

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARAHAN (MALATYA-DARENDE ARASI; KM:35+894-37+500) TÜNELİNDE
KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

ALİ KULELİ

Ağustos 2011

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARAHAN (MALATYA-DARENDE ARASI; KM:35+894-37+500) TÜNELİNDE
KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

ALİ KULELİ

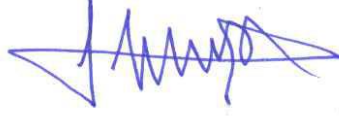
Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mustafa FENER

Ağustos 2011

Ali KULELİ tarafından Yrd. Doç. Dr. Mustafa FENER danışmanlığında hazırlanan “Karahan (Malatya - Darende Arası; KM:35+894-37+500) Tünelinde Karşılaşılan Problemlerin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mustafa FENER (Niğde Üni. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali YALÇIN (Aksaray Üni. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN (Niğde Üni. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl)



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Nurettin ACIR

MÜDÜR

ÖZET

KARAHAN (MALATYA-DARENDE ARASI; KM:35+894-37+500) TÜNELİNDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

KULELİ, Ali

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mustafa FENER

Ağustos 2011, 93 sayfa

Bu çalışma kapsamında, Malatya - Gölbaşı Ayrımı - Darende 6. Bölge Hd. Yolu (KM: 35+894 –37+500) güzergâhı üzerinde yer alan Karahan tünelineki mühendislik problemleri incelenmiştir.

Yapılan arazi çalışmaları kapsamında sondaj ve incelemelerden yararlanılarak heyelanın jeolojik kesiti çıkarılmış, sondajlardan elde edilen karotlar ile zeminin mühendislik parametreleri bulunmuştur. Slidev5 programı ve Phase2D programı kullanılarak heyelanlı bölgenin stabilite analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda depremli ve depremsiz durumda güvenlik faktörünü sağlayan zemin destekleme yöntemi olarak Jet - Grout yöntemi seçilmiştir. Jet - Grout çalışması süresince ve daha sonraki süreçte inklometre yöntemi ile düşey hareketlilik takip edilmiştir.

Anahtar sözcükler; Heyelan, Karahan Tüneli, Jeoloji, Jet – Grout, inklometre, Slidev5

SUMMARY

THE EVALUATION OF PROBLEMS WHICH ARE COME ACROSSIN THE
KARAHAN TUNNEL (BETWEEN MALATYA AND DARENDE; KM:35+894-
37+500) ON GEOLOGICAL ENGINEERING

KULELİ, Ali

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Mustafa FENER

August 2011, 93 page

Within the scope of this study, engineering problems in the Karahan Tunnel which is located on Malatya – Gölbaşı separation. Darende 6 Region Way (Km:35+894-37+500) are investigated.

Investigations which is made on the landslide and geological cross section is taken and the core is gained through drilling and with this, engineering parameters are found Slidev5 and Phase2D programmes are used for stability analysis of landslide region. As a result of analysis; Jet – Groud method is preferred for supporting the ground for security in either with landslide or not. During the process of Jet – Groud and the period, inklometre method is used for observing the vertical motion as a result. Some recommandations are given for healthy work during the excavation work.

Keywords; Landslide, Karahan Tunnel, Geology, Jet – Grout , İnklometre, Slidev5

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde ‘yüksek lisans tezi’ olarak hazırlanmıştır. Çalışma Malatya Karahan tüneline tamamlanmıştır.

Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlamış olduğum bu çalışmada, başta konu seçimi olmak üzere ders aşamasından tezin bitimine kadar geçen süre içerisinde bilimsel, teknik ve tecrübeleriyle beni destekleyen ve yönlendiren danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa FENER’ e teşekkür ederim.

Son olarak da hayatım boyunca benden hiçbir şekilde emeğini esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	İİİ
SUMMARY	İV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	Xİ
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	XİV
KISALTMA VE SİMGELER	XVİ
BÖLÜM I. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri Tünellerin Özellikleri	1
1.3 Jeoloji	2
1.3.1 Genel jeolojisi	2
1.3.2 Tektonizma	5
1.3.3 Depremsellik.....	6
1.3.4 Hidrojeoloji.....	7
1.4 Tünel Açma Metotları ve Yöntemleri.....	7
1.4.1 Kayada tünel açma.....	8
1.4.2 Kayalarda tünel açılması sırasında karşılaşılan olaylar	9
1.4.2.1 Kaya patlamaları	10
1.4.2.2 Kemerleme	10
1.4.2.3 Aşırı sökülme	11
1.4.3 Kayaç zeminlerde açılan tüneller.....	12
1.4.3.1 Delme - patlatma yöntemiyle tünel açma	12
1.4.4 Zeminde tünel açma.....	14
1.4.4.1 Zeminlerde tünel açılması sırasında karşılaşılan olaylar	15
1.4.5 Tünel kazı destek tipleri.....	15
BÖLÜM II. MATERYAL VE METOD.....	20
2.1 Karahan Tüneli Mühendislik Özellikleri	20
2.1.1 Sondajlar	20
2.1.2 Giriş portalı	20
2.1.2.1 Jeolojik durum	20

2.1.2.2 Jeoteknik durum.....	22
2.1.2.3 Kaya kütlesi sınıflama puanı ve deformasyon modülü	23
2.1.3 Delme tünel.....	25
2.1.3.1 Jeolojik durum	25
2.1.3.2 Jeoteknik durum.....	25
2.1.3.3 Kaya kütlesi sınıflama puanı ve deformasyon modülü	26
2.1.3.4 Burdigaliyen yaşlı kil – kıltaşı – marn.....	27
2.1.3.4.1 Jeolojik durum	27
2.1.3.4.2 Jeoteknik durum.....	28
2.1.4 Çıkış portalı.....	31
2.1.4.1 Jeolojik durum	31
2.1.4.2 Jeoteknik durum.....	32
2.1.5 Karahan tüneli giriş portal şevleri ve destekleme sistemleri	36
2.1.5.1 Genel.....	36
2.1.5.2 Drenaj.....	37
2.1.6 Karahan Tüneli Çıkış Portal Şevleri ve Destekleme Sistemleri	37
2.2 Optik Ölçümle Tünel İçi Deformasyonun Tayini.....	38
2.2.1 Tünel eksenini boyunca yer değiştirme vektör yönelimi.....	39
2.2.2 Karahan tünellerinde yer değiştirme vektörlerinin analizi	41
2.3 Çıkış Tüneli Problemleri	43
2.4 Jet - Grout Yöntemi	49
2.4.1 Jet - Grout sisteminin uygulanışı	49
2.4.1.1 Delme aşaması	50
2.4.1.2 Püskürtme aşaması.....	50
2.4.2 Jet - Grout uygulama teknikleri	51
2.4.2.1 Mono jet (Jet1).....	51
2.4.2.2 Double jet (Jet2).....	52
2.4.2.3 Triple jet (Jet3).....	52
2.4.3 Çalışma parametreleri	53
2.4.3.1 Basınç.....	53
2.4.3.2 Dönme ve çekme hızı	54
2.4.3.3 Dozaj	55
2.4.3.4 Püskürtme memeleri	56
2.4.4 Çeşitli zeminlerde Jet - Grout kolonlarının yapıları.....	56

2.4.5 Jet - Grout yönteminin avantajları	57
2.4.6 Jet - Grout yönteminin tasarım esasları	58
2.5 İnklinometre.....	59
2.5.1 Teori ve yöntem.....	60
2.5.2 İnklinometre borusunun yerleştirilmesi	62
2.5.3 Gözlem yapılması	63
2.5.4 İnklinometrik gözlem verilerinin değerlendirilmesi	65
BÖLÜM III. BULGULAR	67
3.1 Giriş Ayna Jeolojik Haritaları ve Yorumlanması	67
3.2 Stabilitate Analizleri	71
3.3 Tünel Analizleri	75
3.4 Yapılan Analiz Sonrası Önerilen Uygulamalar	83
3.5 Karahan Tüneli Yer Değiştirme Vektörlerinin Yorumlanması	85
3.6 Karahan Tüneli İnklinometre Ölçümlerinin Yorumlanması.....	85
BÖLÜM IV. SONUÇLAR	89

KAYNAKLAR

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Sondaj kuyularında ölçülen yeraltısuyu seviyeleri.....	7
Çizelge 1.2 Karahan tüneline kullanılan kazı destek tipleri ve tahkimat elemanları.....	16
Çizelge 1.3 Karahan tüneli püskürtme beton dizaynı	16
Çizelge 2.1 Geniz Formasyonu kireçtaşlarının süreksizlik yüzey özellikleri.....	22
Çizelge 2.2 Giriş portalı için modifiye edilmiş GSI tespiti	23
Çizelge 2.3 20 metrelik örtü kalınlığı için tünel portallarının jeoteknik parametreleri	23
Çizelge 2.4 Giriş portalı için RMR sınıflaması	24
Çizelge 2.5 Deformasyon modülü hesaplamaları	25
Çizelge 2.6 Delme tüneline mesozoyik yaşlı kireçtaşları için modifiye edilmiş GSI tespiti	25
Çizelge 2.7 190 metrelik örtü kalınlığı için delme tüneline jeoteknik parametreleri	26
Çizelge 2.8 Giriş Portalı için RMR sınıflaması	27
Çizelge 2.9 Kil – Kıltaşı – Marn için önerilen jeoteknik tasarım parametreleri.....	29
Çizelge 2.10 Jeoteknik 1 için önerilen jeoteknik tasarım parametreleri.....	32
Çizelge 2.11 Çıkış portalı stabilite analizlerin özeti	35
Çizelge 2.12 Giriş ve çıkış portalı şev değerleri	36
Çizelge 2.13 Farklı zeminlerde gerçekleştirilen arazi deneylerinde belirlenmiş kolon.....	53
Çizelge 3.1 Karahan tüneline çıkış portalı heyelanlı kesime ait Phase analizi sonuçları C3 kaya sınıfı.....	76
Çizelge 3.2 1 noktasında a yönünde ölçülen deformasyonlar	86
Çizelge 3.3 1 noktasında b yönünde ölçülen deformasyonlar	87
Çizelge 3.4 3 noktasında a yönünde süreçte ölçülen deformasyonlar	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Proje alanının yer bulduru haritası.....	1
Şekil 1.2 Stratigrafik sütun kesiti.....	3
Şekil 1.3 Karahan tüneli jeolojik haritası.....	4
Şekil 1.4 Bölgenin Depremselliği	6
Şekil 1.5 Yeraltı kazılarında oluşan çeşitli bölgeler	9
Şekil 1.6 Jeolojik koşulların kaya patlamasına etkisi	10
Şekil 1.7 Açılmış bir tünelde A, B çizgileri ve aşırı sökülme	11
Şekil 2.1 Giriş portalın kesiti	21
Şekil 2.2 Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarına ait hâkim eklem takımları	22
Şekil 2.3 Karahan tüneli jeolojik kesiti.....	30
Şekil 2.4 Çıkış tünellerinin jeolojik kesiti	31
Şekil 2.5 Alın sevi kısa dönem stabilite analizi	33
Şekil 2.6 Alın sevi uzun dönem stabilite analizi, statik	33
Şekil 2.7 Alın sevi uzun dönem stabilite analizi, depremli	34
Şekil 2.8 Yan sevler kısa dönem stabilite analizi	34
Şekil 2.9 Yan sevler uzun dönem stabilite analizi, statik	34
Şekil 2.10 Yan sevler uzun dönem stabilite analizi, depremli.....	35
Şekil 2.11 Giriş portal bulon kesiti	37
Şekil 2.12 Çıkış portalı bulon montajı	38
Şekil 2.13 Yer değiştirme vektörünün boyuna ve düşey bileşenleri.....	40
Şekil 2.14 (a) Tünel kazısı deforme olmuş zayıf bölgeye yaklaştığında, yerdeğiştirme vektörünün yöneliminin eğilimini gösteren boyuna kesit (b) Sık sık sertliği değişen kaya kütlesi içinde tünel açıldığında oluşan yer değiştirme vektörü yöneliminin değişimi	41
Şekil 2.15 Deformasyon ölçüm noktalarının geometrisi	42
Şekil 2.16 Çıkış portalının aktif heyeylan ve Jet - Grout uygulama kesiti	48
Şekil 2.17 Dane çapına göre zemin ıslah yöntemlerinin uygulanabilirliği.....	49
Şekil 2.18 Jet - Grout kolları elde edilmesi.....	50
Şekil 2.19 Bir enjeksiyon memesi formu.....	56
Şekil 2.20 İnklinometrelerin çalışma prensibi	61
Şekil 2.21 İnklinometre borusunun yönleri	63
Şekil 2.22 Karahan heyeylan jeolojik kesiti	66

Şekil 3.1 km: 35+909 göçük aynası jeolojik kesiti	67
Şekil 3.2 km 35+960,50 jeolojik kesiti	68
Şekil 3.3 km 36+106 , 23 jeolojik kesiti	69
Şekil 3.4 km 36+245 jeolojik kesiti	69
Şekil 3.5 km 36+323 jeolojik kesiti	70
Şekil 3.6 km 36+377 jeolojik kesiti	70
Şekil 3.7 km 36+500 jeolojik kesiti	71
Şekil 3.8 Heyelan slide analizi.....	72
Şekil 3.9 Heyelan slide analizi depremsiz durum.....	73
Şekil 3.10 Heyelan slide analizi depremli durum	74
Şekil 3.11 Phase analizinde sol ve sağ tünelin kazı ve destek sistemlerinin tamamlanmış durumu	77
Şekil 3.12 Yatay yerdeğiştirmeler	78
Şekil 3.13 Düşey yerdeğiştirmeler.....	79
Şekil 3.14 Toplam yerdeğiştirme.....	80
Şekil 3.15 Dayanım faktörü	81
Şekil 3.16 Yenilen elemanlar.....	82
Şekil 3.17 Jet - Grout yerleşim planı	84

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1.1 (a) Topografin delgi yüzeyini çizmesi (b) Jumbo ile süren delgisi (c) Süren montajı (d) Ayna patlayıcı delgisi (e) Patlayıcı doldurulması (f) Patlatma sonrası havalandırma işlemi.....	13
Fotoğraf 1.2 (a) Patlatma sonucu oluşan pasa (b)Pasa malzemesinin tünelden çıkarılması (c) Zemin sınıfına göre destekleme yapılması iksa- hasır montajı (d) Yaş shotcrete atılması (e) Jumbo ile kaya bulonu delgisi yapılması (f) Sn tipi bulon montaj ve enjeksiyonu.....	14
Fotoğraf 1.3 (a)Bulona çekme makinesinin yerleştirilmesi (b)Deneyin yapılması	19
Fotoğraf 2.1 Tünel giriş kısmındaki mesozoyik yaşlı kireçtaşlarından görünüm.....	21
Fotoğraf 2.2 Burdigaliyen yaşlı kireçtaşı.....	28
Fotoğraf 2.3 Çıkış tünelleri km: 37+500	32
Fotoğraf 2.4 Tamamen tahrip olan şevlerdeki desteklemeler (b)Aynanın basması ve iksaları 0.5m zemine batırması	43
Fotoğraf 2.5 Ek portal.....	44
Fotoğraf 2.6 (a) Portaldan sonra deforme olmuş iksaların yenilenmesi (b) İksalarda oluşan çatlak	44
Fotoğraf 2.7 (a)Aynayla yakın mesafeli invert uygulamasında yapılması (b)Tünel üstündeki heyeylan çatlakları (c) Çalışma sırasında oluşan göçük (d) Baca açılması	45
Fotoğraf 2.8 Tekrar iksa kurulması.....	45
Fotoğraf 2.9 Göçük üstten iksaları betonla kapatarak geçilmesi	46
Fotoğraf 2.10 Püskürtme aşaması.....	51
Fotoğraf 2.11 Deney düzeneği.....	60
Fotoğraf 2.12 (a)İnklinometre borusu yerleştirilirken yapılan perçinleme işlemi (b)İnklinometre borusu yerleştirilirken yapılan silikonlama işlemi	62
Fotoğraf 2.13 İnklinometre okumasının yapılışı.....	65

KISALTMA VE SİMGELER

Kısaltma/Simge

Jv	Hacimsel eklem sayısı
SR	Yapısal özellik puanı
SRC	Süreksizlik yüzey koşulu puanı
GSI	Jeolojik dayanım indeksi
UCS	Kayaç malzemesini tek ekseli sıkışma dayanımı
mi	Kayaç malzemesine ayit boyutsuz malzeme sabiti
RMR	Kaya kütlesi sınıflama puanı
D	Örselenme faktörü
E	Elastisite modülü
g n	Birim hacim ağırlık
c	Kohezyon
E _m	Deformasyon modülü
N	Tutucu kuvvet
S	Kaydırıcı kuvvet
Te	Uygulanacak tek bir ankraj yükü
n	Bir dilimdeki ankraj sayısı
T	Gerekli toplam ankraj yükü
AF	Azaltma faktörü
UU	Üç eksenli deney
CD	Direkt kesme deney
v	Poisson oranı
u _p	Zımbalama çevresi
d	Zımbalama derinliği
V _{pr}	Zımbalama dayanımı
Ø	İçsel sürtünme açısı
L	Yer değiştirme
S	Düşey yer değiştirme (mutlak oturma)
α	Yer değiştirme ile mutlak oturma arasındaki açının tanjantı
Ydv	Yer değiştirme vektörü
Ydvy	Yer değiştirme vektör yönelimi

γ	Birim hacim ağırlığı
P_i	Uygulanan enjeksiyon basıncı
Q	Enjeksiyon miktarı
V	Enjeksiyon çıkış hızı
A	Enjeksiyonun çıkış alanı
q_u	Jet - Grout kolonunun taşıma kapasitesi
S	Yatay yönde kaya bulonu sayısı
NATM Yeni Avustralya tünel açma metodu	

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsünde “Yüksek lisans tezi” olarak hazırlanmıştır. Çalışma konusu Karahan Tünelinin mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesidir.

1.2 Çalışma Alanının Yeri Tünellerin Özellikleri

Malatya - Gölbaşı ayrımı - Darende 6. Bölge Hd. Yolu güzergâhı üzerinde yer alan Karahan Tüneli çift tüplü olarak projelendirilmiştir. Uzunluğu 1526 metre olan tünel km: 35+904 – 37+430 arasında kalacaktır. Çift tüplü ve ikişer şeritli Karahan Tüneli’nin eğimi %-0,50 olarak tasarlanmıştır. Karahan Tüneli’nin yer bulduru haritası Şekil 1.1’de verilmiştir [1].



Şekil 1.1 Proje alanının yer bulduru haritası

1.3 Jeoloji

1.3.1 Genel jeoloji

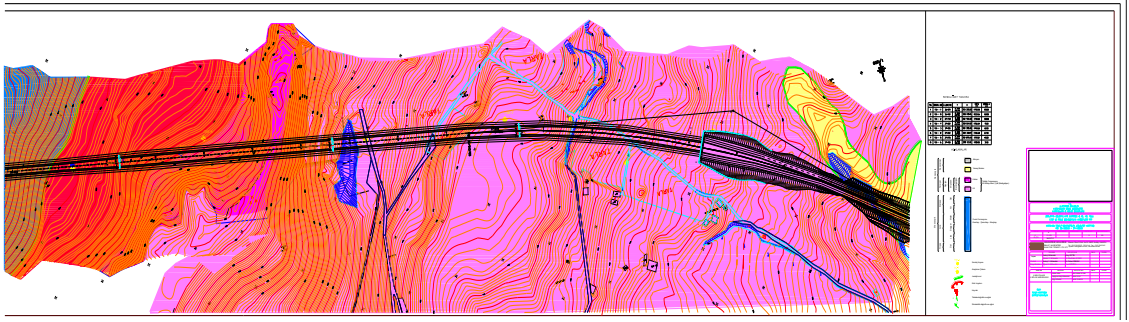
İnceleme alanı ve çevresi, Ketin'in Anadolu'nun Tektonik Birlikleri sınıflamasına göre Toridler (Toroslar) tektonik birliği içinde bulunmaktadır [2]. Akdeniz kıyısına paralel olarak uzanan Toros dağ şeridi sahilden itibaren KB, özellikle D-B istikametinde devam eder. İnceleme alanı da, Toroslar ünitesinin KB istikametinde yaptığı virgasyonun kuzey kenar bölgesi içinde yer alır.

Malatya ovası geniş bir depresyon olup, tabüler yapılı Plio – Kuvaterner çakıllarıyla doldurulmuştur. Etüt alanı ve çevresinde tabakalanma jeolojik istiflenmeye uygun gelişmiştir. Güzergâh boyunca gözlenen en yaşlı birim Üst Triyas'tan Üst Kretase'nin sonuna kadar uzun bir aralıkta çökelen kristalize kireçtaşıdır. Bu birimi Alt Kretase'den sonra oluşmuş ofiyolitler keser. Bu birimlerin üzerine Tersiyer (Eosen – Alt Miyosen) yaşlı sedimanter birimler uyumsuz olarak gelmiştir. Alt Miyosenden sonra bölgede iki volkanik faaliyet tespit edilmiştir. İlk volkanik faaliyetin ürünü olan tuf seviyeleri Burdigalien zamanında vuku bulmuştur. Su içinde çökelen bu oluşuklar bariz tabakalanma gösterirler. Kepez dağı civarında yaygın halde görülen bazaltlar ise Akkuş tarafından Post-Burdigalien olarak yaşlandırılıp yine aynı kişi tarafından bu bazaltlara meydana getirdikleri Kepez dağına izafeten “Kepez Dağı Bazaltları” olarak adlandırılmıştır[3]. Güzergâh üzerinde gözlenen Eosen ve daha genç sedimanter birimlerin tabakalanması genelde yataya yakın konumdadır. Proje sahasının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti Şekil 1.2' de gösterilmiştir [2].

Üst Triyas – Üst Kretase: Kristalize Kireçtaşı (Geniz Fm.); Proje güzergâhının yaklaşık 1/3'ünü kaplayan bu birim aynı zamanda bölgedeki en yaşlı birimdir, Geniz kireçtaşı açık gri – bej – beyaz renkli, genellikle kriptokristalin veya mikrokristalin dokudadır. Çatlaklı bir yapı göstermekle beraber, çatlakların arasında kalsit dolguları bulunmaktadır. Genellikle masif görünümlü olan birimin alt seviyelerinde tabakalanma görülebilmektedir. Tabaka kalınlıkları 25 - 50 cm civarındadır. Güzergâh boyunca genelde, gri renkli olan bu kireçtaşları masif yapıda olup, yer yer faylı ve kırıklıdır. Az derecede ayrılmış, yüksek dayanımlı bu kayalarda çatlak aralığı 2 – 20 mm arasında değişmektedir. Kristalize kireçtaşlarının bazı kesimlerinde mermer dokusu görülür. Çatlak sıklığı 100 – 300 cm arasında değişir [1].

Zaman	Devir	Devre	Formasyon	Kaya Birimleri	Stratigrafi		
Senezoyik	Kuvaterner			Alüvyon - Yamaç Molozu			
	Tersiyer	Neojen	Miyosen	Üst	Kepez Bazaltları (Mk)	Bazalt - Andezit - Aglomera, Karasal	
				Orta	Hacova Volkanitleri (Th)	Aglomera - Tüf, Karasal	
			Alt	Tahtalı Fm. (Mb)	Kumtaşı - Çamurtaşı - Kireçtaşı, Şelf		
				Petekkkaya Fm. (Tp)	Kireçtaşı, Şelf		
		Paleojen	Oligosen	Muratlı Fm. (Tom)	Kireçtaşı, Şelf		
			Eosen	Yeşilyurt Fm. (Ty)	Çakıltası, Şelf		
	Mesozoyik	Kretase	Üst	Kürecik Olistrostromu (Kk)	Kristalize Kireçtaşı		
Alt			Geniz Fm. (jkg)				
Jura		Malm					
		Dogger					
		Lias					
Triyas		Üst					

Şekil 1.2 Stratigrafik Sütun Kesiti [1]



Şekil 1.3 Karahan tüneli jeolojik haritası

Üst Kretase:Peridotit– Gabro– Levha Dayk (Kürecik Olistrostromu); Olistostromal melanj niteliği gösteren birim, killi kumlu bir matriks içerisinde diyabaz, serpantinit, gabro, kireçtaşı ve radyolarit içermektedir. Matriks içerisinde yer alan diyabazlar bordo-kırmızı, kahve renkli ve yer yer siyah, serpantinitler yeşil, gabrolar beyaz-gri renkli olarak bulunmakta ve matriks rengi olarak da krem, bej rengi gözlenmektedir. Bu kayaçların genellikle altere yüzeyleri bulunmaktadır. Birim içerisinde herhangi bir fosile rastlanmamıştır fakat stratigrafik ilişkilerden Üst Kretase yaşlı olarak yorumlanmıştır. Alt sınırında Geniz kireçtaşı ile, üst sınırında ise Burdigaliyen yaşlı Tahtalı Tepe Formasyonu ile uyumsuzluk gösterir. Kürecik Olistrostromu güzergâhın son 750 metresinde gözlenmektedir. Çok kırıklı, faylı ve çatlaklı olan bu yeşil kayaçlar da bozuşma fazladır [1].

Burdigaliyen (Miyosen): Kumtaşı – Çamurtaşı – Kireçtaşı (Tahtalı Tepe Fm.); Gri renkli formasyon Burdigaliyen yaşlıdır. Çamurtaşları gevşek çimentolu olup, yatay tabakalı ve zayıf dayanımlıdır. Çamurtaşlarının kalınlığı 5–30 metre arasında değişir. Tabaka kalınlığı 5 – 30 cm, çatlak açıklığı ise 20 – 60 mm arasındadır. Kireçtaşları beyazımsı – gri renklidirler. Orta derecede ayrılmış ve dayanımlıdır. Tabaka kalınlığı 30 – 100 cm, çatlak açıklığı ise 2 – 20 mm arasında değişiklik gösterir. Tahtalı tepe formasyonu, Geniz formasyonu ve Kürecik olistrostromu üzerine diskordan olarak oturur. Kuvaterner: Alüvyon: Alüvyonlar, eski vadi tabanlarında ve geniş düzlüklerde oluşan ince – iri malzemelerden oluşan birimlerdir. Bloklu, molozlu, çakıllı, siltli, kumlu, killi malzemeden oluşurlar [1].

1.3.2 Tektonizma

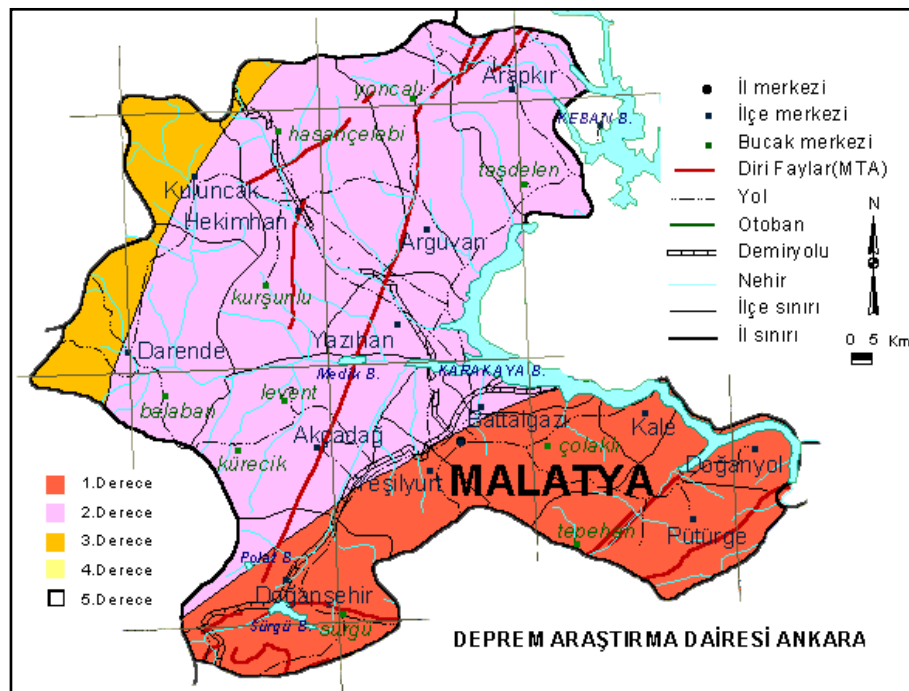
Üst Kretase esnasında önemli kara ve deniz hareketleri görülmüş ve buna paralel olarak volkanik faaliyetler geniş ölçüde artmıştır. Bu devirdeki Bazik Volkaniklerin büyük bir kısmı serpantinleşmiştir. Serpantinlerin içinde veya üstünde yüzlerce metre kalınlığında Kireçtaşları, Radyolaritler oluşmuştur. Karışık görülen bu Üst Kretase yaşlı formasyonlardan deniz dibinin stabil olmadığı anlaşılır. Sivas ve Malatya depresyonu uzun zaman sular altında kalmış, Eosen fliş ve kireçtaşı oluşturmıştır. Neojen yaşlı sığ göllerde oluşan gevşek çimentolu kilaşı ve ayrıca volkanik faaliyetlerin fazla oluşu nedeniyle volkano-sedimenterler yüzlerce metre kalınlığa ermiştir. Neojende faydalama ve dikey hareketler fazladır [1].

1.3.3 Depremsellik

Proje sahası, bölgenin deprem haritasına göre 2. derece deprem bölgesi üzerinde yer almaktadır (Şekil 1.4). Anılan proje sahası Malatya fayına 15 km, Doğu Anadolu Fay Zonunun segmenti durumundaki Doğanşehir fayına 34 km mesafede kalmaktadır. Bu nedenlerle proje sahasının gelecekte muhtemel deprem hareketlerinden etkilenmesi beklenmelidir. Deprem kuvvetlerinin proje sahasına gelecek zaman dilimleri içerisindeki muhtemel etkileri Deprem Risk Analizi çalışması yapılarak belirlenmiştir.

Yeraltı mühendislik yapılarının yer üstü yapılarına göre depremlerden daha az etkilendikleri bilinmektedir. Ancak örneğin filiş gibi zayıf dayanımlı kayalar içinde açılan tünellerin özellikle faylarla kesilmesi durumunda depremler sırasında hasar görmeleri mümkün olabilmektedir.

Hazırlanan bu bölümde Malatya – Darende yol güzergâhının deprem riski probabilistik ve deterministik yöntemlerle hesaplanarak yol ve tünel projesinin dizayn edilmesi sırasında esas alınacak deprem parametrelerinin seçimine imkân sağlanmıştır [1].



Şekil 1.4 Bölgenin Depremselliği [1]

1.3.4 Hidrojeoloji

Proje güzergahı boyunca irili ufaklı dereler olmasına rağmen güzergahı kesen Küllük Deresi, Derin Dere, Kaya Deresi ve Sarılar dereleri gibi küçük derelerden sadece mevsimlik su akışı gözlenmektedir. Güzergâh boyunca en yüksek debili dere proje sonunda yer alan Dipsiz Dere'dir ve bu dere az geçirimli ofiyolitik seri üzerindedir.

Sedimanter kayalar içerisinde açılacak olan tünelde mevsime göre sızıntı ve damlama şeklinde çatlak suları beklenmektedir. Yağışlı dönemde tünellere su gelişi artabilir. Su gelişinin en fazla bekleneceği yerler Mesozoyik yaşlı Geniz formasyonu kireçtaşları ile Burdigaliyen (Alt Miyosen) yaşlı birim kantağında ve bu birim içindeki kireçtaşı seviyelerinden beklenmektedir.

Sondaj çalışmaları sırasında, sabah ve akşam yeraltı suyu gözlemleri yapılmış olup, sondaj kuyularında tespit edilen yeraltı suyu derinlikleri ve kotları aşağıdaki Çizelge 1.1' de özetlenmiştir [1].

Çizelge 1.1 Sondaj kuyularında ölçülen yeraltısuyu seviyeleri

NO	SONDAJ NO	KİLOMETRE	Y	X	KOTU	DERİNLİK (m)	YASS (m)
1	TSK-1	36+129	4 244 216,70	393 388,53	1793,59	109,00	9,00
2	TSK-8	36+402	4 244 247,81	393 115,46	1833,66	133,00	61,00
3	TSK-2	36+734	4 244 350,40	392 798,35	1798,60	105,00	17,00
4	TSK-7	37+022	4 244 403,42	392 514,92	1756,54	70,00	10,00
5	TSK-3	37+158	4 244 442,50	392 385,23	1743,60	60,00	5,00
6	TSK-4	37+202	4 244 367,08	392 310,49	1746,64	67,00	7,00
7	TSK-5	37+276	4 244 549,14	392 299,46	1719,52	43,00	5,00
8	TSK-6	37+450	4 244 551,29	392 113,10	1705,88	31,00	1,00

1.4 Tünel Açma Metotları ve Yöntemleri

Tünel açma metotları temel olarak iki grupta incelenebilir. Tüneller zemin ya da kaya ortamlarda açılmıştır. Açıldıkları ortamın özelliklerine bağlı olarak değişik olaylarla karşılaşılır. Tünel açılmasında zeminler yumuşak, kayalar ise sert ortamlardan oluştururlar [4].

1.4.1 Kayada tünel açma

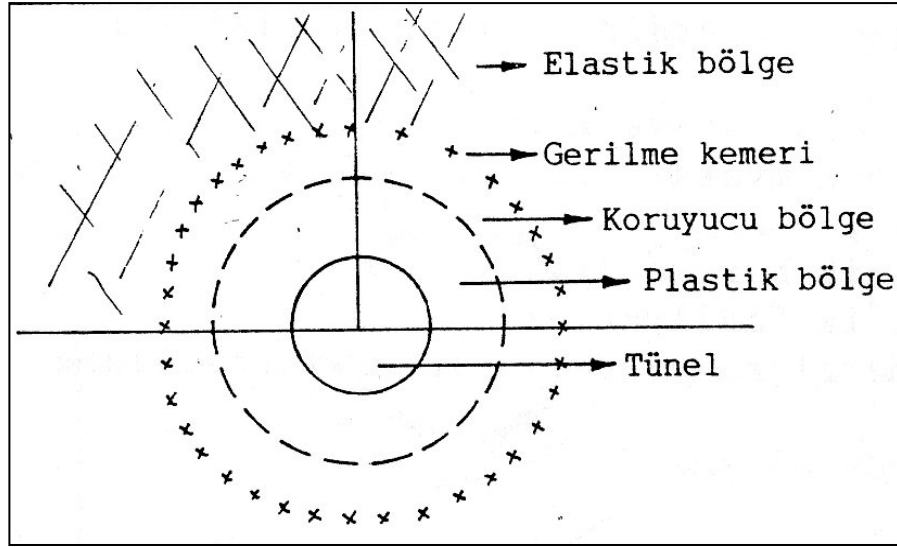
Kayada tünel açma metodunda uygulanan temel iki yöntem vardır. Bunlar delme-patlatma yöntemi ve tünel açma makineleri kullanılarak yapılan tünel kazı yöntemleridir. Sert kayada tünel açılması esnasında, kökeni değişik nedenlere bağlı, çeşitli olaylarla karşılaşılabilir. Bunların ana nedeni kayaların içinde bulunan doğal gerilmelerdir. Doğal gerilmeler, yerçekimi, kalıcı gerilmeler ve su basıncının etkisinde oluşur. Kalıcı gerilmeler, yerçekimi ve su basıncı dışında kalan gerilmelerdir. Kalıcı gerilmeler;

- Tektonik hareketler,
- Magmatik faaliyetler,
- Metamorfizma ya da rekristalizasyon,
- Fiziko-kimyasal olaylar,
- Kayaların erozyonu ve buzul erimesi,

sonucunda oluşurlar. Son yıllarda ölçü tekniğinin gelişmesi ve buna bağlı olarak yeraltında yapılan gerilme ölçmeleri, kayaların belli bir derinliğe kadar izostatik gerilmeler altında olmadığını yatay ve düşey gerilmelerin birbirinden farklı olduğunu göstermiştir. Bu kısımda kayaçların elastik davranış gösterdiği kabul yapılmış; elastik bölgelerden daha derinde ise basınç ve ısı etkisiyle plastik ve yarı plastik davranış özelliği gösteren bölgelerde yatay gerilmelerin 3 katı olduğu belirlenmiştir. Ancak eski kıta nüvesini teşkil eden kıta kalkanlarında bu oranın geçerli olmadığı, tünelin yüzeye çok yakın geçtiği bölgelerde dahi yatay gerilmelerin düşey gerilmelerden çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (şekil 2.1).

- Kazıdan etkilenmemiş kaya (elastik bölge),
- Koruyucu bölge,
- Plastik bölge (gevşeme zonu)

Gevşeme zonunda kohezyon (c) içsel sürtünme açısı (ϕ) etkilenmiş kayaca göre daha düşük değerler verir. Ayrıca kazı kesitlerinin şekli de gerilme dağılıştan üzerinde etkilidir. Dairesel ve elips kesitli tünellerde gerilme kemeri büyük gerilme yoğunlaşması olmaksızın oluşur. Gerilmelerin köşe bölgelerde daha yoğun oluşması nedeniyle, tünel kesiti seçiminde köşe teşkil eden kesitlerden kaçınılmalıdır. şekil 1.5' de de görüleceği üzere gerilmeler belirtilmiştir [5].



Şekil 1.5 Yeraltı kazılarında oluşan çeşitli bölgeler

1.4.2 Kayalarda tünel açılması sırasında karşılaşılan olaylar

Sert kayalarda tünel açılması esnasında, kökeni değişik nedenlere bağlı, çeşitli olaylarla karşılaşılır. Bu olayların meydana gelmesinde ana etken kayaların içinde bulunan gerilmelerdir. Bu gerilmelere doğal gerilmeler denir.

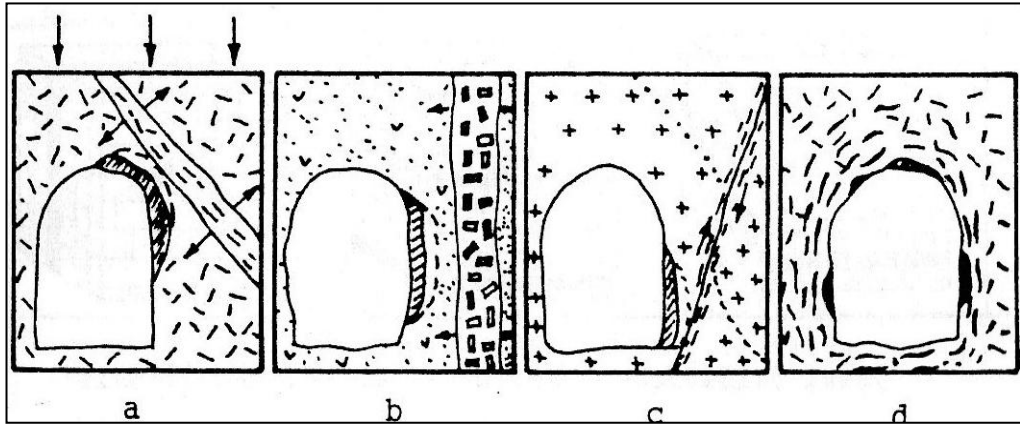
Doğal gerilmeler, yerçekimi, kalıcı gerilmeler ve su basınçlarının etkisiyle oluşur. Yerçekimi gerilmesi kayaların ağırlığından, su basınçları ise kayaların içerdiği boşlukların su ile dolmasıyla (boşluk suyu basıncı, kaldırma kuvveti) oluşur.

Doğal gerilmelerin etkisi altında bulunan kayalarda yapılan kazılar sonucu, doğal gerilmeler yön, şiddet ve yer değiştirerek yeni gerilmelerin oluşmasına neden olur. Bu gerilmelerin etkisi ile tünel duvar, taban ve tavanlarında, kaya fırlamaları, kaya patlamaları, kapak atmalar, şişme ve kabarma gibi olaylarla karşılaşılır. Kaya fırlaması, patlaması ve kapak atmalar daha çok sert ve sağlam kayalarda, şişme ve kabarma türü olaylar ise daha çok ayrışmış ve yumuşak kayalarda meydana gelir.

Dairesel ve elips şekilli tünellerde gerilme kemeri büyük gerilme yoğunlaşması olmaksızın oluşur [4].

1.4.2.1 Kaya patlamaları

Doğal gerilmelerin etkisi altında bulunan kayalar içinde açılan tünellerde, kazı türü ve hızına bağlı olarak tavan, taban ve yan duvarlarda, birkaç kilogramdan binlerce kg ağırlığında ki kayaların birdenbire ve patlayarak tünel boşluğuna düşmelerine kaya patlamaları denir. Farklı dirençteki kayaların birlikte olmaları ve kırıkların varlığı kaya patlamalarında etken olan faktörlerdir. Değişik kuvvetlerin etkisiyle gerek kırık çevresinde gerekse farklı türdeki kayalarda farklı gerilmelerin oluşmasına neden olur. Bu durumlar Şekil 1.6 a,b,c,d' de gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Jeolojik koşulların kaya patlamasına etkisi. a; mikaşist, b; dayk, c- fay, d sağlam kaya [6]

Kaya patlamaları, mikaşist merceği, magmatik damar ya da kırık zonuna en yakın yerlerde gelişmektedir.

Sağlam kayalarda açılan tünellerde, tünel boşluğu çevresinde gerek doğal gerilmelerin gerekse patlamalarla oluşan çatlaklara bağlı olarak kaya patlamaları oluşmaktadır (Şekil 1.6d). Düşük dirençli, ayrılmış, killi, siltli ve çamurtaşı gibi kayalarda açılan tünellerde ise daha çok sıkışma, şişme, kabarma ve dalgalanma gibi olaylarla karşılaşılır.

