ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEKEREK (YOZGAT) TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLOJİK VE JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mevlüt Deniz SONGUR

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2019

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Mevlüt Deniz SONGUR tarafından hazırlanan **"Çekerek (Yozgat) Tünel Güzergahının Jeolojik ve Jeoteknik Özelliklerinin İncelenmesi"** adlı tez çalışması **12/12/2019** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Mustafa FENER
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Sair KAHRAMAN
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Kamil KAYABALI
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Mustafa FENER
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

12.12.2019



Mevlüt Deniz SONGUR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇEKEREK (YOZGAT) TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLOJİK VE JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mevlüt Deniz SONGUR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa FENER

Bu tez kapsamında, Yozgat il sınırlarında kalan Zile-Çekerek arasındaki mevcut yol güzergahı üzerinde standartları yüksek yeni bir yol yapılması planlanmış, yolun yüksek kurplu geçiş noktasında da güvenli ve rahat bir ulaşım sağlamak için tünelli geçiş yapılması planlanmıştır. Bu hususta proje kapsamında ele alınan 601 m. uzunluğundaki Çekerek Tüneli geçişinin jeolojik ve jeoteknik açıdan değerlendirilmesi ve tünel destek sistemlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yer almaktadır.

Çalışma alanında, yüksek dayanımlı ve masif dokulu kireçtaşları ile yüksek/orta dayanımlı dolerit birimi yer almaktadır.

Bu tez kapsamında, tünel güzergahının geçeceği jeolojik birimlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmış, elde edilen bu verilerden yararlanılarak tünel güzergahı 6 bölüme ayrılarak incelenmiştir.

İncelemelerde, tünel içerisinde kalan jeolojik birimlerin türüne ve özelliklerine göre ayrılan bölümlerde RMR, Q, GSI değerlendirmeleri yapılarak destek sistemleri önerilmiştir. Önerilen destek sistemlerinin etkinliğinin ortaya konulması amacıyla Hoek-Brown kriterleri kullanılarak tüm bölümler için ayrı ayrı 2 boyutlu sayısal analiz modeli oluşturulmuş, tünel kazısı sırasında meydana gelebilecek deformasyon değerleri belirlenmiştir. Tünelin portal kesimlerinde kalan portal şevlerinde de arazi çalışmaları sırasında alınan süreksizlik ölçüm değerleri kullanılarak kinematik analizleri yapılmış ve duraylılık problemleri oluşup oluşmayacağı belirlenmiştir.

Aralık 2019, 126 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tünel, Tünel Jeotekniği, Mühendislik Jeolojisi, Kaya Kütle Sınıflamaları, Tünel Kazı ve Destek Sistemleri, NATM

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

The Geological and Geotechnical Investigation of the Çekerek (Yozgat) Tunnel Segment

Mevlüt Deniz SONGUR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa FENER

Within the scope of this thesis, it is planned to build a new high standard road on the existing road route between Zile-Çekerek, which is located in Yozgat province boundaries, and to make a tunnel pass in order to provide safe and comfortable transportation at high curved crossing point. In this respect, 601 m. and the geological and geotechnical evaluation of the Çekerek Tunnel crossing in length and determination of the tunnel support systems.

In the study area, high strength and massive textured limestones and high / medium strength dolerite units are located.

Within the scope of this thesis, field and laboratory studies were carried out in order to determine the mechanical properties of the geological units through which the tunnel route will pass, and the tunnel route was divided into 6 sections by using these data.

In the examinations, RMR, Q, GSI evaluations were made in the sections separated according to the type and characteristics of the geological units within the tunnel and support systems were proposed. In order to demonstrate the effectiveness of the proposed support systems, two-dimensional numerical analysis model was created for all departments using the Hoek-Brown criteria and deformation values that might occur during tunnel excavation were determined. Kinematic analyzes were made using the discontinuity measurement values obtained during field studies in the portal slopes of the portal sections of the tunnel and it was determined whether stability problems would occur.

December 2019, 126 pages

Key Words: Tunnel, Geotechnics of Tunnel, Engineering Geology, Rock Mass Classification, Tunnel Excavation and Support Systems

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği olan sayın hocam Doç. Dr. Mustafa FENER'e, sahip oldukları bilgi deneyim ile karşılaştığım her sorunda yanımda olan ve sorduğum tüm sorularıma yanıt veren Dr. Özgür YILMAZER, Evrim ULUADAM BİRCAN ve Mustafa PAZARBAŞIOĞLU'na, benden manevi desteklerini esirgemeyen Tuğçe TUNCEL, Yudum DÜNDAR, Berkan ERÇİN, Mehmet Bersel ÇELİK, Begüm ÇELİK ve sevgili aileme teşekkür ederim.

Mevlüt Deniz SONGUR
Ankara, Aralık 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
1. 1 Amaç ve Kapsam **1**
1. 2 Materyal ve Yöntem **2**
1. 2. 1 Ön hazırlık çalışmaları **2**
1. 2. 2 Arazi çalışmaları **2**
1. 2. 3 Laboratuvar çalışmaları **3**
1. 2. 4 Büro çalışmaları **3**
1. 3 Önceki Çalışmalar **4**
1. 4 İnceleme Alanının Yeri ve Ulaşımı **8**
1. 5 İklim, Bitki Örtüsü ve Morfoloji **8**
2. JEOLOJİ **9**
2. 1 Genel Jeoloji **9**
2. 2 İnceleme Alanının Jeolojisi **12**
2. 3 Yapısal Jeoloji **12**
2. 4 Depremsellik **13**
3. ARAŞTIRMA BULGULARI **24**
3. 1 Arazi Çalışmaları **24**
3. 1. 1 Sondaj çalışmaları **25**
3. 2 Laboratuvar Çalışmaları **26**
4. TÜNEL JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMELERİ **29**
4. 1 Araştırma Verilerinin Değerlendirilmesi **31**
4. 2 Portal Şevlerinin Değerlendirilmesi **35**
4. 3 RMR Kaya Kütle Sınıflama Sistemi Değerlendirmesi **66**
4. 4 Q Sınıflama Sistemi Değerlendirmesi **70**

