Sarısu Volkanikleri'ne ait gri – koyu gri ve siyah renkli aglomera – bazalt ardalanması Km: 32+200 ile 33+270 arasında yer almaktadır. Aglomera birimleri bazalt içerisinde yuvarlak – yarı yuvarlak volkanik konglomera şeklinde görülmektedir. Samanlı Tüneli çıkış portal kesiminde yüzeylenen açık gri, bej ve beyaz renkli dasit ve/veya andezitler Km: 34+195 ile Km: 34+244 arasında bulunmaktadır.

Tünel güzergâhında dar ve yüksek açılı, sık yerleşimli normal faylar bulunmaktadır. Pamukova Metamorfikleri ile Sarısu Volkanikleri'nin tektonik dokanaklarında milonitik ve breşik oluşumlu iki ezilme zonu (~40m ve ~100m) mevcuttur. Bu zonlar, yüksek açılı normal faylanma göstermiş olup, karşılaşılan en önemli tektonik oluşumlardır. Tünel güzergâhında en yüksek örtü kalınlığı da 430 metre olarak ölçülmüştür. Geometrik olarak yatay ve düşey kırplara sahip olan tünel güzergâhındaki yeraltı suyu, giriş ve çıkışa doğru her iki yönde de kendi cazibesıyla akarak uzaklaşmaktadır.

2.3. Kaya Kütlelerinin Tanımlanması

Kaya kütlelerinin tanımlanması amacıyla, sondaj karotları ve mostralarda gözlenen süreksizliklerin, aşağıda sıralanan fiziksel parametreleri Şekil 2.9'da gösterildiği gibi belirlenir (ISRM 2007).

1. Süreksizlik türü
2. Süreksizlik aralığı
3. Süreksizliğin devamlılığı
4. Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı
5. Süreksizlik yüzeyinin açıklığı
6. Dolgu malzemesinin özellikleri
7. Süreksizlik yüzeyinin dayanımı ve bozunmanın derecesi
8. Süreksizlik yüzeyindeki su durumu
9. Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik takım sayısı
10. Blok boyutu

2.3.1. Süreksizlik türleri

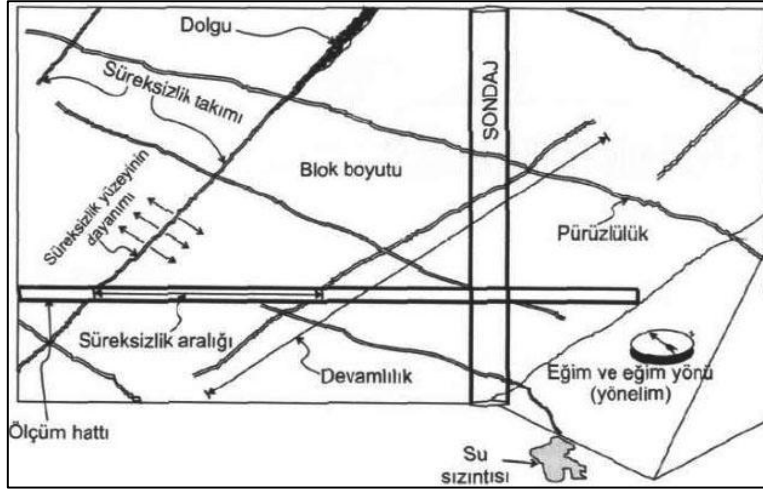
Süreksizlik özelliklerinin tanımlanmasında öncelikli olarak süreksizliğin türü belirlenmelidir. Başlıca süreksizlik tanımlamaları aşağıda belirtilmiştir.

Dokanak: Uyumlu, uyumsuz veya geçişli olabilen, iki farklı litolojik birimin sınırındaki yüzeydir.

Tabaka düzlemi: Sertlik, tane boyu ve yönelimi, renk, mineralojik bileşim gibi özelliklere bağlı olarak gelişen yüzeylerdir.

Eklem: Herhangi bir yer değiştirmenin oluşmadığı doğal kırıklardır.

Dilinim (klivaj): İnce taneli kayalarda meydana gelen, sık aralıklı ve birbirine paralel yönde gelişen, sıkıştırıcı kuvvetlere dik yönde oluşmuş zayıflık düzlemleridir.



Şekil 2.9. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Ulusay ve Sönmez 2007)

Fay ve makaslama zonu: Tektonizma sırasında gelişen makaslama gerilmesinin, kaya kütlelerindeki bir düzlemin makaslama dayanımını aşması sonucu oluşan kırıklara fay denir (Kersten 1990). Faylar, tek bir düzlem olmaktan çok, birbirine paralel ya da yarı paralel gruplar şeklinde gelişebilirler ve bunlara fay zonu veya makaslama zonu adı verilir (Ulusay ve Sönmez 2007).

Yapraklanma (Foliasyon): Minerallerin yüksek sıcaklık ve/veya yüksek basınç sebebiyle, tercihli yönelimi sonucunda oluşan zayıflık yüzeyidir ve metamorfik kökenlidir.

Damar: Çevresindeki kayadan değişik özellikte bir malzeme tarafından doldurulan kırıktır.

Süreksizlik türleri, Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi uluslararası literatürde kabul görmüş simgeler kullanılarak tanımlanırlar.

Çizelge 2.1. Süreksizlik türleri için veri formlarında ve jeoteknik loglarda yaygın olarak kullanılan simgeler (Ulusay ve Sönmez 2007)

Süreksizlik Türü	Simge	Süreksizlik Türü	Simge
Dokanak	Co	Eklem	J
Tabakalanma	B	Yapraklanma (Foliasyon)	Fo
Fay	F	Şistozite	S
Fay zonu	FZ	Dilinim (Klivaj)	C
Makaslama zonu	SZ	Damar	V

2.3.2. Süreksizlik aralığı

Kaya kütlelerinde birbirine komşu iki süreksizliğin arasındaki uzaklıktır. Ulusay ve Sönmez'e (2007) göre, süreksizlik aralıklarının düşük olması, özellikle yeraltı açıklıklarındaki stabilitenin sağlanmasını güçleştiren bir faktördür.

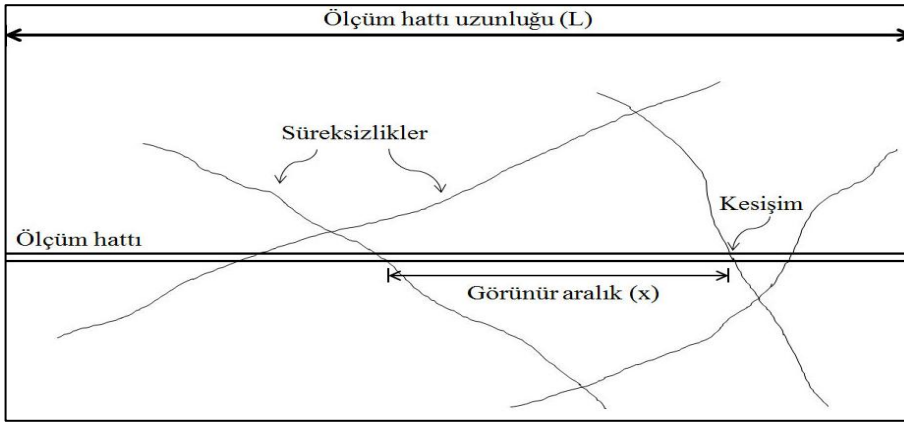
Süreksizlik aralıkları, sondaj karotlarından ve yüzey üzerinde şerit metre ile ölçülebilir. Bu ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (x) ve süreksizlik sıklığı (süreksizlik sayısı / 1m, λ) (Şekil 2.10) aşağıdaki eşitliklerden belirlenir.

$$X = L / N \quad (2.1)$$

$$\lambda = N / L \quad (2.2)$$

L: Ölçüm hattının uzunluğu (m)

N: Ölçüm hattını kesen süreksizlik sayısı (adet)



Şekil 2.10. Ölçüm hattı boyunca süreksizlik aralığının tayini (Ulusay ve Sönmez 2007)

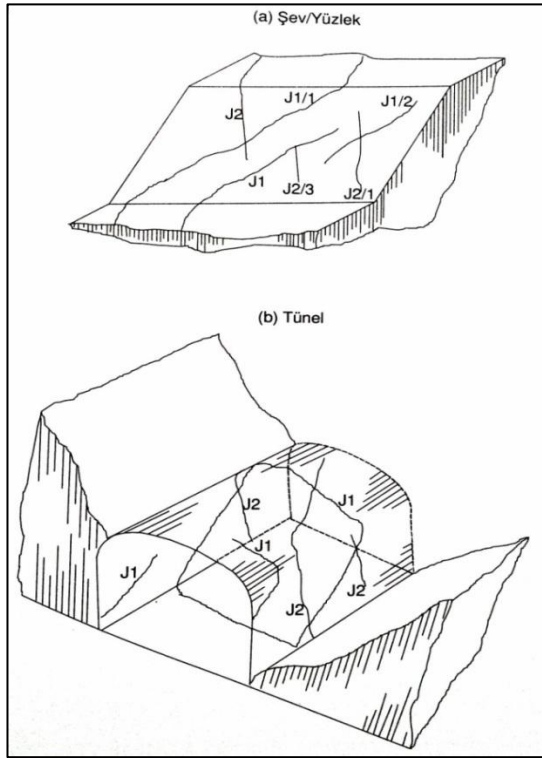
Süreksizlik aralığı parametresinin tanımlanması için ISRM (2007) tarafından önerilen ve Çizelge 2.2'de verilen tanımlamalar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2. Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri (ISRM 2007)

Aralık (mm)	Tanımlama
<20	Çok dar aralıklı
20-60	Dar aralıklı
60-200	Yakın aralıklı
200-600	Orta derecede aralıklı
600-2000	Geniş aralıklı
2000-6000	Çok geniş aralıklı
>6000	İleri derecede geniş aralıklı

2.3.3. Süreksizliklerin devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı, üzerinde çalışılan yüzlek alanında gözlenen süreksizlik izinin uzunluğu olarak tanımlanmakta olup, stabiliteyi etkileyen önemli parametrelerden biridir. Ulusay ve Sönmez (2007)'e göre devamlılığın artış göstermesi, kazı duraylılığı üzerinde olumsuz etki yaratır (Şekil 2.11). Devamlılığın tanımlanması ve sınıflandırılması Çizelge 2.3'te verilen ölçütlerden yararlanılarak yapılmaktadır.



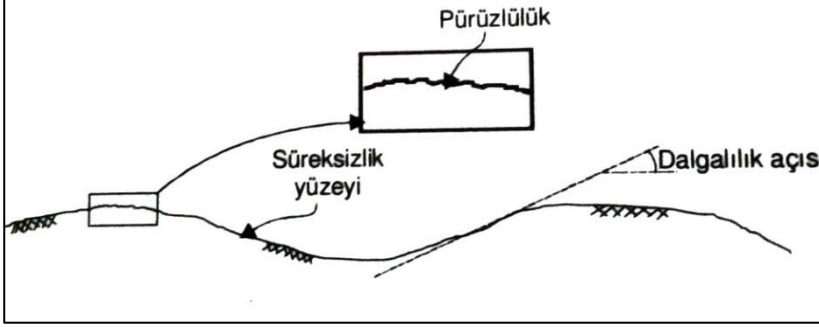
Şekil 2.11. Süreksizliklerin devamlılığını gösteren izometrik diyagramlar (Ulusay ve Sönmez 2007)

Çizelge 2.3. Süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (ISRM 2007)

Tanımlama	Süreksizlik izinin uzunluğu
Çok düşük devamlılık	< 1 m
Düşük derecede devamlılık	1-3 m
Orta derecede devamlılık	3-10 m
Yüksek devamlılık	10-20 m
Çok yüksek devamlılık	>20 m

2.3.4. Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı

Dalgalılık, bir süreksizlik yüzeyinde düzlemsellikten büyük ölçekteki sapması olarak ifade edilirken; pürüzlülük ise küçük ölçekteki sapması olarak tanımlanır (Şekil 2.12). Pürüzlülük ve dalgalılık, süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımlarını etkileyen oldukça önemli bir bileşendir.



Şekil 2.12. Süreksizlik yüzeylerinin dalgalılığı ve pürüzlülüğü (Ulusay ve Sönmez 2007)

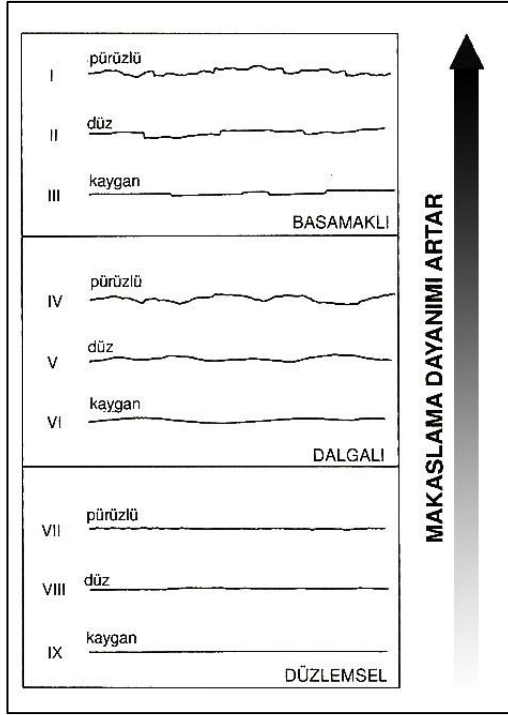
Proje bütçesi ve zamanın kısıtlı olması nedeniyle, birçok kaya mühendisliği çalışmalarında süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü, kalitatif (niteleyici) tanımlama ölçütlerine göre tanımlanır (Şekil 2.13).

2.3.5. Süreksizlik yüzeyinin açıklığı

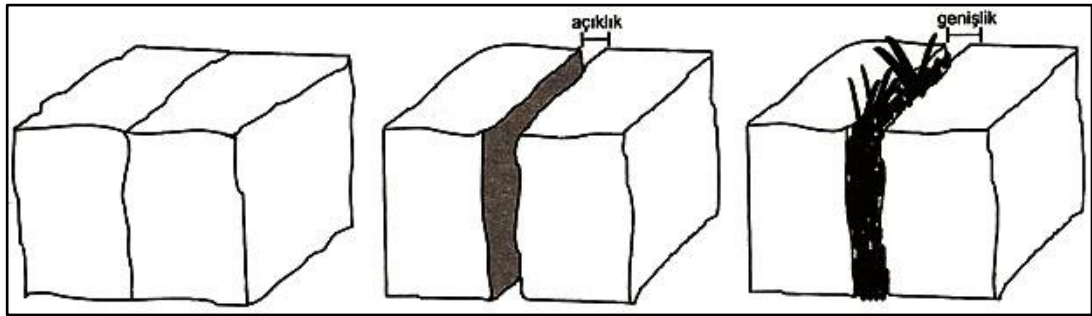
Süreksizlik yüzeyinin açıklığı, iki komşu süreksizliğin yüzeyi arasındaki dik mesafeye denir. Bu iki yüzey arasındaki açıklık, herhangi bir dolgu malzemesi veya su ile dolu olabileceği gibi, boş da olabilir (Şekil 2.14). Süreksizlik yüzeyindeki açıklıkların ölçülmesi gerekir ve en pratik ölçme yöntemi kumpas ve şerit metre ile yapılır. Makaslama dayanımı, sıvı iletme özelliği ve kaya kütlelerinin gevşemesi açısından önemli bir parametredir. Her süreksizlik seti için ortalama açıklık değeri belirlenip, değerler ISRM (2007)'ye göre tanımlanır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçüler (ISRM 2007)

Açıklık	Tanımlama	
<0.1 mm	Çok sıkı	"Kapalı" yapılar
0.1-0.25 mm	Sıkı	
0.25-0.5 mm	Kısmen açık	
0.5-2.5 mm	Açık	"Boşluklu" yapılar
2.5-10 mm	Orta derecede geniş	
>10 mm	Geniş	
1-10 cm	Çok geniş	"Açık" yapılar
10-100 cm	Aşırı geniş	
>100 cm	Boşluklu	



Şekil 2.13. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM 2007)



Şekil 2.14. Kapalı, açık ve dolgulu süreksizlikler (ISRM 2007)

2.3.6. Dolgu malzemesinin özellikleri

Dolgu, genellikle ana kayaçtan daha zayıf özellikte malzemelerin, iki yüzey arasını dolduran malzeme olarak tanımlanır. Kil, silt, kum, kuvars, kalsit, breş ve milonit tipik dolgu malzemeleridir. Dolgunun türü, bozunma derecesi, tane boyu, kalınlığı, dayanımı, pürüzlülüğü, geçirgenliği gibi parametreler belirlenmelidir. Dolgulu süreksizlikler için tanımlanması gereken parametreler aşağıda verilmiştir (ISRM 2007).

- i. Geometri: Genişlik, yüzey pürüzlülüğü, süreksizlik yüzeyinin durumunu gösteren taslak çizim
- ii. Dolgunun tipi: Mineraloji, tane boyu, bozunmanın derecesi, dolgunun indeks parametreleri, şişme potansiyeli

- iii. Dolgu malzemesinin dayanımı: Basit tanımlama deneyleri, makaslama dayanımı, aşırı konsolidasyon oranı, yer değiştirmenin olup olmadığı
- iv. Sızıntı: Su içeriği ve geçirgenlik için nicel veri

2.3.7. Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi ve dayanımı

Süreksizlik yüzeylerinin çevresindeki kayacın dayanımı, dolgusuz ve birbiriyle temas halinde olan yüzeyler olması durumunda, deformasyon ve makaslama dayanımı açısından oldukça önemlidir. Kaya kütleleri genellikle yüzeyde bozunmuş ya da derinlerde hidrotermal alterasyona uğramış olabilirler. Kaya kütlelerinin ve kaya malzemesinin bozunma derecesinin, süreksizlik yüzeylerinin dayanımına etkisi önem taşıdığı için, dikkatle tanımlanması gereklidir. Bu amaçla, kaya kütlelerinin ve kaya malzemesinin bozunma derecelerinin sınıfları Çizelge 2.5 ve 2.6'dan yararlanılarak belirlenebilir.

Çizelge 2.5. Kaya kütlelerinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM 2007)

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunmanın Derecesi
Bozunmamış (Taze)	Kayanın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözlenebilir.	W ₁
Az bozunmuş	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	W ₂
Orta derecede bozunmuş	Kayanın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Kaya; taze ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	W ₃
Tamamen bozunmuş	Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W ₄
Artık zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmakla birlikte, zemin taşınmamıştır.	W ₅

Dayanımın belirlenmesi amacıyla, süreksizlik yüzeylerinde ya da bu yüzeyi temsil eden kaya malzemesi üzerinde basit deneylerden ya da Schmidt çekicinden yararlanılabilir (Ulusay ve Sönmez 2007). Ayrıntılı tanımlama ölçütleri Çizelge 2.7'de verilmiştir. Schmidt çekici, kayaların tek eksenli sıkışma dayanımının, arazi koşullarında dolaylı olarak belirlenmesinde oldukça kolay ve kullanışlı bir alettir. Çekiç, deney sırasında kaya yüzeyine dik yönde uygulanır ve uygulanacak yüzey döküntülerden temizlenir. Deney, kaya veya süreksizlik yüzeyine yirmi ayrı noktada uygulanır ve en düşük on geri sıçrama değeri iptal edilir. Kalan on değerlerin ortalaması alınır. Belirlenen değer ile kayanın birim hacim ağırlığı ve kayacın yönelimi kullanılarak Şekil 2.15'te bulunan grafikten tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenir. (Ulusay ve Sönmez 2007).

Çizelge 2.6. Kaya malzemesinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM 2007)

Tanım	Tanımlama Ölçütü
Taze (Bozunmamış)	Kaya malzemesinin bozunduğuna ilişkin belirgin bir gösterge yoktur.
Renği değişmiş	Orijinal kaya malzemesinin rengi değişmiş olup, renkteki değişimin derecesi belirgindir. Renk değişimi sadece bazı mineral taneleriyle sınırlı ise, bu durum kayıtlarda belirtilmelidir.
Bozunmuş	Kaya malzemesi orijinal dokusunu korumakla birlikte, toprak zemine dönüşmüştür. Ancak minerallerin bir kısmı veya tamamı bozunmuştur.
Bozunmuş – dağılmış	Kayanın orijinal dokusu korunmakla birlikte, kaya malzemesi tamamen bozularak toprak zemine dönüşmüş olup, kırılındır.

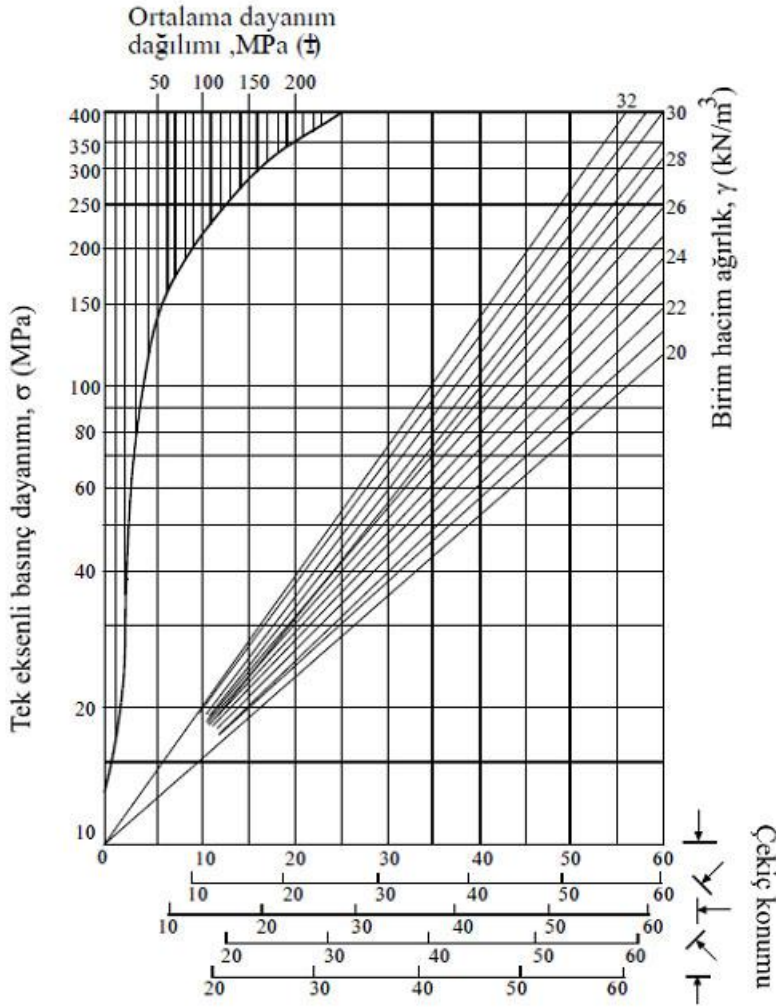
Çizelge 2.7. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM 2007)

Simge	Tanım	Saha Tanımlaması	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)
R0	Aşırı derecede zayıf kaya	Kayanın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir.	0,25 – 1,10
R1	Çok zayıf kaya	Jeolog çekiciyle sert bir darbeyle ufalanan kaya, çakı ile doğranabilir.	1,0 – 5,0
R2	Zayıf kaya	Kaya, çakı ile güçlkle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayacın yüzeyinde iz bırakır.	5,0 - 25
R3	Orta derecede sağlam kaya	Kaya, çakı ile doğranamaz. Kaya örneği, jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbeyle kırılabilir.	25 - 50
R4	Sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50 - 100
R5	Çok sağlam kaya	Kayanın kırılabilmesi için jeolog çekiciyle çok sayıda darbe uygulanması gerekir.	100 - 250
R6	Aşırı derecede sağlam kaya	Kaya örneği, jeolog çekici ile sadece yontulabilir.	> 250

2.3.8. Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbirleri ile bağlantısı bulunan süreksizlikler boyunca (sekonder permeabilite) oluşan akışla gerçekleşir (Ulusay ve Sönmez 2007). Duraysızlıkla ilgili bilgilere, su basınçları ve yer altı suyu tablasının konumu belirlenerek ulaşılabilir. Süreksizliklerin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini etkileyen faktörlerin başında süreksizlik boyunca var olan suyun akışı gelmektedir.

Tüneller gibi önemli yer altı açıklıkları oluşturan kaya mühendisliği uygulamaları, kaya kütlelerindeki suyun drenajında rol oynadıkları için, yapının belli bölümlerinde kaya kütlelerinden gelen suyun tanımlanması yararlıdır (Çizelge 2.8)



Şekil 2.15. Schmidt geri sıçrama değeri ile kaya yüzeyinin sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Hoek ve Bray 1981)

- JSC : Süreksizlik yüzeyinin dayanımı (MPa)
 γ : Birim hacim ağırlık (kN/m^3)
 R : Schmidt geri sıçrama değeri

Çizelge 2.8. Kaya kütleleri için su sızıntılarının sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM 2007)

Sızıntı Sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru, sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış, sürekli akışın gözlemlendiği süreksizlikler belirlenmeli
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmeli
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözleniyor

2.3.9. Süreksizliklerin yönelimi ve süreksizlik takımı

Süreksizliğin yönelimi, doğrultu, eğim ve eğim yönü değerleriyle tanımlanır. Eğim, bir süreksizlik düzleminin yatay düzlemle yaptığı açı; eğim yönü ise kuzey ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasında kalan açıdır.

Süreksizlik takımı, birbirleriyle hemen hemen aynı yönelimlerde olan süreksizlikler topluluğudur. Kaya kütlelerinde birden çok süreksizlik takımları gözlenebilir. Duraysızlığın değerlendirilmesinde, süreksizlik takımları ile kazı veya mühendislik yapılarının yönelimi arasındaki ilişki büyük ölçüde önem taşımaktadır. Bu nedenle, ölçülen süreksizlik yönelimlerinin istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi ve ortalama yönelimlerinin belirlenmesi kaya mühendisliği uygulamalarının vazgeçilmez bir unsurudur. Süreksizlik yönelimi verileri, histogramlar, stereografik izdüşüm ve gül diyagramları ile değerlendirilir (Ulusay ve Sönmez 2007).

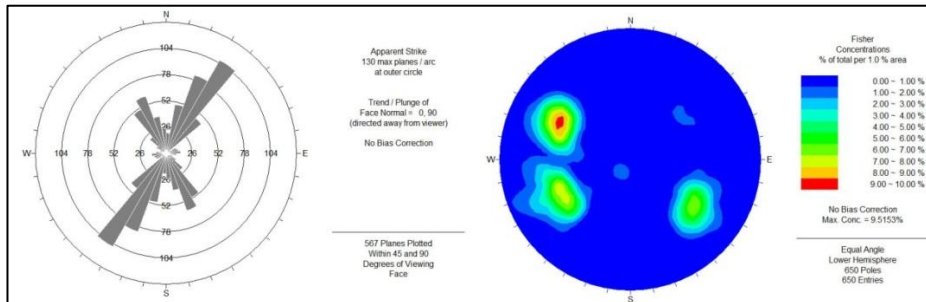
2.3.9.1. Gül diyagramları ve histogramlar

Çok sayıda süreksizlik verisinin kolayca değerlendirilmesi ve grafik sunumu açısından pratik bir yöntem olan gül diyagramları, onar derece aralıklarla bölünmüş daireler veya yarı daireler üzerinde hazırlanır. Dış dairenin kenarındaki değerler doğrultu ve eğim yönlerini veya eğimi gösterirken, iç kısımdaki daireler 10 veya 20 derecelik bölümlerle belirlenmiş olan doğrultu veya eğimlerin sayısının işaretlenmesinde kullanılır. Gül diyagramlarında eğim ile doğrultu birlikte gösterilemediğinden, eğim değerleri histogram çizilerek gösterilir (Şekil 2.16).

2.3.9.2. Stereografik izdüşüm tekniği

Stereografik izdüşüm tekniği ile süreksizlik yönelimi verilerinin üç boyutlu olan konumu, küresel izdüşümle iki boyutta grafiksel olarak gösterilir. Bu metot kullanılarak süreksizliklerin dağılımı, takım sayısı ve buna bağlı olarak karşılaşılabilecek duraysızlık türleri belirlenebilir.

Süreksizlik takımlarının sayısı ve hakim yönelimleri belirlenerek, stereonete işlenen kutup noktaları ile kontur diyagramları hazırlanır. Bu kontur diyagramlarını hazırlamak için birçok yöntem kullanılsa da, günümüzde bilgisayar programları ile çok kolay bir şekilde yapılmaktadır. Kutupların yoğunlaştığı konturların merkezleri, egemen yönelimleri belirlemekte kullanılır.



Şekil 2.16. Gül diyagram ve kontur diyagram örneği (Rocscience Dips 6.0)

2.3.10. Blok boyutu

Kaya kütlelerinin davranışlarında önemli bir gösterge olan blok boyutunu, süreksizlik aralığı, süreksizliğin yönelimi ve takım sayısı gibi faktörler etkilemektedir. ISRM (2007) tarafından verilen, blok büyüklüğü ve şekline dayanan gruplandırma ve tanımlar aşağıda verilmiştir.

- i. Masif: Birkaç süreksizlik veya çok geniş aralıklı süreksizlikler içeren kaya kütleleri
- ii. Bloklı: Yaklaşık eş boyutlu bloklardan oluşan kaya kütleleri
- iii. Yassı/plaka: Bir boyutu diğerlerine göre daha küçük olan blokları içeren kaya kütleleri
- iv. Kolonsal: Bir boyutu diğer iki boyutundan daha büyük bloklardan oluşan kaya kütleleri
- v. Düzensiz: Blok boyutunda ve şeklinde belirgin farklılıklar gözlenen kaya kütleleri
- vi. Parçalanmış: Çok sık eklemli (şeker küpü şeklinde) kaya kütleleri

Büyük bloklardan oluşan kütleler daha az deforme olurken, küçük bloklardan oluşan kütleler, şevlerde zeminlerdekine benzer şekilde dairesel kaymalar için potansiyel oluştururlar (Ulusay 2001).

Blok boyutunu tanımlamada kullanılan parametreler, arazide seçilen tipik kaya bloklarının ortalama boyutu (blok boyutu indeksi, I_b) veya birim hacimde bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizlik sayısıdır (hacimsel eklem sayısı, J_v). Eğer kaya kütlelerinde, dördüncü bir süreksizlik takımı varsa blok boyutu indeksi olmaz. Blok boyutu indeksi, sedimanter kayalarda birbirine dik olarak gelişmiş iki eklem takımı ve tabakalanma kübik bir blok şekli oluşturur ve eşitlik (2.3)'te verildiği gibi hesaplanabilir.

$$I_b = \frac{(S_1 + S_2 + S_3)}{3} \quad (2.3)$$

S_1, S_2, S_3 : Her eklem takımı için ortalama modal aralık değeri

Hacimsel eklem sayısı, birim hacimdeki birkaya kütlelerinden elde edilen eklem sayısı değerlerinin toplamıdır. Düzensiz süreksizliklerde ölçüm hattının uzunluğu 5-10 metre arasında seçilir (Palmstrom 1996). J_v değeri, eşitlik (2.4) kullanılarak hesaplanır.

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n} \quad (2.4)$$

N_n : Gözlenen her eklem takımı için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı

L_n : Eklem takımlarına dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu

Hesaplanan J_v değerine göre, Çizelge 2.9 veya 2.10 yardımıyla blok tanımı yapılır.

Çizelge 2.9. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM 2007)

Tanım	J_v (eklem/m ³)
Çok geniş bloklar	<1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükteki bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	>30

Çizelge 2.10. Güncel J_v sınıflaması (Palmstrom 1982, 1996)

Sınıf No	Eklem Takımı	J_v Tanımı	J_v (eklem/m ³)
1	Masif	İleri derecede düşük	<0.3
2	Çok az eklemli	Çok düşük	0.3-1.0
3	Az eklemli	Düşük	1-3
4	Orta derecede eklemli	Orta derecede düşük	3-10
5	Çok eklemli	Yüksek	10-30
6	İleri derecede eklemli	Çok yüksek	30-100
7	Parçalanmış	Aşırı derecede yüksek	>100

2.4. Kaya Kütlelerinin Sınıflama Sistemleri

Kaya kütlelerinin sınıflama sistemleri, kaya mühendisliğinde tasarımın ayrılmaz bir parçası olmakla birlikte (Goodman 1980, Hoek ve Brown 1980a, Bieniawski 1988), uzun yıllar süren gözlemlere bağlı deneyimler ve istatistiksel değerlendirmeler esas alınarak önerilmiş görgül yöntemlerdir. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin doğru kullanılması halinde, günümüzde birçok mühendislik projesinin tamamlanmasında başarı ile kullanıldıkları bilinmektedir (Özkan ve Ünal 1996). Bieniawski (1988), kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin başlıca amaçlarını şu şekilde sıralamıştır;

- 1- Kaya kütlelerinin davranışını etkileyen önemli parametreleri belirlemek,
- 2- Kaya kütlelerini kendi içerisinde benzer özellikler gösteren bölgelere ayırarak değişik kalitedeki kaya kütlesi sınıflarını belirlemek,
- 3- Her kaya kütlesi sınıfının özelliklerinin anlaşılması amacıyla esaslar oluşturmak,
- 4- Herhangi bir sahadaki kaya kütlesi koşullarıyla ilgili olarak kazanılan deneyimleri diğer sahalarda karşılaşılan koşullarla karşılaştırıp ilişki kurmak
- 5- Mühendislik tasarımı için sayısal veri tabanı ve bir kılavuz oluşturmak
- 6- Mühendisler arasında ortak temele dayalı teknik iletişimi sağlamak

Herhangi bir kaya kütlesi sınıflama sisteminden elde edilen sonuçlar, doğrudan o sistem tarafından kullanılan girdi parametresiyle ilgilidir. Dolayısıyla, girdi

parametrelerinin tayin edilebilir ve kaya kütlelerinin özelliklerini yansıtabilir nitelikte olması önemli bir husustur.

1946 yılından bu yana değişik araştırmacılar tarafından çok sayıda kaya kütle sınıflama sistemi geliştirilmiştir. Aşağıda tünellecilerde yaygın olarak kullanılan sınıflama sistemlerine yer verilmiştir.

2.5. Kaya Kütle Değeri (Rock Mass Rating, RMR)

Kaya kütle değeri (RMR), ilk kez 1972-1973 yılları arasında Bieniawski (1973) tarafından geliştirilen bu sistem, 1989 yılına kadar geçen süre içerisinde yapılan gözlemler ve yeni veriler esas alınarak, birkaç kez değişikliğe uğramıştır (1974, 1976, 1979, 1989). Sistemli olarak, Bieniawski'nin sedimanter kayalarda açılan tünellerde yaptığı gözlemler ve bu gözlemlerden kazandığı deneyimler esas alınarak geliştirilmiştir. 1973'ten 1989'a kadar tüneller, büyük yer altı açıklıkları, maden işletmeleri, şevler ve temellerle ilgili toplam 351 farklı uygulamadan derlenen veriler ve kazanılan deneyimler sistemin son şeklini almasında önemli rol oynamıştır.

1989 yılında yapılan değişikliklerle günümüze kadar gelen RMR sürümünde 5 parametre kullanılarak sınıflama yapılır. Bu parametreler; kaya malzemesinin tek eksenli dayanımı, kaya kalite belirteci (RQD), süreksizlik aralığı, süreksizliklerin durumu ve yer altı suyu durumu olarak sıralanmaktadır. Sınıflama sisteminin son sürümüne ait çizelge aşağıda verilmektedir (Çizelge 2.11).

RMR sınıflama sistemi uygulanırken, Çizelge 2.11'de verilen her parametre için değerler esas alınır. Süreksizliklerin durumlarıyla ilgili puanlamanın daha doğru bir şekilde yapılması amacıyla Çizelge 2.12'den yararlanır.

RMR sınıflama sisteminden üç önemli veri elde edilmektedir (Bieniawski 1988);

- 1- Tüm jeolojik unsurların ortak etkisini yansıtan ve kaya kütlelerinin genel koşullarıyla ilişkisi "kaya kütle kalitesi",
- 2- Kaya kütle kalitesi ve kazı yöntemine göre, ön tasarım amacıyla destek türleri seçilebilmesi
- 3- RMR puanının kullanılarak, kaya kütlelerinin bazı mühendislik özellikleri tahmin edilebilmesi

2.5.1. Desteksiz durma süresi

Bir yeraltı açıklığının desteksiz durma süresi, açıklığın genişliğine veya desteksiz kısmın uzunluğuna bağlıdır. RMR puanı bilinen kaya kütlelerinde oluşturulacak olan yeraltı açıklıklarının belirli bir tavan genişliğine göre desteksiz durma sürelerinin belirlenmesi amacıyla RMR sisteminin önerildiği ilk yıldan itibaren uzunca bir süre Bieniawski'nin önerdiği grafik kullanılmıştır (Şekil 2.17). Sistemin uygulandığı yeraltı açıklıklarında yapılan gözlemler sonucunda söz konusu grafikte değişiklik yapılmıştır. Yapılan değişiklikle "desteksiz durma süresi-tavan açıklığı boyutu"na ve RMR puanına bağlı olarak açıklığın desteksiz durma süresi ve ani çökme olup olmayacağı ya da tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir.

Çizelge 2.11. RMR Kaya kütleli sınıflama sistemi (Bieniawski 1989)

A. Sınıflama Parametreleri ve Puanları

1	Kaya malzemesinin dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım			
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa	
Puan			15	12	7	4	2	1	0	
2	Kaya kalite göstergesi, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Puan		20	17	13	8	3			
3	Süreksizlik Aralığı		> 2 m	0.6-2 m	100-600 mm	60-200 mm	<60 mm			
	Puan		20	15	10	8	5			
4	Süreksizlik Koşulu		Çok kaba yüzeyler Sürekli değil Ayrılma yok Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1mm Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1mm Yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu < 5mm veya 1-5 mm açık eklem, sürekli eklem	Yumuşak fay dolgusu > 5mm kalınlıkta veya açık eklem > 5mm devamlı süreksizlikler			
	Puan		30	25	20	10	0			
5	Yeraltı suyu	Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su	Yok	10 lt/dk	<25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125lt/dk			
		Eklemdeki su basıncı	Oranı	Veya 0	Veya 0.0-0.1	Veya 0.1-0.2	veya 0.2-0.5	Veya >0.5		
		En büyük asal gerileme		Veya Tamamen kuru	Veya Nemli	Veya Islak	Veya Damlama	Veya Su akışı		
	Genel koşullar		Veya Tamamen kuru	Veya Nemli	Veya Islak	Veya Damlama	Veya Su akışı			
Puan			15	10	7	4	0			

B. Tüneldeki Süreksizlik Eğim ve Doğrultusunun Etkisi

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

C. Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme

Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi	Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10
	Temeller	0	-2	-7	-15
	Şevler	0	-5	-25	-50

D. Kaya Sınıfları ve Puanları

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

E. Kaya Sınıflarının Bazı Özellikleri

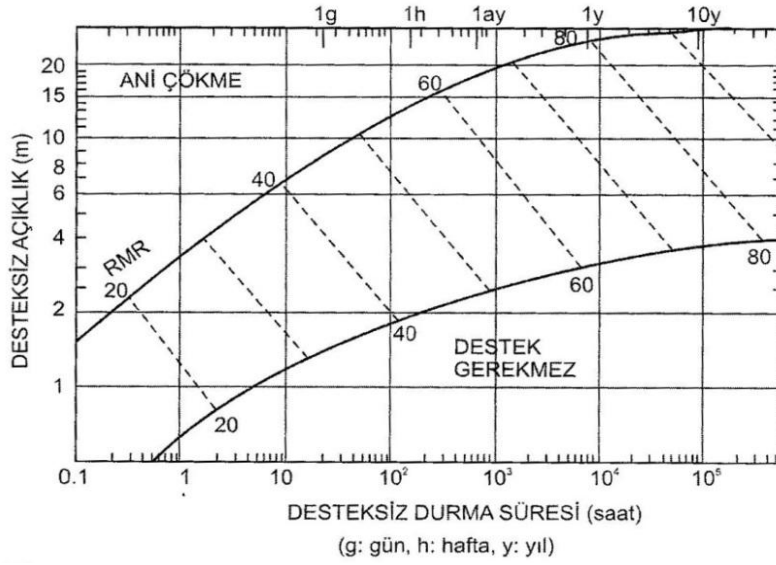
Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Ortalama desteksiz kalabilme süresi	15 m açıklık için 20 yıl	10 m açıklık için 1 yıl	5m açıklık için 1 hafta	1.5 m açıklık için 10 saat	1m açıklık için 30 dk.
Kaya kütleli kohezyonu (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Kaya kütleli sürtünme açısı	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Çizelge 2.12. Süreksizlik yüzeyi koşulunun puanlandırılması için önerilen kılavuz (Bieniawski 1989)

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

2.6. Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri ve Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)

Doğal malzemelerin dayanım ve deformasyon özellikleri, laboratuvar ortamında incelenecek boyutlardaki örnekler ile tayin edilmektedir. Ancak bu ortamlardaki kaya kütlelerinden, süreksizlik sistemlerini içeren ve metre boyutuna ulaşan numunelerin alınması ve bu numunelerin laboratuvar ortamında test edilmesini sağlayacak deney hücreleri ve ekipmanları geliştirilmemiştir. Son yıllarda kaya mekaniği alanındaki gelişmelerde kabul görmüş olan Hoek – Brown görgül yenilme ölçütü, kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesinde ampirik yöntemlerden biri olarak kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemin hesaplaması RMR kullanılarak yapılmasına karşın, RMR değerinin 25'in altına düştüğü durumlarda sonuca gidilememektedir. Bu sorunun giderilmesi amacıyla, Hoek vd (1995) tarafından Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strength Index, GSI) önerilmiş ve GSI sınıflama abağı yardımıyla kaya kütle dayanımı belirlenmeye çalışılmıştır. GSI, farklı jeolojik koşullar altında kaya kütle dayanımında meydana gelmesi olası azalmaları tahmin etmeyi sağlayan bir sistem özelliğindedir.



Şekil 2.17. RMR Kaya kütleleri sınıflarına göre desteksiz durma süresi ve desteksiz tavan açıklığı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Bieniawski 1989)

Hoek ve Brown (1980) tarafından, tasarım mühendislerinin kullanması amacıyla meydana çıkarılan ve ilerleyen yıllarda geliştirilerek modifiye edilen ölçüt, Hoek vd. (1995) tarafından aşağıda verilen eşitlik kullanılarak tanımlanmıştır.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte; σ'_1 ve σ'_3 : en büyük ve en küçük asal gerilmeler, σ_{ci} : kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı, m_b : kaya kütlelerine ait boyutsuz malzeme sabiti, s : Hoek – Brown yenilme ölçütü boyutsuz malzeme sabiti, a : kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerine bağlı bir üssel ifadedir.

Bu tez kapsamında kullanılacak olan Roc Lab v.1.0 programında da yararlanılan, Hoek (1999a) tarafından düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi Şekil 2.18'de verilmiştir.

2.7. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) Sınıflama Sistemi

Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu, Rabcewicz (1963) ve Rabcewicz (1964) tarafından temelleri atılmış, Müller (1978) tarafından geliştirilmiş ve Vardar (1979) tarafından ülkemiz literatürüne kazandırılan, tünel kazısı sırasında yapılacak deformasyon ölçümleri ve jeolojik gözlemlere dayalı tünel açma yöntemidir. Rabcewicz (1964), NATM yöntemini, tünel kazısı ardından yerleştirilen ince geçici desteklemelerle birlikte, deformasyonlara izin verilmek koşuluyla kaya basıncının düşürülmesi ve tünele etkiyen yüklerin kazı etrafındaki kayaya dağıtılması ilkesine dayanan bir yöntem olarak tanımlamıştır.

NATM sisteminin 22 maddelik temel ilkeleri Müller (1977) tarafından yayımlanmıştır. Vardar (1979) tarafından bu ilkelerin çevirisi yapılmıştır. NATM'nin en

önemli ilkelerinden biri de her türlü tünel şartlarına uygun olması ve uygulanabilirliğidir. Bu ilkenin ana fikri, NATM'nin kazı ve destekleme yöntemi olmayıp bir felsefe olmasıdır. Çizelge 2.13'te Karayolları Teknik Şartnamesi'nde bulunan NATM Kaya Sınıflama Sistemi verilmiştir. Kaya parametreleri ile belirlenen Q ve RMR sınıflamalarına ait değerler ile NATM kaya sınıflama sistemindeki değerlerin eşleştirilmesi sonucunda kısa zamanda sorunların çözümlendirilmesine yönelik harf sel ve açıklayıcı nitelikteki tablo Çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.13. NATM Kaya Sınıflama Sistemi (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006)

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

JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	
Kaya kütlelerinin yapısını ve yüzey koşullarını tanımlayan harf kodları belirlenerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir.		AZALAN YÜZEY KALİTESİ →	
YAPI		KAYA PARÇALARININ KENETLENME DERECEDESİNDE AZALMA	
	SAĞLAM VEYA MASİF - Kaya malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kaya kütleleri	90	UYGULANMAZ
	BLOKLU - 3 ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütleleri	80	
	ÇOK BLOKLU - Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik takımlarının kesişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütleleri	70	
	BLOKLU/ÖRSELENMİŞ -Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrımlanmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleleri	60	
	PARÇALANMIŞ -Köşeli ve yuvarlak kaya parçalarının birlikteliğinden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırıklı kaya kütleleri	50	
	FOLİASYONLU-LAMİNALİ-MAKASLANMIŞ İnce laminali veya foliasyonlu ve makaslanmış zayıf kayalar. Diğer süreksizlik takımlarına oranla daha egemen olan sık aralıklı şistozite yüzeyleri kayada bloklanmanın gelişmesini önlemiştir.	40	
		30	
		20	
		10	
		UYGULANMAZ	

Şekil 2.18. GSI sınıflama sistemi (Hoek 1999a)

Çizelge 2.14. NATM, RMR ve Q eşleştirilmesi (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006)

Q KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Barton vd., 1974)	NATM KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Ö NORM B 2203, 1994)	RMR KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Bieniawski, 1989)
1000 SON DERECE SAĞLAM	A1 SAĞLAM	100 ÇOK İYİ
400 ÇOK FAZLA SAĞLAM		
100 70.4 ÇOK SAĞLAM	A2 ZAMANLA KIRILGAN	80 İYİ
40 SAĞLAM		
10 ORTA	B1 KIRILGAN	65
4 ZAYIF	B2 ÇOK KIRILGAN	60
1.47 1 ÇOK ZAYIF		58 ORTA
0.11 0.1 ÇOK FAZLA ZAYIF	B3 DÖKÜNTÜLÜ	47
0.03 0.016 ÇOK DERECE ZAYIF		40 ZAYIF
0.01 0.008	C1 KAYA PATLAMALI	29
0.002 0.001	C2 BASKILI	20
	C3 ÇOK BASKILI	15
	C4 AKICI	10 ÇOK ZAYIF
	C5 ŞİŞEN-KABARAN	5 2.5

2.8. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sayısal Analizler

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişme ve artan bilgisayar kullanımları sonucunda sayısal analiz metotları, mühendislik hesaplamalarında önemli oranda gelişmiştir. Sayısal çözüm yöntemlerinin hesaplamaları, bilgisayar programlarına uyumluluğu sayesinde birçok mühendislik projelerinde kullanılmaktadır.

Zemin parametrelerinin belirlenmesindeki zorluklar ve belirsizlikler ile modellemelerdeki teorik ve uygulama bazındaki zorlukların halâ aşılamadığı bilinmektedir. Bu güçlükler, sayısal analizlerin, doğrudan tasarım değil de tahkik amacıyla kullanılmasının daha emniyetli ve uygun olduğuna işaret etmektedir (Yüksel Domaniç Mühendislik Ltd. Şti. 2012).

Yöntem genel olarak; herhangi bir sürekli ortamın geometrik olarak bilinen ve boyut olarak sınırlı parçacıklara (sonlu elemanlara) bölünerek hesaplamaların yapılmasıyla çalışmaktadır. Süreksizlikler ise ayrıca modellenerek hesaba eklenebilmektedir.

Sonlu elemanlar birbirlerine düğüm noktası denilen köşe noktalarından bağlı olup, her sonlu eleman için gerçek bir deplasman değeri basit fonksiyonlar (genellikle polinomlar) yardımıyla kurulur; bu deplasmanların düğüm noktalarındaki değerleri yaklaşık olarak bulunmaktadır (Kökçüoğlu 2006). Tüm yapının davranış denklemi yapıyı oluşturan elemanların denge denklemlerinin elemanlar arasındaki deplasman sürekliliğini sağlayacak şekilde toplanması ile saptanmaktadır. Elde edilen bu denklemler bilinen deplasman sınır şartlarını sağlayacak şekilde değiştirildikten sonra ortaya genellikle, bilinmeyen değişkenleri deplasmanlar olan bir lineer cebirsel denklem takımı çıkar ve denklem takımının çözülmesi ile düğüm noktalarındaki deplasmanlar hesaplanır. Bu deplasman değerlerinden türev alınarak yapıda oluşan şekil değiştirme ve gerilme değerleri elde edilir.

Jeoteknik mühendisliğinde geleneksel yöntemlerle çözülemeyen karmaşık problemlerin çözümünde sonlu elemanlar yönteminin kullanımı hızla gelişme göstermiştir. Özellikle tünel mühendisliğinde inşaat kademeleri değişken zemin tabakaları, zeminin elasto-plastik özellikleri, zemin kaplama ilişkileri vb. özellikler göz önüne alındığında bu yöntemin kullanılmasının büyük avantajları olduğu açıktır.

Bu karmaşık problemlerin çözümünün yanı sıra sonlu elemanlar yöntemi; yapının son boyutlarında karara varılmasında, ölçüm tekniklerinden elde edilmiş gözlemsel davranışların değerlendirilmesinde, değişik yükleme ve geometri şartlarının uygulanmasında ve diğer yöntemler ile yapılmış tasarımın güçlendirilmesinde etkili bir şekilde kullanılabilir.

Sonlu Elemanlar Yönteminin gerilme analizleri ve deplasmanların bulunmasında başlıca iki temel prensip uygulanmaktadır. Bunlardan ilki deplasman yöntemidir. Yöntemin temel işleyiş prensibi minimum potansiyel enerji ilkesini esas alan ve yer değiştirmeleri ilk bilinmeyen olarak tanımlayan enerji prensibine dayanan ve gerilmeleri ilk bilinmeyen olarak benimseyen denge yöntemidir. Tünelcilikte minimum enerji prensibine dayanan yer değiştirme yöntemi kullanılmaktadır (Desai 1972).

Modellenen yapının statik denge durumunun sağlanması için, uygun sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Sonlu eleman analizinde özel bir durum tanımlanmadığı sürece, genel olarak modelin üst sınırı yatay ve düşey yer değiştirmelere açıktır. Modelin üst bölümü ise yatay hareketleri alabilme kabiliyetine sahip kayıcı mesnetler ile sınırlandırılır. Sol kenar sınır şartları için düşey yer değiştirmelere açık kayıcı mesnetler kullanılır. Model, tünel içinden destek elemanları ile sınırlandırılır. Klasik kafes elemanlar kaya bulonlarını kiriş elemanlar ise iksa vb. destek yapılarını modellemek için kullanılır. 2 ve 3 boyutlu kabuk elemanlar, beton kaplama ve çelik plaka gibi sürekli destek yapılarının modellenmesi için uygundur (Şimdi 2013).

2.8.1. Sonlu elemanlar yönteminde malzemenin tanımlanması

İzotropik özellik gösteren bir kaya formasyonunda modellenecek bir iki boyutlu bir tünel modeli için tanımlanması gerekli olan tasarım parametreleri, elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), eleman kalınlığı (t) ve malzeme yoğunluğudur (γ). İzotropik ortama ait malzeme matrisleri düzlem-gerilme ve düzlem-birim deformasyon şartları için sırası ile Eşitlik 2.8'de verilmiştir.

$$D = \frac{E}{(1-\nu)} \begin{pmatrix} 1 & \nu & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{pmatrix} \quad D = \frac{E/(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{pmatrix} 1 & \nu/(1-\nu) & 0 \\ \nu/(1-\nu) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu)/2(1-\nu) \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

İzotropik şartlardaki 3 boyutlu sürekli elemanlar için malzeme matrisinin belirlenmesinde, kayma modülüne de (G) ihtiyaç duyulmaktadır. İzotropik şartlarda kullanılan parametreler, 3 boyutlu ortotropik şartlar için ise her farklı durum için ayrı ayrı kullanılmalıdır.

Aşağıdaki matriste (Eşitlik 2.9) a ve b değişkenleri kayma modülü ve elastisite modülüne bağlı değişkenlerdir.

$$D = \begin{pmatrix} aE & bE & bE & 0 & 0 & 0 \\ & aE & bE & 0 & 0 & 0 \\ & & aE & 0 & 0 & 0 \\ & & & G & 0 & 0 \\ & & & & G & 0 \\ & & & & & G \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

2.8.2. Sonlu elemanlar yönteminde yüklerin tanımlanması

Sondaj sonuçları ile elde edilen jeolojik kayaç formasyonları, tüneli çevreleyen zemin içinde modellemeyi kolaylaştıracak homojen alt bölmelere ayrılır. Bu yöntemde elemanların atanması tünelin açıldığı kayaç yapısının jeoteknik özelliklerine bağlıdır.

İki boyutlu elemanlar ile modellemede genellikle üç veya dört kenarlı sonlu elemanlar kullanılmakta ve bu iki boyutlu sonlu elemanlar, düzlem-gerilme, düzlem-birim deformasyon ve eksen simetrik analizler için kullanılmaktadır. Üç boyutlu elemanlar, tünelcilikte kesişimleri ve doğrusal olmayan tünelleri modellemek için kullanılmaktadır.

Bu yöntemle gerilme analizlerinde yüklemeler büyük önem taşımaktadır. Sonuçların gerçeğe yakın çıkması için yüklemelerin doğada oluşan yüklere en yakın değerlerde olması gerekir. Modele tesir eden yüklemeler, kaya kütesinden kaynaklanan tünelin taşıyıcı kabuğundan kaynaklanan yüklemelerdir. Ancak derin seviyelerde açılan tünellerde örtü yükünden kaynaklı jeolojik süreksizlik ve yapılanmalar ile bu yapının ve süreksizliklerin dinamik yönü önem kazanmaktadır. Yükler, sonlu elemanlara bölünmüş

olan kaya kütlelerinin düğüm noktaları aracılığıyla etkilidir. Gerilme analizi ve deplasmanların tayininde iki farklı yöntem kullanılır. Birinci durum, yüklerin bilindiği yer değiştirmelerinin bilinmediği durumlardır. İkinci durumda ise bunun tam tersi olan yüklerin bilinmediği yer değiştirmelerin bilindiği durumlardır.