1.4.2.2 Kemerleme

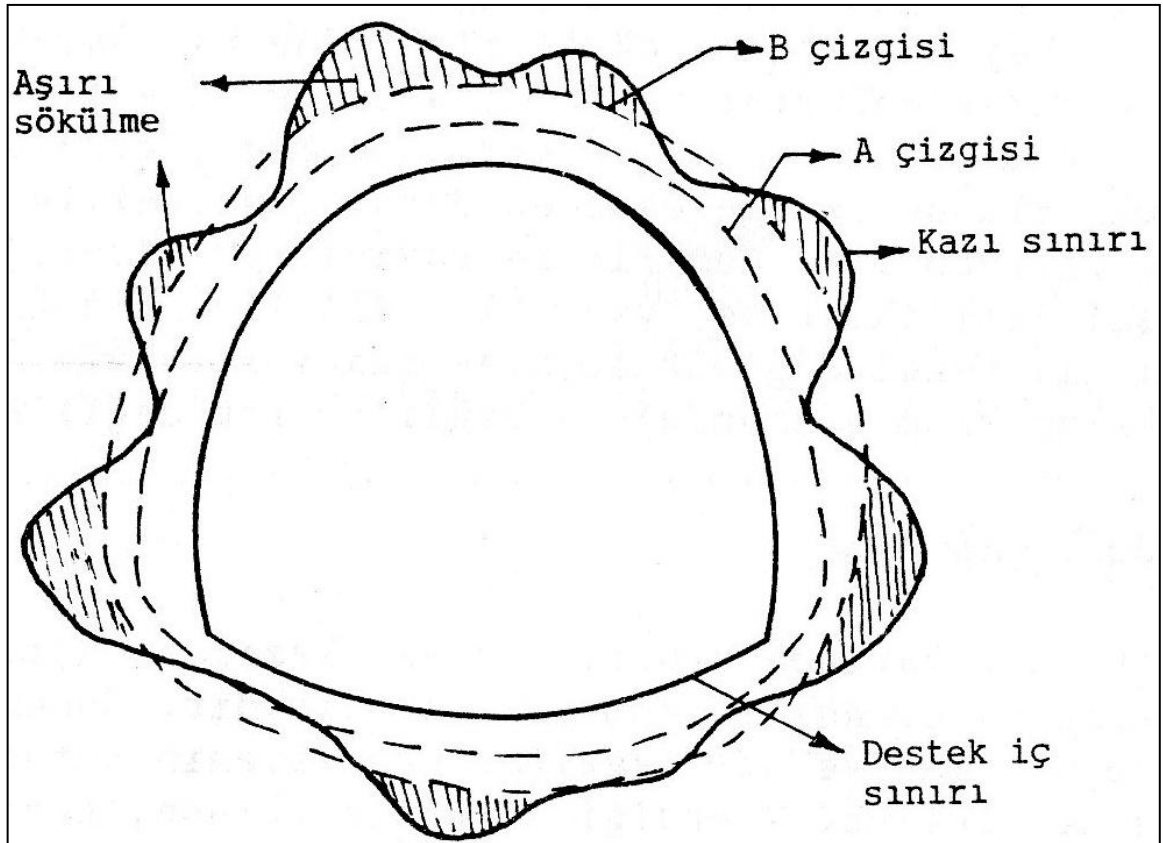
Kayaçlar içinde bir kazı yapıldığında, gerilmelerin etkisi ile kayaçlar açılan boşluğa doğru hareket etmek isterler. Kayaçlar bu hareketi birbirine dayanarak bir dereceye kadar önlerler ve sonuçta denge oluşur. Bu denge haline kemerleme denir. Kemerleme

kayaçlarda açılan boşlukların destek gerekmeden durabilme özelliği olarak da tariflenebilir.

1.4.2.3 Aşırı sökölme

Yeraltı kazılarında profil fazlası kazılara aşırı sökölme denir ve istenmeyen bir olaydır. Bununla beraber çoğu zaman yeraltı kazılarında kayanın türüne, ayrışma derecesine, içerdiği süreksizliklere, tünel çapına, tünel açma yöntemine, kullanılan patlayıcının etkisine, destek şekline ve patlayıcı ile destek arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişik oranlarda meydana gelir.

Aşırı sökölme tünel maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Tünelin tamamlanması için, kaplamanın dış kısmındaki boşlukların doldurulması ve ana kaya ile bağlantısının yapılması gerekir. Bu ise ek çalışmayı dolayısıyla maliyeti etkiler. Bu nedenle tünel açılmasında işveren ile işi yapan arasında anlaşmazlıklara neden olur. Bu anlaşmazlıkların çözümü için tünel açmada bazı sınırlar kabul edilmiştir. Bu sınırlar Şekil 1.7’ de A çizgisi ve B çizgisi olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.7 Açılmış bir tünelde A, B çizgileri ve aşırı sökölme

1.4.3 Kayaç zeminlerde açılan tüneller

Kaya zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle delme-patlatma yöntemi ya da değişik tipteki delgi aygıtları kullanılmaktadır. Kaya zeminlerin kendini taşıyabilir özellikte olması nedeniyle bu tip zeminlerde inşa edilen tünellerde, yukarıda da belirtilmeye çalışıldığı gibi, genellikle stabilite sorunlarıyla karşılaşılmamaktadır. Kayaç zeminlerde tünel inşası kazının şekline göre delme - patlatma yada özel delgi aygıtlarıyla inşa olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır [7].

1.4.3.1 Delme-patlatma yöntemiyle tünel açma

Tüneller de delme işlemi bugün jumbo denilen, amaca göre 1–7 kollu, paletli ya da lastik tekerlekler veya raylar üzerinde hareket edebilen en az 4 m² kesit alanlı tünellerden başlayarak daha büyük kesit alanlı tünellerde çalışabilen araçlarla yapılmaktadır.

Delme ve patlatma yönteminde üzerinde durulması gereken en önemli husus, kazı esnasında aşırı sökülmenin en az seviyede tutulmasının sağlanmasıdır. Bu da patlatma yapılacak deliklerin yönlendirilmesi, uzunluklarının uygun seçilmesi, patlayıcı maddenin cinsi ve miktarının iyi ayarlanmasıyla mümkündür. Bir patlatma ilerlenecek mesafe, kayanın özelliğine ve tünel genişliğine bağlıdır. Genel olarak bu mesafe tünel genişliği kadar olur [4].

Delme ve patlatma yöntemiyle tünel açılırken bir patlatma da yapılan işlemlerin sırası;

- Fotoğraf 1.1d’de görüldüğü şekilde tünel ve tünel kayası özelliklerine göre önceden planlanmış deliklerin açılması,
- Fotoğraf 1.1e’de görüldüğü gibi deliklere, patlayıcı madde cinsine göre hesaplanmış miktarda patlayıcıların yerleştirilmesi,
- Patlatma sırasına göre deliklerin ateşlenmesi,
- Fotoğraf 1.1f’ de görüldüğü gibi Patlatma sonucu oluşan gaz ve tozların temizlenmesi için tünel içinin havalandırılması,
- Düşme tehlikesi olan gevşemiş kaya bloklarının düşürülmesi,
- Fotoğraf 1.1c de görüldüğü gibi gerekli ise destekleme yapılması (süren, iksa, bulon, hasır),

-Patlatma sonucu koparılan malzemenin dışarı taşınmasıdır (Fotoğraf 1.2 b).



Fotoğraf 1.1 (a) Topografin delgi yüzeyini çizmesi (b) Jumbo ile süren delgisi (c) Süren montajı (d) Ayna patlayıcı delgisi (e) Patlayıcı doldurulması (f) Patlatma sonrası havalandırma işlemi



Fotoğraf 1.2 (a) Patlatma sonucu oluşan pasa (b)Pasa malzemesinin tünelden çıkarılması (c) Zemin sınıfına göre destekleme yapılması iksa- hasır montajı (d) Yaş shotcrete atılması (e) Jumbo ile kaya bulonu delgisi yapılması (f) Sn tipi bulon montaj ve enjeksiyonu

1.4.4 Zeminde tünel açma

Tünel açılacak zeminin litolojisine ve su miktarına göre zeminleri yumuşak ve sert zemin diye iki kısma ayırmak mümkündür.

1.4.4.1 Zeminlerde tünel açılması sırasında karşılaşılan olaylar

Kayaçların ayrışması, aşınması, taşınması ve uygun ortamlarda birikmesiyle meydana gelen zeminlerde tünel açılmasında karşılaşılan olaylar zemini oluşturan malzeme türü ile yakından ilgilidir. Tünel açma işlemi başlayınca genellikle tavan ve yan duvarlar kendini tutamaz, açılan tünel boşluğuna akarlar. Bu tür zeminler daha çok toprak, moloz çakıl ve kumlardan oluşmuştur. Akıcı ve çok hızlı akıcı zeminler olarak isimlendirilirler. Su içeriği fazla olan killi ve siltli zeminlerde akma özelliği gösterir ve akma daha çok çamur akması şeklinde görülür. Eğer killi ve siltli zeminlerin su içeriği az ise bu halde akma görülmez fakat buna karşılık sıkışma, şişme, kabarma ve kıvrılma türü olaylar görülür. Olayın türüne göre de sıkışan, şişen zeminler adı verilir. Bu tür zeminler basınç altında kırılmazlar, plastik sınırdan olduklarından kabarıp, kıvrılırlar. Zeminlerde açılan tünellerin desteksiz durma süreleri (kemerleme süresi) yok denecek kadar azdır. Bazı sert killerde 1–2 gün kadardır.

Zeminlerde tünel açılırken meydana gelen olaylarda en büyük rolü yeraltı suyu oynar. Bu nedenle tünel açılırken yeraltı su seviyesi çeşitli yöntemlerle tünel seviyesi aşağısına indirilmesi, çalışma ortamından uzaklaştırılması gerekir. Bu tür şişen, kabaran zeminlerde açılacak tünellerde gerilmelerin dağılımı göz önüne alındığında tünel kesitlerinin dairesel olması önerilir.

Akıcı ve çok hızlı akıcı zeminlerde tünel duvar ve tavanının desteklenmesi gerekir. Destekleme kazı sırasında ahşap, çelik kiriş ya da çelik levhalarla yapılır ve kazı ile birlikte bunlarda ilerletilir. Su içeriği çok düşük kil ve çimentolu kumtaşlarının yeteri kadar kesme ve basınç dirençlerine sahip olmaları hemen desteklenmelerini gerektirmez. Bununla beraber emniyet açısından destekleme yapılabilir [4].

1.4.5 Tünel kazı destek tipleri

Kazı yapılan kayanın stabilitesi, tünel üstündeki örtü kalınlığı, tünel güzergâhı üzerindeki yapıların veya yapılaşmanın niteliği ve projelendirme aşamasında tünel içindeki gerilmelerin özellikle yoğunlaştığı bölgeler; kazı destekleme tipinin belirlenmesinde temel parametrelerdir.

Aynayı teşkil eden kayacın yapısal özellikleri, su durumu stabiliteyi belirler. Eğer stabilite düşükse, buna bağlı olarak tahkimat desteği artırılır. Aynı şekilde örtü kalınlığı

da, kazı destek oranıyla ters orantılıdır. Tünel içi gerilmelerin yoğunlaşması ve yüzey yapılaşmasının fazla olarak nitelenmesi ise kazı destekleme oranının artırılması ile doğru orantılıdır (Çizelge 2.1) [5].

Çizelge 1.2 Karahan tüneline kullanılan kazı destek tipleri ve tahkimat elemanları

Destekleme elemanları	B2	B3	C2	C3
Ortam	Çok Gevrek	Taneli	Baskılı	Çok baskılı
Çelik İksa	Yok	Var (160)	Var(180)	Var (200)
Çelik Hasır	Tek Kat	Çift Kat	Çift kat	Çift Kat
Shotcrete	D=15-18cm.	D=20cm.	D=25cm.	D=40cm.
Kaya Blonu	14	19	23	23
Süren	23	23	46	46
Kazı Ano Boyu	2,0-2,5m.	1,0-1,25m.	<2,0m.	0,75-1,0m.
Püskürtme Beton Dayanımı (MPa)	20	20	20	20

Shotcrete

Çevre kayanın gevsemesini engelleyen taşıyıcı bir eleman olarak püskürtme betonunun kullanımı kaçınılmazdır. Destekleme elemanlarından en yüksek destek basıncını sağlayan eleman püskürtme betonudur. Çizelge 2.2’ de görüldüğü gibi Dizayn da beton katkısı, su, çimento, agrega kullanılır. Kullanılacak olan püskürtme betonun 28 günlük mukavemeti 20 N/mm² olacaktır. 24 saatlik günlük mukavemet ise 9 N/mm² olacaktır [8]. Tabakaların kopma ve düşme olasılığına karşılık tüm destekleme sistemlerinde kazının hemen ardından ilk tabaka püskürtme betonu uygulanmalıdır [9].

Çizelge 1.3 Karahan tüneli püskürtme beton dizaynı

				<u>Doğal Kum</u>	<u>Kırma Kum</u>
<u>Dozaj</u>	<u>Katkı %</u>	<u>Çimento</u>	<u>Su</u>	<u>0-5mm.</u>	<u>0-7mm.</u>
2162 kg	3	460	220kg	487kg	992kg

İksa montajı

Çelik iksa, NATM’nin destek önlemleri arasında önemli bir yer tutmamaktadır. Esas olarak çelik iksa taze püskürtme beton yük taşımaya başlamadan önce derhal destek sağlamakta ve betonun mukavemetini kazanmasından sonra çelik hasırla birlikte donatı

teşkil etmektedir (Fotoğraf 2.13). Çelik iksa ayrıca süren kazıklara destek teşkil eder ve çalışanlar için psikolojik bir güven sağlar.

Tünel iksa sınıflarında I profil kullanılmaktadır. B2 kaya sınıfında I-120, B3 kaya sınıflarında I-160, C2 kaya sınıfında I-180 ve C3 kaya sınıfında ise I-200 tipi iksalar kullanılmaktadır. Bunun sebebi olarak bu profillerin Türkiye’de yerli olarak imal edilmesidir. Bununla birlikte inşaat esnasında karşılaşılabilecek zemin koşullarına göre daha mukavim profiller kullanılması da söz konusudur [9].

Süren uygulaması

Ön kazıklı desteklemenin amacı ayna çevresinde şemsiyeleşme vasıtasıyla destek sağlamaktır. Ayrıca bazı boruların deliğe sabitlenmesinin ardından enjeksiyonsuz olarak bir süre bekletilmesi, aynaya gelebilecek yeraltı suyunun drene olması için olanak sağlamaktadır. Daha sonra bu borular enjeksiyonlanarak gerçek işlevleri kazandırılır [9].

Çelik hasır montajı

Püskürtme beton kaplamanın statik ve konstrüktif donatısını teşkil etmek üzere beton tabakaları arasına çelik hasır uygulanacaktır. Kaya ile püskürtme beton arasında adhezyonu sağlamak, betonun prizini alana kadar geçen sürede stabilizasyonu, kayma mukavemetinin arttırılması ve aşırı çatlakların önlenmesi amaçlanarak, hasır çelik uygulaması yapılmaktadır. Projede Q tipi hasır çelik kullanılacaktır.

B2 ve B3 kaya sınıflarında Q188/188 tipi hasır çelik kullanılacak olup (çelik çapı 6 mm, 15 cm grid açıklığı, ağırlık = 2.06 kg/m²), C2 ve C3 kaya sınıfında ise Q221/221 tipi hasır çelik kullanılacaktır (çelik çapı 6.5 m, 15 cm grid açıklığı, ağırlık = 3.97 kg/m²). Tespit ve bindirme boyları için yeraltı tünel isleri teknik şartnamesi göz önüne alınacaktır [9].

Kaya bulon

Kaya bulonları tek başlarına tahkimat elemanı olarak uygulanabildiği gibi iksa, çelik hasır ve shotcrete’den oluşan tahkimatın tamamlayıcı elemanı olarak kullanılmaktadır.

Taşıyıcı plakaları shotcrete kabuğunun yüzeyine basacak biçimde, kabuğun kaya kemeri ile birlikte çalışmasını sağlar [9].

-E.K.B. (Enjeksiyonlu kaya bulonu)

En yaygın olarak kullanılan kaya bulonudur. Bir delici makine tarafından delinen deliğe enjeksiyon malzemesi doldurulduktan sonra, bulonun elle itilerek yerleştirilmesi suretiyle kullanılır. 3,00 m. boyunda, T26'lık nervürlü çelikten özel olarak imal edilir. Bir ucu 10 cm. dişli ve taşıma plakaları 200/200/100 mm boyutlarında olup, metrik 24 somun kullanılır, içinde yerleştirildiği delik çapı minimum 45 mm'dir ve sadece su çimentodan oluşan enjeksiyon hazırlanmasında Mai-pump adı verilen özel makineler kullanılır. Bu makineler aracılığıyla kıvam ayarı kolaylıkla yapılabilir.

Kırıklı, çatlaklı yapıya sahip olan ortamlarda kullanılır. Enjeksiyon priz süresi dolmadan torklanamadığı için anında çalışan bit tahkimat elemanı değildir. Torklama işlemi özel amaçla üretilen ve üzerinde bir skala olan anahtar vasıtasıyla yapılır. Torklama kuvveti 50 Kn (500 kg) olup, bu değere karşılık verebilen bulon sağlam kabul edilir. Bulon kontrol metodu, diğer tüm bulon çeşitleri içinde geçerlidir [9].

-KDP (Kendi delen kaya bulonu)

İçi boş, matkap şeklinde 36 mm. çapında dış kısmı yivli bulonlardır. Delici makinenin üzerine tij gibi takılarak kullanılır ve delgi sonrası dışarı alınmadan, delik içine bırakılır. Sonra bulonun içindeki delikten enjeksiyon şerbeti verilir ve bulon deliği dipten geriye doğru enjeksiyon ile doldurulur. Bu tip bulonlar, açılan deliklerin güçlük yaptığı ve sağlam delik elde edilemeyen kaya ortamlarında kullanılır. Torklama için, enjeksiyon priz süresi beklendiğinden, anında çalışan bir bulon değildir.

Karahan projesinde kaya bulonu uzunlukları, tünel etrafında oluşan plastik bölgenin ~2m dışına çıkacak şekilde seçilmiştir. Enjeksiyon delik çapı, bulon çapının 1.5 katı olacaktır. Bulonlar tünel duvarlarına ısınsal olarak yerleştirilecektir. Çekme basıncı 250 KN olan PG ve SN (enjeksiyonlu kaya bulonu) tipi bulonlar kullanılacaktır [9].

Bulon Çekme Testi

Karahan giriş tünellerinde bulon çekme deneyi gerçekleştirilecektir. Fotoğraf 2.14’de görüldüğü gibi SN ve PG tipi bulonlara uygulanan 20 tonluk çekme basıncı sonucunda istenilen dayanımı göstermeyen bulonlar yenilenecektir.



Fotoğraf 1.3 (a)Bulona çekme makinesinin yerleştirilmesi (b)Deneyin yapılması

BÖLÜM II

MATERYAL VE METOD

2.1 Karahan Tüneli Mühendislik Özellikleri

2.1.1 Sondajlar

Tünel güzergahı boyunca geçilecek olan jeolojik birimlerin, yapısal ve mühendislik özelliklerini ile yeraltısuyu durumunu tespit etmek üzere 645 metre uzunluğunda toplam 8 adet sondaj yapılmıştır. Sondaj çalışmaları Kasım 08' ile Temmuz 09' tarihleri arasında, rotary sondaj tekniği ile yapılmıştır [1].

2.1.2 Giriş portalı

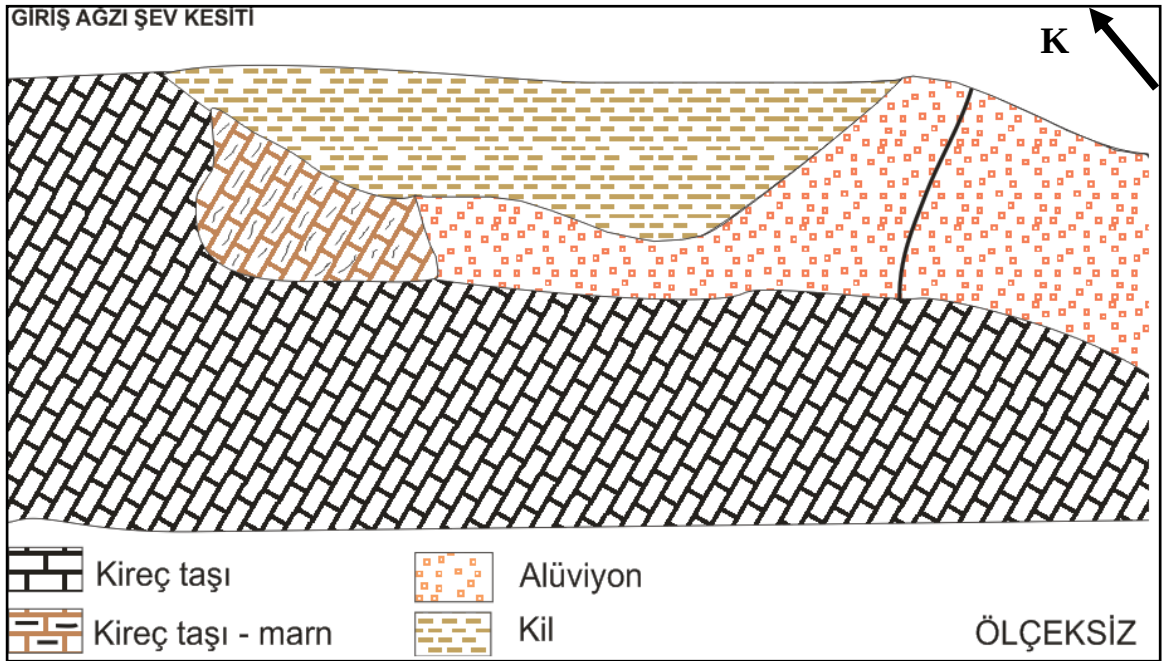
Tünelin giriş portalında gözlenen kaya mostralarına göre birim gri renkli masif kireçtaşlarından oluşmaktadır [10].

2.1.2.1 Jeolojik durum

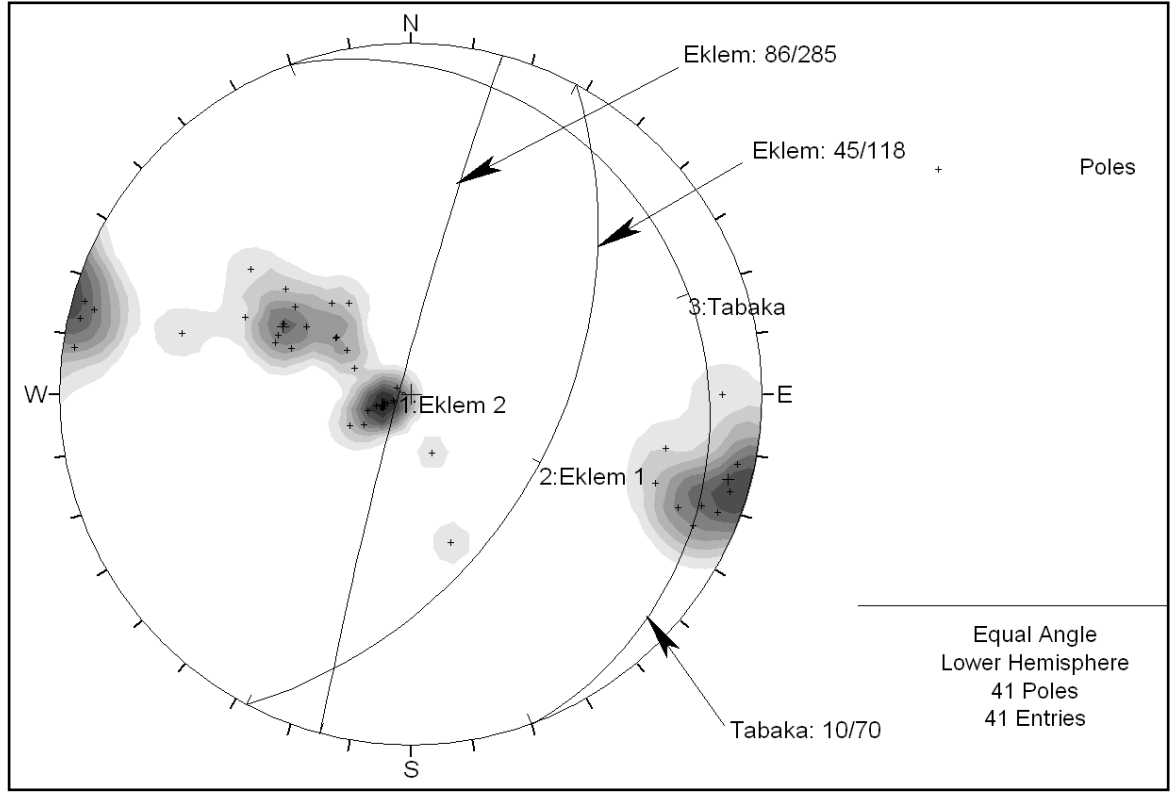
Geniz Formasyonu olarak adlandırılan Fotoğraf 2.1' deki Mesozoyik yaşlı kireçtaşları yer yer faylı ve kırıklıdır. Az derecede ayrıışmış yüksek dayanımlı bu kayaçlarda çatlak açıklığı 2-20 mm arasında değişmektedir. Çatlak aralığı ise 10-60 cm arasında değişir. Birim içinde ölçülen süreksizliklerin konumu stereonet projeksiyon üzerinde gösterilmiş olup ana eklem takımları ve yüzey özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Sondajlardan edinilen bilgilere göre derinlik arttıkça kaya kalitesinin de göreceli olarak arttığı tespit edilmiştir [10].



Fotoğraf 2.1 Tünel giriş kısmındaki mesozoyik yaşlı kireçtaşlarından görünüm



Şekil 2.1 Giriş portalın kesiti



Sekil 2.2 Mesozoyik yaşı kireçtaşlarına ait hâkim eklem takımları

Çizelge 2.1 Geniz Formasyonu kireçtaşlarının süreksizlik yüzey özellikleri

Süreksizlik Tipi	Aralık(M)	Devamlılık	Süreksizlik Yüzey Ayrışması ve Dolgu Tipi	Pürüzlülük	Eğim Yönü/Eğim Açısı
Eklem 1	0.1-0.5	3	Orta-kil dolgusu	Ondülasyonlu-az pürüzlü	86/285
Eklem 2	0.1-0.6	3	Orta-kil dolgusu	Ondülasyonlu-az pürüzlü	45/118
Tabakalanma	0.1-0.4	>3	Orta-açık	Ondülasyonlu-az pürüzlü	10/70

2.1.2.2 Jeoteknik durum

Giriş portal şevlerinin stabilite analizi ve portal kazıları için jeoteknik parametreler Hoek ve Brown kırılma kriteri ile tesbip edilmiş olup, bu amaçla GSI (jeolojik dayanım indeksi), UCS (kayaç malzemesini tek ekseli sıkışma dayanımı), ve m_i (kayaç malzemesine ayit boyutsuz malzeme sabiti) değerleri kullanılmıştır. GSI parametreleri Çizelge 2.2’ de verilmiştir [11].

Çizelge 2.2 Giriş portalı için modifiye edilmiş GSI tespiti

Hacimsel eklem sayısı (Jv)	Yapısal özellik puanı (SR)	Süreksizlik yüzey koşulu puanı (SRC)	GSI
$(1/0.1+1/0.1/0.2)=25$	23*	$(R_1=5+R_2=3+R_3=4)=12$	41

*GSI sınıflama sistemi abağından [11]

$$\text{ve/veya} \quad SR=17 \sin(Jv)+79.8 \quad (1.1)$$

Kayaç malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımının ortalama değeri 67,2 MPa % 10 luk dilime düşen değeri 54,98 MPa ve de % 90 lık kesime düşen değeri 82,3 MPa olarak tespit edilmiştir. Çizelge 2.3’ de gösterilen değerler portal girişlerinden içeriye doğru sol tüp için km 34 + 919 ve sağ tüp için ise km: 35 + 908 kadar olan bölümde örtü kalınlığının en yüksek (20m.) kısmı göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca açılan tünel tekniğinin delme - patlatma olduğu varsayılarak örselenme faktörü 0,2 olarak alınmıştır [10].

Çizelge 2.3 20 metrelik örtü kalınlığı için tünel portallarının jeoteknik parametreleri

	Tek eksenli dayanım	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Örselenme faktörü	Elastisite modülü	Birim hacim ağırlık	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü
	UCS (MPa)	GSI	Mİ	D	E _i (MPa)	g n (kN/m ³)	C (kPa)	(°)	E _m (MPa)
%90	82.3	41	8	0.2	52.500	27.5	330	56	6682
%10	54.9	41	8	0.2	42.800	26.8	240*	54*	5450
Ort	67.2	41	8	0.2	47.200	27.1	280	55	6000

*Önerilen

2.1.2.3 Kaya kütlesi sınıflama puanı (RMR) ve deformasyon modülü (Em)

Tünel açımında karşılaşılabilecek kesimlerin kaya kütlesi sınıflama puanları (RMR) [12] göre Çizelge 2.4’ de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 2.4 Giriş portalı için RMR sınıflaması

<u>Parametre</u>	<u>Değer/Tanım</u>	<u>Puan</u>
1 Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	54.9	5.8
2 Kaya kalite göstergesi(%)	28	6.5
3 Süreksizlik aralığı(mm)	200	7.5
4 Süreksizlik durumu		
Devamlılık		4
Açıklık		1
Pürüzlülük		5
Dolgu		4
Bozunma derecesi		5
5 Yeraltı suyu durumu	ıslak	7
Temel RMR	Orta Kaya	45,6
6 Süreksizlik yönelimi	Orta	5
Nihai RMR	Zayıf - Orta Kaya	40.6

Ayrıca kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RMR arasındaki ilişkiler [13,14] göre tespit edilmiş ve bulunan değerler Hoek ve Brown kırılma kriterine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre;

$$E_m = E_i(AF)$$

Burada E_i kaya malzemesinin elastisite modülü ve AF azaltma faktörü olup

$$AF = 0.0028(RMR)^2 + 0.9e^{[(RMR)/22.88]} \quad (2.1)$$

eşitliğinden bulunmuştur.

Temel RMR 'nin 45.6 olduğu durumda AF %12.46 olarak bulunur ve $E_m = E_i(AF)$ eşitliği kullanılarak kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_i 'nin 42.8 GPa olduğu durumda) 5.333 MPa olarak bulunur.

$$E_m = E_i 10^{[(((RMR-100)(100-RMR)/ 400 \exp(-RMR/100)))]} \quad (2.2)$$

Kayaç malzemesinin Elastisite Modülü 42,8 GPa ve temel RMR'nin 45,6 olduğu durumda eşitlik 1.3' den kaya kütlelerinin deformasyon modülü 2,912 MPA olarak bulunur [14].

$$E_m = E_i(0.02 + [(1-(D-2))/1 + e^{((60+15D-GSI)/H)}]) \quad (2.3)$$

Burada E_i kaya malzemesinin elastisite modülü, Örselenme faktörü ve GSI da Jeolojik dayanım indeksi olup değerler yerine konulduğunda kaya kütlelerinin deformasyon modülü 5.448 MPa olarak bulunur [10].

Çizelge 2.5 Deformasyon modülü hesaplamaları

Eşitliği öneren	Yılı	Kullanılan parametreler	Eşitlik	Sonuç(GPa)
Nicholson ve Bieniawski	1990	E_i RMR	$E_m = E_i(0.0028RMR^2 + 0.9e^{(RMR/22.82)})$	5.3*
Hoek ve diederichs	2006	E_i GSI D	$E_m = E_i(0.02 + [(1-(D-2))/1 + e^{((60+15D-GSI)/H)}])$	5.4
Sönmez	2006b	E_i , RMR	$E_m = E_i 10^{(((RMR-100)(100-RMR)/4000 \exp(-RMR/100)))}$	2.9

*Önerilen

2.1.3 Delme tünel

Delme Tünelin giriş portalından km:36+247'ye kadar olan yaklaşık 343 metrelik kısmı yine Mesozoyik yaşlı kireçtaşları içerisinde kalacaktır. Bu kilometreden sonra çıkış portalına kadar olan kısım ise Burdigaliyen yaşlı kil-kıltaşı-marn içinde açılacaktır [9].

2.1.3.1 Jeolojik durum

TSK-1, TSK-2 nolu sondajlar ile tünelin giriş portalında gözlenen kaya mostralarına göre birim, gri renkli masif yapıda kireçtaşlarından oluşmuştur. Mesozoyik yaşlı bu kireçtaşları yer yer faylı ve kırıklıdır. Az derecede ayrılmış, yüksek dayanımlı bu kayalarda çatlak açıklığı 2 – 20 mm arasında değişmektedir. Çatlak aralığı ise 10 – 60 cm arasında değişir. Sondajlardan edinilen bilgilere göre derinlik arttıkça kaya kalitesinin de göreceli olarak arttığı tespit edilmiştir [9].

2.1.3.2 Jeoteknik durum

Bu kısma ait GSI parametreleri, [11] ye göre çizelgede 2.6' da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Delme tünelin mesozoyik yaşlı kireçtaşları için modifiye edilmiş GSI tespiti

Hacimsel eklem sayısı (J_v)	Yapısal özellik puanı (SR)	Süreksizlik yüzey koşulu puanı (SRC)	GSI
$(1/0.2 + 1/0.2 + 1/0.2) = 25$	32*	$(R_1 = 5 + R_2 = 5 + R_3 = 4) = 14$	50

* GSI sınıflama sistemi aşağından [11] ve/veya $SR = 17.5 \ln(J_v) + 79.8$ eşitliğinden

Not: Jv değeri Çizelge 1.8'deki süreksizlik özelliklerine göre tespit edilmiştir.

Kayaç malzemesinin tek eksenli basınç dayanımının ortalama değeri 67,2 MPa, %10'luk dilime düşen değeri 54,9 MPa ve de %90'luk kesime düşen değeri 82,3 MPa olarak tespit edilmiştir. Delme tünelin örtü kalınlığının en yüksek (190 metre) kısmı göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca açılacak tünel tekniğinin delme – patlatma olduğu varsayılarak örselenme faktörü (D) 0,2 olarak alınmıştır.

Çizelge 2.7 190 metrelik örtü kalınlığı için delme tünelin jeoteknik parametreleri

	Tek eksenli dayanım	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Örselenme faktörü	Elastisite modülü	Birim hacim ağırlık	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü
	UCS (MPa)	GSI	Mİ	D	E _i (MPa)	g _n (kN/m ³)	C (kPa)	(°)	E _m (MPa)
%90	82.3	50	8	0.2	52.500	27.5	1.050	44	12.140
%10	54.9	50	8	0.2	42.800	26.8	850	41	9.900
Ort	67.2	50	8	0.2	47.200	27.1	950*	42*	10.900

*Önerilen

2.1.3.3 Kaya kütlesi sınıflama puanı (RMR) ve deformasyon modülü (Em)

Çizelge 2.8' de görüldüğü gibi Delme tünel açımında karşılaşılabilecek kesimlerin kaya kütlesi sınıflama puanları (RMR) [12] göre hesaplanmıştır.

Çizelge 2.8 Giriş Portalı için RMR sınıflaması

Parametre	Değer/Tanım	Puan
1 Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	67.2	7.2
2 Kaya kalite göstergesi(%)	46	9.3
3 Süreksizlik aralığı(mm)	400	9.7
4 Süreksizlik durumu		
Devamlılık		4
Açıklık		4
Pürüzlülük		5
Dolgu		4
Bozunma derecesi		5
5 Yeraltı suyu durumu	ıslak	7
Temel RMR	Orta Kaya	54.8
6 Süreksizlik yönelimi	Orta	-5
Nihai RMR	Orta Kaya	49.8

2.1.3.4 Burdigaliyen yaşlı kil – kiltası – marn

2.1.3.4.1 Jeolojik durum

Km:36+247'den tünel sonuna kadar olan kısımda Burdigaliyen yaşlı gri – kahve renkli formasyon geçilecektir. Formasyonda ana jeolojik birim marn olmakla beraber kil/kiltası ve yer yer Fotoğraf 2.2' deki gibi ince tabakalı kireçtaşı seviyeleri gözlenir. Tünel zonunda olmamakla beraber tepelerde şapka gibi duran yatay tabakalı kireçtaşı seviyeleri formasyonun ardalanmış birimlerinden biridir. Bu kalın kireçtaşı seviyeleri tünel güzergâhında gözlenmemiştir. Yapılan sondajlarda (TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5, TSK-6,TSK-7 ve TSK8) tünel zonunda geçilecek birimler genelde marn – kil/kiltası-kumtaşı ve ince tabakalı kireçtaşlarıdır. Yapılan sondajlar ve yüzey jeolojik verileri değerlendirildiğinde tünelin bu kesiminde iki jeoteknik birim tespit edilmiştir. Bu birimlerin tanımlamaları ve yaklaşık km aralıkları aşağıda verilmiştir:

- Jeoteknik Birim 1: km36+247-km37+070 ve km37+210-km37+430 arası: tünel bu kesimlerde çok sert dayanımlı kil ve/veya çok zayıf dayanımlı kiltası özelliklerindeki birim içinde açılacaktır.
- Jeoteknik Birim 2: km 37+210-km 37+430 arası: Tünel bu kesimde, kiltası-kumtaşı ve marn ardalanması ile kireçtaşı ara bantları içinde açılacaktır.

En üst kısımda şapka gibi duran kireçtaşları beyazımsı – krem renklidirler. Bu kireçtaşı seviyeleri orta derecede ayrılmış ve orta dayanımlıdır. Tabaka kalınlığı 30 – 100 cm, çatlak açıklığı ise 2 – 20 mm arasında değişiklik gösterir.



Fotoğraf 2.2 Burdigaliyen yaşlı kireçtaşı

Jeoteknik birim 1 içinde genelde yeraltısuyu beklenmemekte ve geçirimsizdirler.

Jeoteknik birim 2 ise içinde bulundurduğu kireçtaşı ve kumtaşı seviyelerinden dolayı tünel inşaatı esnasında yatay dren gibi su boşalımı yapabilirler. Su gelimi sızıntı şeklinde beklenmektedir. Ayrıca, giriş portalı ile km:36+247 arasında bu formasyon altında karşılaşılabilecek birim dokunağında su gelişi beklenmektedir.

Jeolojik haritada görüldüğü gibi tünel güzergâhı üzerinde bir kaç heyelan bölgesi tespit edilmiştir. Tünel güzergâhı üzerinde gözlenen heyelanların sığ derinlikte oldukları yapılan sondajlarla tespit edilmiştir.

Heyelanların üstteki 0 – 15 m (maksimum) ayrılmış ve residual özellikteki zeminlerde geliştiği söylenebilir. Sondajlarda bu zon belirgin olup, bu zonun altında ardalanmalı sedimanter istif izlenmektedir [9].

2.1.3.4.2 Jeoteknik durum

Her iki tüp'te km 36+247 ile çıkış portalı arası Burdagaliyen yaşlı Kil – Kıltaşı – Marrnkumtaşı ardalanmasından oluşan birim içinde olup dayanım ve çimentolanma özelliklerine göre 2 jeoteknik birim tespit edilmistir. Bu birimler için önerilen parametreler TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5, TSK-6, TSK-7 ve TSK8 nolu sondajlardan

alınan örselenmemiş ve korunmuş karotlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve yerinde yapılan SPT deneylerine göre karar verilmiştir.

Tünelin içinden geçeceği formasyon kilce zengin birimler içerdiği için drenajsız ve efektif parametreleri tespit edilmiştir. Birim içinde yapılan SPT (N) değerlerinin tamamı 2 deney dışında refü vermiştir. Refü değerleri dışında ölçülen en düşük N değeri 37 olup bu değer C_u değerinin tespitinde kullanılmıştır. Ayrıca korunmuş karotlar ve UD örnekleri üzerinde yapılan üç eksenli deney (UU) sonuçları drenajsız mukavemet parametrelerinin tespitinde kullanılmıştır.

Killi birimlerin uzun dönem stabilitesini hesaplamak için drenajlı (CD) parametreler direkt kesme deney sonuçlarından alınmıştır. Ayrıca killerin plastisite özelliklerinden faydalanarak efektif iç sürtünme açıları tespit edilmiştir [9].

Çizelge 2.9 Kil – Kıltaşı – Marn için önerilen jeoteknik tasarım parametreleri

	Zemin profili	Doğal birim hacim ağırlık γ_n (kN/m ³)	Kesme mukavemeti C(kPa) $\phi(^{\circ})$	Poisson oranı ν	Elastik modülü E (Mpa)	
Jeoteknik Birim 1	Drenajsız dayanım parametreleri	19	200*	10*	0,4*	250
	Drenajlı dayanım parametreleri	19	50	25-30***	0,4**	250
Jeoteknik Birim 2	Drenajsız dayanım parametreleri	19	150	30*	0.4	500*

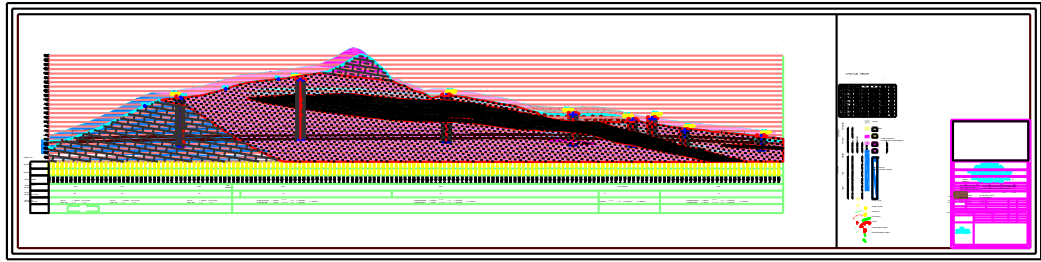
* SPT N değerinden elde edilmiştir,

** CD direk kesme deneyine göre

*** Üç eksenli UU deney sonuçlarına göre

**** PI (%) değerlerinden elde edilmiştir.

Not: Tüm laboratuvar deneyleri örselenmiş karotlar üzerinde yapılmıştır. Laboratuvar sonuçlarına göre drenajsız dayanım parametreleri ortalama $C_u=100$ kPa ve $\phi=8^{\circ}$ vermektedir. Bununla beraber bu zeminde yapılan SPT'lerin tamamından refü değerleri elde edilmiştir. Bu durumda Jeoteknik birim 1'in drenajsız parametreleri $C_u=200$ kPa ve $\phi=10^{\circ}$ olarak önerilmiştir.