4. 5 GSI Değerlendirmesi.....73
4. 6 Hoek-Brown Kriterlerinin Değerlendirilmesi.....77
5. SAYISAL ANALİZLER.....84
5. 1 Sonlu Elemanlar Metodu (SEM).....84
5. 2 Analiz Aşamaları.....84
5. 3 Portal-1 Kesimi Sayısal Analizi.....89
5. 4 Tünel Ekseni-1 Kesimi Sayısal Analizi.....94
5. 5 Tünel Ekseni-2 Kesimi Sayısal Analizi.....99
5. 6 Tünel Ekseni-3 Kesimi Sayısal Analiz.....104
5. 7 Tünel Ekseni-4 Kesimi Sayısal Analiz.....109
5. 8 Portal-2 Kesimi Sayısal Analiz.....114
6. SONUÇLAR.....119
KAYNAKLAR.....121
ÖZGEÇMİŞ.....125

SİMGELER DİZİNİ

γ	Zeminin birim ağırlığı
SPT	Standart penetrasyon deneyi
^{o}	Derece
ν	Poisson Oranı
UCS	Tek eksenli Basınç Dayanımı
Et	Teğetsel Elastisite Modülü
P1	Portal-1
TE	Tünel Ekseni
P2	Portal-2
NATM	Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu
H	Örtü Kalınlığı
RQD	Kaya kalite göstergesi
RMR	Kaya Kütle Oranı
Jn	Eklem takım sayısı
Jr	Eklem pürüzlülük sayısı
Ja	Eklem alterasyon sayısı
Jw	Eklem suyu indirgeme sayısı
SRF	Gerilme indirgeme faktörüdür
GSI	Jeolojik dayanım indeksi
SCR	Süreksizlik yüzey koşulu puanı
SR	Yapısal özellik puanı
Rr	Süreksizlik pürüzlülük puanı
Rw	Süreksizlik bozunma puanı
Rf	Süreksizlik dolgu puanı
Jv	Hacimsel eklem sayısı
S	Ortalama süreksizlik aralığı
PGA	Yatay yer ivmesi
E_i	Laboratuvar numunesinin elastisite modülü
E_{rm}	Kaya kütlesinin elastisite modülü
SEM	Sonlu elemanlar metodu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (KGM, 2019).....8
Şekil 2.1 Genelleştirilmiş Jeoloji Haritası (MTA 1:500 000 ölçekli jeoloji haritası).....10
Şekil 2.2 Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Üstündağ ve İnceöz, 1999).....11
Şekil 2.3 Tokat ve Yozgat illeri çevresindeki diri faylar (MTA, 2012).....13
Şekil 2.4 Deprem verilerinin alındığı çalışma alanı.....14
Şekil 2.5 Deprem verilerinin alındığı çalışma alanı (URL-5).....14
Şekil 3.1 Tünel portal-1 ve eksen kesiminde karşılaşılacak kireçtaşı birimi 24
Şekil 3.2 Eksen kesiminin bir bölümünde ve portal-2 kesiminde gözlenen dolerit birimi 25
Şekil 3.3 Tünelin portal-1 kesiminde gözlenen yamaç molozları.....26
Şekil 4.1 Tünel güzergahının 3 boyutlu görüntüsü 31
Şekil 4.2 Portal-1'de baskın süreksizlik setlerinin stereonet üzerinde görünümü 37
Şekil 4.3 Portal-1'de gözlenen süreksizlik setlerinin genel özellikleri 38
Şekil 4.4 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi 39
Şekil 4.5 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi 40
Şekil 4.6 Alın şevi kama tipi kayma analizi.....40
Şekil 4.7 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi 41
Şekil 4.8 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi 41
Şekil 4.9 Sağ şev kama tipi kayma analizi.....42
Şekil 4.10 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi.....42
Şekil 4.11 Sol şev devrilme tipi kayma analizi.....43
Şekil 4.12 Sol şev kama tipi kayma analizi.....43
Şekil 4.13 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi 44
Şekil 4.14 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi 45
Şekil 4.15 Alın şevi kama tipi kayma analizi.....45
Şekil 4.16 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi 46
Şekil 4.17 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi 46
Şekil 4.18 Sağ şev kama tipi kayma analizi.....47
Şekil 4.19 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi.....47
Şekil 4.20 Sol şev devrilme tipi kayma analizi.....48
Şekil 4.21 Sol şev kama tipi kayma analizi.....48
Şekil 4.22 Sol şev kama türü kayma analizi (GS:1,81).....50

Şekil 4.23 Sol şev kama türü kayma analizi depremli (0,067g) (GS:1,45) 50
Şekil 4.24 Sağ şev kama türü kayma analizi (GS:1,75) 51
Şekil 4.25 Sağ şev kama türü kayma analizi depremli (0,067g) (GS:1,54) 51
Şekil 4.26 Portal-2'de baskın süreksizlik setlerinin stereonet üzerinde görünümü 54
Şekil 4.27 Portal-2'de gözlenen süreksizlik setlerinin genel özellikleri 55
Şekil 4.28 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi 56
Şekil 4.29 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi 57
Şekil 4.30 Alın şevi kama tipi kayma analizi 57
Şekil 4.31 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi 58
Şekil 4.32 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi 58
Şekil 4.33 Sağ şev kama tipi kayma analizi 59
Şekil 4.34 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi 59
Şekil 4.35 Sol şev devrilme tipi kayma analizi 60
Şekil 4.36 Sol şev kama tipi kayma analizi 60
Şekil 4.37 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi 61
Şekil 4.38 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi 62
Şekil 4.39 Alın şevi kama tipi kayma analizi 62
Şekil 4.40 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi 63
Şekil 4.41 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi 63
Şekil 4.42 Sağ şev kama tipi kayma analizi 64
Şekil 4.43 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi 64
Şekil 4.44 Sol şev devrilme tipi kayma analizi 65
Şekil 4.45 Sol şev kama tipi kayma analizi 65
Şekil 4.46 Portal-1 RMR Değerlendirmesine esas süreksizlik verileri seçimi (Bieniawski, 1989) 68
Şekil 4.47 Portal-1 RMR sınıflama sistemi ile elde edilen puan 69
Şekil 4.48 Portal-1 Q sınıflama sistemi ile elde edilen puan ve NATM sınıfı karşılığı . 72
Şekil 4.49 GSI sınıflama sistemi abağı (Sönmez ve Ulusay, 2002) 75
Şekil 4.50 Portal-1 GSI değerlendirme ölçütleri 76
Şekil 4.51 Portal-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0) 78
Şekil 4.52 Portal-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7) 78
Şekil 4.53 TE-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0) 79
Şekil 4.54 TE-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7) 79
Şekil 4.55 TE-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0) 80