2.9. Kaynak Taramaları

Barka (1997), Barka ve Kadinsky-Cade (1988), Şengör (1979), Şengör vd (1999), Şengör vd (2001), Şengör vd (2004), Wong vd (1995), Armijo vd (1999), Okay vd (2000) tarafından Marmara bölgesinin deprenselliği ile Kuzey Anadolu Transform Fayının batı uzantısını oluşturan kolları araştırılmıştır.

Erendil vd (1991) tarafından, Armutlu Yarımadası'nın temelini oluşturan metamorfik kayalar Pamukova Metamorfikleri adı altında incelenmiştir.

Akartuna (1968) ve Göncüoğlu vd (1987) tarafından Marmara bölgesinin kuzeyinde, İzmit Körfezi'nin güneyi ile Sapanca Gölü arasında Orta Eosen yaşlı andezitlerden oluşan birim ise Sarısu Volkanitleri olarak haritalanmıştır.

Göncüoğlu vd (1992) tarafından, Sarısu Formasyonu; Orta Eosen döneminde gelişen bir volkanik yay ürünü olarak değerlendirilir. Birimin; metamorfik kayalar ise uyumsuz, İncebel Formasyonu ile geçişli olduğu ifade edilmiştir. Fıstıklı Graniti tarafından kesilen birim üstte Kılıç Formasyonu tarafından örtüldüğü tespit edilmiştir.

Alpar ve Yalıtırak (2002) tarafından, sağ yanal oblik normal fay şeklinde haritalanan ve isimlendirilen Orhangazi fayı, İznik havzasının kuzey kenarında Keramet – Yeniköy arasında K70B ile D – B arasında değişen doğrultuya sahip olduğu, yaklaşık 9 km uzunluğunda ve morfolojik olarak Yeniköy doğusu ile Keramet – Üreğil arasında belirgin olduğu ifade edilmiştir.

Samanlı Tüneli Kesin Proje Raporu ve Ek Proje Raporu (Yüksel Domaniç Ltd. Şti. 2012) tarafından, tünel güzergâhı boyunca detaylı jeolojik ve jeoteknik çalışmalar yapılmış; bu çalışmalar sonucunda jeoloji haritaları, kazı ve destekleme projeleri oluşturulmuştur.

Hoek ve Brown (1980 b), Schubert ve Vavrovsky (1994) , Schubert ve Budil (1995), Schubert ve Steindorfer (1995), Schubert ve Steindorfer (1996), Özkan ve Ünal (1996), Hoek ve Brown (1997), Steindorfer ve Schubert (1997), Geodata (1997), Sönmez ve Ulusay (1999), Sellner ve Steindorfer (2000), Schubert vd (2002) tarafından tünellerde deformasyon ölçümü ve değerlendirilmesi ile yenilme ölçütünün belirlenmesine yönelik bazı kuramsal çalışmalar yapılmıştır.

Hoek ve Brown (1980), kaya kütleleri için basit dayanım ölçütünün tanımlanmasında üç temel varsayımın dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Bunları; pratikte sayıldığı gibi ana kaya malzemesinin sorumlu olduğu tüm gerilme koşullarının yeterli şekilde tanımlanması, var olan eklem düzlemleri ile birlikte anizotropik dayanım davranışının hesaba katılması veya katılabilir olması, yaklaşık bile olsa çok sayıda

süreksizlik içeren kayaç kütlelerinin dayanımı ile ilgili bazı varsayımların yapılması olarak belirlemişlerdir.

Schubert ve Vavrosky (1994), çalışmalarında tüneldeki yer değiştirme izlemelerinin yorumlanması ve veri işlemleri veya süreçleri için yapılan işlemleri ortaya koymuşlardır. Tünel performansının belirlenmesinde kullanılan ekstansiyometre yardımıyla yapılan konverjan ölçümler, kaya bulunuşları gibi klasik yöntemlerden birçoğunun belirgin bir eksikliğini olduğunu ve okumalarının havalandırma, iş makinelerinin çalışması gibi nedenlerden dolayı sağlıklı yapılamadığını belirtmektedir. Ancak NATM'nin tasarımlarında tahkimat tipi, kaya kütlelerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri, tünel davranışı ve deformasyonların izlenmesinin temel alındığı belirtilmiştir.

Schubert ve Budil (1995), 12,9 km uzunluğundaki Intal Tüneli'nde yapılan gözlemlerle kazı yönündeki yer değiştirme bileşenlerinin sistematik değerlendirmesini yapmışlardır. Fay zonundaki yer değiştirme değerinin 80 mm, tünel tavanında 170 mm ve tünel yan duvarlarında 100 mm'nin üzerinde olduğunu belirlemişlerdir. Belirli eğilimlerin gözlenebilmesi amacıyla yer değiştirme vektörü ve yer değiştirme açısı değerlerini hesaplamışlardır. Açının negatif olduğu durumda kazı yönünde bir yer değiştirmenin olduğunu, pozitif olduğu durumlarda ise kazı yönünün tersi bir yer değiştirmenin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Schubert ve Steindorfer (1995), özellikle yüksek derecede faylanmış kayaçlarda tünel açıldığında boşluktaki yer değiştirme vektörlerinin yönlenimi kullanılarak sadece birkaç çap ilerideki kaya kütle dayanımındaki değişikliklerin izlenebildiği ve aynı zamanda birincil gerilme yönlenmelerindeki sapmalarında belirlenebileceğini belirtmiştir.

Özkan ve Ünal (1996), "kaya kütle sınıflama sistemleri üzerine kritik bir değerlendirme" isimli çalışmalarında, ilgili kitap ve konferanslarda 24 adet sınıflama sistemini özetlemişler ve her bir sınıflama sisteminin tüm girdi ve tasarım çıktı parametrelerini tartışmışlardır. Ayrıca, bu sınıflama sistemlerinin yeraltı boşluklarını etrafındaki, kaya kütle davranışlarının tanımlanmasındaki yaklaşımlarda değerlendirmiştir.

Hoek ve Brown (1997), eklemlili kayaçlar için Hoek – Brown yenilme ölçütünün tanımını yapmışlardır. Hoek – Brown sabitlerini, Jeolojik Dayanım İndeksini (GSI), suyun etkisi, ana kaya özelliklerini, örnek boyutunun etkisi ve Mohr – Coulomb parametrelerini ortaya koyan özellikler üzerinde durmuşlardır.

Steindorfer ve Schubert (1997), Galganberg Tüneli'nde, Haberl fay zonunda jeodezik izleme verilerinin değerlendirilmesi ile yer değişim vektör yönlenmelerinin değerli bilgiler sağladığını belirtmişlerdir. Sadece çeşitli çaplardaki kaya kütle içindeki değişiklikleri değil aynı zamanda ilksel gerilme yönlenmelerindeki sapmaları da incelemişlerdir. Kaya kütlelerinin belirlenmesi ve tahkimat tipi için tünel kazısı süresince sistematik bir izlemenin önemini vurgulamışlardır.

Geodata (1997), yer değiştirmelerin ölçümü ve kaydı sırasında kullanılan aletleri, standartları ve bu ölçüm sisteminin avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi sunmuştur. Ayrıca, yöntemin uygulandığı ve referans olarak sunulan Türkiye ve dünyaya ait örnekler verilmiştir. Bunlara örnek projeler; dünyada Zammer Tüneli (Avusturya), Garham Tüneli (Almanya), Passür Tüneli (Avusturya) ve Atina Metrosu'dur (Yunanistan). Türkiye'de yeni uygulanmaya başlanan bu sistem Bolu Tünelleri, Balçova (İzmir) Tünelleri, İstanbul Metrosu ve Ayaş Tünelleri'nde uygulanmıştır.

Yılmaz vd (1997b) su – süreksizlik – kil (SSK) üçlüsünün mühendislik jeolojisi ve jeoteknik çalışmalarda önemli rol oynadığını bildirmişlerdir. Dipole (ikiz kutup) özelliğine bağlı olarak bir su molekülünün yüksek yer değiştirme kapasiteli kil minerallerinin smektit grubunda aşırı şişmeye neden olduğu ve bununda ciddi jeoteknik problemlere yol açtığı sonucuna varmışlardır. Güvenilir bir jeoteknik tasarımda, jeoteknik problemleri azaltmak, işi zamanında bitirmek ve çevreye olan olumsuz etkisini en aza indirmek için jeolojik modellemenin, mühendislik jeolojisi modellemesinin ve jeoteknik modellemenin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Sönmez ve Ulusay (1999), güncel GSI sisteminin sübjektif değerlendirmeye dayalı olan uygulamasını değiştirerek, sayısal verileri esas alacak şekilde yeniden düzenlenmesine yönelik önerilerde bulunmuşlardır. Bu amaçla sistemdeki yapısal özellik ve yüzey koşulu tanımlamaları puanlama yöntemine göre yeniden düzenlemiş güncellenmiştir. Ayrıca, Hoek – Brown görgül yenilme ölçütünün son sürümünde (Hoek vd 1998) kaya kütlesi sabitleri hesaplanırken örselenmenin dikkate alınmasının gerekliliğini geriye dönük analizlerle ortaya koymuşlardır. Bu araştırmanın dikkati çeken diğer bir sonucu da, göreceli olarak düşük miktarda ince tane içeren, köşeli ve yuvarlak parçalardan oluşan pasa malzemelerinin de GSI sisteminde yer alan parçalanmış malzeme grubuna dâhil edilebileceği konusudur. Bu tür malzemelerin makaslama dayanımının Hoek – Brown yenilme ölçütüyle tayininin bu çalışmada önerilen değişiklikler dikkate alınarak mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.

Sellner ve Staindorfer (2000), çalışmalarında sıkışabilir zeminlerde açılan tünellerde yatay yer değiştirme ve oturma değerlerinden yola çıkılarak tünel duvarlarındaki yer değiştirmelerin tahminine yönelik Geofit adlı analitik bir yöntem önermişlerdir.

Schubert vd (2002), çalışmalarında son yıllarda tünellerde daha fazla ölçüm verisinin elde edilmesi için izleme yöntemlerinin devamlı değişmesi ile zamanında ve yerinde ölçümlerinin yapılabildiği böylece ölçümlerin grafiksel olarak değerlendirilebildiği ve sonuç olarak tünel içerisindeki tahkimat tipi ve miktarı hakkında ek bilgiler sağlanabildiğini belirtilmiştir.

Satıcı ve Topal (2015), tünel projelendirmesinde fiziksel modeller kullanmanın ekonomik ve fiziksel güçlükleri ile gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan ileri düzeyli bilgisayar yazılımları, yeraltı kazısının yapılacağı ortamı gerçeğe yakın bir şekilde modelleyerek, kazı sırasında ortaya çıkabilecek kaya davranışları ile olası sorunları öngörme ve bunlara çözüm üretebilme yeteneğine sahip olduğunu ifade etmiştir. Bu yazılımlar, sonlu farklar, sonlu elemanlar, ayrık elemanlar adı verilen bir

takım nümerik yaklaşımlarla çalışmakta ve yeraltı kazısı yapılacak ortamla ilgili olarak kayanın jeoteknik parametrelerine ihtiyaç duymaktadır. Ancak mühendislik projelerinin tasarımında kullanılan tüm bilgisayar yazılımları bir takım kabullerle çalışmaktadır. Örneğin kazı yapılacak ortamı homojen ve izotrop kabul etmekte veya eğer ölçülebiliyorsa (ki bu çok zordur) anizotropiyi sisteme tanıtmayı beklemektedirler. Bunların yanında kaya kütlelerine ait bir takım parametrelerin de deneysel tespiti çok zor veya pahalı olduğundan ülkemiz koşullarında ampirik yöntemlerle bulunarak sisteme tanıtılmaktadır. Ayrıca uygulamada kazı, hafriyat ve destekleme süreçleri de bu tarz yazılımlarda olduğu kadar hızlı ve rahat olamamaktadır. Böylesi bir durumda, bu parametrelerin hatalı veya eksik belirlenmesi de tasarım aşamasında öngörülemeyen ancak uygulama aşamasında ortaya çıkacak önemli sorunlara sebep olmaktadır şeklinde belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

Tünel yapım aşamalarındaki jeolojik çalışmaların derlenip tez haline getirilmesine kadar geçen süreçte yararlanılan yöntemler ve araçlar, aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1. Materyal

Bursa ve Yalova İli, Ortaköy ve Laledere köyleri arasında, G 22 – c4 no'lu topografik paftalar kapsamındaki çalışma alanının bölgesel jeolojisinin değerlendirilmesi amacıyla MTA tarafından hazırlanmış olan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve açıklamaları kullanılmıştır.

Otoyol Yatırım ve İşletme A.Ş.'nin yüklenici proje firması olan Yüksel Domaniç Mühendislik Ltd. Şti. tarafından, Km: 30+830 - 34+244 arasında kalan jeolojik birimlerin birbirleri ile olan dokanak ilişkilerini ve mühendislik özelliklerini tanımlayabilmek amacıyla, Laledere ve Ortaköy köylerini kapsayan Samanlı Tüneli eksenini boyunca toplam derinliği 1088 metre olan 7 adet sondaj yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularında uygun zeminlerde Standart Penetrasyon (SPT) deneyleri yapılarak; laboratuvar deneyleri için gerekli zemin numuneleri alınmış olup kaya ortamlarda ise karot örnekleri alınmıştır.

Sondaj kuyularında; kaya ve zeminlerin litolojik özellikleri, ayrışma, çatlaklık durumu/süreksizliklerin sıklığı ve aralığı, dayanımları, karot yüzdesi (TCR), yüzeylerin pürüzlülüğü ve kaya kalitesi göstergesi (RQD) gibi jeoteknik parametreler sondaj sırasında belirlenerek yerinde logları düzenlenmiş, ayrıca Basıncılı Su Deneyleri (BST) de yapılmıştır. T.C. Karayolları Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi'ne uyularak açılacak sondajın yerleri ve derinlikleri belirlenmiştir.

Tünel kazısı sırasında karşılaşılan birimlerden numuneler alınmış ve değerlendirilmiştir. Otoyol Yatırım ve İşletme A.Ş.'nin yüklenici proje firması olan Yüksel Domaniç Mühendislik Ltd. Şti.'ne yaptırılmış olan Kesin Proje Raporu'ndan (2012) da ayrıca yararlanılmıştır.

3.2. Metot

Projede belirtilen kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamaları, tüneller boyunca yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarına ve tünel güzergâhındaki birimlerin jeoteknik özelliklerine göre yapılmıştır. Tünelde karşılaşılan kaya kütleleri, proje kapsamında RMR yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca bu sınıflandırma ile bütünsellik gösteren NATM'ye göre de sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, Karayolları Teknik Şartnamesi gereğince ÖNORM'a (Ekim 1994 sonrası) göre yapılmıştır.

Bu sınıflandırmalar neticesinde, imalat aşamasındaki tünel destekleme sistemleri (püskürtme beton, çelik hasır, kaya bulonu, çelik iksa, vb.) ve duraylılık teknikleri belirlenmiştir. Belirlenen kaya sınıfları ve buna bağlı destek sistemleri ışığında tünel imalatları yapılmaktadır. Tünel çalışmalarında kaya ve zemin şartlarına bağlı olarak, NATM felsefesiyle kazı tekniği belirlenir ve kazı aşamalarına geçilir. Kazı aşamaları

üstyarı, altyarı ve taban (invert) kazısı şeklindedir. Kazı aşamaları, tünelin kemerlenmesini sağlayacak destek sistemleri ile sonlandırılır. Yapım aşamaları sırasında kazı aynaları takip edilerek, jeolojik ayna değerlendirmeleri yapılır. İmalat sırasında araştırma delgileri ile tünel aynasının kazılmamış zemini incelenir ve tüneldeki deformasyon okumalarıyla yatay ve düşeydeki tünelin hareketi kontrol edilir.

Bu tez; kazı öncesi çalışmalar, kazı sırasındaki çalışmalar ve kazı sonrası büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleşmiştir.

İlk aşamada bölgenin topografik, hidrolojik ve jeolojik özellikleri hakkında ön bilgiler edinilmiş ve bu kapsamda proje raporları ve literatür taramaları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Böylece tünel güzergâhında karşılaşılabilecek jeolojik koşullar, kayaçların türü, vb. konularda bilgi toplanmıştır.

Kazı sırasındaki çalışmalarda tüm imalat safhaları yerinde gözlemlenmiş, çalışılmış ve kayıt altına alınmıştır. Kazı aynalarında gözlemler yapılarak, tünel aynası jeolojik haritalandırılmaları, kaya kütle değerlendirmeleri, süreksizlik ölçümleri, su durumu analizleri ve kayaç numuneleri incelemeleri yapılmıştır.

Tünel aynaları yorumlanarak kaya sınıfları belirlenmiş, var olan faylanmalar kaydedilmiş, süreksizlik ölçümleri kontur ve gül diyagramlarında değerlendirilerek, süreksizlik takım sayısı ve ortalama yönelimleri belirlenmiştir. Tüm bu bilgilerden yararlanılarak tünelin üstyarı taban kotu jeoloji haritası ve açılım (perimetri) haritası çizilmiştir.

Deformasyon ölçümleri yapılarak, bilgisayar ortamında veri analizleri ve grafikler üretilerek tünelin duraylılığı ve/veya hareketliliği sürekli izlenmiştir. Bu izlemeler sonucunda yanal ve düşey hareketlerin verileri yorumlanarak tünel imalatı yönlendirilmiştir.

3.2.1. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM)

Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ilk defa Prof. Dr. L. v. RABCEWICZ tarafından ortaya atılmış ve 1948 yılında patent başvurusu yapmıştır. Tünelin oluşturulduğu açıklıkta, kayanın mevcut yükünün kendisine taşıması prensibine dayanan NATM, geçici bir destekleme ve deformasyonlara izin vermek yoluyla mümkün olan en kısa sürede halkayı (ring) tamamlayarak, mevcut kaya basıncının düşürülmesi ve bu basıncın radyal yönde çevreleyen kayaya dağıtılmasıdır (Rabcewicz 1964).

Kazı sonrasındaki püskürtme beton, çelik iksa ve kaya bulonu uygulamaları aşırı ve ani gevşemeler ile buna bağlı oluşacak deformasyonları, zamanında ve hızlı bir şekilde önlemeyi sağlayacaktır. Rijit destek sistemi yerine, deformasyonlara kontrollü izin veren ve kemerleşmenin sağlanmasına yardımcı olacak destek sistemlerinin kullanılması önemlidir.

Bu yöntemde hız ve maliyeti sağlayan en önemli özellik, proje değeri kadar açıklığın oluşmasını sağlamak ve destekleme sisteminin aşırı deformasyona izin

vermeden, kayacın duraylılığını kaybetmeden önceki en uygun durumda yerleştirilmesidir. Bunun sonucunda destek sistemlerine, kayanın kendi taşıyabileceği yük aktarılmamış olacaktır.

NATM’de başarıyı sağlamak, kazı sırasında yapılan düzenli deformasyon okumalarına ve bu okumaların doğru değerlendirilmesine bağlıdır. Doğru veriler ve yorumlamalar, olası kazı problemlerinde hızlı çözüm üretilmesine ve tahkimat sistemlerinin değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat bu yöntemde tüneli çevreleyen kaya ve zemin ortamı; aynı zamanda tünel yapısına etkiyen yükü ve tünel kaplaması ile birlikte taşıyıcı sistemi oluşturduğu için, tünelin açımından önceki ve sonraki durumu bir arada içeren bir hesap modelinin hazırlanmasını zorlaştırmaktadır. Kazının ve destek sisteminin karşılıklı etkileşmesinden doğan ikincil gerilme durumunu tespit edebilmek için, birincil gerilme durumunun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu da heterojen, anizotrop ve süreksiz yapısından dolayı birçok kayacda oldukça zordur.

Tüm bu hesapların yapılabilmesi için; jeoteknik koşullar, statik sistem, hesap, kazı ve iksa yöntemleri, güvenlik kriterleri ve yerinde ölçülerin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Böylece çeşitli aşamalarda yapılabilen kabul hataları; koşulların daha iyi belirlenmesi ve tecrübe yardımıyla düzeltiler. Bu da NATM’nin en önemli özelliklerinden birisidir.

Tünelin kazılmasından sonra oluşacak gerilme ve deformasyonlar ile tünel kaplamalarına gelecek yüklerin belirlenebilmesi kullanılan üç yaklaşım; ampirik yöntemler, analitik yöntemler ve sayısal yöntemler olarak üçe ayrılmıştır. Tek tek veya birlikte kullanılabilen bu yöntemler hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Ampirik yöntemler; genellikle örnek zemin veya kaya üzerinde yapılan ölçümlere ve arazi verilerine dayanmaktadır. Geçmiş tünel kazıları ve deformasyon ölçümleri ile kaplama tipi seçimleri incelenerek hesaplamalarda kullanılır.

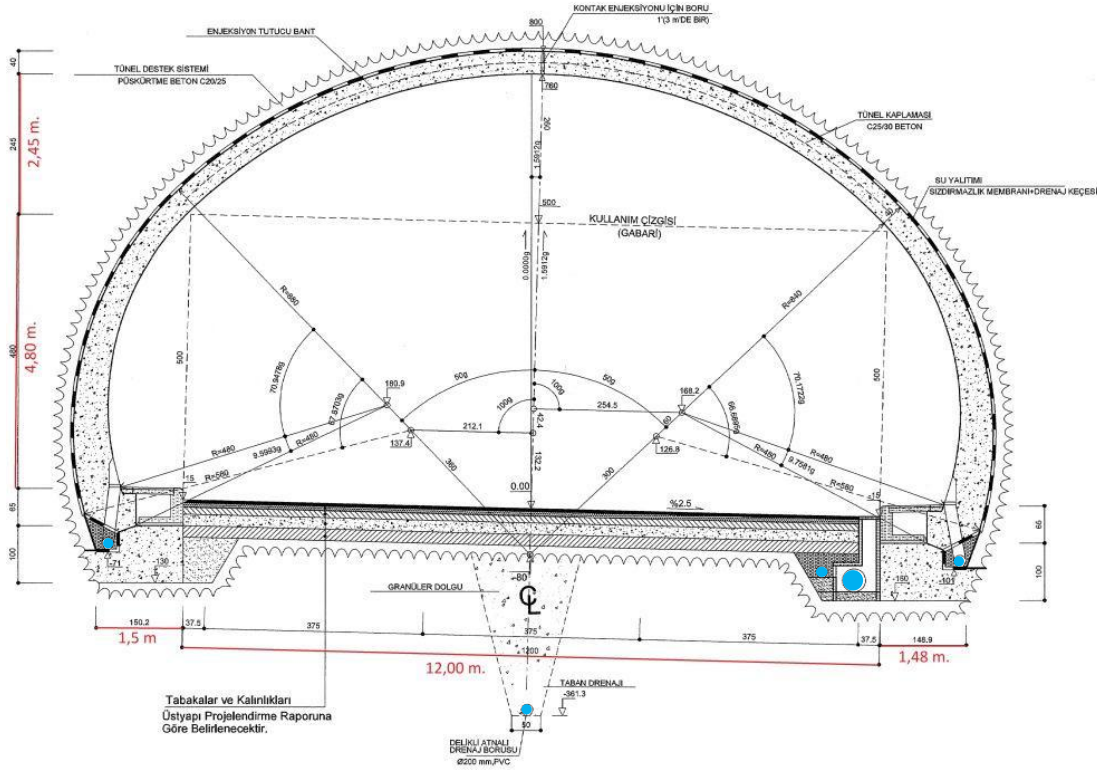
Analitik yöntemler; karmaşık şekilli kazılarda, kaya kırık zonları olan bölgelerde, simetrik olmayan problemlerde ve izostatik gerilme durumuna uymayan arazi gerilme durumlarında başarıyla uygulanmaktadır.

Sayısal yöntemler; temel olarak üç modele ayrılmıştır. Bunlar süreklilik, süreksizlik ve yatak katsayısı modelidir. Süreklilik modeline uygun sayısal yöntemler; sonlu elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve sınır elemanlar yöntemidir. Süreksizlik modeline uygun hesap yöntemi ayrık (bölgesel) elemanlar yöntemidir. Yatak katsayısı modeline uygun hesap yöntemi ise elastik kiriş elemanlar yöntemidir.

Bu tez kapsamında tünelin destek sistemlerinin uygulanabilirliğini kontrol etmek için sayısal analizin yapılmasında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılan RocScience Phase² 7.0 programından faydalanılmıştır. Ayrıca jeoteknik birimlere ait kaya parametrelerinin değerleri RocScience RocLab 1.0 programı kullanılarak kaya kütlelerinin özellikleri belirlenmiş ve asal gerilme grafikleri çizilmiştir.

3.2.2. Tünel yapım aşamaları

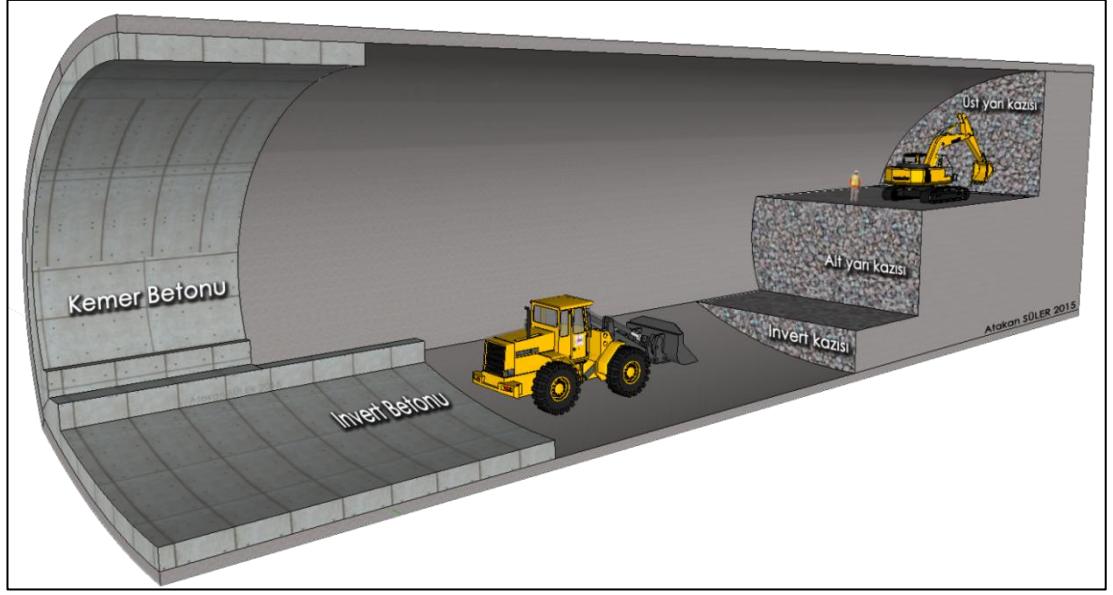
Tüneldeki yapım aşamaları, tünel yapım projelerinde gösterildiği şekilde sürdürülmektedir. Tünel kesitlerindeki imalat detayları Şekil 3.1’de verilmiştir.



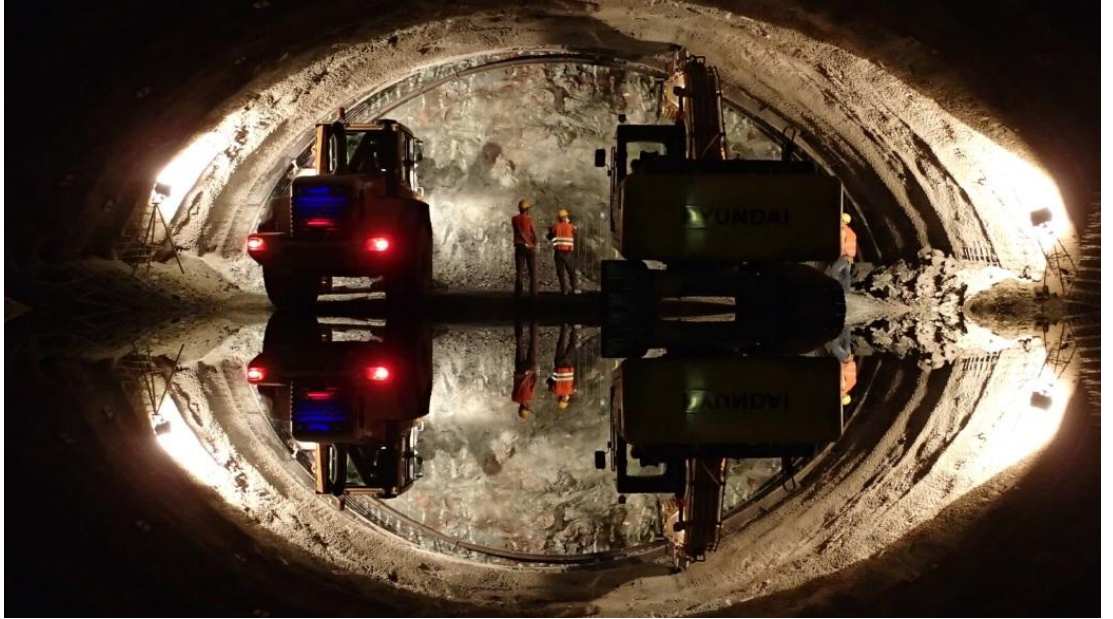
Şekil 3.1. Yapım aşamasındaki tünel tip kesiti ve drenaj sistemleri

3.2.2.1. Kazı aşamaları

NATM’da yarı mekanize kazı ile delme – patlatma yöntemleri kullanılmaktadır. Tünel kesiti ve zemin şartlarına bağlı olarak, kazı bölümler halinde yapıp üstyarı – altyarı ve taban kazısı olmak üzere üç aşamada kazı çalışmaları sürdürülmektedir. Tünelin her iki tüpünde dört kazı aynasında da bu işlemler aynı şekilde yapılmaktadır. Kazı ve destekleme aşamalarını takiben, invert kaplama betonu ve iç kaplama (kemer) betonu uygulamaları yapılmaktadır (Şekil 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5). Tünel üstyarı ve altyarı kazı ve desteklemeleri devam ederken, gerideki deformasyonların sönmülmesine bağlı olarak iç kaplama (kemer) betonu imalatının yapılmasına devam edilmiştir. Kazı ve beton işlerinin birlikte yapılması, hem kalıcı desteklemelerin erken tamamlanmasını hem de iş programının hızlı ilerlemesini sağlamaktadır.



Şekil 3.2. Samanlı Tüneli kazı ve beton aşamaları şematik kesiti



Şekil 3.3. Üstyarı kazı (mekanik) aşaması (Samanlı Tüneli sağ tüp)



Şekil 3.4. Altyarı kazı ve destekleme aşaması (Samanlı Tüneli sol tüp)



Şekil 3.5. Taban (invert) kazı ve destekleme aşaması (Samanlı Tüneli sol tüp)

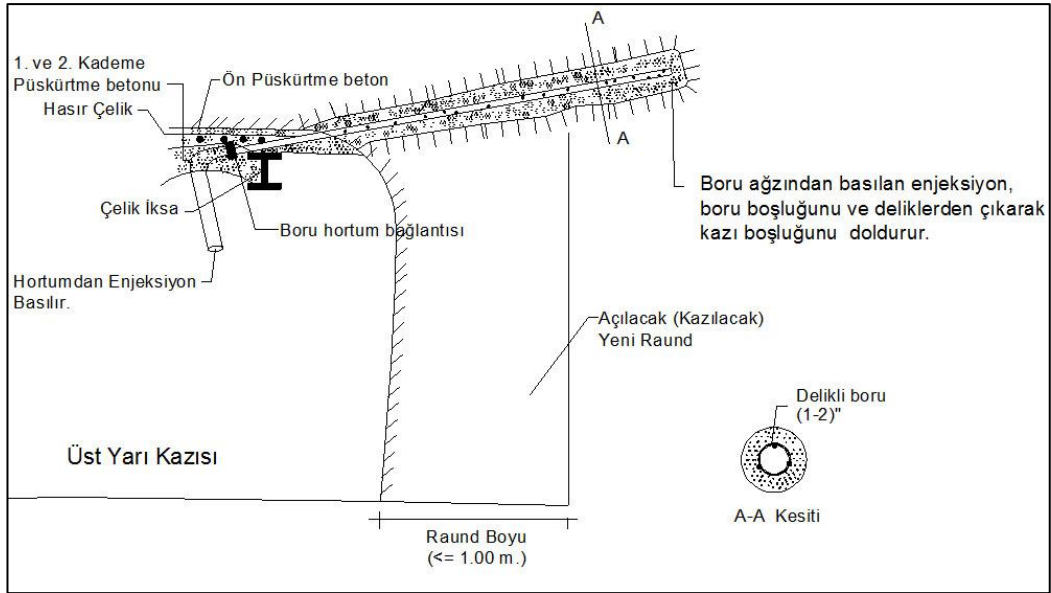
3.2.2.2. Destekleme (Tahkimat) sistemleri

NATM'de birincil destekler olarak kullanılan püskürtme beton, hasır çelik, iksa ve kaya bulonları kaya kütleyle birlikte taşıyıcı bir yapı oluşturmaktadır. Kaya ve destek elemanlarından oluşan bu sistem tünel kazı çevresinde oluşan basınçların

yeniden dağılımını sağlayarak, kayanın gevşeme sonucu azalmakta olan dayanımının artmasını sağlamaktadır. Deformasyonlar, kontrollü bir şekilde tünel içinde göçüğe meydan vermeden veya emniyetsiz bir ortam oluşmadan gerçekleşmektedir.

Boru sürenler, tünel kazı işlerinde gereken, bir kazı öncesi iksa elemanıdır (Şekil 3.6). Kazıyı takiben, aşırı sökülme, çökme veya malzeme akmasına meyilli kaya ve zemin şartlarında uygulanır. Tünel kazısında, aynanın son roundunda, çelik iksa üzerinden bir ucu çelik iksaya, diğer ucu kazılacak zeminin ilerisindeki tabii zemine mesnetlenecek şekilde yeni kazılacak zeminin içine delik açılarak ve bu deliğe çelik çubuk sürülerek enjeksiyonlu veya enjeksiyonsuz olarak yapılan kazı çevresi ve üzerinin stabilizasyonu için (düşme ve göçmeleri önlemek için) yapılan yardımcı destekleme elemanlarıdır.

Çelik elemanlar, çelik çubuk, perfore (delikli) boru ve akıcı zeminlerde levha şeklinde olur. Tünel imalat projesinde 4m boyunda enjeksiyonlu çelik boru sürenler uygulanmaktadır. Uygulama açısı, mümkün olduğu kadar minimum değerde (paralele yakın) olmalı ve çelik iksa profilin üzerinden kazı profilinin dışına doğru yapılmalıdır. Enjeksiyonlu sürenlerde delgi boşluğu SN tip bulonlardaki gibi önce enjeksiyonla doldurulur, sonra süren itilerek yerleştirilir.



Şekil 3.6. Süren uygulamasını gösteren şematik çizim

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü pratiğinde kullanılan NATM destek tipi seçim abağındaki ÖNORM B2203 (Ekim 1994 sonrası) kaya sınıflamasına göre destekleme tiplerindeki imalat uygulamaları aşağıda açıklandığı gibidir.

- **A1 Sınıfı:** Destekleme gerekmemektedir.
- **A2 Sınıfı:** Bölgesel olarak tünel tavanında, yan duvarların üst kısımlarında desteklemeye gerek görülebilir. Derhal desteklenmesi gereken çökmeye eğimli sahalarda haricinde kaya bulonları, aynadan itibaren en çok bir round geriden

uygulanmalıdır. Kaya bulonlama yönü süreksizliklerin yönelimine göre seçilebilir.

- **B1 Sınıfı:** Sistematik destekleme ve lokal olarak ön destekleme gerekebilir. Destekleme kazıdan maksimum bir round geride olabilir.
- **B2 Sınıfı:** Tünel tavanı ve yan duvarlarda ve aynada sistematik destekleme gereklidir. Gerekğinde tavanda süren kullanılacaktır.
- **B3 Sınıfı:** Tünel tavanı ve yan duvarlarda sistematik çelik kuşak (iksa) uygulaması söz konusu olacaktır. Süren kullanımı yerel olarak gerekebilir. Jeolojik şartlara bağlı olarak, altyarı aynasından 150 metreden daha geride olmamak üzere, yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir.
- **C1-C2-C3-C4-C5:** Formasyon şartlarının tamamen plastikleştiği durumlarda sistematik ve sık aralıklı tahkim elemanları kullanılmalıdır. Tabanda gerekirse tahkim elemanları ve invert betonu dökülmelidir.

Tünel desteklemesinde kullanılan kaya bulonu imalatı Şekil 3.7’de, püskürtme beton uygulaması ise Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Kaya bulonu imalat aşaması (Samanlı Tüneli sağ tüp)



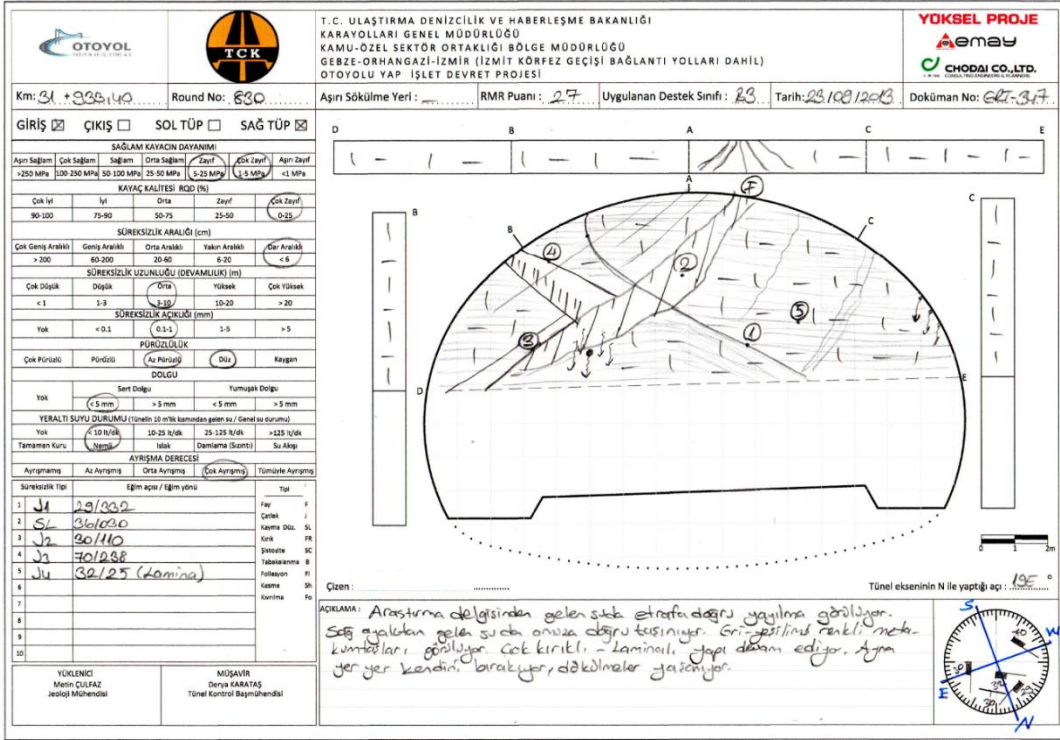
Şekil 3.8. Püskürtme betonu uygulama aşaması (Samanlı Tüneli sol tüp)

3.2.3. Jeolojik / jeoteknik çalışmalar

Samanlı Tüneli'ndeki jeolojik çalışmalar; tünel kazı aynasının değerlendirilmesi, süreksizliklerin ölçülmesi, taban kotu haritasının çizilmesi, tünel açılım haritalarının çizilmesi, araştırma delgilerinin yapılması, gözleme ve deformasyon ölçümlerinin yapılması şeklinde olmuştur.

3.2.3.1. Tünel aynası çizimleri

Samanlı Tüneli'nde mevcut olan dört (4) adet tünel kazı aynasının (Giriş sağ ve sol tüp, çıkış sağ ve sol tüp) jeolojik açıdan incelenmesi ve ayna değerlendirme formlarının oluşturulması, maksimum iki kazı adımıyla bir olacak şekilde yapılmıştır (Şekil 3.9 ve 3.10). Bu haritalandırmalar ve RMR değerlendirmeleri hem yazılı hem de sayısal ortamda arşivlenmiştir (Şekil 3.11). Ayrıca kazı aynasının fotoğrafları da bu arşivlere eklenmiştir. Samanlı Tüneli tünel aynası jeolojik haritalandırılmasına ilişkin istatistiksel verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.9. Samanlı Tüneli'ne ait örnek tünel aynası jeolojik haritası (km: 31+933,40)



Şekil 3.10. Pamukova metamorfiklerine ait metakumtaşı – metakuvarsit üyesi (km: 31+933,40)

SINIFLAMA PARAMETRELERİ		AÇIKLAMALAR	PUAN
1	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)	5-25 Mpa (Zayıf)	2
2	Kayaç Kalite Değeri (RQD %)	0-25 (Çok Zayıf)	3
3	Süresizlik Aralığı (cm)	<6 (Dar Aralıklı)	5
4	Süresizlik Uzunluğu /Devamlılığı (m)	3-10 (Orta Derecede Devamlılık)	2
5	Süresizlik Açıklığı (mm)	0,1-1	4
6	Pürüzlülük	Düz	1
7	Dolgu	Sert Dolgu <5 mm	4
8	Yeraltı Suyu (lt/dk) Genel Su Durumu/ Tünelin 10 m'lik Kısmından Gelen Su	Nemli/<10 lt/dk	10
9	Ayrışma	Çok Ayrışmış (W4)	1
10	Tünelde Süresizlik Eğim ve Doğrultusunun Etkisine Göre Düzeltme	Orta [Doğrultu Tünel Eksenine Dik (Eğime Karşı Yönde İlerleme/Eğim:45-90)]	-5
RMR Puanı			27
TOPLAM RMR DEĞERİ VE ANLAMI			
Puan Aralıkları		40-21	
Sınıflandırma Numarası		IV	
Tanımlama		Zayıf Kaya	
Ortalama Desteksiz Kalabilme Süresi		2,5 m Açıklık İçin 10 Saat	
Kaya Kütlelerinin Kohezyonu (kPa)		100-200	
Kaya Kütlelerinin İçsel Sürtünme Açısı (°)		15-25	
NATM Destek Tipi Seçimi		C1 /DAĞ ATMA	
HESAPLAYAN:			

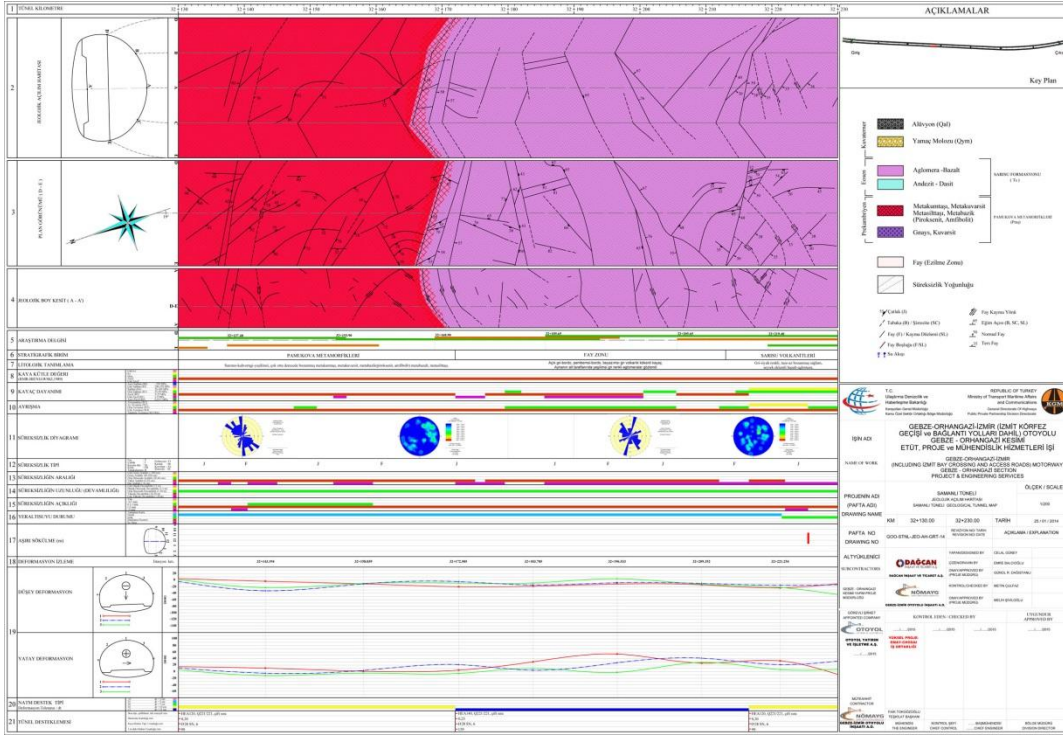
Şekil 3.11. Tünel aynası RMR değerlendirmesi örneği (km:31+933,40)

Çizelge 3.1. Samanlı Tüneli tünel aynası çizimlerinin istatistikleri

GENEL	TÜP	UZUNLUK (m)	ROUND	AYNA KESİTİ SAYISI	ORT. AYNA KESİT ARALIĞI	
	TOPLAM	6777,25	4465	1748	3,88m	2,55 round
SAĞ TÜP	CRT	1844,53	1151	459	4,02m	2,51 round
	GRT	1572,53	1118	463	3,40m	2,41 round
	TOPLAM	3417,06	2269	922	3,71m	2,46 round
SOL TÜP	CLT	1856,27	1163	441	4,21m	2,64 round
	GLT	1503,92	1033	385	3,91m	2,68 round
	TOPLAM	3360,19	2196	826	4,07m	2,66 round

3.2.3.2. Tünel (açılım) haritası

Tünelde yapılan jeolojik ve jeoteknik çalışmaların sonucunda, tünelin jeoloji haritası, plan kesiti, boy kesiti başta olmak üzere litolojik tanımlamalar, süreksizlikler, yatay ve düşey deformasyon grafikleri, NATM kaya destek sınıfları, araştırma delgisi kayıtları, gül ve kontur diyagramları tünel haritasında kapsamlı olarak çizilmiştir. Paftalar 1/100 ölçekli olup, 100 metrelik tüneli kapsamaktadır. Hazırlanan bu tünel haritaları, imalat sürecinde elde edilen tüm verilerin bir arada görülüp değerlendirilmesine kolaylık sağlamaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Tünel (Açılım) Haritası örnek pafta (Samanlı Tüneli sağ tüp)

3.2.4. Araştırma delgisi

Samanlı Tüneli'nde mevcut olan dört (4) adet tünel kazı aynasının (GRT, GLT, CRT, CLT) araştırma delgileri her 30 metrede, 10m bindirmeli olacak şekilde 'jumbo' adı verilen delici iş makinası yardımıyla karotsuz yatay sondaj mantığıyla yapılmıştır (Şekil 3.13 ve 3.14). Delginin Jumbo ile yapılması hem hızlı sonuç alınmasına yararı olmuş hem de kazı ve destekleme aşamalarının hızını aksatmamıştır. Gözlemlenen unsurlar ve edinilen bilgiler sondaj log kayıtları gibi tutularak arşivlenmiştir. Araştırma delgisi istatistikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Yapılan kaya delme işleminde dikkat edilen unsurlar; sediman suyu rengi, içerdiği sedimanlar, delgi hızı, delgi sırasındaki makine zorlanması (baskı basıncı) gibi belirleyici özelliklerdir. Bu unsurlar, ilerleme yönündeki henüz kazılmamış ya da patlatılmamış mevcut kayayı önceden tasvir etmeye yaramaktadır. Bu önemli bilgiler ışığında imalata yön verilmektedir.



Şekil 3.13. Araştırma delgisi ve değerlendirme aşaması (Samanlı Tüneli sağ tüp)

Tünel Adı		SAMANLI TÜNELİ		Açıklama:
Lokasyon	ÇIKIŞ SAĞ TÜP			
Delgi No	CRT-88	Sayfa No:	1/1	Delgi Atlas Copco 352 Jumbo ile yapılmış; değerlendirilmede ilerleme hızı, delgi suyunun rengi ve sediman dikkate alınmıştır.
Delgi Çapı	32 mm			
Delgi Uzunluğu	29,60 m			Hazırlayan: Necat ARIBAŞ Jeoloji Mühendisi
Başlangıç Km	32+454,90			
Bitiş Km	32+425,30			
Delgi Tarihi	10.02.2014			
Delgi Boyu (m)	Tünel Km	Jeolojik Profil	Açıklamalar	Araştırma Delgisi Konumu
0	32+454,90		Siyahimsi yeşil renkli, ince-orta taneli, heterojen dağılımlı taneler Delgi hızı: 2,0 m/dk	
1	32+451,20		FeO'li seviye ince hant şeklinde Kırlı beyaz renkli, ince taneli, kil yok	
2	32+447,50		Grimsi beyaz renkli, ince-orta taneli, kil yok Delgi hızı: 2,0 m/dk	
3	32+443,80		Kahverengimsi yeşil renkli, ince-orta taneli, kil yok 20-25 cm kalınlıkta FeO'li seviye Delgi hızı: 2,50 m/dk	
4	32+440,10		Kahverengimsi yeşil renkli, ince-orta taneli, kil yok FeO'li seviye ince hant şeklinde Kırlı yeşil renkli, ince taneli, kil yok Delgi hızı: 2,50 m/dk	
5	32+436,40		Kırlı beyaz renkli, ince-orta taneli, kil yok Kahverengimsi yeşil renkli, orta taneli, kil yok Delgi hızı: 2,0 m/dk	
6	32+432,70		Kahverengimsi yeşil renkli, ince-orta taneli, kil yok Delgi hızı: 2,0 m/dk	
7	32+425,30		20-30 cm kalınlıkta FeO'li seviye Siyahimsi yeşil renkli, ince-orta taneli, kil yok Delgi hızı: 1,76 m/dk	
		Delgi Sonu		Plan görünümü
YÜKLEENİCİ Metin GÜLFAZ Jeoloji Mühendisi			MÜŞAVİR Derya KARATAŞ Tünel Kontrol Başmühendisi	

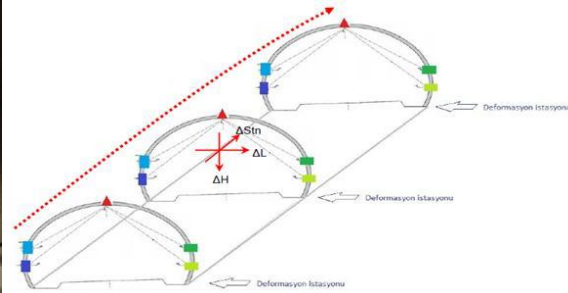
Şekil 3.14. Araştırma delgisi log kayıt örneği (Samanlı Tüneli sağ tüp)

Çizelge 3.2 Araştırma delgisi istatistikleri

TÜNEL	UZUNLUK (m)	ARAŞTIRMA DELGİSİ			
		SAYISI	TOPLAMI (m)	ORT. DELGİ ARALIĞI (m)	ORT. DELGİ BOYU (m)
SAĞ TÜP	3414	179	4391,05	19	25
SOL TÜP	3366	151	3995,37	22	26
TOPLAM	6780	330	8386,42	21	25

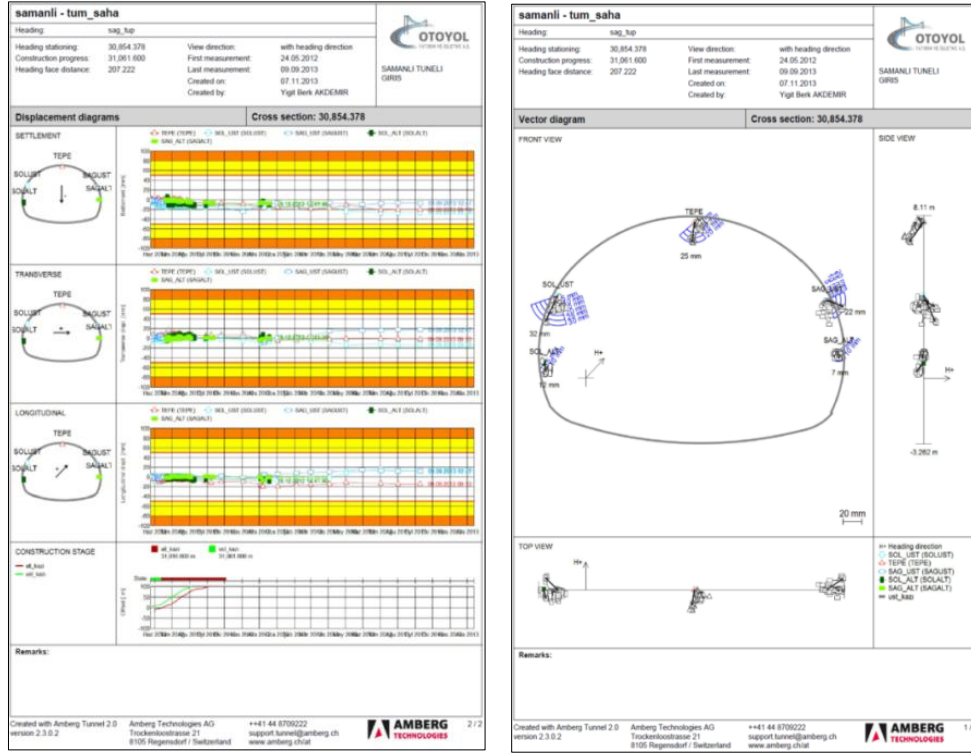
3.5. Gözleme ve Ölçümleme (Monitoring)

NATM ile yapılması tasarlanmış tünellerde bulunan destek elemanları ve bitişik kayadaki deformasyonların ve yük değişimlerinin izlenmesi ve kayıt altında tutulması amacıyla jeoteknik ölçümler yapılmaktadır. Tüneldeki 3 boyutlu deformasyonlar, optik yöntemlerle ve yüksek hassasiyeti olan elektronik ve otomatik teodolitler aracılığı ile izlenmektedir. Gözlenecek noktalar, standart yaklaşma (convergency) bulonlarına monte edilmiş reflektörlerdir (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006). İstenilen ölçüm hassasiyeti +/- 1mm civarındadır. Karayolları Teknik Şartnamesi'ne (2006) göre, jeoteknik ölçüm kesitlerinin yerleri ve aralarındaki mesafeler jeolojik koşullara, jeolojik değişimlerin sıklığına, kayanın mekanik davranışına bağlıdır. Jeoteknik enstrümanların tümü, son kazı roundunda ve aynaya en yakın konumda olacak şekilde montajı sağlanmıştır (Şekil 3.15).