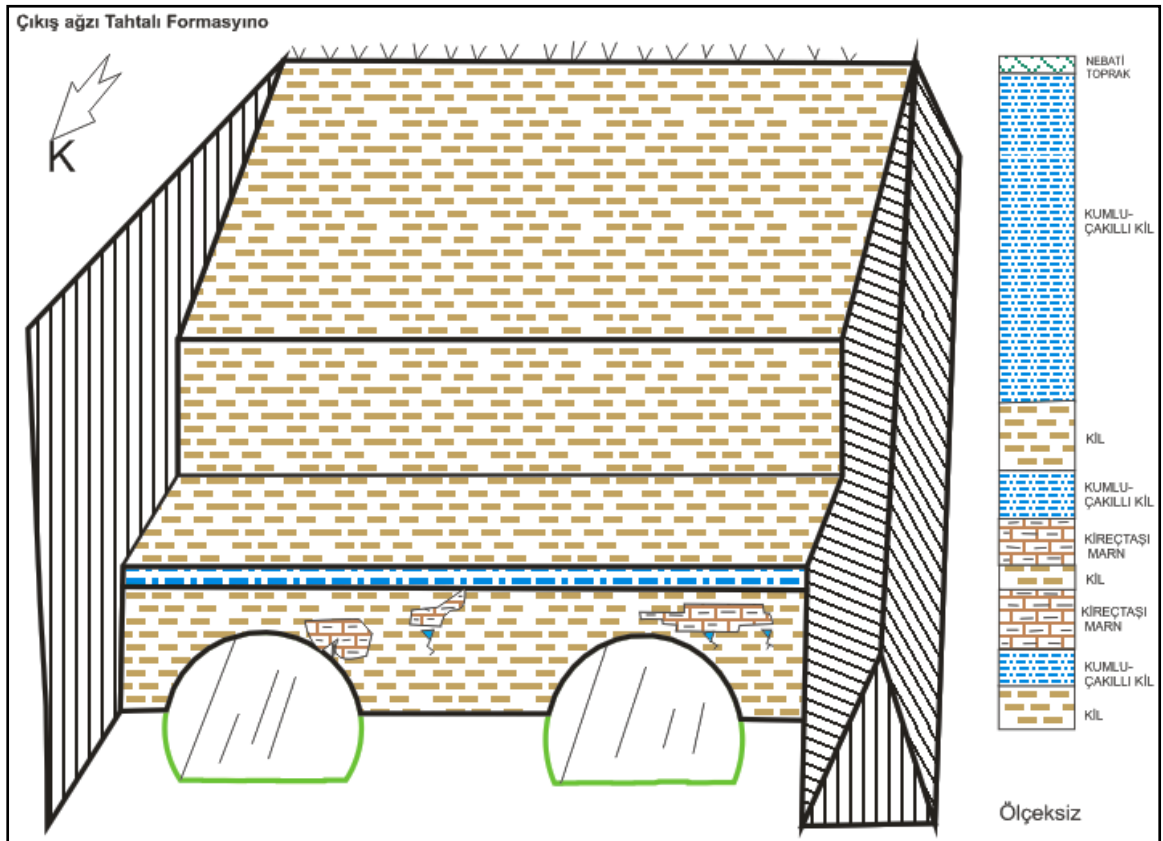


Şekil 2.3 Karahan tüneli jeolojik kesiti

2.1.4 Çıkış portalı

2.1.4.1 Jeolojik durum

Km: 36+247 ‘den tünel sonuna kadar olan kısımda Burdigaliyen yaşlı gri – kahve renkli formasyon geçilecektir. Genelde yer altı suyu bulundurmayan geçirimsiz olan birim içindeki kireçtaşı seviyeleri tünel inşası ve portal kazısı esnasında yatay dren gibi su boşalımı yapabilirler. Su gelimi sızıntı şeklinde beklenmektedir. Jeolojik haritada görüldüğü gibi tünel güzergâhı üzerinde birkaç heyelan bölgesi tespit edilmiştir. Tünel güzergâhı üzerinde heyelanların sığ derinlikte oldukları yapılan sondajlarla tespit edilmiştir. Çıkış portalı civarında birkaç heyelan tespit edilmiş olmasına rağmen portal üzerine gelen heyelan yoktur. Fakat özellikle jeoteknik birim 1, heyelan oluşumunda hassas bir birim olup, gerekli kazı ve iksa tedbirleriyle kazılmadığı zaman stabilite sorunları ile karşılaşılır [9].



Şekil 2.4 Çıkış tünellerinin jeolojik kesiti



Fotoğraf 2.3 Çıkış tünelleri km: 37+500

2.1.4.2 Jeoteknik durum

Her iki tüp'te de çıkış portalı kadar Burdigaliyen yaşlı Tahtalı formasyonun kil/kıltaşı' dan oluşan jeoteknik 1 içinde açıklanacaktır. Birim için önerilen drenajsız ve efektif parametreler aşağıdaki Çizelge 2.10' da verilmiştir.

Çizelge 2.10 Jeoteknik 1 için önerilen jeoteknik tasarım parametreleri

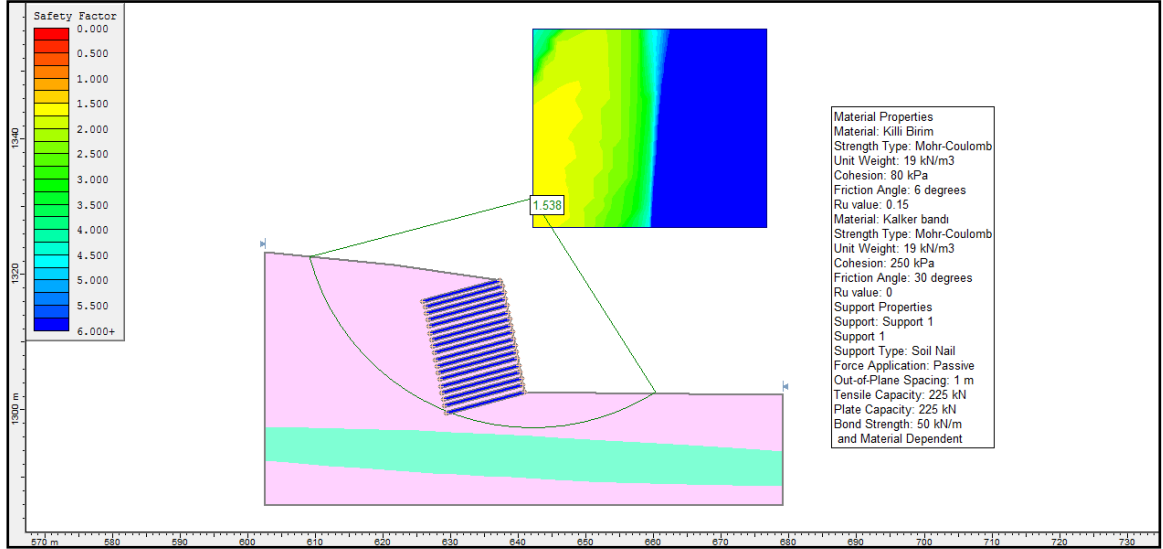
Zemin profili	Doğal birim hacim ağırlık γ_n (kN/m ³)	Kesme mukavemeti C(kPa) $\phi(^{\circ})$	Poisson oranı (v)	Elastik modülü E (Mpa)
Drenajsız dayanım parametreleri	19	200*	10* 0,4*	100 - 150**
Drenajlı dayanım parametreleri	19	20	25-30*** 0,4**	

*üç eksenli UU deneyinden elde edilmiştir

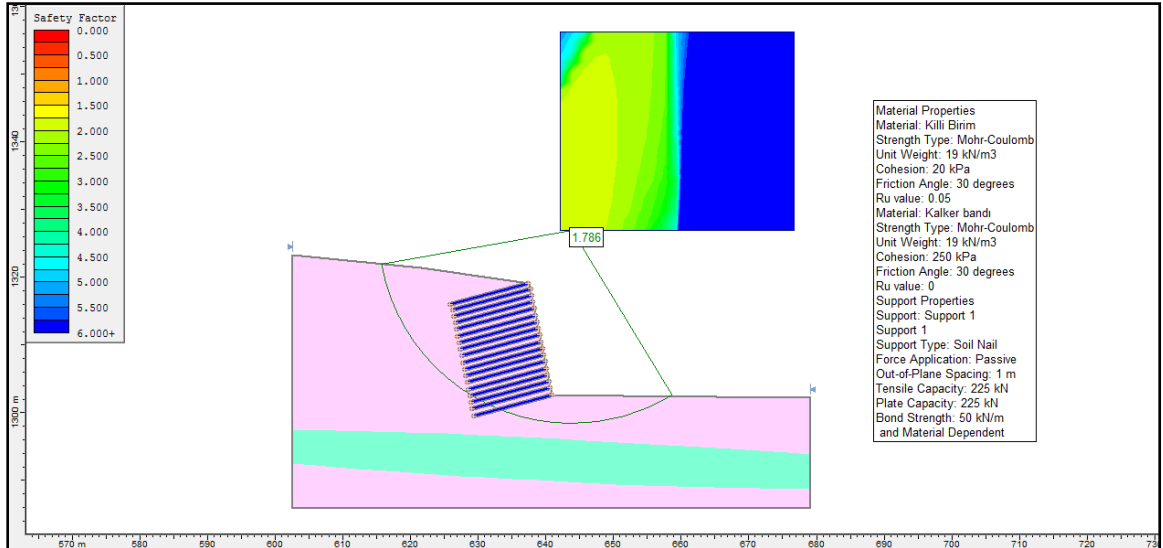
**[15]

***PI (%) değerinden elde edilmiştir

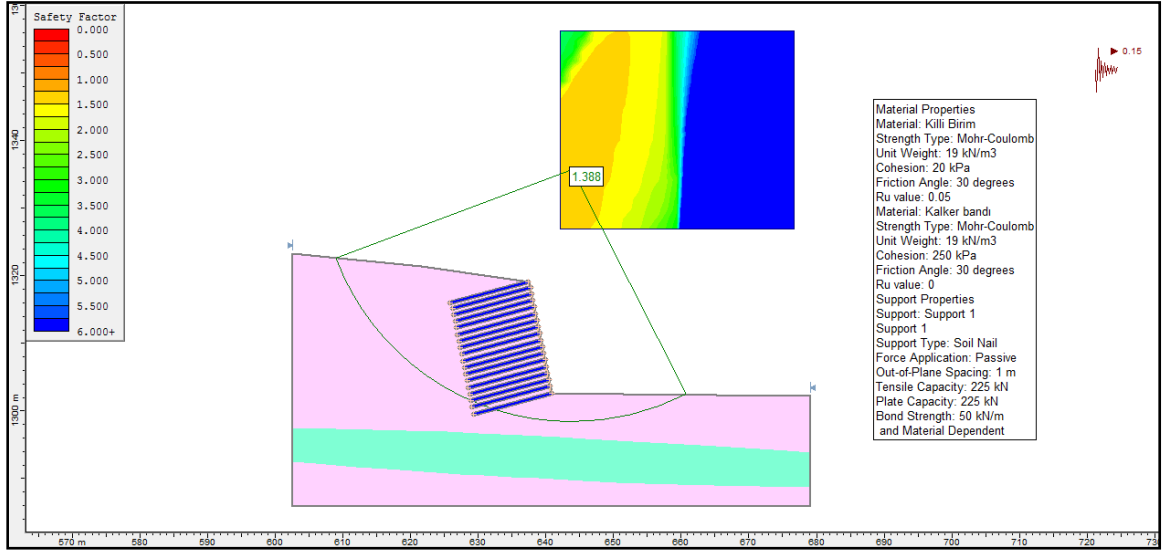
Elde edilen bu parametrelere göre alın şevi ve yan şevler için ayrı ayrı yapılan kısa dönem şev stabilitesi ve uzun dönemli statik depremli durum stabilite analizleri aşağıda gösterilmiştir. Yapılan analizlerde killi birim içerisinde Ru değeri kısa dönem için 0.15, uzun dönem için ise 0.05 alınmıştır [9].



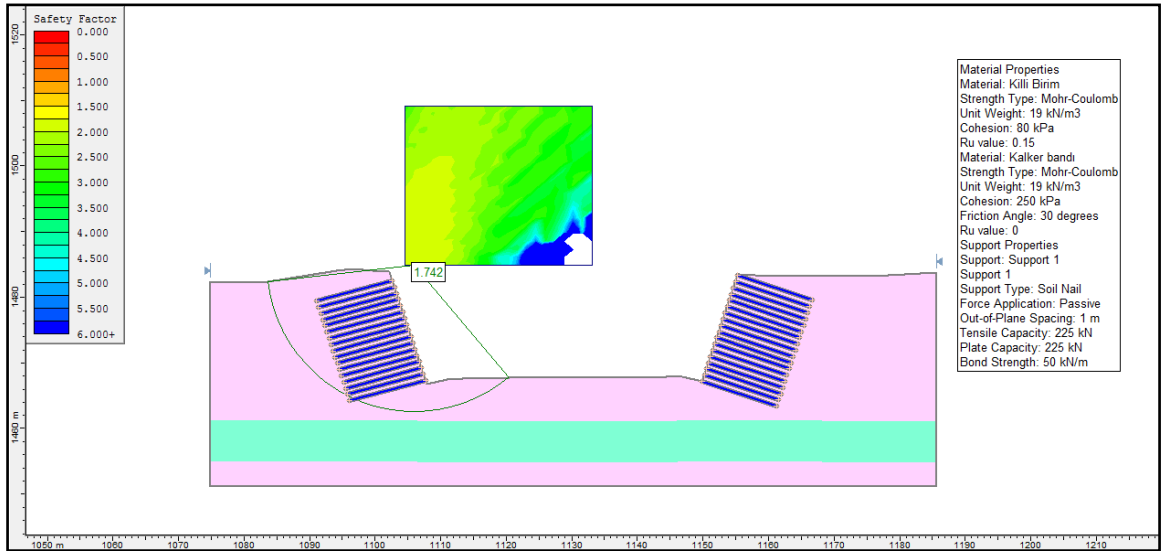
Şekil 2.5 Alın şevi kısa dönem stabilite analizi



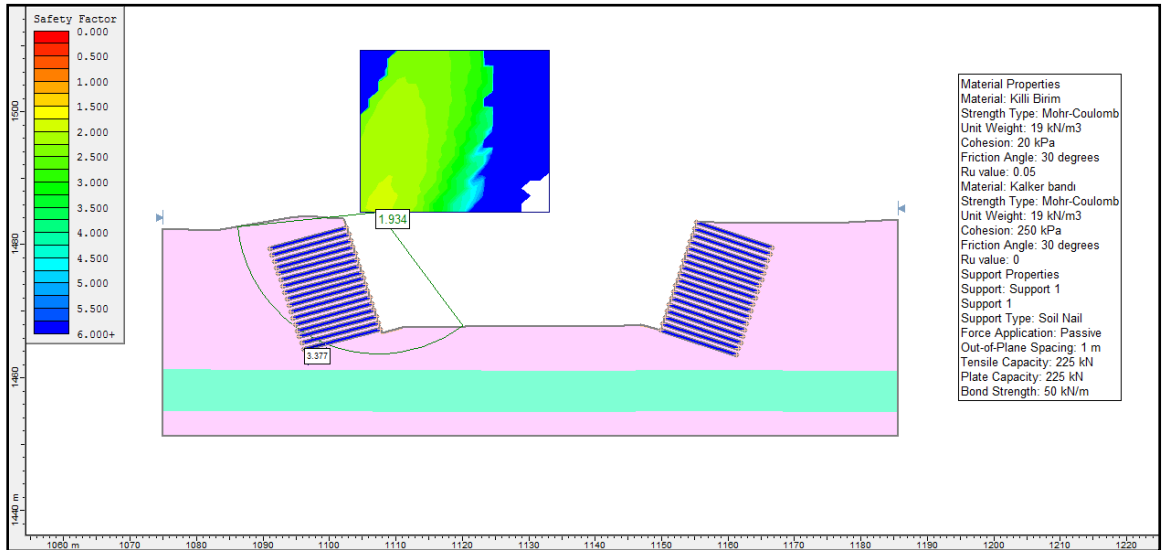
Şekil 2.6 Alın şevi uzun dönem stabilite analizi, statik



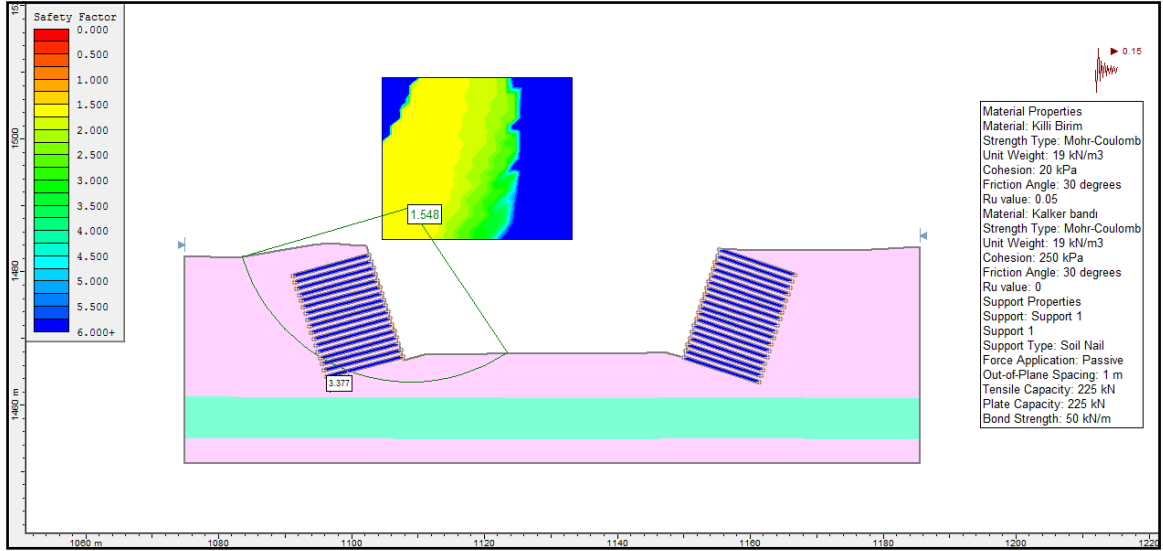
Şekil 2.7 Alın sevi uzun dönem stabilite analizi, depremli



Şekil 2.8 Yan sevler kısa dönem stabilite analizi



Şekil 2.9 Yan sevler uzun dönem stabilite analizi, statik



Şekil 2.10 Yan sevler uzun dönem stabilite analizi, depremli

Çizelge 2.11 Çıkış portalı stabilite analizlerin özeti

Analizi yapılan yer	Şev eğimi (Y:D)	Kısa dönem statik(Gs)	Uzun dönem	
			Statik(Gs)	Depremli(Gs)
Çıkış portalı alın şevi	1:5	3.271	1.558	1.246
Çıkış portalı yan şevi	1:3	3.417	1.603	1.308

İksa sınıfı b2 kaya kütlelerinin davranışı: “Çok Gevrek” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Sağlam ve çok çatlaklı kireçtaşları içinde açılacak delme tünel için kullanılmalıdır. Tünel iksasının zamanında yapılması halinde deformasyonlar hızla azalır. Zamanında iksa yapılmaması veya iksa elemanlarına yetersiz olması halinde derinlere ulaşan gevşemeler ve buna bağlı olarak kopmalar meydana gelir.

İksa sınıfı b3 kaya kütlelerinin davranışı: “Taneli” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Giriş portalı ve yaklaşımında görülen kireçtaşları için kullanılacak dır. Bölünmüş kazıda bile kaya kütlelerinde dökülmeler meydana gelebilir. Kohezyonun az olması ve çok çatlaklılık ve yer yer ezik zonların olması kazının stabilizesinde yetersizliğe neden olur.

İksa sınıfı c2 kaya kütlelerinin davranışı: “Baskılı” kaya kütlesi olarak adlandırılan C2 iksa sınıfı ile açılacak olan tünelin bu kısmı Kil – Kıltaşı – Marn kaya kütlesi içerisinde uzun süren ve yavaş son bulan deformasyonlar beklenmektedir. Kazı çevresindeki deformasyonlar merteye ve hızları orta derecededir ve plastik davranışlı yüksek kohezyonlu bu zemin – kaya ortamında gerilme gözlenir.

İksa sınıfı c3 kaya kütleinin davranışı: “Çok baskılı” kaya kütlei olarak adlandırılır. C3, derin zayıflık zonlarının oluşması, başlangıçta yüksek ve hızlı deformasyonlar ile karakterize edilir. Deformasyonlar uzun sürer ve yavaş son bulur. Derine inen kırılma ve plastik bölgeler gözlenir [9].

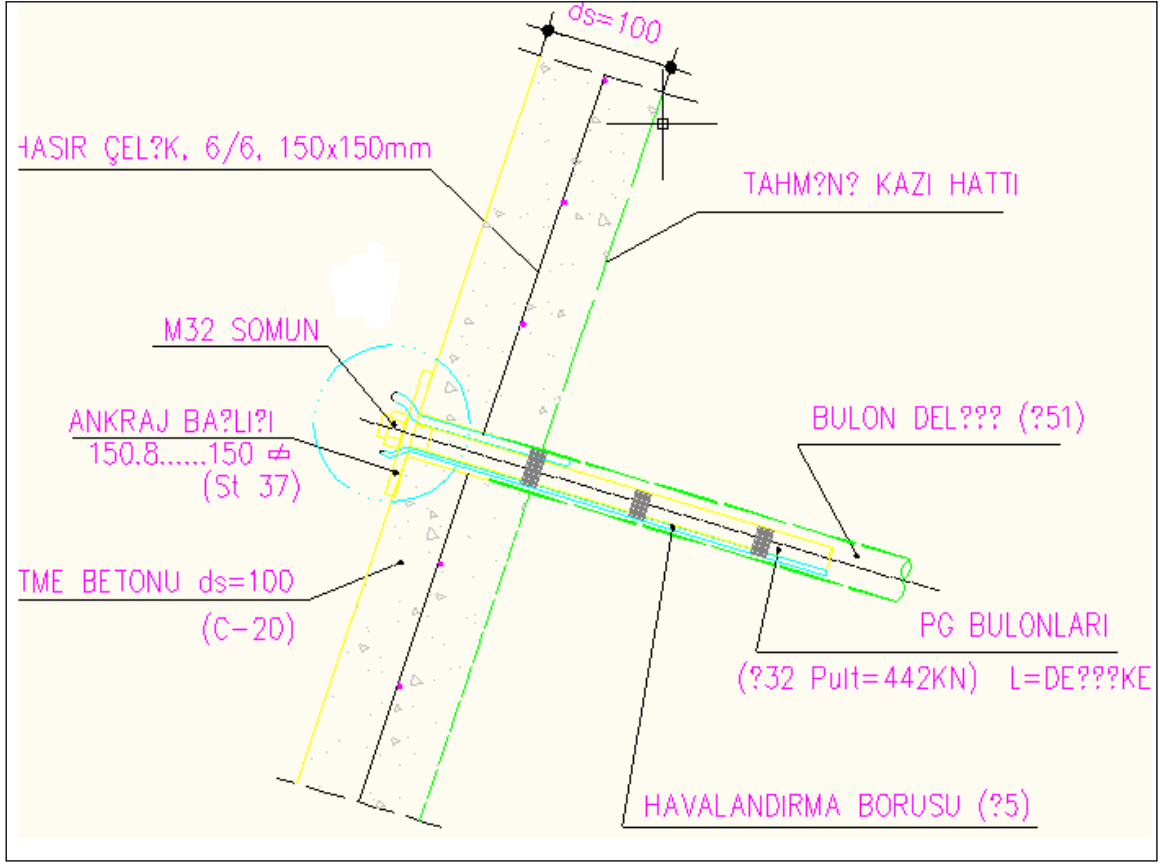
2.1.5 Karahan tüneli giriş portal şevleri ve destekleme sistemleri

2.1.5.1 Genel

Giriş portalı sol tünelde km: 34+904 de başlamaktadır. Şevler tek kademedeki kazısı yapılmış, alın şev eğimi 1/5 (Y:D) olarak seçilmiştir. Tünel yan şevlerinde ise eğimi alın şev eğimi 1/3(Y:D) olarak seçilmiştir. Kullanılacak olan 10 cm kalınlıktaki püskürtme beton hasır çelik ve yukarıda hesaplamaları verilen Şekilde 1.5x1.5 m L=6m olarak yapılacak bulonlama Şekil 2.11’de görüldüğü gibi portal şev stabilitesi için yeterlidir. Her halükarda kazı sırasında yerinde yapılacak gözlemlerden ve NATM uygulamalı yer altı tünel şartnamesine göre yapılacak jeolojik haritalamadan çıkacak sonuçlara göre yukarıdaki destekleme faktörleri idarenin onayı alınmak kaydı ile artırılabilir. Yapım aşamasında önerilen dört adet çelik iksa ve püskürtme betondan oluşan kanopi yapısı yapım aşamasında bir emniyet tedbiri olacak aynı zamanda kanopi betonu için de kullanılacaktır. Bu sebepten dolayı çelik iksa püskürtme betondan oluşan kanopi tünelin başlangıç safhasında kullanılmıştır.

Çizelge 2.12 Giriş ve çıkış portal şev değerleri

Şev	Şev eğimi
Giriş ve Çıkış portallarının alın şevi	1Y:5D
Giriş ve Çıkış portallarının yan şevi	1Y:3D



Şekil 2.11 Giriş portal bulon kesiti

2.1.5.2 Drenaj

Bütün şevlere barbakanlar 3 x 1.5 m paternde yapılacaktır. Delikli pvc boruların üstüne yer altı suyu ile sürüklenen ince taneli barbakan borusunun deliklerini tıkamaması için sarılacak keçe sarılacaktır. Kullanılacak drenaj boruları 70 mm çapında ve 3 m uzunluğunda geotekstil sarılı üst yarısı delikli olarak imal edilecek ve yatayla % 2 eğimli Ø 100 mm açılacak deliklerin içine yerleştirilecektir.

2.1.6 Karahan tüneli çıkış portal şevleri ve destekleme sistemleri

Karahan tüneli çıkış portalı km 37+430 da bulunmaktadır. Şevler tek kademde kazısı yapılmış alın şev eğimi 1/5(Y/D) olarak seçilmiştir. Kullanılacak olan 20 cm kalınlıktaki püskürtme beton + hasır çelik ve 1.5 x 1.5 L= 12m olarak yapılacak zemin çivileri alın şevi ve yan şevlerin stabilitesi için yeterlidir (Şekil 1.16). Yapılan analizler sonucunda emniyet katsayıları yeterli düzeyde olsa da her halükarda azı sırasında yerinde yapılacak gözlemlerden elde edilecek sonuca göre yukarıdaki iksa faktörleri

arttırılabilir. Bütün şevlere barbakanlar 3x1.5 m paternde yapılacaktır. Delikli PVC boruların üstüne yer altı suyu ile sürüklenen ince tanelerin barbakan borusunun deliklerinin tıkanmaması için sarılacak keçe (geotextile 200/250gr/m²) için idarenin onayının alınması gereklidir.

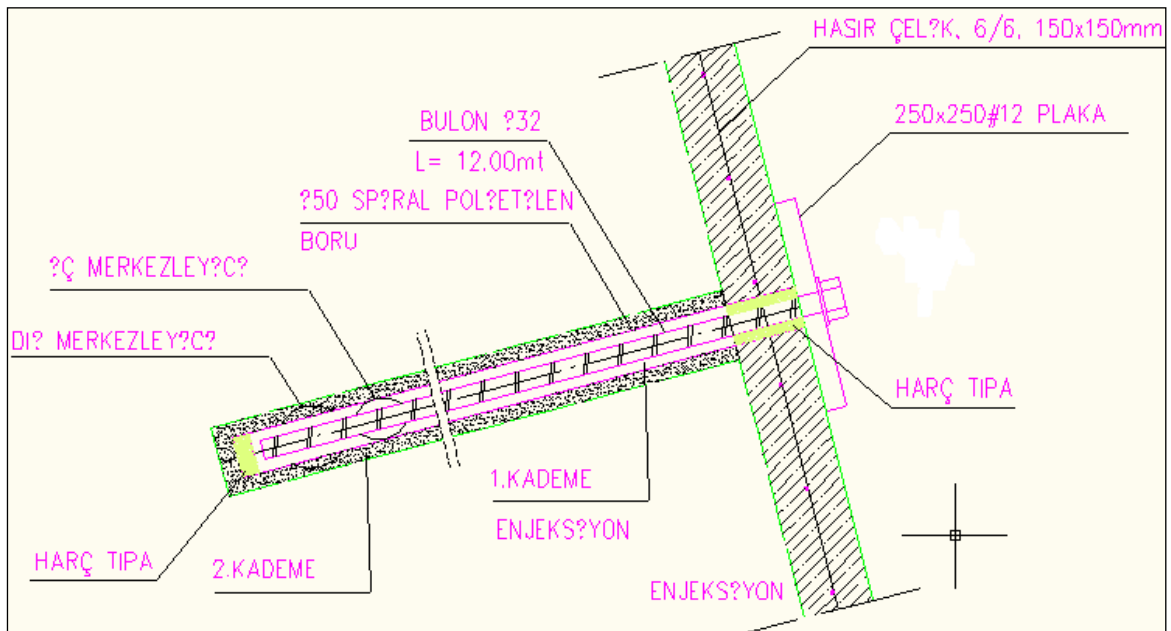
Zemin çivisi için zımbalama hesabı

Zımbalama çevresi $u_p = 4 \times 40000 = 16000\text{mm}$

Zımbalama derinliği, $d = 20000\text{mm}$

Zımbalama dayanımı $V_{pr} = y f_{ctd} u_p d$ (C20 için $f_{ctd} = 1.00 \text{ N/mm}^2$) (2.4)

$V_{pr} = 32000000\text{N} = 32000\text{kN} > N_{\max}$ ($N_{\max} = 200 \text{ kN}$)



Şekil 2.12 Çıkış portalı bulon montajı

2.2 Optik Ölçümle Tünel İçi Deformasyonun Tayini

Kaya kütlelerinin düşük dayanımı, yüksek deformasyona uğrama özelliği ve heterojenliği, tünel performansının tahminini zorlaştırır [16]. Tünelin içinde açıldığı kaya kütlelerindeki yersel özellikler, gerilmeler ve deformasyonlar tünel duraylılığını etkileyecektir.

Tünel inşasında tünel sıralı kazı adımları (üstyarı, altyarı ve invert) yapılırken tünel üzerine etkiyen gerilmeler oluşan yeni şartlara uygun olarak yeniden bir dağılım gösterecektir. Oluşan yeni gerilme koşullarında tünel içerisinde oluşacak deformasyonların hızlı ve doğru bir şekilde izlenmesi, ölçülmesi ve değerlendirilmesiyle tünel üzerine etkiyen deformasyon miktarı ile tünel kazısı ilerisindeki kaya koşullarının tahmini sağlanabilmektedir [17].

Son on beş yıl içerisinde yeraltı kazı deformasyon izleme teknikleri önemli ölçüde gelişmiştir. Deformasyon ölçüm aletlerinin çoğu, tünel kazısı sırasındaki jeomekanik süreçlerin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlar. Tünel kazısı sırasındaki mutlak yer değiştirmelerin (boyuna, düşey ve yatay yer değiştirme) jeodezik yöntemlerle belirlenmesi, göreceli yer değiştirme (konverjan) ölçümlerinin yerini almıştır[18]. Tünel eksenini boyunca düşey düzlemde yer değiştirme vektör yönelimi (boyuna ve düşey yer değiştirme bileşeni) tünel kazısı boyunca kaya kütle sertliğinin belirlenmesinde iyi bir göstergedir [19]. Başarılı bir tünelcilik için, kaya kütle yapısının ve kalitesinin, aynanın ilerisinde ve kazı alanı dışında iyi ve kısa süreli tahminleri yapılmalıdır. Uygulama anındaki kararlarda, dizayn sırasındaki modellemeye ek olarak, kaya kütle davranışı ve destek yapısının sürekli olarak ve yeterli izlenmesi, temel oluşturulmaktadır [17].

NATM tünel açımı sırasında deformasyonların ölçülmesi ve izlenmesini temel alarak kaya kütle davranışını ortaya koyan bir yöntemdir [20]. Bu yöntemde sistematik izlemenin kullanılmasıyla, destek tipi ve miktarının belirlenmesi ve tünel duraylılığının kontrolü sağlanmaktadır.

Karahan tüneli genel olarak kireçtaşı, kil, marn, kireçtaşı, güncel alüvyon çökellerinden oluşmaktadır. Bunun dışında yer yer kalsit, dolomitik, mermer, aragonit içerisinde açılmıştır. Her iki tüpte de incelemeye konu olan kısımlar fay ve su sızıntısı nedeniyle yer yer bozunmalar ve ezik zonlar oluşmuştur. Bu çalışma ile Karahan tüneline NATM'in temelini oluşturan deformasyonların sistematik olarak jeodezik aletlerle üç boyutlu izlenmesi ve ölçülmesi ile yatay, düşey ve boyuna yer değiştirme değerleri belirlenmiştir.

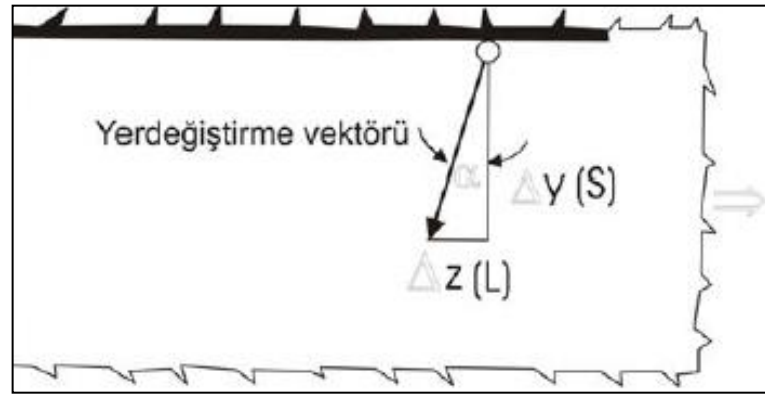
2.2.1.Tünel eksenini boyunca yer değiştirme vektör yönelimi

Tünel kazı deformasyonlarının belirlenmesinde 3-D optik izleme yöntemi ile mutlak yer değiştirme bileşenleri (düşey, yatay ve boyuna yer değiştirme) ölçülebilmektedir.

Boyuna ve düşey yer değiştirme bileşenleri kullanılarak yer değiştirme vektörü ve yer değiştirme vektör yönelimi hakkında önemli bilgiler elde edilmektedir.

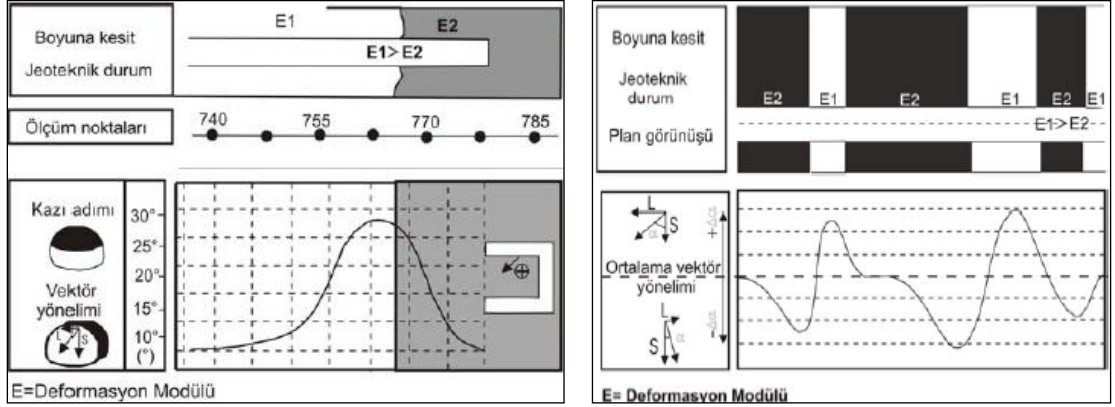
Schubert ve Budil belirli değişikliklerin daha iyi gözlenebilmesi amacıyla, boyuna yer değiştirme (L) ve düşey yer değiştirme (mutlak oturma) (S) değerlerinden yola çıkılarak L/S oranını belirlemiştir [21]. Bu oran düşey düzlemde yer değiştirme vektörü ve boyuna yer değiştirme ile mutlak oturma arasındaki açının tanjantı (α) ile temsil edilmektedir. Yer değiştirme vektör yönelimleri ve zamana bağlı olarak değişimleri tünel eksenine dik bir düzlem içerisinde gösterilmektedir. Tünel eksenini boyunca, düşey düzlem içindeki yer değiştirme vektör yönelimi (oturma ve boyuna yer değiştirme bileşeni) aynanın oldukça ilerisindeki, kaya kütle sertliği içerisindeki değişiklikleri gösterir [17].

Uygun aralıktaki izleme kesitleri ile tünel kazısı sırasında, kaya kütle sertliğindeki değişiklikler tünel kazı ayna çapının 1,5 - 2 katı kadar ilerisi önceden tahmin edilebilmektedir. Bu durum kaya kütle davranışında beklenen değişikliklere karşı kazıyı ve tahkimatı ayarlamaya zaman tanımaktadır [22].



Şekil 2.13 Yer değiştirme vektörünün boyuna ve düşey bileşenleri [21]

Tünel kazısı daha zayıf kaya kütleline yaklaştığında yer değiştirme vektör yönelimindeki değişiklikler Şekil 2.13’ te gösterilmiştir. Kazı daha zayıf kaya kütleline yaklaştığında, yer değiştirme vektör yönelimi kazı yönüne karşı artma eğilimi gösterir (pozitif yer değiştirme vektör yönelimi) [17]. Kazı zayıf kaya kütlelerinden daha az deforme olmuş sağlam kaya kütleline yaklaştığında tam tersi bir durum gözlenmektedir. Sağlam kaya kütleleri gerilmeleri çeker ve yer değiştirme vektör yönelimi kazı yönüne doğrudur.



Şekil 2.14 (a) Tünel kazısı deforme olmuş zayıf bölgeye yaklaştığında, yerdeğiştirme vektörünün yöneliminin eğilimini gösteren boyuna kesit (b) Sık sık sertliği değişen kaya kütlesi içinde tünel açıldığında oluşan yer değiştirme vektörü yöneliminin değişimi [23]

Değişebilir deformasyon özelliğine sahip kaya kütlesi içerisinde tünel açıldığında, ortalama yer değiştirme vektör yönelimindeki sapmalar Şekil 2.14 deki gibi olur. Schubert ve Steindorfer kısa mesafelerde çok sık değişen deformasyon özelliklerine sahip kayaç kütlesinde açılan tünellerde, düşük elastisite modülüne sahip kısımda, gerilim yoğunluğu oluşacağını ve yer değişim vektör yönlenmelerindeki değişiklikler, küçük mesafelerde geniş aralıkta olduğundan sandviç tipi kayaç yapısına işaret edeceğini belirtmişlerdir [17].

2.2.2 Karahan tünellerinde yer değiştirme vektörlerinin analizi

Karahan tünelin kazıları ve desteklemesi NATM felsefesine göre dizayn edilmiştir. Tünel kazıları, düzgün-kesme patlatma tekniği kullanılarak üst yarı ve alt yarı ve invert olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Destekleme elemanları olarak püskürtme beton, kaya bulonu, çelik iksa, enjeksiyonlu süren, çelik hasır kullanılmıştır. Deformasyon ölçümleri, tünellerin ilk desteklemesi (püskürtme beton, çelik hasır ve kaya bulonu) yapıldıktan sonra değişik kesit ve ölçüm noktalarında zemin ile püskürtme beton arasına monte edilmiş deformasyon pimlerinin ucuna takılan reflektörler ve jeodezik aletler kullanılarak yapılmıştır. Karahan tünelin NATM kapsamında yapılan sistematik 3D optik deformasyon izleme yöntemi ile tünel kaya özelliklerine bağlı olarak değişen aralıklarda (5 - 20 m) ölçüm noktaları belirlenmiştir. 3-D optik

deformasyon izleme yöntemiyle mutlak yer değiştirme bileşenlerinden düşey ve boyuna yer değiştirme değerleri ölçülmüştür.

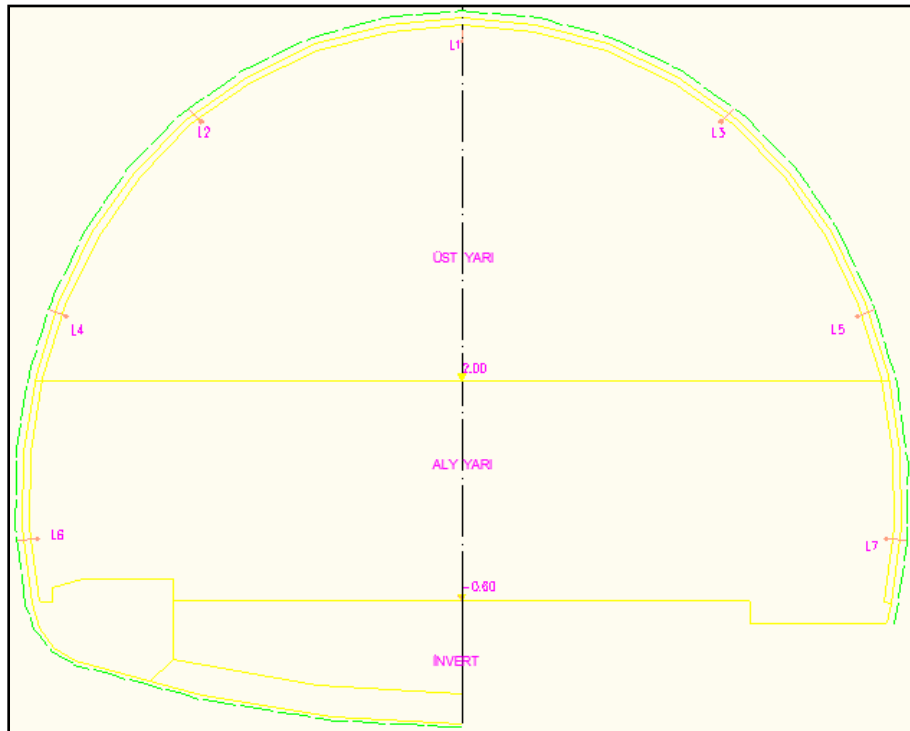
Üst yarı için her bir kesit ölçüm noktası Şekil 2.15' deki gibi A - B - C - D - E noktalarından oluşmaktadır. Her ölçümün o anki deformasyonu gösterdiği bilindiğinden, deformasyon ölçümleri her beş nokta için kümülatif olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme vektörü (Ydv) ve m Yer değiştirme vektör yönelimi (Ydvy), boyuna ve düşey yer değiştirme bileşenlerine bağlı olarak belirlenmiştir.

$$Ydvy = \text{Atan} (L / S) * (180 / \pi) \text{ E.1} \quad (2.5)$$

$$Ydv = \text{SQRT} ((L)^2 + (S)^2) \text{ E.2.} \quad (2.6)$$

Burada; L: Boyuna yer değiştirme (mm), S: Düşey yer değiştirme (mm) bileşenleridir, düşey yer değiştirmeler mutlak değer olarak alınmıştır.