Şekil 4.56 TE-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7) 80
Şekil 4.57 TE-3 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0) 81
Şekil 4.58 TE-3 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7) 81
Şekil 4.59 TE-4 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0) 82
Şekil 4.60 TE-4 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7) 82
Şekil 4.61 Portal-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0) 83
Şekil 4.62 Portal-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7) 83
Şekil 5.1 Field Stress Properties penceresi görünümü 85
Şekil 5.2 Define Material Properties penceresi görünümü 86
Şekil 5.3 Define Bolt Properties penceresi görünümü 87
Şekil 5.4 Define Liner Properties penceresi görünümü 88
Şekil 5.5 Project Settings penceresi görünümü 89
Şekil 5.6 P1 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı 92
Şekil 5.7 P1 üstyarı kazısı deplasman dağılımı 92
Şekil 5.8 P1 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki 93
Şekil 5.9 P1 altyarı kazısı deplasman dağılımı 93
Şekil 5.10 P1 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki 94
Şekil 5.11 TE-1 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı 96
Şekil 5.12 TE-1 üstyarı kazısı deplasman dağılımı 97
Şekil 5.13 TE-1 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki 97
Şekil 5.14 TE-1 altyarı kazısı deplasman dağılımı 98
Şekil 5.15 TE-1 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki 98
Şekil 5.16 TE-2 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı 102
Şekil 5.17 TE-2 üstyarı kazısı deplasman dağılımı 102
Şekil 5.18 TE-2 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki 103
Şekil 5.19 TE-2 altyarı kazısı deplasman dağılımı 103
Şekil 5.20 TE-2 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki 104
Şekil 5.21 TE-3 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı 107
Şekil 5.22 TE-3 üstyarı kazısı deplasman dağılımı 107
Şekil 5.23 TE-3 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki 108
Şekil 5.24 TE-3 altyarı kazısı deplasman dağılımı 108
Şekil 5.25 TE-3 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki 109
Şekil 5.26 TE-4 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı 112
Şekil 5.27 TE-4 üstyarı kazısı deplasman dağılımı 112

Şekil 5.28 TE-4 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki 113
Şekil 5.29 TE-4 altyarı kazısı deplasman dağılımı 113
Şekil 5.30 TE-4 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki 114
Şekil 5.31 P2 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı 116
Şekil 5.32 P2 üstyarı kazısı deplasman dağılımı 117
Şekil 5.33 P2 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki 117
Şekil 5.34 P2 altyarı kazısı deplasman dağılımı 118
Şekil 5. 35 P2 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki 118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Veri temininde kullanılan noktalara ait enlem boylam bilgileri 13
Çizelge 2.2 Sismik moment (M_w) dönüşümünde kullanılan ampirik ilişkiler (Chow, 1964)..... 15
Çizelge 2.3 AFAD veri tabanından alınan deprem kayıt verileri..... 16
Çizelge 2.4 Hesaplanan Yatay yer ivmesi (PGA) değerleri..... 19
Çizelge 2.5 Hesaplanan yatay yer ivmelerinin (PGA) ortalaması 23
Çizelge 3.1 Sondaj numunelerinde elde edilen UCS, Et ve ν değerleri..... 27
Çizelge 3.2 Blok numunelerden elde edilen UCS, Et ve ν değerleri 28
Çizelge 4.1 Çekerek Tüneline ait bölümlendirmeler 30
Çizelge 4.2 Portal-1 kesimi için kullanılan parametreler..... 32
Çizelge 4.3 Tünel Ekseni-1 kesimi için kullanılan parametreler 33
Çizelge 4.4 Tünel Ekseni-2 ve Tünel Ekseni-4 kesimi için kullanılan parametreler..... 33
Çizelge 4.5 Tünel ekseni-3 kesimi için kullanılan parametreler..... 34
Çizelge 4.6 Portal-2 kesimi için kullanılan parametreler..... 35
Çizelge 4.7 Portal-1 kesimi için ölçülen süreksizlik değerleri..... 36
Çizelge 4.8 Portal-2 kesimi için ölçülen süreksizlik değerleri..... 53
Çizelge 4.9 Süreksizlik yönelimine göre sınıflama (Bieniawski, 1989)..... 68
Çizelge 4.10 Tünel eksenleri ve Portal-2 kesimi için RMR puanları 70
Çizelge 4.11 Tünel eksenleri ve Portal-2 kesimi için Q puanı ve NATM karşılığı..... 73
Çizelge 4.12 GSI puanlama sistemi formülleri (Sönmez ve Ulusay, 2002) 74
Çizelge 4.13 Portal-1, tünel eksenleri ve Portal-2 için GSI değerlendirme ölçütleri..... 77
Çizelge 5.1 Import işleminde önce Phase objelerine verilmesi gereken layer isimleri (URL-1)..... 85
Çizelge 5.2 P1 sayısal analiz modeli..... 90
Çizelge 5.3 P1 tünel destek sistemi..... 91
Çizelge 5.4 TE-1 sayısal analiz modeli..... 95
Çizelge 5.5 TE-1 tünel destek sistemi..... 96
Çizelge 5.6 TE-2 sayısal analiz modeli..... 100
Çizelge 5.7 TE-2 tünel destek sistemi..... 101
Çizelge 5.8 TE-3 sayısal analiz modeli..... 105
Çizelge 5.9 TE-3 tünel destek sistemi..... 106
Çizelge 5.10 TE-4 sayısal analiz modeli..... 110
Çizelge 5.11 TE-4 tünel destek sistemi..... 111

Çizelge 5.12 P2 sayısal analiz modeli 115
Çizelge 5.13 P2 tünel destek sistemi 116

1. GİRİŞ

1. 1 Amaç ve Kapsam

Yozgat İl sınırları içerisinde yer alan çalışma alanında standartları düşük olan mevcut yolun standartlarını yükselterek trafik güvenliğini arttırmak ve aynı zamanda seyahat süresini azaltarak sürüş konforunu arttırmak amacıyla proje yapılması kararlaştırılmıştır.