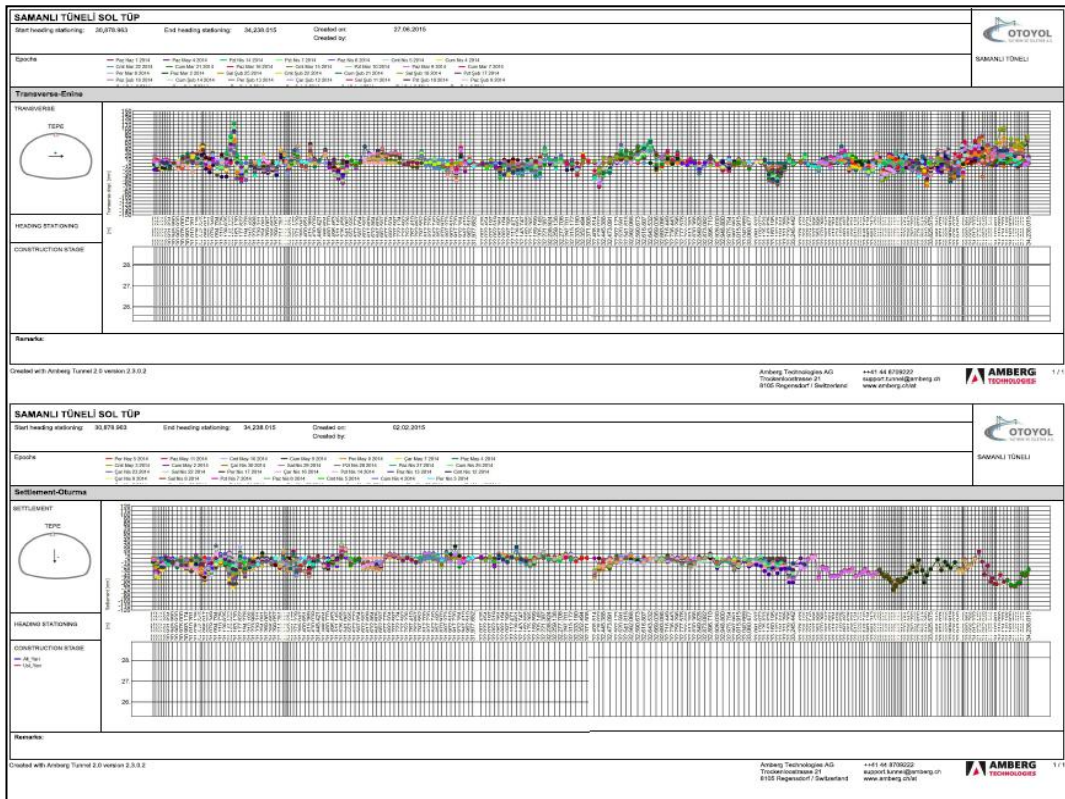


Şekil 3.15. Tünel içerisindeki deformasyon istasyonları ve ölçüm noktaları

Jeoteknik enstrümanlardan gelen veriler, bilgisayar yazılımına aktarılıp değerlendirilmektedir. Yapılan ölçüm sonuçları, tablo ve grafik olarak kullanılan yazılımda incelenmekte ve kayıt altına alınmaktadır (Şekil 3.16 ve 3.17). Tüm değerlendirmeler ve yorumlar bu yazılım vasıtasıyla yapılmaktadır. Ölçüm aralıkları günlük ve aylık olarak belirlenip, tünel iç kaplama betonu yapım çalışmalarına kadar sürdürülmektedir. Samanlı Tüneli deformasyon ölçümleri kapsamında yapılan değerlendirmelerde ortalama 15,8m aralıklarla izleme yapılmıştır (Çizelge 3.3). Tüm veriler Amberg Tunnel 2.0 yazılımı ile kayıt altında tutulmuştur.



Şekil 3.16. Tünelde konumlanmış bir istasyona ait deformasyon grafiği örneği



Şekil 3.17. Yatay ve düşey deformasyon grafiklerini gösteren bir örnek

Çizelge 3.3. Samanlı Tüneli Deformasyon Ölçüm İstatistikleri

DEFORMASYON ÖLÇÜM İSTATİSTİKLERİ			
VERİLER	SOL TÜP	SAĞ TÜP	TOPLAM
Toplam Reflektör Sayısı	989	1014	2003
Toplam İstasyon Sayısı	209	238	447
Toplam Okuma Sayısı	24802	27889	52691
DEĞERLENDİRMELER	SOL TÜP	SAĞ TÜP	TOPLAM
Ortalama Okuma Sayısı (adet/reflektör)	24,7	27,5	26,1
Ortalama Ölçme Aralığı (m)	10,6	21,1	15,8
Birim Tünel Uzunluğunda Okuma Sayısı	15,5	6,3	10,9
İstasyon Başına Okuma Sayısı	117,3	117,2	117,2

4. BULGULAR

Arazi çalışmaları, tünel kazı aşamalarının takip edilmesi, tünel aynalarının jeolojik haritalandırılması ve yerinde yapılan deformasyon ölçümlerinin incelenmesi olacak şekilde 2012 yılı Şubat ayında başlamıştır. Tünel jeolojisi için daha önce Yüksel Domaniç Mühendislik Ltd. Şti. tarafından hazırlanmış olan ve jeoloji haritaları, tünel güzergâhında yapılan sondaj çalışmaları ile laboratuvar çalışmalarını kapsayan detaylı tünel raporu derlenmiştir.

Tünel aynalarının jeolojik incelemeleri, süreksizlik ve deformasyon ölçümleri, araştırma delgileri giriş ve çıkış kısımlarında sağ tüp – sol tüp olmak üzere toplam dört tüpte yapılmıştır. Projede ön görülen kaya sınıfı ile yapım aşamasındaki jeolojik çalışmalar sonucu belirlenen kaya sınıfları değerlendirilmiştir. Bu tezde çalışılan kesim, projede ön görüldüğü farklı destekleme sistemlerinin kullanılması sebebiyle seçilmiştir.

4.1. Sondaj Çalışmaları Verileri

Laledere – Ortaköy arasında Samanlı Tünel eksenini boyunca toplam derinliği 1088m olan ve Yüksel Domaniç Mühendislik Ltd. Şti. tarafından 7 adet karotlu sondaj yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularında uygun zeminlerde Standart Penetrasyon (SPT) deneyleri yapılarak; laboratuvar deneyleri için gerekli örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmıştır.

Açılan sondaj kuyularında; kaya ve zeminlerin litolojik özellikleri, dayanımları, yüzeylerin pürüzlülüğü, süreksizliklerin sıklığı ve aralığı, ayrışma, toplam karot yüzdesi (TCR) ve kaya kalitesi göstergesi (RQD) gibi jeoteknik parametreler sondaj sırasında belirlenerek yerinde logları yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularının adlarını, derinliklerini, yerlerini gösteren kilometreler, koordinatları ve kotları Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Samanlı Tüneli Sondaj Bilgileri

Sıra No.	Sondaj No.	Derinlik (m)	Koordinat (X)	Koordinat (Y)	Kot (m)	YAS (m)
1	SK 30+818	28.00	445968	4493409	324.00	6.00
2	SK 30+878	60.00	445959	4494349	341.00	11.50
3	SK 31+070	115.00	445902	4494200	394.00	52.00
4	SK 32+045	250.00	445605	4493277	554.00	62.00
5	SK 32+775	440.00	445374	4492574	721.18	80.00
6	SK 33+800	130.00	445061	4491580	405.00	18.00
7	SK 34+178	65.00	444995	4491199	332.00	6.10

Çalışılan kısımlara denk gelen sondajlara (Sıra no: 2 – 3) ait laboratuvar özet tablosu EK-2’de sunulmuştur.

4.2. Tünel Aynası Çizimleri

Bu tez kapsamında, sonlu analiz yöntemiyle yapılacak olan sayısal analiz için belirlenen bölgede (km: 31+500 – 31+532) yapılan tünel aynası jeolojik haritalama çalışmaları EK-3'te sunulmuştur.

4.3. Tüneldeki Jeolojik Birimlerin Geçiş Kilometreleri

Tünelde karşılaşılan jeolojik birimlerin geçiş kilometreleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Jeolojik Birimlerin Geçiş Kilometreleri

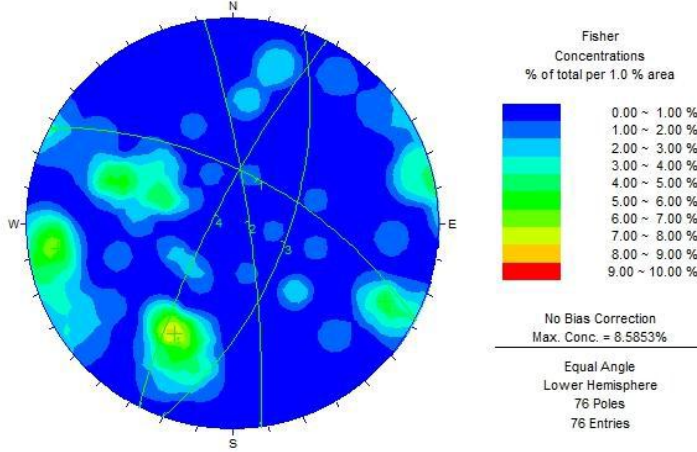
	Jeolojik Açıklama	Kilometre		İlerleme Mesafesi (metre)
		Başlangıç	Bitiş	
SAĞ TÜP	Metakumtaşı	30+830,000	32+164,290	1334,29
	Metakumtaşı- Bazalt Geçiş Zonu	32+164,290	32+213,220	48,93
	Bazalt	32+213,220	33+640,520	1427,30
	Bazalt- Gnays Geçiş Zonu	33+640,520	33+705,590	65,07
	Gnays	33+705,590	34+043,650	338,06
	Gnays-Dasit Geçiş Zonu	34+043,650	34+069,760	26,11
	Dasit	34+069,760	34+250,000	180,24
	SOL TÜP	Metakumtaşı	30+880,000	32+156,160
Metakumtaşı- Bazalt Geçiş Zonu		32+156,160	32+219,630	63,47
Bazalt		32+219,630	33+638,510	1418,88
Bazalt- Gnays Geçiş Zonu		33+638,510	33+756,330	117,82
Gnays		33+756,330	34+037,700	281,37
Gnays-Dasit Geçiş Zonu		34+037,700	34+062,450	24,75
Dasit		34+062,450	34+254,000	191,55

4.4. Süreksizlik Ölçümleri

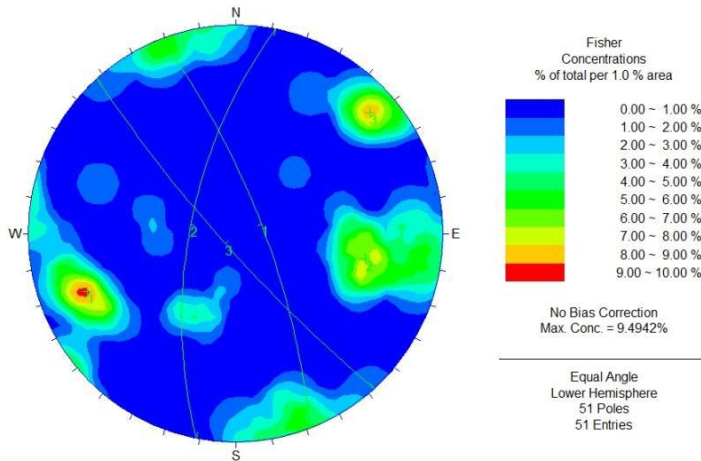
Mühendislik tasarımları için süreksizliklerin durumu çok önemlidir. Kaya kütlelerinin tanımlanması amacı ile süreksizliklerin türü, süreksizlik aralıkları, süreksizliklerin devamlılığı, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı, dolgu malzemelerinin özellikleri, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı ve bozunmanın derecesi, süreksizlik yüzeyindeki su durumu ve süreksizlik set sayısı gibi fiziksel parametrelerin belirlenmesi gereklidir (ISRM 2007).

Proje firmasının, güzergâh jeolojisi hazırlık aşamasında sahada yapmış olduğu süreksizlik değerlendirmelerinde, portal kesiminde bu kaotik kayaç topluluğunun genellikle orta-ileri derece bozunmuş, orta sağlam-sağlam, eklem yüzeyleri dalgalı-düzlemsel, kaygan-az pürüzlü, yer yer Fe-oksit yüzey paslanmalı, süreksizlik aralıkları genellikle dar, süreksizlik yönelimleri düzensiz olarak tanımlanmıştır.

Tünelin giriş portal kesiminde yapılan süreksizlik ölçümlerine ait kontur diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir. Buna göre eğim/eğim yönü olarak 62/028; 81/082; 80/110 ve 79/297 süreksizlik setleri belirlenmiştir. Çıkış portalı yüzey mostralarında yapılan süreksizlik ölçümlerinden 75/067, 65/281, 82/228 konumlu üç adet süreksizlik takımı belirlenmiştir (Şekil 4.2). Süreksizlik yüzeyleri pürüzlü ya da düzensiz dalgalı, silt / kil sıvımalı, aralıkları dar, devamlılık 1-3 m, açıklık 1-5 mm, süreksizlik yüzeyleri genellikle bozunmuştur (Yüksel Domanıç Müh. Ltd. Şti. 2012).



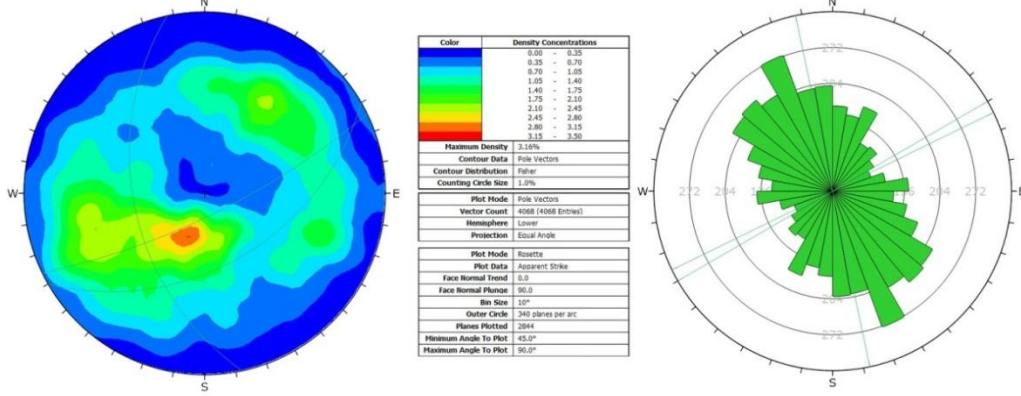
Şekil 4.1. Samanlı Tüneli Giriş Portalı Süreksizlik Kontur Diyagramı (Yüksel Domanıç Müh. Ltd. Şti. 2012)



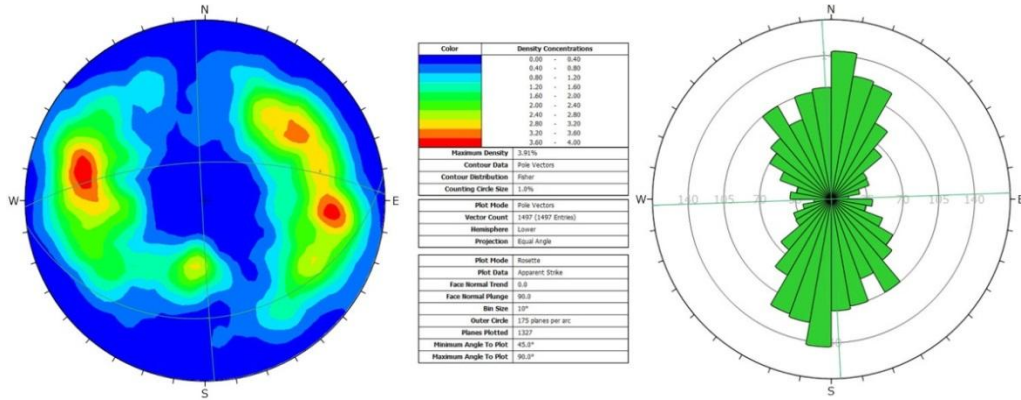
Şekil 4.2. Samanlı Tüneli Çıkış Portalı Süreksizlik Kontur Diyagramı (Yüksel Domanıç Müh. Ltd. Şti. 2012)

Samanlı Tüneli’nde mevcut olan dört (4) adet tünel kazı aynasının (GRT, GLT, CRT, CLT) jeolojik haritalandırılmasında rastlanan süreksizlikler, jeolog pusulası yardımıyla eğim / eğim yönleri belirlenerek kayıt altına alınmıştır. Kontur ve gül diyagramları, Samanlı Tüneli Üstyarı Taban Kotu Jeoloji Haritası esas alınarak hazırlanmış ve belirlenen jeolojik birimlere göre ayrılarak aşağıda verilmiştir.

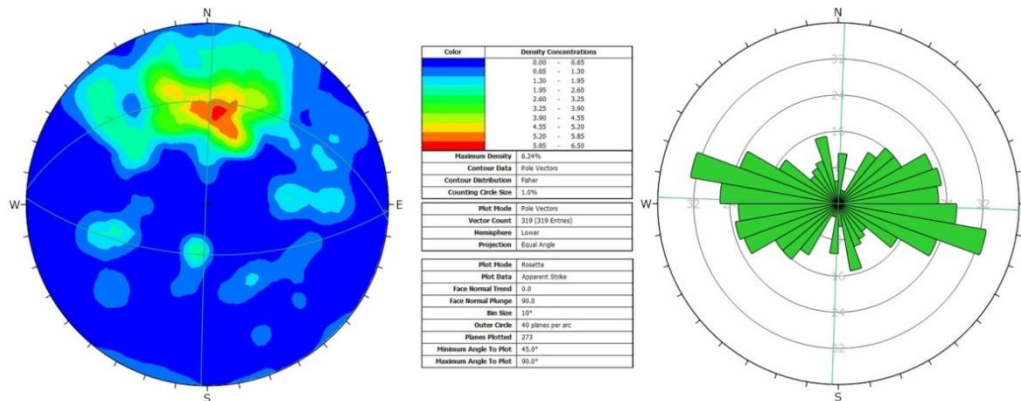
Pamukova Metamorfikleri için 6679 adet, Sarısu Formasyonu için 1816 adet ve geçiş bölgeleri için 320 adet toplam 8815 adet süreksizlik değerleri ölçülmüş ve bunlara ait eğim / doğrultu değerleri Rocscience Dips v.6.0 programında değerlendirilerek gül ve kontur diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5).



Şekil 4.3. Metakumtaşı Birimine Ait Kontur ve Gül Diyagramı

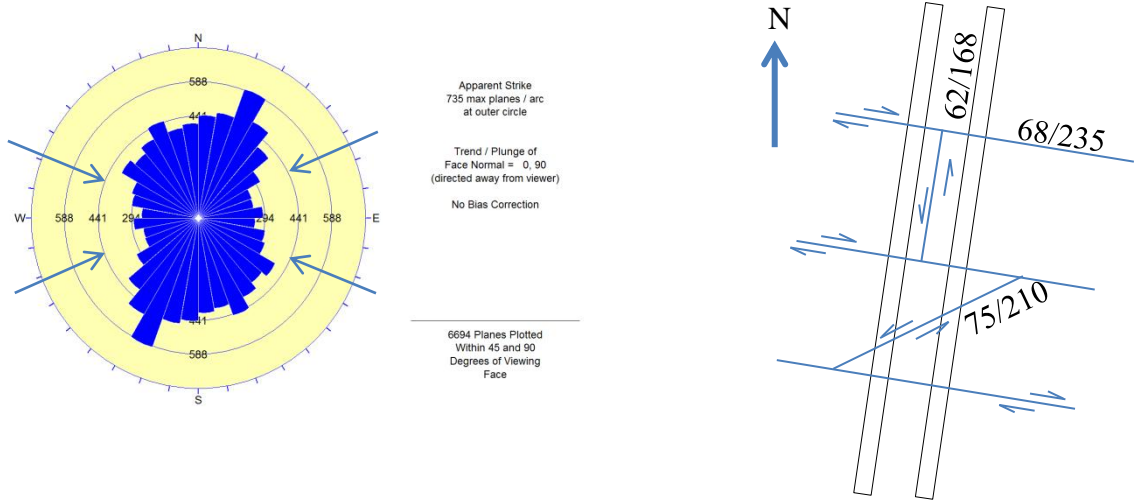


Şekil 4.4. Bazalt Birimine Ait Kontur ve Gül Diyagramı



Şekil 4.5. Dasit Birimine Ait Kontur ve Gül Diyagramı

Yapılan değerlendirmeler sonucunda Samanlı Tüneli'nin KB-GD yönünde ve KD-GB yönünde hâkim kuvvetlerin etkisinde kaldığı belirlenmiştir. Tünelde hâkim olan tektonik yapıyı 75/210, 68/235, 62/168 eğim / eğim yönü ölçümleri belirlemiştir. Faylar genel olarak oblik atımlı olup, ters fay ve normal fay olarak gözlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Samanlı Tüneli'ndeki hakim kuvvet yönü ve tektonik yapıyı gösteren çizimler

4.5. Taban Kotu Jeoloji Haritası

Ayna jeoloji kesitlerinin değerlendirilmesi ile günlük olarak taban kotu jeoloji haritası çizilmiştir. Bu tez kapsamında incelenen bölgenin taban kotu jeoloji haritası Ek-4'te sunulmuştur.

4.6. Çalışılan Bölgeye Ait RMR Verileri

Samanlı Tüneli'nde mevcut olan dört (4) adet tünel kazı aynasının (GRT, GLT, CRT, CLT) jeolojik ve jeoteknik değerlendirmeleri sırasında araştırma konusu için belirlenen kilometrelerde kayıt altına alınan Kaya Kütle Değerlendirmeleri (RMR) Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge.4.3. Çalışılan bölgeye ait RMR verileri

Sağ Tüp		Sol Tüp	
KM	RMR Değeri	KM	RMR Değeri
31+500,90	24	31+498,30	26
31+503,90	24	31+505,80	24
31+507,90	24	31+508,80	24
31+513,90	24	31+513,30	22
31+514,90	24	31+516,30	24
31+518,90	24	31+523,80	23
31+522,90	24	31+526,80	27
31+525,90	24	31+531,30	27
31+530,40	24		

4.7. NATM Sınıfları

Samanlı Tüneli'nde mevcut olan dört adet tünel kazı aynasının jeolojik ve jeoteknik değerlendirmeleri sırasında kararlaştırılan ve imalat aşamasında uygulanan kaya destek sınıfları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Kazı ve destek sistemlerinin şematik kesiti ile öngörülen ve gerçekleşen değerlere ait grafikler Ek-5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Gerçekleşen NATM Kaya Sınıflamaları Tablosu

KAZI ve DESTEK SİSTEMİ	SAĞ TÜP		SOL TÜP	
	Uzunluk (m)	%	Uzunluk (m)	%
C2	562,90	16,47	440,09	13,10
B3	2.042,60	59,77	2.047,88	60,94
B2	270,30	7,91	310,50	9,24
B1	507,25	14,84	559,27	16,64
A2	34,50	1,01	2,50	0,07
TOPLAM	3.417,55	100,00	3.360,24	100,00

4.8. Araştırma Delgisi Logları

Giriş sağ tüp Km: 31+493,90 – 31+536,90'da yapılan araştırma delgilerinde, açık griden koyu griye değişen ve yer yer kırmızı renkli sondaj suyu gelişi ile ince – orta kırıntılı sedimanlar gözlenmiştir. Delgi hızları 0,7m/dk ve 2,0m/dk arasında gerçekleşmiştir. Giriş sol tüp Km: 31+474,30 – 31+544,30'daki araştırma delgilerinde ise, gri, bej ve kahverengi sondaj suyu gelişi ile inceden kabaya değişen sediman kırıntıları gözlenmiştir. Delgi hızları 0,5m/dk ile 2,6m/dk arasında değişmektedir. Araştırma delgileri log kayıt tablosu Çizelge 5.5'te, detayları içeren araştırma delgisi formları ise Ek-6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Çalışılan bölgeye ait araştırma delgisi log kayıt tablosu

Tünel Adı	Giriş Sağ Tüp	Tünel Adı	Giriş Sol Tüp
Lokasyon	Üstyarı	Lokasyon	Üstyarı
Delgi No	GRT – 41	Delgi No	GLT – 33
Delgi Çapı	51mm	Delgi Çapı	51mm
Delgi Uzunluğu	20,50m	Delgi Uzunluğu	30,00m
Başlangıç Km	31+493,90	Başlangıç Km	31+474,30
Bitiş Km	31+514,40	Bitiş Km	31+504,30
Delgi Tarihi	17.04.2013	Delgi Tarihi	21.06.2013
Delgi No	GRT – 42	Delgi No	GLT – 34
Delgi Çapı	51mm	Delgi Çapı	51mm
Delgi Uzunluğu	18,50m	Delgi Uzunluğu	30,00m
Başlangıç Km	31+507,90	Başlangıç Km	31+498,30
Bitiş Km	31+526,40	Bitiş Km	31+528,30
Delgi Tarihi	04.05.2013	Delgi Tarihi	29.06.2013
Delgi No	GRT – 43	Delgi No	GLT – 35
Delgi Çapı	51mm	Delgi Çapı	51mm
Delgi Uzunluğu	20,00m	Delgi Uzunluğu	28,00m
Başlangıç Km	31+516,90	Başlangıç Km	31+516,30
Bitiş Km	31+536,40	Bitiş Km	31+544,30
Delgi Tarihi	09.05.2013	Delgi Tarihi	04.07.2013

4.9. Yeraltı Suyu Durumu

Samanlı Tüneli yapım aşamalarında taban kotunda rastlanan ve kayıt altına alınan Yeraltı suyu durumunun kayıtları tutulmuş ve bu kayıtlara göre tünel şematik kesiti çizilmiştir (Şekil 4.7). Sayısal analiz yapılacak bölge olan 31+500 – 31+530 km aralığında kazı sırasında “Nemli (<10lt)” su durumu gözlenmiştir, püskürtme beton sonrası su durumu kuru olarak tespit edilmiştir. Tünelin tamamına ait kazı sonrası su durumu Çizelge 4.6’da verilmiştir.

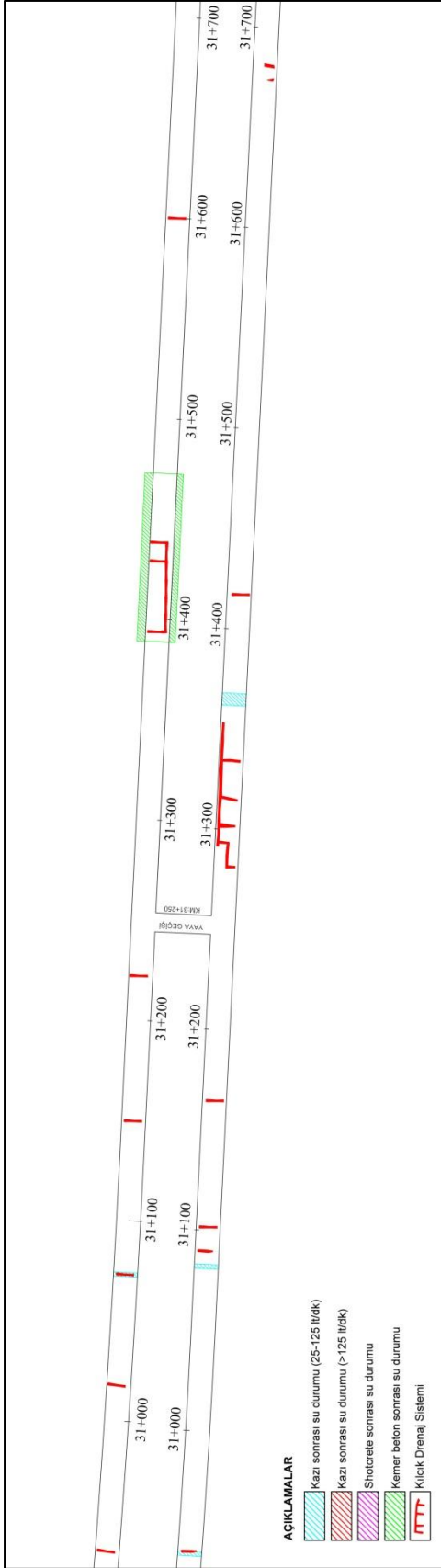
Çizelge 4.6. Samanlı Tüneli kazı sonrası su durumunu gösteren tablo

SAĞ TÜP				SOL TÜP			
DAMLAMA (25-125 lt)		SU AKIŞI (>125lt)		DAMLAMA (25-125 lt)		SU AKIŞI (>125lt)	
Baş.km.	Bit.km.	Baş.km.	Bit.km.	Baş.km.	Bit.km.	Baş.km.	Bit.km.
30+851,80		32+413,40		30+881,30	30+882,80	32+735,07	32+753,07
30+865,80	30+886,90	32+454,90	32+473,90	30+889,55	30+897,05	33+099,97	33+105,87
30+888,80	30+897,80	32+488,90	32+497,40	31+072,80	31+073,80		
30+910,80	30+938,80	32+531,40	32+544,40	32+491,07	32+497,07		
31+082,10		32+766,90		32+779,07			
31+362,80	31+366,80	32+769,40	32+789,32	33+111,77			
32+406,03		32+816,40	32+842,40	33+677,17			
32+512,40		32+871,90	32+885,90	33+690,17	33+692,42		
32+858,40		32+932,90	32+948,30	33+771,42	33+776,42		
33+042,10		32+958,27	33+028,10	34+030,92			
33+062,10		33+079,60	33+111,00	34+066,10	34+072,40		
33+074,10	33+079,60	33+655,75	33+657,75				
33+215,40	33+235,65	33+762,75	33+771,55				
33+275,65							
33+283,15	33+296,40						
33+341,20	33+353,20						
33+468,85	33+480,75						
33+608,50	33+650,75						
33+659,75	33+667,75						
33+878,60							
33+902,60							

4.10. Deformasyonlar

Samanlı Tüneli’nde optik olarak ölçümleri yapılan deformasyonların değerleri günlük olarak takip edilmiştir. Takip edilen deplasman miktarları, Amberg Tunnel 2.0 yazılımı ile üç boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Destekleme sonrası oluşan yer değiştirme miktarları ile projede ön görülen yer değiştirme tolerans miktarları da imalat sırasında değerlendirilerek, kazı ve destekleme sistemlerinin doğruluğu kontrol edilmiştir.

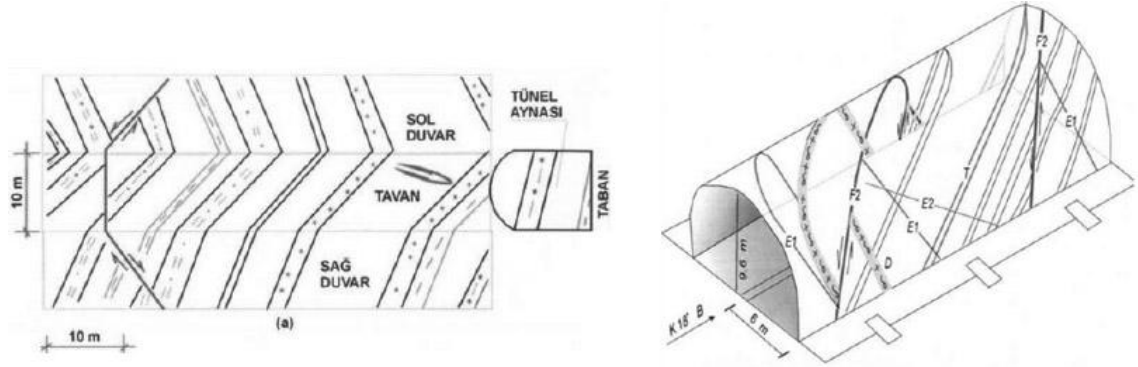
Tez kapsamında ölçülen deformasyonlara ait yatay ve düşey deplasman miktarlarının ve vektörel diyagramlarının grafikleri Ek-7’de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Yeraltı suyu etkisini gösteren şematik kesit (Km: 31+000-31+700)

4.11. Tünel Perimetri (Açılım) Haritası

Perimetri haritası, tünel iç yüzeyinin jeoloji haritasıdır (Şekil 4.8). Bu çizim yönteminde, ayakların tünelin omuz hizasından yukarıya doğru açıldığı düşünülür. Oluşan yüzeye, süreksizliğin doğrultusu ve doğrultunun tünel eksenine göre yaptığı açıya göre değişen görünür eğim değeri hesaplanarak işlenir (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006).



Şekil 4.8. Tünel jeolojik açılım haritası hazırlanışına örnek çizimler (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006)

Samanlı Tüneli'nde hazırlanan jeolojik açılım haritasında jeolojik plan, jeolojik boy kesit, araştırma delgisi, stratigrafik birimler ve jeolojik tanımlamaları, RMR verileri, kayaç dayanımı, süreksizlik durumları, gül ve kontur diyagramları, yeraltı suyu durumu, gerçekleşme durumunda aşırı sökülme yeri ve miktarı, yatay ve düşey deformasyon grafikleri, NATM destek tipi ve tünel destekleme elemanları verileri bulunmaktadır.

Çalışılan bölgeye ait tünel haritasının uygulama paftaları Ek-8'de sunulmuştur.

4.12. Samanlı Tüneli KM: 31+500 – 31+530 arası Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri

Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), Hoek – Brown kaya sabiti değeri ve örselenmemiş kaya kütlesi için tek eksenli sıkışma dayanımı Hoek – Brown yenilme ölçütünün üç temel özelliğidir. Kaya kütlelerinin parametreleri ve GSI arazide karşılaşılan görsel jeolojik incelemelere göre belirlenmektedir.

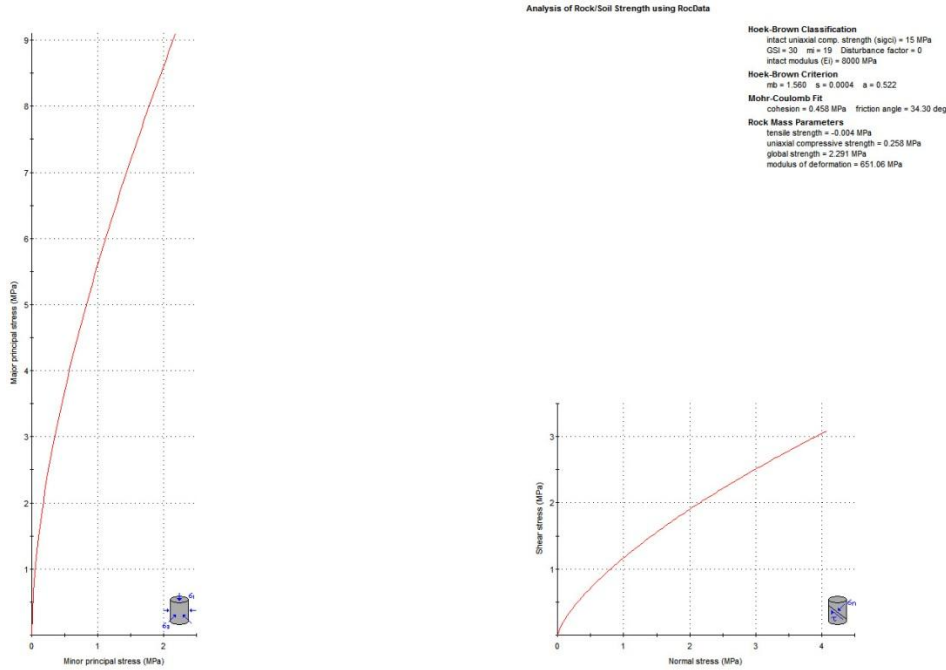
Bu tez çalışmasında Hoek – Brown yenilme ölçütü, Samanlı Tüneli sağ tüp ve sol tüpte karşılaşılan jeoteknik birimlerin kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır. Bu birimlere ait GSI değerleri “RocLab” programında bulunan, Hoek (1999a) tarafından önerilmiş abak yardımıyla belirlenmiş, bu değerler kullanılarak en büyük ve en küçük asal gerilmelerin (σ_1 - σ_3) grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.9).

Sayısal analizlerde kullanılan birim hacim ağırlığı, poisson oranı, deformasyon modülü (Young modülü), hacimsel genişleme açısı, tek eksenli basınç dayanımı gibi

parametrelerin değerleri hem kesin proje raporundaki sondaj karot numunelerinden yararlanılarak elde edilmiş, hem de laboratuvar ortamında yapılan testler sonucu belirlenmiştir. Hoek tarafından geliştirilen ve istatistiki – ampirik bağıntıları kullanan RocLab programı ihtiyaç duyulan parametrelerin belirlenmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. GSI, m_i (kaya malzemesi sabiti), D (örselenme faktörü), MR (modül oranı), E_i (İntakt kayanın Young modülü), kohezyon değeri, içsel sürtünme açısı, tansiyon gerilmesi, asal gerilmeler gibi parametrelerin değerleri Hoek tarafından hazırlanan abaklardan ve programın oluşturduğu grafiklerden elde edilmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan kaya kütle parametreleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Sayısal analizlerde kullanılan kaya kütle parametreleri

Malzeme Türü	31+500 – 31+530 arasındaki jeoteknik birim
c (MPa)	0,457602
σ_{ci} (MPa)	15
E_i (MPa)	8000
E_m (MPa)	2250
MR	200
ϕ	34,3008°
γ (MN/m ³)	0,027
m_i	19
m_b	1,55961
s	0,0004
a	0,522
D (örselenme faktörü)	0
GSI	30
Ψ_d	0°
ν	0,3



Şekil 4.9. Sayısal analizde kullanılan jeoteknik birime ait özelliklerin asal gerilme grafikleri

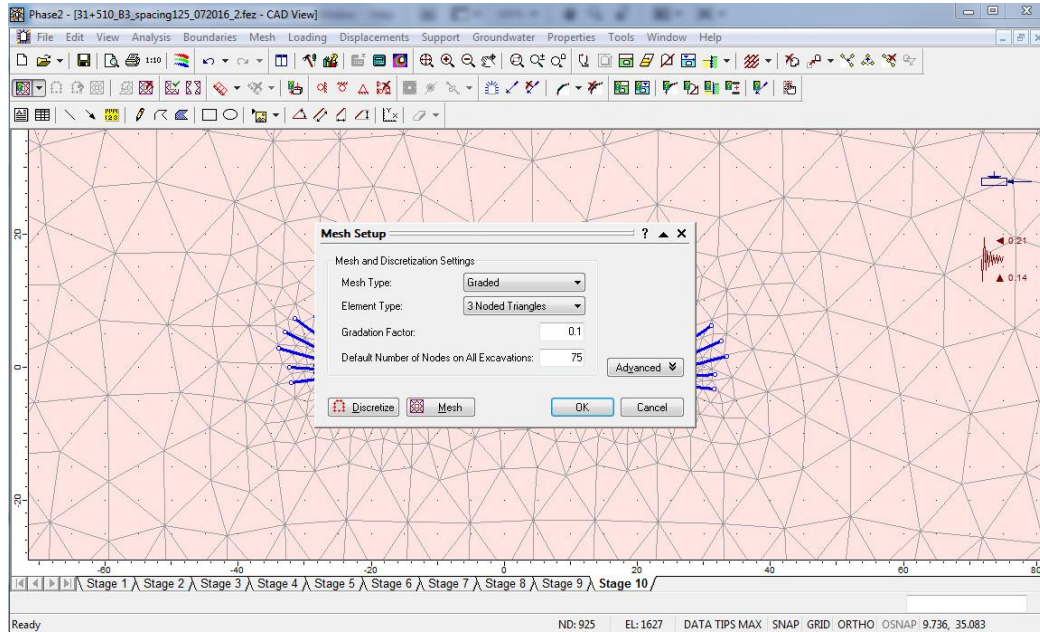
4.13. Sayısal Modelleme Aşamaları

Bu bölümde, jeolojik birimlere ait jeoteknik parametreler kullanılarak, tünel kazısı esnasında oluşan ikincil gerilmelerin dağılımları, kazı çevresindeki deformasyonlar ve kaya kütleleri ile örtüşen uygun destek sistemleri sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada, Rocscience (2008) tarafından geliştirilen “Phase² v7.0” (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla, belirlenen bölgedeki gerilme – deformasyon analizleri ile destek sistemleri uygulanarak plastik yenilmeler araştırılmıştır. Tüneldeki sayısal analiz modelini oluşturmak için izlenen adımlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

4.13.1. Ana yapılandırma ayarları ve düğüm noktalarının (kafes) oluşturulması

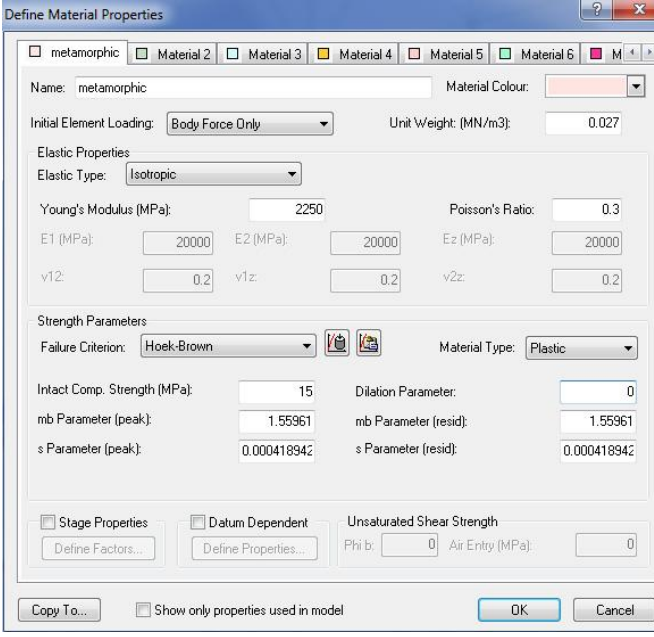
Tünelin sayısal modellemesi için öncelikle sınırlar belirlenir ve AutoCAD programı yardımıyla çizilen tünel tip kesiti Phase² v7.0 programına eklenir. Tünel için belirlenmiş olan imalat aşamaları (stages) programın proje ayarlarında düzenlenir. Daha sonra düğüm noktalarını oluşturmak için (mesh) gereken ayarlar yapılır. Kafes (örgü) türü, eleman türü, derece faktörü vb. parametreler Şekil 4.10’da verilmiştir. Dereceli kafes türü, kazı sınırları kullanılan yeraltı kazıları için geçerlidir.



Şekil 4.10. Modelleme yapılandırma ayarları (kafes türü, eleman türü vb.)

4.13.2. Kaya kütlelerinin tanımlanması

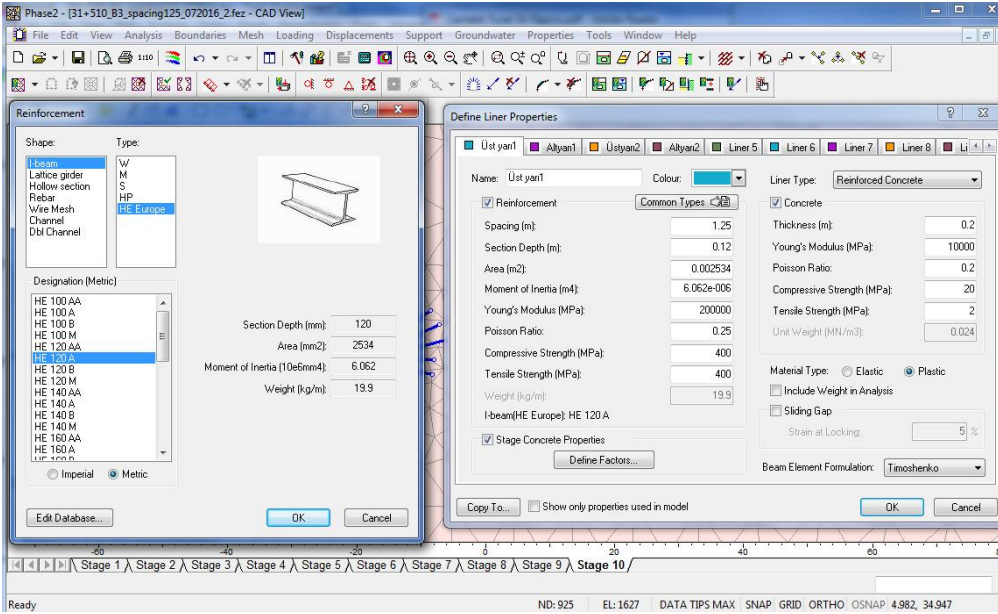
Yapılandırma ayarlarından sonra tünelin bulunduğu bölgedeki kaya kütle özellikleri tanımlanır. Bölüm 4.12’de verilen kaya kütlelerinin dayanım özellikleri, programdaki materyal özellikleri tanımlama bölümüne işlenir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kaya kütle özelliklerinin tanımlanması

4.13.3. Destekleme elemanlarının tanımlanması

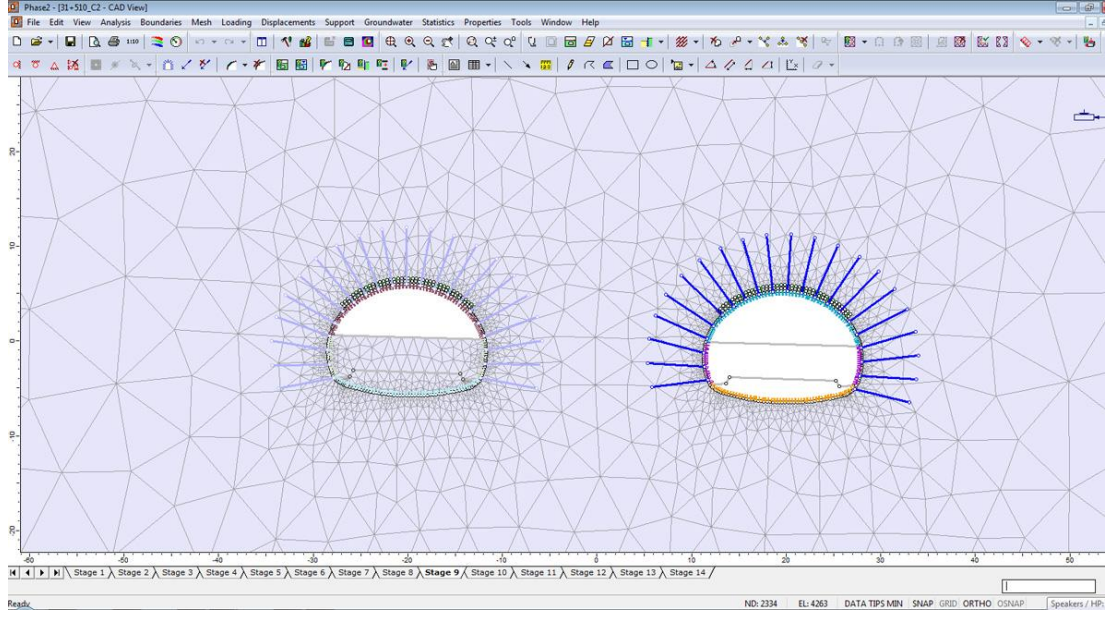
Tünelin desteklemesinde kullanılacak olan iksa, püskürtme beton ve bulon gibi elemanların özellikleri programa tanımlanır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Tünel destekleme elemanlarının tanımlanması

4.13.4. Yapım aşamalarının tanımlanması

Kazı destek sınıfına göre belirlenen yapım aşamaları (üstyarı, altyarı, invert) ve bu aşamalarda kullanılacak olan destekleme elemanları programa tanımlanır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Yapım aşamalarının ve desteklemelerin tanımlanması

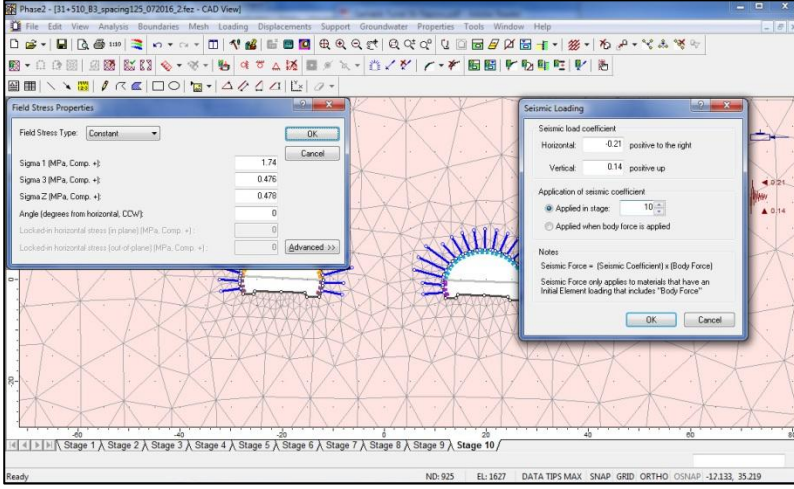
4.13.5. Gerilme ve sismik yüklerin tanımlanması

Tünel zemin etkileşimi göz önüne alınarak tünel eksen yönündeki sismik etkilerin belirlenmesine yönelik hesaplamaların sonucunda maksimum aksiyel deformasyon ve bu deformasyona karşı gelen maksimum gerilme belirlenir. Tam bir elastik çalışma kabulü altında aksiyel kuvvet ve eğilme momentlerinden dolayı, çelik iksa göz ardı edilse bile, püskürtme betonunda doğacak ilave gerilmeler hesaplanır.

Statik eşdeğer yükleme sisteminin tünellere uygulanabilirliğinin sağlam teorik bir temele dayanmakta olduğunu savunmak, açık kazı şevlerinde göre daha da zordur. Tüneller için uygulanacak eşdeğer statik yüklemenin açık kazılardakinden fazla olması için bir neden bulunmadığı da ortadadır. Buna göre Karayolları Teknik Şartnamesi (2006) esas alındığında uygulanması gereken statik eşdeğer yük katsayısı 0,20'dir. Ancak tünel destek sistemi üzerinde düşey yüklerin etkisi daha belirgin olup bu katsayı düşey yönde de etki ettirilmelidir. Benimsenen bu yaklaşım ve gerekçelere karşın portal bölgesindeki örtü kalınlığının az olması ve bu tünel kesiminin daha nazik durumu nedeniyle sonuçları aşağıda açıklanmakta olan modelde yatay ve düşey yük katsayısı 0,30'dur. Bunun açık kazı şevleri için Hyness-Griffin ve Franklin (1984) tarafından ön görülen en ağır koşula karşı gelen deprem yüklemesinden bile fazla olduğu bilinmektedir. Buna göre deprem analizinde kullanılmış olan yatay ve düşey statik yük katsayıları, Phase² işaret sistemine uygun olarak, $k_x = -0.30$ ve $k_y = -0.30$ olacaktır.

Ancak artan kazı derinliği ile birlikte sismik yük katsayılarının da gözden geçirilmesi gerekmektedir. Hashash vd (2001) tarafından 30 metreden fazla derinliklerde ivmelerin %30 oranında azaltılması önerilmektedir. Aynı oran Singh ve Goel (2006) tarafından %50 olarak verilmektedir. Ayrıca düşey ivmelerin ortalama yatay ivmelerin 2/3'ü kadar alınması alışılmış uygulamalardandır. Bu düşüncelerle bu modeldeki kazı derinliği (kazı tavanından 40-60 m) göz önüne alınarak $k_h = -0.21$ ve $k_v = -0.14$ katsayılarını kullanmak koşulu ile sismik yükleme için analiz yapılmaktadır.

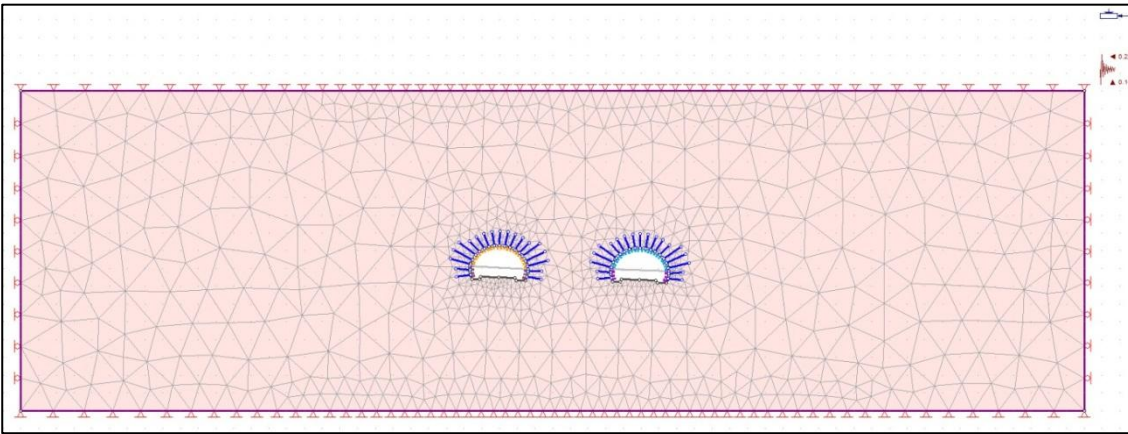
Tünelde etkimesi öngörülen gerilme ve sismik yükler programa tanımlanır (Şekil 4.14).