Karahan tünelin yer değiştirme ölçümleri yaklaşık 9 aylık süre ile günlük ve haftalık olarak sistematik bir Şekilde ölçülmüştür. Boyuna ve düşey yer değiştirme ölçüm verileri belli bir zaman periyodu boyunca kümülatif olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme vektörü ve yer değiştirme vektör yönelimi değerlerinin, farklı zamanlara ait değerleri ölçüm noktalarına karşı işaretlenerek değerlendirmelere gidilmiştir.

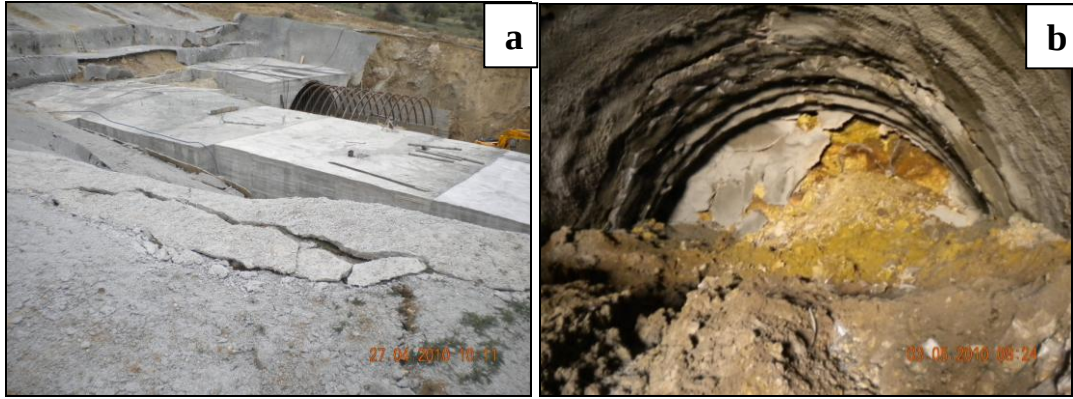


Şekil 2.15 Deformasyon ölçüm noktalarının geometrisi

Yer değişim vektör yönlenmelerinden yararlanılarak yapılan tahminler, kayaçların yapısal ve litolojik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Tünel kazısı sırasında karşılaşılan kayanın dayanım özellikleri, bozunma, ve diğer litolojik özelliklerle, kırık çatlak ve fay gibi yapısal unsurların konumu, yer yer ezik zonlar ve yer altı suyu ve buna bağlı olarak oluşan bozunma özellikleri, kazılmamış ayna ilerisindeki kayanın benzer özellikleri göz önüne alınarak hangisinin diğerine göre daha az dayanımlı veya daha çok dayanımlı olduğu belirlenen yer değiştirme vektör yönelimi değerlerine bağlı olarak ortaya konmaktadır.

2.3 Çıkış Tüneli Problemleri

Tünel kazısı sırasında çıkış portalında projenin kilometre artış yönüne doğru sol kesimde heyelan meydana gelmiştir. Oluşan heyelan yüzeyde heyelan çatlakları oluşturmuştur.



Fotoğraf 2.4 Tamamen tahrip olan şevlerdeki desteklemeler (b)Aynanın basması ve iksaları 0.5m zemine batırması

Fotoğraf 2.5 a' da görüldüğü gibi heyelanın etkisi betonarmede tahribe neden olmuştur. Fotoğraf 2.7 c' de görüldüğü gibi İksanın zemine 0-5 1.0 m batması sonucunda bu baskıya direnç göstermesi için demir donatılı invert çalışmasına hız verilmiştir. Daha sonra tahrip olan şevler traşlanarak ek portal uygulamasına geçilmiş ve yanal yönden uygulanan baskı kontrol altına alınmaya çalışılmıştır.

Deforme olmuş tahkimat elemanları yenilenmiş ve invertler tamamlanmıştır. Fotoğraf 2.7 e' de görüldüğü gibi et kalınlığının az omasında etkisiyle ayna kazısı sırasında göçükler oluşmuştur. Bu sorun tahkimatın yenilenmesi ve zeminde oluşan açılmaların betonla doldurulup, kazı çalışmasına devam edilmiştir.



Fotoğraf 2.5 Ek portal



Fotoğraf 2.6 (a) Portaldan sonra deforme olmuş iksaların yenilenmesi (b) İksalarda oluşan çatlak



Fotoğraf 2.7 (a)Aynayla yakın mesafeli invert uygulamasında yapılması (b)Tünel üstündeki heyeylan çatlakları (c) Çalışma sırasında oluşan göçük (d) Baca açılması



Fotoğraf 2.8 Tekrar iksa kurulması



Fotoğraf 2.9 Göçük üstten iksaları betonla kapatarak geçilmesi

Karşılaşılan bu durumdan dolayı, tünel kazısı olumsuz etkilenmiş ve tünelde göçükler meydana gelmiştir. Yaşanan bu göçük nedeni ile tünel ilerlemesi günde 30 cm ye kadar düşmüştür. Meydana gelen heyelanının mevcut durumunu incelemek amacı ile arazide 4 adet ek sondaj yapılmış ve heyelanın geometrisi çıkarılmıştır. Heyelan kayma yüzeyi en derin kısmı 13 m civarında olup tünel bölümünde yüzeyden 4 m ye kadar inmektedir. Arazi gezisi sırasında tünel aynasında kayma düzlemi sol tünel üst yarı kesiminde gözlenmiştir.

Mevcut durumun çözülmesi için çözüm önerileri arazide tartışılmış, ilk etapta heyelan malzemesinin kaldırılması ve tünelin bu kesimin açık kazı ile geçilmesi değerlendirilmiştir. Ancak bu durum arazi koşullarının uygun olmaması, tarım arazisi ve yerleşim yeri olması dikkate alındığında bu seçenekten vazgeçilmiştir. Diğer bir seçenek olarak, tünelin heyelan içerisinden geçeceği kesimin sağlamlaştırılması en uygun seçenek olarak düşünülmüştür. Bu amaçla, tünelin geçeceği zeminin enjeksiyon yapılarak kaya kütle parametrelerinin ve dayanımının artırılması, böylelikle heyelan önünce sağlam bir topuk oluşturarak kaymayı engelleyeceği düşünülmüştür. Ayrıca yapılacak olan enjeksiyon ile de tünel kazısının yapılması durumunda stabilite sorunlarında ortadan kaldırılacağı bilinmektedir. Mevcut durum için gerçekleştirilen

bu çözüm önerisi için, zemin iyileştirilmesi için Jet - Grout yöntemi olacağına karar verilmiştir. Zeminin yapısı dikkate alındığında Jet 2 yönteminin kullanılması uygun bulunmuştur. Zira heyelanın meydana geldiği kesimin killi birimler üzerinde meydana gelmesi nedeni ile Jet 1 yöntemi ile istenen tasarım değerlerine ve istenen Jet - Grout boyları ve kolon çaplarına ulaşamayacağı bilinmektedir.



Şekil 2.16. Çıkış portslının aktif heyeylan ve Jet - Grout uygulama kesiti

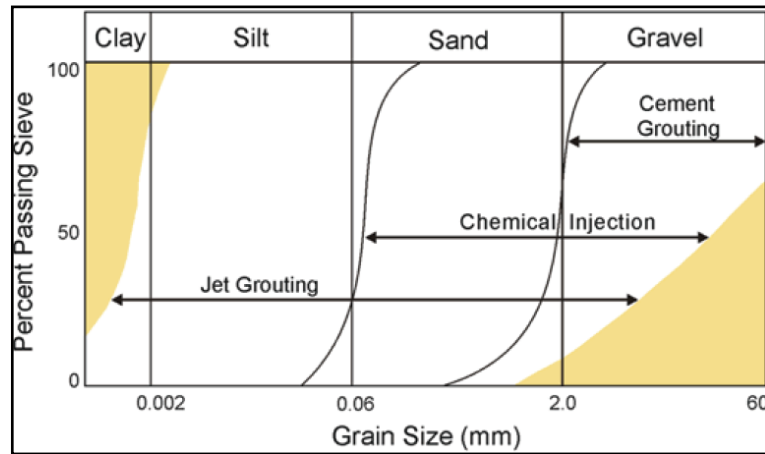
2.4 Jet - Grout Yöntemi

Jet - Grout yöntemi, zeminin mukavemetini, taşıma gücünü artırmak ve permabilitesini düşürmek amacıyla zemine istenilen basınçta istenilen özellikte şerbet enjekte etmektir.

Jet - Grout yöntemi yapı yüklerinin daha derindeki sağlam tabakalara aktarılmasını sağlamak amacıyla veya zeminlerin ıslahı için kullanılmaktadır. Bu yöntem çok farklı zemin koşullarında ve çok geniş uygulama alanlarında büyük bir tasarım serbestliği getirmektedir. Bu yöntemde, enjeksiyon memelerinden yüksek hızla gelen enjeksiyon karışımı zeminin doğal yapısını bozmakta ve zemin ile stabilize malzemenin karışımından doğan yeni bir oluşum meydana getirmektedir.

Şekil 2.17’ de görüldüğü gibi Jet - Grout yöntemiyle kil veya kum-çakıl gibi değişik karakterdeki çok geniş ve farklı türdeki zeminlerin ıslahı mümkün olmaktadır. Jetleme sırasında bir kısım malzeme tijle zemin arasındaki boşluktan yüzeye çıkar. Bu husus iyileştirilen zeminde basınç olmadığının işaretidir. Böylece istenilen çap ve boyda ve istenilen mukavemette kolonlar imal edilebilir.

Bu yöntemle diğer klasik enjeksiyon sistemlerine göre farklı olarak uygulamadan önce gerekli malzemenin miktarı, iyileştirilmiş zeminin taşıma kapasitesi, geçirgenlik gibi çeşitli zemin parametrelerinin bilinmesi ve dolayısıyla işin başında maliyetin belirlenebilmesi mümkün olabilmektedir [24].



Şekil 2.17 Dane çapına göre zemin ıslah yöntemlerinin uygulanabilirliği [25]

2.4.1 Jet - Grout sisteminin uygulanışı

Bu yöntemin uygulanışı iki aşamada gerçekleşmektedir.

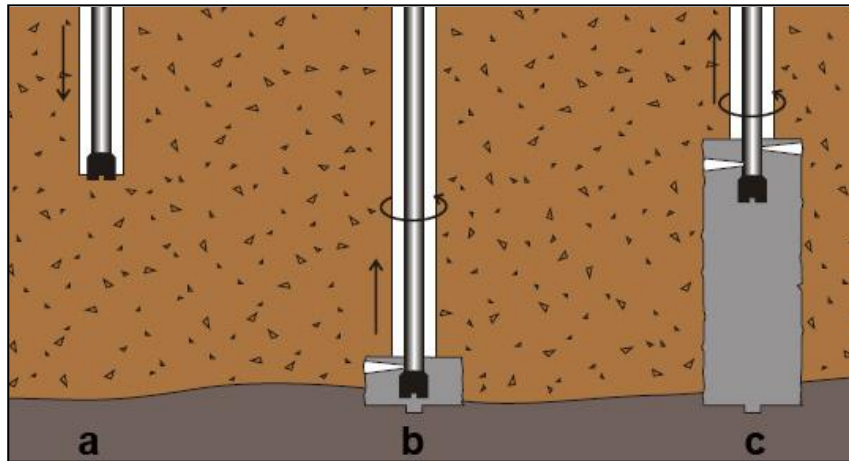
2.4.1.1 Delme aşaması

Bu yöntemin ilk aşaması olan delme aşaması, öngörülen derinliğe kadar özel ataşmanlı delgi makineleriyle ve genelde rotary usulü ile çalışan veya dışarıdan darbeli çekiçlerle delinir. Delme işleminde tijlerde kullanılmaktadır bunlar özel olarak basınca dayanıklı imal edilmektedir. Tijlerin birleşim yerleri $500-600 \text{ kg/cm}^2$ basınca dayanabilmektedir. Delgi sırasında delme işleminin kolay olmasını sağlamak için sirkülasyon suyu olarak su, hava, bentonit süspansiyonu veya çimento su karışımı kullanılmaktadır [24].

2.4.1.2 Püskürtme aşaması

Bu ikinci aşamada ise delgi tijinin ucundaki delikler otomatik valflarla kapatılarak monitör denilen özel parçaya yatay olarak tespit edilen püskürtme memelerinden genellikle 400-600 bar basınçla jetleme enjeksiyonu yapılır (Fotoğraf 2.25).

1.5 veya 4.0 mm çaplı nozul veya nozullardan 250 m/sn gibi büyük bir hızla çıkan enjeksiyon malzemesi, taşıdığı büyük kinetik enerji dolayısıyla çevresindeki zemini yırtarak karıştırır. Püskürtme (enjeksiyon) işlemi devam ederken kesilip karıştırılan zeminin bir kısmı oluşan basınç altında foraj deliğinden yukarı doğru transfer olur. Bir kısım zeminin enjeksiyon deliğinden dışarı çıkması enjeksiyonun zemine penetrasyonu için önemlidir. Ağızdan geri gelen madde hacmi zemin porozitesi ve cinsine bağlı olarak enjeksiyon hacminin %10 mertebesinde dir. Tijin belirli bir devir hızıyla döndürülerek yukarı çekilmesiyle homojen ve sürekli yapıda, zemin - çimento karışımı, özellikleri tamamen değiştirilmiş ve iyileştirilmiş, yeni bir malzemeden oluşan Jet - Grout kolları elde edilir (Şekil 2.18) [24].



Şekil 2.18 Jet - Grout kolları elde edilmesi



Fotoğraf 2.10 Püskürtme aşaması

2.4.2 Jet - Grout uygulama teknikleri

Enjeksiyon memelerinden büyük basınçla püskürtülen enjeksiyon malzemesi demeti “enjeksiyon jeti “ ile tarif edilir. Enjeksiyon pompa basıncı püskürtme memesi çapı ve püskürtme hızı arasındaki bağıntıdan enjeksiyon jetinin taşıdığı enerjiyi hesaplamak mümkündür.

Zemini kesmede kullanılan bu enerji püskürtme memesinin geometrik ölçülerine ayrıca püskürtüldüğü ortamın cinsine ve fiziksel yapısına son derece bağlıdır.

Zeminde oluşacak Jet - Grout kolonunun çapı zeminin endeks özelliklerine bağlıdır. Çünkü enjeksiyon sırasında enjeksiyon ile zemin arasında sürtünme kuvveti oluşacaktır. Buda kolonun çapını büyük derece etkileyecektir [24].

2.4.2.1 Mono jet (Jet1)

Jet - Grout uygulaması zemini kesme ve dolgu işlemlerinin sadece enjeksiyon jeti ile yapıldığı mono jeti tekniği kullanılmaktadır.

Enjeksiyon 300-600 barlık basınçla tij içerisinden yapılmaktadır. Mono sisteminde delgi borusu altındaki bir ağızdan basınçlı su verilmek suretiyle istenilen derinliğe kadar delik açılır. Daha sonra su ağızlığı kapatılarak 1.6-3.0 mm çaplı enjeksiyon

memelerinden basınçlı harç püskürtülmeye başlanır. Tij kendi etrafında döndürülürken yukarı doğru çekilir. Bu teknikte atık az olur.

Bu yöntemle elde edilen Jet - Grout kolonları çapları, zemin cinsi ve parametrelerine bağlı olarak kohezyonlu zeminlerde yaklaşık 400 mm ile 800 mm arasında değişir. Granüler zeminlerde ise 500mm ile 1200 mm arasında oluşmaktadır.

2.4.2.2 Double jet (Jet2)

Double jet, mono jete ilave olarak hava yastığı ile desteklenmiştir. Kısaca bu sistem aynı merkezli iç içe geçmiş iki borudan oluşmaktadır. Dıştaki borudan 8-12 barlık değişen basınçlı hava verilir. Basınçlı hava, enjeksiyon sırasında sürtünme dolayısıyla oluşan kinetik enerji kayıplarında önemli bir düşüş sağlar. Böylece elde edilen Jet - Grout kolon çapları mono jet yöntemiyle elde edilen kolon çaplarından %60-80 oranında daha büyük olmaktadır.

İkili sistemin dezavantajları, elde edilen mukavemetin tekli sisteme göre daha az olması ve basılan zeminin hava içeriğinin artırmasıdır.

2.4.2.3 Triple jet (Jet3)

Sistem aynı merkezli iç içe geçmiş üç borudan oluşmaktadır. Delgi aşaması diğer sistemlerdeki gibidir. 400-600 barlık basınçlı su en iç borudan basılır. 8-12 barlık basınçlı hava ortadaki borudan verilmektedir. Dıştaki borudan basılan çimento enjeksiyonunun basıncı 30-80 bar arasında değişmektedir. Hava ve su ile desteklenen bu sistemle Jet - Grout kolon çapı 2.0 m ye kadar ulaşabilmektedir. Çok kohezyonlu zeminlerde büyük çaplı kolonlar yapılabilmesi için bu sistem kullanılır.

Çizelge 2.13 Farklı zeminlerde gerçekleştirilen arazi deneylerinde belirlenmiş kolon çapları

Jet - Grout tekniği	Basınç(bar)			Kolon çapları (Metre)				
	Çimento	Hava	Su	Orta katı Kil	Orta Sıkı	Killi Silt	Siltli Kum	Kumlu Çakıl
Mono Jet	250-400 400-600				0.85	0.4-0.5	0.8-0.9	0.9-1.0
Double Jet	250-400 400-600	5-6 5-6			1.7	0.6-0.8	1.1-1.3	1.3-1.5
Triple Jet	15-40 15-40	5-6 5-6	300-400 400-600	1.4		0.8-1.0 1.5-1.7	1.4-1.6 2.0-2.3	2.0-2.4 2.5-2.8

2.4.3 Çalışma parametreleri

Jet - Grout tasarımı ve uygulamasında en önemli unsurlar enjeksiyonun özellikleri ve çalışma parametreleridir. Enjeksiyonun özellikleri, enjeksiyon maddeleri ve bilişiminden oluşur. Çalışma parametrelerinin seçimi zemin şartları, kolon çapı, istenilen taşıma gücü değeri ve uygulanacak yöntemle göre belirlenir. Bunlar; basınç, dönme ve çekme hızı, dozaj, püskürtme memeleri şeklinde sıralana bilir [24].

2.4.3.1 Basınç

Jet - Grout kolonunun çapını etkileyen en önemli faktör enjeksiyon basıncıdır. Tesir yarıçapını enjeksiyon basıncı belirlemektedir. Kesme ve koparma etkisi zemine tatbik edilen enjeksiyon basıncına bağlıdır. Basınç artıka kolon çapı da artmaktadır. Ancak uygulanan enerji, kolonların çapındaki uygun artışa her zaman karşılık gelmez. Bunun en önemli sebebi zeminin kohezyonudur. Zeminin kohezyonu azaldıkça ve zeminin kaba dane oranı artıka kolon çapı da artmaktadır. Bu arada kolon yapım süresine de bağlıdır.

Sistemin gerektirdiği basınç özel pompalar ile sağlana bilmektedir. Pompa basınçları enjeksiyon yapımında kullanılan sisteme, enjeksiyonun yapıldığı zemine bağlı şu değerler arasında değişir:

- Düşük basınçlı enjeksiyon 200-250 bar(kg/cm²)
- Orta basınçlı enjeksiyon 300-400 bar “ “
- Yüksek basınçlı enjeksiyon.....400-700 bar “ “

2.4.3.2 Dönme ve çekme hızı

Zeminin etkili bir Şekilde enjeksiyon malzemesi ile karışa bilmesi için tijin dönme hızının tercihen yavaş olması ve çekme hızının ise iyileştirme alanında homojen bir karışım oluşmasını sağlayacak düzeyde olması gerekmektedir. Enjeksiyon tijinin döndürülmesinden oluşan kolonların çapları aynı zamanda belirli bir yüksekliğe düşen ortalama devir sayısına da bağlıdır.

Jet - Grout kolonunun istenilen mukavemeti sağlaya bilmesi için önemli olan çimento dozajını etkileyen en önemli parametre, tijin yukarıya çekilme hızıdır. Tijin yukarı çekilme hızı zemin cinsine ve enjekte edilecek karışımın miktarına bağlıdır.

Dönme hızı genellikle 10-20 nadiren 30 devir/dak mertebesindedir. Bu devir sayısı zemin cinsine göre:

- Gevşek kum ve çakıl zeminlerde 8-12 dev/dak
- Orta sıkılıkta çakıl zeminlerde 12-20 dev/dak
- Killi siltlerde 10-50 dev/dak civarında alınmaktadır.

Tijin çekim hızı 2-8 cm'lik adımlardan oluşmaktadır. Fakat deneyimler en iyi çözümün 4 cm'lik kademeler halinde olduğunu göstermektedir. Rotasyonda olan enjeksiyon tijinin yukarı çekiliş hızı enjeksiyon kolon kalitesini etkileyen faktörler arasındadır. Bu hız ise zemin karakterine bağlı olarak,

- Gevşek kum ve çakıl zeminlerde : 5sn/4 cm
- Orta sıkılıkta çakıl zeminlerde : 12-17/4 cm
- Siltli zeminlerde : 18-20sn/ 4 cm olarak değişmektedir.

Çekme işlemi kullanılan delice makinenin özelliğine bağlı olarak ya sürekli ya da kademeli olarak yapılabilir. Kil oranı yüksek olan zeminlerde sürekli bir çekme yerine ancak kademeli bir çekme yapılabiliyorsa kademe yükseklikleri 4cm'den fazla olmamalıdır. Aksi takdirde enjeksiyon kolonlarında orijinal zemin ile enjeksiyon maddesi yeteri kadar karıştırılmadığından arzu edilmeyen bir tabakalaşma oluşur.

Dönme ve çekme hızları uygulanan yöntemle ve ıslah edilen zemin hacmine bağlıdır. Jet2 ve Jet3 yöntemlerinde yapım süresi Jet1 yöntemine göre daha uzundur. Çünkü daha büyük çap elde edilebilmek için daha fazla hacimdeki zemin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Jet - Grout yönteminin bir avantajı da kullanılacak sistem ve istenilen mukavemete bağlı olarak kullanılacak çimento miktarının işe başlamadan önce tahmin edilebilmesidir. Bu sonuçtan hareketle çimento dozajı belirlenerek Jet - Grout kolonunun bir metresindeki çimento miktarı hesaplanabilmektedir. Enjeksiyon jetinin enjeksiyon memelerinden akış hızı değerlendirilerek bu iki değer birleştirilmesiyle tıjın yukarı çekiliş hızı bulunabilmektedir. Bu yaklaşıma göre enjeksiyonun su/çimento oranı ve birim hacim ağırlığı (γ) bilinmek koşuluyla uygulanan enjeksiyon basıncı (P_i) altında eşit yükseklik (h) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$h = P_i * \gamma \quad (2.3)$$

$$\text{Enjeksiyon çıkış hızı :} \quad V = (2 * g * h)^{1/2} \quad (2.4)$$

$$\text{Enjeksiyon miktarı :} \quad Q = V * A \quad (2.5)$$

A:Enjeksiyon memesi çapına bağlı olarak değişen enjeksiyonun çıkış alanıdır.

2.4.3.3 Dozaj

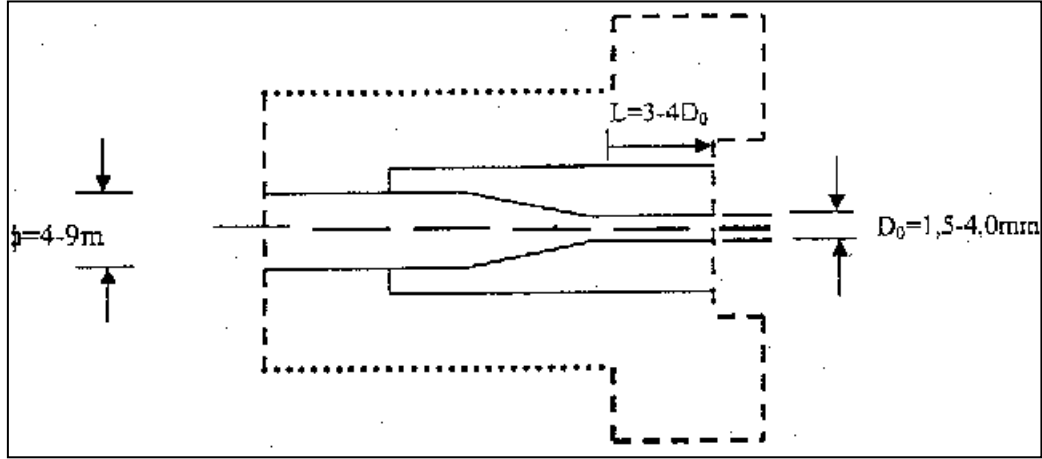
Yüksek basınçlı enjeksiyon numuneleri üzerinde yapılan deneyler su/çimento oranı ile serbest basınç mukavemetleri arasındaki bağıntıyı ortaya koymuştur. Aynı enjeksiyonda kullanılan şerbetin akma mukavemeti ve terleme yüzdesi de dikkate alınacak olursa en uygun sonuçların su/çimento oranının 0,7 ile 0,8 limitleri arasında iken alındığı görülmektedir. Genelde enjeksiyon şerbetine akışkanlık sağlamak için %2-3 oranında bentonit ilave edilmekte, su/çimento oranı ise 1.0'e yükselmektedir. Bentonit ilavesi enjeksiyon şerbetinin akışkanlığını ve işlenebilirliğini arttırmakta buna karşın enjeksiyon kolonu basınç mukavemetinde büyük bir değişiklik yapmamaktadır.

Standart su/çimento oranı 1.0 ve özgül ağırlık 1410-1570 kg/m³ düzeyindedir. Bu oran kullanılan yöntem, istenilen iyileştirme tipi, kolonların istenilen nihai dayanımları ve zemin cinsine bağlı olarak değişmektedir. İyileştirilmiş zemin birim m³'ü başına çimento miktarı 350-700 kg arasında değişmekle birlikte ortalama olarak 450 kg dır.

Jet - Grout kolon mukavemeti su/çimento oranına bağlı, iyileştirilmiş kum zeminin mukavemeti aynı dozaj ve hacimdeki enjeksiyon karışımı ile iyileştirilmiş kil zeminin mukavemetinden çok daha fazladır [24].

2.4.3.4 Püskürtme memeleri

Şekil 2.10'da gösterilen püskürtme memesine verilecek geometrik Şekil, enjeksiyon şerbetinin girdiği ve püskürdüğü delik çapları, transfer kanalları boyları bu memelerin kullanımı etkileyen faktörlerdir. Aşınma oranı fazla olan püskürtme memeleri bugün için sert çelikten yapılmakta olup, delik çapları 1.5 mm ile 4.0 mm arasında değişmektedir.



Şekil 2.19 Bir enjeksiyon memesi formu

Enjeksiyon tijinin ucuna yerleştirilen ve monitör adı verilen parça üzerinde yer alan püskürtme memeleri kullanılacak jet sayısına uygun 1'den 4'e kadar değişmektedir. Enjeksiyon memesi çapı küçüldükçe karışımın enjeksiyon memesinden dağılımı artmaktadır. Az sayıda enjeksiyon memesi kullanıldığında enerji kaybı da az olmaktadır. Tekli sistemde bir ya da iki enjeksiyon memesi kullanılırken ikili sistemde bu sayı genellikle birdir. Enjeksiyon memesi ünitesinin kapasitesine de bağlıdır.

2.4.4 Çeşitli zeminlerde Jet - Grout kolonlarının yapıları

Jet - Grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesinin başarısı uygulanacak parametrelerin dikkatli olarak seçimine bağlıdır. Uygulanan ıslah sistemi sırasında kullanılan basınç değeri ve enjeksiyon süresi zemin mukavemetine bağlıdır. Aşağıda farklı iki zemin cinsi için en sık karşılaşılan durumlar özetlenmektedir.

Kil; Düzgün ve sürekli bir yapı elde edebilmek için küçük çaplı enjeksiyon memeleri kullanılmalıdır. Çapları 1.6mm ile 2.0mm arasında değişen en fazla iki enjeksiyon memesi kullanılmalıdır. Kil zeminlerde yüksek basınç sebebiyle sıklıkla meydana gelen

kırılma ve kabarmaları önlemek amacıyla basınç (500-600) bar ve enjeksiyon malzemesi azaltılmalıdır. Kesilen zemin çeşitli nedenlerden dolayı enjeksiyon forajını tıkar ve fazla gelen zeminin dışarı atılmasına engel olabilir. Bu halde zeminde basınç altında bulunan bir ortam yaratılmış demektir. Enjeksiyona devam edilmesi halinde artan basınçla enjeksiyon kuyusu içinde bulunan enjeksiyon bulamacı çevrede zemini hidrolik pistonlar misali enjeksiyon borusu istikametinde iterek yüzeyde kabarmalar halinde kendini gösteren çatlama ve kırılmalara sebep olur. Bu arada radyal istikamette oluşan çatlaklar da enjeksiyon malzemesi ile doldurulmuş olur. Sistemin bu zayıf zeminlerdeki çatlakları da bulup doldurabilme özelliğinden geçirimsizlik aranan enjeksiyonlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Genelde arzu edilmeyen ve özellikle kaçılması gereken bu kabarmalar zamanında önlem alınmazsa desimetreler seviyesine çıkmaktadır.

Çakıl; Genellikle granüler zeminlerde kullanılan çalışma parametreleri kil zeminlerde kullanılanlardan farklıdır. Enjeksiyon basıncı $400-500 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişmektedir. Enjeksiyon memesi çapları 2.5-3.0 mm arasında olup bu zeminlere daha fazla karışım enjekte edilebilmektedir.

2.4.5 Jet - Grout yönteminin avantajları

- Yaklaşık her türlü zeminlerde uygulanabilen enjeksiyon metodudur.
- Diğer inşaat metotlarına kıyasla daha hafif ve küçük ekipmanla gerçekleştirilebilir,
- Çimento, bentonit ve su karışımı kullanıldığı için kimyevi enjeksiyonlar gibi çevre kirlenmesi yapmaz,
- Önceden belirlenebilecek geometrik ölçüler çerçevesinde uygulanacağından malzeme sarfiyatı büyük yaklaşımla önceden hesaplanabilir.
- Delinen küçük çaplı (10 cm) delgi deliğinden başlayarak geniş çaplı (50-300 cm) kolonlar elde etmek mümkündür.
- İstenilen derinlikten başlatılıp zemin yüzeyi altında istenilen derinlikte bitirilebilir.
- Diğer alternatif metotlara göre daha hızlı ve güvenlidir.
- İstenilen mukavemet ve permabilite tasarlanabilir.

- Zaralı vibrasyon etkisi yaratmadığından hassas ve tarihi yapılar yakında uygulanabilir.
- Deprem yükleri altında kazıklı temellere göre yapının daha iyi davranmasını sağlar [24].

2.4.6 Jet - Grout yönteminin tasarım esasları

Jet - Grout sisteminde tek ve kesin hesap yöntemi oluşturmak zordur fakat gerçekleştirilen birçok uygulama ve bu uygulamalardan elde edilen tecrübeler sonucunda hesap yöntemi için bazı öneriler geliştirilmiştir.

Teorik ve ampirik uygulamalar içeren birçok hesap yöntemi Jet - Grout tasarımına uyarlanmıştır. Sonuçta tasarı yöntemi tasarımcının kişisel tecrübelerinden gelen bilgilerine bağlı olup diğer taraftan iyi, güvenli ve gerçekçi tasarım derin çalışma yöntemi bilgisi ve yöntemin uygulanabilirliği ile sağlanabilmektedir.

İlk aşamada tasarımdan önce yapılması gerekenler;

- Zemin hakkında elde edilebilecek tüm verilerin toplanması: Detaylı zemin profili ve hidrojeolojik bilgiler, SPT ve CPT gibi zemin kıvamı veya sıklığı hakkında bilgi veren arazi deneyleri, zeminden alınana temsili ve örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri
- Zeminin mekanik olarak modellenmesi.
- Yükleme koşullarının seçimi.
- Yüklerin hesaplanması.
- Malzemelerin seçimi

Bu aşamalardan sonra tasarımcı Jet - Grout yönteminin kullanılmasına karar vermelidir.

İkinci aşamada:

- Zemin cinsi ve parametreleri.
- Enjeksiyon özellikleri
- Zemin-enjeksiyon karışımları
- Çelik donatı, tip ve geometrisi.
- Katkı malzemeleri düşünülmelidir. Son olarak sistem ihtiyaçlara cevap verecek şekilde teknolojiye uygun olarak seçilmelidir.

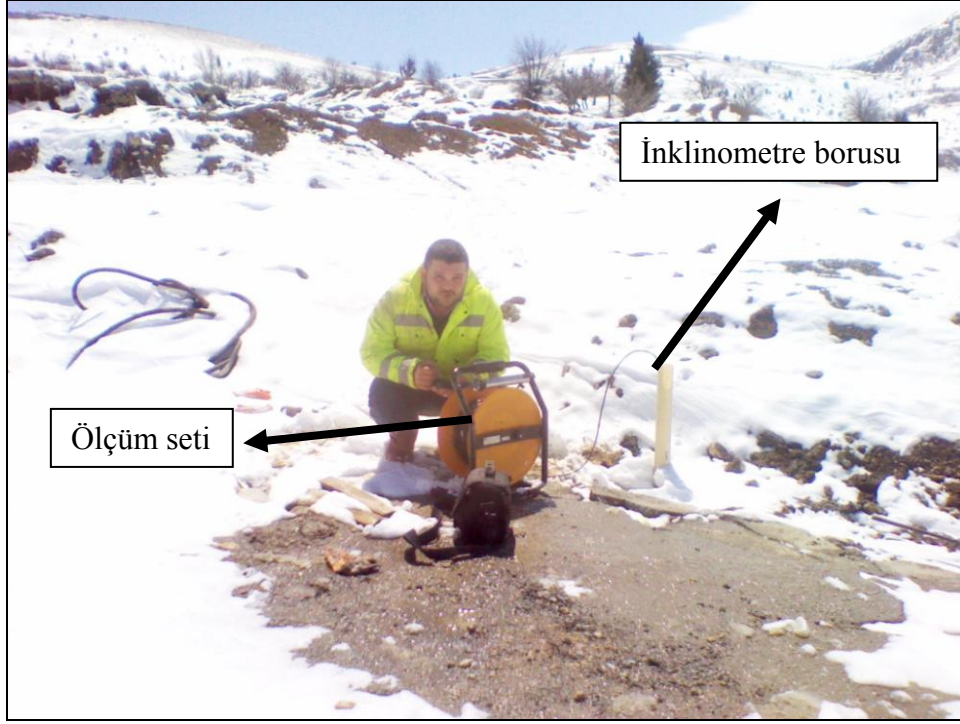
2.5 İnklinometre

İnklinometreler yardımı ile tünel, istinat duvarları ve şevlerde oluşabilecek yatay deplasmanlar ölçülür. Ölçülen bu deplasmanlar, sadece sondaj aksına dik doğrultudaki hareketlerdir. İnklinometreler, bir boru boyunca, yerçekimine karşı hassas bir prop yardımıyla borunun eksenine dik yönlerde oluşan deformasyonların ölçümüne yarayan aletler olarak tanımlanabilir. Boru eksenine dik olarak gerçekleşen sapmalar trigonometrik fonksiyonların yardımıyla ölçülen deplasmanlara dönüştürülür. İnklinometrelerin esas kullanım amacı, fazla pahalı olmayan bir şekilde yer yüzeyinden belirli bir derinlikte meydana gelmesi beklenen yatay deformasyonların gözlenmesidir. Bunun için boru genellikle düşey ve düşeye yakın bir açıyla yerleştirilir ve bu şekilde alt seviyelerdeki yatay deformasyonların ölçümüne olanak sağlar [5].

Gerekli aygıtlar;

- 1-Yerçekimine hassa bir şekilde ölçüm yapabilecek taşınabilir bir prop,
- 2-Probun ölçtüğü değerleri hafızasına kaydedecek ve aynı zamanda bir güç kaynağı olarak da kullanılacak elektronik okuma ünitesi,
- 3-Ölçüm yapan probun okuma ünitesiyle bağlantısını sağlayacak ölçekli bir elektrik kablosu.

Ayrıca, deformasyonu ölçmesi planlanan kesite dik olarak yerleştirilecek ve sürekli olarak orada kalacak olan plastik, alüminyum alaşımı veya fiberglas bir boru bulunmaktadır (yatay deformasyon ölçümü yapılacağı zaman bu boru genelde düşeye yakın olarak yerleştirilir) [26].

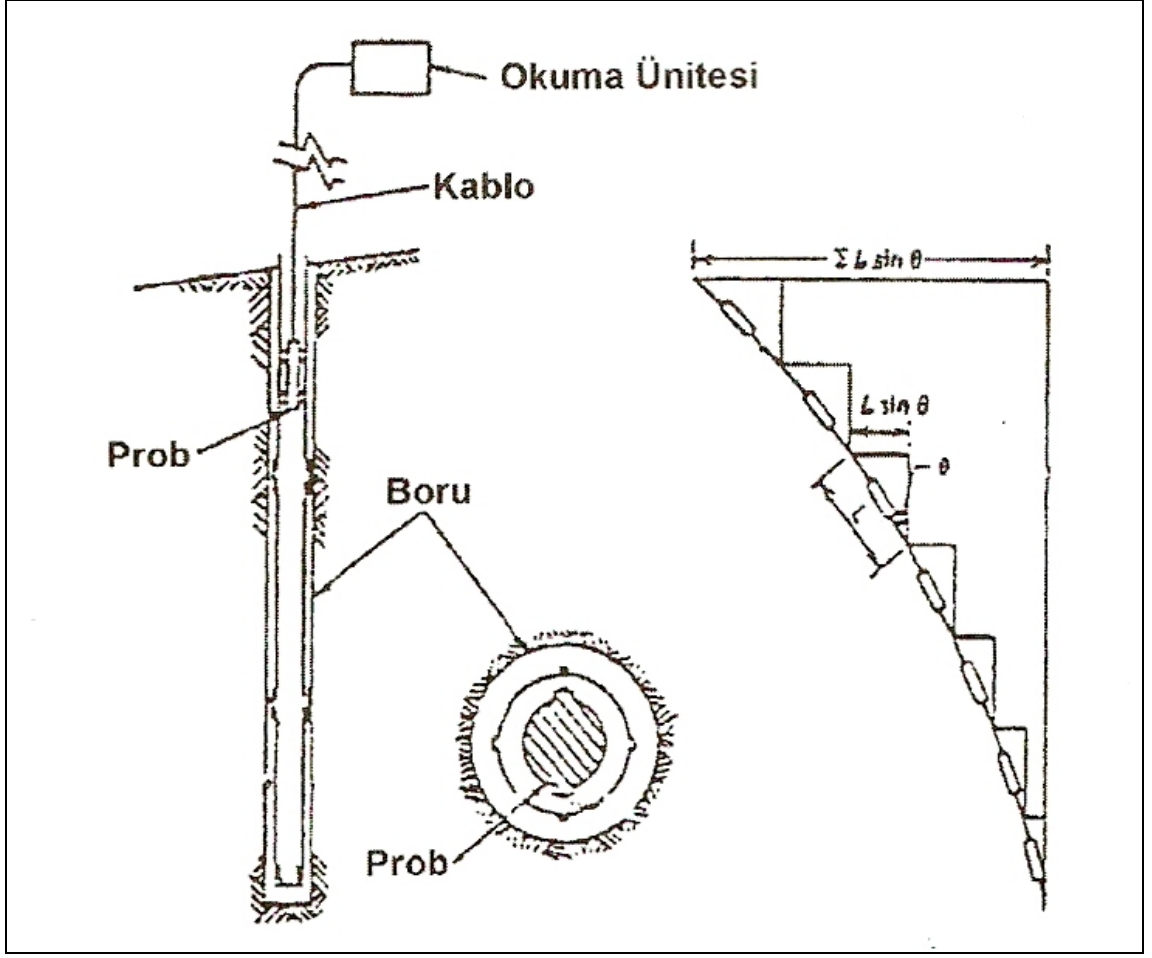


Fotoğraf 2.11 Deney düzeneği

İnklinometre borusu adı verilen bu borular yapıldıkları malzemeye göre üç tip olmaktadır. Alüminyum, fiberglas veya ABS plastik. Her üç tip borunun da içlerinde birbirine dik açılar yapan dört adet yarık bulunmaktadır. Bu boruların maksimum dış çapları 60 mm. olmakta ve uzunlukları da standart olarak 3 m. olmaktadır. Değişik malzemelerden yapılan boruların dış çapları değişebilmekte fakat hepsinde iç çapları 48 mm. olarak üretilmektedir. Bunların birleşimi için genellikle perçinler kullanılmaktadır. Plastik boruların bileşiminde iyi bir izolasyon için yapıştırıcı ve özel bantlar kullanmanın da faydası bulunmaktadır.

2.5.1 Teori ve yöntem

İnklinometrenin çok değişik çeşitleri mevcuttur. Bununla birlikte hepsinin genel çalışma prensibi aynıdır. Şekil 2.19'da yaklaşık düşey bir boruda yapılan standart bir inklinometre ölçümü görülmektedir.