Zile – Çekerek yolu üzerinde uzunluğu 601 m olan bir tünelli geçiş oluşturulması gerekmiştir. Bu geçiş yolun geometrik standartlarında belirgin bir iyileşme sağlayacaktır. Söz konusu tünelli geçişişin jeolojik ve jeoteknik açıdan değerlendirmesi ve tünel destek sisteminin oluşturulmasına yönelik çalışmaların sunumu bu tez kapsamında yapılacaktır.

Bu tez çalışması ile çalışma kapsamında yer alan jeolojik birimlerin duraylılık problemlerinin belirlenmesi ve bu problemleri iyileştirmeye yönelik çalışmaların yapılması, tünel kazısı sırasında ve sonrasında karşılaşılabilecek jeolojik ve jeoteknik sorunların belirlenmesi ve bu sorunlara yönelik çözümler üretilmesini kapsamaktadır.

Bu kapsamda, çalışma alanında arazi gözlemleri, sondaj çalışmaları, jeofizik ölçümler ve laboratuvar çalışmaları yapılarak veriler elde edilmiş, elde edilen verilerle jeolojik-jeoteknik değerlendirmeler sonucu elde edilen büro çalışmaları (analiz çalışmaları) yapılmıştır.

1. 2 Materyal ve Yöntem

1. 2. 1 Ön hazırlık çalışmaları

Çalışma alanında arazi çalışmaları yapılmadan önce ön bilgi sahibi olmak ve arazi çalışmalarını daha iyi planlayabilmek amacıyla bugüne kadar yapılmış ya da yapılmakta olan, çalışma alanı ve konusu ile ilgili elde edilebilir her türlü materyallerin toplanması işlemidir. Bu çalışma ile çalışma alanı için hazırlanmış jeolojik haritaların incelenmesi ile arazi çalışmalarında gözlenebilecek jeolojik birimlerin özellikleri hakkında ön bilgi sahibi olunmuştur. Ayrıca bu bölgede yapılmış olan jeolojik, jeomorfolojik, mineralojik veri, sözlü bilgi, belge, rapor, tez, makale, fotoğraf, basılı diğer yayınlar ile tez konusu ile ilgili çalışmalar toplanarak tez aşamasında bilgi olarak değerlendirilmiştir.

1. 2. 2 Arazi çalışmaları

Çalışma alanında yer alan birimlerin tanımlamalarının yapılması, sınırlarının belirlenmesi ve gözlemsel özelliklerinin ortaya konulması amacıyla arazi çalışmaları yapılmıştır. Tünelin portal-1 kesiminde, kireçtaşından türemiş çakıl, blok ve silt türü malzemeden oluşan yamaç molozu gözlenmiştir. Portal tasarımı sırasında bu birimin belirsizlik yaratmasına engel olmak amacıyla portal-1 kesiminde 1 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma ile portal-1 kesiminde yamaç molozu içerisinde kalınacağı belirlenmiş ancak hemen altında çevre yüzleklerde tanımı yapılan kireçtaşı içerisine gireceği belirlenmiştir. Tünel portal-1 kesiminin bu yamaç molozundan etkileneceği düşünüldüğü için portal-1 kesimi kireçtaşı içerisinde kalacak şekilde tasarlanmıştır.

Çalışma alanı topoğrafyasının yüksek eğimler sunması ve sarp arazi koşullarında sondaj çalışmasının yapılamaması nedeniyle tünelin eksen kesiminde ve portal-2 kesiminde sondaj çalışması yapılamamıştır. Bu nedenle belirtilen kesimlerde yer alan dolerit birimine ait jeomekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla blok numuneler alınmıştır.

Ayrıca çalışma alanında yer alan kaya kütlelerinin tünel açılımı sırasında yaşatabileceği sorunları belirlemek amacıyla tabaka ve süreksizliklerin durumu belirlenmiştir. Bu nedenle de çalışma alanında yer alan kaya kütlelerinin farklı noktalarında süreksizlik ölçümleri yapılmış ve süreksizlik setleri belirlenmiştir. Belirlenen setler yardımıyla tünel güzergahı ile tabaka ve/veya süreksizliklerin birbirine göre durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1. 2. 3 Laboratuvar çalışmaları

Çalışma alanında arazi çalışması ile gözlenen yamaç molozunun derinliğini tespit etmek amacıyla portal-1 kesiminde yapılan sondaj çalışması ile bölgede gözlenen kireçtaşı birimine ait karot numuneler alınmıştır. Arazi koşullarının uygun olmaması nedeniyle eksen kesiminde ve portal-2 kesiminde sondaj çalışması yapılamamıştır. Bu nedenle de bu kesimlerde yer alan dolerit biriminin jeomekanik özelliklerini belirlemek amacıyla portal-2 kesiminden blok numuneler alınmıştır.

Sondaj çalışması ile alınan kireçtaşı birimine ait karot numunelerinde ile araziden alınan dolerit birimine ait blok numunelerde tünel güzergahı boyunca gözlenecek birimlerin jeomekanik özelliklerinin ortaya konulması amacıyla doğal birim ağırlık, tek eksenli basınç ve kayada üç eksenli basınç deneyi yapılarak sayısal analizlerde kullanmak için gerekli olan tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı değerleri belirlenmiştir.