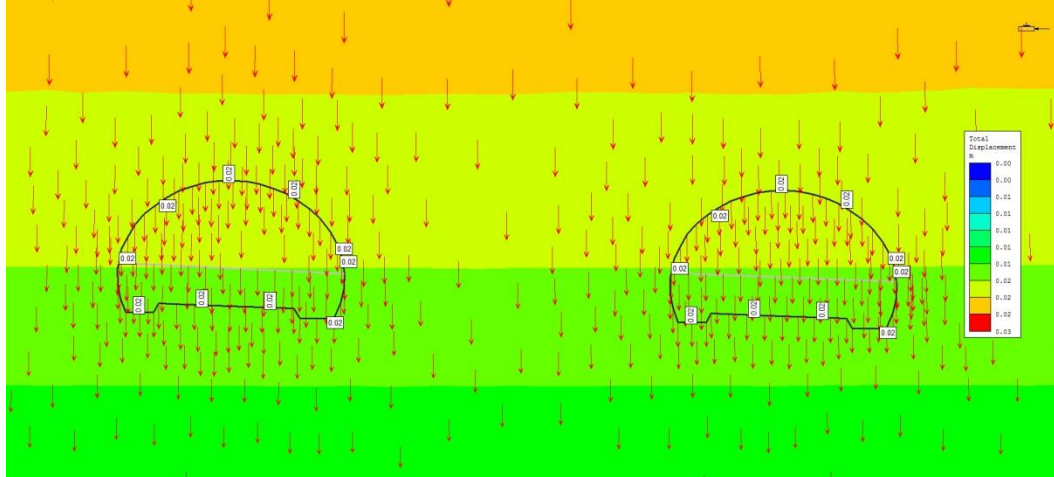
Şekil 4.14. Gerilme ve sismik yüklerin tanımlanması

4.14. KM: 31+500 – 31+530 arası gerilme – deformasyon analizleri (B3 destek sınıfı)

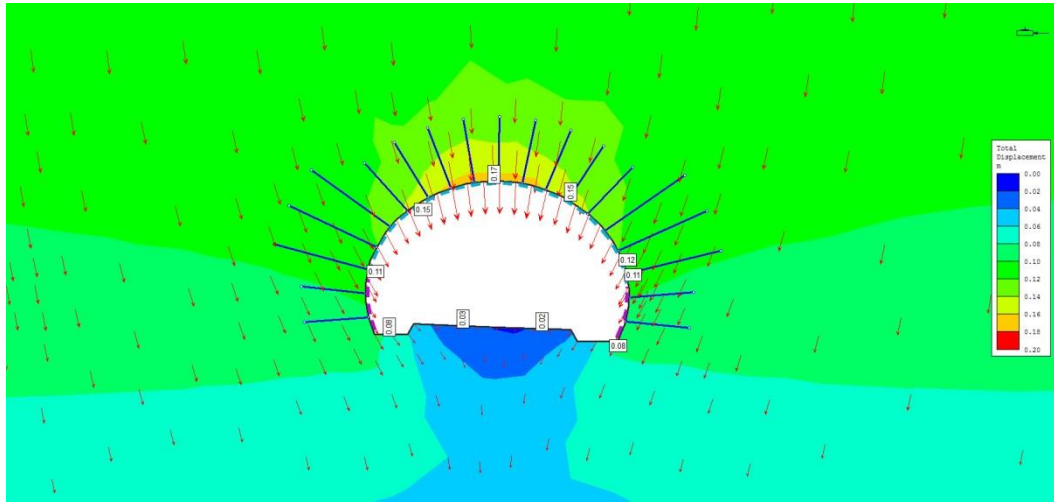
Çalışılan bölgeye ait gerilme – deformasyon analizlerinde her iki tüpte de B3 destek sisteminin kullanıldığı sayısal modellemeye ait tasarım Şekil 4.15’de verilmiştir. Yapılan sayısal analiz sonucunda; iki tüpün kazı ve destekleme yapılmadan önceki durumlarına ait toplam yer değiştirme miktarları Şekil 4.16’da verilmiştir. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme miktarı, en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ile sağ ve sol tüpün kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme miktarı, en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilmeleri sırasıyla Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’de verilmiştir.



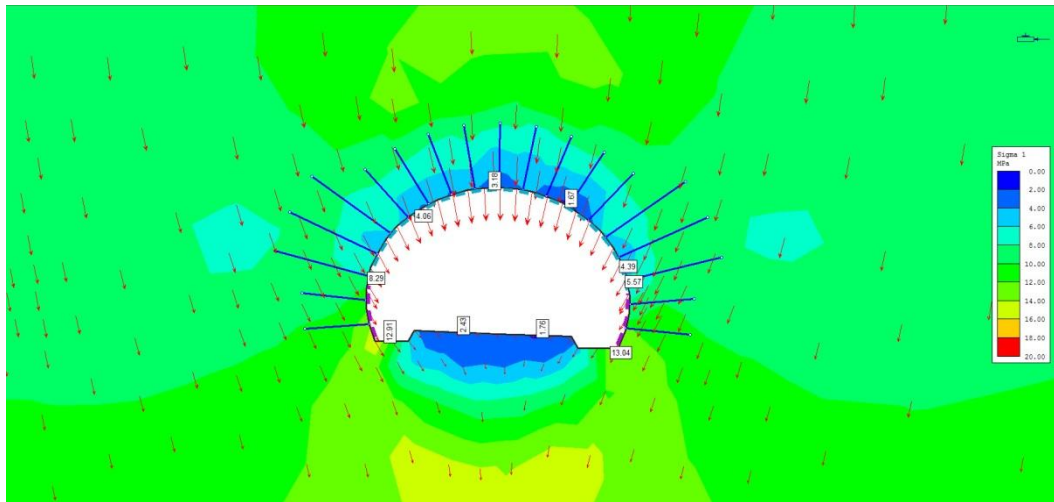
Şekil 4.15. Tasarım aşamasındaki tünellerin konumu (B3 destek sistemi)



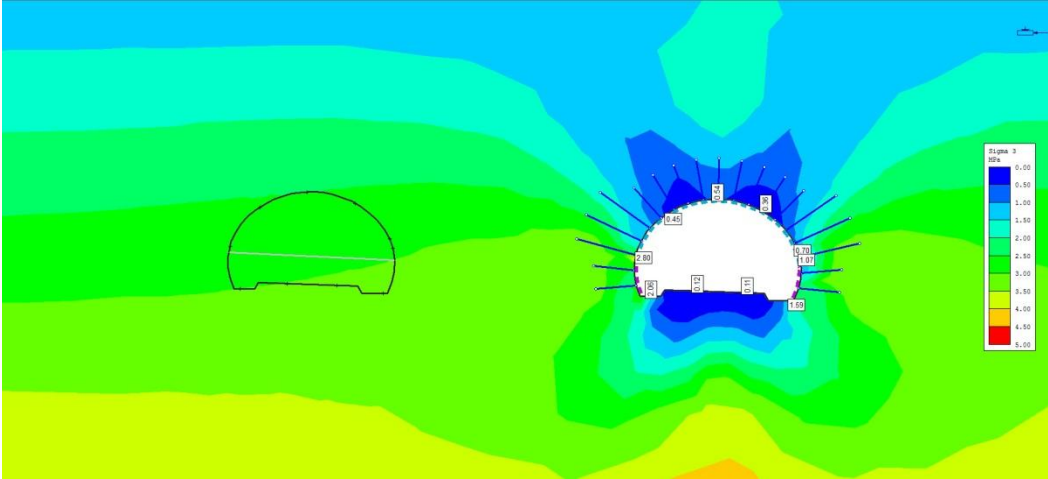
Şekil 4.16. Kazı ve destekleme öncesi toplam yer değiştirme (B3)



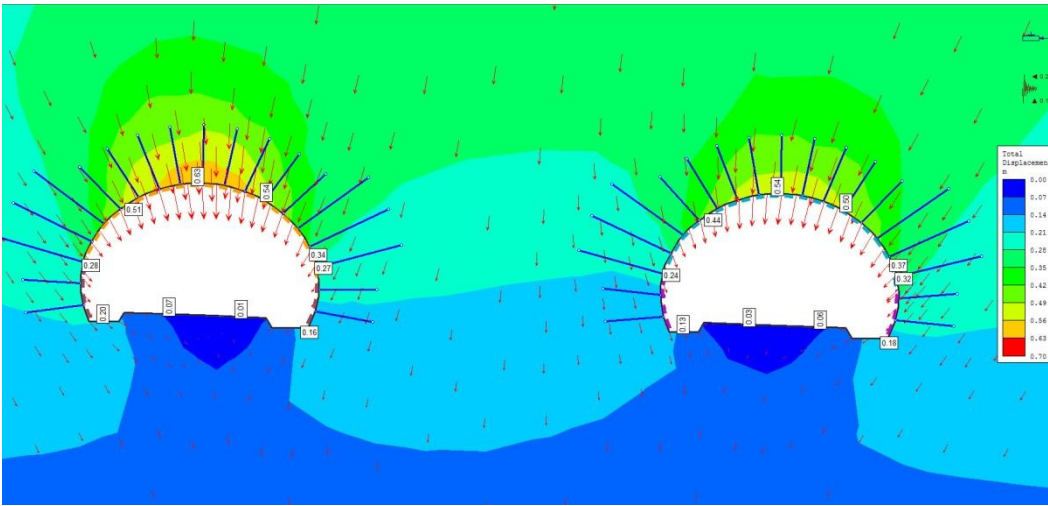
Şekil 4.17. Sağ tp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (B3)



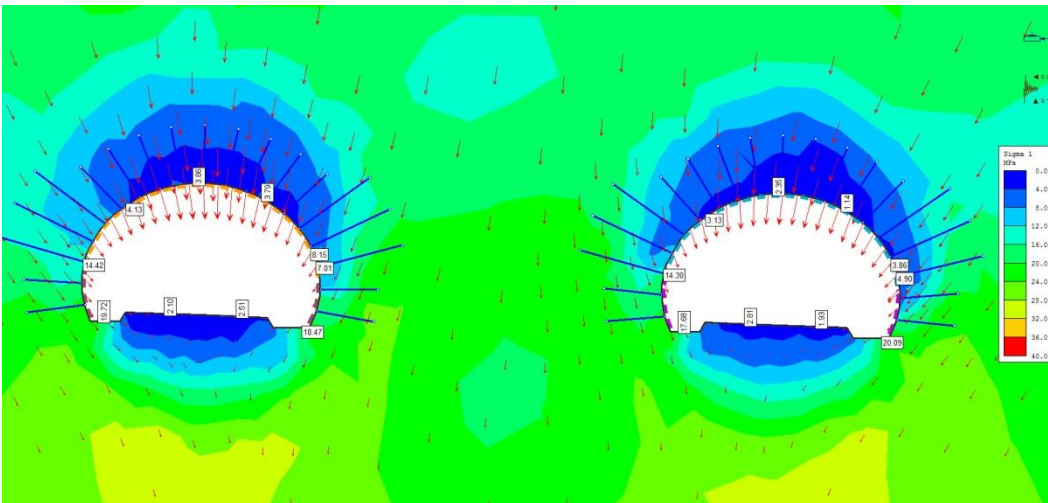
Şekil 4.18. Sağ tp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (B3)



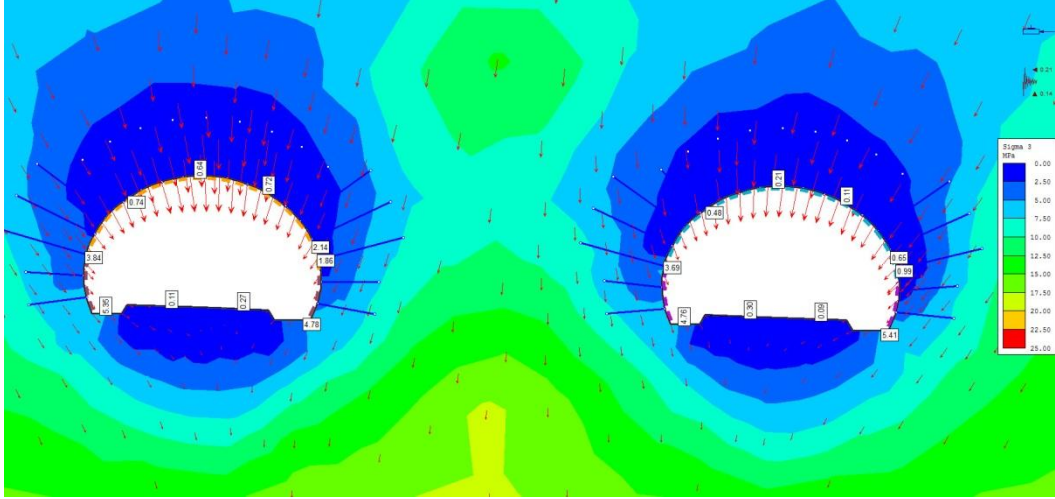
Şekil 4.19. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (B3)



Şekil 4.20. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (B3)



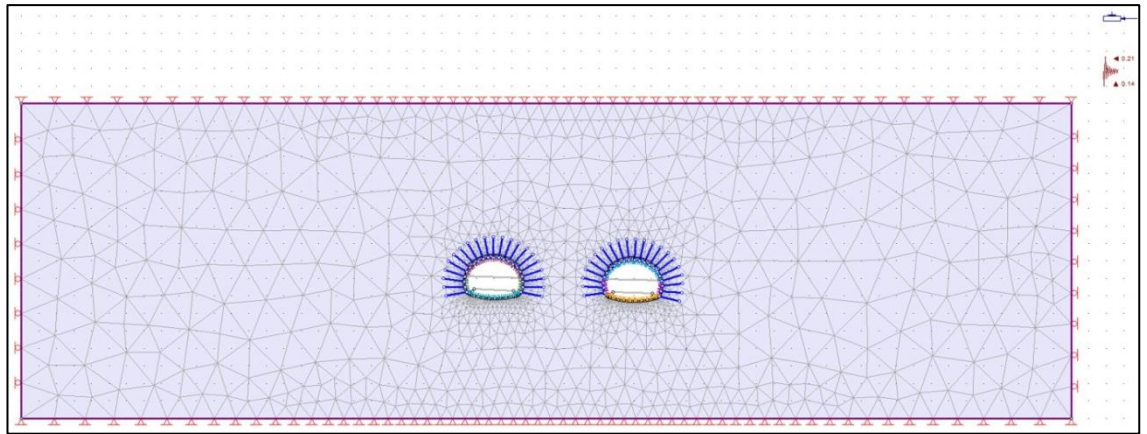
Şekil 4.21. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (B3)



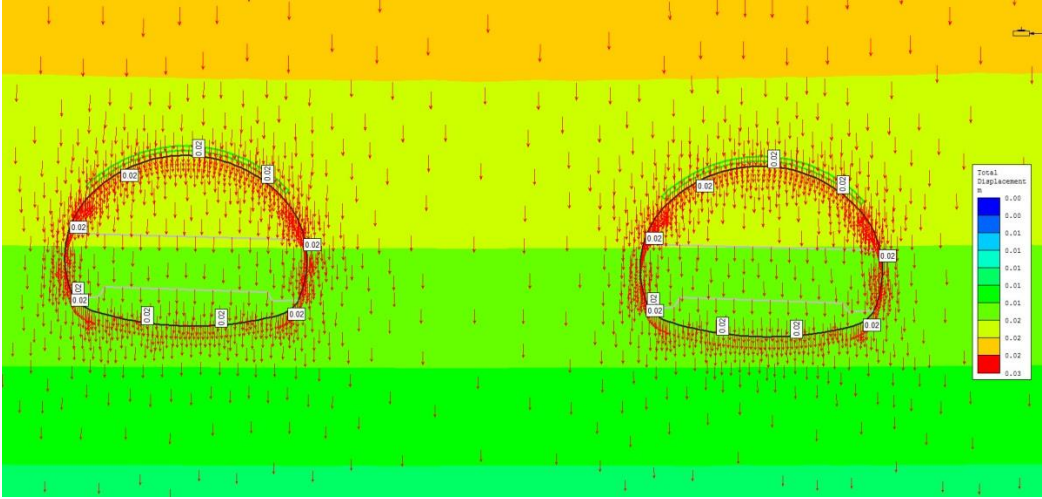
Şekil 4.22. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (B3)

4.15. KM: 31+500 – 31+530 arası Gerilme – Deformasyon Analizleri (C2 Destek Sınıfı)

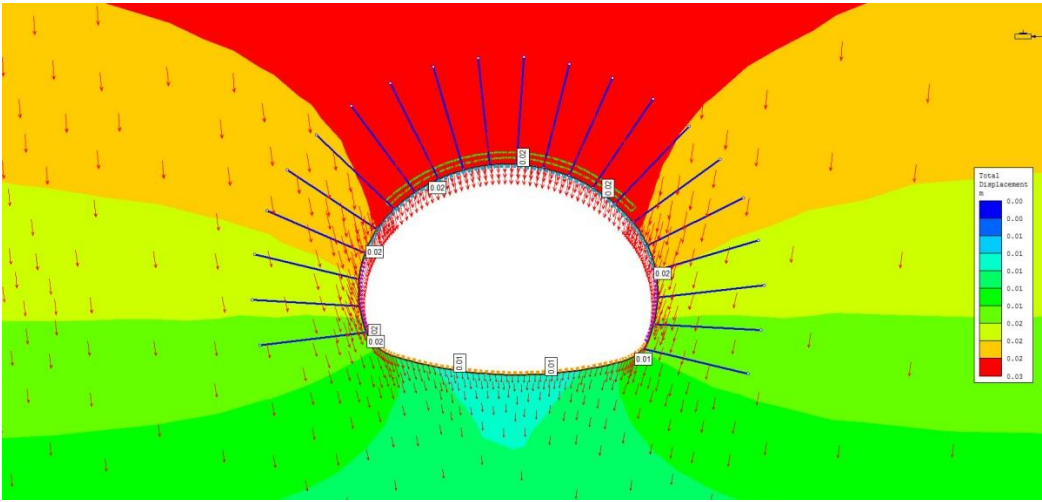
Çalışılan bölgeye ait gerilme – deformasyon analizlerinde her iki tüpte de C2 destek sisteminin kullanıldığı sayısal modellemeye ait tasarım Şekil 4.23’te verilmiştir. Yapılan sayısal analiz sonucunda; iki tüpün kazı ve destekleme yapılmadan önceki durumlarına ait toplam yer değiştirme miktarları Şekil 4.24’te verilmiştir. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme miktarı, en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ile sağ ve sol tüpün kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme miktarı, en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilmeleri sırasıyla Şekil 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30’da verilmiştir.



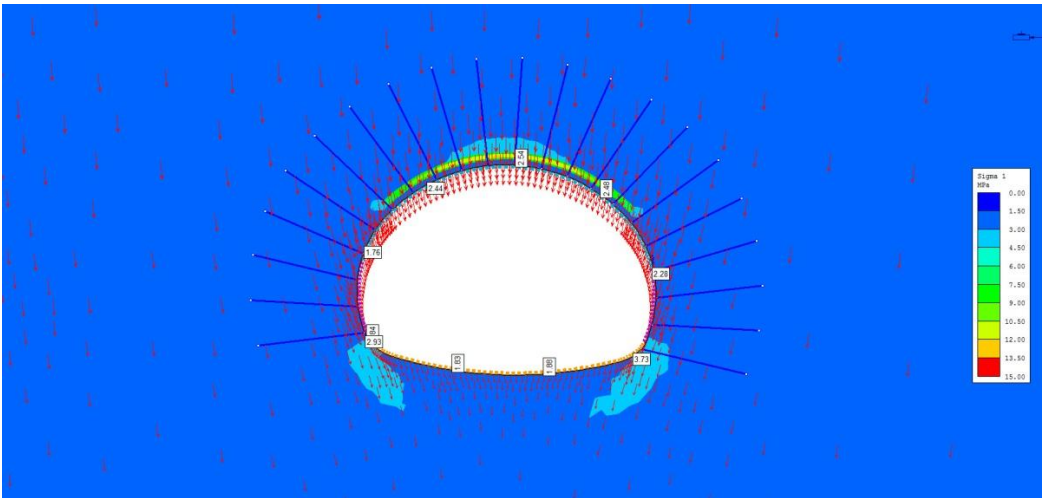
Şekil 4.23. Tasarım aşamasındaki tünellerin konumu (C2 destek sistemi)



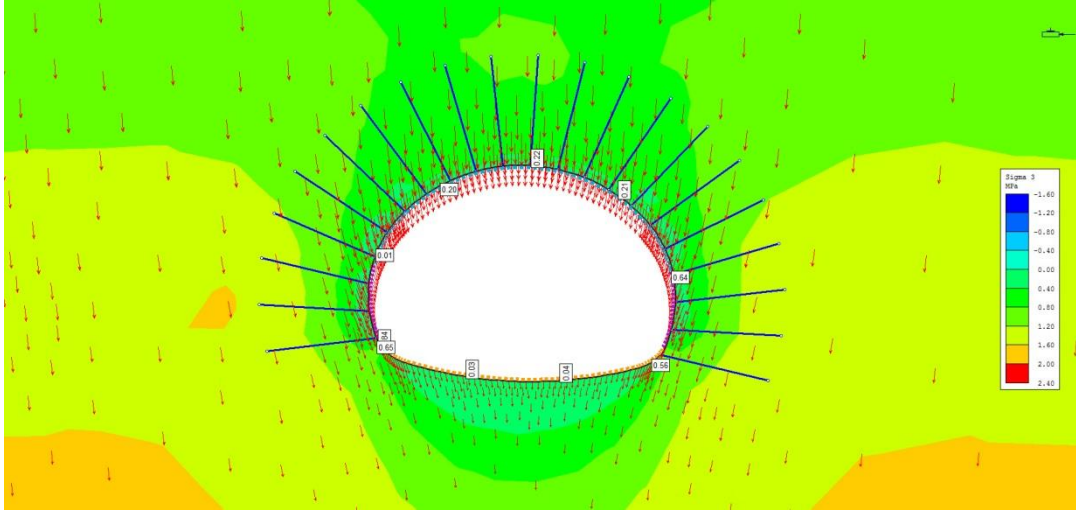
Şekil 4.24. Kazı ve destekleme öncesi toplam yer değiştirme (C2)



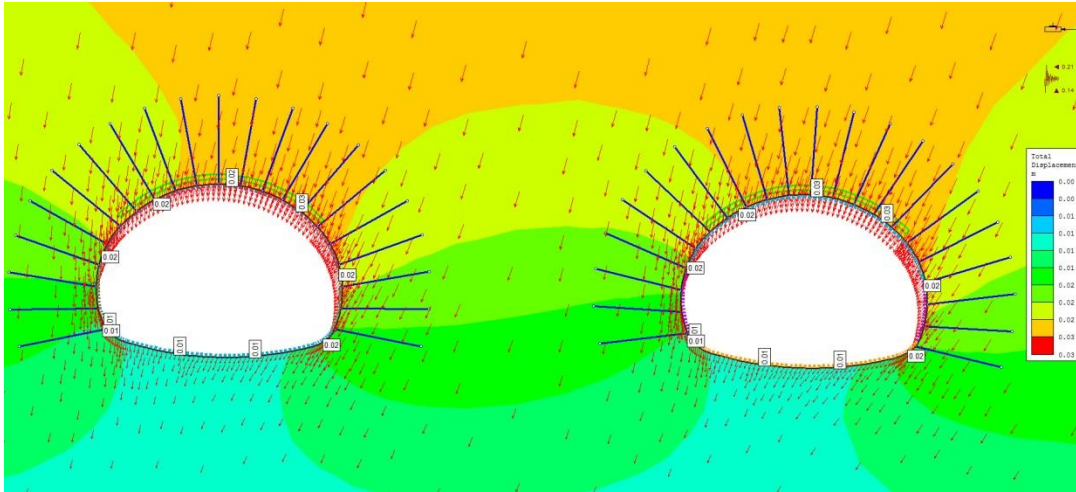
Şekil 4.25. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2)



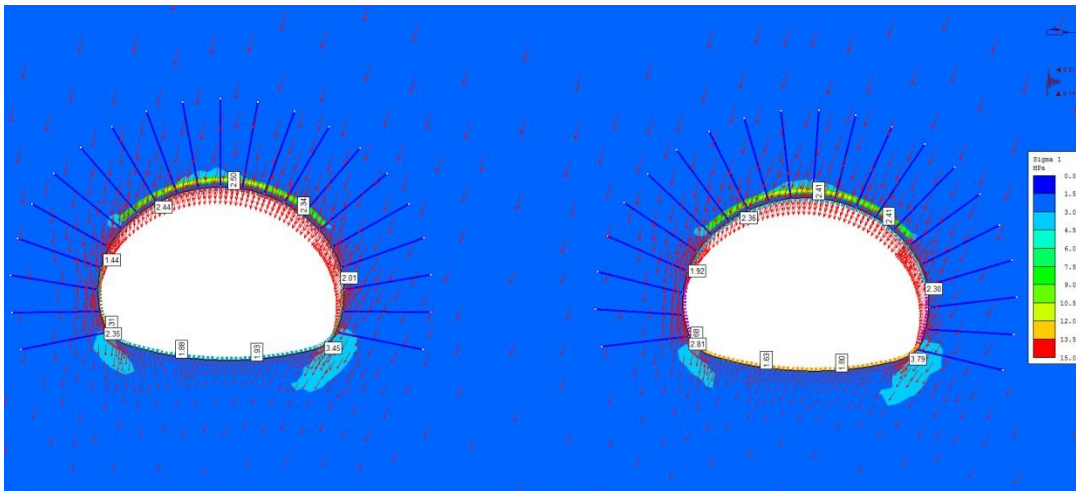
Şekil 4.26. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2)



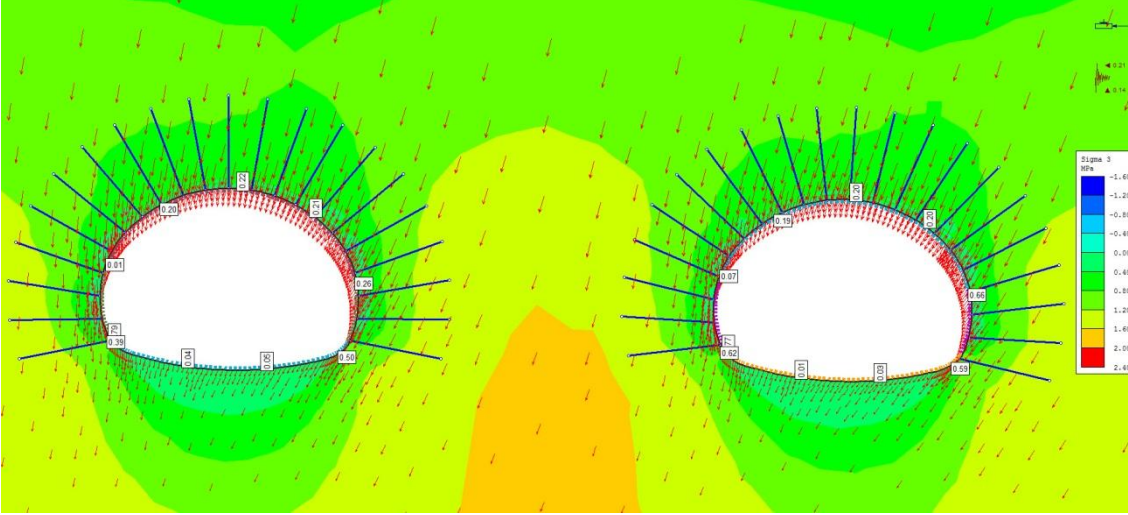
Şekil 4.27. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2)



Şekil 4.28. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2)



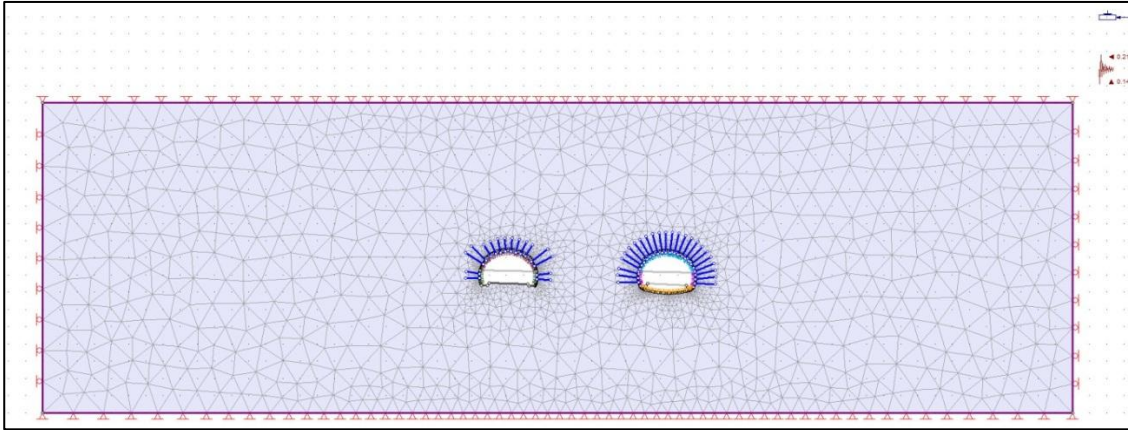
Şekil 4.29. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2)



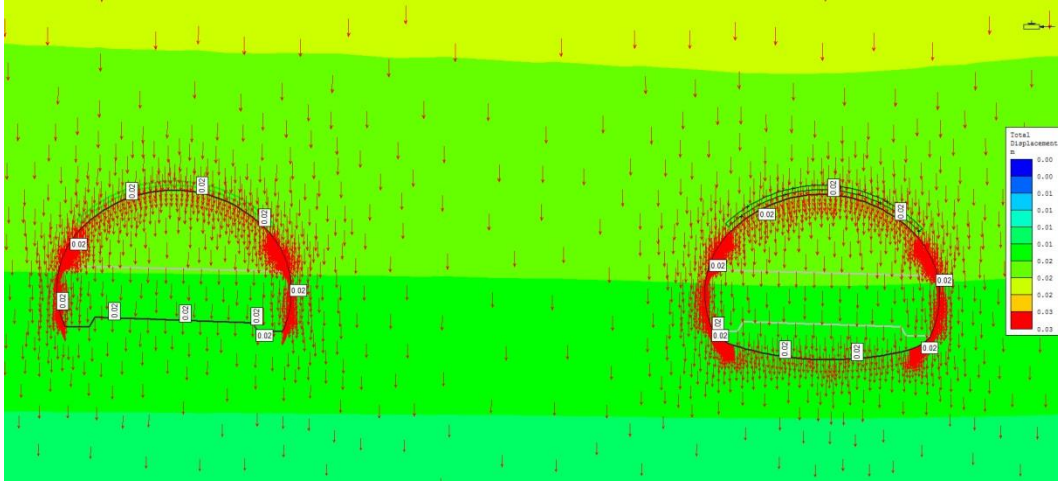
Şekil 4.30. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2)

4.16. KM: 31+500 – 31+530 arası Gerilme – Deformasyon Analizleri (C2 – B3 Destek Sınıfı)

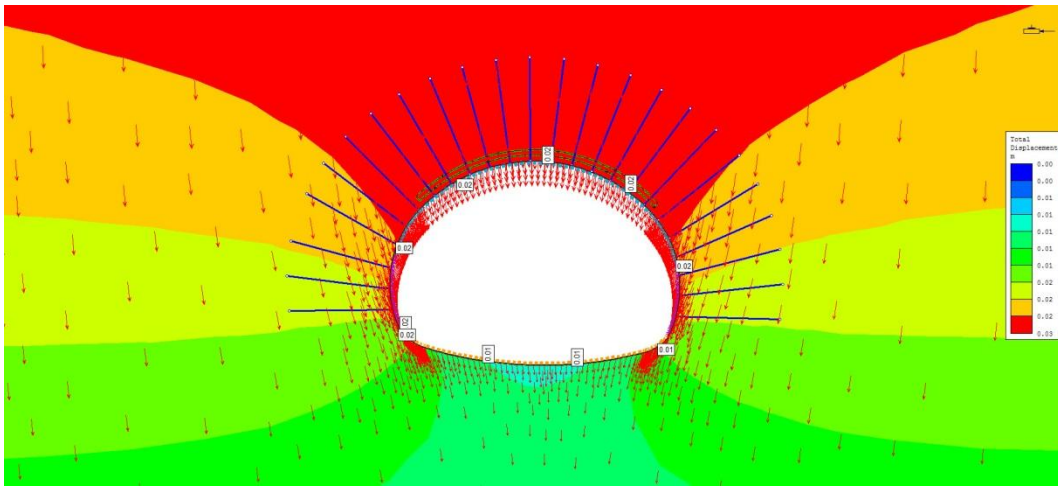
Çalışılan bölgeye ait gerilme – deformasyon analizlerinde imalat aşamasında önde giden sağ tüpte C2, geriden gelen sol tüpte ise B3 destek sisteminin kullanıldığı sayısal modellemeye ait tasarım Şekil 4.31’de verilmiştir. Yapılan sayısal analiz sonucunda; iki tüpün kazı ve destekleme yapılmadan önceki durumlarına ait toplam yer değiştirme miktarları Şekil 4.32’de verilmiştir. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme miktarı, en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ile sağ ve sol tüpün kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme miktarı, en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilmeleri sırasıyla Şekil 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37 ve 4.38’de verilmiştir.



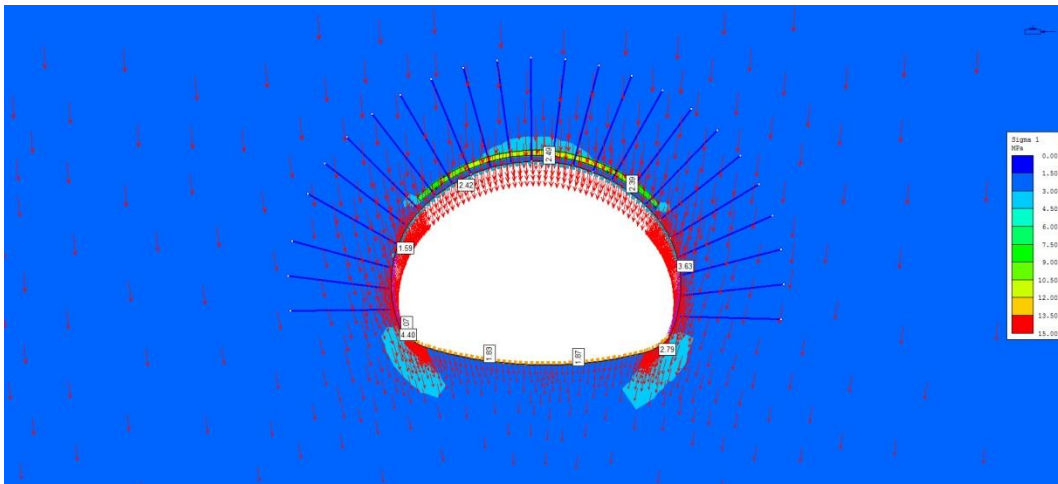
Şekil 4.31. Tasarım aşamasındaki tünellerin konumu (C2 – B3 destek sistemi)



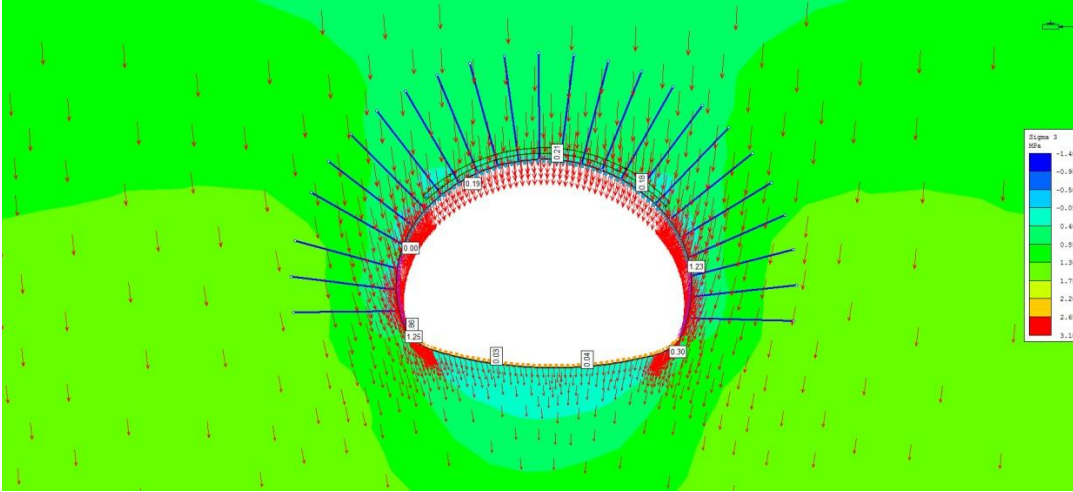
Şekil 4.32. Kazı ve destekleme öncesi toplam yer değiştirme (C2-B3)



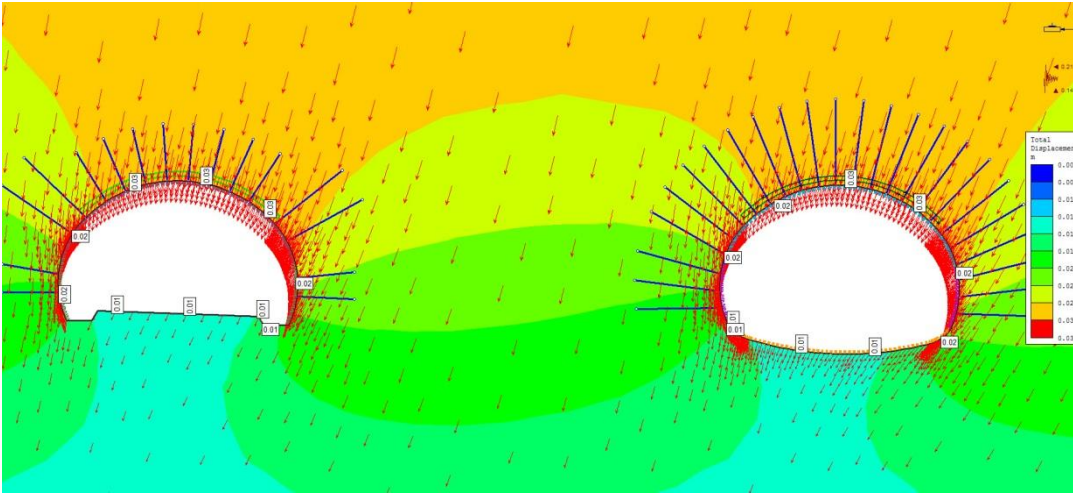
Şekil 4.33. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2-B3)



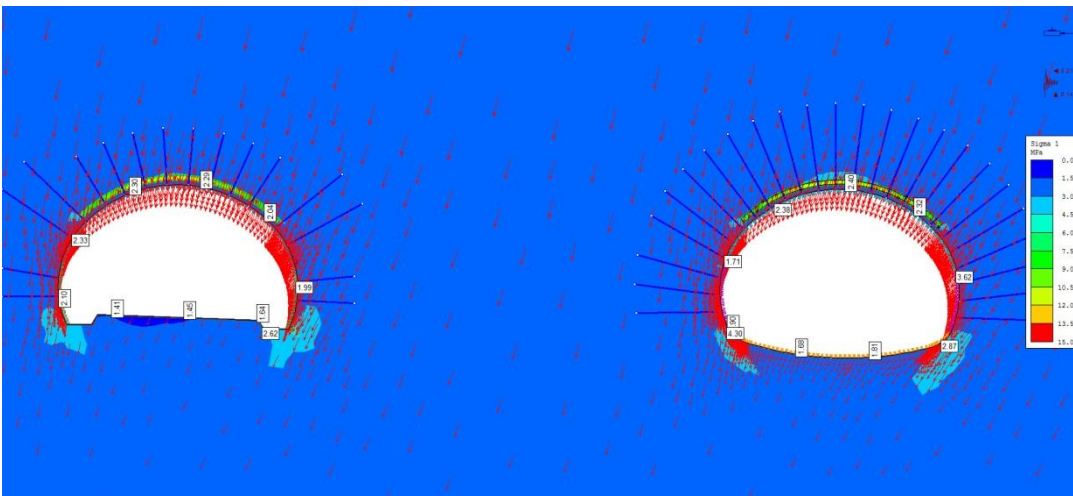
Şekil 4.34. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2-B3)



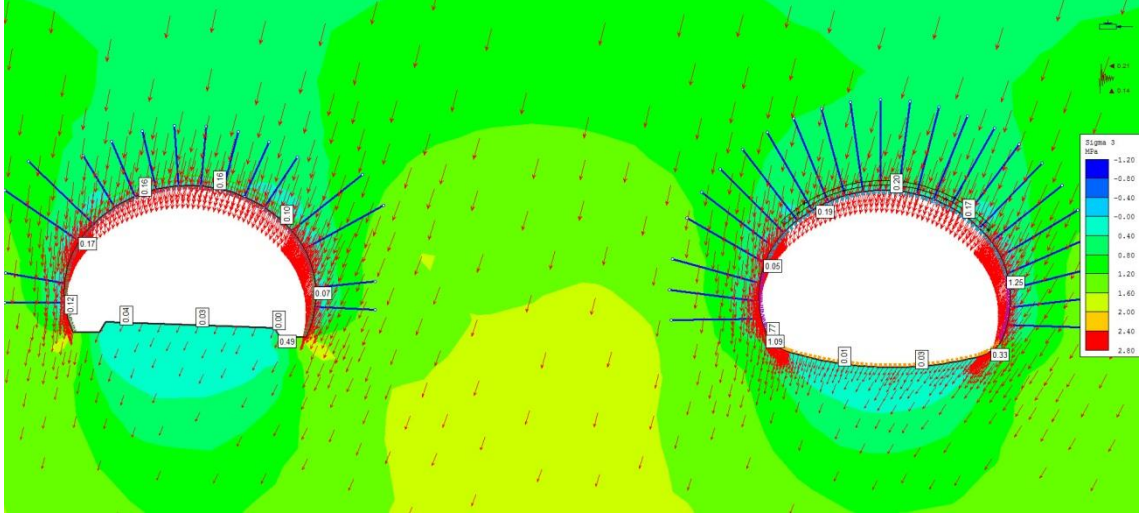
Şekil 4.35. Sağ tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2-B3)



Şekil 4.36. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası toplam yer değiştirme (C2-B3)



Şekil 4.37. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme (C2-B3)



Şekil 4.38. Sağ tüp – sol tüp kazı ve destekleme sonrası en küçük asal gerilme (C2-B3)

4.17. Gerilme – Deformasyon Analiz Bulguları

Kazı öncesi ve sonrasındaki yer değiştirmeler ve yenilmeler, iki farklı NATM destek sınıfı için üç ayrı senaryo simule edilerek hesaplanmıştır. Metakumtaşı / metakuvarsit birimine ait bölgedeki destek sınıfı olarak önce iki tüpün de B3 olduğu, sonra iki tüpün de C2 olduğu ve daha sonra imalat aşamasında (reelde) sağ tüpün C2, sol tüpün de B3 olduğu sayısal analizler hazırlanmıştır. Kazı sonrası ve destekleme sonrası oluşan en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ve toplam yer değiştirme miktarları, Çizelge 4.8’de özet olarak verilmiştir.

4.18. Nümerik Analiz ve Deformasyon Karşılaştırılması

Bu çalışmanın da ana konusunu oluşturan KM: 31+500 – 31+530 arasında karşılaşılan metakumtaşlarının bulunduğu bölgede üç farklı sayısal analiz yapılmış ve imalat aşamasındaki deformasyon miktarları belirlenmiştir.

Her iki tüpte de B3 destek sistemi uygulandığında ortalama 50-65cm deformasyon oluşacağı ve destek sisteminin yetersiz olacağı sayısal analizlerde belirlenmiştir. Her iki tüpte de C2 destek sistemi uygulandığında ise yaklaşık 2-3 cm deformasyon oluşacağı yapılan sayısal modellemelerde belirlenmiştir. İmalat aşamasında uygulandığı gibi önde giden sağ tüp C2, geriden gelen sol tüp B3 destekleme sistemi ile modelleme yapıldığında ise, maksimum 3 cm deformasyon belirlenmiştir. İmalat aşamalarında ölçülen vektörel deformasyon miktarları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Sayısal analiz sonuçları ile reelde ölçülen vektörel deformasyon miktarlarının (maksimum) karşılaştırılması Şekil 4.39 ve 4.40’ta verilmiştir. Bu vektörel değerlerin, yapım projesinde verilen kazı – destek sistemlerine ait yer değiştirme toleranslarının (C2: 20cm, B3: 15cm) içinde olduğu görülmüştür.

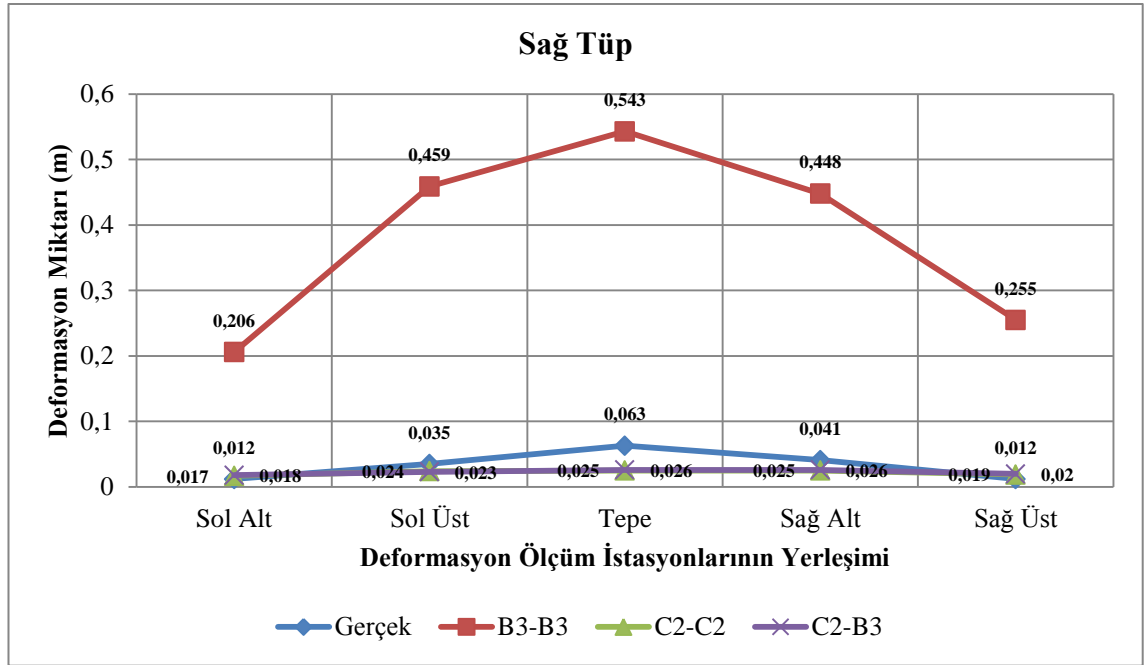
Çizelge 4.8. Kazı ve destekleme sonrası σ_1 , σ_3 ve toplam yer değiştirme değerleri

			Desteksiz durum		Destekleme sonrası	
			Sol Tüp	Sağ Tüp	Sol Tüp	Sağ Tüp
B3	Tavan	σ_1 (MPa)	4,504	3,652	3,768	2,301
		σ_3 (MPa)	0,823	0,542	0,622	0,475
		U_t (m)	0,231	0,051	0,634	0,541
	Taban	σ_1 (MPa)	4,490	2,869	2,537	2,930
		σ_3 (MPa)	0,796	0,388	0,236	0,349
		U_t (m)	0,056	0,023	0,024	0,042
	Sol duvar	σ_1 (MPa)	8,993	4,619	10,737	9,696
		σ_3 (MPa)	2,183	1,450	2,709	2,281
		U_t (m)	0,144	0,041	0,309	0,271
	Sağ duvar	σ_1 (MPa)	6,990	3,478	7,006	4,901
		σ_3 (MPa)	1,659	0,549	1,856	0,992
		U_t (m)	0,142	0,041	0,270	0,321
C2	Tavan	σ_1 (MPa)	2,215	2,165	2,564	2,392
		σ_3 (MPa)	0,137	0,125	0,233	0,199
		U_t (m)	0,026	0,024	0,025	0,026
	Taban	σ_1 (MPa)	2,232	2,321	1,919	1,781
		σ_3 (MPa)	0,534	0,657	0,052	0,031
		U_t (m)	0,013	0,012	0,010	0,011
	Sol duvar	σ_1 (MPa)	2,046	2,118	2,184	2,365
		σ_3 (MPa)	0,098	0,129	0,155	0,193
		U_t (m)	0,020	0,019	0,017	0,017
	Sağ duvar	σ_1 (MPa)	0,381	2,364	1,971	2,199
		σ_3 (MPa)	0,190	0,224	0,083	0,141
		U_t (m)	0,021	0,020	0,022	0,022
C2 – B3	Tavan	σ_1 (MPa)	2,075	2,117	2,289	2,339
		σ_3 (MPa)	0,098	0,110	0,156	0,182
		U_t (m)	0,026	0,025	0,026	0,026
	Taban	σ_1 (MPa)	1,997	2,307	1,468	1,809
		σ_3 (MPa)	0,238	0,520	0,026	0,034
		U_t (m)	0,013	0,012	0,010	0,011
	Sol duvar	σ_1 (MPa)	1,917	2,976	2,107	2,066
		σ_3 (MPa)	0,059	0,363	0,116	0,127
		U_t (m)	0,021	0,020	0,018	0,018
	Sağ duvar	σ_1 (MPa)	2,022	2,220	0,082	0,083
		σ_3 (MPa)	0,086	0,145	2,023	1,975
		U_t (m)	0,022	0,021	0,022	0,023
σ_1 = En büyük asal gerilme			σ_3 = En küçük asal gerilme		U_t = Toplam yer değiştirme	
Not: Değerler metre cinsindedir.						

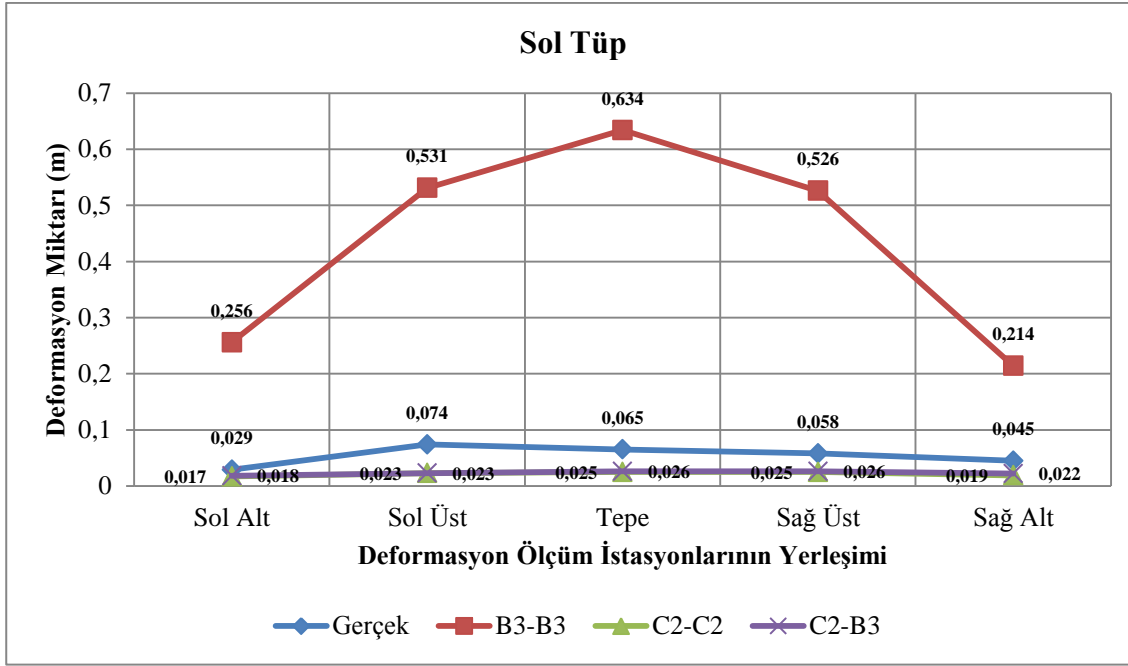
Çizelge 4.9. Kazı ve destekleme sonrası ölçülen reel vektörel deformasyon değerleri

	İstasyon KM	Sol Alt	Sol Üst	Tepe	Sağ Üst	Sağ Alt
SAĞ TÜP	31+503,467	0,007	0,035	0,054	0,041	0,011
	31+513,243	0,011	0,012	0,012	0,025	0,012
	31+523,403	0,005	0,022	0,021	0,022	0,007
	31+536,985	0,002	0,032	0,063	0,023	-
	31+553,785	0,012	0,025	0,029	0,016	0,002
SOL TÜP	31+496,463	0,022	0,040	0,032	0,038	0,010
	31+511,145	0,029	0,044	0,046	0,028	0,041
	31+526,458	0,026	0,074	0,065	0,054	0,045
	31+541,067	0,009	0,070	0,031	0,019	-
	31+557,585	-	0,049	0,022	0,058	-

Not: Değerler metre cinsindedir.