Şekil 2.20 İnklinometrelerin çalışma prensibi[27]

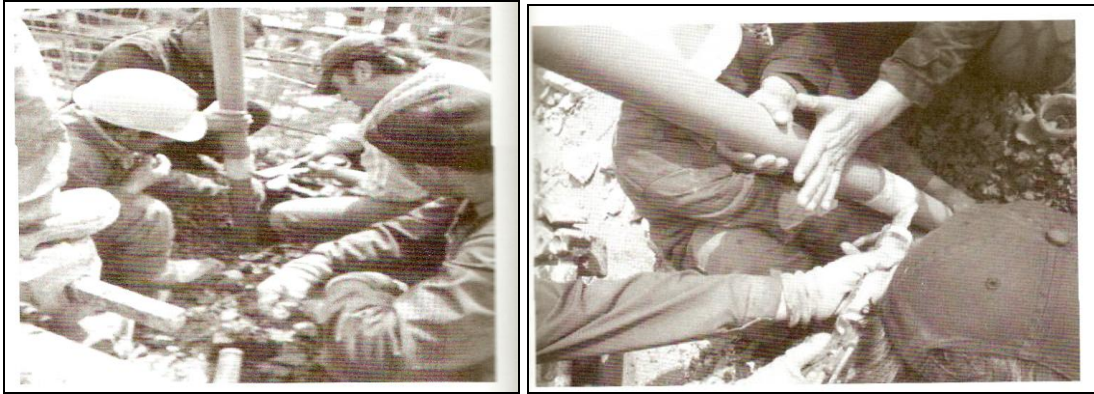
Günümüzde en çok kullanılan ve en gelişmiş tip kuvvetler dengesi prensibine dayanarak çalışan transdüserli inklinometrelerdir. Bu tip inklinometreler probun içinde bir transdüser bulunmaktadır. Probun düşeyden sapmasıyla bir voltaj farkı oluşmakta, ölçülen voltaj eğimle doğru orantılı olmaktadır. Kütleyi dengelemek ve dolayısıyla voltajı sıfırlamak için gerekli olan kuvvet de aynı Şekilde ilgili kesitte eğimle doğru orantılı olmaktadır.

Çift eksenli ölçüm yapabilen inklinometrelerde mevcuttur. Bu tip cihazlarda da birbirine dik olarak yerleştirilmiş üst üste iki adet transdüser bulunmaktadır. Bu tip inklinometrelerin tek avantajları transdüserlerle ölçüm yapmaları değildir. Ayrıca verinin arazide otomatik olarak kaydedilmesi, ham verinin işlenmesi ve sunumu konularında da kolaylıkları vardır. Günümüzde hassasiyeti en yüksek inklinometrik gözlem tipi bu transdüserli tiptir [26].

2.5.2 İnklinometre borusunun yerleştirilmesi

İnklinometre borusunun yerleştirilmesinde en sık kullanılan metot 100 – 200 mm. çapında düşey bir kuyu delgisi yapmak ve boruyu bu kuyunun içine indirmektir. Standart bir yatay deformasyon ölçümü için inklinometre borusu, deformasyon yapması beklenen kesiti kesecek şekilde yaklaşık düşey bir kuyuya indirilir. Kuyu deformasyon yapması beklenen zondan 3,00 – 5,00 m. daha derin olmalıdır. Bu şekilde inklinometre borusu hiç deformasyon yapmayacağı kabul edilen bir derinliğe ankastre edilecek, deforme olan kesitte ölçülecek deformasyonlar sabit bir noktaya göre relatif deformasyonlar olacaktır [5].

İnklinometre borusunun içine çimento enjeksiyonu veya herhangi bir başka yabancı madde sızıntısını engellemek için boruların birleşim yerleri ve alt kapağı çok iyi izole edilmelidir. Bu izolasyonda yapılacak bir hata borunun tamamen kullanım dışı kalmasına sebep olabilir. Ayrıca borudan hala ölçüm alınabiliyor olsa bile yarıklardan girecek en ufak bir toz parçası bile hatalı ölçümler yapılmasına sebebiyet verebilir.



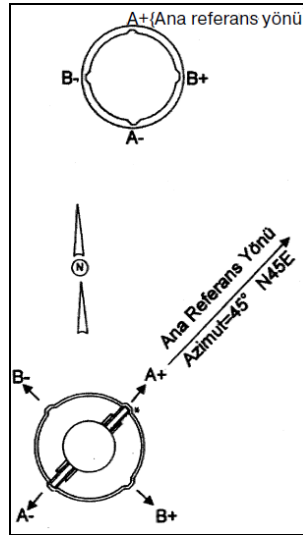
Fotoğraf 2.12 (a)İnklinometre borusu yerleştirilirken yapılan perçinleme işlemi
(b)İnklinometre borusu yerleştirilirken yapılan silikonlama işlemi

Borunun yerleştirilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken bir başka hususta yarıkların aynı hizaya gelmesidir. Boruların birleştirilmesi sırasında hizalama yapılacak bir hata borunun kullanılmaması sonucunu doğuracaktır. İnklinometre borusu ile kuyu cidarı arasında enjeksiyon ile doldurulması gerekmektedir. Bu enjeksiyon için genelde çimento, su ve bentonit tercih edilir. Söz konusu enjeksiyon kuyuda meydana gelebilecek yıkıntı, döküntü ve iç basınçlardan boruları koruyarak boruların stabilitesini sağlar. İnklinometre borusunun yanına bağlanmış hortumdan kuyu tabanından

başlanarak yukarı doğru boru ile kuyu cidarının arasının enjeksiyon ile doldurulması sağlanmalıdır. İnklinometre borusu yerine yerleştirildikten hemen sonra üst kapağı da kapatılmalı ve boru koruma altına alınmalıdır. Şantiye koşullarında böylece hassas bir ölçüm aletinin korunmasının güç olduğu akıldan çıkarılmamalıdır [5].

2.5.3 Gözlem yapılması

İnklinometre borularının içinde birbirine dik açıyla duran dört adet yarık bulunmaktadır. Bu yarıklar bütün boru boyunca devam etmektedir. Bu yarıkların karşılıklı iki tanesine A yarıkları, diğer ikisine de B yarıkları isimleri Şekil 2.20’ de ki gibi verilmiştir. İnklinometre borusu yerleştirilirken esas deformasyon ölçüleceği yönün A+ yönü ile karşılaştırılması gerekmektedir. Eğer çok sayıda inklinometre borusu varsa o durumda karışıklık yaratmamak için bütün boruların A+ yönünün aynı yöne doğru yerleştirilmesi daha uygun olabilmektedir [5].



Şekil 2.21 İnklinometre borusunun yönleri

Bir okuma, ya da bir set okuma, Fotoğraf 2.13’de görüldüğü gibi şu şekilde yapılmaktadır. Öncelikle probun tekerlekleri borunun yarıklarına oturtulur. Bu işlem yapılırken bu ilk ölçüm için probun ön yüzünün A+ yönü ile karşılaştırılmasına dikkat edilmelidir. Borunun içine yerleştirilen prob yarıklardan hareket ederek borunun en alt noktasına kadar indirilir. Hassas bir ölçüm aleti olan probun yeraltı ve yerüstü arasındaki sıcaklık farkına uyum sağlaması için ilk ölçüm alınmadan önce kısa bir süre beklemekte fayda vardır. İlk ölçüm alındıktan sonra (A+ ve B+ değerleri) prob bir üst

seviyeye çekilir ve aynı işlem bu seviyede de tekrarlanır. Seviyeler genellikle okuma ünitesi ile prob arasındaki bağlantıyı sağlayan elektrik kablosunun üzerinde belirlenmiştir. Karışıklığa sebebiyet vermemek için okuma aralıklarının kablo üzerindeki aralıklara eşit yapmakta büyük fayda vardır. Okuma aralıkları genellikle 0,5 m. olarak yapılmaktadır. Bununla birlikte okuma aralıklarını belirlemek ölçümü yapan kişinin insiyatifine kalmıştır [5].

Her seviyede okumalar alınır ve okuma ünitesine kaydedilir. En üst seviyedeki okumada alındıktan sonra prob borudan çıkarılır ve bu sefer 180 derece çevrilerek yeniden borunun içine yerleştirilir. Bu durumda probun ön yüzü A” yönü ile çakıştırılmıştır. Borunun içindeki prob yeniden en alt seviyeye kadar indirilir ve bütün seviyelerde yukarıda anlatıldığı gibi okumalar alınır. Bu Şekilde bir set okuma tamamlanmış olur. Bir inklinometre borusundan alınacak ölçümlerin sıklığı başta deformasyonların hızı olmak üzere değişik faktörlere bağlıdır. Bunun için ilk önce borunun yerleştirilmesinden sonra sık sık okumalar alınmalı, oluşan deformasyonların hızına göre optimum bir okuma sıklığı belirlenmelidir. Okuma aralığı ölçümü yapan kişiler tarafından tayin edilebilmektedir. Bununla birlikte en büyük hassasiyet okuma aralığını kablonun işaretlendiği eşit yaparak elde edilmektedir. Aksi takdirde kablo derinlikleri ile ölçüm yapılan derinliklerin karıştırılması büyük bir olasılıktır. Normal olarak ne kadar fazla sayıda ölçüm alınırsa yani okuma aralığı ne kadar küçük tutulursa hassasiyette o derece artacaktır. Ayrıca, okuma aralığının büyük tutulması olası bir kayma zonunun belirlenememesi sonucunu da doğurabilecektir. İnklinometre borusu yerleştirilip çimento enjeksiyonu prizini alır almaz ilk ölçüm yapılmalıdır. Daha sonradan yapılan bütün ölçümler bu ilk referans ölçümüne göre değerlendirileceğinden referans ölçümü en önemli ölçümdür. Bu nedenle referans okumalarını en az iki kere yapmakta büyük fayda vardır. Yapılan okumalarında birbiriyle uyumlu olup olmadığının kontrol edilmesi gerekir. En az iki set okumanın büyük bir uyum içinde olduğu görüldüğü takdirde referans okumalarının sağlıklı bir Şekilde gerçekleştirildiği kabulü yapılabilir [5].

2.5.4 İnklinometrik gözlem verilerinin değerlendirilmesi

Derin kazı projeleri kapsamında proje mühendisinin ön gördüğü lokasyonlara yerleştirilen inklinometre kuyularından sürekli okuma alınarak deplasman kontrollü kazı işlemi gerçekleştirilir. İnklinometrik gözlem verisinin değerlendirilmesi için yapılacak ilk şey aynı derinlikteki okumaların toplamalarını kontrol etmektir ve bu kontrol daha sahada ölçümler devam ederken yapılmalıdır. Bu değer her seviyede yaklaşık aynı olmalıdır. Bu toplamaların çok değişken olmaları yapılan ölçümün hassasiyetinin düşük olduğunu göstermektedir. Aslında bu değer doğal olarak borunun içinin durumuna, inklinometre cihazının performansına ve ölçüm yapan kişiye göre değişebilmektedir buna rağmen değerlerin yaklaşık olarak aynı olması hassasiyetin arttığını göstermektedir. Çok düşük farklılıklar önemli bir problem teşkil etmemektedirler [5].

Sağlıklı ve hassas bir ölçüm bu Şekilde tamamlandıktan sonra inklinometre borusunun her 50 cm' de bir deformasyonların beklendiği doğrultuda ve bu doğrultuya dik yönde yaptığı deplasmanların değerleri 0,01 mm. hassasiyeti ile belirlenmiş olur. Bu deformasyonlar referans okumalarında ölçülmüş bulunan deformasyonlarla karşılaştırılır ve borunun referans ölçümlerinin yapıldığı zamandan o zamana kadar yapmış olduğu deformasyon miktarı tayin edilir [5].



Fotoğraf 2.13 İnklinometre okumasının yapılışı

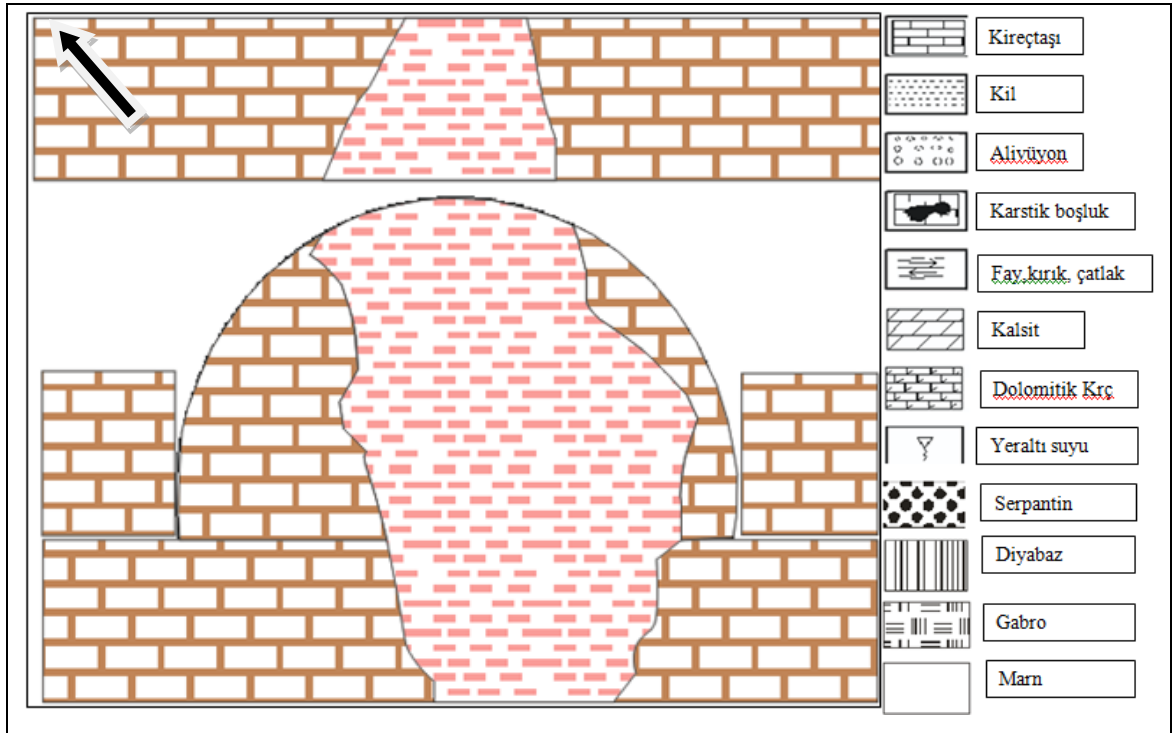
BÖLÜM III

BULGULAR

3.1 Giriş Ayna Jeolojik Haritaları ve Yorumlanması

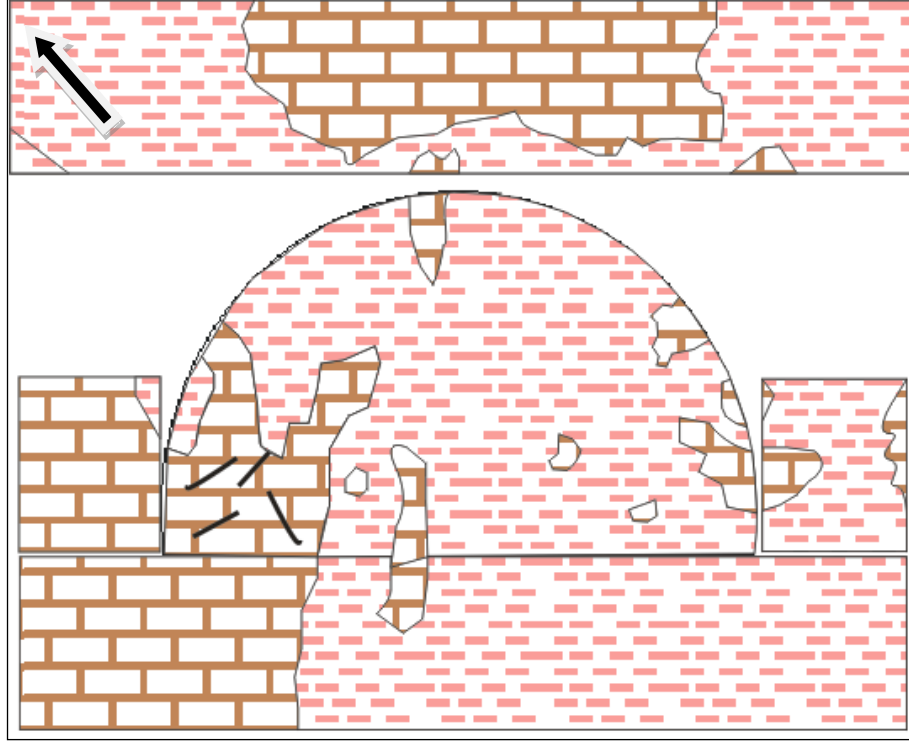
Tünel güzergâhı boyunca farklı formasyonlardan oluşan aynalardan elde edilen jeolojik kesitler aşağıda sunulmuştur.

Tünelin 35 + 909 kilometresinde tünelin giriş portalında heyelan meydana gelmiştir. Heyelanın oluştuğu giriş portalının aynasının jeolojik kesiti Şekil 3.1’de verilmiştir. Buna göre göçük aynası jeolojik olarak kireçtaşı, kil’den oluşmaktadır. Süren dalgisi sırasında zemine aktarılan su kilde hareketliliğe neden olmuş ve 1 iksa kullanılamaz hale gelmiştir. Göçük neticesinde 100 m³ malzeme boşalması gözlenmiş ve bu alan sık iksa uygulaması yapılarak ve daha sonra enjeksiyon dolgusuyla geçilerek stabilizasyon sorunu ortadan kaldırılmıştır.



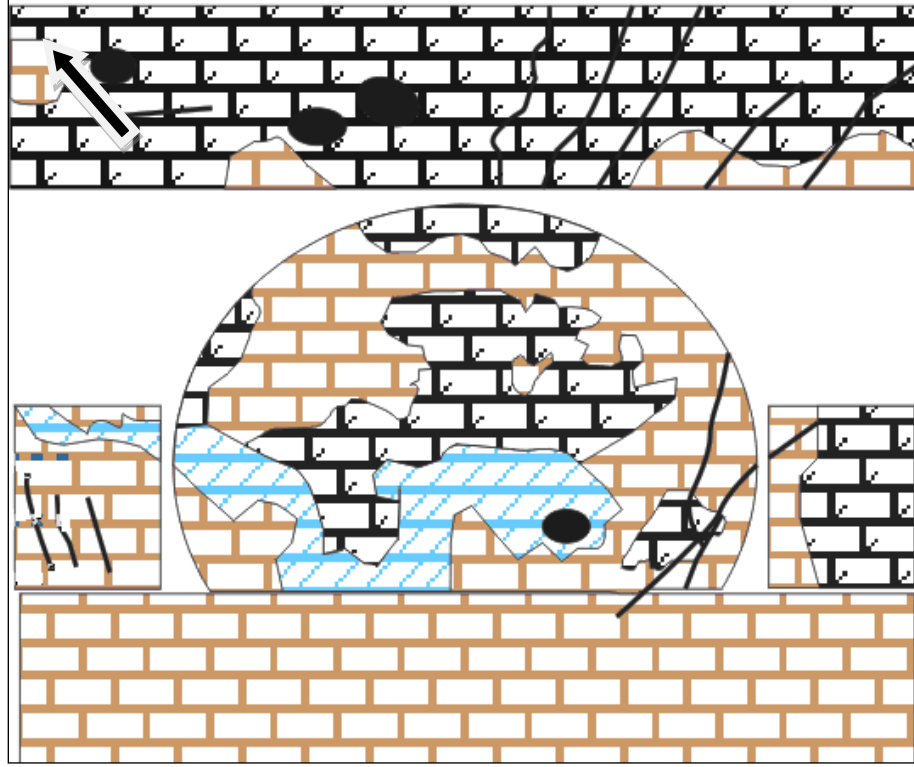
Şekil 3.1 km: 35+909 Göçük aynası jeolojik kesiti

Tünelin 50-65 metre arasındaki aynanın sağında kil dolgusu yaygındır ve bu bölümde ilerlemenin büyük kısmı kazıcı makineler ile yapılmıştır. 65. metreden sonra kil dolgusu kireçtaşı içinde dağılım halinde gözükmemektedir.



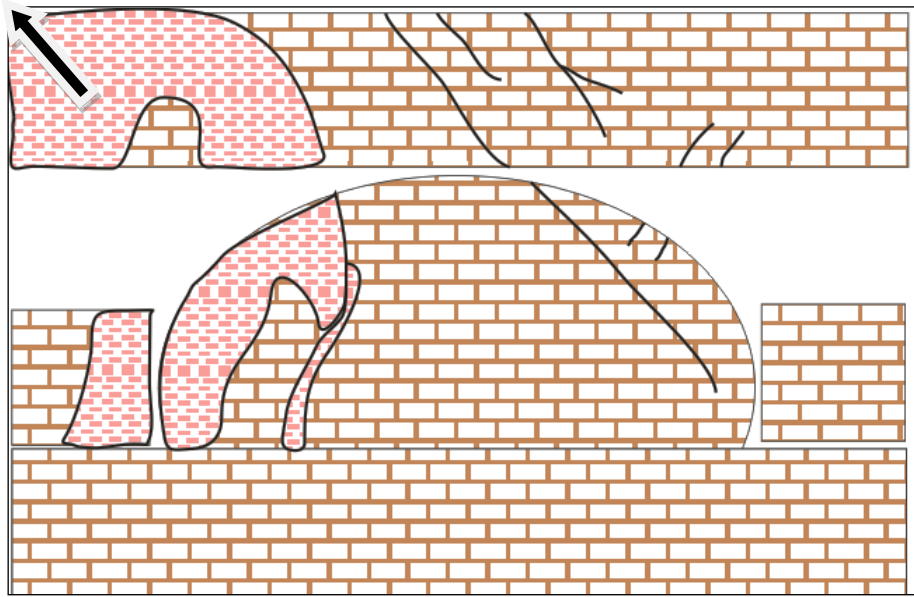
Şekil 3.2 km 35+960,50 jeolojik kesiti

Km: 36+106 , 23 de dolomitik kireçtaşları ve kristalize kalsit yayılımları gözlenmiştir. Kalsit dolgularının içinde yer yer karstik boşluklar bulunmaktadır. Karstik boşluklar eksen kısımda bulunmasından dolayı su içeriğinin artmasına neden olmuş ve dayanımın düşmesi ile kazı sırasında çalışmanın hızı düşmüştür. Bu alanlara da yapılmış en yoğun çalışma yüzeyi shootcrete ile kapattıktan sonra çalışmanın devam etmesi olmuştur.



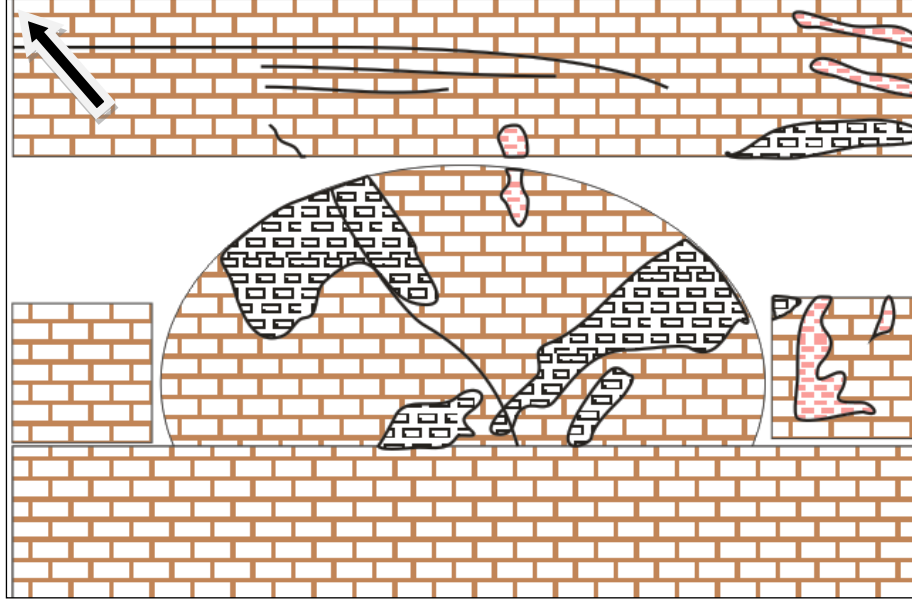
Şekil 3.3 km 36+106 , 23 jeolojik kesiti

Ayna yüzeyinin tavanından sağ tabana doğru yönelim gösteren kırıklı yapı önceki 15 metre boyunca aynanın sol yüzünden sağa doğru yönelim göstermiştir. Bu kırık hattı boyunca kireçtaşıda yüzey hattından kopan bloklar kazı öncesi ve sonrası atılan emniyet shootcrete ile durdurulmuştur.



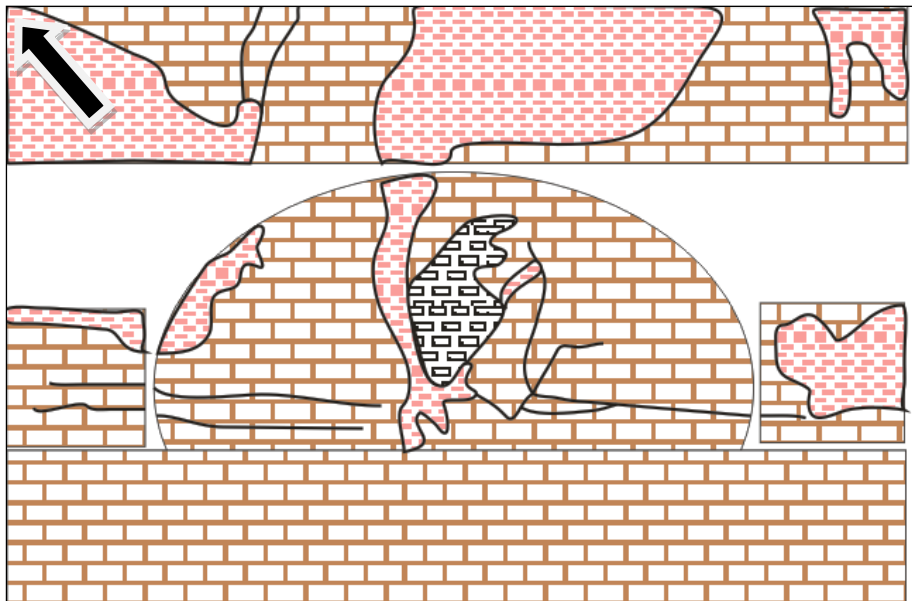
Şekil 3.4 km 36+245 jeolojik kesiti

Sağ ve soldan tabana doğru bir v oluşturan iki kırık hattı boyunca ayna yüzeyinde zeminden ayrılan malzeme hem kazı hattı boyunca hem de tavan kısmında açılma oluşmasına neden olmuştur. Çalışma kazı boyu azaltılarak ilerlenmiştir ve kırık shootcrete ile doldurularak çalışmanın emniyeti alınmıştır.



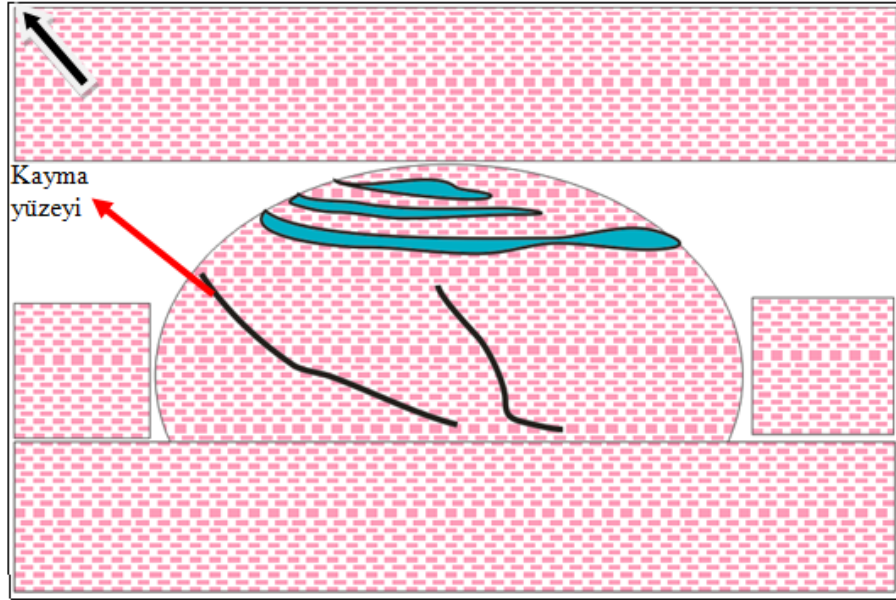
Şekil 3.5 km 36+323 jeolojik kesiti

Süren delgisi sırasında kullanılan suyun etkisi ile bünyesine suyu alıp şişen birbirinden ayrılan eksendeki kil dolgu malzemesi dökülme sonucu profil fazlası kazı oluşturmuştur. Açılan alan çimento enjeksiyonu ile doldurulmuştur. Daha sonra delginin su yerine havalı sistemle yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.6 km 36+377 jeolojik kesiti

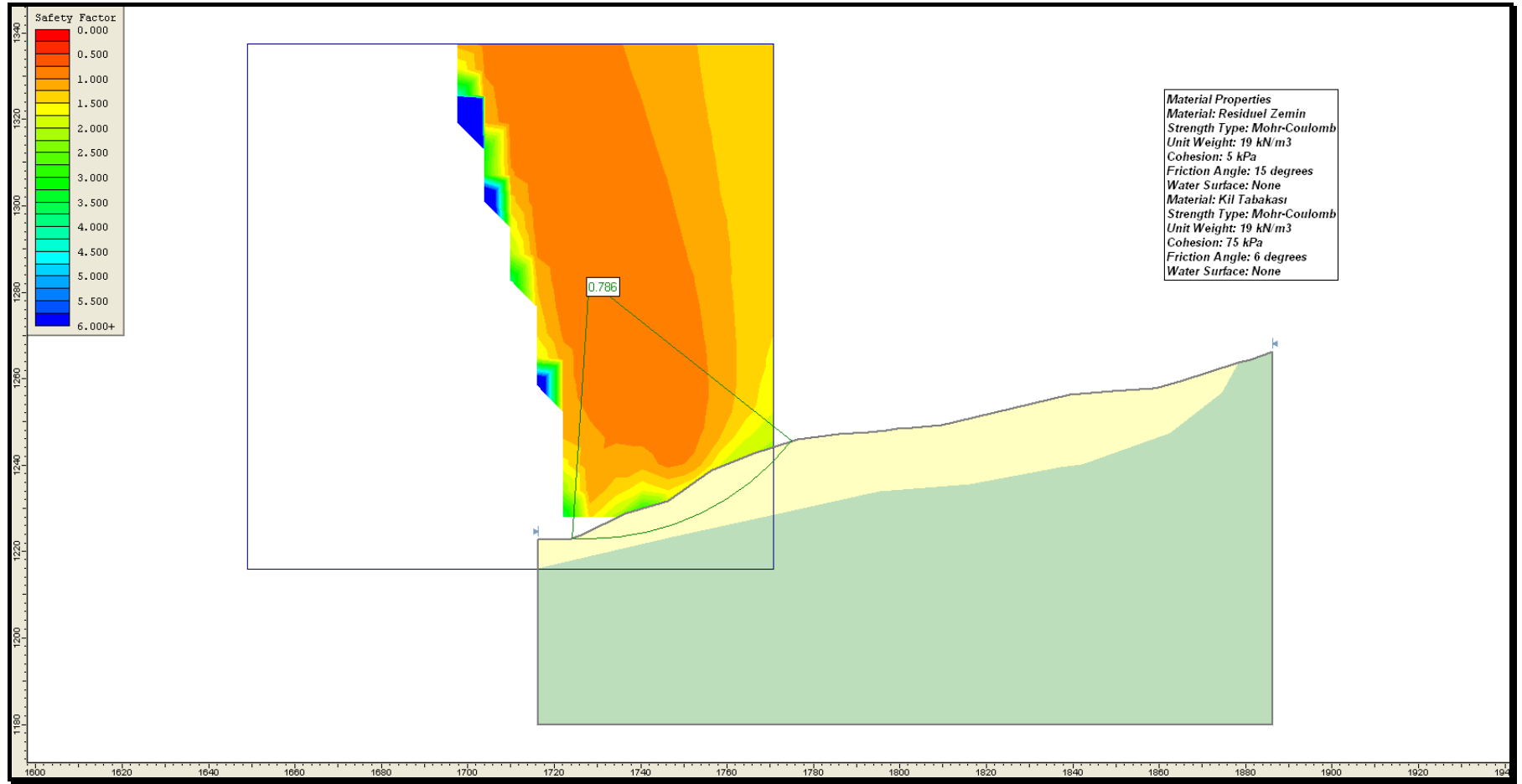
Tahtalı formasyonunu kapsayan alan kil birimi içermektedir. Ayna yüzeyinde yatay – yataya yakın marn seviyesi bulunmaktadır. Aynada belirlenen kırıklar kil tabakalarının kitle halinde yenilmesine neden olmuştur. Çalışma sırasında kazıyı göbek bırakarak kazı boyunu düşürerek çalışmalar devam etmiştir.



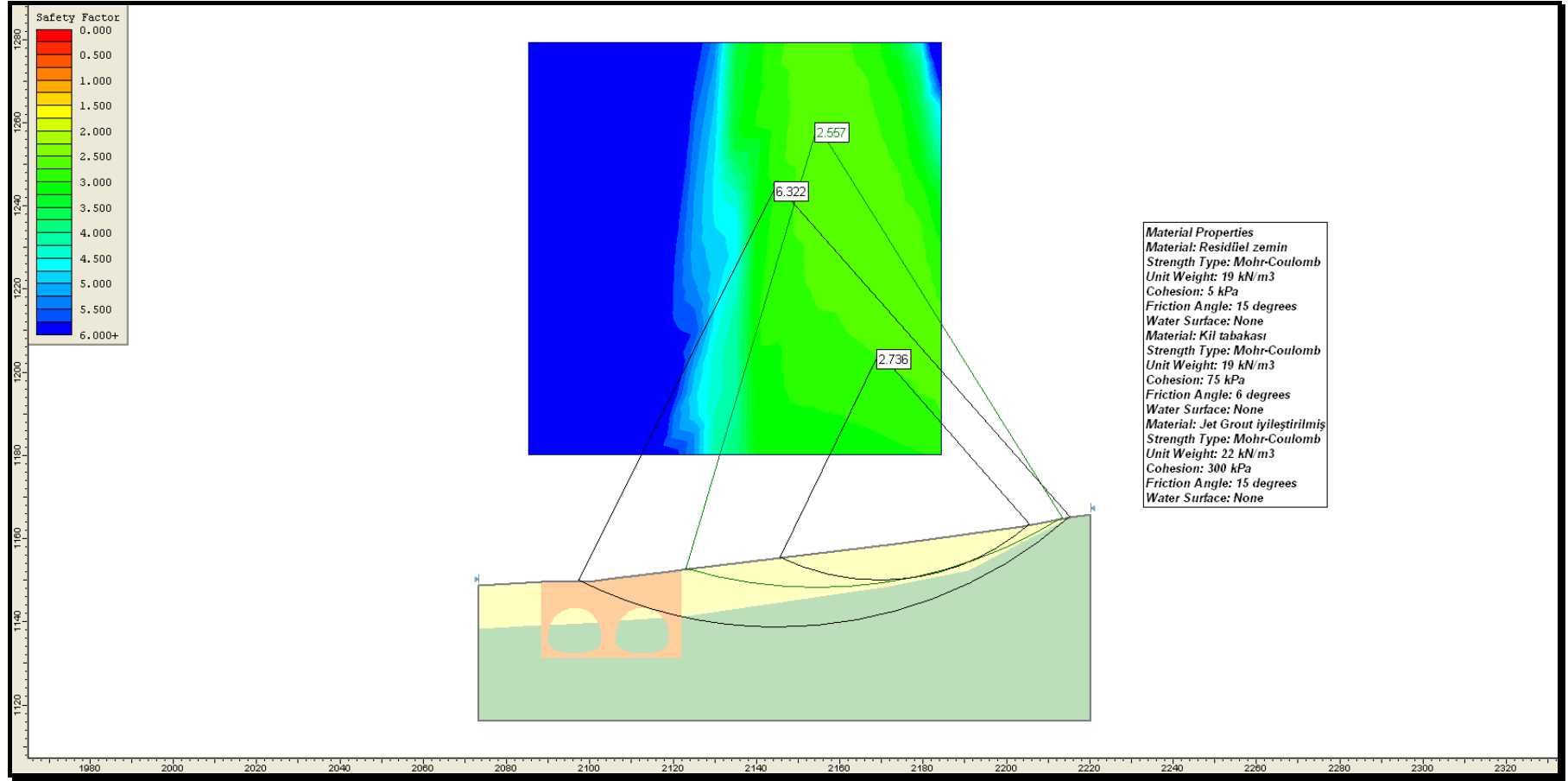
Şekil 3.7 Km: 36+500 jeolojik kesiti

3.2 Stabilite Analizleri

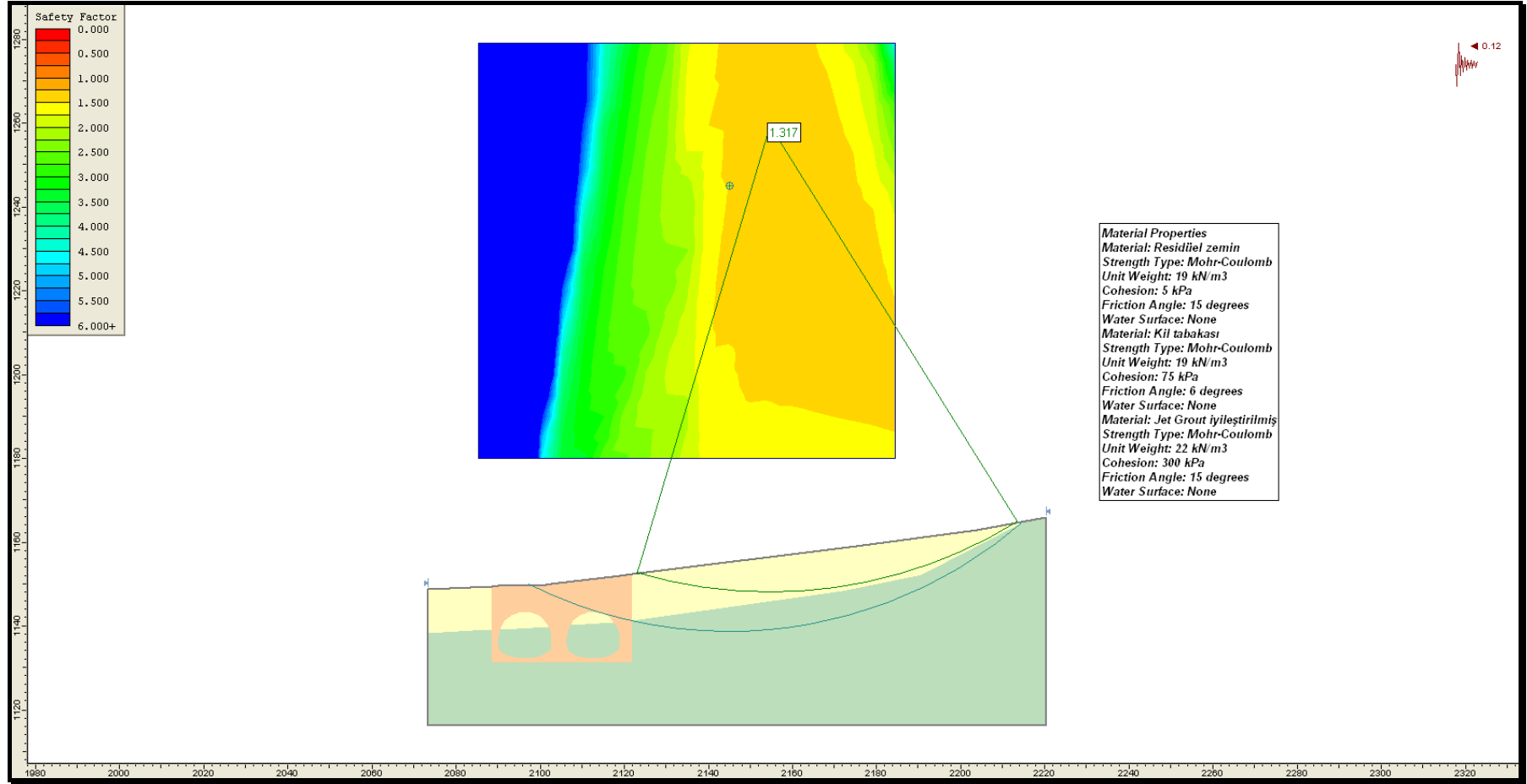
Heyelanlı bölgenin stabilite analizleri için Slidev5 programı kullanılmıştır. Analizler iki aşamada değerlendirilmiştir. İlk aşamada mevcut heyelanlı durumda zemin parametrelerini tespit etmek amacı ile geri analizler yapılmıştır. Bu durumda kaymanın gerçekleştiği parametreler tespit edilmiştir. Daha sonra zeminin güçlendirilmiş Jet - Grout durumunda stabilite problemleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler statik ve depremlili durum için ayrı ayrı yapılmış ve güvenlik faktörlerinin yeterli geldiği görülmüştür.



Şekil 3.8 Heyelan slide analizi



Şekil 3.9 Heyelan slide analizi (güçlendirilmiş) depremsiz durum



Şekil 3.10 Heyelan slide analizi (güçlendirilmiş) depremli durum

Yapılan analizlerde, mevcut heyelanın değerlendirildiği durumda güvenlik faktörü 0.786 olarak bulunmuştur. Heyelan üzerinde 4 adet sondaj yapılmış ve yapılan sondajlara göre jeolojik kesit hazırlanmıştır. Sondajlardan elde edilen laboratuvar deneylerine göre heyelan malzemesinin kohezyonu 5 kPa ve içsel sürtünme açısı ise 15^0 olarak alınmıştır.