1. 2. 4 Büro çalışmaları

Arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler yardımıyla tünel güzergahında yer alan jeolojik birimler mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilerek RMR, Q, GSI ve NATM sınıflama sistemleri yardımıyla kazı ve destek sistemleri için önerilerde bulunulmuştur. Tüm bu sınıflamalar sonucunda 2 boyutlu sayısal analizler yapılarak hem

bölgede tünel kazısı sırasında meydana gelebilecek deformasyon değerleri belirlenmiş hem de destek sistemlerinin etkinliği ortaya konulmuştur.

Ayrıca tünelin portal-1 ve portal-2 kesiminde yer alan jeolojik birimlerin süreksizlik durumları ya da duraylılık problemleri yapılacak olan kinematik analiz ve dairesel kayma analizleri ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1. 3 Önceki Çalışmalar

Akgün ve diğ. (2014), Geçilmez Tüneli (Giresun) güzergahında yer alan birimlerin duraylılık özelliklerini belirlemiş ve duraylılık problemi gözlenebilecek olanlara ait iyileştirme yöntemlerini değerlendirmiştir. Tünelin portal-1 ve portal-2 kesiminde yer alan şevlerdeki kaya kütle özelliklerini belirlemiş, duraylılık problemlerini belirlemek için kinematik analizler yapmış ve gerekli yerlerde iyileştirme çalışmaları yapmıştır. Ayrıca tünel açılımı sırasında karşılaşılacak olan kaya kütleleri için RMR, Q, GSI sınıflama sistemlerini kullanmış, kazı ve destek sınıfını belirlemiş, 2 boyutlu analizler ile destek sistemlerinin etkinliğini ortaya koymuştur.

Aksular (2008), Hıdırlıktepe (Ankara)'de andezitlerin egemen olduğu tepede inşaa edilmesi planlanan Yeni Ulus Tüneli ile ilgili çalışmalarda bulunmuş, tünel güzergahında yer alan birimlerin kaya kütle özelliklerini laboratuvar deneyleri ve RMR, Q sınıflamaları ile belirmeye çalışmış, tünel portallarında şev tasarımı yapmıştır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda tünel için gerekli destek sistemlerine önerilerde bulunmuştur.

Alpat (1996), Süreyyabey Barajı (Yozgat-Çekerek) aks yerinde yaptığı çalışmaları ile Üst Kretase yaşlı ofiyolit melanj içerisinde ve üzerine uyumsuz olarak gelen alüvyonların yer aldığını belirlemiştir. Bu birimlerin üzerine inşa edilecek olan baraj aks yeri sayaçlarının taşıma gücü, nokta yük, tek eksenli basma ve çekme (Brazilian) dayanımı, geçirimlilik, kayaç kütlesi ve kayaç malzeme özelliklerinin değerlendirilmesi, süreksizliklerin

jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi, baraj gövdesinde ve barajla ilgili yapıların inşasında kullanılacak doğal yapı malzemelerinin temini ve kullanılabilirliğini araştırmıştır.

Barton (2002), Tünel kaya kalitesi olarak isimlendirilen Q sınıflama sistemini geliştirmişlerdir. Bu sistemde eklem takım sayısı, eklem pürüzlülük sayısı, eklem alterasyon sayısı, eklem suyu indirgeme sayısı ve gerilme indirgeme faktörlerini kullanmıştır.

Bieniawski, (1989), Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemi (RMR) olarak tanımlanan sınıflama sistemini detaylarıyla açıklamıştır. Bu çalışmasına göre tek eksenli basınç dayanımı, kaya kalite göstergesi (RQD), süreksizlik aralığı, süreksizliklerin durumu, yeraltı suyu durumu, süreksizliklerin konumu olmak üzerek beş temel özellik içerdiğini, belirttiği sınıflama sistemi kullanılarak elde edilen puanın kaya kütlesi için bir belirteç oluşturduğunu belirtmiştir.

Dalgıç (1997a), Bolu Tüneli, İstanbul Metrosu Zincirlikuyu Tüneli, Moda Atıksu Tüneli ve Hatay Yayladağı Barajı derivasyon tünellerinde yaptığı çalışmalar ile jeolojik koşulları belirlemiş ve tünel kazısı sırasında karşılan jeolojik sorunları karşılaştırmıştır.

Dalgıç (2002), Bolu Tüneli'nde yaptığı çalışmalar ile doğrultu atımlı fay etkisiyle oluşan gerilmelere bağlı olarak önemli derecede deformasyonların meydana geldiğini belirlemiş ve özel yoğun destek sistemi yardımıyla deformasyonların etkisinin azalacağını göstermiştir.

Elal (2008), Sorgun-Çekerek karayolunu üzerinde yer alan heyelanları ve yapılması planlanan yeni yol yarmasında açılacak şevin duraylılığını incelemiştir.

Eriş ve Vardar (1994), İstanbul Metrosu Taksim-4 Levent güzergahında bulunan kayaçların jeomekanik özellikleri ve duraylılık problemleri üzerinde yaptığı çalışmalarla,

bölgede yer alan ve Trakya Formasyonu'na ait olan birimlerin jeomekanik özelliklerini, jeolojik yapıyı, kaya kalitesini, ayrışma ve yeraltı suyu durumunu belirlemiş ve deformsayon nedenlerini ortaya koymuştur.

Geniş ve diğ. (2007), Yeniçağa-Zonguldak karayolundaki açılması planlanan tünel çalışmalarında yaptığı RMR, Q, GSI ve NATM sınıflamaları yapmış, 2 boyutlu sayısal analizler yardımıyla meydana gelebilecek deformasyon değerlerini belirlemiş ve yaptığı tüm bu çalışmalar neticesinde destek sistemlerini ortaya koymuştur.