Şekil 4.39. Sağ tüpte ölçülen deformasyon miktarlarının karşılaştırma grafikleri



Şekil 4.40. Sol tüpte ölçülen deformasyon miktarlarının karşılaştırma grafikleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyol Projesi'nin 30+830-34+244 kilometreleri arasında çift tüp olarak inşa edilen Samanlı (Orhangazi) Tüneli'nin proje güzergâhında ve çevresinde yer alan jeoteknik birimler mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Yapılan jeoteknik çalışmalar ile elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

1. Kesin proje raporunda öngörülemeyen fakat tünel aynası jeolojik değerlendirmeleri ile belirlenen zayıf zeminlerle karşılaşmıştır. Projedeki destek sisteminin yetersiz olduğu yerlerde, yerinde jeolojik incelemeler ile yeni parametreler belirlenmiştir. Yeni parametrelere göre destek sistemleri revize edilmiştir.
2. Kazı aşamalarındaki jeolojik birimlerde yapılan sistematik gözlemler ve deformasyon okumalarının doğru yorumlanmasıyla, NATM felsefesi doğrultusunda destek sistemlerinde değişikliklere gidilmiştir. Yapılan doğru değişiklikler, tünelin maliyetini, güvenliğini ve ilerleme hızını olumlu yönde etkilemiştir.
3. Destekleme sonrasında, tünelin olası hareketlerini ve deformasyonları kontrol etmek için, ölçülen deformasyon değerleri ile projede öngörülen deformasyon tolerans miktarı bir arada değerlendirilmekte ve deformasyon sönümlenmeleri kontrol edilmektedir. Deformasyon ölçümlerinin izlenmesi ile deformasyon miktarı, deformasyon hızı ve ivmesi verileri sağlanmıştır.
4. Sayısal analiz yapılması kararlaştırılan KM:31+500 – 31+530 arasında görülen metakumtaşı / metakuvarsit jeolojik birimlerine ait parametreler ile sayısal analiz yapılmıştır. Buna göre, önde giden sağ tüpte projede verilen B3 destek sistemi ve kaya kütle parametreleri uygulanacak olursa ortalama 50 – 65cm arasında deformasyon olacağı ve destek sisteminin yetersiz kalacağı sayısal analizle belirlenmiştir.
5. KM:31+50 – 31+530 arasında yerinde yapılan jeolojik – jeoteknik veriler kullanılarak yeni kaya kütle parametreleri belirlenerek, revize edilen C2 destek sistemi ile sayısal analiz yapılmıştır. C2 destek sisteminin uygulandığında 2-3cm deformasyon değerleri elde edilmiştir.
6. KM:31+50 – 31+530 arasında yerinde yapılan jeolojik – jeoteknik veriler kullanılarak yeni kaya kütle parametreleri belirlenerek, imalat aşamasında (gerçekte) önde giden sağ tüpte C2 destek sistemi, geriden gelen sol tüpte ise B3 destek sistemi uygulanmıştır. C2 ve B3 destek sistemine göre sayısal analizle ön görülen deformasyon (max. 3cm) ile imalat sonrası deformasyonlarda (max. 6,5cm) birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- AKARTUNA, M. 1968. Armutlu Yarımadasının Jeolojisi: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, 20, İstanbul, 105s.
- ALPAR, B. and YALTIRAK, C. 2002. Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution. *Marine Geology*, 190 (1-2): 329-350.
- ALPTEKİN, Ö., NABALEK, J.N. ve TOKSÖZ, M.N. 1985. 3 Eylül 1968 Bartın Depremi'nin kaynak mekanizması ve Karadeniz'in aktif tektoniği hakkında düşünceler. *DAB*, 60: 5-38.
- AMBROSEYS, N.N. and FINKEL, C.F. 1991. Long-term Seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea Region. *Terra Nova*, 3: 527-539.
- ARMİJO, R., MEYER, B., HUBERT, A. and BARKA, A. 1999. Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. *Geology*, 27: 267-270.
- ARMİJO, R., MEYER, B., NAVARRO, S., KING, G. and BARKA, A. 2002. Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart : a clue to propagation processes of the north Anatolian Fault?. *Terra Nova*, 14: 80-86.
- BARKA, A.A. 1992. The North Anatolian Fault. *Annales Tectonicae*, 6: 164-195.
- BARKA, A.A. 1997. Neotectonics of the Marmara Region, Active Tectonics of the northwestern Anatolia-the Marmara poly-project. ETH, pp. 55-87, Zurich.
- BARKA, A.A. and K. KADINSKY-CADE 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7 (3): 663-684.
- BARTON, N. 2000. TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock. A. A. Balkema, Rotterdam, 173p.
- BARTON, N. and GRIMSTAD, E. 1994. The Q-system following twenty years of application in NTM support selection. *Felsbau*, 12 (6): 428-436.
- BARTON, N., LIEN, R. and LUNDE, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6 (4): 189-239.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Transaction of South African Institution of Civil Engineering*, 15: 335-44.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1988. Rock mass classifications as a design aid in tunneling. *Tunnels and Tunneling International*, 29 (7): 19-22.

- BIENIAWSKI, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and Sons, 237 p.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1984. Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling. A.A.Balkema, 272 p.
- ÇELİK, Ö.F., GÜRER, Ö.F. ve ÖZ, İ. 2009. Geyve Boğazı ve Pamukova Arasında Yeralan Granitoyitik Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 8 (1): 61-75.
- DESAI, C.S. 1972. Theory and application of the finite element method in geotechnical engineering. Symposium on the applications of the finite element method in geotechnical engineering, pp. 3-8, Mississippi.
- ELMAS, A. 2003. Late Cenozoic tectonics and stratigraphy of the northwestern Anatolia: the effects of the North Anatolian Fault to the region. *Geol Rundsch*, 92: 380-396.
- EMRE, Ö., DOĞAN, A., DUMAN, T.Y., ÖZALP, S. 2011. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK 35-12) Paftası, Seri No:9, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- EMRE, Ö., ERKAL, T., TCHEPALYGA, A., KAZANCI, N., KEÇER, M., ÜNAY, E. 1998. Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki evrimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 120: 233-258.
- ERENDİL, M., GÖNCÜOĞLU, M.C., vd. 1991. Armutlu Yarımadası'nın jeolojisi, MTA Raporu, No: 9165, Ankara.
- ERENDİL M. vd. 2005. 1:25000 Ölçekli Sayısallaştırılmış Jeoloji Haritaları, Bursa G22-c4 Paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- GEDİK, İ. ve AKSAY, A. 2002. 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Adapazarı H 25 paftası. MTA yayınları, Ankara
- GOODMAN, R.E. 1980. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley & Sons, 362 p.
- GORICKI, A., SCHUBERT, W. and RIEDEMÜLLER, G. 2004. New developments for the design and construction of tunnels in complex rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci*, 41 (3): 720-725.
- GÖNCÜOĞLU, M.C., ERENDİL, M., TEKELİ, O., AKSAY, A., KUŞÇU, A. and ÜRGÜN, B. 1987. Geology of the Armutlu Peninsula. Correlations of Variscan and Pre-variscan Events in the Alpine-Himalayan Mountain Belt. Field Meeting. Turkey. Guide Book for the Field Excursion Along Western Anatolia, Turkey. IGCP Project, MTA, 5: 12-18.

- GÖNCÜOĞLU, M.C., ERENDİL, M., TEKELİ, O., AKSAY, A., KUŞÇU and ÜRGÜN, B. 1992. Introduction to the geology of the Armutlu Peninsula. ISGB-92, Guide Book, pp. 26–36, Ankara.
- GRIMSTAD, E. and BARTON, N. 1993. Updating of the Q-system for NMT. Proceedings of International Symposium on Sprayed Concrete, Norwegian Concrete Association, pp. 46-66, Oslo.
- GÜLKAN, P., KOÇYİĞİT, A., YÜCEMEN, M.S., DOYURAN, V. ve BAŞÖZ, V., 1993. En Son Verilere göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. Rapor no:METU/EERC 93- 01, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, 156 s.
- HASHASH, Y.M.A, HOOK, J.J., SCHMIDT, B. and YAO, J.C. 2001. Seismic design and analysis of underground structures. *Tunneling and Underground Space Technology*, Pergamon, 16: 247-293.
- HOEK, E. 1999a. Putting numbers to geology – an engineer’s viewport. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 32: 1-19.
- HOEK, E. and BROWN, E.T. 1980, Underground Excavations in Rock. IMM, London.
- HOEK, E. and BROWN, E.T. 1980a. Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd., London, 527 p.
- HOEK, E. and BROWN, E.T. 1980b. Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engineering Div.*, ASCE 106 (GT9): 1013-1035.
- HOEK, E. and BROWN, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mechanics & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts*, 34(8): 1165-1186.
- HOEK, E. and BRAY, J.W. 1981. Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd., London, 3rd edition, 358 p.
- HOEK, E., CARVALHO J.L. and CORKUM, B.T. 1992. PHASES (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) – a 2D hybrid FE/BE program for calculating stresses and estimating support around underground excavations. Rock Engineering Group, University of Toronto.
- HOEK, E., KAISER, P. and BAWDEN, W.F. 1995. Support of underground excavations in hard rock. Balkema, Rotterdam, 214 p.
- HOEK, E., MARINOS, P. and BENISSI, M. 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation, *Bull. Engineering Geology Env.*, 57(2): 151-160.

- HOEK, E., KAISER, P. and BAWDEN, W.F. 2000. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Taylor & Francis, Reprint edition, Netherland, 300 p.
- HYNES-GRIFFIN, M.E. and Franklin, A.G. 1984. Rationalizing the Seismic Coefficient Method. Miscellaneous Paper No. GL-84-3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- ISRM 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. and Hudson, J.A. (Editors) Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics. Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628p.
- KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ. 2006. Karayolu Teknik Şartnamesi, 350: 306-308. Ankara.
- KETİN, İ. 1966. Tectonic units of Anatolia. *Bulletin of Mineralogical Research Exploration Institute*, 66: 1-42.
- KETİN, İ. 1968. Türkiye'nin genel tektonik durumu ile başlıca bölgeleri arasındaki ilişkiler. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 71: 129-134.
- KERSTEN, R.W.O. 1990. The stress distribution required for fault and joint development. Proceedings of the International Conference of Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Vienna, Austria, H. P. Rossmanith (ed.), pp. 639-646, Balkema, Rotterdam.
- KÖKÇÜOĞLU, H. 2006. Sonlu Elemanlar Metodu İle Tünel Modellemesi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Ankara, 96 s.
- LE PICHON, X., ŞENGÖR, A.M.C., AND TAYMAZ, T. 1999. The Marmara fault and the future Istanbul earthquake. In: Karaca, M., and Ural, D.N. (Editors), ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli earthquake 17 August 1999, Istanbul Technical University, pp. 41-54, Istanbul.
- MULLER, L. 1977. The use of deformation measurement in dimensioning the lining of subway tunnels. International Symposium Field Measurement in Rock Mechanics, Zurich.
- MULLER, L. 1978. Removing misconceptions on the new Austrian tunnelling method. *Tunnels & Tunnelling*, 10 (8): 29-32.
- OKAY, A.I. and MOSTLER, H. 1994. Carboniferous and Permian radiolarite blocks in the Karakaya Complex in northwest Turkey. *Turkish Journ. Earth Sc.*, 3: 23-28, Ankara.
- OKAY, A.I. and TÜYSÜZ, O. 1999. Tethyan Sutures of northern Turkey. In The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. In: B.

- Durand L. Jolivet F. Hovarth and M. Séranne (Editors) Geological Society of London, 156: 475-515.
- OKAY, A.I. KAŞLILAR-ÖZCAN, A., İMREN, C., BOZTEPE-GÜNEY, A., DEMİRBAĞ, A. ve KUŞÇU, İ. 2000. Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: A Multichannel Seismic Reflection Study. *Tectonophysics*, 321: 189- 218.
- OKAY, A., OKAY, N. ve ÖZGÖRÜŞ, Z. 2008. Ganos Fay Zonu ve çevresinin Oligosen sonrası tektonik evrimi: Trakya'da paleotektonik dönemden neotektonik döneme geçişin niteliği. TÜBİTAK Proje No: 104Y155, İstanbul.
- OKTAY, F.Y., GÖKAŞAN, E., SAKINÇ, M., YALTIRAK, C., İMREN, C. ve DEMİRBAĞ, E. 2002. The effect of Noth Anatolian Fault Zone to the latest connection between Black Sea and Sea of Marmara. *Marine Geology*, 190(1-2): 367-382.
- OTOYOL A.Ş. 2012. Gebze - Orhangazi - İzmir Otoyolu Teknik Bilgi Raporu, Ankara, 2:82.
- OTOYOL A.Ş. 2016 Orhangazi (Samanlı) Tüneli Jeoloji – Jeoteknik Raporu, Bursa, 68s.
- ÖNORM B 2203-1. 2001. Underground works – work contract Part 1:Cyclic driving (conventional tunnelling).
- ÖNORM B2203. 1994. Untertagebauarbeiten, Werkvertragsnorm.
- ÖZKAN, İ. ve ÜNAL, E. 1996. Kaya kütlesi sınıflama sistemleri üzerine kritik bir değerlendirme. 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 181-193.
- ÖZMEN, B., NURLU, M. ve GÜLER, H., 1997. Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 89 s.
- PALMSTROM, A. 1982. The volumetric joint count-a useful and simple measure of the degree of jointing. Proceedings of the 4th International Congress of IAEG, pp. 221-228, New Delphi.
- PALMSTROM, A. 1996. RMi-a system for characterizing rock mass strength for use in rock engineering. *Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology*, 1 (2): 69-108.
- RABCEWICZ, L.V. 1963. Bemessung von hohlraumbauten. Die “Neue Österreichische Bauweise” und ihr Einfluss auf Gebirgsdruckwirkungen und Dimensionierung. *Felsmech und Ingenieurgeologie*, 1: 374.

- RABCEWICZ L.V. 1964. The New Austrian Tunneling Method. *Water Power*, 12: 511-515.
- SATICI, Ö. ve TOPAL, T. 2015. Tünel Açma Yöntemlerinin Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Sınıflama Sistemleri ile Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39 (1): 45-57.
- SCHUBERT, W. AND BUDIL, A. 1995. The Importance of Longitudinal Deformation in Tunnel Excavation. Proc. 8th Int. Congress on Rock Mechanics (ISRM), A.A. Balkema, 3: 1411-1414, Rotterdam.
- SCHUBERT, P. and VAVROVSKY, G.M. 1994. Interpretation of Monitoring Results. *World Tunnelling and Subsurface Excavation*, 7 (8): 351-354.
- SCHUBERT, W. and STEINDORFER, A. 1995. Advanced Monitoring Data Evaluation For Tunnels in Poor Rock. 8th Congress On Rock Mechanics, A.A. Balkema, pp. 1420-1424, Tokyo.
- SCHUBERT, W. and STEINDORFER, A. 1996. Selective Displacement Monitoring Tunnel Excavation. *Felsbau*, 14 (2): 93-97.
- SCHUBERT, W., GORICKI, A. and RIEDMÜLLER, G. 2003. The Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures with Conventional Excavation. *Felsbau*, 21 (4).
- SCHUBERT, W., STEINDORFER, A. and BUTTON, A.E. 2002. Displacement Monitoring in Tunneling-an Overview. *Felsbau*, 20 (2): 7-15.
- SELLNER, P. and STEINDORFER, A. 2000. Prediction of Displacement in Tunneling. *Felsbau*, 18 (2): 22-26.
- SINGH, B. and GOEL, R.K. 2006. Tunneling in Weak Rocks. Elsevier, 512 p.
- SINGH, B. and GOEL, R.K. 1999. Rock Mass Classification. A Practical Approach in Civil Engineering, Elsevier, 267 p.
- SONMEZ, H. and ULUSAY, R. 1999. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36 (6): 743-760.
- SONMEZ, H. and ULUSAY, R. 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, 26: 77-79.
- STEINDORFER, A. and SCHUBERT, W. 1997. Application of New Methods of Monitoring Data Analysis for Short Term Prediction in tunneling. Tunnels for People, World Tunnel Kongress, J. A. A. Balkema, pp. 65-69, Vienna.

- SUNAL, G. and TÜYSÜZ, O. 2002. Paleostress analysis of Tertiary post-collisional structures in the Western Pontides, northern Turkey. *Geological Magazine*, 139 (3): 343-359.
- ŞENGÖR, A.M.C. 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance, *Jour. Geol. Soc. Lond.*, 136: 269-282.
- ŞENGÖR, A.M.C. and YILMAZ, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75: 181-241.
- ŞENGÖR, A.M.C., DEMİRBAĞ, E., TÜYSÜZ, O., KURT, H., GÖRÜR, N. ve KUŞÇU, İ. 1999. A Preliminary note on the structure of the Gulf of Izmit: Implications for the westerly prolongation of the North Anatolian Fault. Proc. İTU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake, pp. 25-37, İstanbul.
- ŞENGÖR, A.M.C., TÜYSÜZ, O., İMREN, C., SAKINÇ, M., EYİDOĞAN, H., GÖRÜR, N., LE PİCHON, X. and RANGİN, C. 2004. The North Anatolian Fault: A new look. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33: 1-75.
- ŞİMDİ, E. 2013 Kadıköy-Kartal metro inşaatında formasyon ve açıklık geometrisine göre geçici tahkimat uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Ens., 89 s.
- TAYMAZ, T. ve TAN, O. 1999. Source parameters of September 3, 1968 Bartın (SW-Black Sea) and October 5, 1977 (NAF) Kursunlu earthquakes obtained from inversion of teleseismic body-waveforms. 22nd General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics, The University of Birmingham – UK, Abstracts A, p. A171.
- TÜRKECAN, A. ve YURTSEVER A. 2002. İstanbul Paftası, 1: 500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ULUSAY, R. ve SÖNMEZ, H. 2000. Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne ilişkin değişiklik önerileri ve bunların uygulanabilirliği. *Jeoloji Mühendisliği*, 24 (1): 1-21.
- ULUSAY, R. ve SÖNMEZ, H. 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 292 s.
- ULUSAY, R. 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Genişletilmiş 4. Baskı, 385 s.
- VARDAR, M. 1979. Yeraltı Kaya Yapıları Mekaniğinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin Ana İlkeleri, Ankrjalar ve Boyutlandırması, DSİ, Ankara.

- WONG, H.K., LÜDMANN, T., ULUĞ, A. and GÖRÜR, N. 1995. The Sea of Marmara: A plate boundary sea in an escape tectonic regime. *Tectonophysics*, 244: 231–250.
- YALTIRAK, C. and ALPAR, B. 2002. Evolution of middle strand of North Anatolian Fault and Shallow seismic investigation of the southeastern Marmara Sea (Gemlik Bay). *Marine Geology*, 190: 307-327.
- YILMAZ, D., KÖPRÜBAŞI, N., ÇELEBİ, D. ve KÖPRÜBAŞI, N. 2010. Esenköy (Çınarcık-Yalova) Granitoidinin Jeokimyasal Özellikleri, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 2: 19-37.
- YILMAZER, L., YILMAZER, O., and DOĞAN, U. 1997b. Significance of water-discontinuity-clay (WDC). Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment, sponsored by International Assoc. of Engineering Geology, June 23-27 '97, pp. 457-462, Athens.
- YİĞİTBAŞ, E., ELMAS, A., SEFUNÇ, A. and ÖZER, N. 2004. Major neotectonic features of eastern Marmara region, Turkey: development of the Adapazarı – Karasu corridor and its tectonic significance. *Geological Journal*, 39: 179-198.
- YÜKSEL DOMANIÇ MÜHENDİSLİK LTD. ŞTİ. 2012. Samanlı Tüneli Kesin Proje Raporu, Ankara, 449 s.

7. EKLER

Ek-1 Samanlı (Orhangazi) Tüneli jeoloji haritası ve jeolojik boy kesiti

Ek-2 Sondaj laboratuvar özet tabloları

SONDAJ NO: 30+878 Tünel Giriş Portalı / Kuyu Derinliği: 60m						
Derinlik	Litoloji	Doğal Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Dayanım Değerleri			
			Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Poisson Oranı	Nokta Yüğü Dayanımı (I ₅₀) (MPa)
14,60 - 14,65	Metakumtaşı – metakuvarsit – metabazik (piroksenit – amfibolit)	2,72				0,82
21,30 - 21,40		2,70				0,56
28,90 - 29,10		2,68				0,14
33,00 - 33,20		2,66				1,39
34,85 - 35,00		2,61				1,17
35,20 - 35,30		2,57				0,43
39,90 - 40,10		2,60				0,55
45,35 - 45,50		2,60				0,38

SONDAJ NO: 31+070Tünel Giriş Portalı / Kuyu Derinliği: 115m						
Derinlik	Litoloji	Doğal Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Dayanım Değerleri			
			Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Poisson Oranı	Nokta Yüğü Dayanımı (I ₅₀) (MPa)
75,00 – 75,15	Metakumtaşı – metakuvarsit – metabazik (piroksenit – amfibolit)	2,72				0,82
79,50 – 79,60		2,67				0,42
85,50 – 85,70		2,74				1,05
88,50 – 88,70		2,64				
88,70 – 90,00		2,61	201,20			
95,40 – 95,55		2,75	117,70	85112,00	0,18	
101,05 – 101,20		2,67				7,13
105,80 – 105,95		2,63	92,40	78452,00	0,12	1,75
106,60 – 106,75		2,64	717,20	402581,00	0,24	

Ek-3 Km: 31+500 – 31+532 arasında yapılan tünel aynası jeolojik haritalama çalışmaları



T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTOYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ



Km: 31 + 500,90

Round No: 533

Aşırı Sökülme Yeri: - RMR Puanı: 24

Uygulanan Destek Sınıfı: C2

Tarih: 21/04/2013

Doküman No: 246

GİRİŞ ÇIKIŞ SOLTÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Aşırı Zayıf
>230 MPa	100-230 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

Çok Pürüzlü

Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Doğru	Yumuşak Doğru
	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel durumu)

Yok	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	> 125 lt/dk
	Nemli	Islak	Demilama (Sızıntı)	Su Akışı

Ayrışma

Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
J1	49/088
J2	70/065
J3	70/110

1	Fay
	Çatlak
	Kayma Düz.
	Kirik
	Sistoste
	Tabakalanma
	Follasyon
	Kesme
	Kırılma

2	J1
	J2
	J3

3	J1
	J2
	J3

4	J1
	J2
	J3

5	J1
	J2
	J3

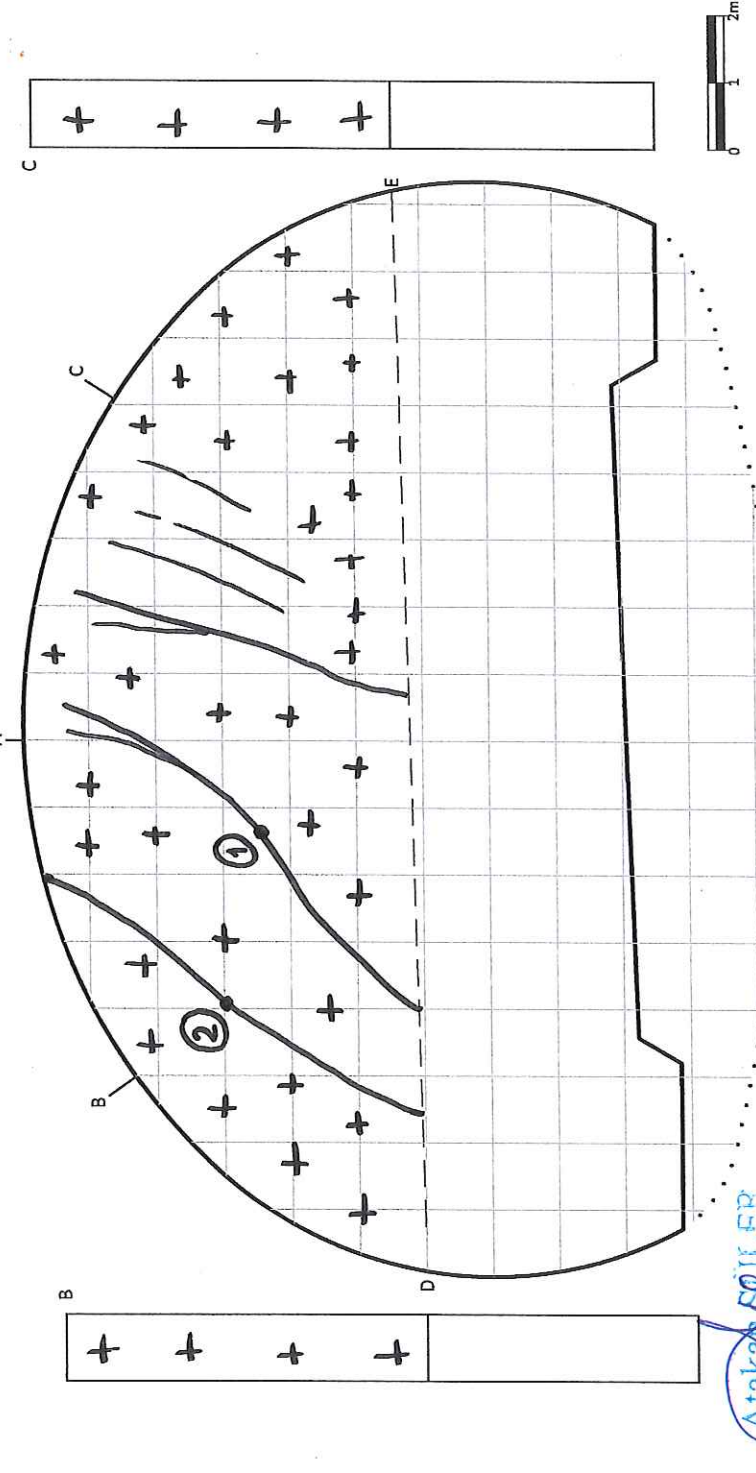
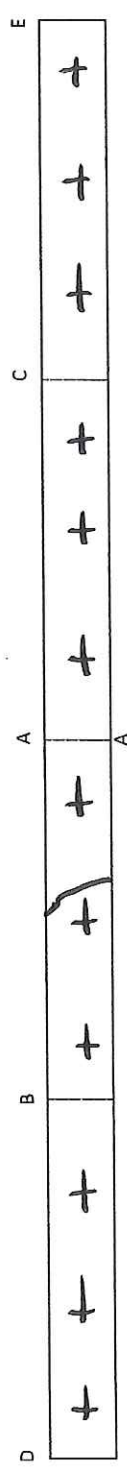
6	J1
	J2
	J3

7	J1
	J2
	J3

8	J1
	J2
	J3

9	J1
	J2
	J3

10	J1
	J2
	J3



Atakay SOĞULLER
Jeoloji Mühendisi
Çizen Oda-Sicil No: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°

AÇIKLAMA: Yeşilimsi-gri renkli ezilmiş metamorfikler gözlemlenmiştir.

Batırgün sığması izleri mevcut.

MÜŞAVİR

YÜKLENENİ



Km: 31 + 503.90

Round No: 536

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
>200	60-200	20-60	5-20	< 5

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
<1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

Çok Pürüzlü

Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / genel durumu)

Yok	Nemli	Islak	Damlama (Sızıntı)	Su Akışı
	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk

AYRIŞMA DERESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

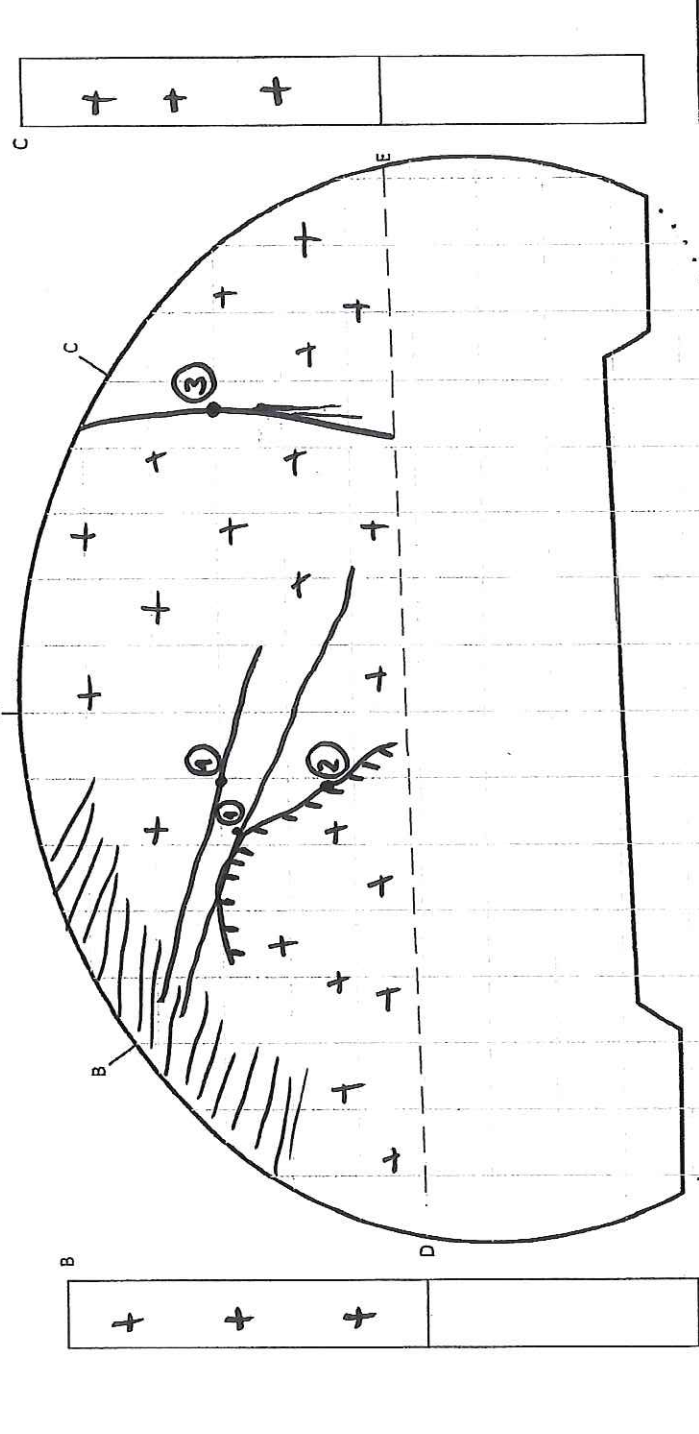
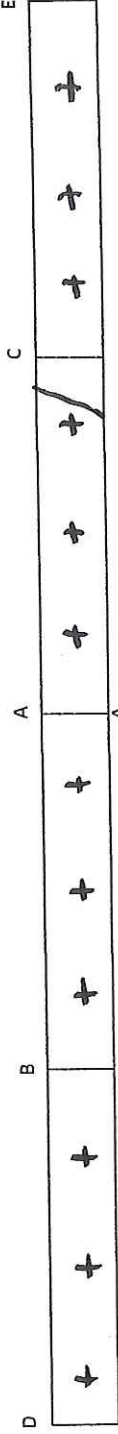
Tipi	Fay	Çatlak	J	SL	FR	SL	FR	SC	B	Fl	Sh	Fo
1	34	45/355										
2	32	87/078										
3	33	70/307										
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

YÜKLENCİ

MÜŞAVİR

T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTOYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ

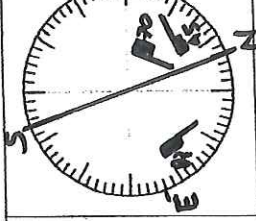
Aşırı Sökülme Yeri : - RMR Puanı : 24 Uygulanan Destek Sınıfı : C2 Tarih: 23/04/2013 Doküman No: 247



0 1 2m

19°

Tünel ekseninin N ile yaptığı açı :



Atakan SÜLER
Jeolojik Mühendisi
Çizim: Oda Sicil No: 15700

AÇIKLAMA: Yeşilimsi - gri renkli ezilmiş metamorfikler

Doküman No: 248

Tarih: 03/05/2013

Uygulanan Destek Sınıfı: C2

RMR Puanı: 24

Aşırı Sökülme Yeri: -

Round No: 540

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	<25 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Dar Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUIYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	> 125 lt/dk

Tamamen Kuru

Nemli	Islak	Damlama (Sızıntı)	Su Akışı

AYRIŞMA DERECESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

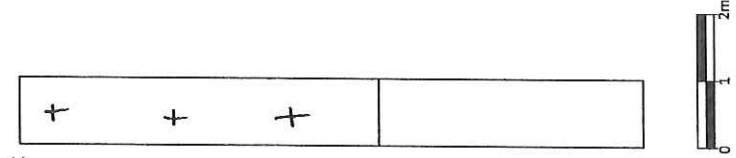
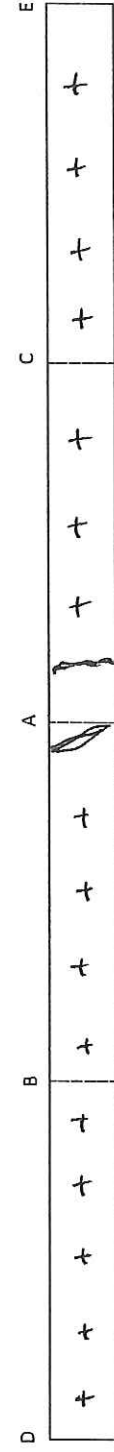
Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
1 J1	69/063
2 SL	35/020
3 SL	68/355

10

YÖKLENİCİ

MÜŞAVİR



Atakan SÖZLER
Jeoloji Mühendisi
Orta Sici No: 13700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°

AÇIKLAMA:

Aynadeli silüsmo devam ediyor
Yumurtak dolgular, edilmiş gresilimsi gri metamorfikler elle parçalanıyor



T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTOYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ



Km: 31 + 513,90 Round No: 546

Aşırı Sökülme Yeri: 1 RMR Puanı: 24 Uygulanan Destek Sınıfı: C2 Tarih: 07/05/2013 Doküman No: 249

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI
Aşırı Sağlam Çok Sağlam Sağlam Orta Sağlam Zayıf Aşırı Zayıf
>250 MPa 100-250 MPa 50-100 MPa 25-50 MPa 5-25 MPa <1-5 MPa <1 MPa

KAYAC KALİTESİ ROD (%)
Çok İyi İyi Orta Zayıf Çok Zayıf
90-100 75-90 50-75 25-50 0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)
Çok Geniş Aralıklı Geniş Aralıklı Orta Aralıklı Yakın Aralıklı Dar Aralıklı
> 200 60-200 20-60 6-20 < 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)
Çok Düşük Düşük Orta Yüksek Çok Yüksek
< 1 1-3 3-10 10-20 > 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)
Yok < 0.1 0.1-1 1-5 > 5

PÜRÜZLÜLÜK
Çok Pürüzlü Pürüzlü Az Pürüzlü Düz Kaygan

DOLGU
Yok Sert Dolgu Yumuşak Dolgu
< 5 mm > 5 mm < 5 mm > 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)
Yok < 10 lt/dk 10-25 lt/dk 25-125 lt/dk > 125 lt/dk
Nemli Islak Damlama (Sızma) Su Akışı

AYRIŞMA DEREJESİ
Ayrışmamış Az Ayrışmış Orta Ayrışmış Çok Ayrışmış Tümünüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi Eğim açısı / Eğim yönü
1 S1 64/065
2 S2 45/005
3 S3 60/040

Tipi
F Fay
J Çatlak
J Kayma Düz, SL
FR Kırık
SC Şişozite
B Tabakalanma
FI Follasyon
Sh Kesme
Fo Kıvrılma

YÜKLENİCİ MÜŞAVİR

T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTOYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ

Aşırı Sökülme Yeri: 1 RMR Puanı: 24 Uygulanan Destek Sınıfı: C2 Tarih: 07/05/2013 Doküman No: 249

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI
Aşırı Sağlam Çok Sağlam Sağlam Orta Sağlam Zayıf Aşırı Zayıf
>250 MPa 100-250 MPa 50-100 MPa 25-50 MPa 5-25 MPa <1-5 MPa <1 MPa

KAYAC KALİTESİ ROD (%)
Çok İyi İyi Orta Zayıf Çok Zayıf
90-100 75-90 50-75 25-50 0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)
Çok Geniş Aralıklı Geniş Aralıklı Orta Aralıklı Yakın Aralıklı Dar Aralıklı
> 200 60-200 20-60 6-20 < 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)
Çok Düşük Düşük Orta Yüksek Çok Yüksek
< 1 1-3 3-10 10-20 > 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)
Yok < 0.1 0.1-1 1-5 > 5

PÜRÜZLÜLÜK
Çok Pürüzlü Pürüzlü Az Pürüzlü Düz Kaygan

DOLGU
Yok Sert Dolgu Yumuşak Dolgu
< 5 mm > 5 mm < 5 mm > 5 mm

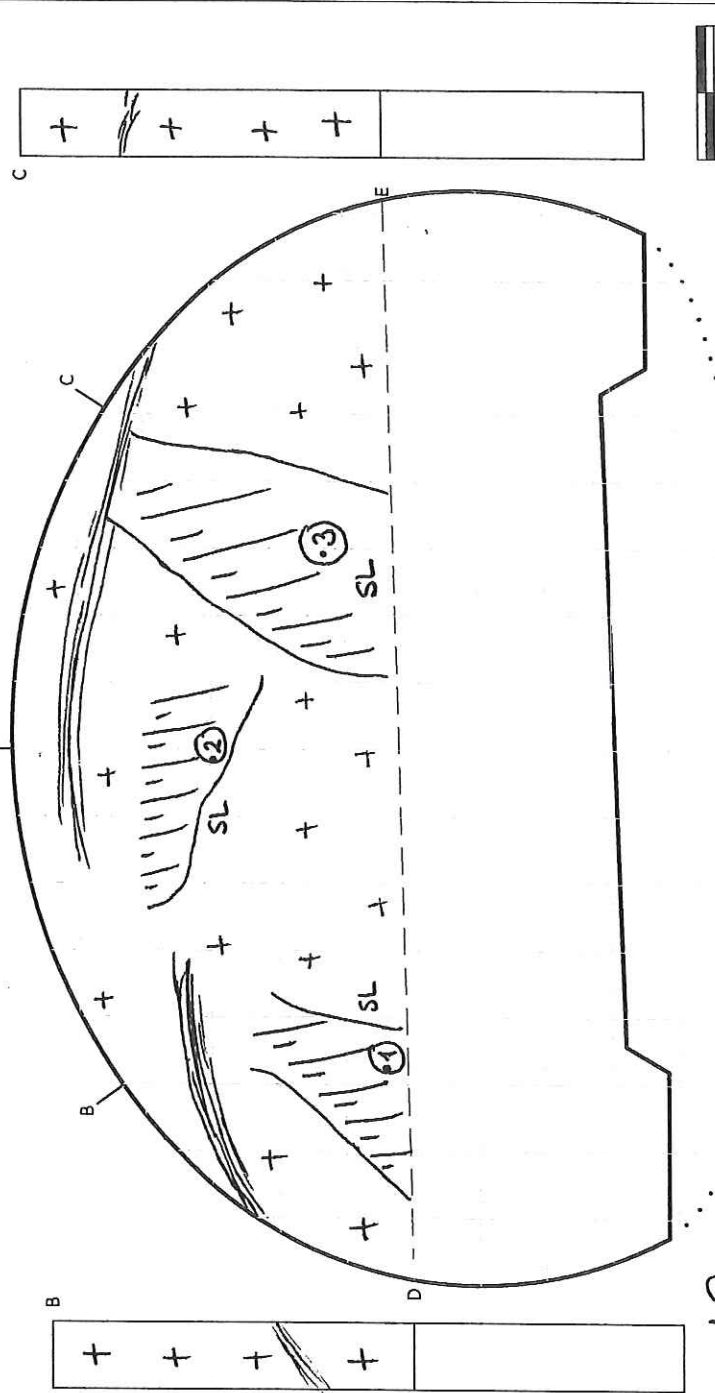
YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)
Yok < 10 lt/dk 10-25 lt/dk 25-125 lt/dk > 125 lt/dk
Nemli Islak Damlama (Sızma) Su Akışı

AYRIŞMA DEREJESİ
Ayrışmamış Az Ayrışmış Orta Ayrışmış Çok Ayrışmış Tümünüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi Eğim açısı / Eğim yönü
1 S1 64/065
2 S2 45/005
3 S3 60/040

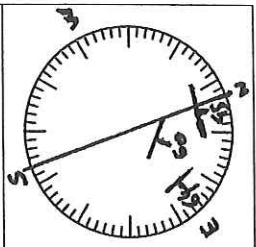
Tipi
F Fay
J Çatlak
J Kayma Düz, SL
FR Kırık
SC Şişozite
B Tabakalanma
FI Follasyon
Sh Kesme
Fo Kıvrılma

YÜKLENİCİ MÜŞAVİR



ATAKÖZLER
Jeoloji Mühendisi
Çizim: Çizim No: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açı : 19 °



AÇIKLAMA:
Yeşilimsi gri renkli metamorfiler halen ezilmiş şekilde devam ediyor. Sağ ayak tarafına doğru kırmızı yüzeyler görülmekte. Aynı stabil. Metamorfilerde yeşil renkli serpantinleşmeler gözleniyor.

Km: 31 + 514,90

Round No: 547

Aşırı Sökülme Yeri:

RMR Puanı: 24

Uygulanan Destek Sınıfı: C2

Tarih: 08/05/2013

Doküman No: 250

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAMI KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	İnkin Aralıklı	Dar Aralıklı
>200	60-200	20-60	5-20	< 5

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk

Tamamen Kuru Nemli Islak

Yok	Nemli	Islak	Damlama (Statü)	Su Aktığı

AYRIŞMA DERESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

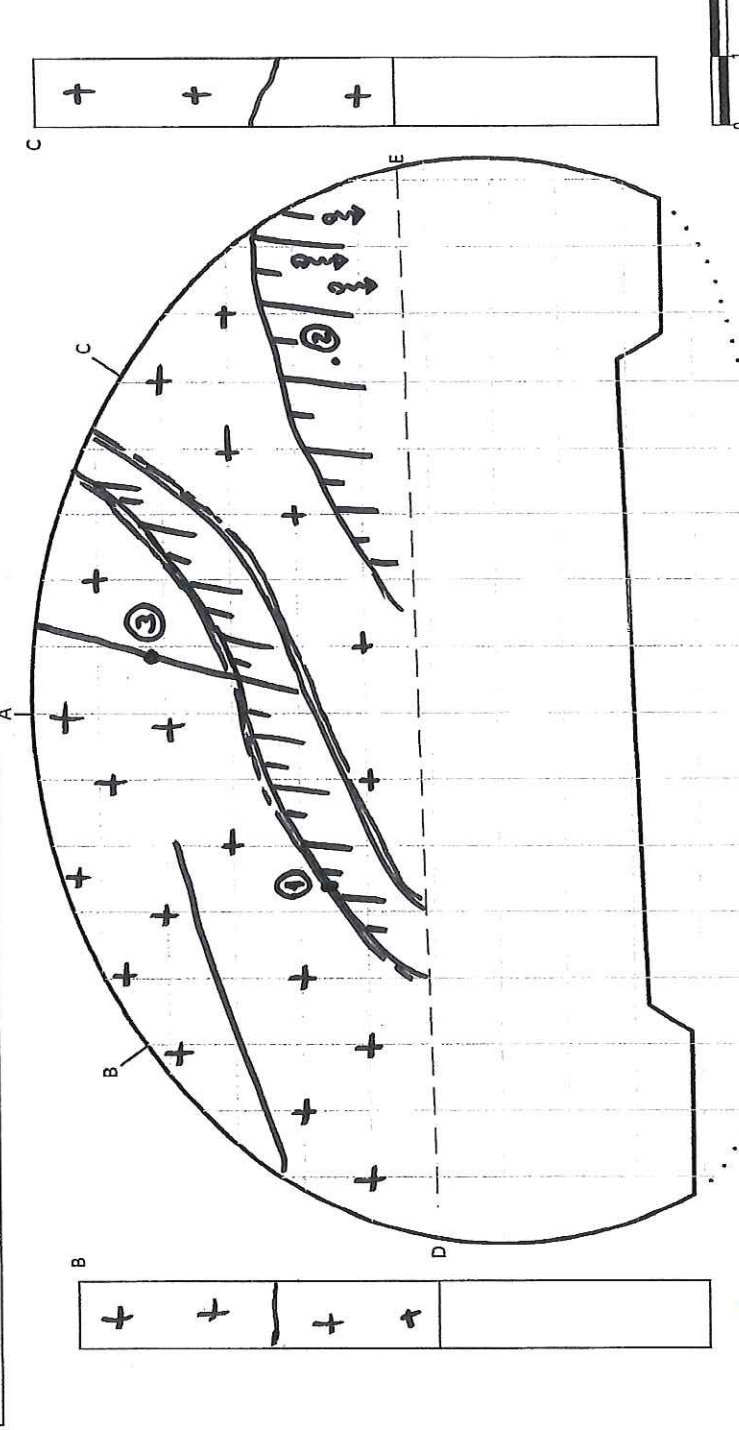
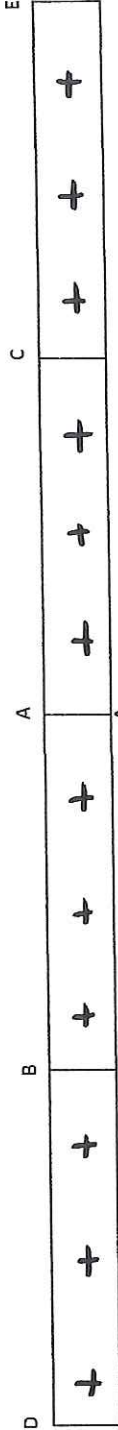
Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
1 J1	60/050
2 SL	55/345
3 J2	75/110

F	J	SL	FR	SC	B	FI	Sh	Fo
Çatık	Kayma Düz.	Kirik	Şistozit	Tabakalama	Follasyon	Kesme	Kırılma	

YÜKLENİCİ

MÜŞAVİR



AYRANCI SİSİLER
Jeoloji Mühendisi
ÖZGÜR SİĞİT NO:15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açı :19°



AÇIKLAMA: Yeşilimsi - gri renkli metanorfitler devam ediyor.
Yeşilimsi ezilmiş malzemede serpankilezme gözlemlendi.
Sağ taban kısmında terleme şeklinde suyu rastlandı.

Km: 31 + 518,90

Round No: 551

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	İnkin Aralıklı	Dar Aralıklı
>200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 ml'lik kuantumdan geçen su / Genel durumu)

Yok	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk

Tamamen Kuru Nemli Islak Damlatma (Strat)

Yok	Nemli	Islak	Damlatma (Strat)	Su Akışı

AYRIŞMA DERECESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim eksi / Eğim yönü
1 SL	36/335
2 J1	70/205
3 SL	36/042
4 J2	65/085
5 SL	51/015
6 J3	82/115
7 SL	75/228
8 SL	75/210
9	
10	

YOKLENİCİ

MÜŞAVİR

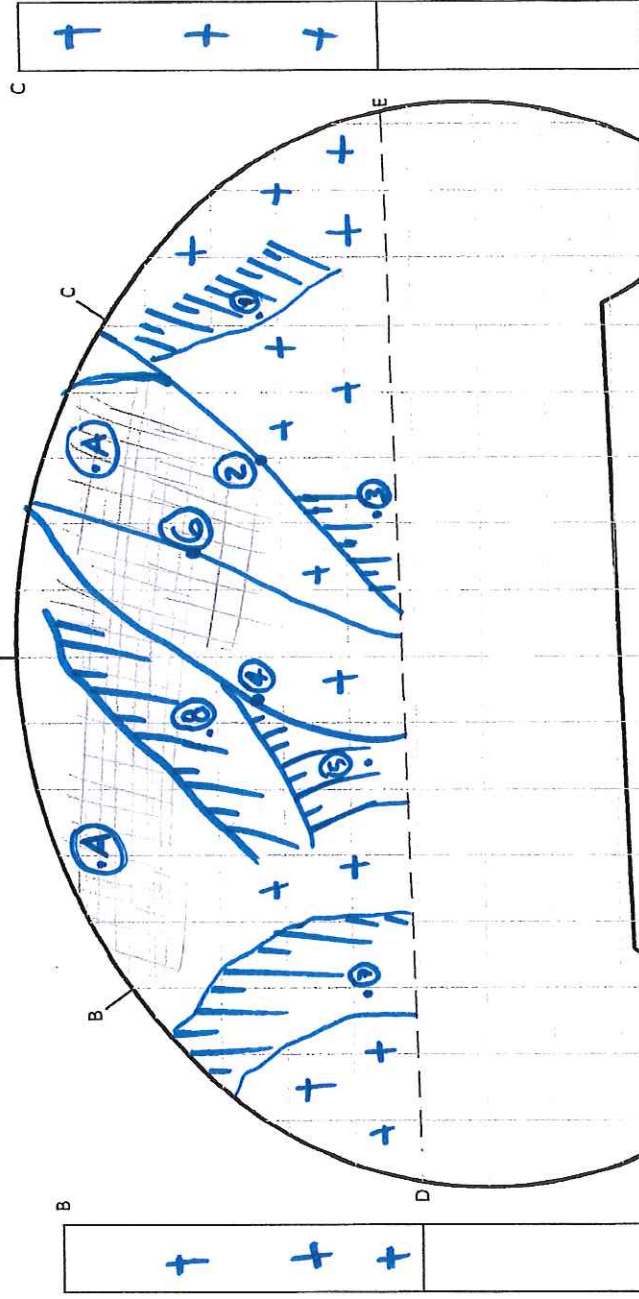
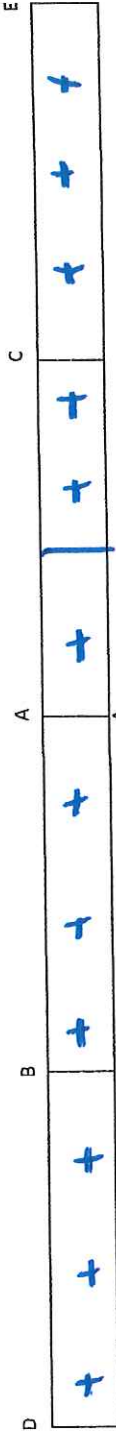
Aşırı Sökülme Yeri:

RMR Puanı:

Uygulanan Destek Sınıfı: C2

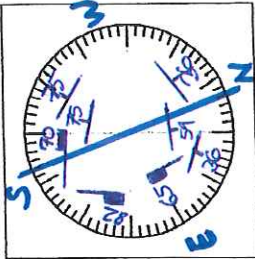
Tarih: 10.05.2013

Doküman No: 251



ATAKAN ÖZLER
Jeolojik Mühendisi
Çizim No: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°



AÇIKLAMA: Fesilmiş ve çok kırıklı yapı hakim.
Çerçevesizmeler devon ediliyor. Kırmızı renkli ollerayollar mevcut.

Km: 31 + 525,90

Round No: 558

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	<1 MPa
				1-5 MPa	

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK KÖŞÜLÜĞÜ (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm
	> 5 mm	< 5 mm
	> 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk

Tamamen Kuru Nemli İslak Demilama (Stajnt)

Yok	Nemli	İslak	Demilama (Stajnt)	Su Aktığı

AYRISMA DERESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

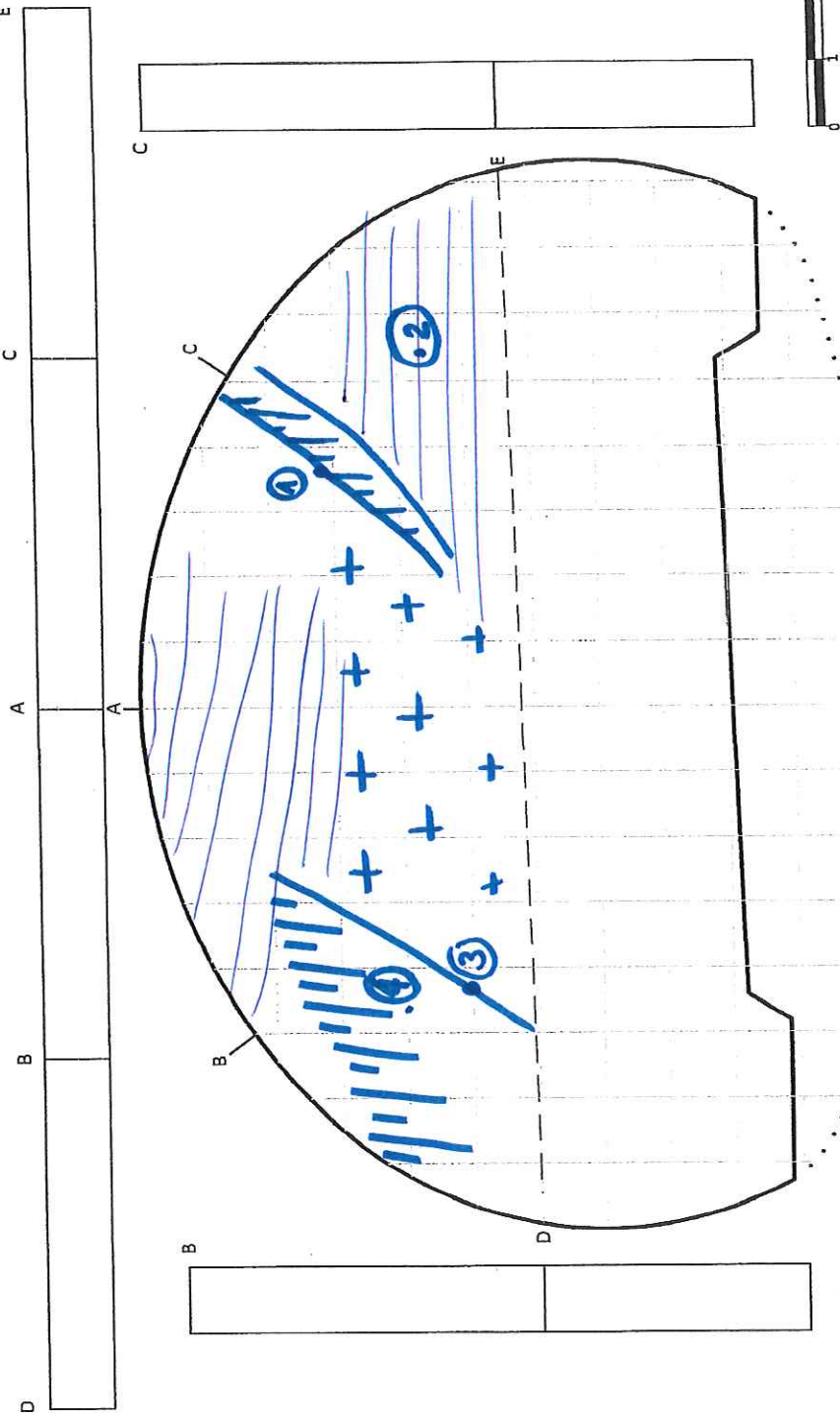
Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
1 J1	65 / 212
2 J2	55 / 008
3 J3	65 / 095
4 SL	91 / 352
5	
6	
7	
8	
9	
10	

YÜKLENİCİ

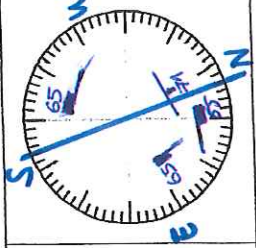
Yüklenici	Müşavir

Aşırı Sökülme Yeri: - RMR Puanı: 24 Uygulanan Destek Sınıfı: C2 Tarih: 14.03/2013 Doküman No: 253



ATAKÖK GÜLER
Jeolojî Mühendisi
Çizim No: 157007

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°



Jeol. renkli serpanfintmeler devreye giriyor. Malzeme çok erik ve yaprak yaprak, küçük parçalar halinde ayrılıyor.
Belirgin kırma ve deli altın parçalar mevcut.
Yüzeyler kırma ve deli dolgu.