Daha sonraki analizlerde ise, tünelin geçeceği yerin Jet - Grout ile iyileştirilmesi yapılmıştır. Jet - Grout yapılan kesimde zemin parametresi olarak kohezyon 300 kPa ve içsel sürtünme açısı 15^0 olarak alınmıştır. Bu kesimde Jet - Grout paterni 1.5x1.5 olarak uygulanmış ve parametreler bu koşula göre hesaplanmıştır. Jet - Grout yapılan kesimde Jet - Grout boyları tünel invert kotunun 1 m altına inecek şekilde modele yerleştirilmiştir. Yapılan analizlerde güvenlik faktörü 2.376 olarak bulunmuştur. Analizlerde depremli durumda incelenmiş ve deprem ivme değerinin modele uygulanması ile Şekil 3.10' da ki güvenlik faktörü 1.317 olarak hesaplanmıştır. Depremsiz güçlendirilmiş analizde heyelanın tüneline kaplayan kısmında Şekil 3.9' de ki güvenlik faktörü 6.322 tünel dışındaki yamaçta 2.557 ara bölge ise 2.736 oranını göstermiştir. Analizlerden de anlaşılabileceği gibi, Jet - Grout yapılması ile heyelanın stabilitesi sağlanmıştır.

3.3 Tünel Analizleri

Heyelan malzemesinin Jet - Grout yapıldıktan sonra tünel kazısı ile geçileceği yaklaşık 110 m lik kesimde tünel stabilite analizleri için Phase2D programı ile nümerik analizler yapılmıştır. Analizlerde Jet - Grout yapıldıktan sonra elde edilen parametreler kullanılmıştır.

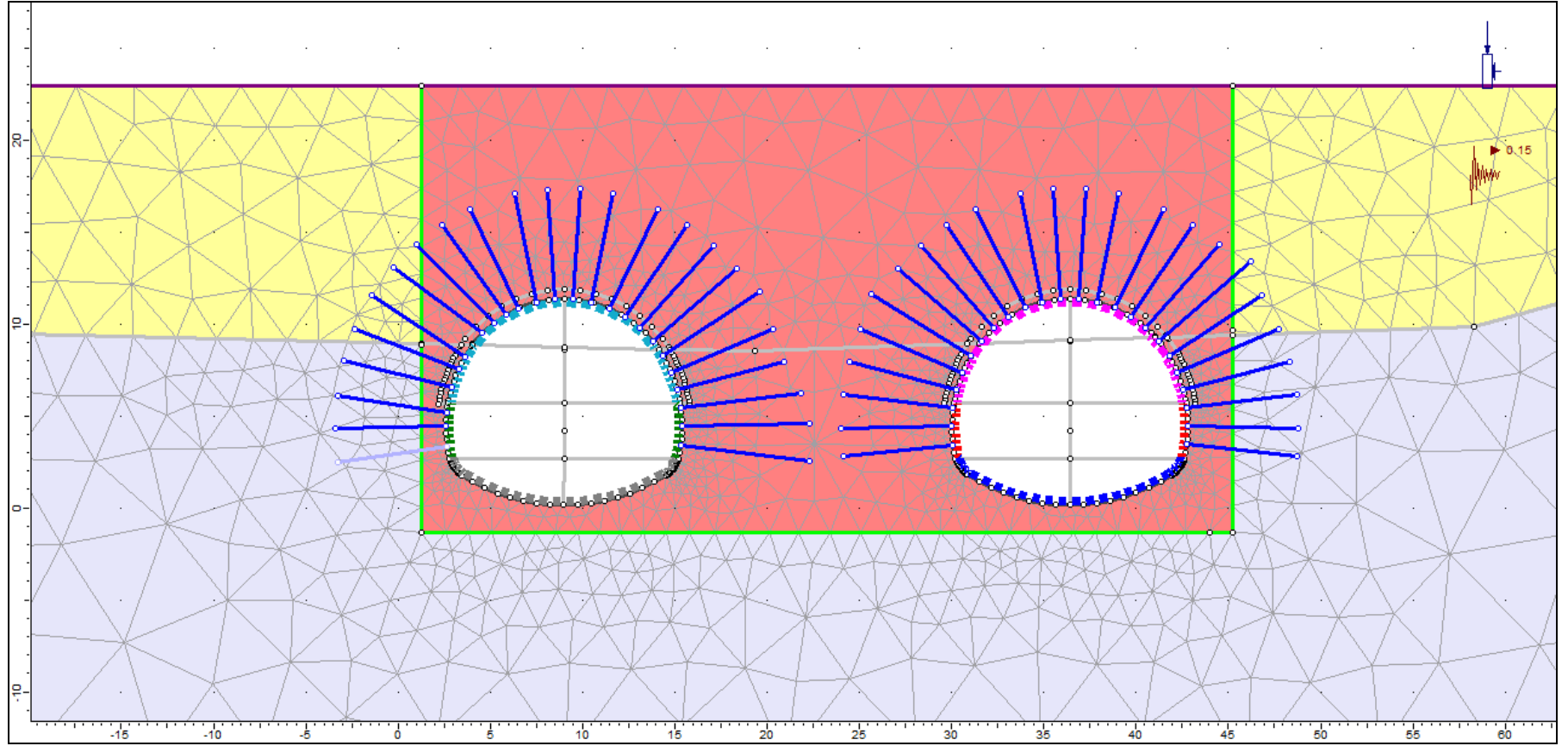
Bu kesimde C3 destek sınıfı uygulanmıştır. Analizlerde C3 destek sınıfında olan üst yarı geçici püskürtme beton inverti ve sürenler kaldırılmış ve bulonlar 6 m olarak modele girilmiştir.

Analiz sonuçlarında da görüleceği gibi tünel çevresinde meydana gelen deformasyonlar 2.8 cm civarında olmaktadır. Çizelge 3.1' de görüldüğü gibi güvenlik faktörleri yeterli düzeyde olup tünel çevresinden uzaklaştıkça artmaktadır.

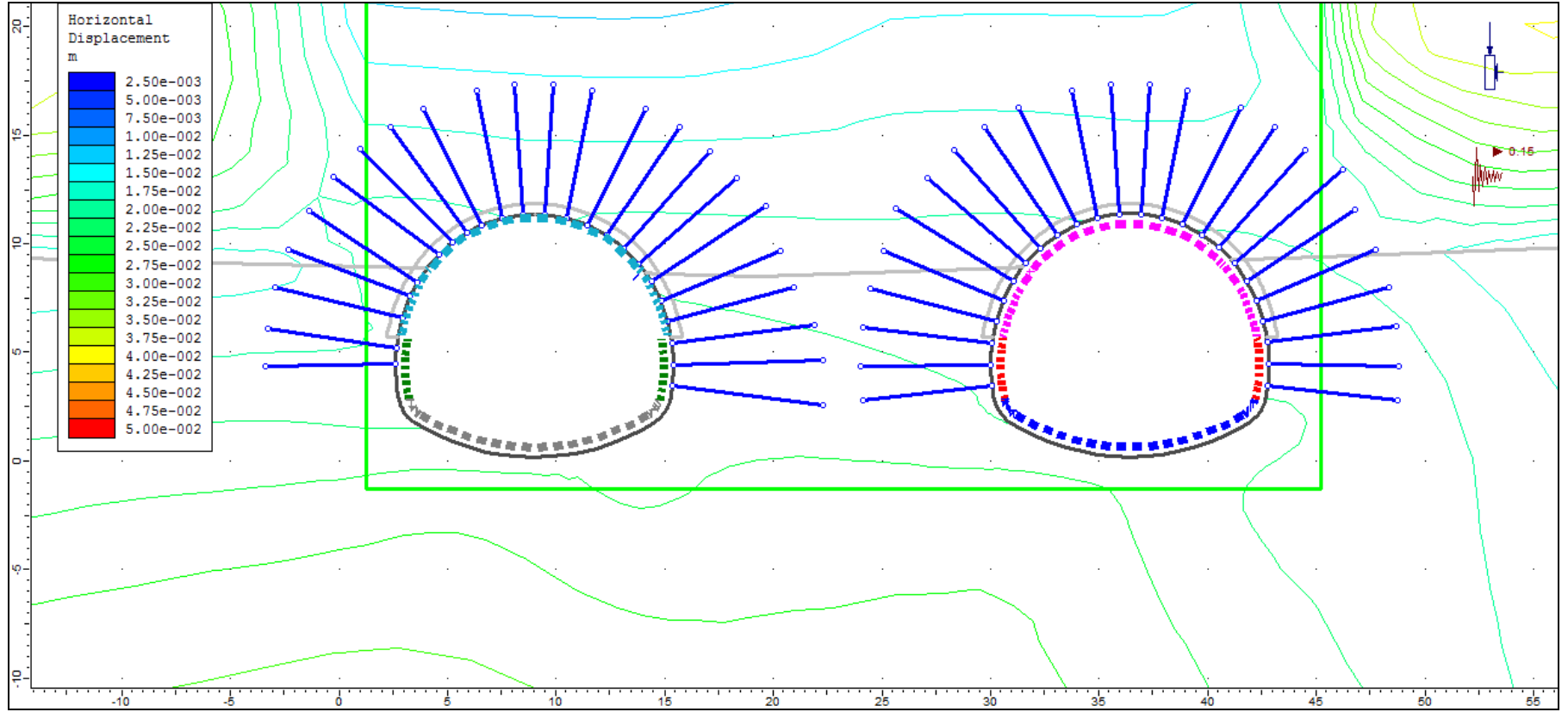
Çizelge 3.1 Karahan tüneli çıkış portalı heyelanlı kesime ait Phase analizi sonuçları, C3 kaya sınıfı

Toplam Deformasyon (cm)					
Sol Tünel					
Tünel Tavanı	Tünel sol omuz	Tünel sağ omuz	Tünel sol alt yarı	Tünel sağ alt yarı	Tünel Taban
2.8	2.8	2.1	2.8	2.1	2.8
Sağ Tünel					
2.1	2.1	2.1	2.1	2.8	2.8
Güvenlik faktörü					
Sol Tünel					
2.21	6.0	3.16	1.89	2.58	6.0
Sağ Tünel					
3.79	3.79	2.21	1.26	1.26	5.06
Yenilme Bölgeleri (%)					
Sol Tünel					
100	100	0	55	90	50
Sağ tünel					
100	10	0	20	90	50

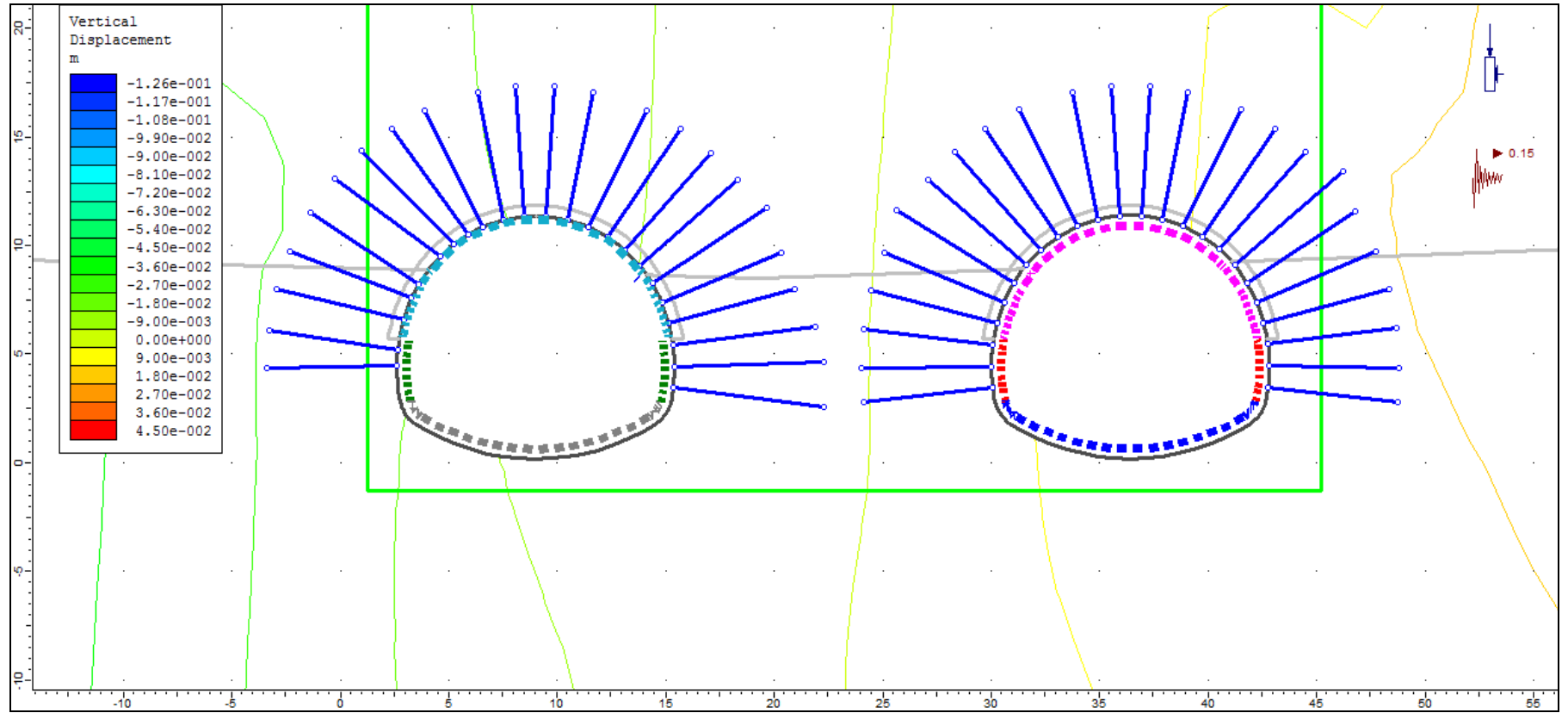
Grafikleri aşağıda olan analiz sonuçlarına göre tüneldeki deformasyonlar 2.1 ila 2.8 cm değerleri arasında belirlenmiştir. En yüksek dayanım sol tünel tabanı ve sol tünel sol omuzda 6.0 oranında ölçülürken, en düşük dayanım değerleri sağ tünel sol alt yarı ve sağ alt yarı da 1.26 olarak belirlenmiştir. Bu oran tünelde eksen kısmında oluşacak bir dayanımın sağ tünel tabanında tahribin yüksek olacağına işaret etmektedir. Sol tünelde tavan ve sol omuz % 100 sağ alt yarı % 90 tabanda ise % 50 oranında yenilme mevcuttur. Sağ tünelde ise tavan % 100 sağ alt yarıda % 90 tabanda % 50 oranında yenilme mevcuttur.



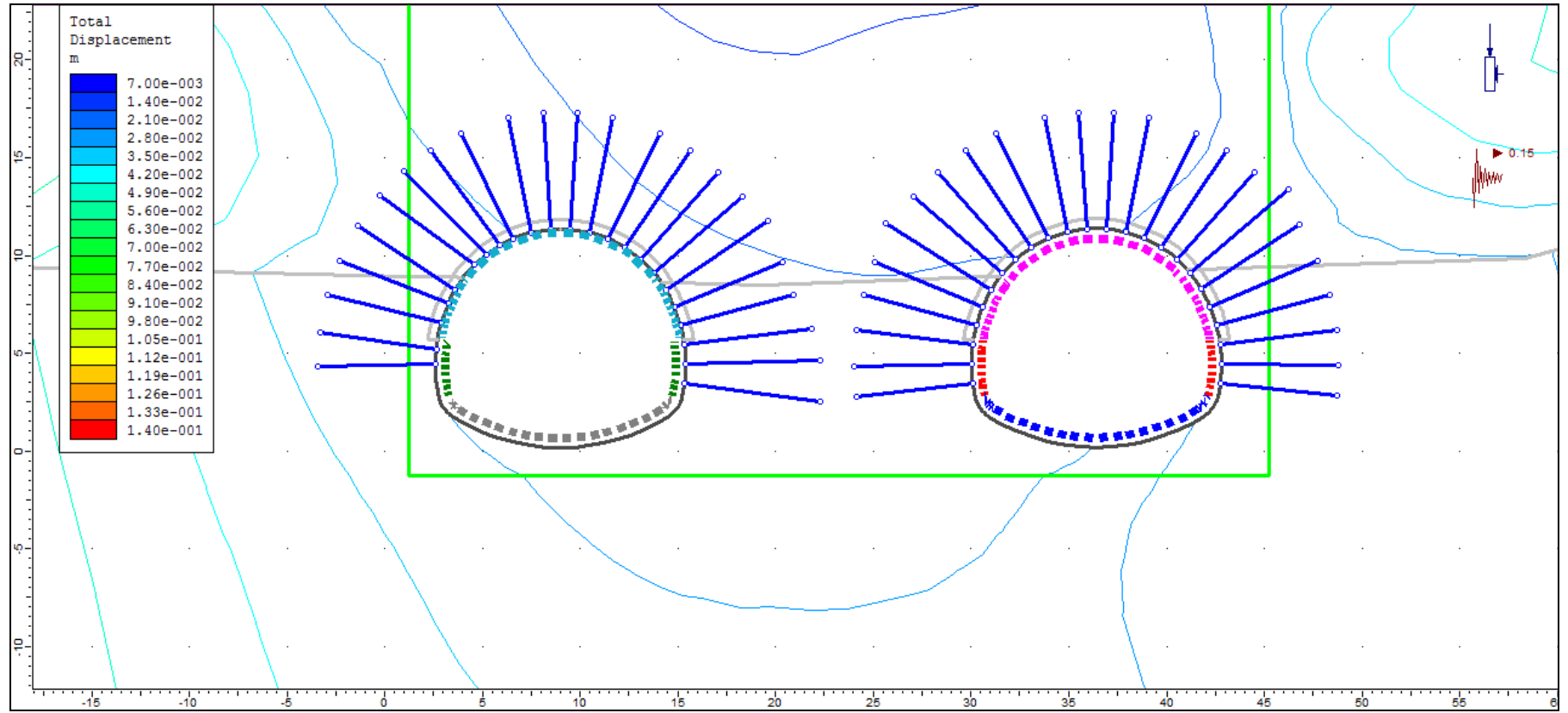
Şekil 3.11 Phase analizinde sol ve sağ tünelin kazı ve destek sistemlerinin tamamlanmış durumu



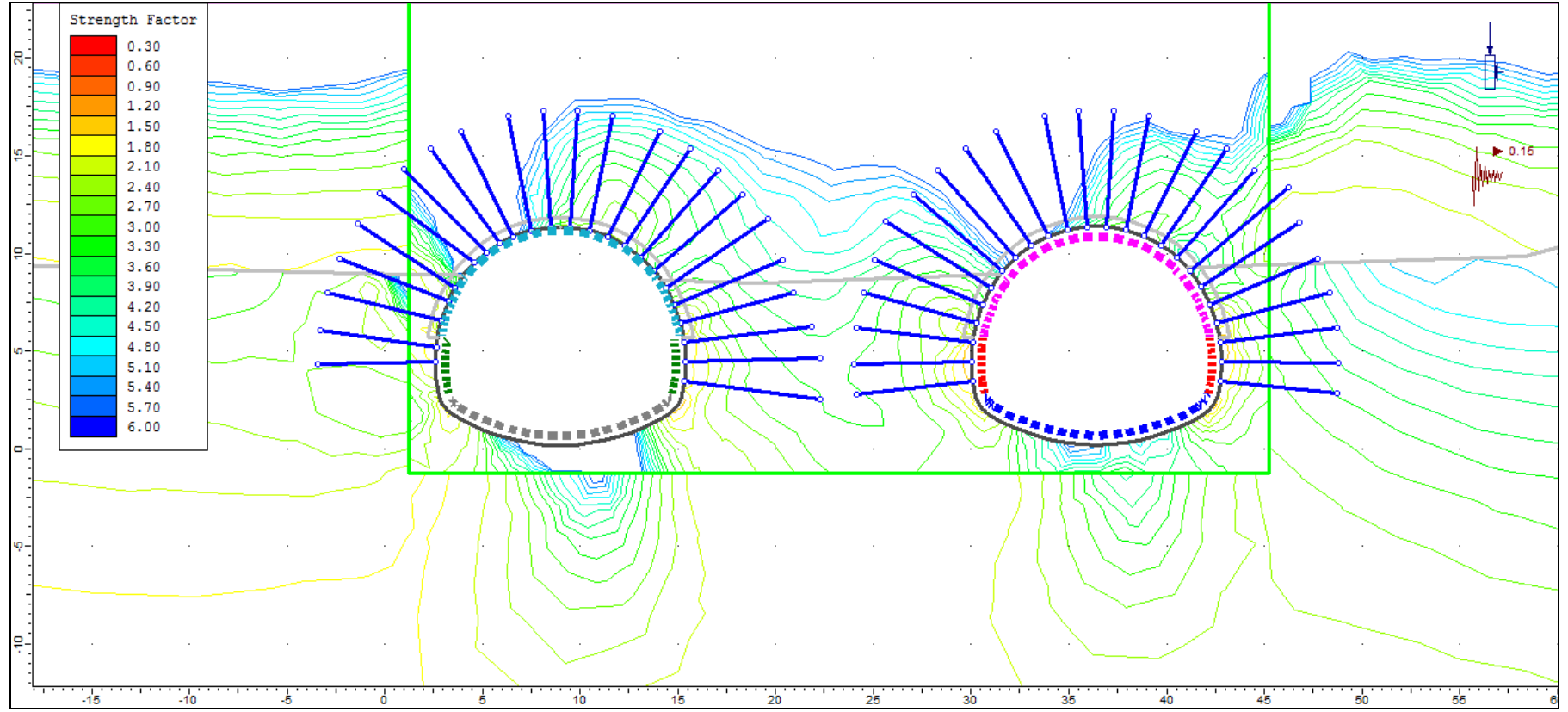
Şekil 3.12 Yatay yerdeğiştirmeler



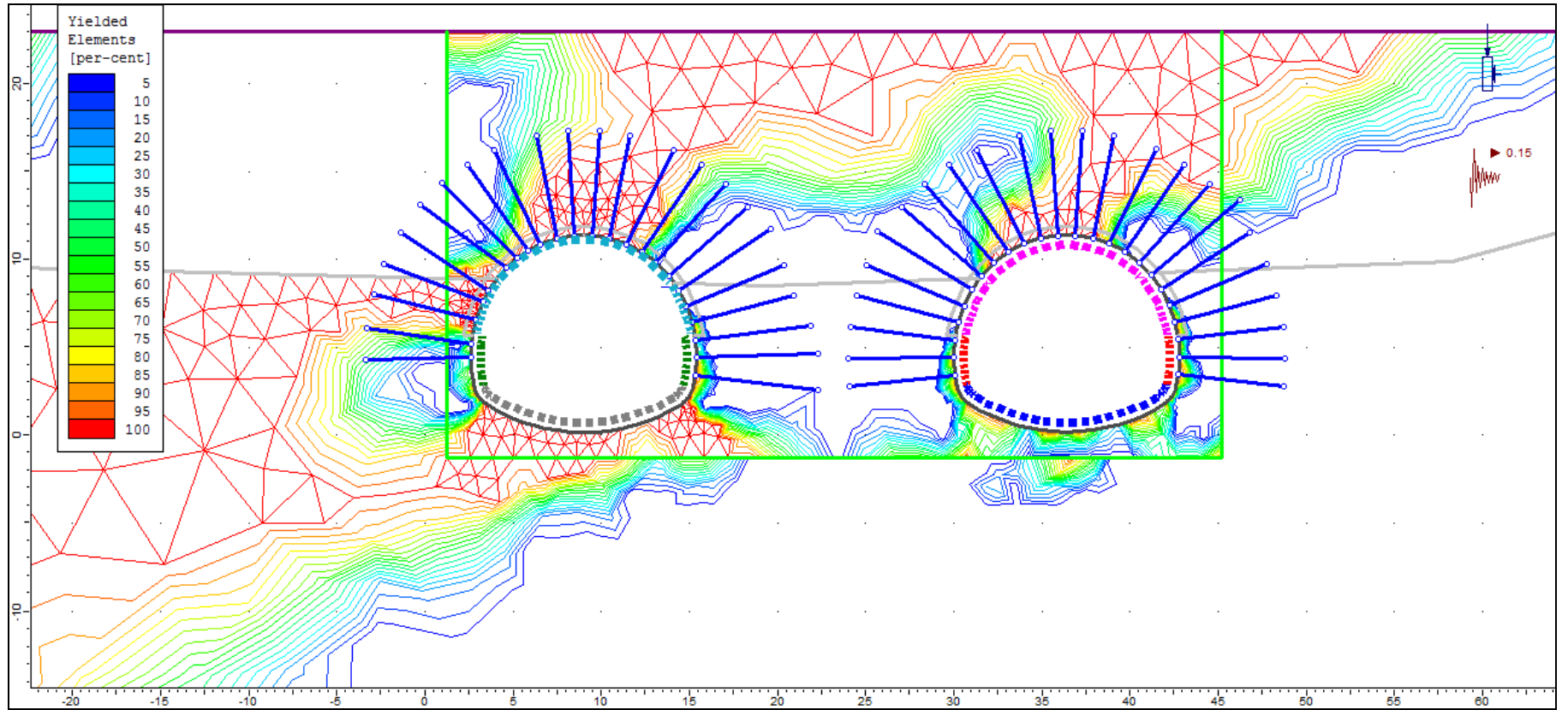
Şekil 3.13 Düşey yerdeğiştirmeler



Şekil 3.14 Toplam yerdeğiştirme



Şekil 3.15 Dayanım faktörü



Şekil 3.16 Yenilen elemanlar

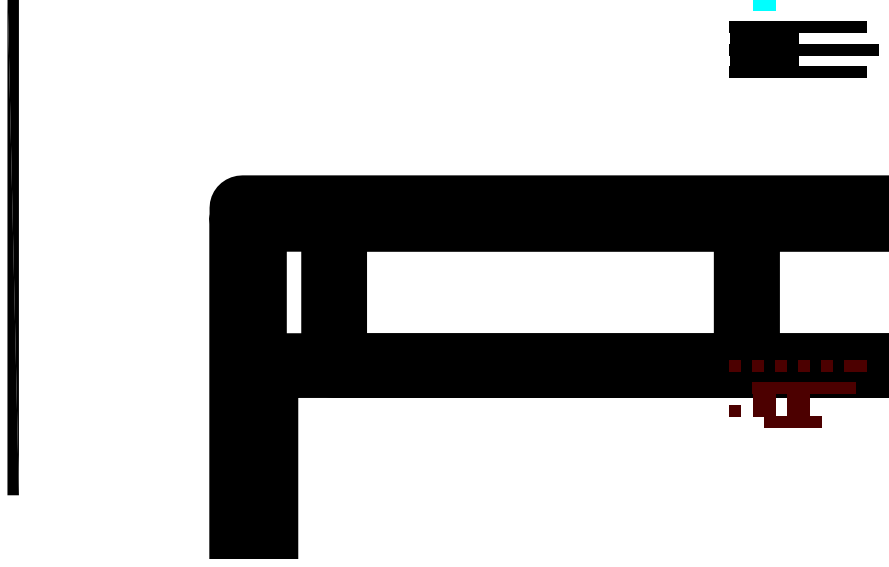
3.4 Yapılan Analiz Sonrası Önerilen Uygulamalar

Kayma düzlemleri tünel üst yarısının ortasından geçecek Şekilde tünelin delme tünel şeklinde kazılmasını engellemektedir. Kazılan her round aynada göçüğe dönüşmektedir ve göçük yüzeyde baca oluşturmaktadır.

Tünel portalındaki kaymalardan dolayı oluşan yüzey heyelanı haritalanmıştır. Heyelan sınırları km 37+280'lere kadar uzanmaktadır. Heyelan bölgesinde örtü yüksekliği eksende yaklaşık 12 m dir.

Sol taraftan tünel eksenine verev olarak gelişen heyelanın stabilitesi ve tünelin daha hızlı ve güvenli açılması için aşağıdaki zemin iyileştirme işlemini yapılacaktır.

- Tünelin mevcut kazı portalından itibaren yaklaşık 110 m içeriye doğru Jet - Grout iyileştirmesi yapılacaktır.
- Jet - Grout kolonları sol taraftan gelen heyelanın önüne kesme mukavemeti artırılmış bir heyelan topuğu oluşturmak ve tünel üzerinde kemerlenme yeteneği olmayan gevşemiş zeminin mukavemetini arttırmak için yapılacaktır.
- Şekil 3.17 'de Jet - Grout sol tüp dışında 1m x 1m paterninde diğer kesimlerde ise 1.5m x 1.5 paterninde yapılacak ve minimum 80 cm çapında olacaktır. Bu patern yapılacak stabilite analizi ile teyid edilecektir.
- Tünel kazı civarındaki kolonlar tünel kazı sınırında bitecek Şekilde yapılacak (tünel içine uzatılmayacak) tünel kazı alanının dışında kalanlar ise invert taban kotunun 1m altına inecek Şekilde yapılacaktır.
- Jet - Grout ile istenen mukavemeti oluşturmak için Jet-2 yöntemi önerilmiştir.
- Jet - Grout için nihai basınç, mukavemet ve çimento alımına test grout kolonları sonucu karar verilecektir.
- Jet - Grout işleminin tümünün tamamlanmasından sonra tünel kazısına başlanacaktır.
- Jet - Grout işlemine tünel portalından itibaren başlanacaktır.
- Jet - Grout bitiminden en az 24 saat geçmeden 2 çap çevresinde delgi yapılmayacak, imalatı atlamalı olarak sürdürülecektir.



Şekil 3.17 Jet - Grout yerleşim planı

3.5 Karahan Tüneli Yer değiştirme Vektörlerinin Yorumlanması

Giriş ve çıkış tünellerinde sistematik olarak alınan tünel içi deformasyon ölçümleri sonucu giriş tünellerinde dikkat çekici bir deformasyona rastlanmazken çıkış tünellerinde aktif heyelanın etkisiyle deformasyonlar belirgin şekilde gözükmeğdir.

Sağ tüp deformasyon ölçüm değerleri incelendiğinde;

A noktasındaki en belirgin deformasyon 01.08.2010 tarihinde km 37+440,00

Y 59mm X 6mm Z -22mm olarak ölçülmüştür.

B noktasındaki en belirgin deformasyon 26.07.2010 tarihinde km 37+440,00

Y 26mm X 36mm Z -36mm olarak ölçülmüştür.

C noktasındaki en belirgin deformasyon 26.07.2010 tarihinde km 37+485,00

Y 17mm X 56mm Z 6mm olarak ölçülmüştür.

D noktasındaki en belirgin deformasyon 26.07.2010 tarihinde km 37+470,00

Y 27mm X 60mm Z 6mm olarak ölçülmüştür.

E noktasındaki en belirgin deformasyon 16.08.2010 tarihinde km 37+485,00

Y-17 X 44mm Z 10mm olarak ölçülmüştür.

Sol tüp deformasyon ölçüm değerleri incelendiğinde;

A noktasındaki en belirgin deformasyon 16.10.2010 tarihinde km 37+500,00

Y -34mm X 37mm Z 1mm olarak ölçülmüştür.

B noktasındaki en belirgin deformasyon 21.09.2010 tarihinde km 37+485,00 Y -66mm

X 7mm Z -4mm olarak ölçülmüştür.

C noktasındaki en belirgin deformasyon 22.07.2010 tarihinde km 37+500,00

Y -51mm X 17mm Z 2mm olarak ölçülmüştür.

D noktasındaki en belirgin deformasyon 16.07.2010 tarihinde 37+456,00

Y-41 X 30mm Z 4mm olarak ölçülmüştür.

E noktasındaki en belirgin deformasyon 20.07.2010 tarihinde km 37+470,00

Y63 X 44mm Z -11mm olarak ölçülmüştür.

3.6 Karahan Tüneli İnklinometre Ölçümlerinin Yorumlanması

İnklinometre ölçümleri 4 ayrı noktadan 2 ay süresince haftalık olarak alınmıştır daha sonra Jet - Grout çalışmasının tamamlanması ile ayda bir ölçüm alınarak devam

edilmiştir. En büyük deformasyonun Ek-C.2’de olduğu gibi 1 noktasında a yönlü deformasyonun yanında belirgin bir b yönlü deformasyonda ölçülmüştür.

1 noktasında a yönünde deformasyon 5 aylık süreçte 12 metrede maksimum seviyededir ve 80 mm uzunluğa ulaşmıştır. Deformasyonlar ritmik olarak devam etmektedir. Jet - Grout çalışmasında sonra ortalama aylık deformasyon 40 mm den 10 mm seviyense gerilemiştir. 05.11.2010 13:32 tarihli ölçümde yüzeydeki ölçülen deformasyonda belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu artışlara mevsimsel yağışın sebep olduğu düşünülmektedir.

1 noktasında b yönünde deformasyon 0-30 metre arası dağılmıştır. 4 ve 11 metrede maksimum deformasyon seviyeleridir ve 4 metrede 22 mm, 11 metrede 18 mm uzunluğa ulaşmıştır. Deformasyonlar ritmik olarak devam etmektedir. Jet - Grout çalışmasında sonra ortalama aylık deformasyon 6 mm den 2 mm seviyense gerilemiştir.

1 noktasında a yönünde ölçülen deformasyonlar

Çizelge 3.2 1 noktasında a yönünde ölçülen deformasyonlar

Tarih	Deformasyon Miktarı
11.02.2011	6 mm
11.01.2011	4 mm
11.12.2010	2 mm
11.11.2010	9 mm
05.11.2010	10 mm
28.10.2010	2 mm
21.10.2010	8 mm
14.10.2010	21 mm
07.10.2010	13 mm
30.09.2010	7 mm

1 noktasında b yönünde ölçülen deformasyonlar

Çizelge 3.3 1 noktasında b yönünde ölçülen deformasyonlar

Tarih	Deformasyon Miktarı
11.02.2011	6 mm
11.01.2011	1 mm
11.12.2010	2 mm
11.11.2010	2 mm
05.11.2010	2 mm
28.10.2010	1 mm
21.10.2010	1 mm
14.10.2010	5 mm
07.10.2010	2 mm
30.09.2010	2 mm

2 a yönlü deformasyon 1mm üzerine çıkmamıştır.

2 b yönlü deformasyon 6 metrede maksimum seviyededir.

2 noktasında 5 aylık a yönünde süreçte ölçülen deformasyonlar 2 mm geçmemiştir.

Toplam deformasyon 9 mm kadardır. Ölçülen deformasyonlar -1 ve 2 mm arasındadır.

3a yönlü deformasyon 0-7m arası dengeli dağılım göstermiş

3b yönlü deformasyon 0-5 m arası azalarak son bulmuş

3 noktasında a yönünde süreçte ölçülen deformasyonlar;

Çizelge 3.4 3 noktasında a yönünde süreçte ölçülen deformasyonlar

Tarih	Deformasyon Miktarı
11.02.2011	1mm
11.01.2011	0mm
11.12.2010	0mm
11.11.2010	1mm
05.11.2010	0mm
28.10.2010	0mm
21.10.2010	0 mm
14.10.2010	0 mm
07.10.2010	1 mm
30.09.2010	2 mm

3 noktasında 2 mm geçmemiştir.

4a yönlü deformasyon 8. metre de son bulmuştur

4b yönlü deformasyon 16. metrede son bulmuştur

4 noktasında a yönünde süreçte ölçülen deformasyonlar -2 ve 4 mm arasındadır.

4 noktasında b yönünde süreçte ölçülen deformasyonlar -8 ve 2 mm arasındadır.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Bu tez Niğde üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü'sünde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Giriş tünellerinde yapılan tünel içi deformasyon ölçümleri yapılan kazı – destekleme çalışmalarının yeterli olduğunu göstermiştir. Tünel kazı aşamasında karşılaşılan sorunlar kazı mesafesini düşürülerek, emniyet amaçlı shootcrete atılarak, açılmalara beton dolgusu yapılarak, kazı aynasında göbek bırakarak ve sulu sistem yerine havalı deliciler kullanılarak aşılmaya çalışılmıştır.

Çıkış tünellerinde sol kesimde heyelan meydana gelmiştir. Karşılaşılan bu durumdan dolayı, tünel kazısı olumsuz etkilenmiş yaşanan problemi incelemek amacı ile arazide sondaj yapılmış ve heyelanın geometrisi çıkarılmıştır. Tünelin heyelan içerisinden geçeceği kesimin sağlamlaştırılması amacıyla zeminin Jet - Grout yapılarak kaya kütle parametrelerinin ve dayanımının artırılması, böylelikle heyelan önünce sağlam bir topuk oluşturarak kaymayı engellyeceği düşünülmüştür. Jet - Grout yapılan kesimde Jet - Grout boyları tünel invert kotunun 1 m altına inecek Şekilde 80 cm çapında 1 tüp dışında 1m x 1m paterninde diğer kesimlerde ise 1.5m x 1.5 paterninde modele yerleştirilmiştir. Yapılan analizlerde güvenlik faktörü 2.376, depremli durumda güvenlik faktörü 1.3 olarak hesaplanmıştır.

Jet - Grout başlaması ile alınmaya başlanan inklometre ölçümlerinde 1 noktasında a yönlü deformasyonun yanında belirgin bir b yönlü deformasyonda ölçülmüştür. 1 noktasının çevresinde patern 1x1 tutulmuş ve ölçümler sonunda deformasyonun durdurulduğu görülmüştür.

Jet - Grout kolonları altındaki tünel kazıları aşağıdaki sıralama ile yapılması önerilmiştir.

- kazı boyu üst yarıda maksimum 1m olacak ve daha önce projelerde gösterilen 3inç enjeksiyon boruları yerine 1.5 inç süreler yeterli olacaktır.

- toplam 40cm püskürtme beton, 2 tabaka hasır çelik, I=200 çelik iksa ve kuyuların stabil olması durumunda 6m boyunda PG bulonlar kullanılacaktır.

110 metrelik zonda tünelin delme işlemi bitince, bu kesimde kazı durdurulacak ve projede çizildiği gibi donatılı iç kaplama betonu her iki tüp içinde dökülecektir. Kaplama betonu tamamlanınca tünel kazısı kaldığı yerden C3 iksa klâsı ile devam edecektir.

Ibo bulonları yıkılan kuyularda mutlaka uygulanmalıdır. Yıkılan kuyularda PG veya SN olarak ısrar edilmesi stabilite sorunu olmayan tünellerde veya küçük hasarlarla atlatılacak sorunları beklemeden veya yetersiz uygulamadan dolayı daha büyük sorunlar olarak karşımıza çıkarmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Karahan Tüneli Çıkış Portalı Heyelan Proje Raporu Ve Çözüm Önerileri, Atac Mühendislik Müşavirlik İnşaat Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti., Ankara, Türkiye, s. 4-30., Ağustos, 2010.
- [2] Ketin, İ., Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, 20-34, 1966.
- [3] Akkuş, F. M., Darendе - Balaban Havzasındaki Litostratigrafik Birimler ve Jipsli Formasyonların Yaşı Hakkında Yeni Bilgiler, M.T.A. Dergisi, Ankara, 1971.
- [4] Tarhan, F., Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 1966.
- [5] İstanbul Metrosu 4. Levent-Ayazağa Kesimi, Depo Sahası Ve Bağlantı Hatları İnşaatı İş Raporu, 2005.
- [6] Wahlstrom, E. E., Tunneling in Rock Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, 1973.
- [7] Öztürk, H. T. ve Durmuş, A., Tünellere Toplu Bir Bakış Ve Savunma Tünellerinin Türkiye İçin Önemi, İstanbul Bülten, s. 11-17., 2008.
- [8] Karayolları Genel Müdürlüğü, Natm Uygulamalı Yer Altı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi, s. 312 - 317., 2008.
- [9] Karahan Tüneli Kesin Proje Raporu (35+904-37.00+430.00), Ataç Mühendislik Müşavirlik İnşaat Madencilik San ve Tic Ltd Şti, Ankara, Türkiye, s 4-10., Mayıs, 2010.
- [10] Aygar, E.B. ve Şimşek, O., Karahan Tüneli Portal Kesin Proje Raporu (35+904-37.00+430.00), Ataç Mühendislik Müşavirlik İnşaat Madencilik San ve Tic Ltd Şti , Ankara, Türkiye, Ekim, 2009.

- [11] Ulusay, R. ve Sönmez, H., Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri (Engineering Properties of Rock Masses), Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın No.:60, 243s., 2002.
- [12] Bieniawski, Z.T., Engineering rock mass classifications. New York: Wiley., 1989.
- [13] Nicholson, G. and Bieniawski Z. T., AA non- linear deformation modulus based on rock mass classification. Int J. Mining & Geol. Eng., vol. 8, 181-202, 1990.
- [14] Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Kayabas, A. and Nefeslioglu, H.A., Estimation of rock modulus: for intact rocks with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43 (2), 224-235, 2006.
- [15] Lambe, T.W. and R.V. Whitman, Soil Mechanics, John Wiley, New York, 1969.
- [16] Schubert, W. and Steindorfer, A., Advanced Monitoring Data Evaluation For Tunnels in Poor Rock. 8th Congress On Rock Mechanics, A.A. Balkema, Tokyo s. 1420-1424., 1995.
- [17] Schubert, W. and Steindorfer, A., 1996b., Advance Monitoring Data Evaluation in Poor Rock. In G. Barla (ed.) Proc. ISRM International Symposium EUROCK 96: Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering, s. 1041 - 1045., Torino, Italy, 1996.
- [18] Schubert, W., Steindorfer, A., and Button, A.E., Displacement Monitoring in Tunneling-an Overview. Felsbau, s. 7-15., 2002.
- [19] Schubert, W. and Steindorfer, A., Selective Displacement Monitoring During Tunnel Excavation. Felsbau, s. 93 – 97., 1996.
- [20] Rabcewicz, L., 1964, The New Austrian Tunneling Method. Water Power, s. 453-457.