Gürocak (2011), Kapıkaya barajı çalışmalarında açılacak olan çevirme tüneli güzergahında yer alan diyabazlarda çalışmalar yaparak bu birimin mühendislik jeolojisi özelliklerimi ortaya koymaya çalışmışlardır. Yapılan bu çalışmada RMR ve RMI sınıflamalarından yararlanmıştır. Ayrıca kaya kütlesinin jeomekanik özelliklerini kullanarak 2 boyutlu sayısal analizler yardımıyla çevirme tünelinde meydana gelebilecek deformasyon ve bunlara bağlı olarak gelişebilecek duraylılık problemlerini değerlendirmiş, NATM sınıflaması yardımıyla kazı ve destek sınıfı için önerilerde bulunmuştur.

Hoek ve Brown, (1980;1998b), Tüneller için geliştirmiş oldukları jeolojik dayanım indeksinden bahsetmişlerdir.

Koçak ve Vardar (2008), sığ tünellerde düşük GSI değerlerine sahip kaya kütlesi ortamlarında zamana bağlı deformasyonların etkisini ortaya koymaya çalışmışlardır. Çalışma alanında 2 boyutlu sayısal analiz ve deformasyon ölçüm teknikleri kullanan araştırmalar elde ettikleri değerlerin benzer olduklarını sonucuna ulaşmışlardır.

Nilsen (2011) çalışmasında Norveç'te zayıf birimlerde açılan tünellerde yapılan çalışmaların aksamasına neden olan etkenleri ele almıştır. Tünel çalışmalarında jeolojik modelin oluşturulmasına rağmen anizotrop ortam koşulları nedeniyle beklenmedik

olayların gerçekleşmesinin mümkün olabileceğini vurgulamıştır. Özellikle zayıf bölgelerde yapılan çalışmalarda zeminde meydana gelen şişme ve yerçekimi etkisiyle tünel duvarının alttan üste doğru parçalanmaya, çatlamaya ve ayrılmaya başladığını belirtmiştir. Tüm bu nedenlerden dolayı etkili destek sisteminin belirlenmesinin ne kadar önemli olduğunu belirtmiştir.

Özsan ve diğ. (2009), Ankara metrosu Mecidiye ve Gazino durakları arasındaki güzergahta yer alan jeolojik birimlerin jeomekanik zöelliklerini belirleyerek RMR, Q, GSI ve NATM sistemleri yardımıyla kazı yöntemini ve destek sistemini belirlemişlerdir. Ayrıca 2 boyutlu sayısal analizler yaparak belirlenen kazı ve destek sistemlerinin etkinliğini ortaya koymuşlardır.

Terzaghi (1946), tünel kazısından sonra mevcut jeolojik birimin uyguladığı gerilmeler altında kalan tünel kaplama betonunda oluşabilecek yenilmelerin nedenlerini araştırmış ve bu tür yeraltı yapılarında tasarım için kaya kütlesinin tanımlanması gerektiğini öne sürmüştür. Bu gereklilik nedeniyle yaptığı sınıflamada kayanın dayanımı, tabaka durumu, eklem ve süreksizlik setlerinin göz önüne alınması gerektiğini belirtmiştir.

Volkmann ve Schubert (2006), masif olmayan kaya ortamında ve sığ derinlikte açılan tünellerde meydana gelebilecek olan yüzey deformasyonlarını ve bu deformasyonları belirlemek için kullanılan ölçüm sistemlerini değerlendirmişlerdir. Yapılan bu değerlendirmeler ile tünelde en fazla deformasyonların ayna etrafında olduğunu belirlemişlerdir.

1. 4 İnceleme Alanının Yeri ve Ulaşımı

Proje; Zile-Alaca Devlet Yolunun 23. km'sinde Çekerek yol ayrımından başlayarak Tokat-Yozgat İl Sınırı olan noktada sona ermektedir. Yaklaşık 19.0 km uzunluğundaki 805-08 kontrol kesim numaralı devlet yolu (Şekil 1.1) üzerinde devam etmektedir.



Şekil 1.1 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (KGM)

1. 5 İklim, Bitki Örtüsü ve Morfoloji

İnceleme alanı tipik İç Anadolu Bölgesi iklimi etkisi altındadır. Yazları sıcak ve kurak, ilkbahar ve sonbaharda kısmen yağışlı, kışları ise yağışlı ve soğuk geçer. Yağışlar baharlarda yağmur ve kışın kar şeklindedir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yozgat ili, Sorgun İstasyonu'nun 1984 - 2005 yılları arasındaki verilerine göre bölgede; yıllık ortalama en yüksek sıcaklık 16ºC, yıllık ortalama en düşük sıcaklık 3,4ºC, en yüksek sıcaklık 40,2ºC ve en düşük sıcaklık 29,4ºC'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı 459,6 mm'dir.