T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTOYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ



Km: **31 + 539.40**

Round No: **561**

Aşırı Sökülme Yeri: **—** RMR Puanı: **24** Uygulanan Destek Sınıfı: **B3** Tarih: **16/05/2013** Doküman No: **254**

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Geniş Aralıklı	Dar Aralıklı
>200	60-200	20-60	<6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
<1	1-3	3-10	10-20

SÜREKSİZLİK YERİ (mm)

Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5
-----	------	-------	-----	----

Çok Pürüzlü Pürüzlü Az Pürüzlü Düz Kaygan

DOLGU

Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
<5 mm	>5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 ml'lik kısmından geçirilme / genel su durumu)

Yok	<10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk
-----	-----------	-------------	--------------	------------

Tamamen Kuru Nemli Islak Damlama (Sızıntı) Su Akışı

AYRIŞMA DEREJESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tüneliyle Ayrışmış
------------	-------------	---------------	--------------	--------------------

Süreksizlik Tipi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	F	J2	70 / 060	25 / 335	66 / 060				

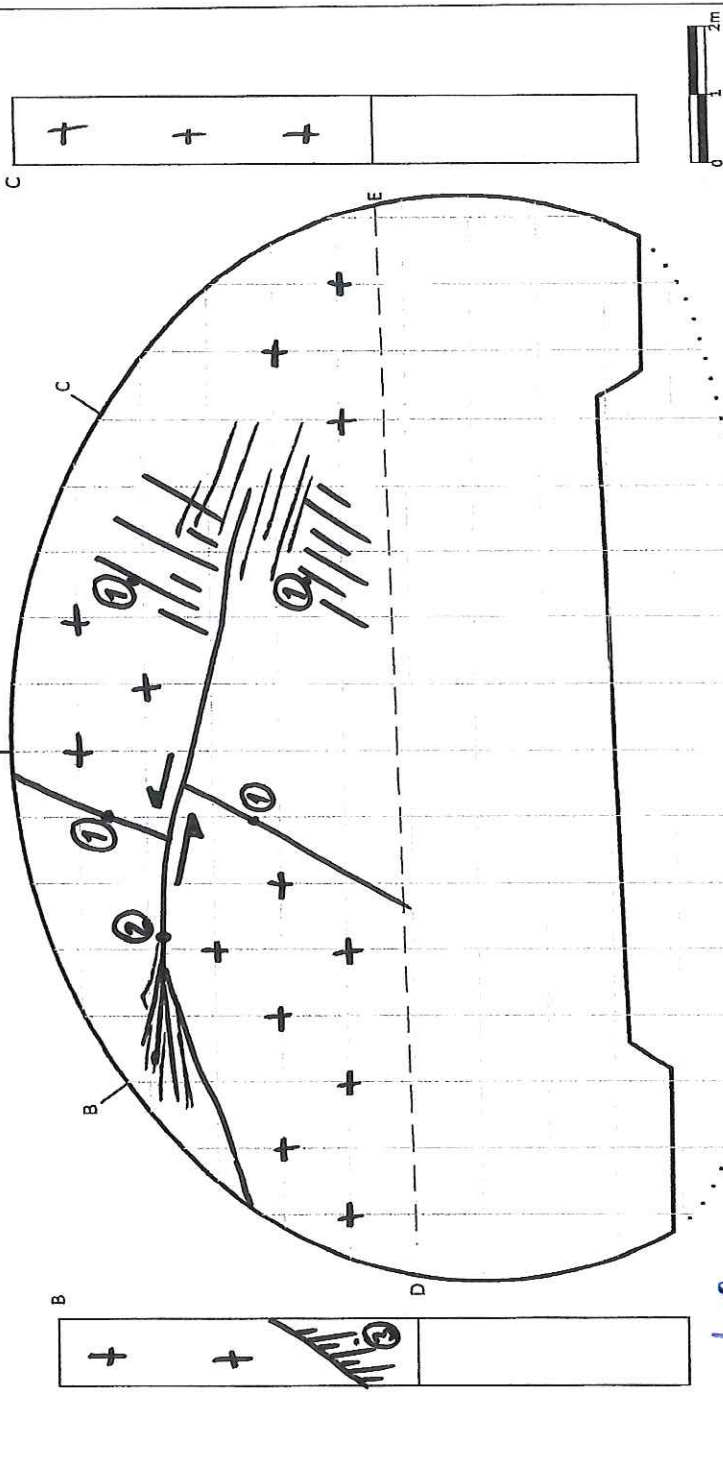
Eğim açısı / Eğim yönü

Tipi

Fay	Çatlak	Kayma Düz.	SL	FR	SC	Tabakalanma	B	Felasyon	Fl	Sh	Fo
-----	--------	------------	----	----	----	-------------	---	----------	----	----	----

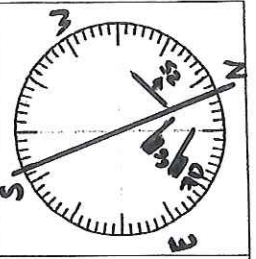
YÜKLENCİ

MÜŞAVİR



ATAKAY SÜREKİLİLER
Jeoloji Mühendisleri
Çizim: Özgür Siciil No: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: **19**°



AKIL ve sık ciftlikleri yeri deşeri elliyor. Sürüksüzle jübreyerinde FeO boyalı kırmızı renkli ve zane gözlemliyor.
İnce ve gri renkli kuru kılı çöğür sürüksüzle böğelerinde bulum olarak gözlemliyor.
Sığık - fışık renkli iz birakıyor

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	<5 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	İnkin Aralıklı	Dar Aralıklı
>200	60-200	20-60	6-20	<6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
<1	1-3	3-10	10-20	>20

SÜREKSİZLİK KACIKLIĞI (mm)

Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5
-----	------	-------	-----	----

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan
-------------	---------	------------	-----	--------

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	<5 mm	>5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel durumu)

Yok	<10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk
-----	-----------	-------------	--------------	------------

Tamamen Kuru

Yok	İslik	Damlama (Stant)	Su Akışı
-----	-------	-----------------	----------

AYRISMA DERESESİ

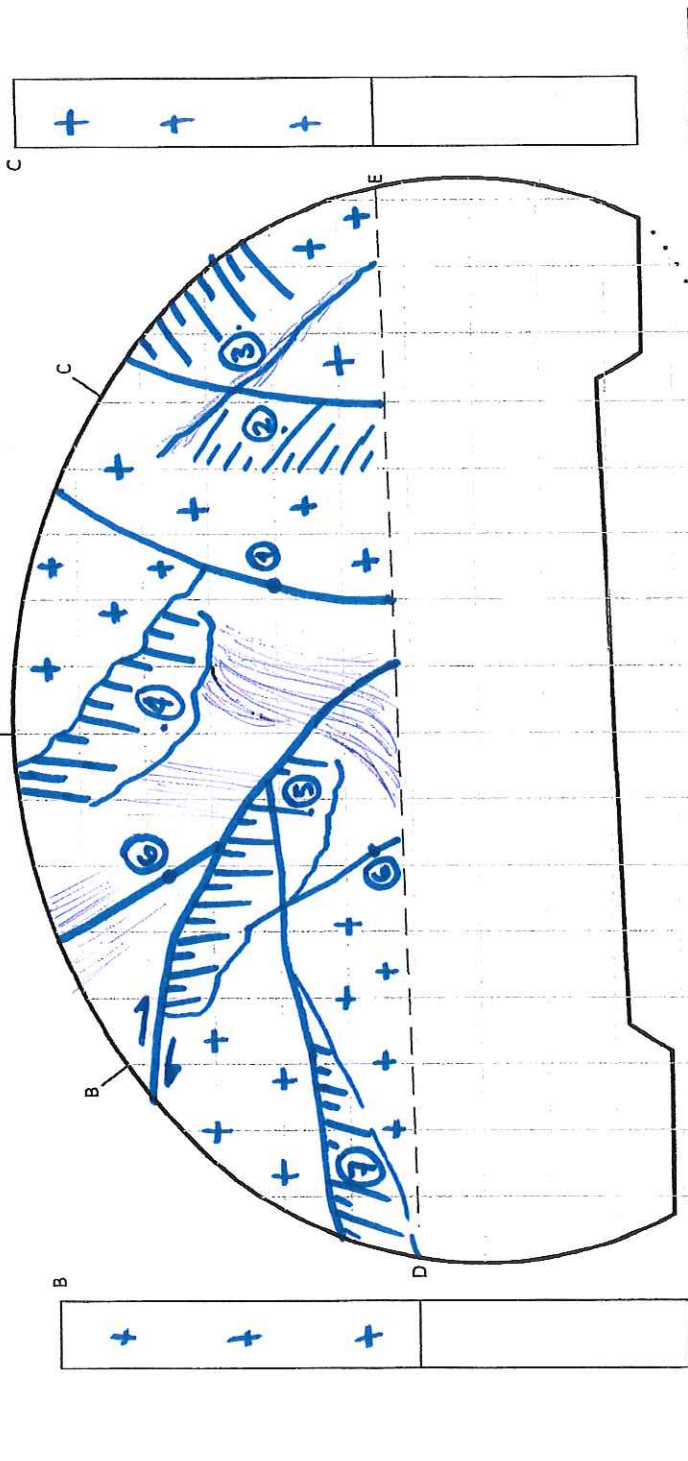
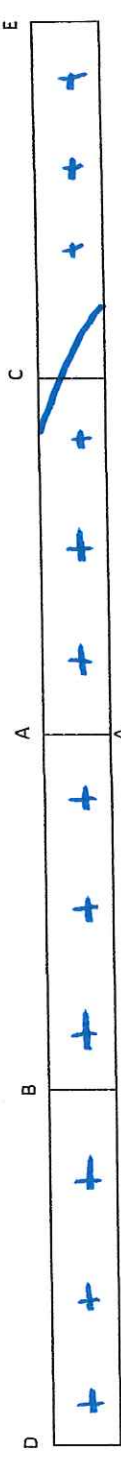
Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış
------------	-------------	---------------	--------------	------------------

Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
1 J1	70 / 056
2 SL	58 / 357
3 SL	79 / 058
4 SL	36 / 235
5 F	51 / 336
6 J2	62 / 260
7 SL	60 / 025

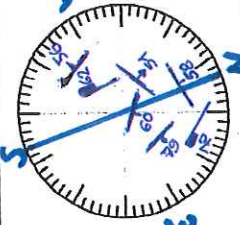
YÜKLENCİ

MÜŞAVİR



Atakan SÖZLER
Jeoloji Mühendisi
ÇİZİM NO: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°



Belirgin F20 boyutlu okyanuslar mevcut. Eksen ile sol tarafta oranda belirgin siltlenmeler gözlemlenmektedir. Giriş-kayma çiri belirli noktalardan itibaren devam etmektedir.

Km: 31 + 505,80

Round No: 476

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
>200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm

YERLİTİ SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk

TAMAMEN KURU

Yok	Nemli	Islak	Damlama (Şanti)	Su Aktığı

AYRISMA DERESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
1 J1	64/066
2 J2	50/222
3 J3	31/000
4 J4	69/060
5 J5	60/352
6 J6	57/176
7 J7	85/050
8 J8	68/010
9	
10	

YÜKLENİCİ

MÜŞAVİR

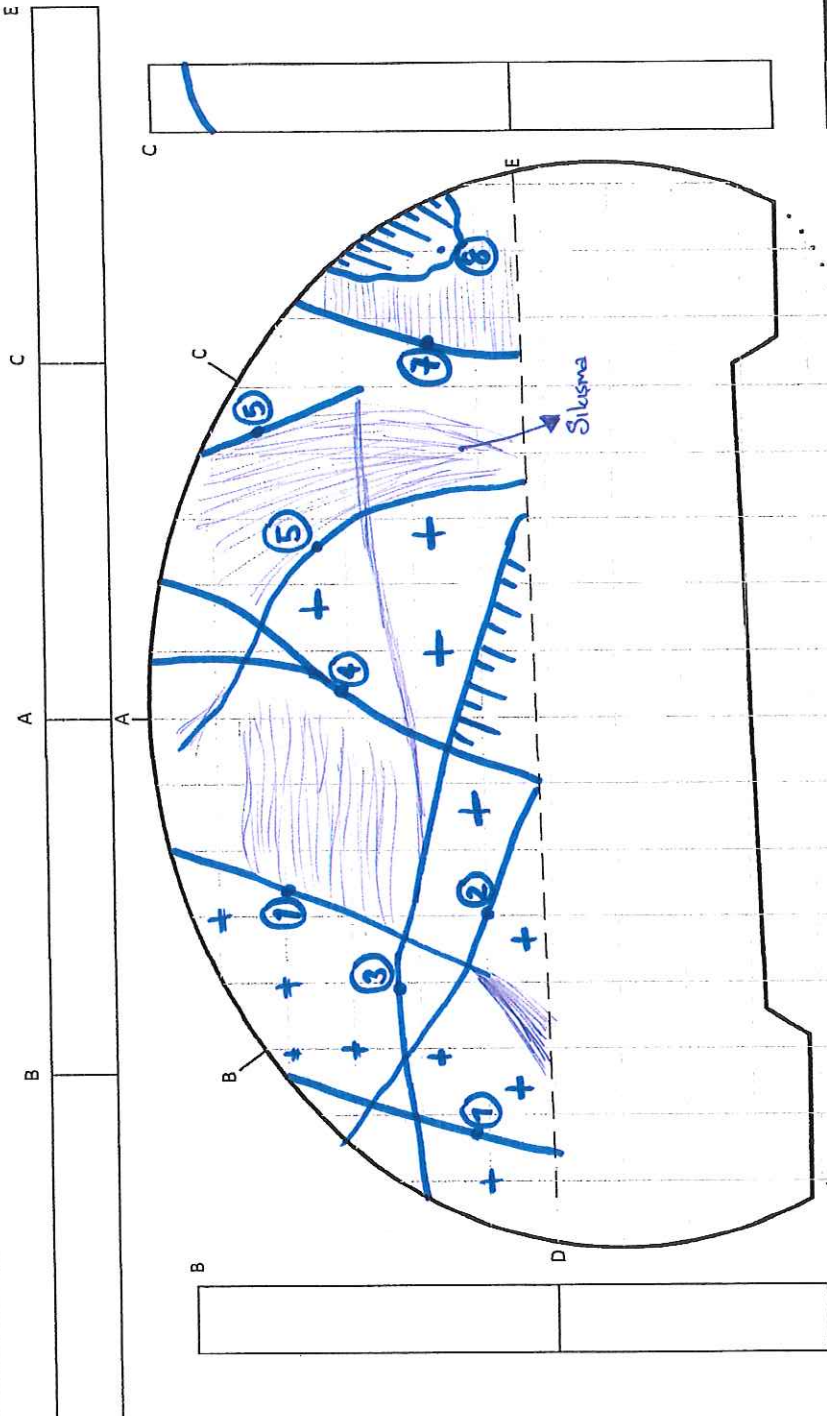
Doküman No: 190

Tarih: 01/07/2013

Uygulanan Destek Sınıfı: B3

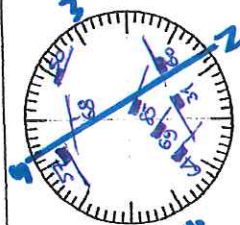
RMR Puanı: 24

Aşırı Sökülme Yeri: -



Araştırma SÜRELER
(jeolojisi Mühendisi)
ÖZGE SİCİL NO: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°



Eslenmiş ve sıkışmış olduğu gri renkli neokom tabakası ve sekizinci tabakası mevcuttur.
FeO banyo oksijenler bulunuyor. Değeri aslında -5th catta tabakası laminalı yapı sağ tarafta gösterildi.

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAC KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

Çok Pürüzlü / Pürüzlü / Az Pürüzlü / Düz / Kaygan

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DÜRÜMÜ (Tünelin 10 m'lik kesiminden gelen su / Genel su durumu)

Yok	Nemli	Islak	Damlama (Sarıntı)	Su Akışı
	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	> 25 lt/dk	> 125 lt/dk

AYRIŞMA DERECESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

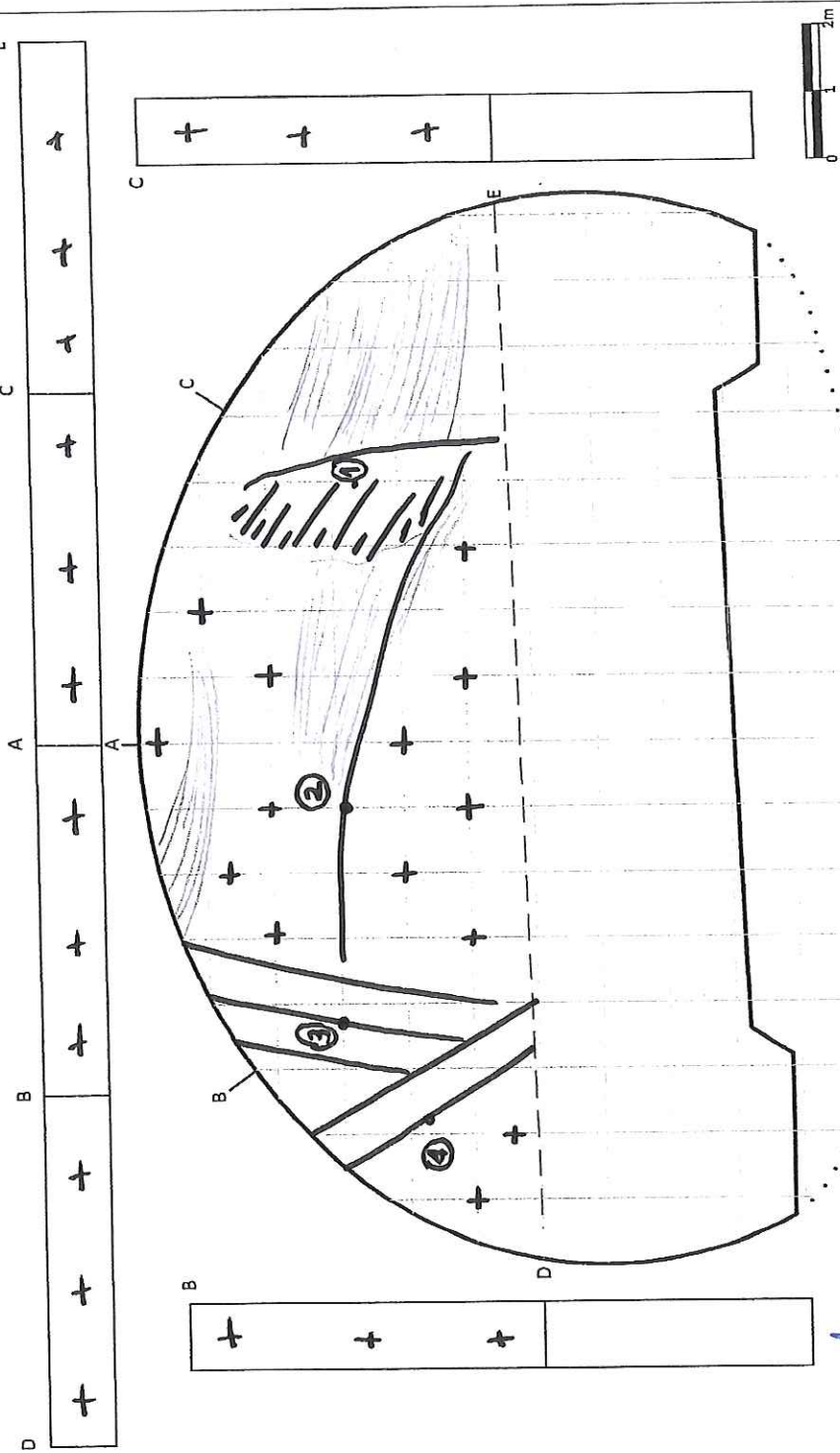
Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
1 SL	71/350
2 J1	25/356
3 J2	66/091
4 J3	51/245

Yüklenici

1	Fay
2	Çatlak
3	Kayma Düz.
4	Kirik
5	Sıkıştırma
6	Tabakalanma
7	Folyasyon
8	Kesme
9	Kvrılma
10	Fo

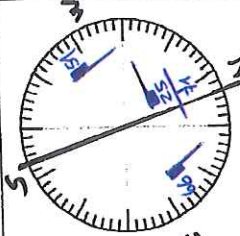
MUŞAVİR

YÜKLENİCİ	MUŞAVİR
-----------	---------



Atakan SÜLER
Jeoloji Mühendisi
Oda Sicil No: 13700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°



Giriş zemline netokunulması.
Ayrıca genelde siltinonu bula sığıgı gözlemlendi. Bu sebeple kumunda aşırı gözlemlendi.

Km: 31 + 513.30

Round No: 481

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ ROD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Par Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLIĞI) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	Nemli	Islak	Damlama (Sızıntı)	Su Akışı
	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	> 125 lt/dk

TAMAMEN KURU

Yok	Nemli	Islak	Damlama (Sızıntı)	Su Akışı
	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	> 125 lt/dk

AYRIŞMA DERECESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

Tipi	Fay	Çatlak	Kayma Düz.	SL	SR	FR	SC	B	Sh	Sh	Fo
1	J1	65/245									
2	SL	49/005									
3	SL	45/325									
4	J2	23/350									
5	J3	48/220									
6	SL	78/280									
7	J4	75/075									

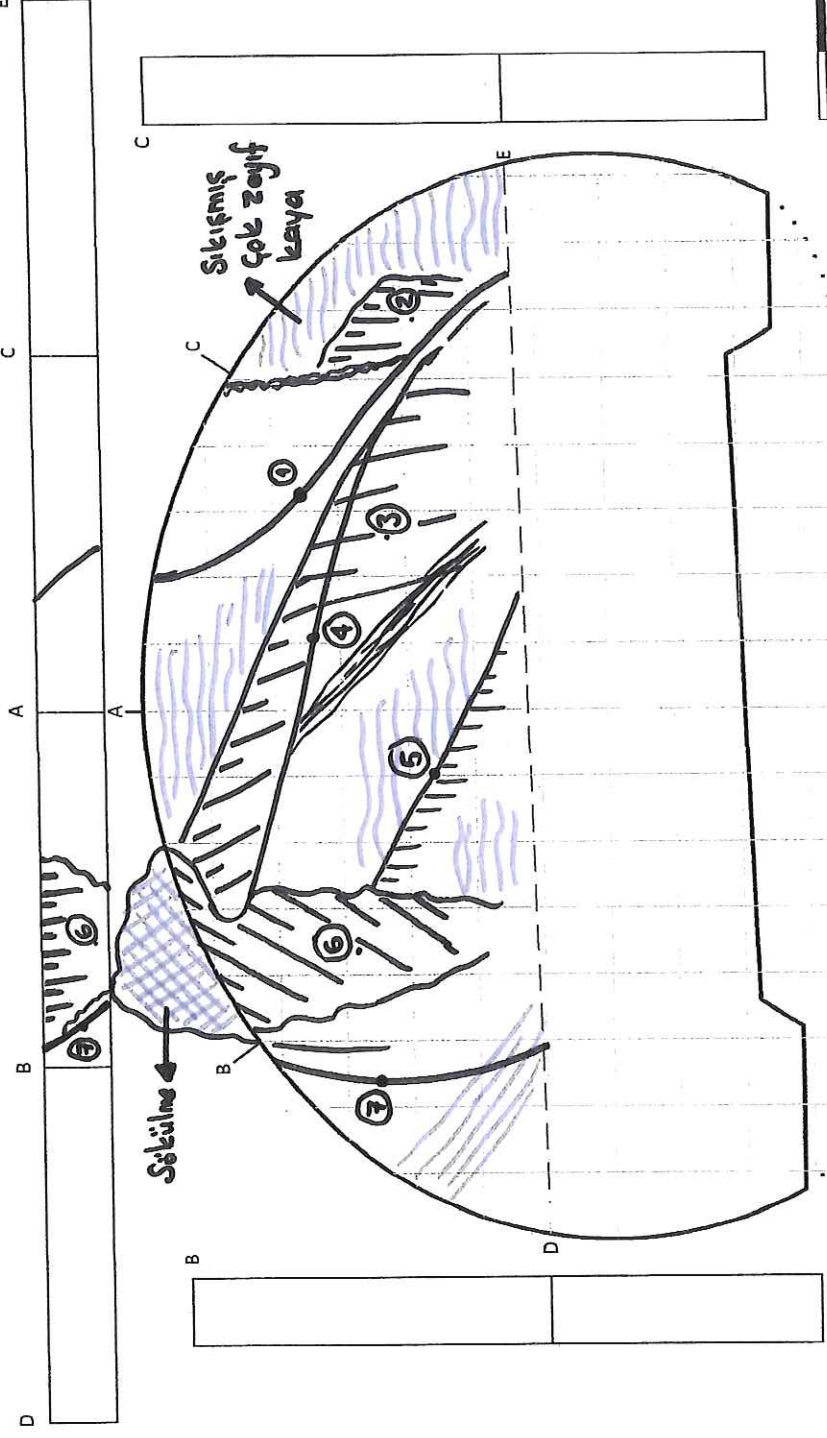
Eğim açısı / Eğim yönü

Tipi	Fay	Çatlak	Kayma Düz.	SL	SR	FR	SC	B	Sh	Sh	Fo
1	J1	65/245									
2	SL	49/005									
3	SL	45/325									
4	J2	23/350									
5	J3	48/220									
6	SL	78/280									
7	J4	75/075									

YÜKLENİCİ

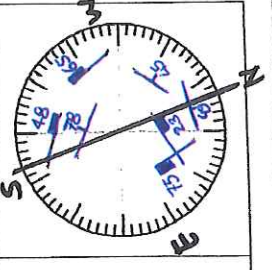
Yüklenici	Müşavir

Aşırı Sökülme Yeri: B-A RMR Puanı: 22 Uygulanan Destek Sınıfı: B3 Tarih: 03/07/2013 Doküman No: 192



Arakın Süher
Jeoloji Mühendisi
Ödemiş SİCİT NO: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°



SIĞIRMALORDA BELİRGİN AÇIŞI GÖZLENDİ. METAMORFİZMLERDE YERLEŞİMİNİN NERELERDE VE 2 NOLU İNJEKSİYONLARIN ARAZİNDE KİLİMLERİN VAR. SİLİMLERDE (B-A), 6-7 NOLU İNJEKSİYONLARIN KESTİRİLMESİNE BAĞLI SİĞİRMALORDA YERLEŞİMİNİN...

Km: 31 + 516,30

Round No: 483

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	<5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
>200	60-200	20-60	6-20	<6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
<1	1-3	3-10	10-20	>20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
Yok	Yok

YERALTI SUYU DÜZELTİMİ (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	<10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk

Tamamen kuru

Nemli	Islak	Damlama (Sızıntı)	Su Akışı

AYRIŞMA DERECESESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
1 SL	62 / 190
2 J1	75 / 048
3 J2	63 / 315
4 J3	75 / 220
5	
6	
7	
8	
9	
10	

YÜKLENİCİ

MÜŞAVİR

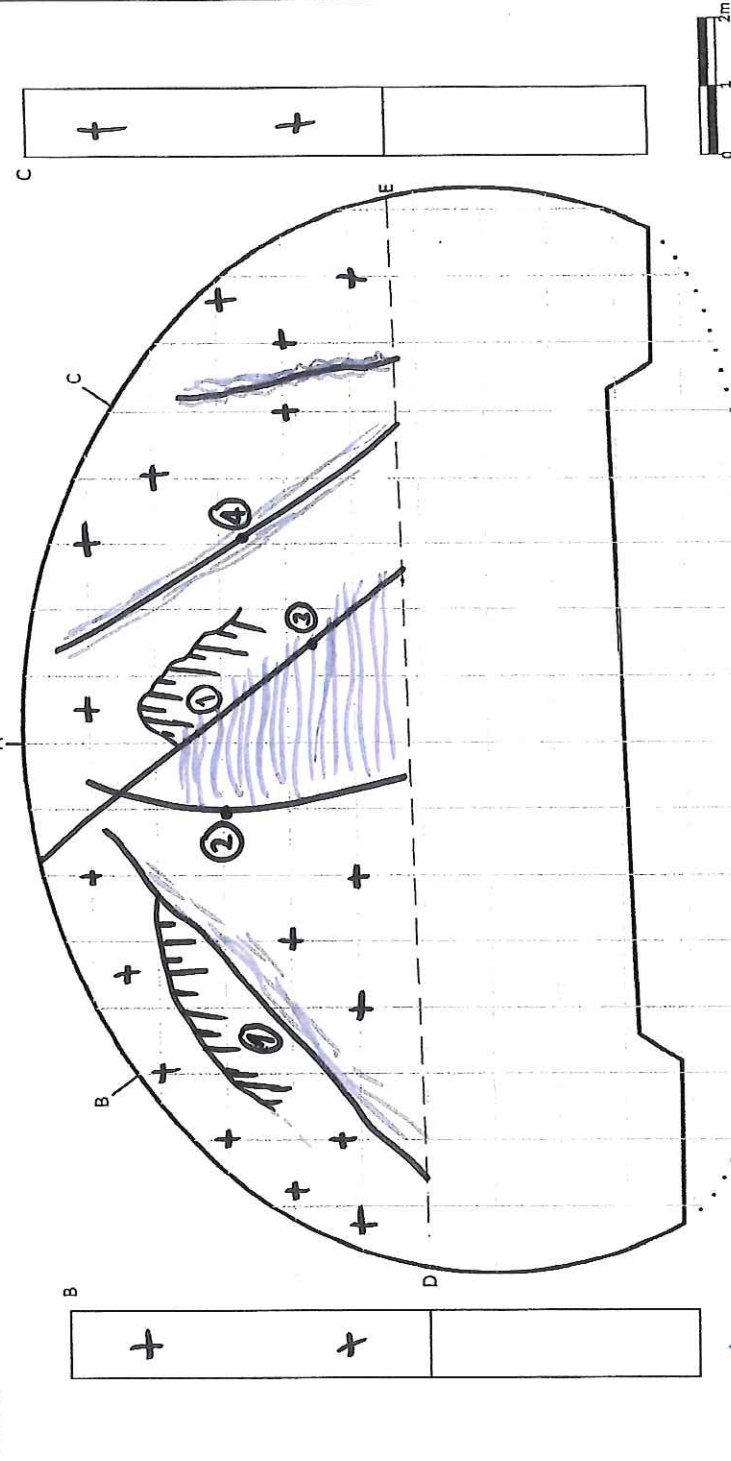
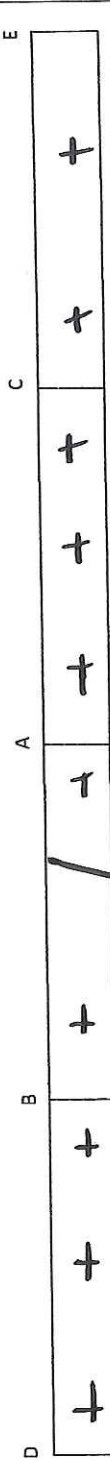
Aşırı Sökülme Yeri: -

RMR Puanı: 24

Uygulanan Destek Sınıfı: B3

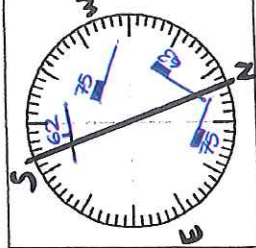
Tarih: 04/07/2013

Doküman No: 193



ATAKAR SÖZLER
Jeoloji Mühendisi
Çizim No: SİCİT/NO:13700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°



AÇIKLAMA:

Eni - ocak giri zeminli metaniferiklerde bulunabilir mevcuttur.
Düzensiz zeminin ortasında slama izleri görülmüştür. Dar aralıklı fakülte kusurlarında
çok faylar bulunmuştur.

Km: 31 + 523,80

Round No: 488

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK KALINLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm
	> 5 mm	< 5 mm
	> 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	< 10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk

Tamamen Kuru

Nemli	Islak	Damlama (Sant)	Su Akışı

AYRIŞMA DEREJESİ

Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

Tipi	Fay	Çatlak	Kayma Düz.	SL	FR	SC	Tabakalanma	B	Folyasyon	Fi	Sh	Fo
1	J ₁	55/242										
2	SL	80/044										
3	SL	60/205										
4	J ₂	70/064										
5												
6												
7												
8												
9												
10												

YÜKLENİCİ

MÜŞAVİR

Doküman No: 194

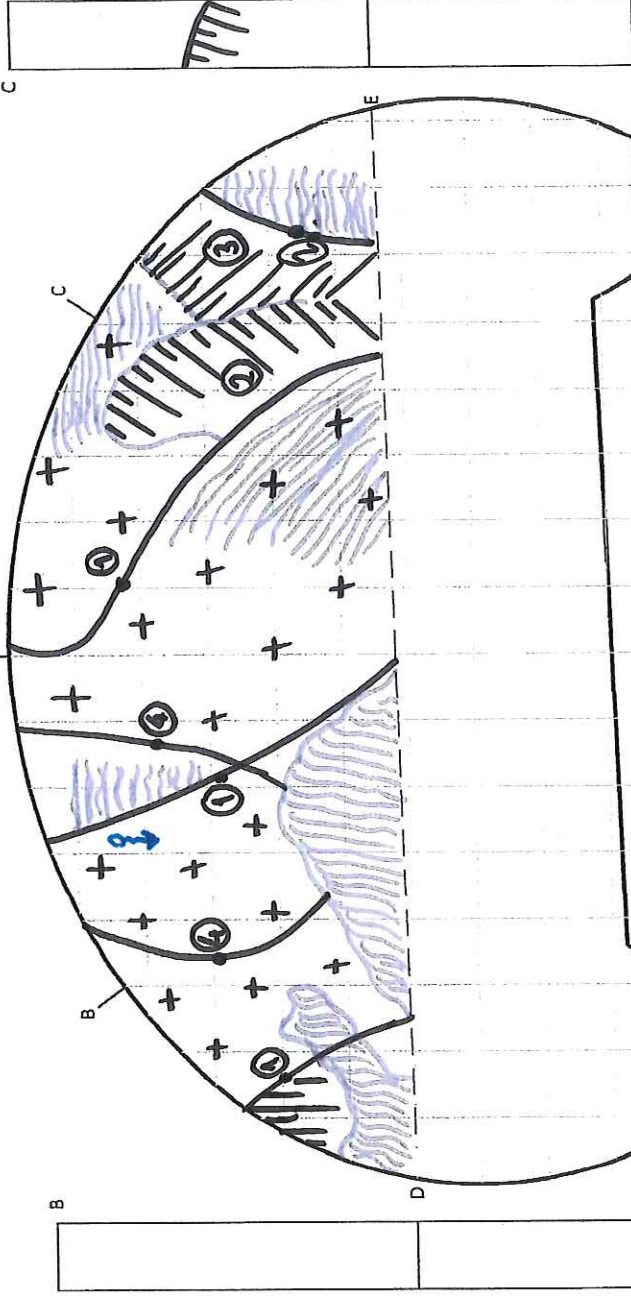
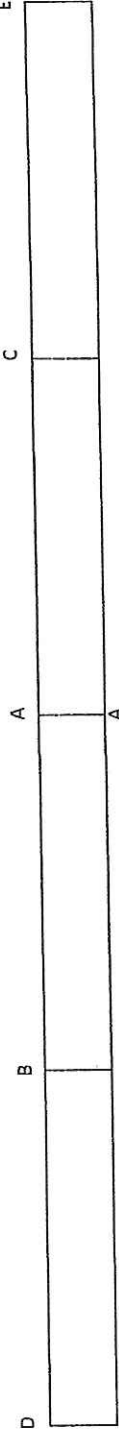
Tarih: 06/07/2013

Uygulanan Destek Sınıfı: B3

RMR Puanı: 23

Aşırı Sökülme Yeri: -

T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTOYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ



ATAKAKOŞULLER
Jeoloji Mühendisi
Gözetim No: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açısı: 19°

AÇIKLAMA:

Aynı gün geneli FeO bağları altına geçiyorken kapalı
Ook silurmuş ve çok zayıf metalenmişler mevcuttur
Ayrıca nem oranında artış bekleniyor.



T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ

YUKSEL PROJE

emay

CHOPAI CO. LTD.
A.Ş. HİS. GENEL MÜD. YOLUNCA, ÜNİ. B. KAVRIZLI

Km: 31 + 526,80

Round No: 490

Aşırı Sökülme Yeri: -

RMR Puanı: 27

Uygulanan Destek Sınıfı: B3

Tarih: 07/07/2013

Doküman No: 195

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYAÇIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	1-5 MPa	<1 MPa

KAYAÇ KALİTESİ, RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	İnkin Aralıklı	Dar Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tümün 10 ml'lik kumdan geçen su / Genel durumu)

Yok	< 10 lt/ek	10-25 lt/ek	25-125 lt/ek	>125 lt/ek

Tamamen Kuru

Nemli	İslak	Damlama (Stant)	Su Akışı

AYRISMA DERESESİ

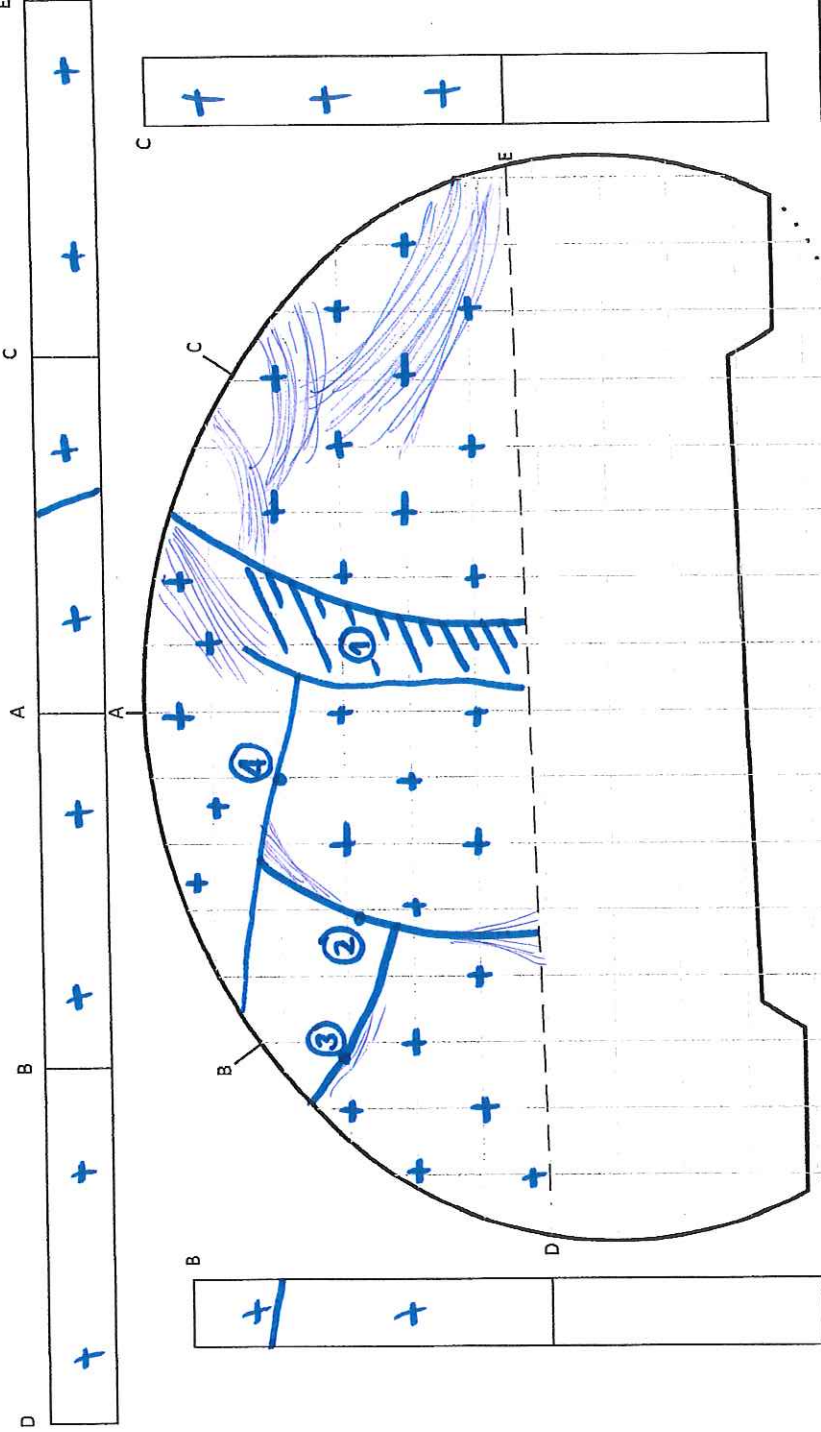
Ayrışmamış	Az Ayrışmış	Orta Ayrışmış	Çok Ayrışmış	Tümüyle Ayrışmış

Süreksizlik Tipi

Tipi	Fay	Çatlak	Kayma Düz.	SL	FR	SK	SC	B	Fl	Sh	Fo
1	SL	69/054									
2	J ₁	79/026									
3	J ₂	68/208									
4	J ₃	26/195									
5											
6											
7											
8											
9											
10											

YÜKLENCİ

MÜŞAVİR



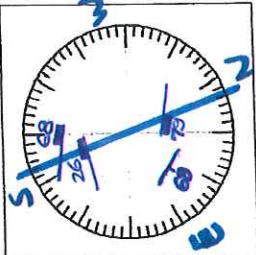
Atakan SÖZÜLER

Jeoloji Mühendisi

Çizim: 07/07/2013

ŞİŞİT NO: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açı: 19°



Yerleşimi gri-gri renkli metalumbrella.
Çğ tarafta kıvrımlarlar gözlemlendi. Sırasıyla yüzeyleri F20 boyalı.



T.C. ULAŞTIRMA DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KAMU-ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
GEBZE-ORHANGAZI-İZMİR (İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ BAĞLANTI YOLLARI DAHİL)
OTYOLU YAP İŞLET DEVRET PROJESİ

Km: 31 + 531,30 Round No: 493

GİRİŞ ÇIKIŞ SOL TÜP SAĞ TÜP

SAĞLAM KAYACIN DAYANIMI

Aşırı Sağlam	Çok Sağlam	Orta Sağlam	Zayıf	Çok Zayıf	Aşırı Zayıf
>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	<1 MPa

KAYAC KALİTESİ RQD (%)

Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
90-100	75-90	50-75	25-50	0-25

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (cm)

Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
> 200	60-200	20-60	6-20	< 6

SÜREKSİZLİK UZUNLUĞU (DEVAMLILIK) (m)

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
< 1	1-3	3-10	10-20	> 20

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI (mm)

Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5

PÜRÜZLÜLÜK

Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan

DOLGU

Yok	Sert Dolgu	Yumuşak Dolgu
	< 5 mm	> 5 mm

YERALTI SUYU DURUMU (Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su / Genel su durumu)

Yok	10 lt/dk	10-25 lt/dk	25-125 lt/dk	> 125 lt/dk

Tamamen Kuru

Mümkün	Islak	Domlama (Sızıntı)	Su Akışı

AYRISMA DERESESİ

Ayrılmamış	Az Ayrılmış	Orta Ayrılmış	Çok Ayrılmış	Tümüyle Ayrılmış

Süreksizlik Tipi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SL	J1	J2	J3	SL	J4				

Tipi	Eğim açısı / Eğim yönü
Fay	
Çatık	
Kayma Düz.	
Kirik	
Şiştoite	
Tabakalanma	
Foliasyon	
Kesme	
Kvrılma	

59 / 044
50 / 020
65 / 345
82 / 042
80 / 000
64 / 230

YÜKLENİCİ

MÜŞAVİR

YOKSEL PROJE

AEMAY

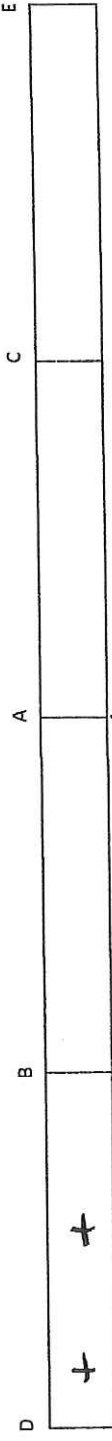
CHODAI CO., LTD.

Doküman No: 196

Tarih: 08.07.2013

RMR Puanı: 27

Uygulanan Destek Sınıfı: B3



C

E

A

B

D

E

A

B

C

D

E

A

B

C

D

E

A

B

C

D

E

A

B

C

D

E

A

B

C

D

E

A

B

C

D

E

Atakan SÖLER

Jeolojî Mühendisi

Çizim: 15700

Ödöl Sicil No: 15700

Çizim: 15700

Ödöl Sicil No: 15700

Çizim: 15700

Ödöl Sicil No: 15700

Çizim: 15700

Ödöl Sicil No: 15700

Çizim: 15700

Ödöl Sicil No: 15700

Tünel ekseninin N ile yaptığı açı :19°

0

1

2

3

4

5

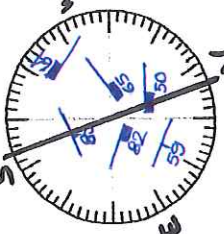
6

7

8

9

10



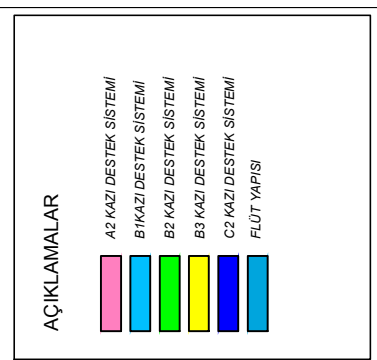
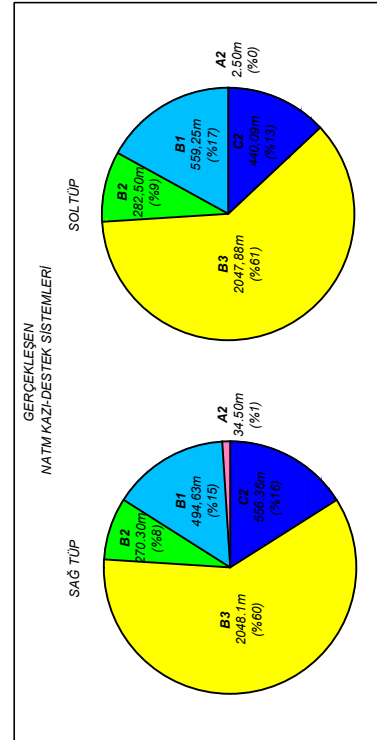
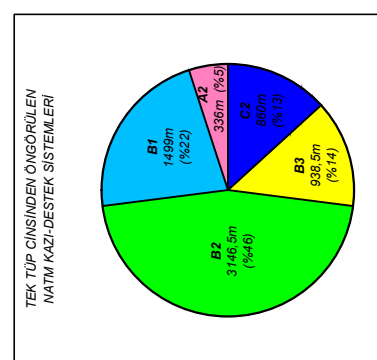
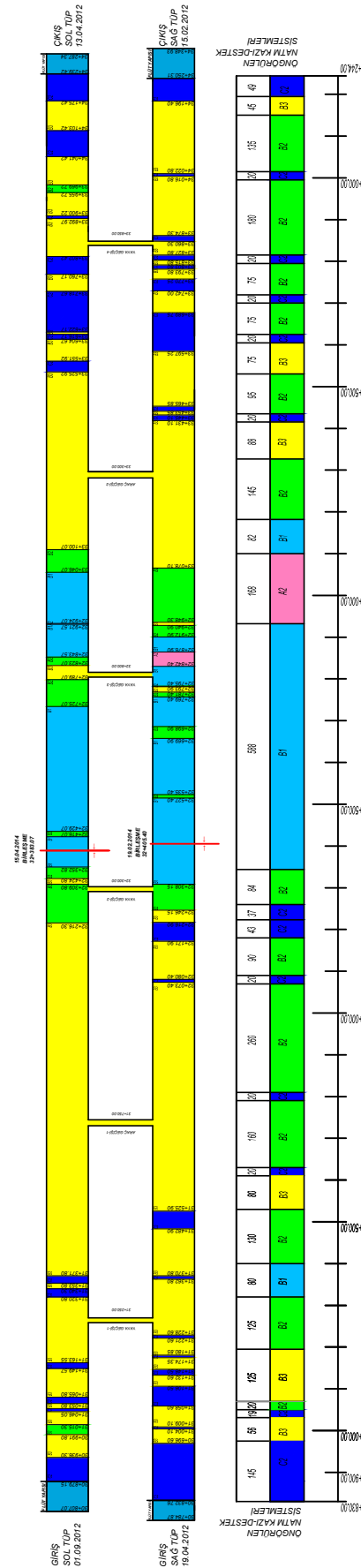
belirginde yerel-pri. nebrerfeler ilk cettoldu olarak gzeteldi. Okunmolsada
ince, kavru kut deparlar nevent.

Ek-4 Taban kotu jeoloji haritası



Ek-5 Samanlı (Orhangazi) Tüneli'ndeki kazı ve destek sistemlerinin şematik kesiti ile ön görülen ve gerçekleşen değerlerine ait grafikler

SAMANLI TÜNELİ NATM KAZI-DESTEK SİSTEMLERİ ŞUBAT 2012 - NİSAN 2014



Ek-6 Araştırma delgisi formları

Tünel Adı	GİRİŞ SAĞ TÜP	Açıklama: Delgi Atlas Copco L2C Jumbo ile yapılmış; değerlendirmede ilerleme hızı, delgi suyunun rengi ve sediman dikkate alınmıştır.
Lokasyon	ÜST YARI	
Delgi No	GRT-41	
Delgi Çapı	51,00 mm (İbo bit)	
Delgi Uzunluğu	20,5	
Başlangıç Km	31+493,90	
Bitiş Km	31+514,40	
Delgi Tarihi	17.04.2013	

Delgi boyu (m)	Tünel km	Jeolojik Profil	Açıklama	Araştırma Delgisi Konumu	
0	31+493,90		Gri çamur kıvamlı sondaj suyu, gri kil. Delgi hızı: 1.0 m/dk		
1	31+497,90		Takılmalar yaşandı! Gri sondaj suyu, renkte ara ara koyulaşma var, delgide yavaşlama. Delgi hızı: 0.8 m/dk		
2	31+501,90		Gri-koyu gri çamur kıvamlı sondaj suyu, gri kil. Delgi hızı: 0.7 m/dk		
3	31+508,90		Koyu gri sondaj suyu, gri kil. Delgi hızı: 0.8 m/dk		
4	31+512,40		Gri sondaj suyu çamur kıvamlı, gri kil, gri sediman.		
5	31+514,40		Delgi Sonu		

ALT YÜKLENİCİ

Celal GÜNEY
Jeoloji Mühendisi

MÜTEAHHİT

Metin ÇULFAZ
Jeoloji Mühendisi

Tünel Adı	GİRİŞ SAĞ TÜP	Açıklama: Delgi Atlas Copco L2C Jumbo ile yapılmış; değerlendirmede ilerleme hızı, delgi suyunun rengi ve sediman dikkate alınmıştır.
Lokasyon	ÜST YARI	
Delgi No	GRT-42	
Delgi Çapı	51,00 mm	
Delgi Uzunluğu	18,5	
Başlangıç Km	31+507,90	
Bitiş Km	31+526,40	
Delgi Tarihi	04.05.2013	

Delgi boyu (m)	Tünel km	Jeolojik Profil	Açıklama	Araştırma Delgisi Konumu
0	31+507,90		Açık gri beyazımsı sondaj suyu, yeşilimsi gri renkli ince-orta kırıntılı sediman, kille beraber gelen sediman. Delgi hızı: 1.0 m/dk	
1			Aynaya verilen su delginin dışından yayılarak geliyor!	
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10			Delgi hızı: 2.0 m/dk	
11	31+519,90		Kırmızı-bej renkli sondaj suyu.	
12	31+520,90		Gri sondaj suyu, gri ince sedimanlar az killi.	
13				
14				
15				
16	31+523,90		Kırmızı sondaj suyu sonradan beje dönüyor. Gri ince-orta sediman.	
17				
18				
19	31+526,40		Delgi hızı: 1.33 m/dk	
20			Takımlar sıkıştı, sondaj suyu kesildi, delgi sona erdi!	
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

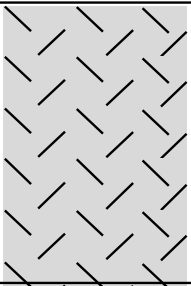
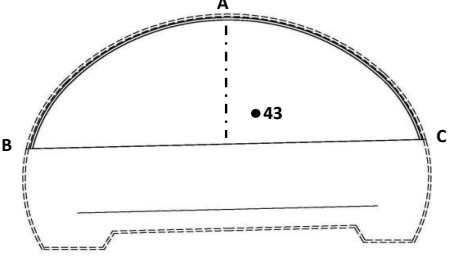
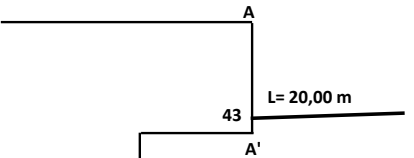
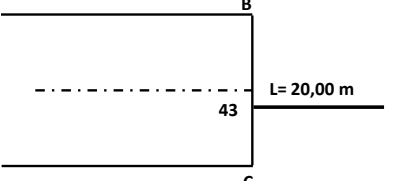
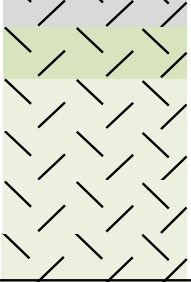


ALT YÜKLENİCİ

Celal GÜNEY
Jeoloji Mühendisi

MÜTEAHHİT

Metin ÇULFAZ
Jeoloji Mühendisi

Tünel Adı	GİRİŞ SAĞ TÜP	Açıklama: Delgi Atlas Copco L2C Jumbo ile yapılmış; değerlendirmede ilerleme hızı, delgi suyunun rengi ve sediman dikkate alınmıştır.
Lokasyon	ÜST YARI	
Delgi No	GRT-43	
Delgi Çapı	51,00 mm	
Delgi Uzunluğu	20,00 m	
Başlangıç Km	31+516,90	
Bitiş Km	31+536,90	
Delgi Tarihi	09.05.2013	

Delgi boyu (m)	Tünel km	Jeolojik Profil	Açıklama	Araştırma Delgisi Konumu
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	31+516,90		Gri-açık gri sondaj suyu, gri yeşil ince taneli, ezilen sedimanlar. Delgi hızı: 1.20 m/dk	 En kesit  Boy kesit  Plan görünüş
	31+524,90		Yeşilimsi gri sondaj suyu, yeşil-gri ince sedimanlar. Takılmalar yaşandı! Delgi hızı: 1.0 m/dk	
	31+532,90		Açık gri-beyazımsı sondaj suyu, gri-yeşil ince sedimanlar.	
	31+536,90		Jumbo rotasyon arızasından delgi sona erdi.	