- [21] Schubert, W. and Budil, A., The Importance of Longitudinal Deformation in Tunnel Excavation, Proc. 8th Int. Congress on Rock Mechanics (ISRM), Balkema, Rotterdam, s, 1411-1414., 1995,
- [22] Golser, H., and Steindorfer, A., Displacement Vector Orientations in Tunneling-What do they tell?. s. 16-21., 2000.
- [23] Özbek. A., Yeraltı Kazılarında (Tünellerde) Yer değıştirme Vektörünün İzlenmesi ve Ayna İlerisindeki Ortamların Tahmini, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 18, s. 171-181., 2005.
- [24] Yıldız, L. Jet - Grout İle Zemin Islahı (Ders notları), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003. (Yayınlanmadı)
- [25] Sağlamer, A., Zemin İyileştirme Yöntemleri - Neyi Nasıl Ne Kadar İyileştiriyoruz? (Ders notları), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon., 2006. (Yayınlanmadı)
- [26] Özcan, E., Derin Kazılarda İnklinometrik Gözlem, Sondaj Dünyası Sondaj Teknikleri Dergisi, s. 29-32., 2008.
- [27] Ertürk, E., Şevlerde hareketlerin izlenmesi için İnklinometre aletinin kullanımı ve bir örnek uygulama H.Ü. Jeoloji. Müh. Böl., Beytepe, Ankara, s. 57-62., Mayıs, 1996.

EKLER

EK - A.1

Çıkış tünelleri sondaj logları

EMERSON		EMİN ERDEM Sondaj ve Mühendislik		TEMEL SONDAJ LOGU				
Proje Adı : KARAHAN TUNELİ		Sondaj Yeri : KARAHAN TUNELİ		Derinlik (m)	Sondaj No			
Makine Tipi : Crealius		Logu Hazırlayan		30	SK-1			
Sondaj Yönt. : Rotary (Karotlu)		Y. Doç. Dr. Emin ERDEM		Derinlik (m)	Yeraltı Suyu Durumu			
Sondör : Redif Karabulut		Yük. Geo. Müh.		1	Tarih			
Bas. Tarihi : 14/04/2010 Bit. Tarihi : 17/04/2010				Saat	Açıklama			
				Koordinatlar	X Y Z			
Sondaj Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune Türü	SPT Deneyi	Kaya Özellikleri	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması
					Darbe Sayısı	RQD %		
					15 30 45 N			
1				CR				
2				DOLGU	SPT YAPILMADI			
3				CR		67	W5	
4		1	3.00	SPT	10 12 15 37	20	W5	Killi kireçtaşı (Tebeşir setliğine sahip olup, çakıllı olan kısımların arası açık kahve renkli kil ile dolu)
5		2	4.50	SPT	13 15 20 35			
6				CR		67	W5	
7		3	6.00	UD				
8		4	7.50	SPT	16 19 29 48	93	W5	
9				CR		67	W5	
10		5	9.00	SPT	18 20 24 44			
11		6	10.50	SPT	19 27 36 63	100	W5	
12				CR		93	W5	
13		7	12.00	SPT	21 35 45 70			
14				CR		97	W5	
15		8	13.50	SPT	37 50/13 R			
				CR		100	W5	
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT						Kaya Niteliği	Ayrışma	Çatlak Sıklığı (m)
İnce taneli (Kohezyonlu)		İri taneli (Kohezyonsuz)		RQD %		Derecesi (W)		
N: <2	Ç. Yumuşak	N: 0-4	Çok Gevşek	0-25	Ç. Zayıf	W1	Taze (Ayrışmamış)	
N: 2-4	Yumuşak	N: 4-10	Gevşek	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış	
N: 4-8	Orta Kati	N: 10-30	Orta Sıkı	50-75	Orta	W3	Orta Derecede Ayr.	
N: 8-15	Kati	N: 30-50	Sıkı	75-90	İyi	W4	Ayrışmış	
N: 15-30	Çok Kati	N: >50	Çok Sıkı	90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış	
N: >30	Sert							
<1	Masif	1-3	Az çatlaklı-kırıklı	10-50	Çok çatlaklı-kırıklı	>50	Parçalanmış	

EMERSON MÜ
Yrd. Doç. Dr. E.
Yük. Jeoloji M.
Nailbey Mah. Yeşil
Tel: (0424) 233 0
Harput VD: 163

EK - A.2

Çıkış tünelleri sondaj logları

 EMERSON EMİN ERDEM Sondaj ve Mühendislik										TEMEL SONDAJ LOGU					
Proje Adı : KARAHAN TUNEL Portal Heyelan Sondajları					Sondaj Yeri: Sürgü-Gölbaşı Yolu					Derinlik (m) 30	Sondaj No SK-1	Sayfa No 2			
Makine Tipi : Crealius					Logu Hazırlayan					Derinlik (m) 7	Tarih 	Saat 	Açıklama 		
Sondaj Yönt.: Rotary					Y.Doç.Dr.Emin ERDEM Yük. Jeo. Müh.					Koordinatlar X	Y	Z			
Sondör : Redif KARABULUT															
Baş Tarihi : 04/05/2010					Bitiş Tarihi: 09/05/2010										
Sondaj Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune Türü	SPT Deneyi		Kaya Özellikleri				Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması			
					Darbe Sayısı	Grafik	Karot Yüzdesi %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı					
													15	30	45
					10	20	30	40	50	60					
16	9	16.00	16.45	SPT	27	34	45	79							
17															
18				CR											
19	10	19.00	19.45	SPT	29	35	44	79							
20															
21				CR											
22	11	22.00	22.45	SPT	30	35	42	77							
23															
24				CR											
25	12	25.00	25.12	SPT	50	12		R							
26															
27															
28				CR											
29															
30															
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT										Kaya Niteliği RQD %		Ayrışma Derecesi (W)		Çatlak Sıklığı (m)	
İnce taneli (Kohezyonlu)					İri taneli (Kohezyonsuz)										
N: <2 Ç. Yumuşak					N: 0-4 Çok Gevşek					0-25 Ç. Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)		<1 Masif	
N: 2-4 Yumuşak					N: 4-10 Gevşek					25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az Masif	
N: 4-8 Orta Katı					N: 10-30 Orta Sıkı					50-75 Orta		W3 Orta Derece		3-5 Orta	
N: 8-15 Katı					N: 30-50 Sıkı					75-90 İyi		W4 Ayrışmış		5-10 Çok Ayrışmış	
N: 15-30 Çok Katı					N: >50 Çok Sıkı					90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		10-20 Çok Ayrışmış	
N: >30 Sert															

EK - A.3

Çıkış tünelleri sondaj logları

 EMERSON EMİN ERDEM Sondaj ve Mühendislik										TEMEL SONDAJ LOGU			
Proje Adı : KARAHAN TUNELİ : Portal Heyelan sondajları.					Sondaj Yeri : KARAHAN TUNELİ					Derinlik (m) 30	Sondaj No SK-2	Sayfa No 1	
Makine Tipi : Crealius					Logu Hazırlayan					Yeraltı Suyu Durumu			
Sondaj Yönt. : Rotary (Karotlu)					Y.Doç.Dr.Emin ERDEM Yük. Jeo. Müh.					Derinlik (m) 1	Tarih 	Saat 	Açıklama
Sondör : Redif Karabulut										Koordinatlar X	Y	Z	
Bas. Tarihi : 14/04/2010 Bit. Tarihi : 17/04/2010													
Sondaj Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune Türü	SPT Deneyi		Kaya Özellikleri				Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
					Darbe Sayısı	Grafik	Karot Yüzdesi %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı			
													15
1				CR					47		W5		Kireçtaşı çakıllı, kahverenkli KİL
2									53		W5		
3	1	3.00 3.45	SPT	10	13	17	30						
4				CR					63		W5		Killi kireçtaşı (Tebeşir setliğine sahip olup, çakıllı olan kısımların arası açık kahve renkli kil ile dolu)
5	2	4.50 4.95	SPT	14	16	20	36						
6				CR					93		W5		KİL (Çokaz küçük kireçtaşı çakılları içeren kahverengi kil.)
7									97		W5		
8	4	7.50 7.95	SPT	12	15	20	35						
9				CR					87		W5		Gri-yeşilimsi KİL
10	5	9.00 9.45	SPT	19	11	9	20						
11				CR					67		W5		
12									100		W5		
13	6	12.00 12.45	SPT	20	31	43	74						
14				CR					53		W5		
15				CR					80		W5		

ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT				Kaya Niteliği		Ayrışma Derecesi (W)		Çatlak Sıklığı (m)	
İnce taneli (Kohezyonlu)		İri taneli (Kohezyonsuz)		RQD %					
N: <2	Ç. Yumuşak	N: 0-4	Çok Gevşek	0-25	Ç. Zayıf	W1	Taze (Ayrışmamış)	<1	
N: 2-4	Yumuşak	N: 4-10	Gevşek	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış	1-3	
N: 4-8	Orta Katı	N: 10-30	Orta Sıkı	50-75	Orta	W3	Orta Derecede Ayr.	3-10	
N: 8-15	Katı	N: 30-50	Sıkı	75-90	İyi	W4	Ayrışmış	10-50	
N: 15-30	Çok Katı	N: >50	Çok Sıkı	90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış	>50	

EMERSON MÜHÜR
Yrd. Doç. Dr. Emin ERDEM
Yük. Jeolojik Müh.
16.04.2010
Harput

EK - A.4

Çıkış tünelleri sondaj logları

 EMERSON EMİN ERDEM Sondaj ve Mühendislik										TEMEL SONDAJ LOGU						
Proje Adı : KARAHAN TUNELİ Portaj Heyelan sondajları.					Sondaj Yeri : KARAHAN TUNELİ					Derinlik (m) 30	Sondaj No SK-3	Sayfa No 1				
Makine Tipi : Crealius					Logu Hazırlayan					Yeraltı suyu Durumu						
Sondaj Yönt. : Rotary (Karotlu)					Y.Doç.Dr.Emin ERDEM Yük. Geo. Müh.					Derinlik (m) 1	Tarih	Saat	Açıklama			
Sondör : Redif Karabulut										Koordinatlar	X	Y	Z			
Bas. Tarihi : 14/05/2010 Bit. Tarihi: 17/05/2010																
Sondaj Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune Türü	SPT Deneyi		Kaya Özellikleri				Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması				
					Darbe Sayısı	Grafik	Karot Yüzdesi %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı						
					15	30	45	N	10	20	30	40	50	60		
1				CR					80		W5					Kireçtaşı çakıllı KİL (koyu bej renkli)
2	1	1.50	1.95	SPT	7	9	11	20								
3				CR					40		W5					Kireçtaşı çakıllı KİL (kahve renkli)
4	2	3.00	3.45	SPT	10	12	15	27								
5				CR					47		W5					
6	3	4.50	4.95	SPT	13	15	22	27								
7				CR					43		W5					
8	4	6.00	6.45	SPT	27	28	28	56								
9				CR					20		W5					
10	5	7.50	7.95	SPT	20	17	30	47								
11				CR					47		W5					Kireçtaşı çakılları (çakıllar arası bej renkli kil dolgulu)
12	6	9.00	9.13	SPT	13	50		R								
13				CR					20		W5					
14				CR					20		W5					
15	7	12.00	12.45	SPT	14	30	31	61								
				CR					29		W5					
				CR					83		W5					Kahverenkli KİL (İçerisinde yer yer yeşil renkli kil yumruları var)

ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT				Kaya Niteliği		Ayrışma Derecesi (W)		Çatlak Sıklığı	
İnce taneli (Kohezyonlu)		İri taneli (Kohezyonsuz)		RQD %					
N: <2	Ç. Yumuşak	N: 0-4	Çok Gevşek	0-25	Ç. Zayıf	W1	Taze (Ayrışmamış)		
N: 2-4	Yumuşak	N: 4-10	Gevşek	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış		
N: 4-8	Orta Katı	N: 10-30	Orta Sıkı	50-75	Orta	W3	Orta Derece Ayrışmış		
N: 8-15	Katı	N: 30-50	Sıkı	75-90	İyi	W4	Ayrışmış		
N: 15-30	Çok Katı	N: >50	Çok Sıkı	90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış		
N: >30	Sert								

EMERSON MÜHENDİSLİK
Yük. Geo. Müh. Emin ERDEM
17/05/2010
17/05/2010

EK - A.5

Çıkış tünelleri sondaj logları

EMERSON		TEMEL SONDAJ LOGU									
EMİN ERDEM Sondaj ve Mühendislik											
Proje Adı : KARAHAN TUNELİ		Sondaj Yeri : KARAHAN TUNELİ									
Makine Tipi : Crealius		Derinlik (m) : 28.5									
Sondaj Yönt. : Rotary (Karotlu)		Sondaj No : SK-4									
Sondör : Redif Karabulut		Sayfa No : 1									
Bas. Tarihi : 14/04/2010 Bit. Tarihi : 17/04/2010		Yeraltı Suyu Durumu									
Yük. Jeo. Müh.		Derinlik (m) : 1									
		Tarih : Saat : Açıklama :									
		Koordinatlar : X : Y : Z :									
Sondaj Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune Türü	SPT Deneyi	Darbe Sayısı	Grafik	Kaya Özellikleri	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
					15 30 45 N			Karot Yüzdesi %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı
1								87	W5		
2	1	1.50	SPT	2	2	3	5				
3								73	W5		
4	2	3.00	SPT	3	4	5	9				
5								90	W5		
6	3	4.50	SPT	4	7	9	16				
7								60	W5		
8	4	6.00	SPT	6	8	12	20				
9								53	W5		
10	5	7.50	SPT	7	9	13	22				
11								87	W5		
12	6	9.00	SPT	10	13	18	31				
13								40	W5		
14								27	W5		
15	7	12.00	SPT	32	35	50	13 R				
								30	W5		
								50	W5		
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ-SPT								Kaya Niteliği		Ayrışma Derecesi (W)	
İnce taneli (Kohezyonlu)				İri taneli (Kohezyonsuz)				RQD %		Çatlak Sıklığı (m)	
N: <2	C. Yumuşak	N: 0-4	Çok Gevşek	0-25	Ç. Zayıf	W1	Taze (Ayrışmamış)	<1	Müh. Müh. ERDEM		
N: 2-4	Yumuşak	N: 4-10	Gevşek	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış	1-10	Müh. Müh. ERDEM		
N: 4-8	Orta Katı	N: 10-30	Orta Sıkı	50-75	Orta	W3	Orta Derecede Ayrışmış	10-30	Müh. Müh. ERDEM		
N: 8-15	Katı	N: 30-50	Sıkı	75-90	İyi	W4	Ayrışmış	30-50	Müh. Müh. ERDEM		
N: 15-30	Çok Katı	N: >50	Çok Sıkı	90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış	50-100	Müh. Müh. ERDEM		
N: >30	Sert								Müh. Müh. ERDEM		

EK - B.1

Q, RMR ve Önorm

	Q-NGİ	KAYA KÜTLE DERECE Sİ (RMR)	ÖNORM B2203 Ekim 1994 ve sonrası	
1000	OLAĞANÜSTÜ İYİ	100		
400	SON DERECE İYİ	94	ÇOK İYİ	A1 STABİL
100	ÇOK İYİ	83		
40	İYİ	78	İYİ	A2 SONRADAN AZ SÖKÜLEN
10	ORTA	60		
4	ZAYIF	49.8	ORTA	B1 GEVREK
1	ÇOK ZAYIF	47		B2 ÇOK GEVREK
0.1	SON DERECE ZAYIF	40.6		B3 TANELİ
0.01	OLAĞANÜSTÜ ZAYIF	26	ZAYIF	C1 DAĞ ATMA
0.001		20		C2 BASKILI
			ÇOK ZAYIF	C3 ÇOK BASKILI
				C4 AKICI
				C5 ŞİŞEN
		2.5		

Delme Tünel

Giriş Portalı - km:36+247

Giriş Portalı

Delme Tünel

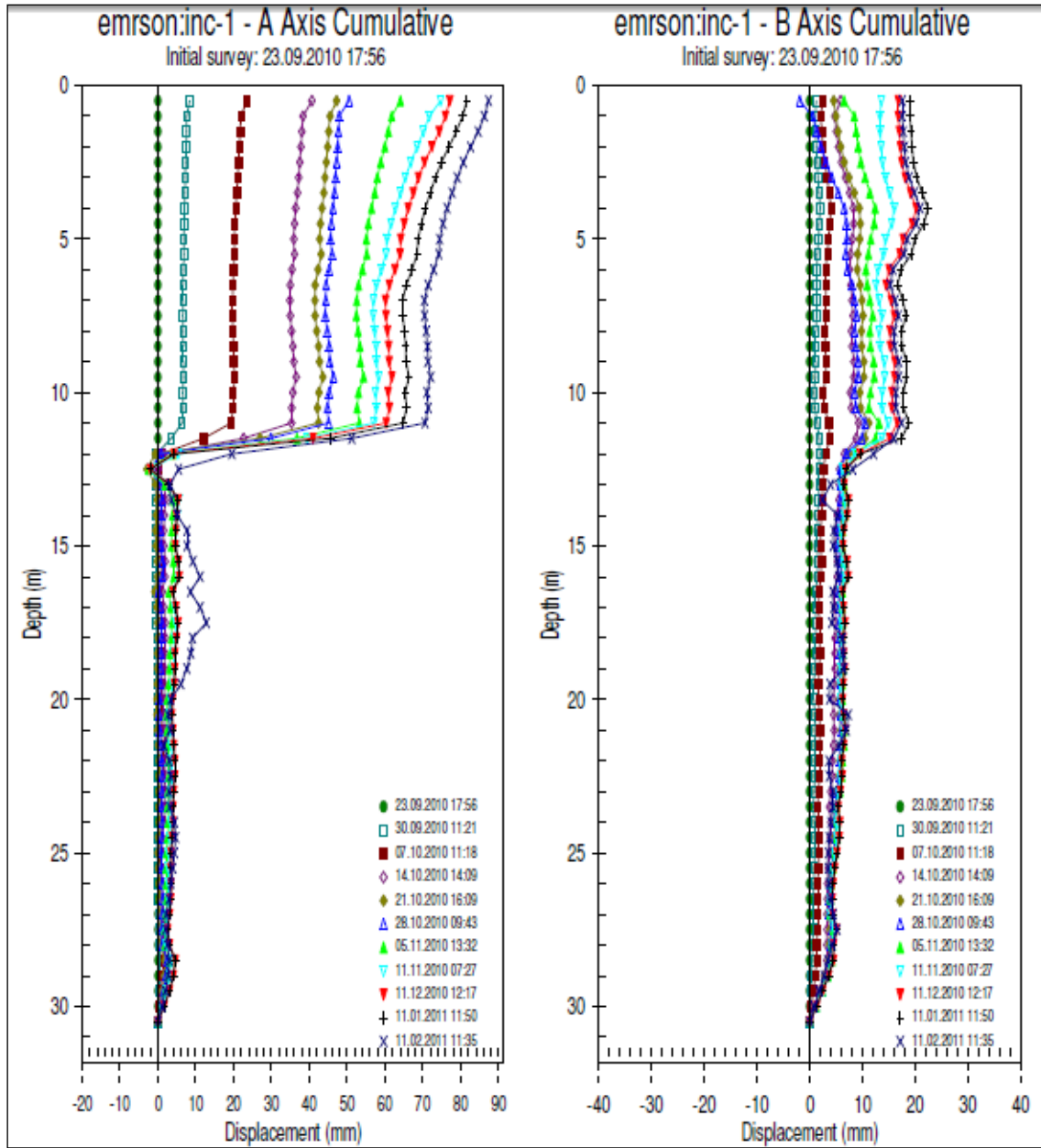
km:37+080 - km:37+220

Delme Tünel

km:36+247 - km:37+080
km:37+220 - çıkış portalı

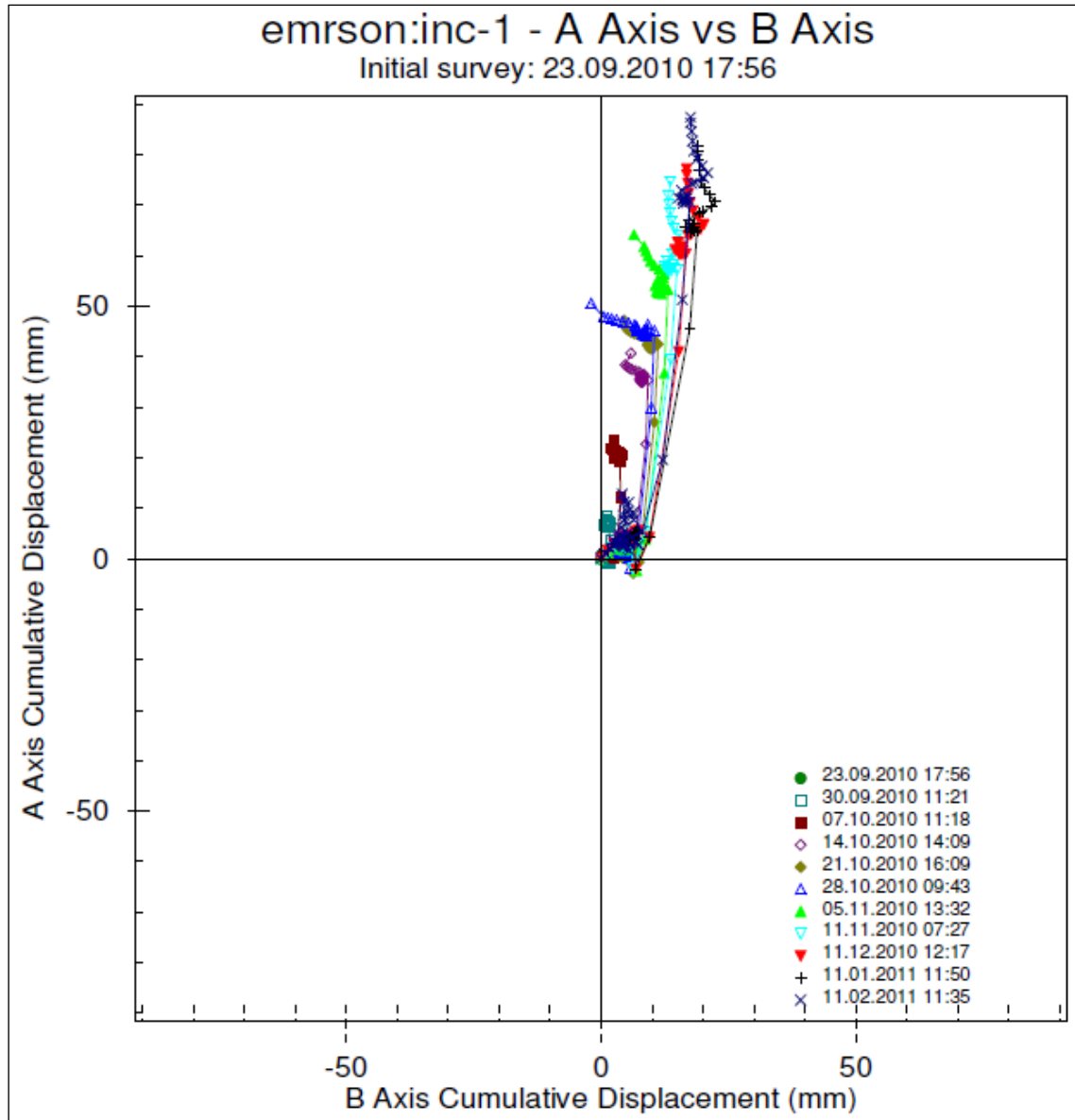
EK - C.1

Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen inklinometre deplasman grafikleri



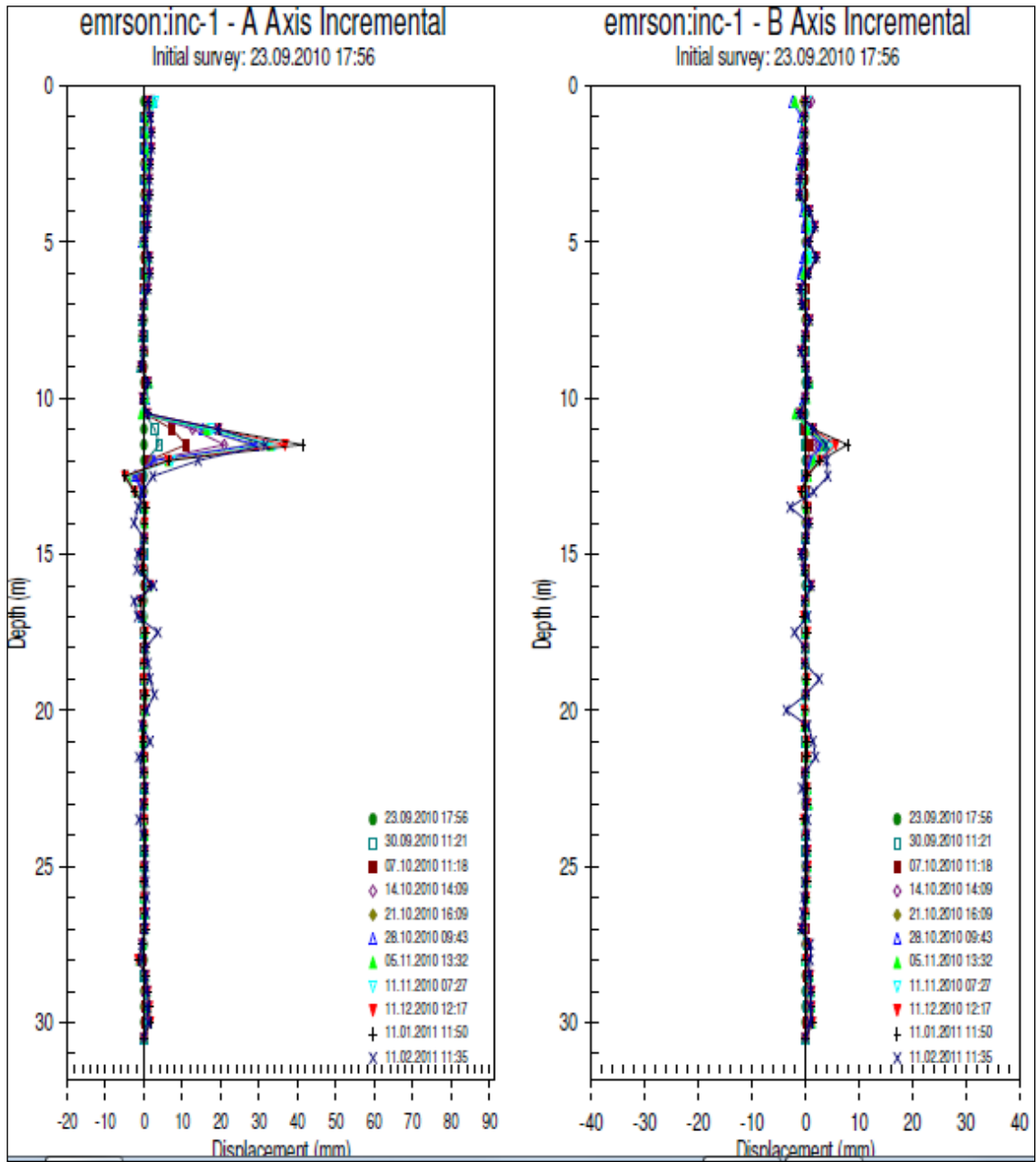
EK - C.2

Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen inkilometre deplasman grafikleri



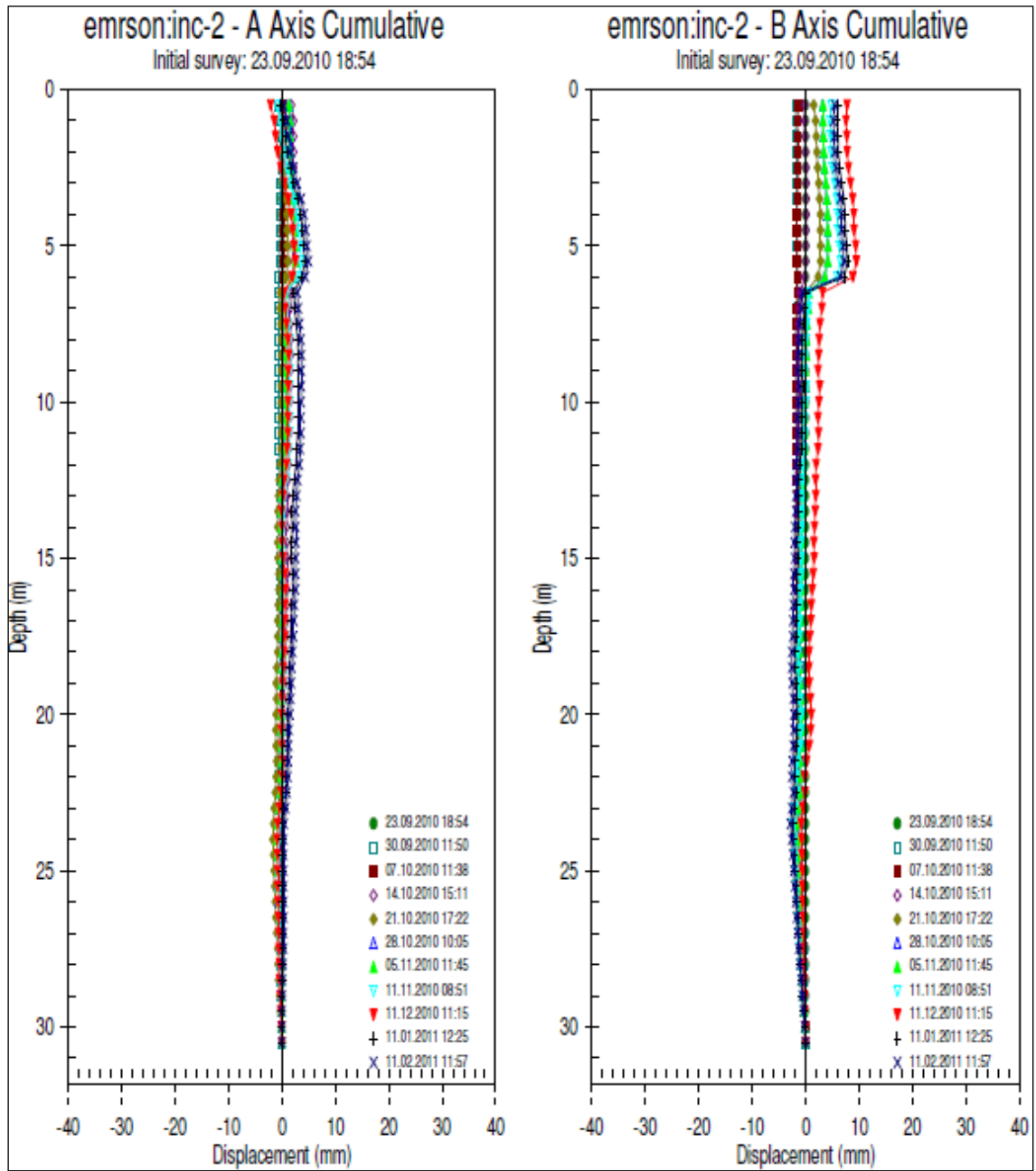
EK - C.3

Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen inkilometre deplasman grafikleri



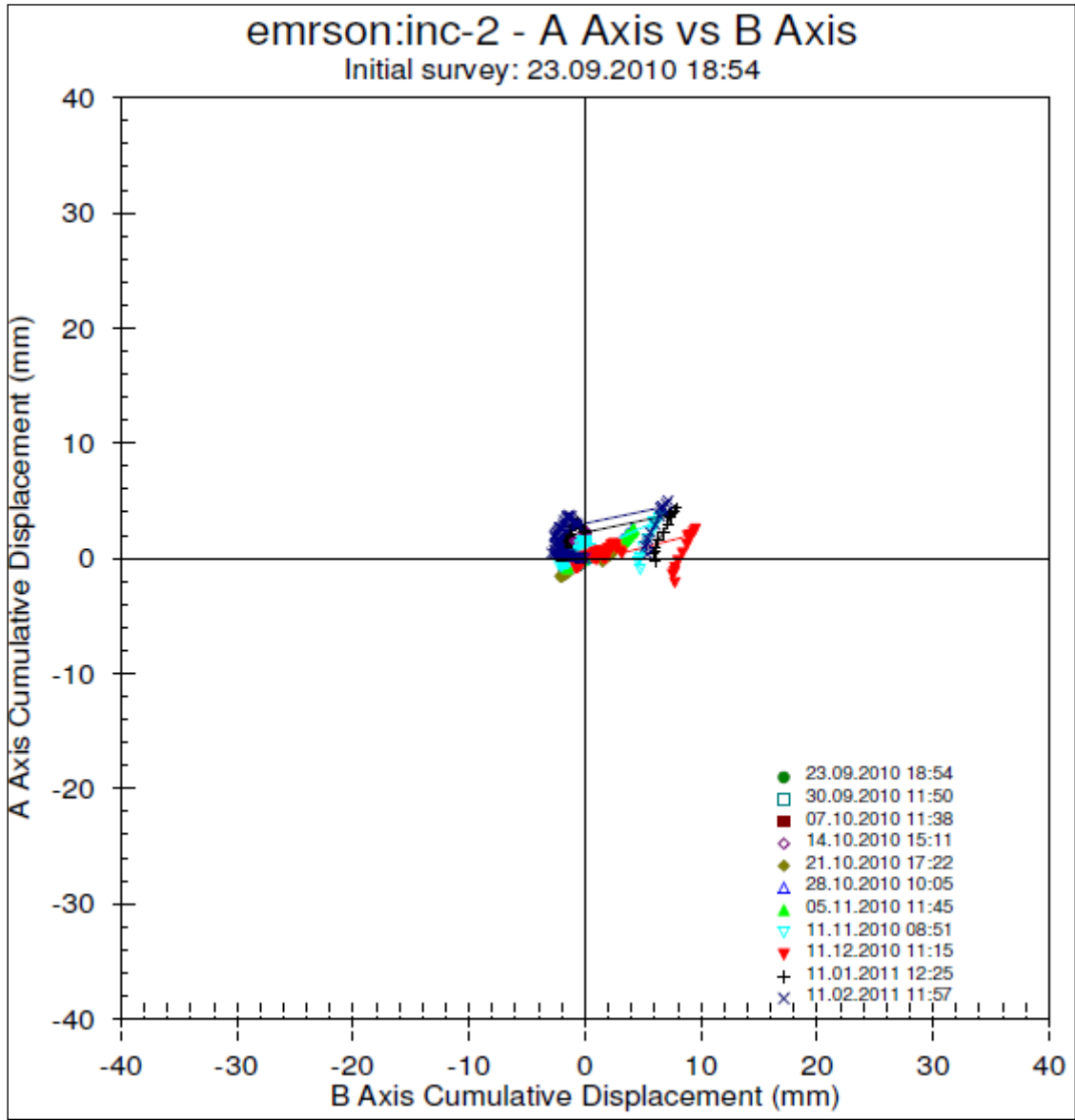
EK - C.4

Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen inkilometre deplasman grafikleri



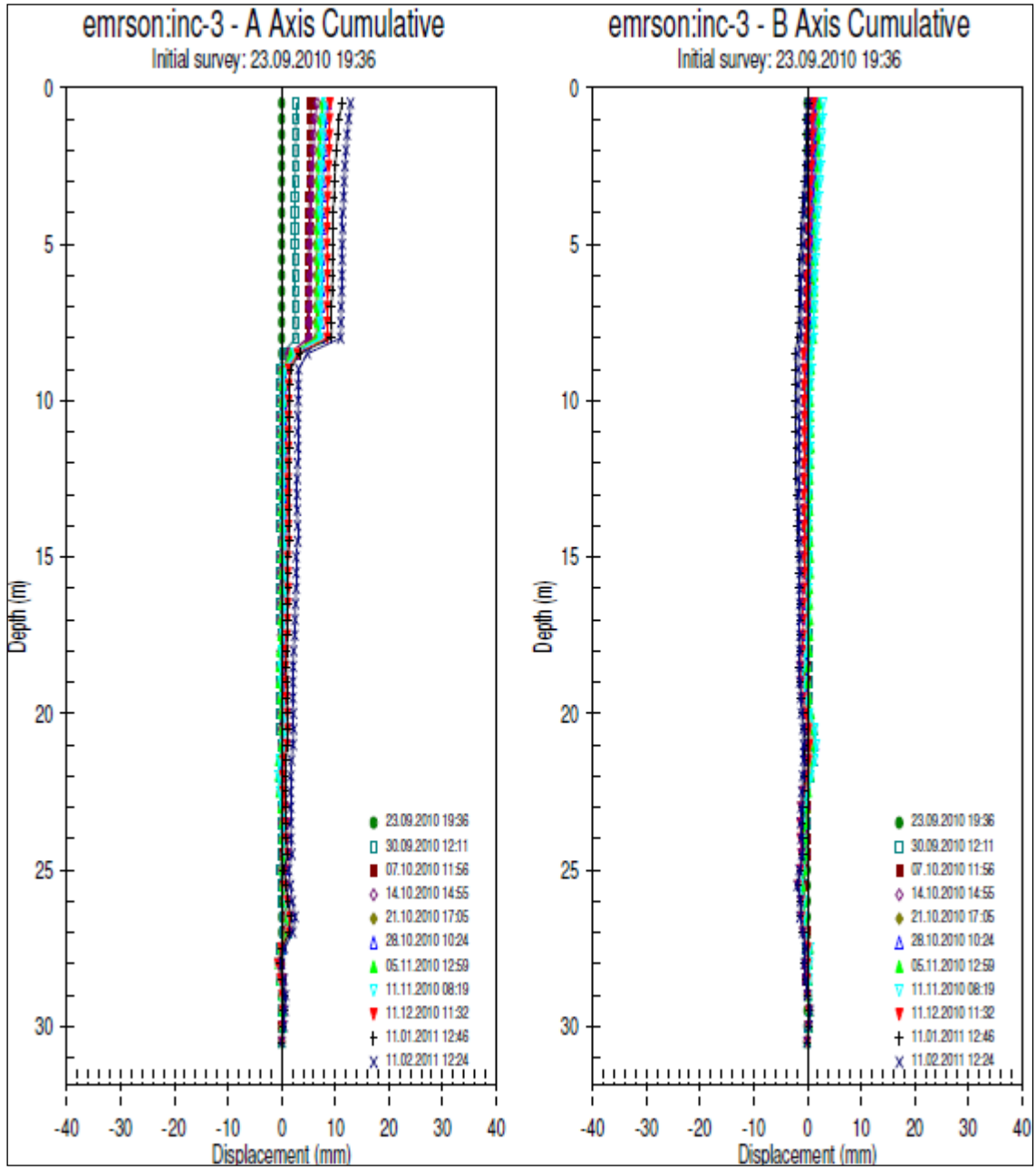
EK - C.5

Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen inkilometre deplasman grafikleri



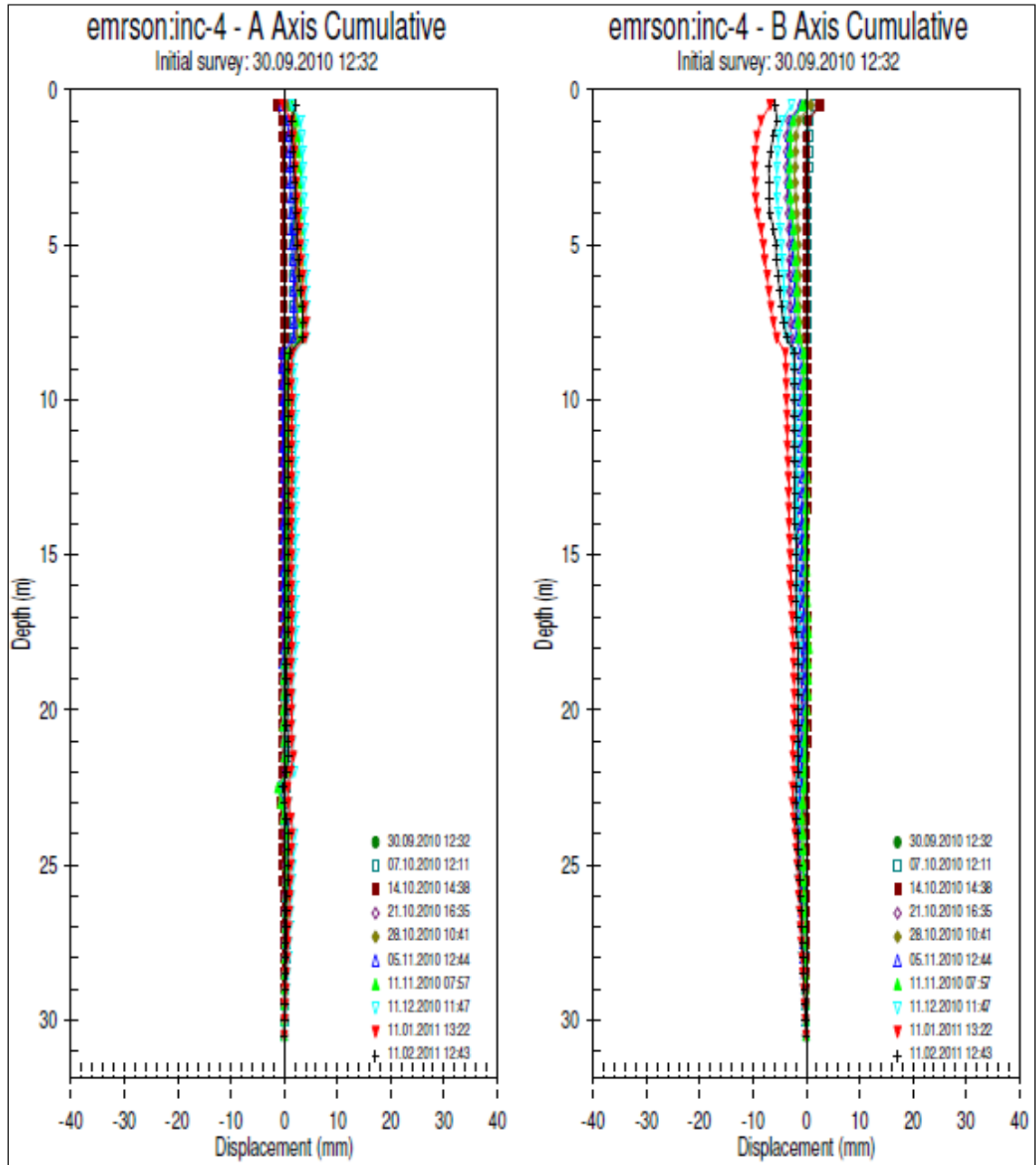
EK - C.6

Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen inklinometre deplasman grafikleri