2. JEOLOJİ

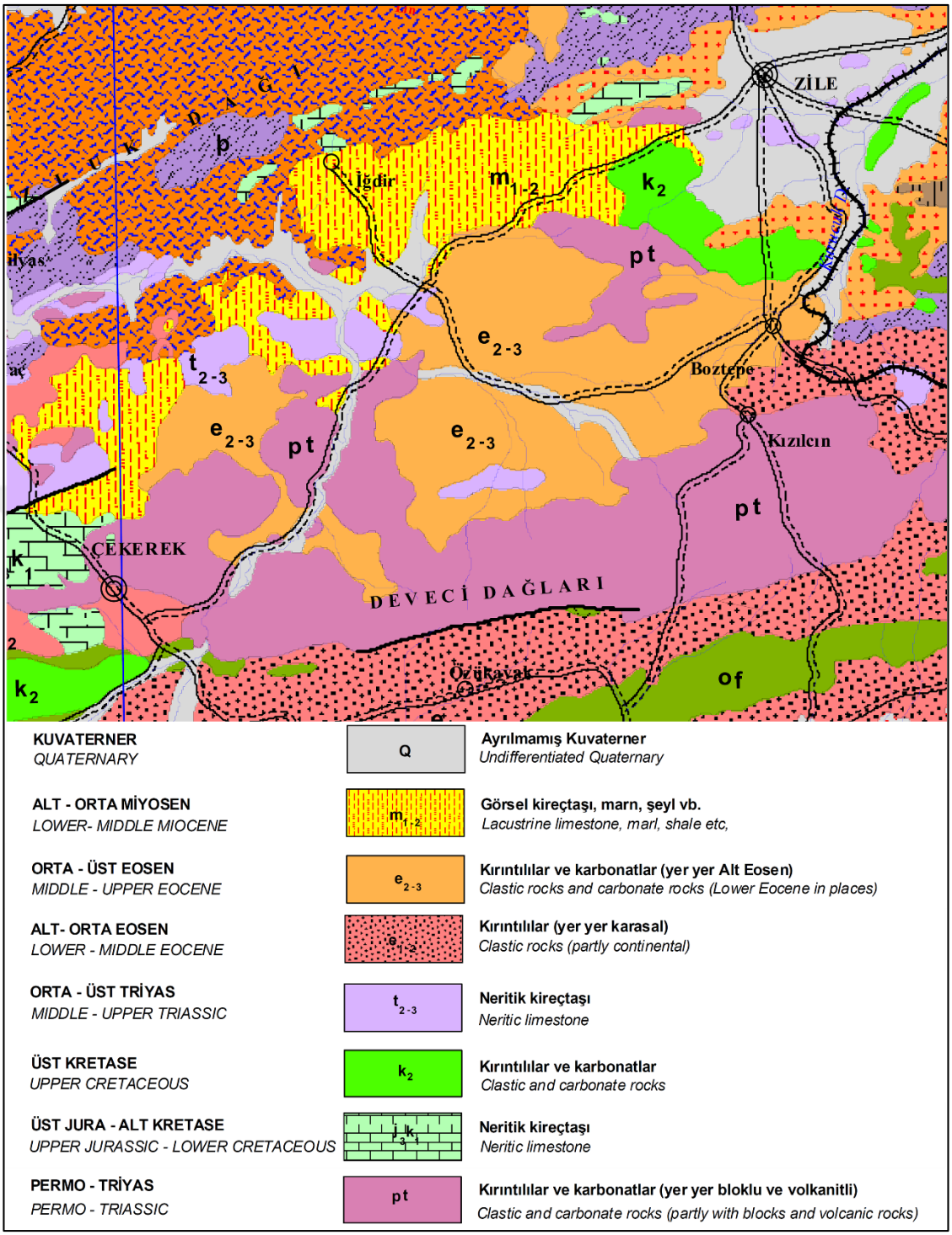
2. 1 Genel Jeoloji

Çalışma alanında temel kaya olan Permo-Triyas yaşlı Turhal Metamorfitleri, mikaşist, kalkşist ve metakumtaşlarından oluşan düşük metamorfizmalı ürünler ve metamorfizma oluşmadan önce taşınmış Permiyen mermer bloklarından oluşmuştur (Güreli Yolcubal vd. 2014).

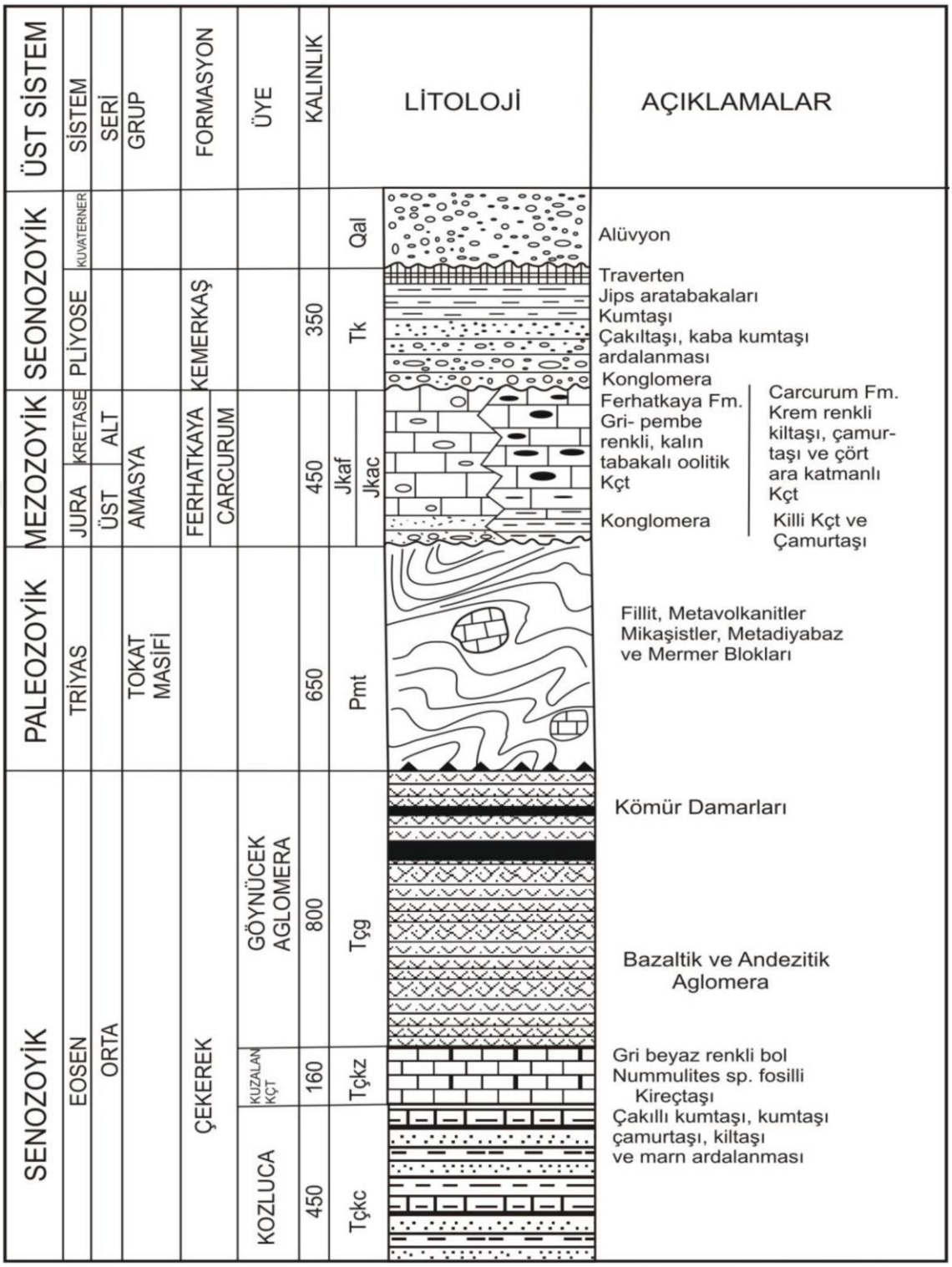
Temel kaya üzerine açısal uyumsuzluk ile Üst Jura- Alt Kretase yaşlı Carcurum Formasyonuna ait kırmızı pembemsi renkli kireçtaşları gelmektedir. Bölgede geniş yer kaplayan Hacılar Formasyonu ise bu formasyon üzerine açılı uyumsuzlukla yer almaktadır (Güreli Yolcubal vd. 2014).