ALT YÜKLENİCİ

Celal GÜNEY
Jeoloji Mühendisi

MÜTEAHHİT

Metin ÇULFAZ
Jeoloji Mühendisi

Tünel Adı	GİRİŞ SOL TÜP	Açıklama: Delgi Atlas Copco L2C Jumbo ile yapılmış; değerlendirmede ilerleme hızı, delgi suyunun rengi ve sediman dikkate alınmıştır.
Lokasyon	ÜST YARI	
Delgi No	GLT-33	
Delgi Çapı	51,00 mm	
Delgi Uzunluğu	30,00 m	
Başlangıç Km	31+474,30	
Bitiş Km	31+504,30	
Delgi Tarihi	21.06.2013	

Delgi boyu (m)	Tünel km	Jeolojik Profil	Açıklama	Araştırma Delgisi Konumu
0	31+474,30		Gri-bej çamur kıvamlı sondaj suyu, gri-yeşil ince-orta sediman gri kille beraber geliyor. Delgi hızı: 2.6 m/dk	<p>En kesit</p>
1				
2				
3				
4				
5	31+482,30		Bej-gri sondaj suyu, gri-kahverengi kaba kırıntılı sedimanlar az kille beraber geliyor. Delgi hızı: 1.14 m/dk	<p>Boy kesit</p>
6				
7				
8				
9				
10	31+486,30		Gri-bej sondaj suyu, gri-yeşil renkli ince- kaba kırıntılı sediman, az miktarda çok ince sediman, az miktarda kil geliyor. Delgi hızı: 0.8 m/dk	<p>Plan görünüş</p>
11				
12				
13				
14				
15	31+490,30		Kahvemsi bej çamur kıvamlı sondaj suyu, gri-yeşil çok ince sediman suyla eriyor, orta sediman. Delgide yavaşlama. Delgi hızı: 0.5 m/dk	
16				
17				
18				
19				
20	31+497,30		Kahvemsi bej sondaj suyu, gri-yeşil ince-orta sedimanlar, çok az kille geliyor.	
21				
22				
23				
24				
25	31+504,30			
26				
27				
28				
29				
30				

ALT YÜKLENİCİ

Celal GÜNEY
Jeoloji Mühendisi

MÜTEAHHİT

Metin ÇULFAZ
Jeoloji Mühendisi

Tünel Adı	GİRİŞ SOL TÜP	Açıklama: Delgi Atlas Copco L2C Jumbo ile yapılmış, değerlendirilmede ilerleme hızı, delgi suyunun rengi ve sediman dikkate alınmıştır.
Lokasyon	ÜST YARI	
Delgi No	GLT-34	
Delgi Çapı	51,00 mm	
Delgi Uzunluğu	30,00 m	
Başlangıç Km	31+498,30	
Bitiş Km	31+528,30	
Delgi Tarihi	29.06.2013	

Delgi boyu (m)	Tünel km	Jeolojik Profil	Açıklama	Araştırma Delgisi Konumu
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	31+498,30		Kahverengi-bej renkli sondaj suyu, az killi gri-koyu gri renkli ince-orta sediman. Delgi hızı: 1.5 m/dk Aralarda kırmızı sondaj suyu.	
	31+508,30		Kahvemsî bej çamur kıvamlı sondaj suyu, gri yeşil ince sedimanlar, orta kırıntılı sediman azkilli geliyor. Delgi hızı: 0.8 m/dk	
	31+514,30		Bej-kahverengi sondaj suyu, gri-koyu gri ince-orta sediman. Gri renkli kille beraber geliyor. Delgi hızı: 0.5 m/dk	
	31+521,30		Kahvemsî bej sondaj suyu, gri-yeşil ince-orta sedimanlar, çok az kille geliyor.	
	31+528,30		Kahverengi-bej renkli sondaj suyu, az killi gri-koyu gri renkli ince-orta sediman. Delgi hızı: 1.5 m/dk Aralarda kırmızı sondaj suyu.	

ALT YÜKLENİCİ

Celal GÜNEY
Jeoloji Mühendisi

MÜTEAHHİT

Metin ÇULFAZ
Jeoloji Mühendisi

Tünel Adı	GİRİŞ SOL TÜP	Açıklama: Delgi Atlas Copco L2C Jumbo ile yapılmış; değerlendirmede ilerleme hızı, delgi suyunun rengi ve sediman dikkate alınmıştır.
Lokasyon	ÜST YARI	
Delgi No	GLT-35	
Delgi Çapı	51,00 mm	
Delgi Uzunluğu	28,00 m	
Başlangıç Km	31+516,30	
Bitiş Km	31+544,30	
Delgi Tarihi	04.07.2013	

Delgi boyu (m)	Tünel km	Jeolojik Profil	Açıklama	Araştırma Delgisi Konumu
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	31+516,30		Kahverengi-bej sondaj suyu, ara ara kırmızıya dönüyor. Gri-yeşil renkli ince-orta sedimanlar. Delgi hızı: 1.15 m/dk Aralarda kırmızı sondaj suyu.	
11 12 13 14 15	31+526,30		Bej-gri sondaj suyu, yeşil-gri ince-orta sedimanlar. Delgide yavaşlama. Delgi hızı: 0.8 m/dk	
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	31+532,30		Kahverengi-gri bej sondaj suyu, koyu gri ince kırıntılı sedimanlar.	
	31+540,30		Gri sondaj suyu, yeşil renkli gri ince-orta, az killi sedimanlar. Delgi hızı: 0.6 m/dk	
	31+544,30			

ALT YÜKLENİCİ

Celal GÜNEY
Jeoloji Mühendisi

MÜTEAHHİT

Metin ÇULFAZ
Jeoloji Mühendisi

Ek-7 Deformasyonlara ait yatay ve düşey deplasman miktarlarının ve vektörel diyagramlarının grafikleri

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,503.467 View direction: with heading direction

Construction progress: 31,061.600 First measurement: 24.04.2013

Heading face distance: 441.867 Last measurement: 14.12.2013

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

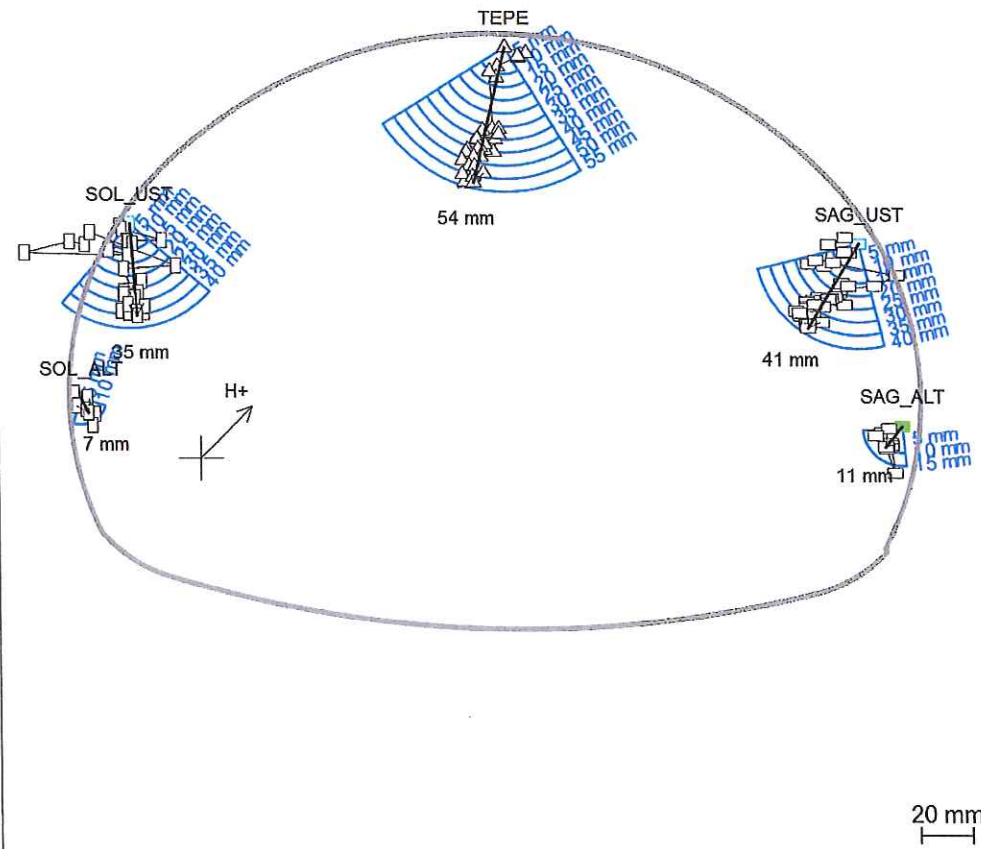


SAMANLI TUNELI
GIRIS

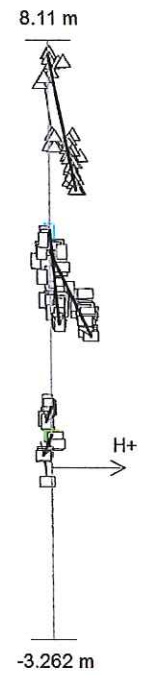
Vector diagram

Cross section: 31,503.467

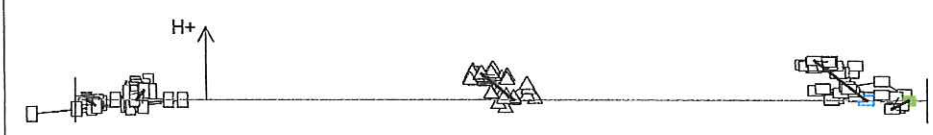
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- SOL_ALT (SOLALT)
- SAG_UST (SAGUST)
- SAG_ALT (SAGALT)
- △ TEPE (TEPE)
- SOL_UST (SOLUST)
- ▨ ust_kazi

Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,503.467
 Construction progress: 31,061.600
 Heading face distance: 441.867

View direction: with heading direction
 First measurement: 24.04.2013
 Last measurement: 14.12.2013
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

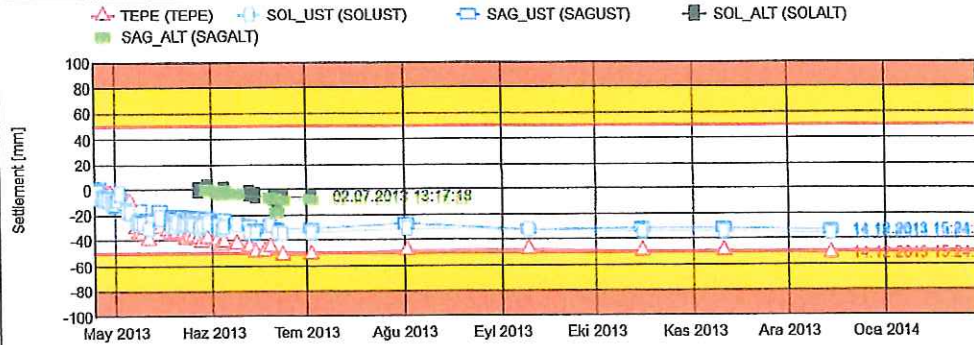
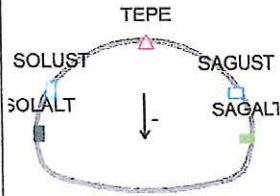


SAMANLI TUNELI
 GIRIS

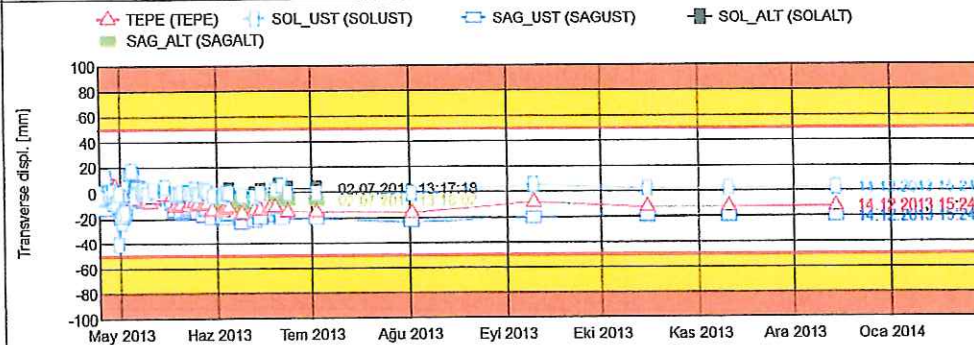
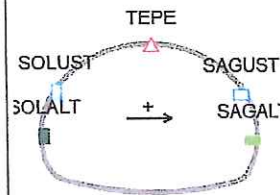
Displacement diagrams

Cross section: 31,503.467

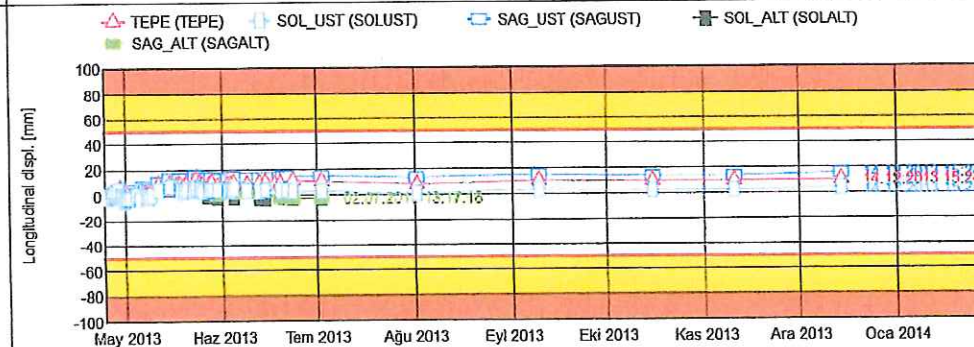
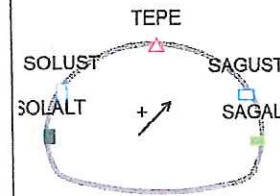
SETTLEMENT



TRANSVERSE

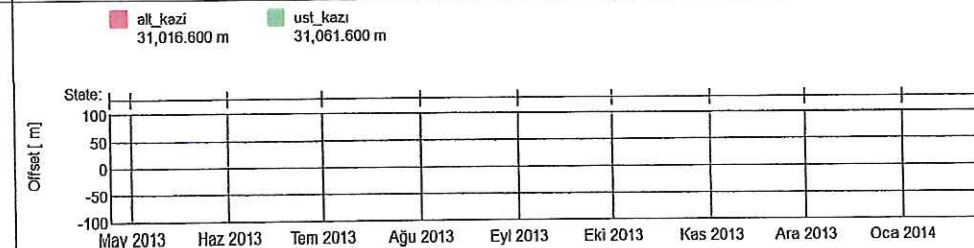


LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

alt_kazi
 ust_kazi



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,513.243 View direction: with heading direction
 Construction progress: 31,061.600 First measurement: 15.05.2013
 Heading face distance: 451.643 Last measurement: 14.12.2013
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

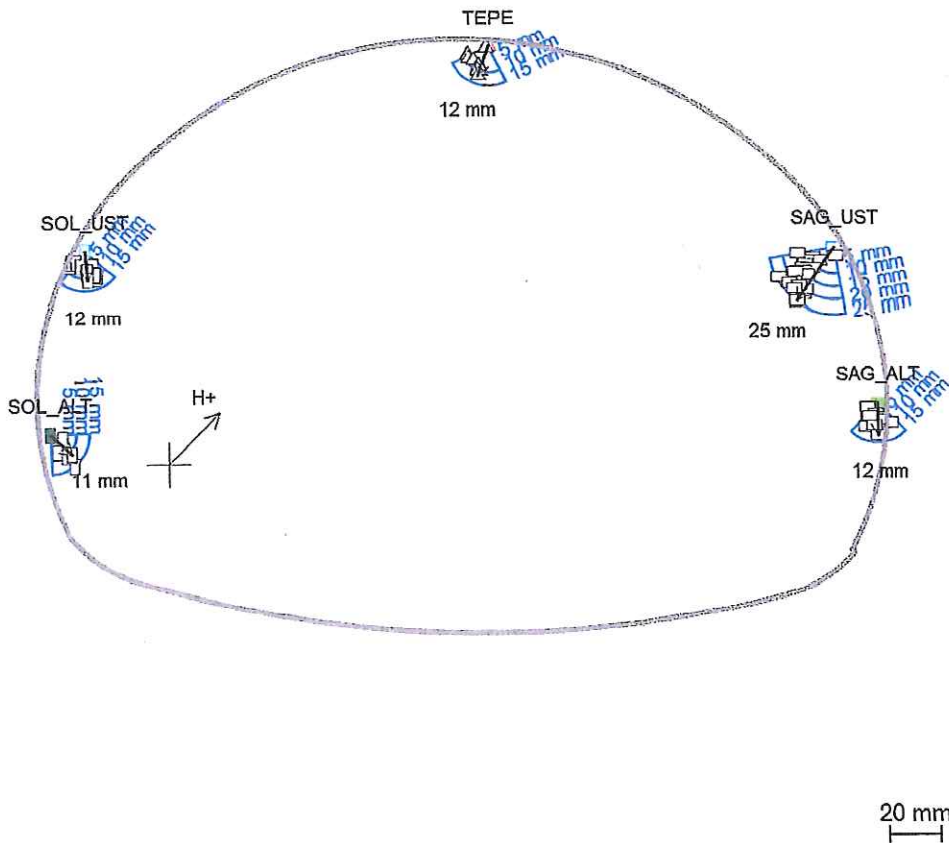


SAMANLI TUNELI
GIRIS

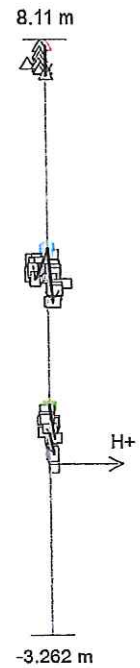
Vector diagram

Cross section: 31,513.243

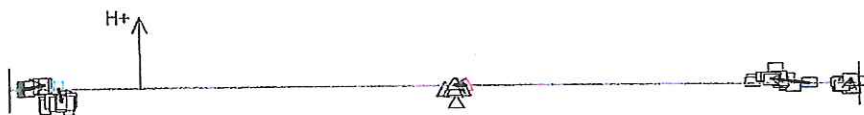
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- SOL_ALT (SOLALT)
- SAG_UST (SAGUST)
- SAG_ALT (SAGALT)
- TEPE (TEPE)
- SOL_UST (SOLUST)
- ust_kazi

Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,513.243
 Construction progress: 31,061.600
 Heading face distance: 451.643

View direction: with heading direction
 First measurement: 15.05.2013
 Last measurement: 14.12.2013
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

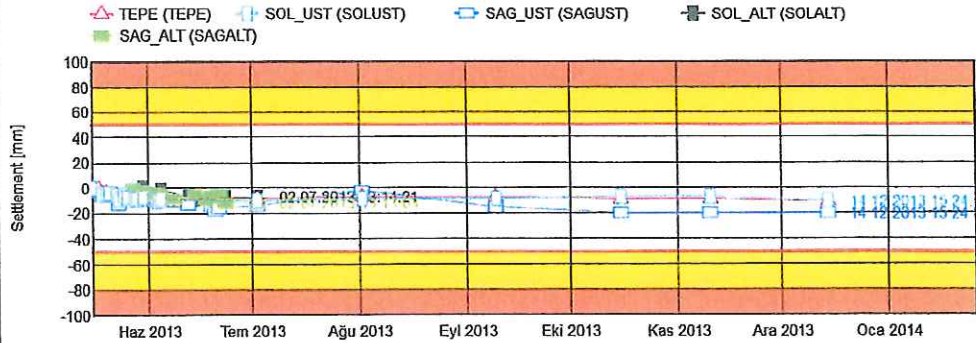
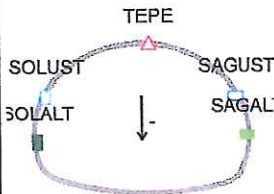


SAMANLI TUNELI
 GIRIS

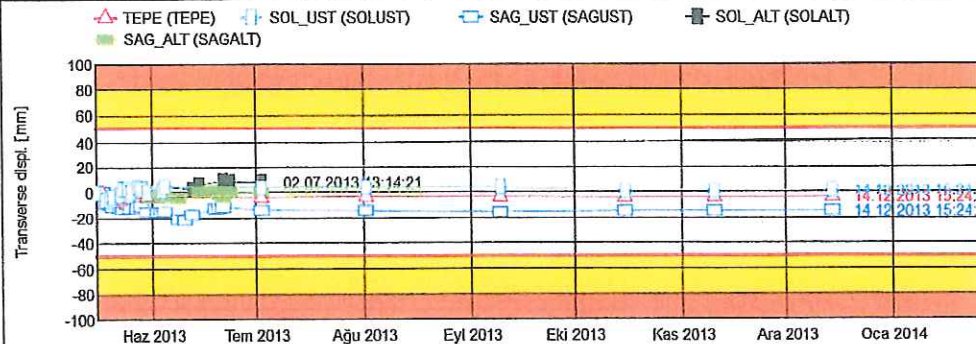
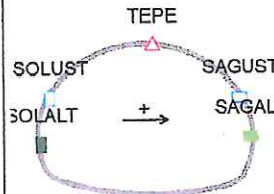
Displacement diagrams

Cross section: 31,513.243

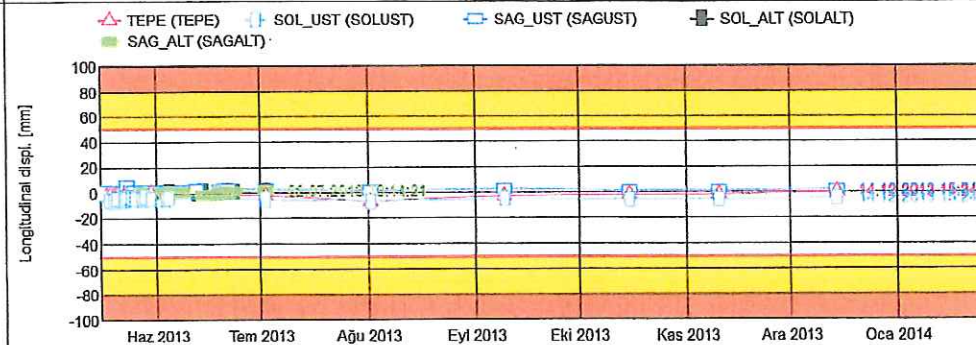
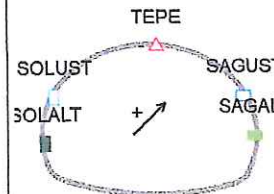
SETTLEMENT



TRANSVERSE

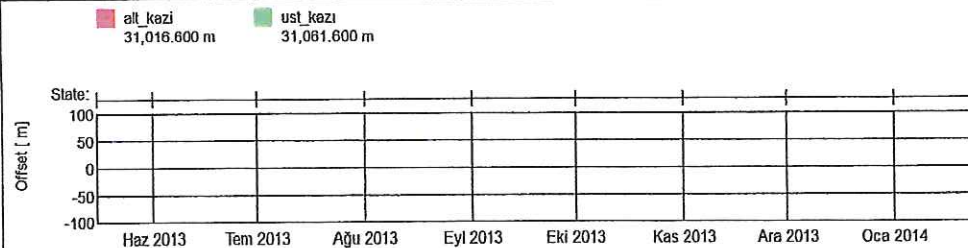


LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

alt_kazi
 ust_kazi



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,523.403 View direction: with heading direction

Construction progress: 31,061.600 First measurement: 15.05.2013

Heading face distance: 461.803 Last measurement: 14.12.2013

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR



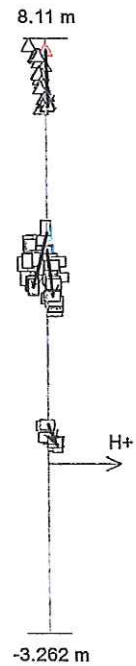
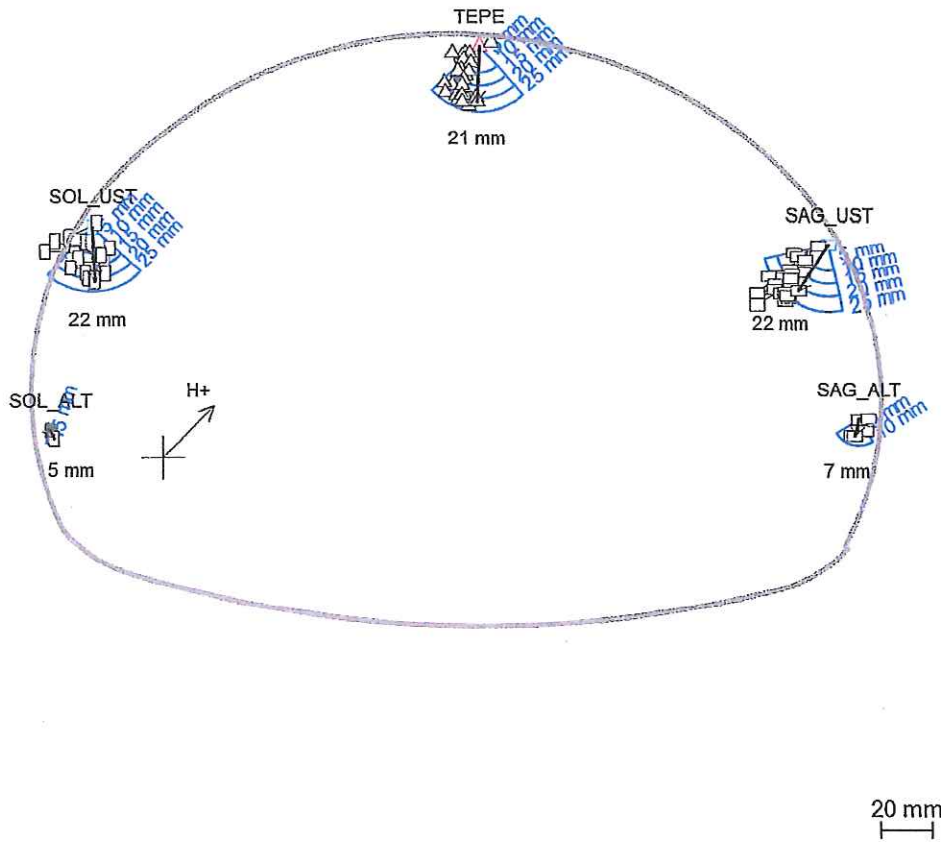
SAMANLI TUNELI
GIRIS

Vector diagram

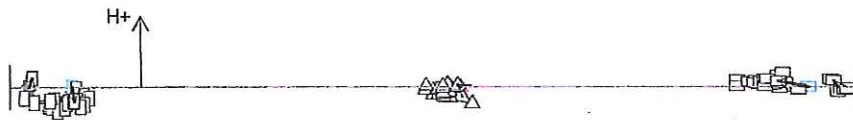
Cross section: 31,523.403

FRONT VIEW

SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- SOL_ALT (SOLALT)
- SAG_UST (SAGUST)
- SAG_ALT (SAGALT)
- △ TEPE (TEPE)
- SOL_UST (SOLUST)
- ust_kazi

Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,523.403
 Construction progress: 31,061.600
 Heading face distance: 461.803

View direction: with heading direction
 First measurement: 15.05.2013
 Last measurement: 14.12.2013
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

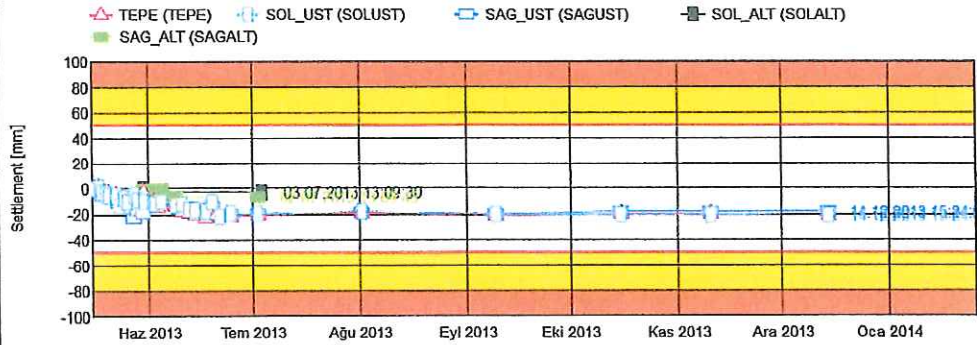
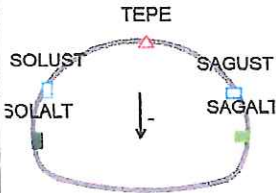


SAMANLI TUNELI
 GIRIS

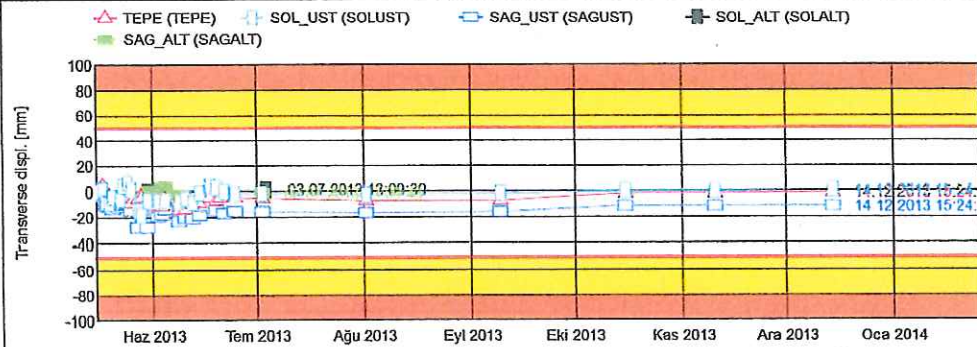
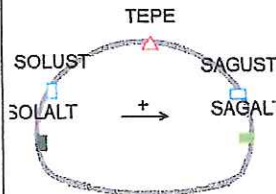
Displacement diagrams

Cross section: 31,523.403

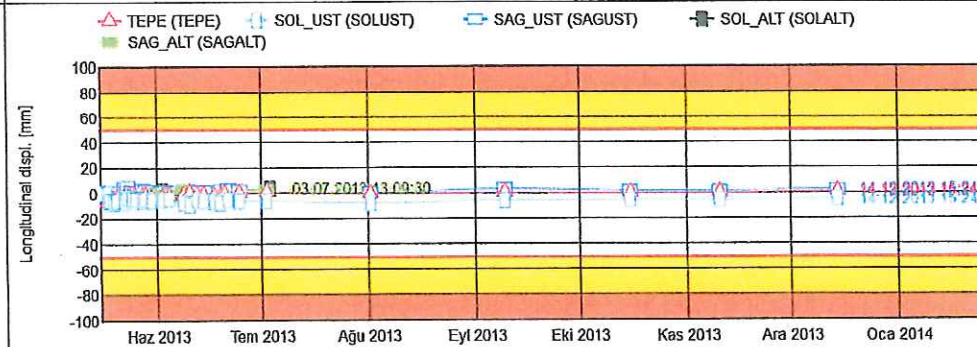
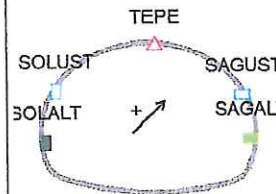
SETTLEMENT



TRANSVERSE

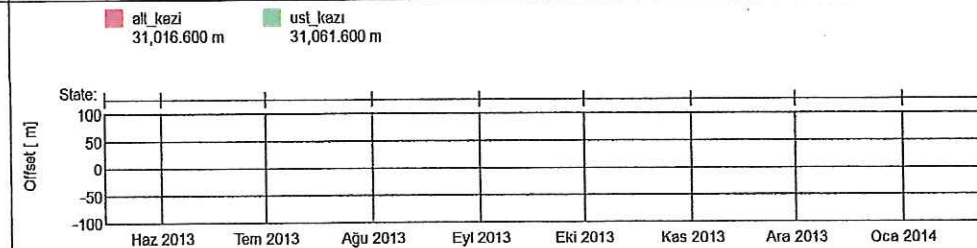


LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

alt_kazi
 ust_kazi



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,536.985 View direction: with heading direction
 Construction progress: 31,061.600 First measurement: 24.05.2013
 Heading face distance: 475.385 Last measurement: 29.01.2014
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR



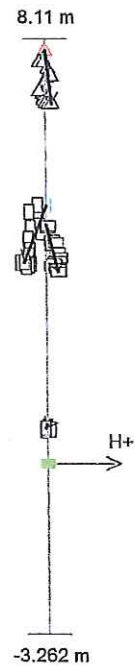
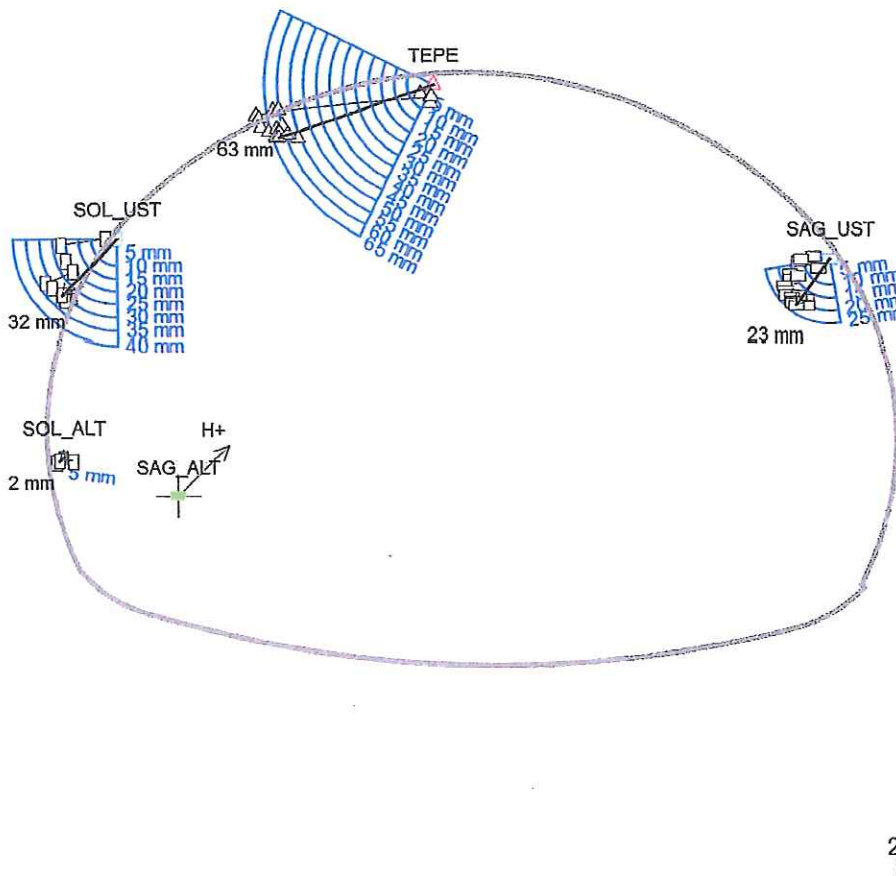
SAMANLI TUNELI
GIRIS

Vector diagram

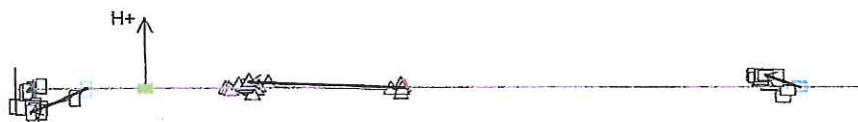
Cross section: 31,536.985

FRONT VIEW

SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- SOL_ALT (SOLALT)
- SAG_UST (SAGUST)
- SAG_ALT (SAGALT)
- TEPE (TEPE)
- SOL_UST (SOLUST)
- ust_kazi

Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,536.985
 Construction progress: 31,061.600
 Heading face distance: 475.385

View direction: with heading direction
 First measurement: 24.05.2013
 Last measurement: 29.01.2014
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

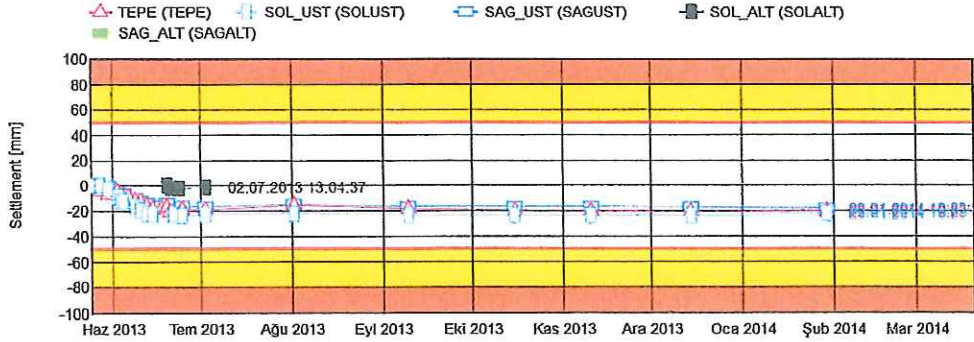
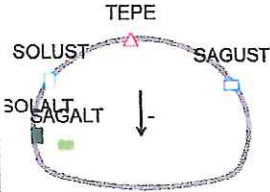


SAMANLI TUNELI
 GIRIS

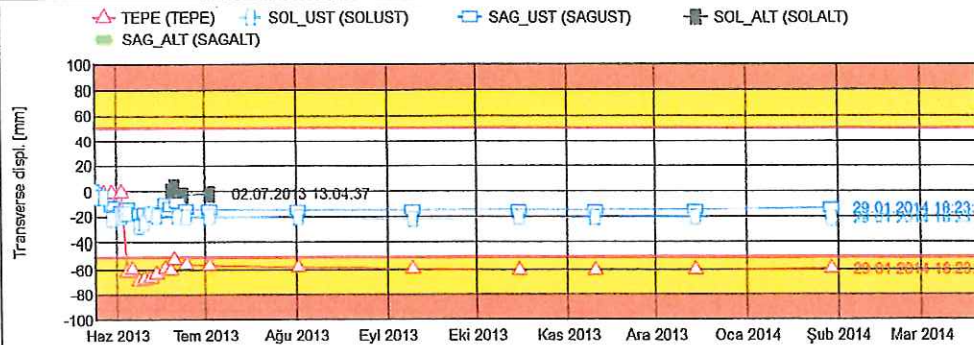
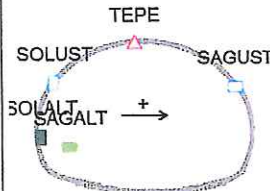
Displacement diagrams

Cross section: 31,536.985

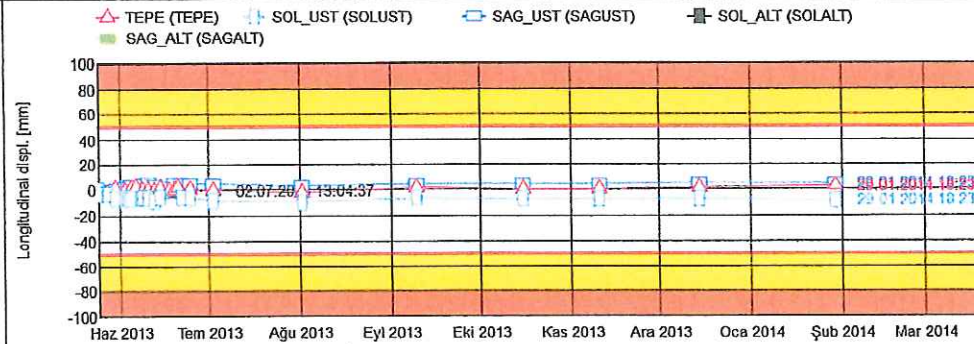
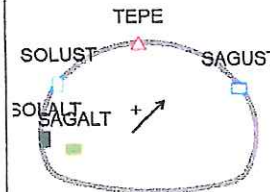
SETTLEMENT



TRANSVERSE

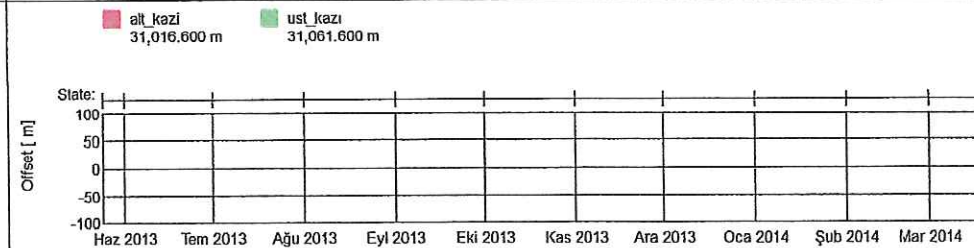


LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

alt_kazi
 ust_kazi



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,553.785

Construction progress: 31,061.600

Heading face distance: 492.185

View direction: with heading direction

First measurement: 27.05.2013

Last measurement: 29.01.2014

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

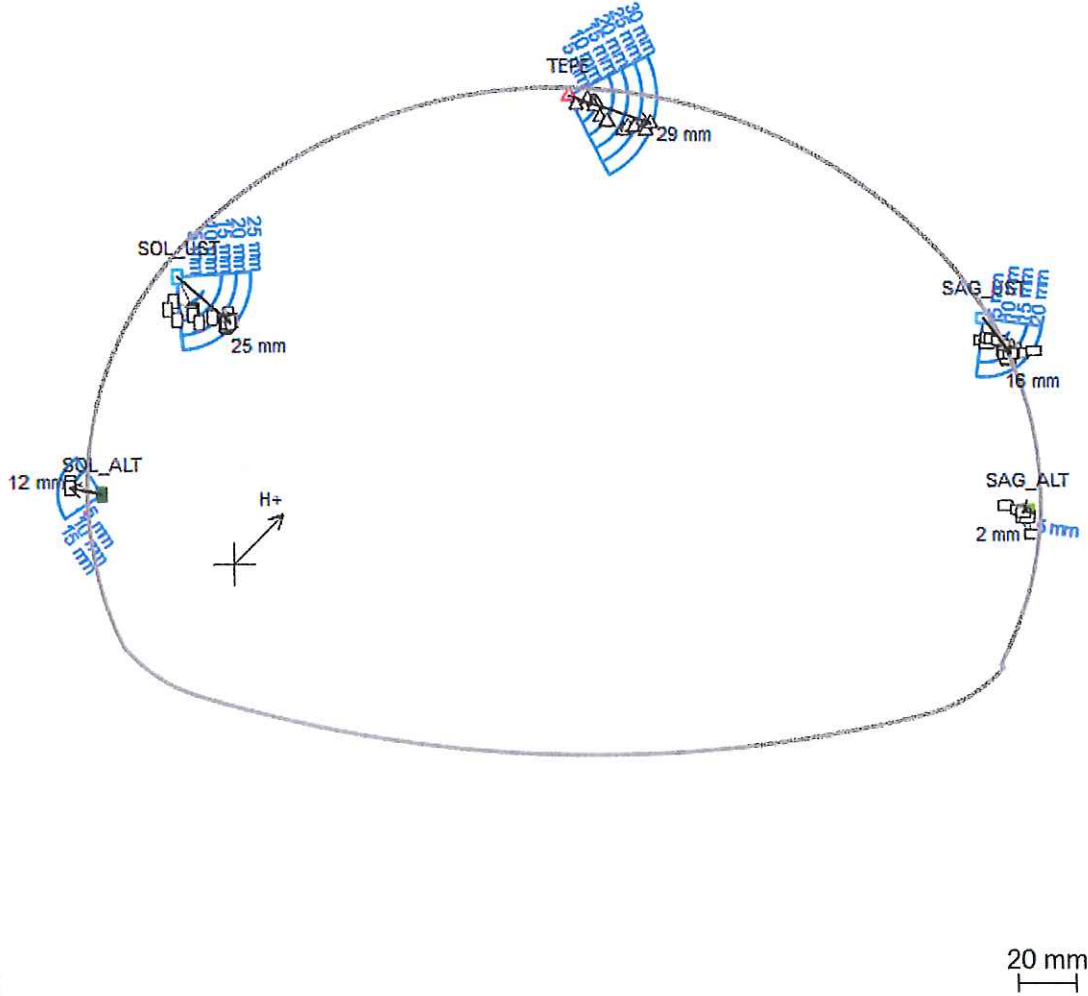


SAMANLI TUNELI
GIRIS

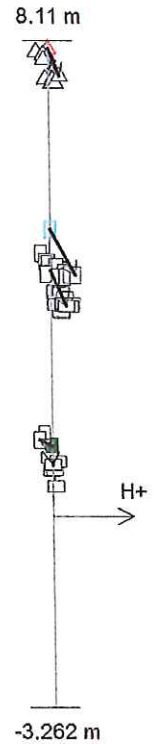
Vector diagram

Cross section: 31,553.785

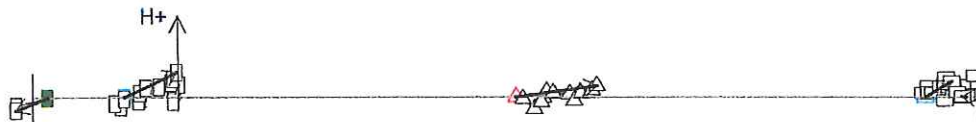
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- SOL_ALT (SOLALT)
- SAG_UST (SAGUST)
- SAG_ALT (SAGALT)
- TEPE (TEPE)
- SOL_UST (SOLUST)
- ust_kazi

Remarks:

In order to use in M.Sc. Thesis (Atakan SÜLER)

samanli - tum_saha

Heading: sag_tup

Heading stationing: 31,553.785
 Construction progress: 31,061.600
 Heading face distance: 492.185

View direction: with heading direction
 First measurement: 27.05.2013
 Last measurement: 29.01.2014
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

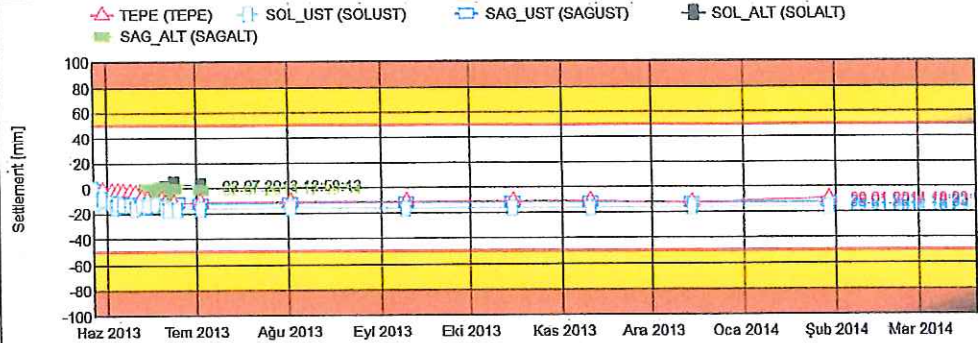
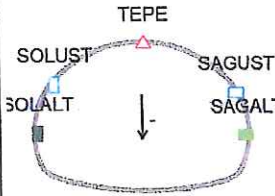


SAMANLI TUNELI
 GIRIS

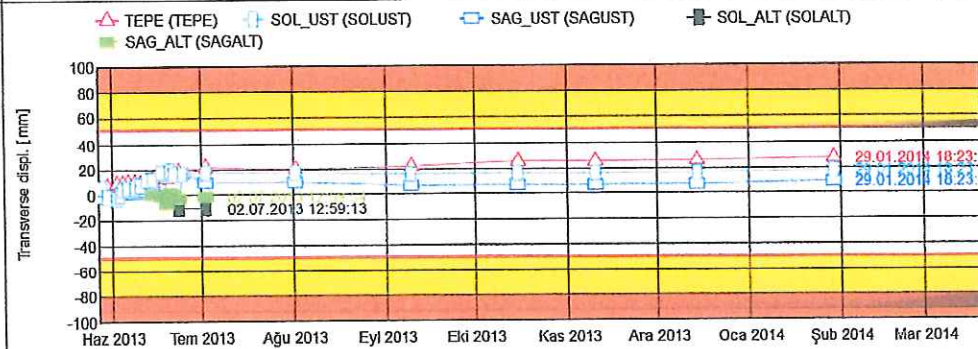
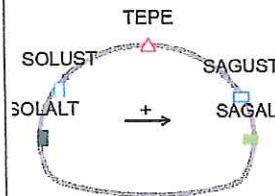
Displacement diagrams

Cross section: 31,553.785

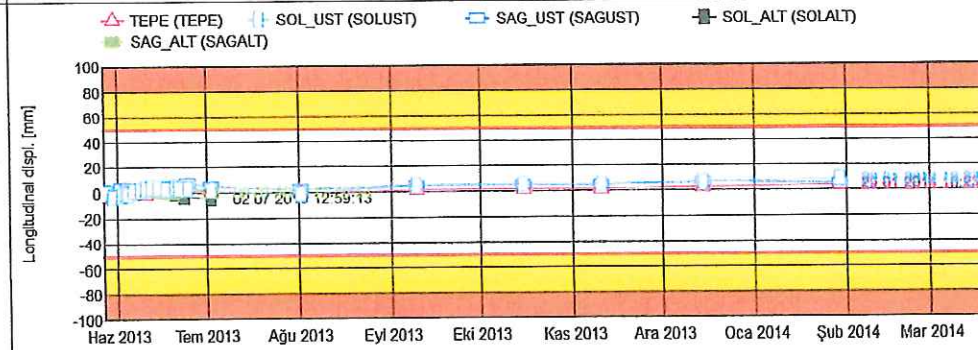
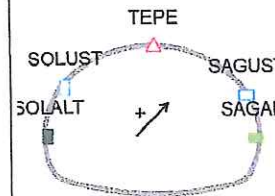
SETTLEMENT



TRANSVERSE



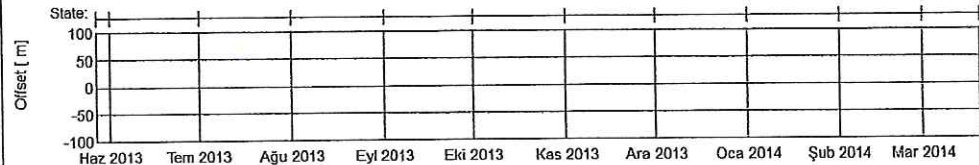
LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

alt_kazi
 ust_kazi

alt_kazi 31,016.600 m
 ust_kazi 31,061.600 m



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,496.463

Construction progress:

Heading face distance:

View direction: with heading direction

First measurement: 02.07.2013

Last measurement: 14.12.2013

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

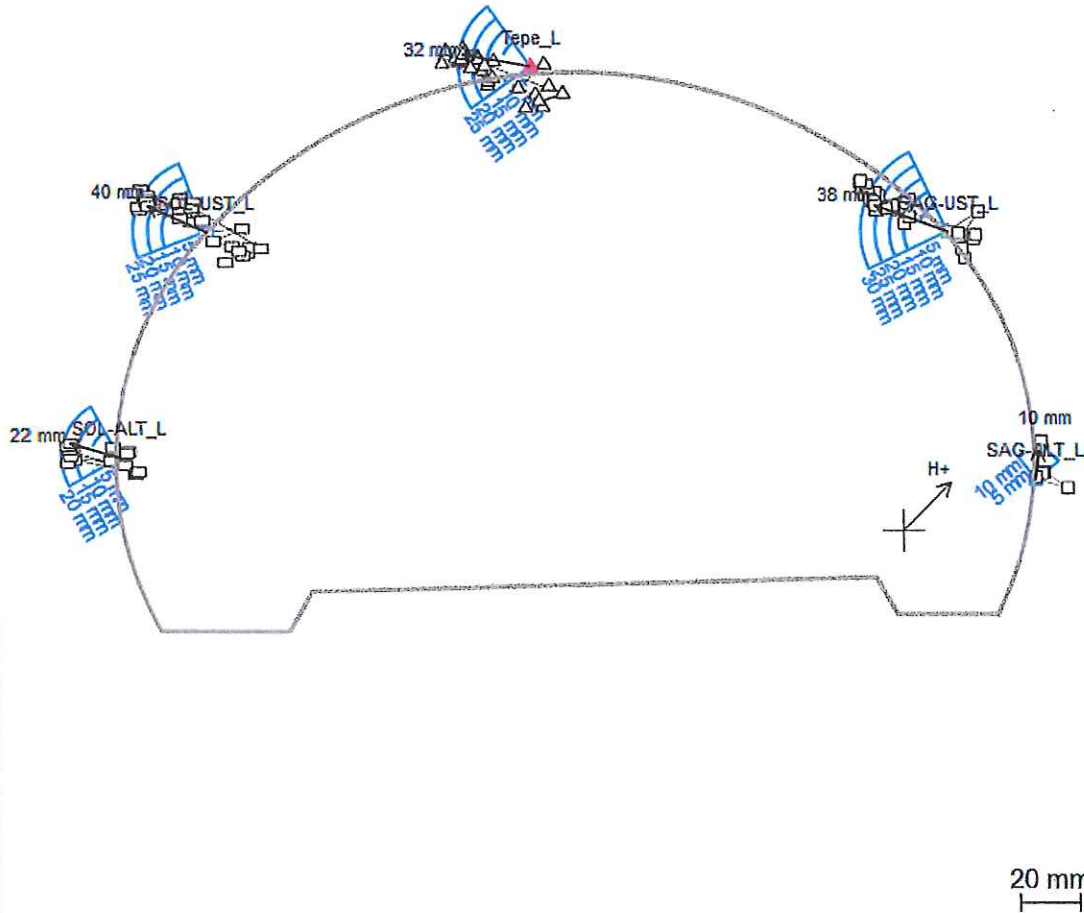


SAMANLI TUNELI
GIRIS

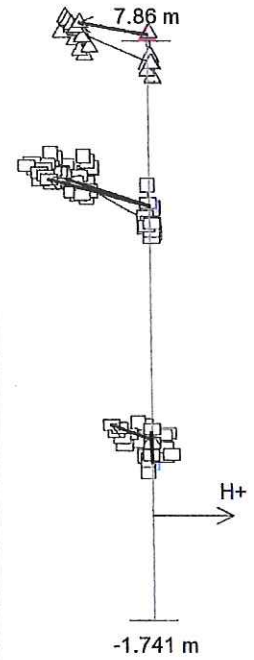
Vector diagram

Cross section: 31,496.463

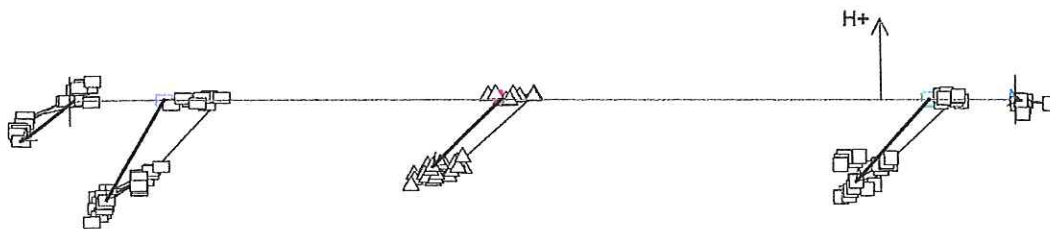
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- ▲ Tepe_L (TEPE_L)
- SAG-ALT_L (SAGALT_L)
- SOL-ALT_L (SOL_ALT_L)
- SAG-UST_L (SAG_UST_L)
- SOL-UST_L (SOL_UST_L)
- ▬ Ust_Yari