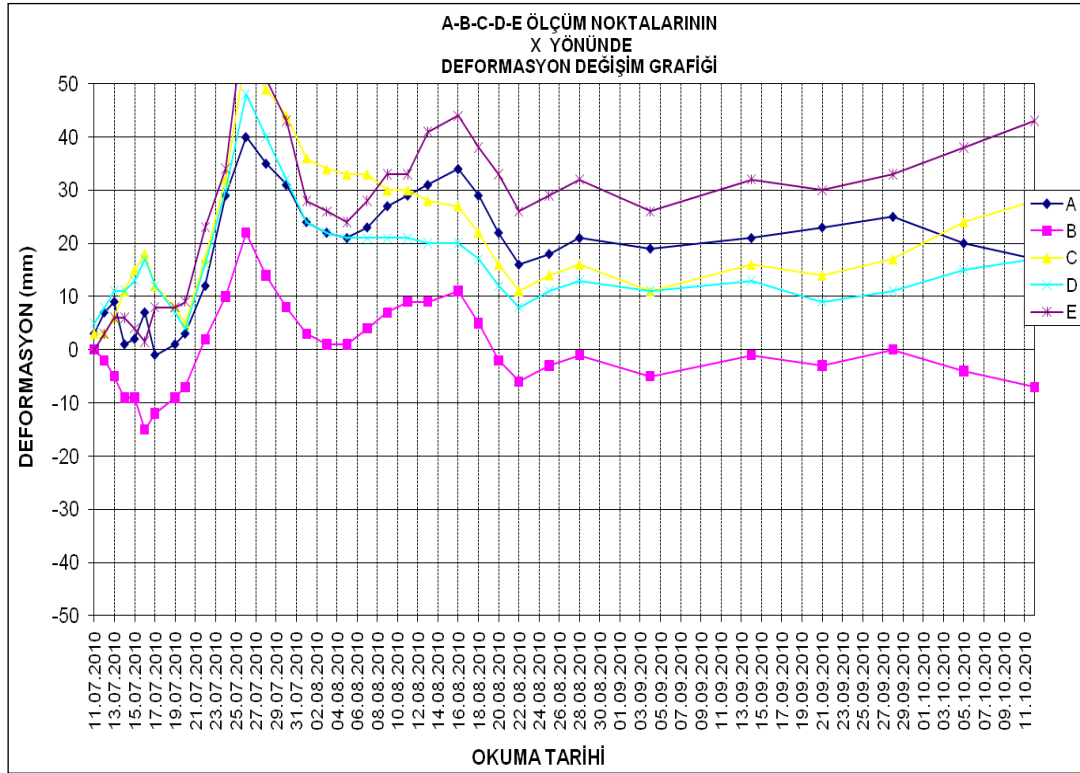
EK - C.7

Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen inkilometre deplasman grafikleri



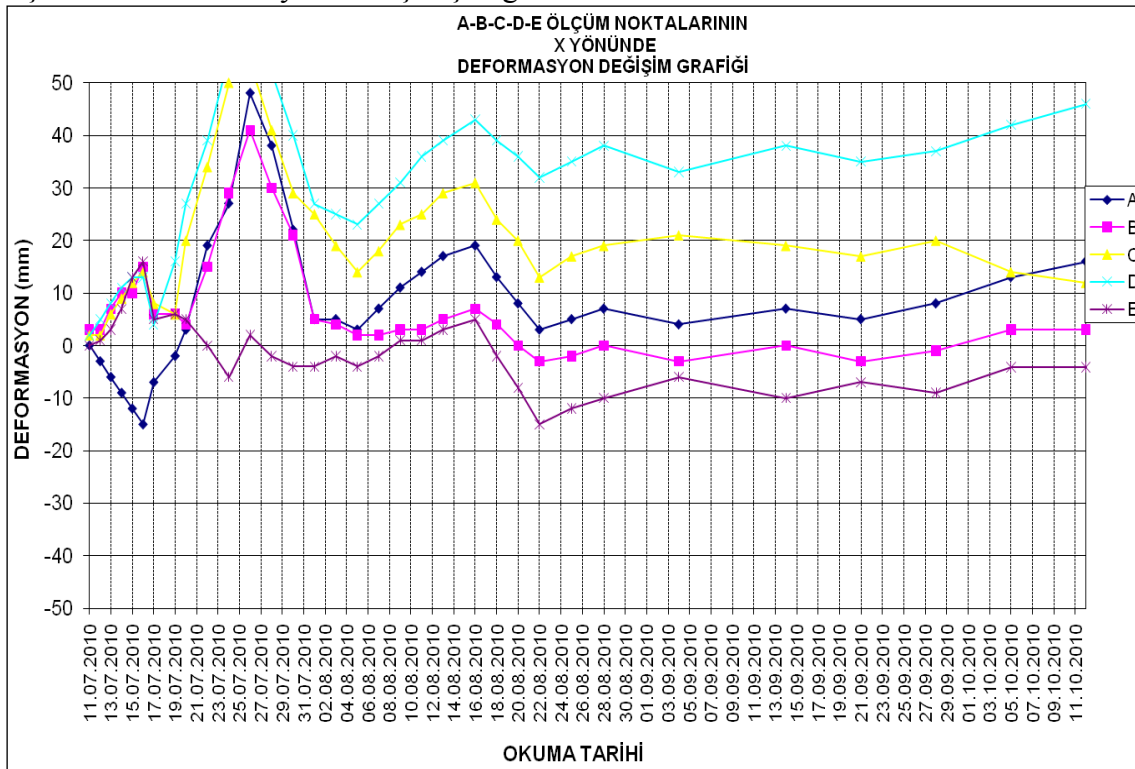
EK – D.1

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sağ Tünel 37+485.00



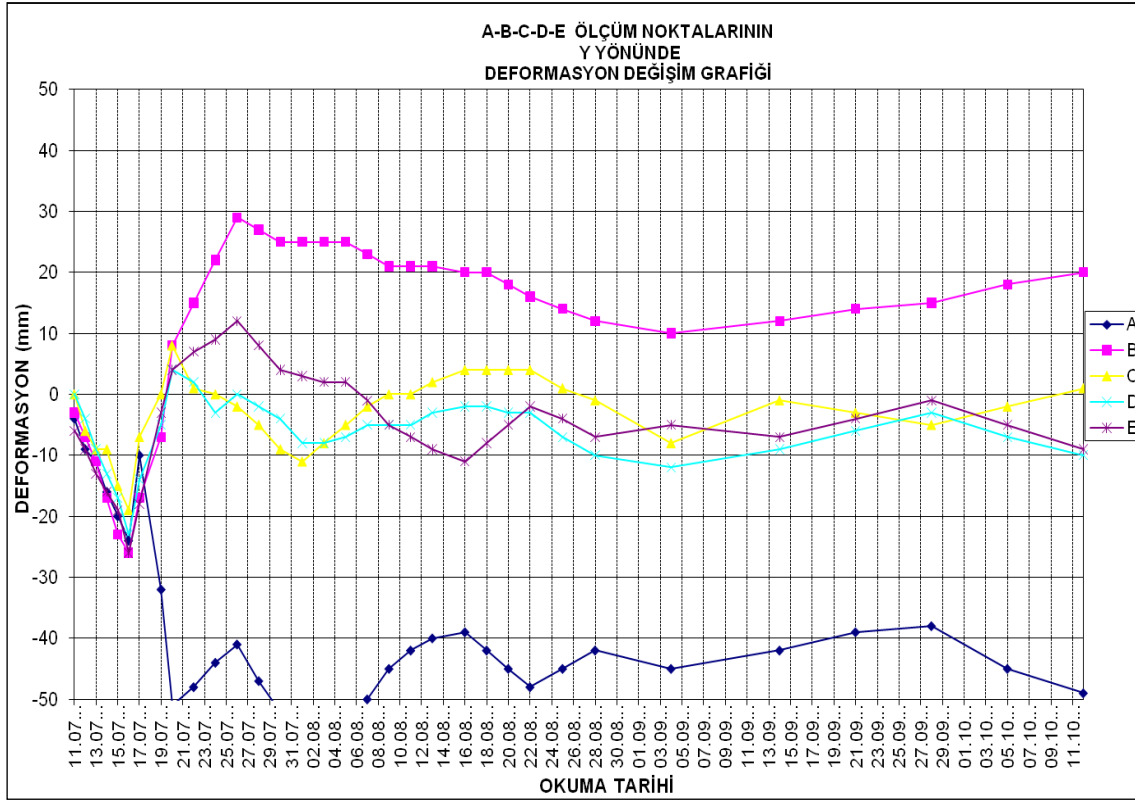
EK – D.2

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sağ Tünel 37+470.00



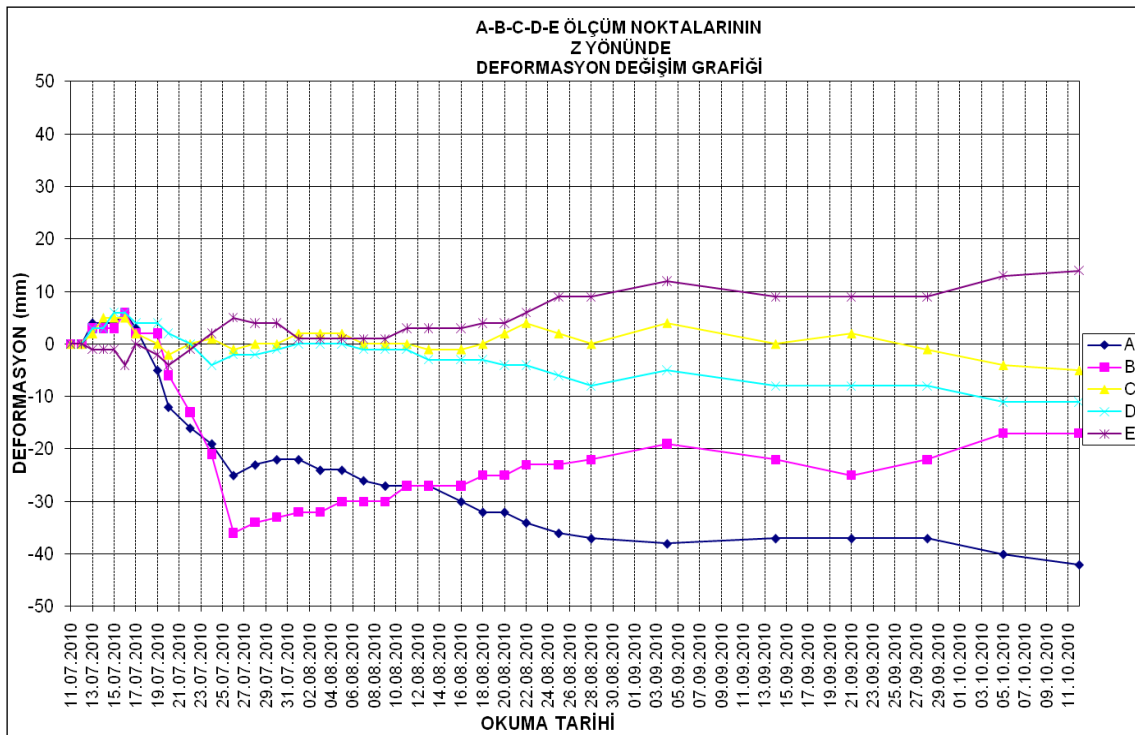
EK – D.3

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sağ Tünel 37+440.00



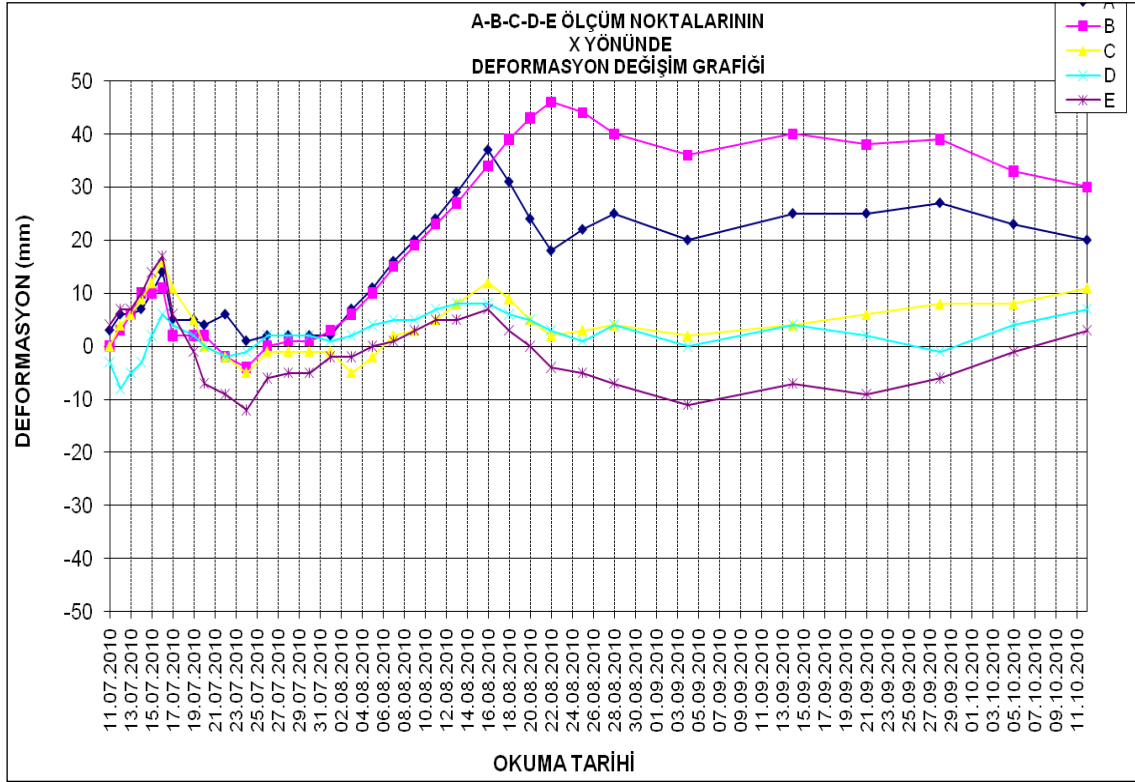
EK – D.4

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sağ Tünel 37+440.00



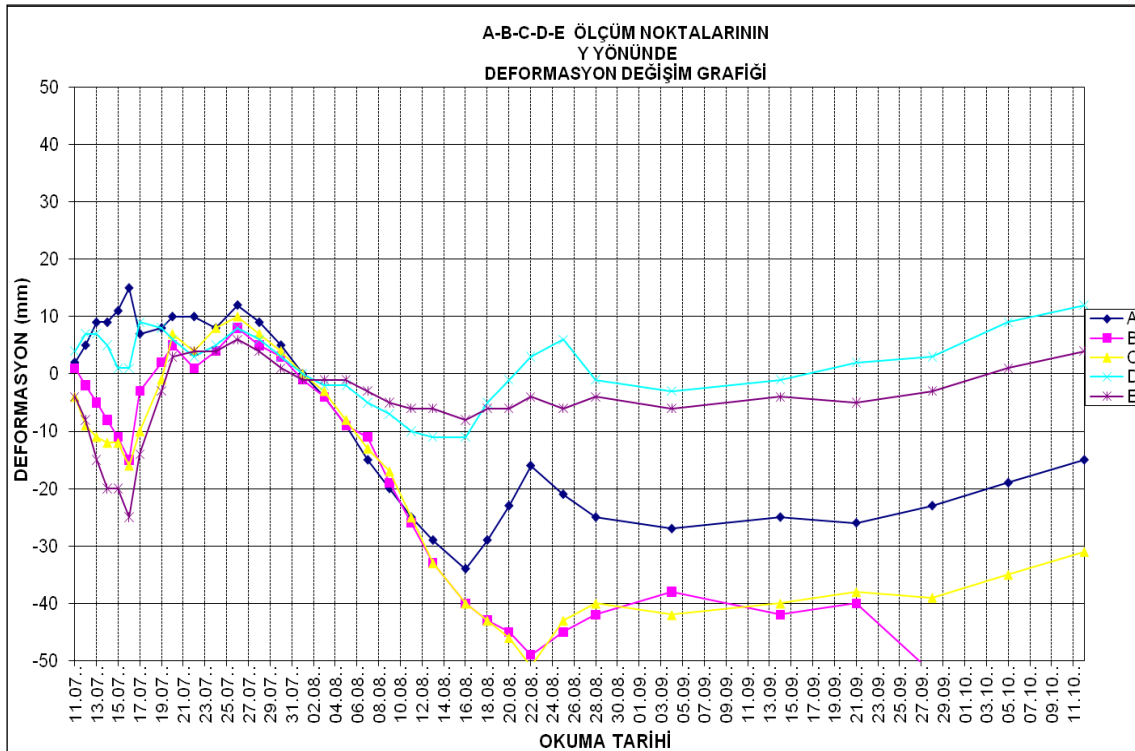
EK – D.5

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+500.00



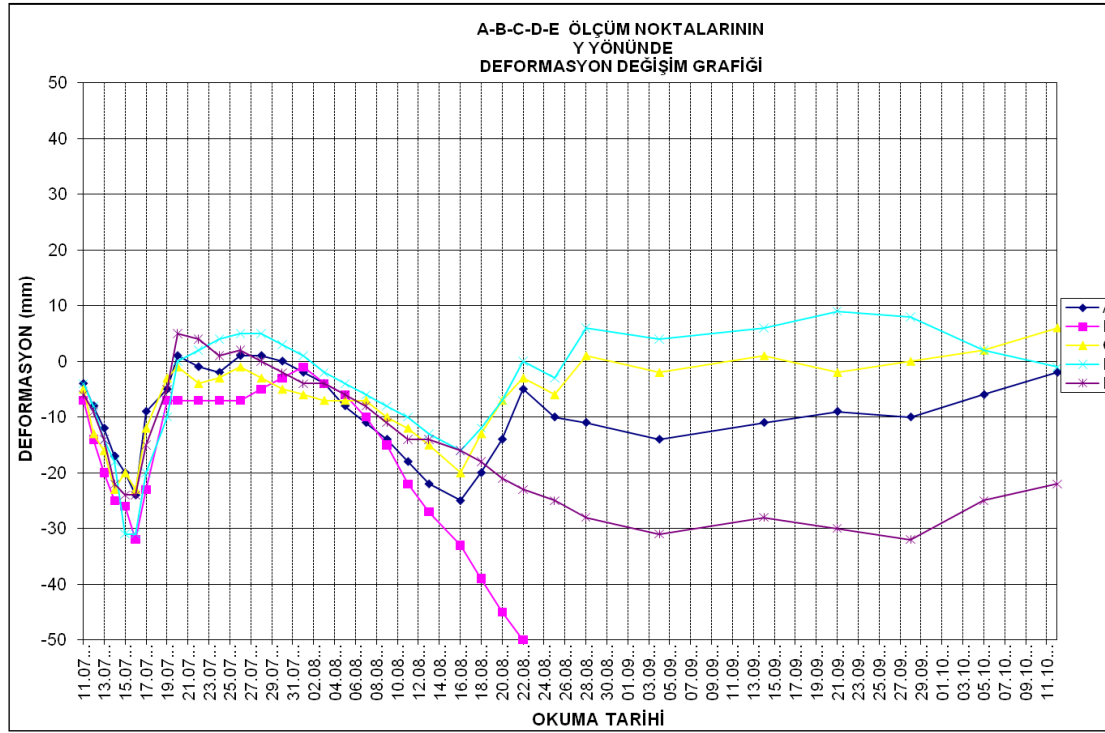
EK – D.6

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+500.00



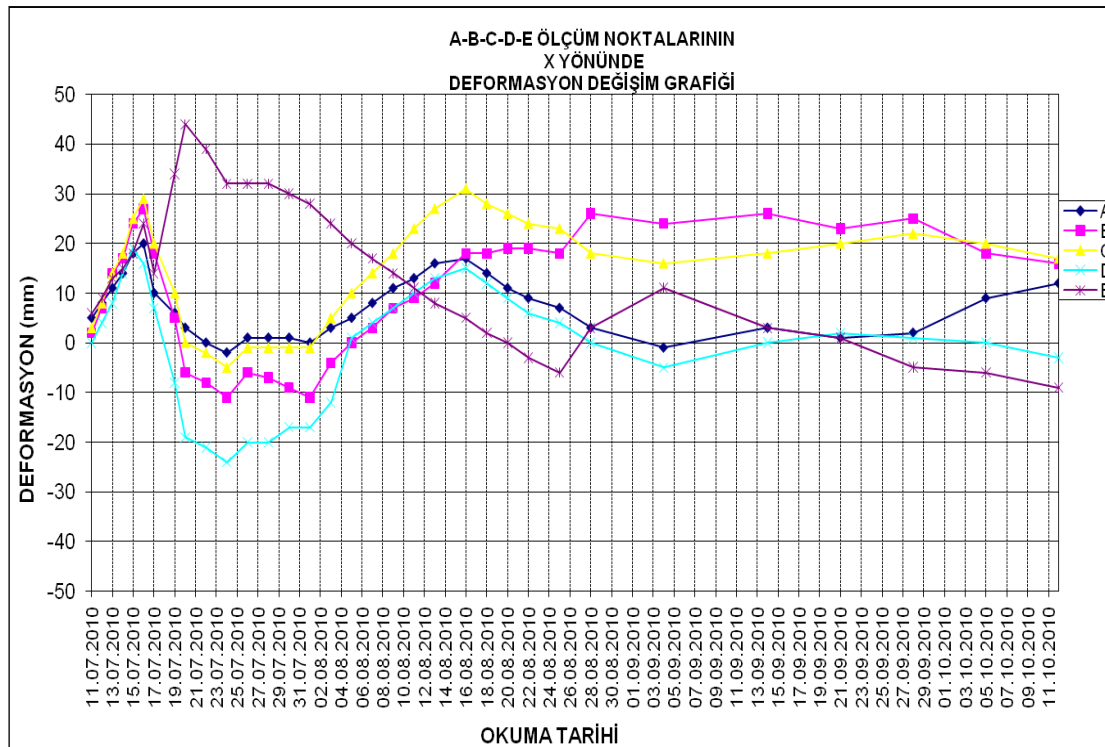
EK – D.7

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+485.00



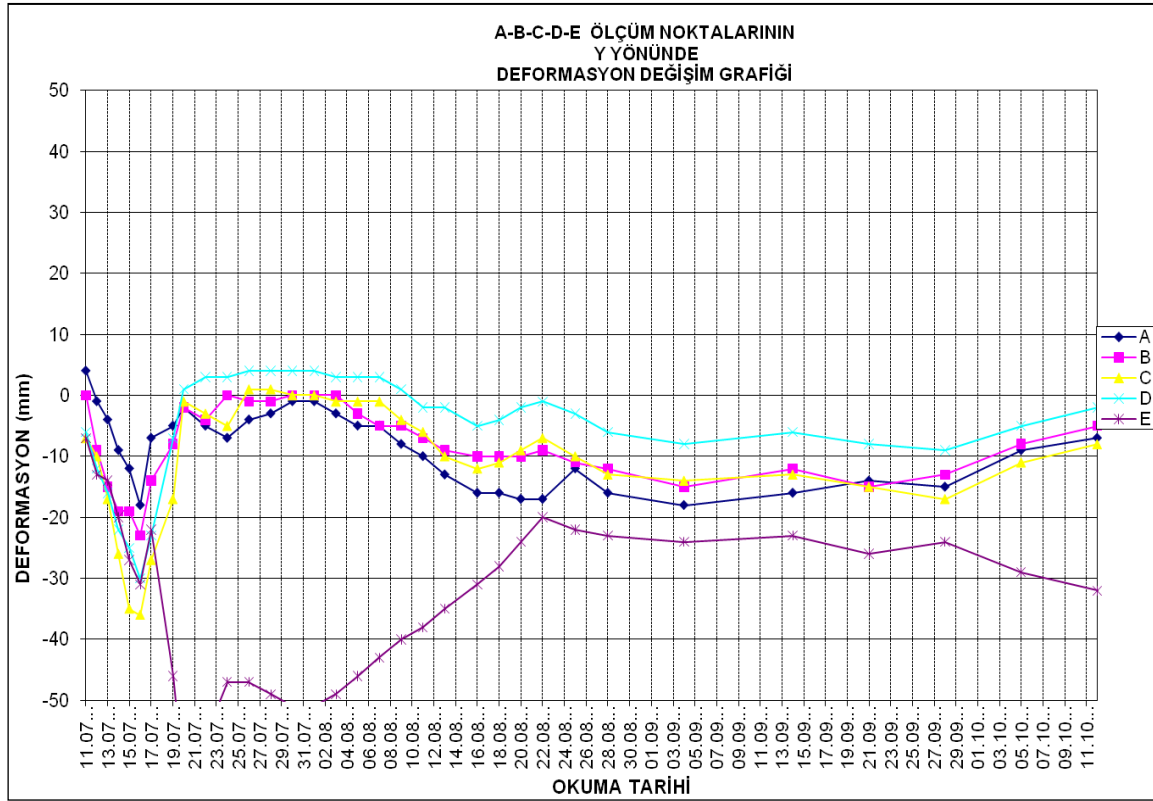
EK – D.8

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+470.00



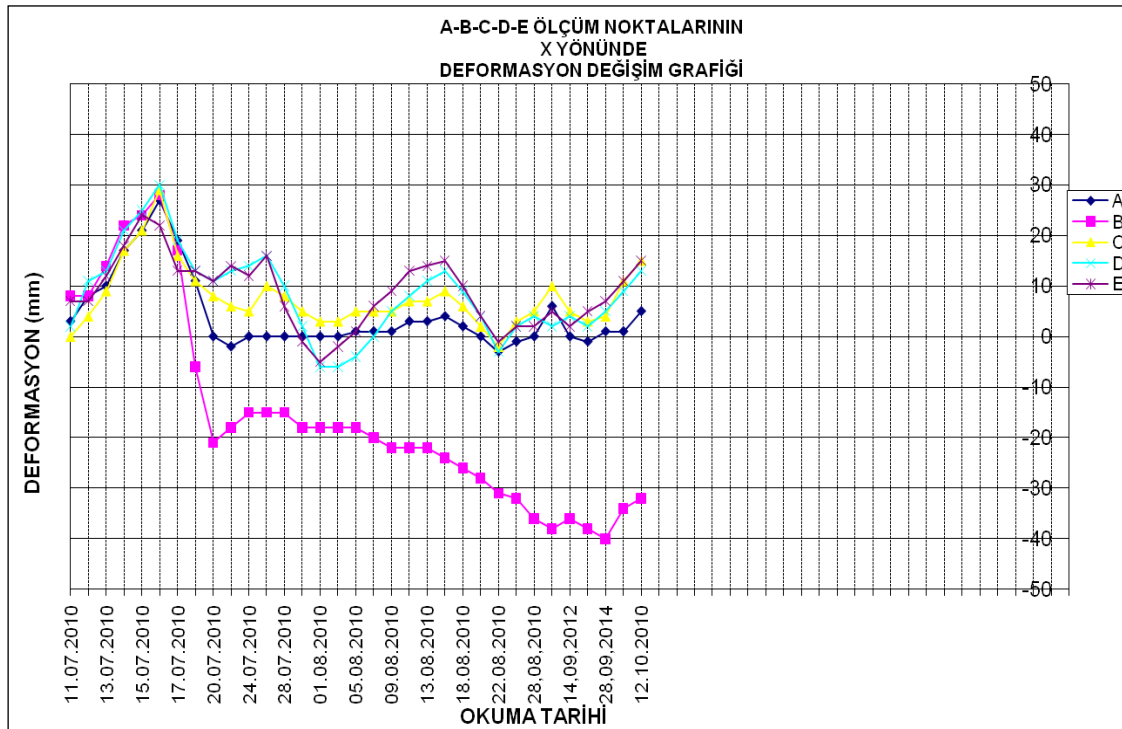
EK – D.9

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+470.00



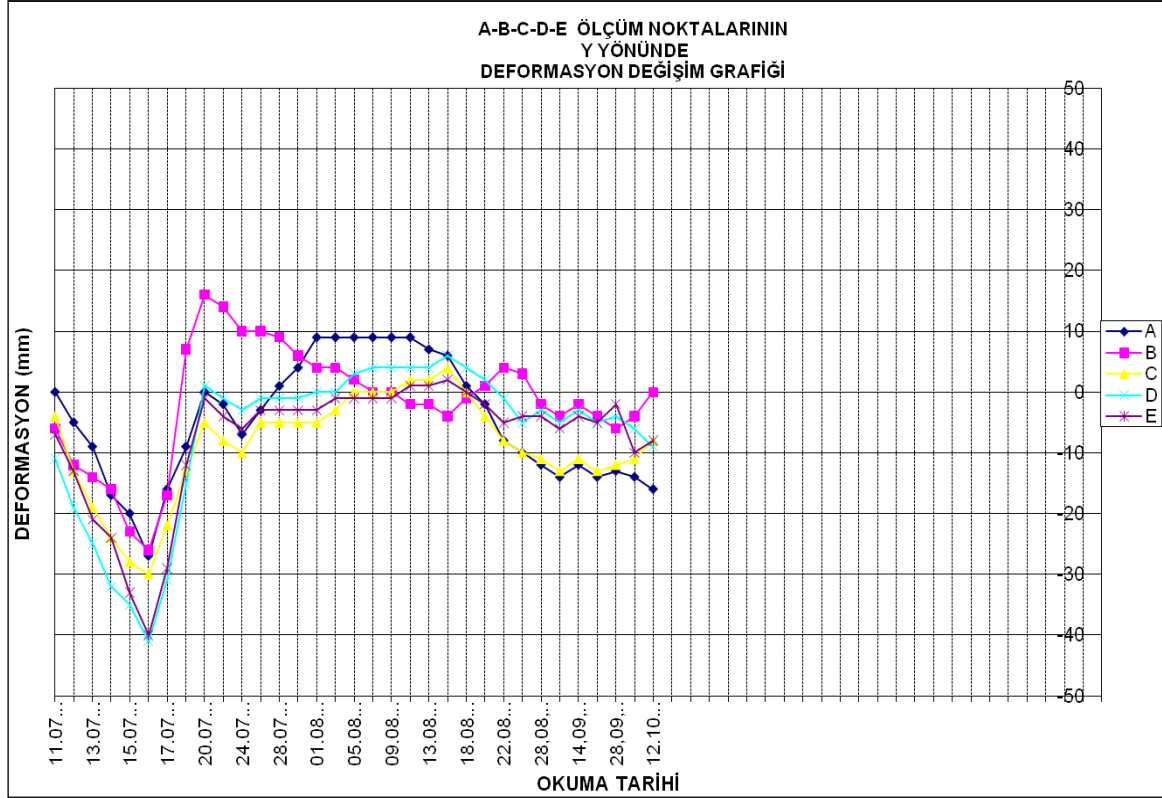
EK – D.10

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+456.00



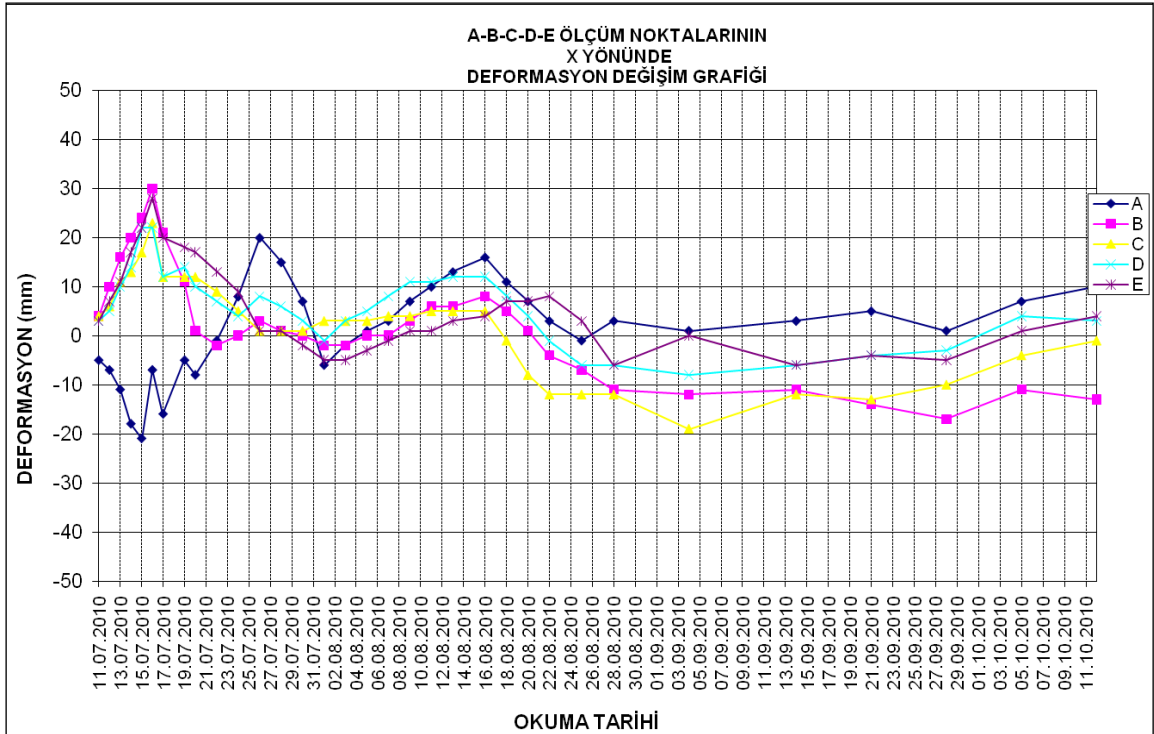
EK – D.11

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+456.00



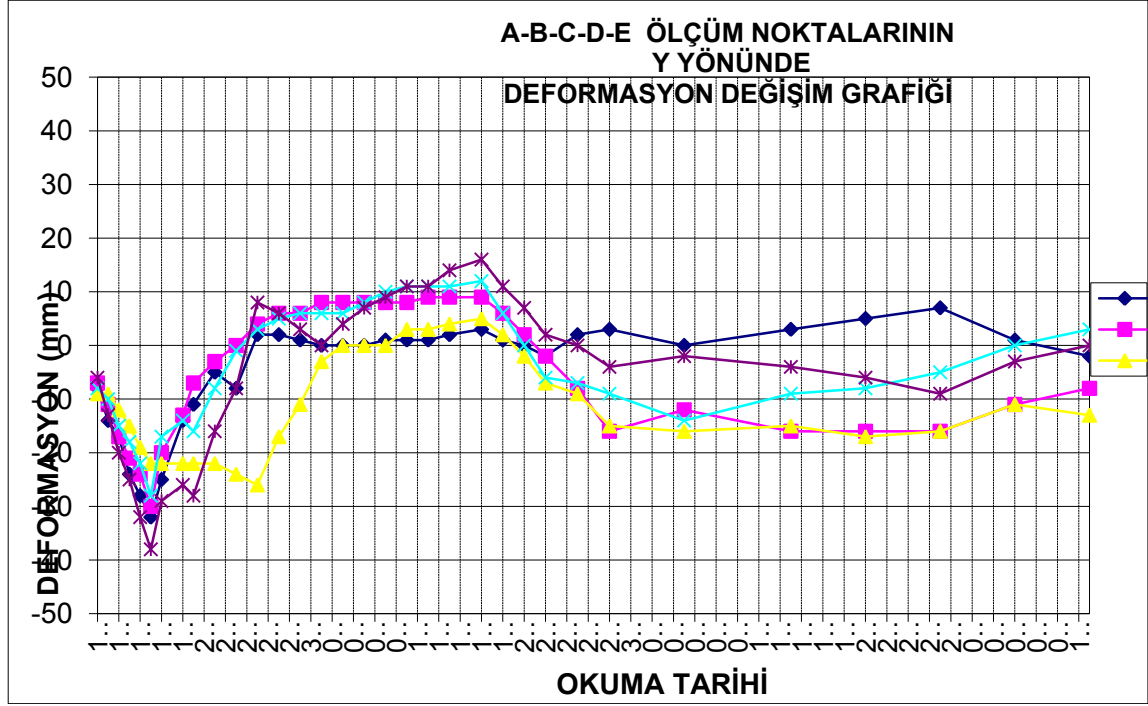
EK – D.12

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+440.00



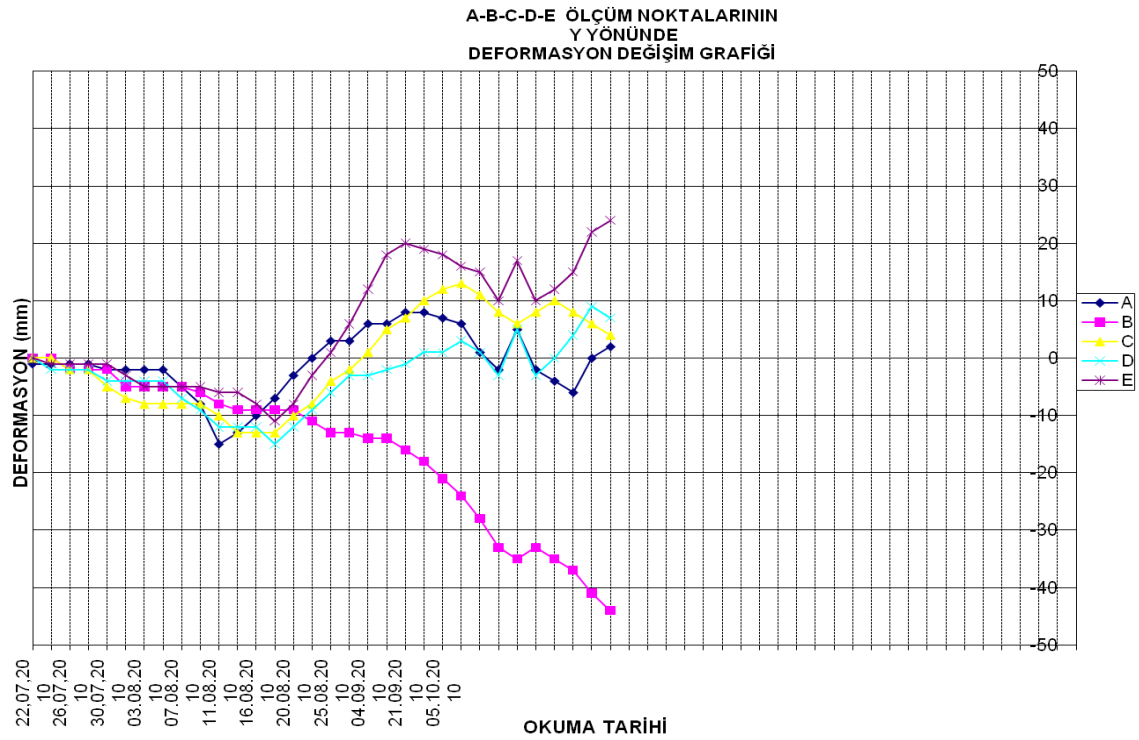
EK – D.13

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+440.00



EK – D.14

Çıkış tünelleri deformasyonları Çıkış Sol Tünel 37+425.00



EK – E.1**Karahan tüneli inşaatı Jet - Grout işleri verileri**

ZEMİN TEKNOLOJİLERİ MERKEZİ			STY İNŞAAT - KARAHAN TÜNELİ İNŞAATI JETGROUT İŞLERİ										
Sıra No	Kolon No	İmalat Tarihi	JETGROUT KOLON İMALATI										Toplam Çimento (kg)
			Delgi Boyu (m)	Boş Delgi (m)	Jetgrout Boyu (m)	Çap (cm)	Karışım (Su/Çim)	Nozzle Çapı (mm)	Basınç (Bar)	Çekme Hızı (sn/m)	Zaman		
											Başlangıç	Bitiş	
1	R1-075	01.11.10	28.19	0.00	20.00	0.89	1/1	3	450	0.6	08.30	09.00	4200
2	R1-078	01.11.10	28.05	0.00	20.00	0.89	1/1	3	450	0.6	12.00	12.32	4200
3	R1-081	01.11.10	28.09	0.00	18.00	0.89	1/1	3	450	0.6	13.35	14.04	3780
4	R1-084	01.11.10	28.09	0.00	19.00	0.89	1/1	3	450	0.6	14.20	14.49	3990
5	R1-087	01.11.10	27.99	0.00	20.00	0.89	1/1	3	450	0.6	14.54	15.25	4200
6	R1-090	01.11.10	28.03	0.00	19.00	0.89	1/1	3	450	0.6	15.30	16.00	3990
7	R1-093	01.11.10	28.03	0.00	19.50	0.89	1/1	3	450	0.6	16.05	16.34	4095
8	R1-096	01.11.10	28.12	0.00	19.50	0.89	1/1	3	450	0.6	17.30	18.00	4095
9	R1-099	01.11.10	28.16	0.00	19.00	0.89	1/1	3	450	0.6	18.20	18.50	3990
10	R1-0102	01.11.10	28.20	0.00	19.50	0.89	1/1	3	450	0.6	19.00	19.30	4095
11	R1-0105	01.11.10	27.14	0.00	19.00	0.89	1/1	3	450	0.6	19.44	20.15	3990
12	R1-0108	01.11.10	28.13	0.00	18.70	0.89	1/1	3	450	0.6	20.18	20.49	3927
13	R11-051	01.11.10	19.92	0.00	17.00	0.89	1/1	3	450	0.6	20.52	21.20	3570
14	R11-053	01.11.10	19.86	0.00	18.30	0.89	1/1	3	450	0.6	21.35	22.05	3843
15	R11-055	01.11.10	19.77	0.00	18.70	0.89	1/1	3	450	0.6	02:40	03:12	3927
Toplam Jetgrout Kolon Boyu (m)			395.76	0.00	285.20	Toplam Kullanılan Çimento(kg)						59892	

ÖZGEÇMİŞ

Ali KULELİ, 14.09.1986 tarihinde Sivas'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Atatürk İlköğretim Okulu, Altın findık İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2003 yılında Lise öğrenimini Ordu Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2009'da mezun oldu. 2009 yılından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı ve yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir. 2010'dan bu yana Karayollarına bağlı olarak inşası devam eden Karahan tüneline Jeoloji mühendisi olarak görev yapmaktadır.