Remarks:

In order to use in M.Sc. Thesis (Atakan SÜLER)

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,496.463

Construction progress:

Heading face distance:

View direction: with heading direction

First measurement: 02.07.2013

Last measurement: 14.12.2013

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

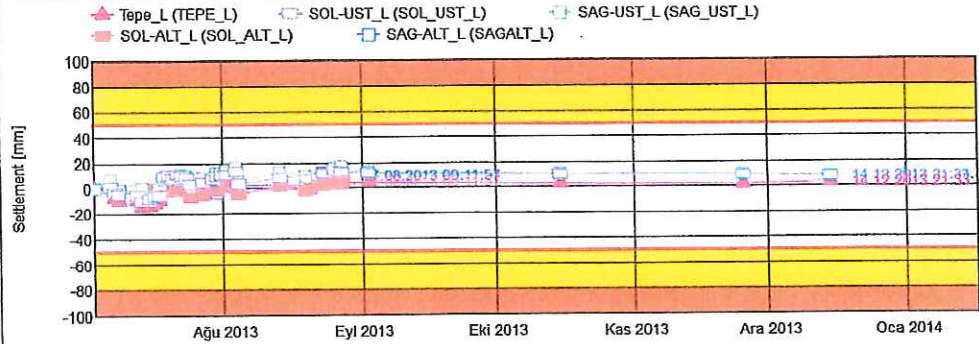
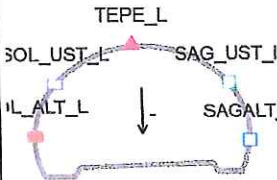


SAMANLI TUNELI
GIRIS

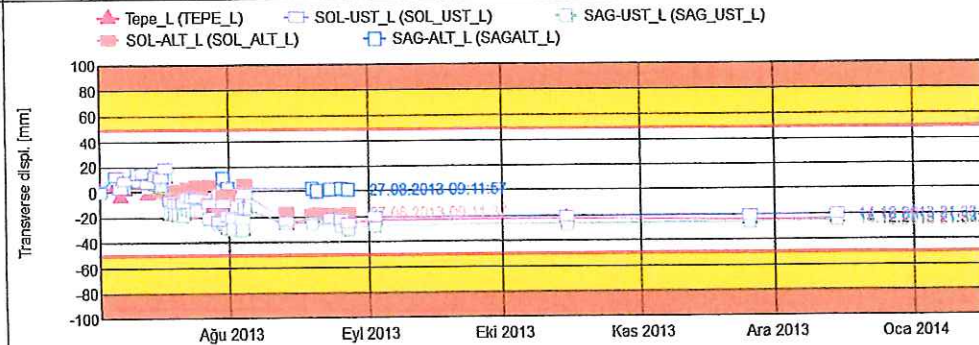
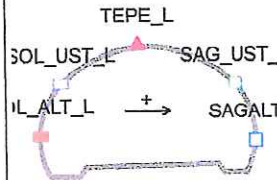
Displacement diagrams

Cross section: 31,496.463

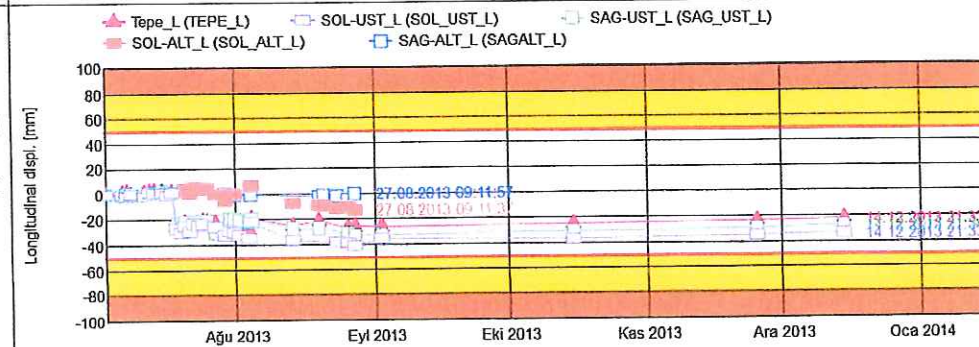
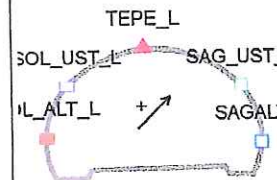
SETTLEMENT



TRANSVERSE

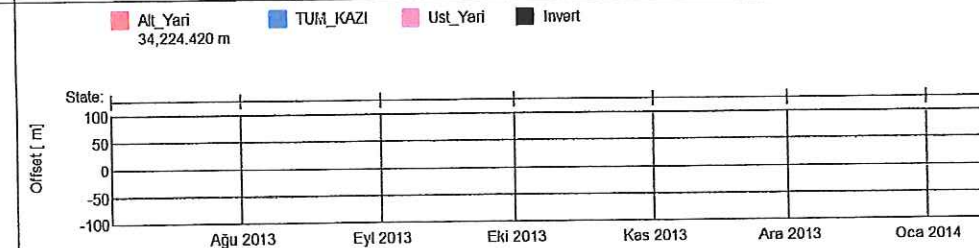


LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

- Alt_Yari
- TUM_KAZI
- Ust_Yari
- Invert



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,511.145

Construction progress:

Heading face distance:

View direction: with heading direction

First measurement: 06.07.2013

Last measurement: 14.12.2013

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

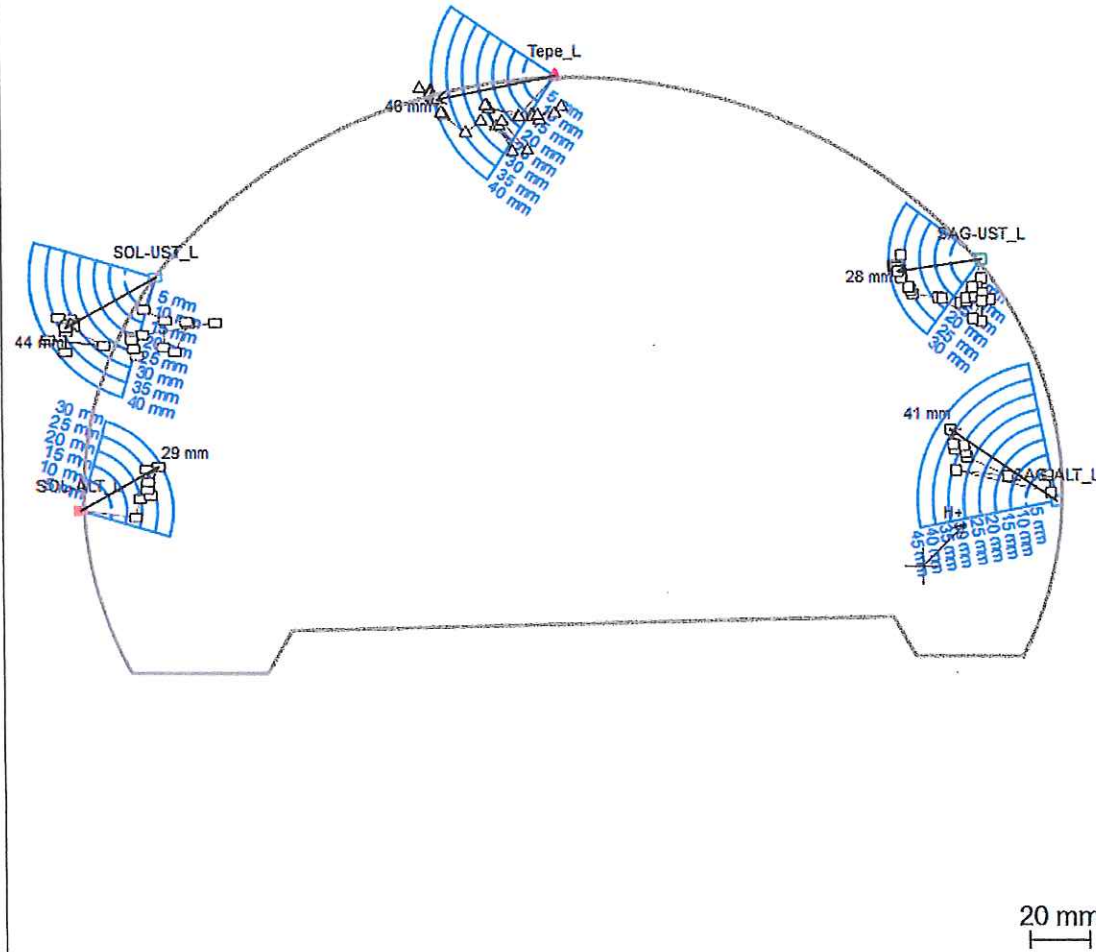


SAMANLI TUNELI
GIRIS

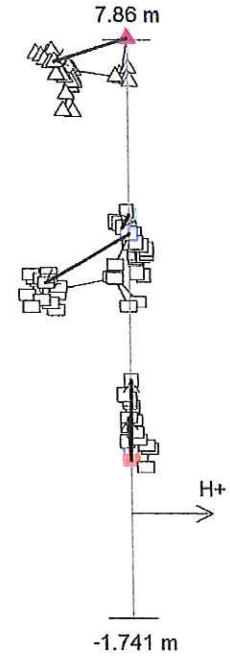
Vector diagram

Cross section: 31,511.145

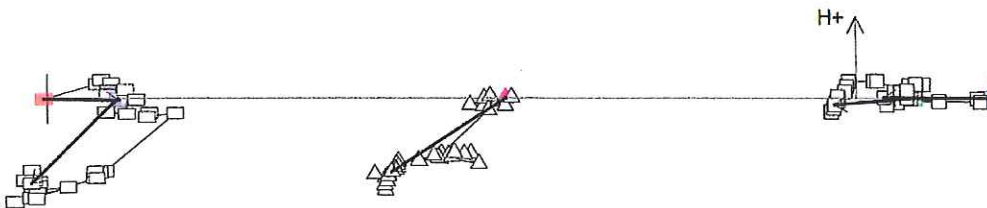
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- ▲ Tepe_L (TEPE_L)
- SAG-ALT_L (SAGALT_L)
- SOL-ALT_L (SOL_ALT_L)
- SAG-UST_L (SAG_UST_L)
- SOL-UST_L (SOL_UST_L)
- Ust_Yari

Remarks:

In order to use in M.Sc. Thesis (Atakan SÜLER)

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,511.145
Construction progress:
Heading face distance:

View direction: with heading direction
First measurement: 06.07.2013
Last measurement: 14.12.2013
Created on: 23.12.2015
Created by: YIGITBERK AKDEMIR

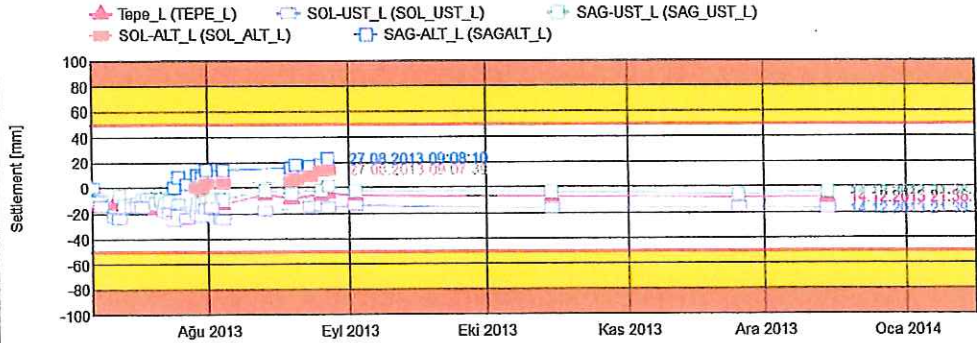
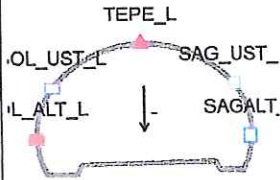


SAMANLI TUNELI
GIRIS

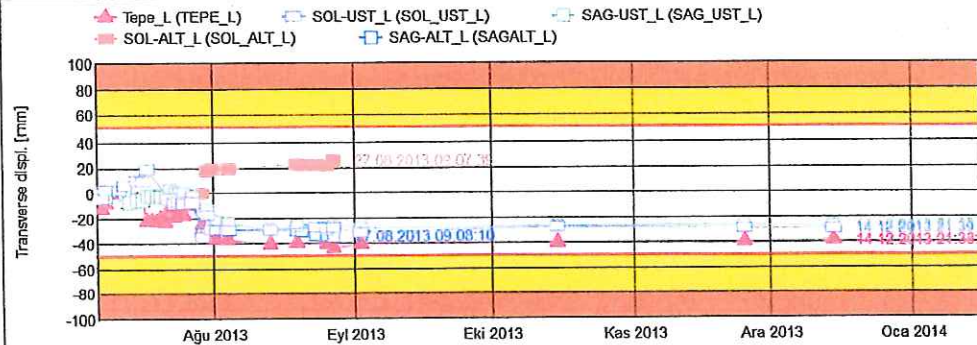
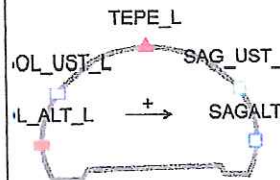
Displacement diagrams

Cross section: 31,511.145

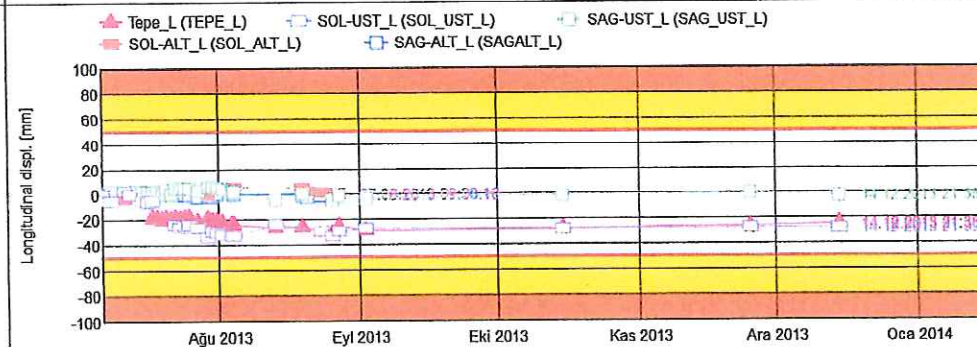
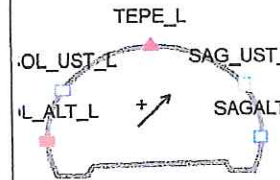
SETTLEMENT



TRANSVERSE

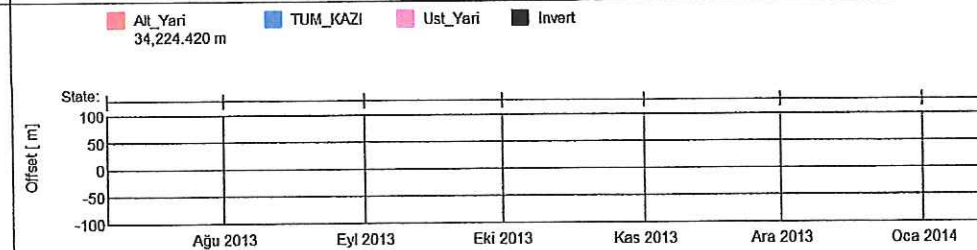


LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

- Alt_Yari
- TUM_KAZI
- Ust_Yari
- Invert



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,526.458

Construction progress:

Heading face distance:

View direction: with heading direction

First measurement: 15.07.2013

Last measurement: 09.01.2014

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

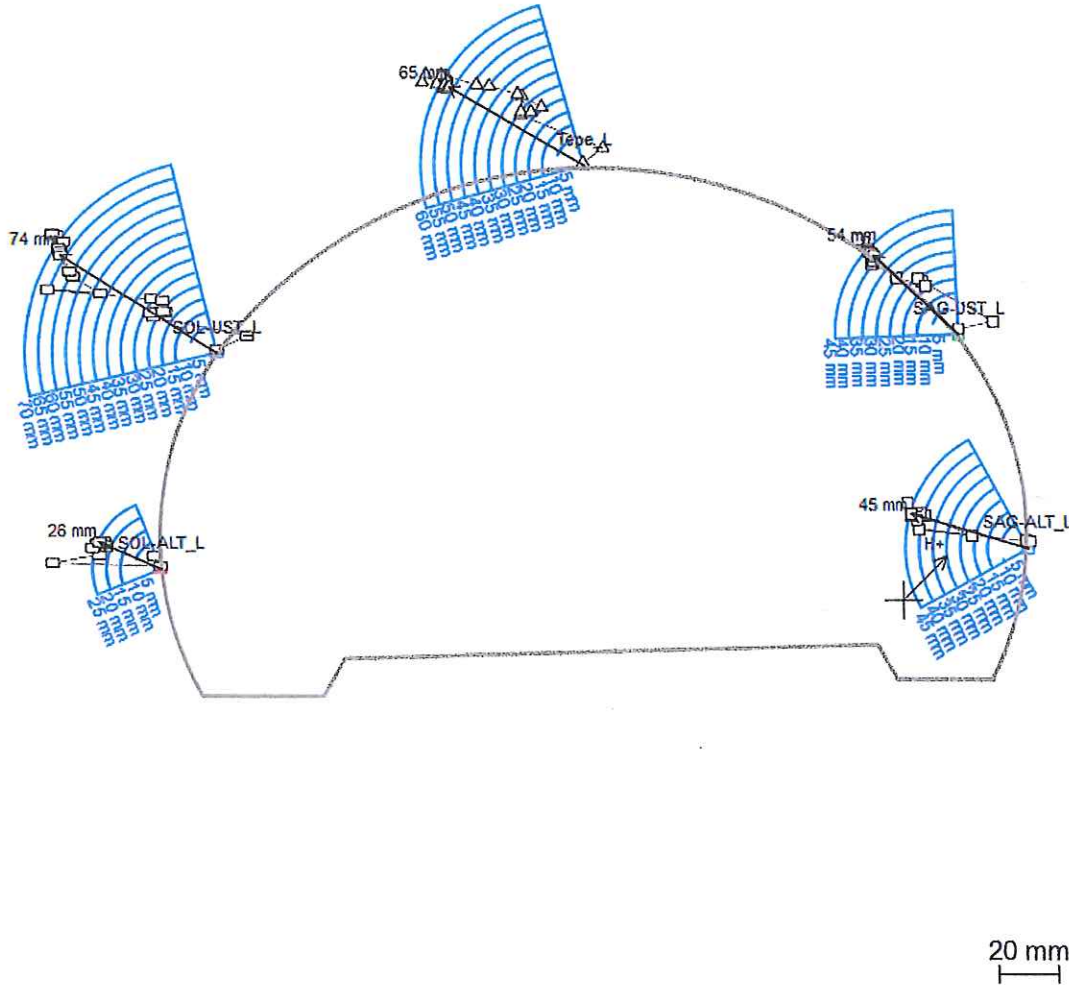


SAMANLI TUNELI
GIRIS

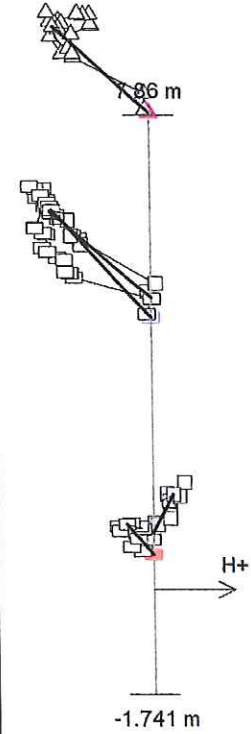
Vector diagram

Cross section: 31,526.458

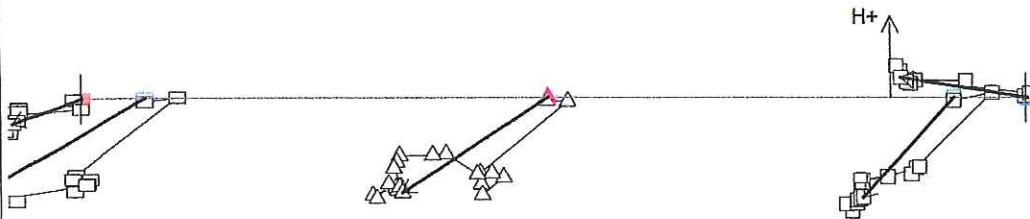
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- ▲ Tepe_L (TEPE_L)
- SAG-ALT_L (SAGALT_L)
- SOL-ALT_L (SOL_ALT_L)
- SAG-UST_L (SAG_UST_L)
- SOL-UST_L (SOL_UST_L)
- ▭ Ust_Yari

Remarks:

In order to use in M.Sc. Thesis (Atakan SÜLER)

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,526.458
 Construction progress:
 Heading face distance:

View direction: with heading direction
 First measurement: 15.07.2013
 Last measurement: 09.01.2014
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

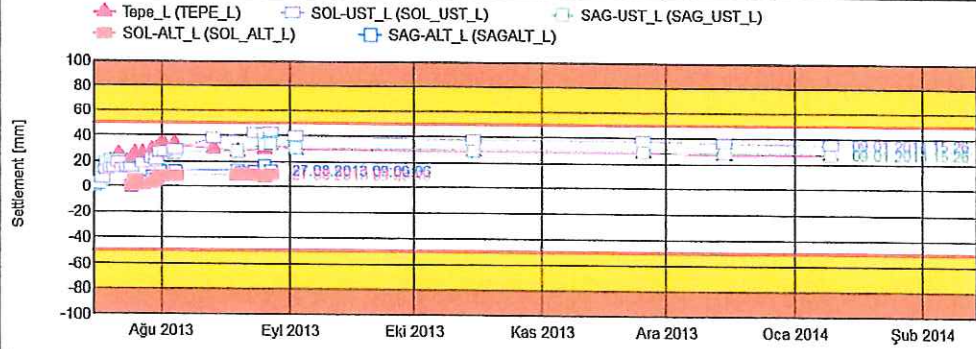
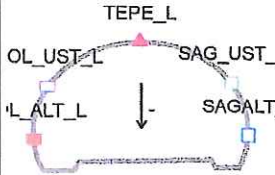


SAMANLI TUNELI
 GIRIS

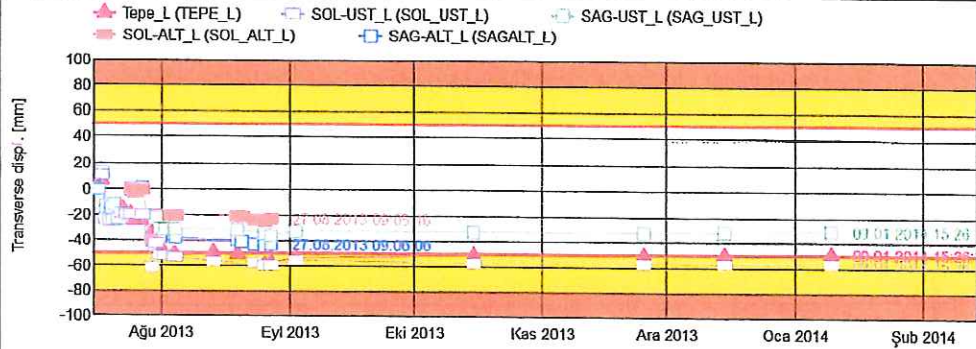
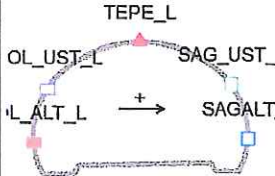
Displacement diagrams

Cross section: 31,526.458

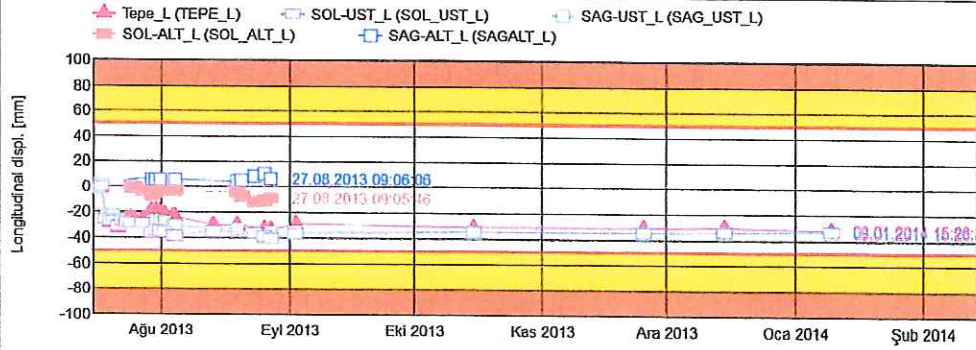
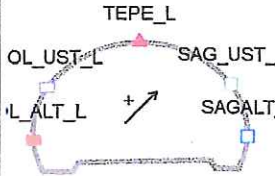
SETTLEMENT



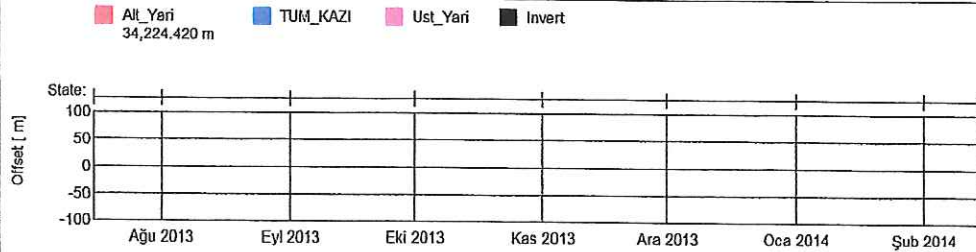
TRANSVERSE



LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,541.067

Construction progress:

Heading face distance:

View direction: with heading direction

First measurement: 15.07.2013

Last measurement: 09.01.2014

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

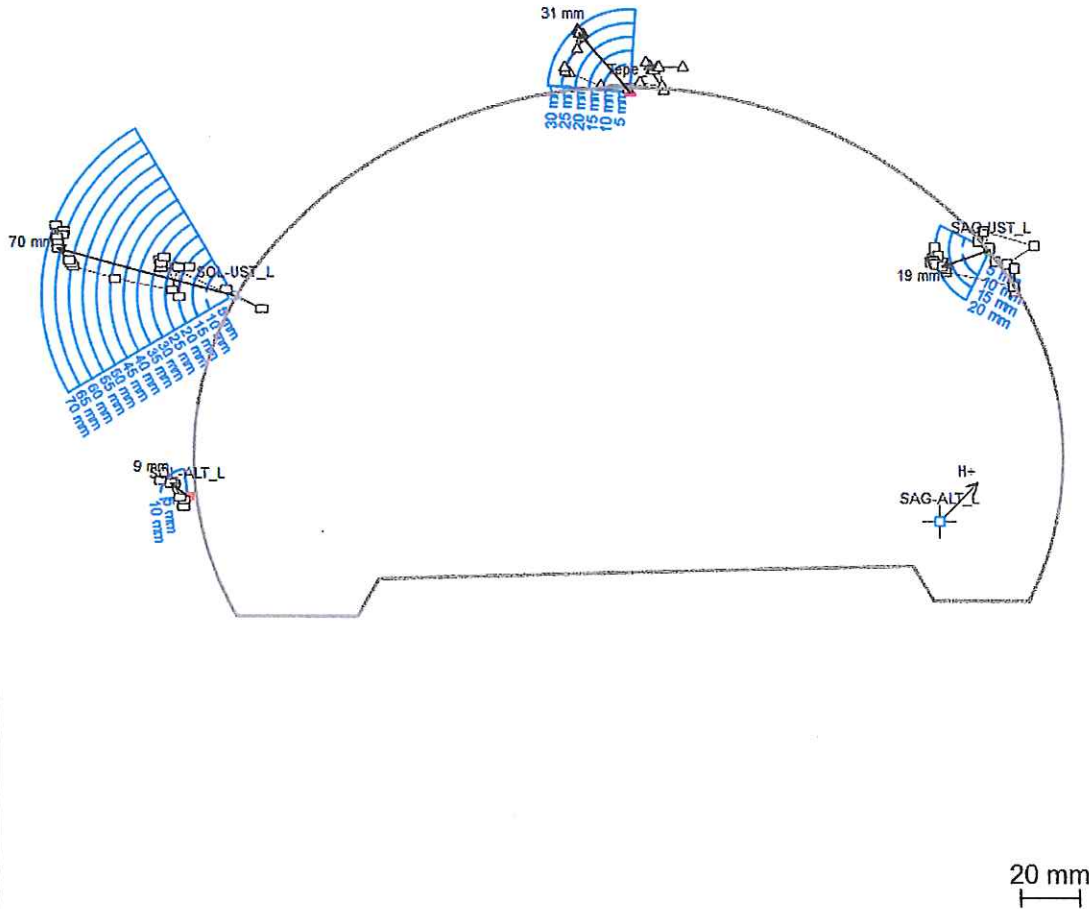


SAMANLI TUNELI
GIRIS

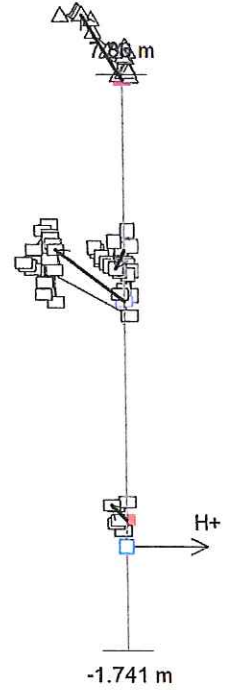
Vector diagram

Cross section: 31,541.067

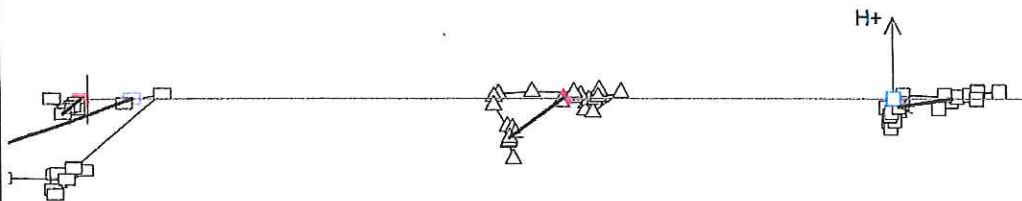
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- ▲ Tepe_L (TEPE_L)
- SAG-ALT_L (SAGALT_L)
- SOL-ALT_L (SOL_ALT_L)
- SAG-UST_L (SAG_UST_L)
- SOL-UST_L (SOL_UST_L)
- Ust_Yari

Remarks:

In order to use in M.Sc. Thesis (Atakan SÜLER)

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,541.067

Construction progress:

Heading face distance:

View direction: with heading direction

First measurement: 15.07.2013

Last measurement: 09.01.2014

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

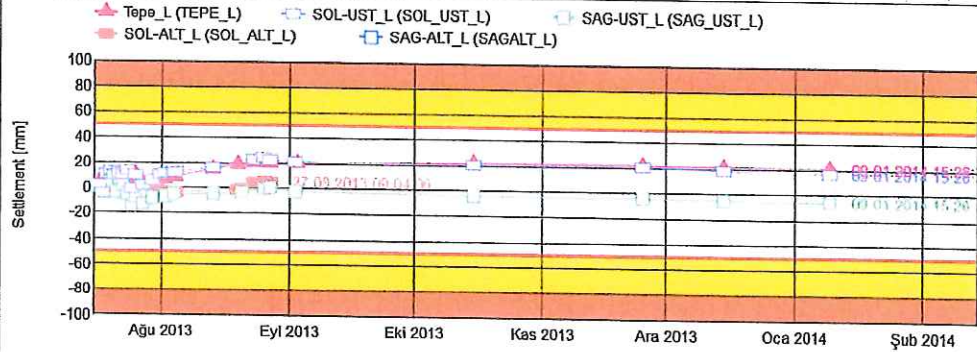
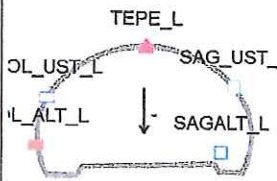


SAMANLI TUNELİ
GİRİŞ

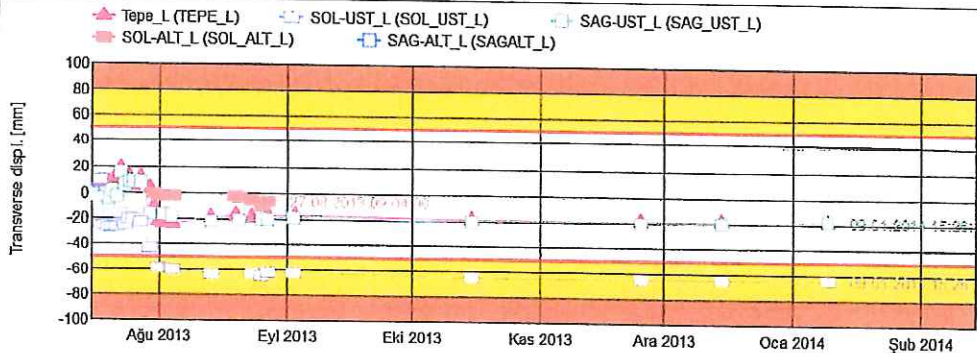
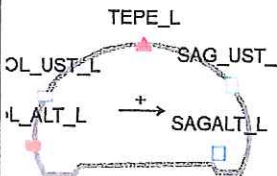
Displacement diagrams

Cross section: 31,541.067

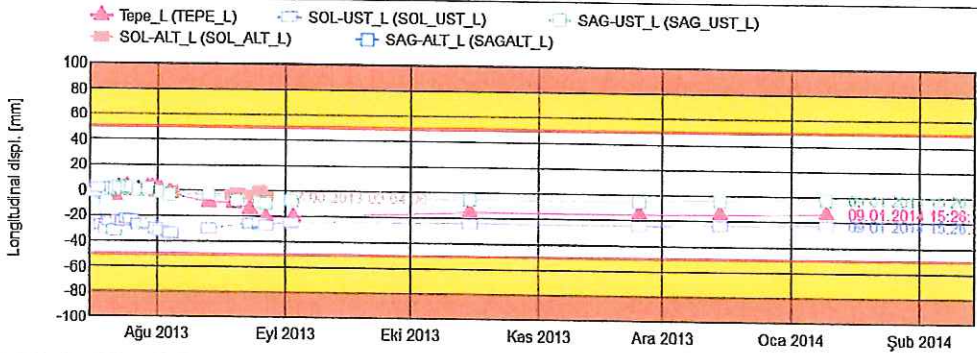
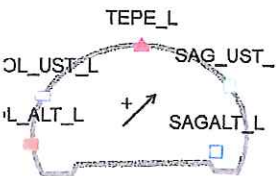
SETTLEMENT



TRANSVERSE

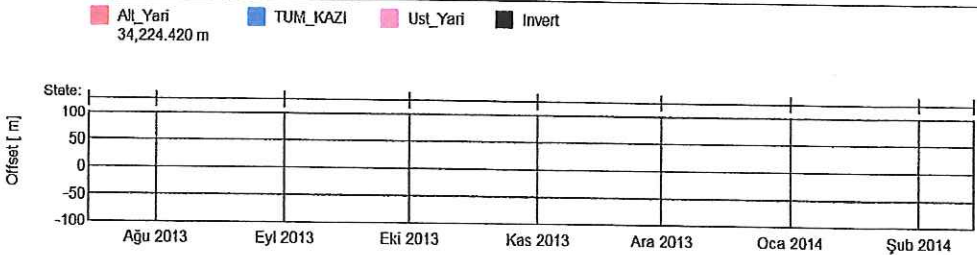


LONGITUDINAL



CONSTRUCTION STAGE

- Alt_Yari
- TUM_KAZI
- Ust_Yari
- Invert



Remarks:

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,557.585

Construction progress:

Heading face distance:

View direction: with heading direction

First measurement: 18.07.2013

Last measurement: 09.01.2014

Created on: 23.12.2015

Created by: YIGITBERK AKDEMIR

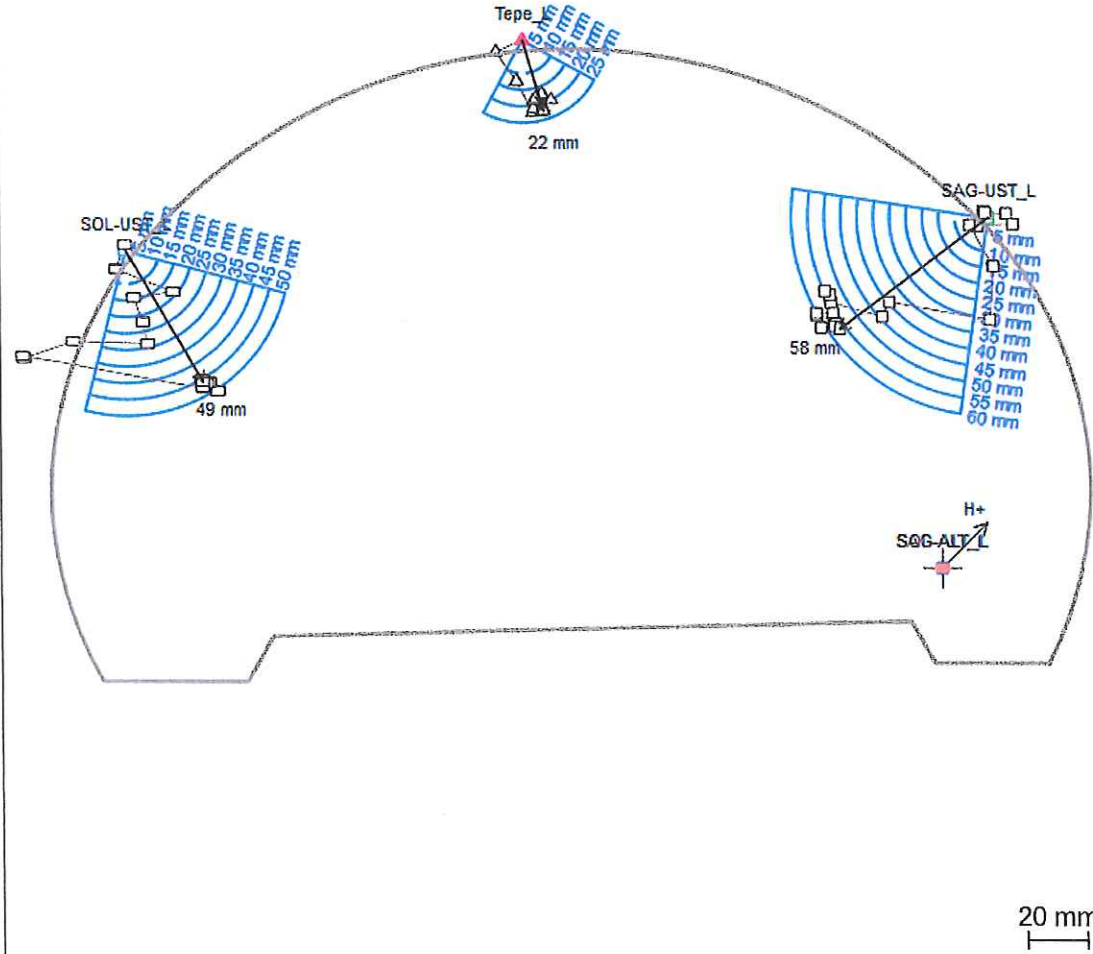


SAMANLI TUNELI
GIRIS

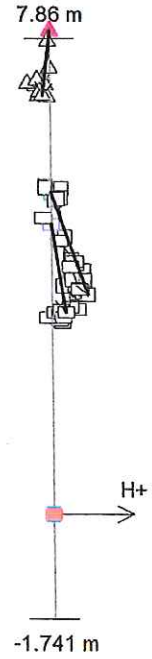
Vector diagram

Cross section: 31,557.585

FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



- H+ Heading direction
- ▲ Tepe_L (TEPE_L)
- SAG-ALT_L (SAGALT_L)
- SOL-ALT_L (SOL_ALT_L)
- SAG-UST_L (SAG_UST_L)
- SOL-UST_L (SOL_UST_L)
- Ust_Yari

Remarks:

In order to use in M.Sc. Thesis (Atakan SÜLER)

samanli - tum_saha

Heading: sol_tup

Heading stationing: 31,557.585
 Construction progress:
 Heading face distance:

View direction: with heading direction
 First measurement: 18.07.2013
 Last measurement: 09.01.2014
 Created on: 23.12.2015
 Created by: YIGITBERK AKDEMIR

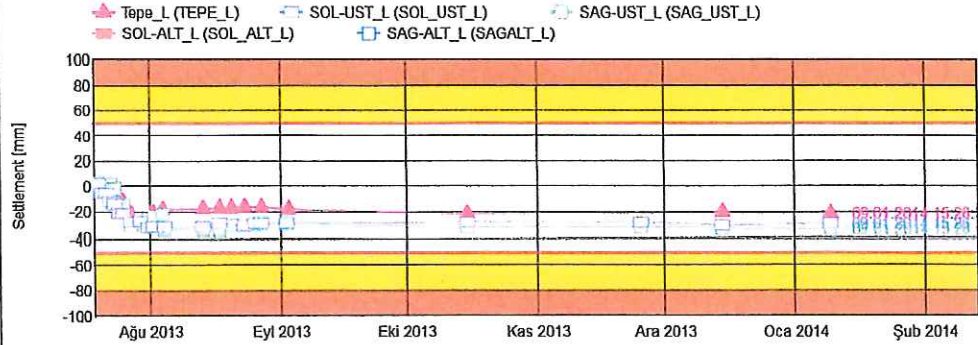
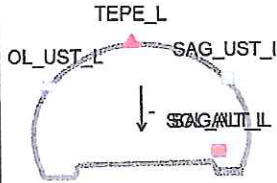


SAMANLI TUNELI
 GIRIS

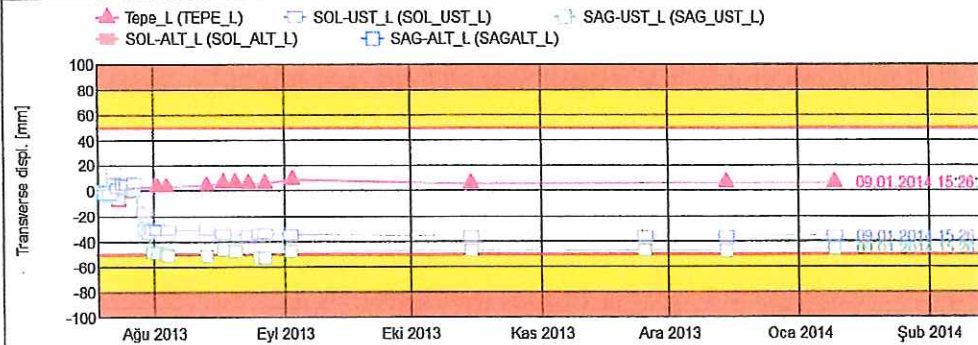
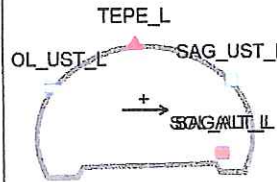
Displacement diagrams

Cross section: 31,557.585

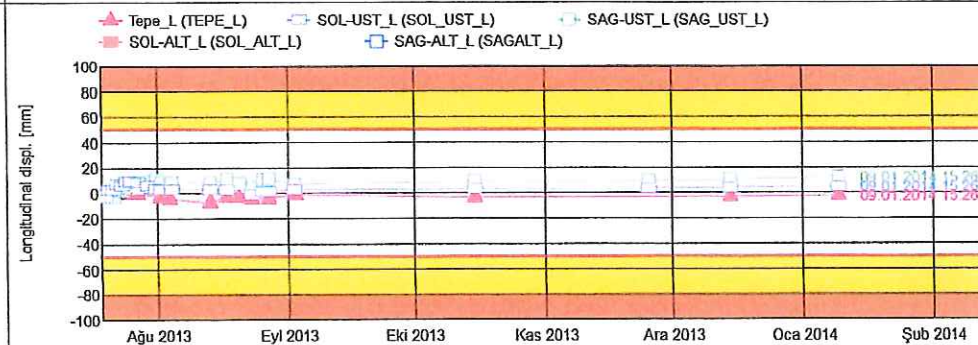
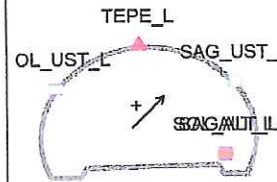
SETTLEMENT



TRANSVERSE

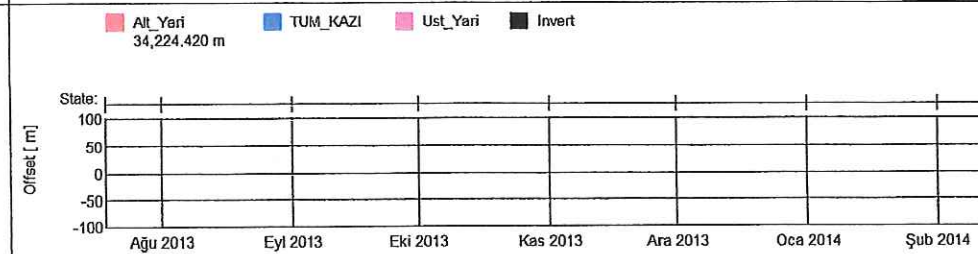


LONGITUDINAL



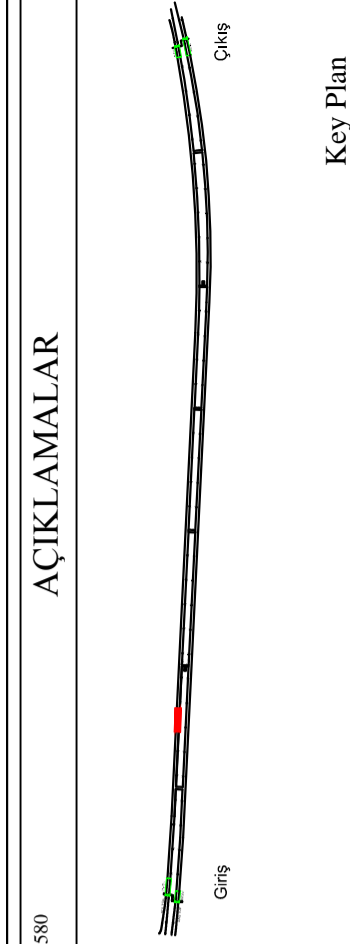
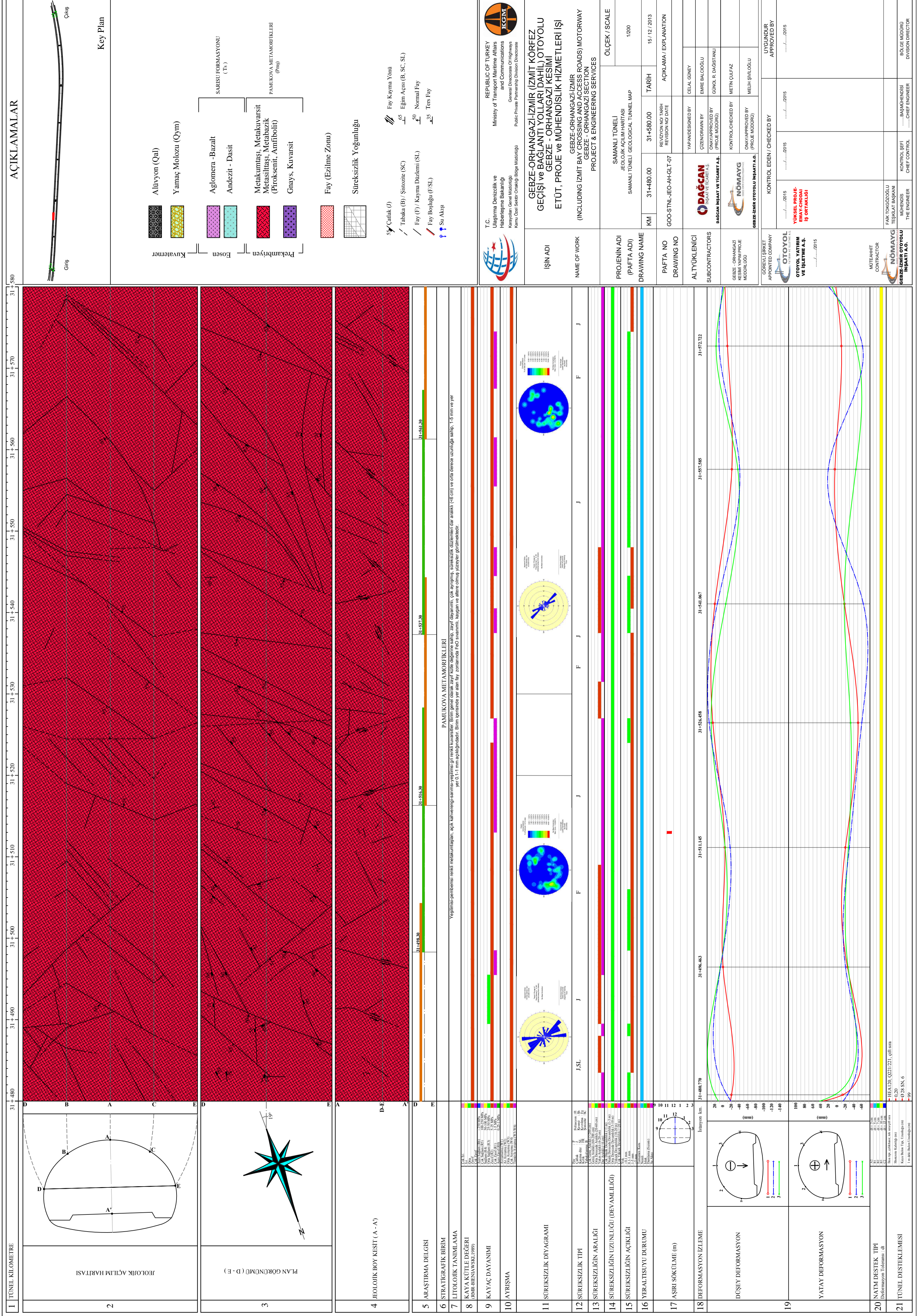
CONSTRUCTION STAGE

- Alt_Yari
- TUM_KAZI
- Ust_Yari
- Invert



Remarks:

Ek-8 Tünel haritası uygulama paftası



Altyayın (Qal)	Yamak Molezu (Qym)	SARMSI FORMASYONU (T ₁)	PAMUKOVA METAMORFLERİ (Pm)
Aglomera - Bazalt	Andezit - Dazit	Metakumtaş, Merakuvarsit	Merakuvarsit, Merakuvarsit (Protoksent, Amfibolit)
Gnays, Kuvarsit			

Fay (Ezime Zonu)	Şireksizlik Yöneliği
Çatlak (C)	Fay Kayma Yolu
Tabaka (B) - Sismote (SC)	60° Eğim Açısı (B. SC, SL)
Fay (F) - Kayma Düzlemi (SL)	90° Normal Fay
Fay Boşluğu (F SL)	25° Teph Fay
Su Akışı	

ISIN ADI	NAME OF WORK
GEZE ORHANGAZI İZMİT (ZEMİN İZMİT) KÖRFEZ GEÇİŞİ VE BAĞIMLI ÇEVRE KURUMSAL VE İZMİT YOLYOLU ETUT, PROJE VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ (İŞ)	GEZE ORHANGAZI İZMİT (ZEMİN İZMİT) KÖRFEZ GEÇİŞİ VE BAĞIMLI ÇEVRE KURUMSAL VE İZMİT YOLYOLU ETUT, PROJE VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ (İŞ)

PROJENİN ADI (PAFTA ADI)	DRAWING NAME
SAMANLI TUNELİ (GEOLOGICAL TUNNEL MAP)	SAMANLI TUNELİ (GEOLOGICAL TUNNEL MAP)

PAFTA NO	DRAWING NO	REVİZYON NO TARİHİ	REVİZYON NO TARİHİ
31-480.00	31-480.00	31-480.00	15 / 12 / 2013

YAPANLARIN ADI	YAPANLARIN ADI
DAĞCAN İNŞAAT VE TİCARET A.Ş.	DAĞCAN İNŞAAT VE TİCARET A.Ş.

GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI	GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI
NOMAYAT	NOMAYAT

GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI	GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI
OTAYOL	OTAYOL

GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI	GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI
NOMAYAT	NOMAYAT

GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI	GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI
NOMAYAT	NOMAYAT

GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI	GEZE ORHANGAZI İZMİNİN İZMİNİ YAPANLARIN ADI
NOMAYAT	NOMAYAT

ÖZGEÇMİŞ



Atakan SÜLER 03.07.1984 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2009-2011 yılları arasında Kadıköy-Kartal Metro Projesi'nde ana yüklenici olan Avrasya Metro Grubu'nda tünel teknik ofis mühendisi ve tünel şaft şefi olarak çalıştı. 2012 yılında Gebze-Orhangazi-İzmir Otoyolu İnşaatı Projesi'nde ana yüklenici olan Otoyol Yatırım İşletme A.Ş. - NÖMAYG A.O. şirketinde Samanlı (Orhangazi) ve Selçukgazi Tünelleri'nde tünel mühendisi olarak görev yapmaya başladı. Jeoteknik çalışmalar ve tüneller konusunda çalışmalarını sürdürmektedir.