Çekerek Formasyonuna ait killi kireçtaşı birimleri açısal uyumsuzluk ile Hacılar Formasyonu üzerinde yer almaktadır. Bu formasyon üzerine de jipsli ve tüflü kiltaşlarından oluşan Pliyosen yaşlı Kemerkaş Formasyonu gelmektedir. Bölgede gözlenen en genç birimler ise Kuvaterner yaşlı alüvyon ve taraça birimleridir (Şekil 2.2) (Güreli Yolcubal vd. 2014).

MTA tarafından hazırlanan 500.000 ölçekli jeoloji haritasında çalışma alanında yer alan birim Permo-Triyas yaşlı “Kırıntılılar ve karbonatlar (yer yer bloklu ve volkanikli)” olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Genelleştirilmiş Jeoloji Haritası (MTA 1:500 000 ölçekli jeoloji haritası)



Şekil 2.2 Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Üstündağ ve İnceöz, 1999).

2. 2 İnceleme Alanının Jeolojisi

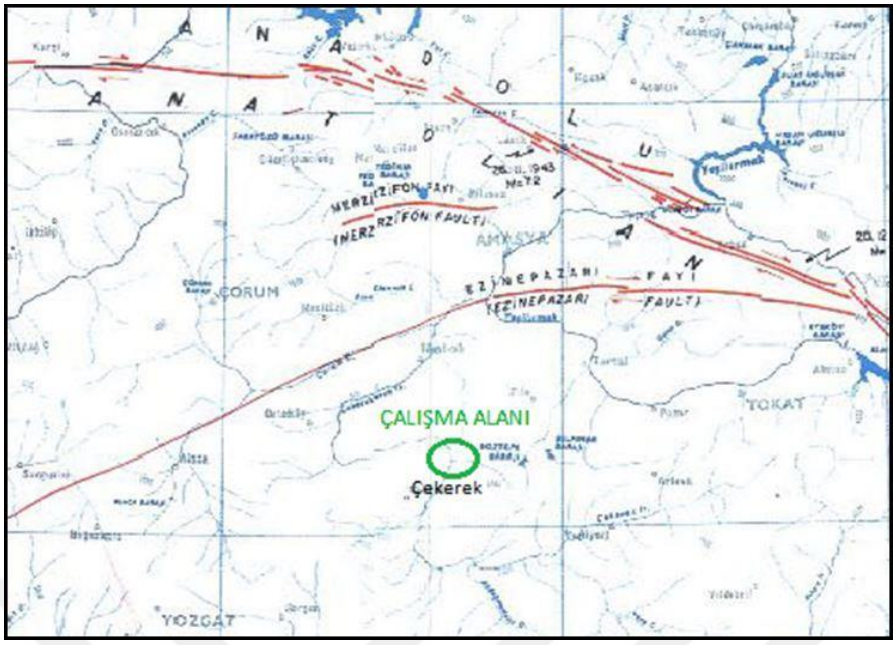
Çekerek Tüneli, grimsi, beyaz renkli Çekerek Formasyonu Kuzalan Kireçtaşı üyesi içerisinde kalmaktadır. Bu kireçtaşları yüksek dayanımlı, masfi dokulu, kalın tabakalı, tabakalanması belirgin ve bol çatlaklıdır. Tünelin ekseninin büyük bir kısmında ve portal-2 kesiminde intrüzif yerleşmiş dolerit yer almaktadır (Özcan vd., 1980).

2. 3 Yapısal Jeoloji

KIVRIMLAR: Çalışma alanı ve yakın çevresinde Hersiniyen Orojenezine ait şist birimlerinde şiddetli kıvrımlar gözlenmektedir (Çevre ve Orman İl Müdürlüğü, 2004).

Bölgede yer alan Mezozoik yaşlı kalkerli birimlerde de kıvrımlar gözlenmektedir. Tersiyer zamanının başlarında şiddetli olan hareketler nedeniyle oluşan kıvrımlar Neojen zamanında hızını kaybetmiş ve tabakalar yatay duruma geçmiştir (Çevre ve Orman İl Müdürlüğü, 2004).

FAYLAR (Kırıklar): Saroz Körfezinden başlayarak, Aras vadisine kadar uzanan ve yaklaşık olarak 1500 km uzunluğa sahip olan Ezinepazarı fayı bölgeye yakın olarak geçmektedir (Şekil 2.3) (Çevre ve Orman İl Müdürlüğü, 2004).



Şekil 2.3 Tokat ve Yozgat illeri çevresindeki diri faylar (MTA, 2011).

2. 4 Depremsellik

Proje alanında yatay yer ivmesi (PGA) hesaplamaları için, çalışma alanı içerisinde kalan bir noktanın merkez kabul edildiği ve merkezden itibaren enlem ve boylam değerlerinde 1.5^{o} arttırılarak ve azaltılarak alan elde edilmiştir (Şekil 2.4). Merkez kabul edilen nokta ve alan oluşmasını sağlayan köşe noktalarına ait koordinatlar Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

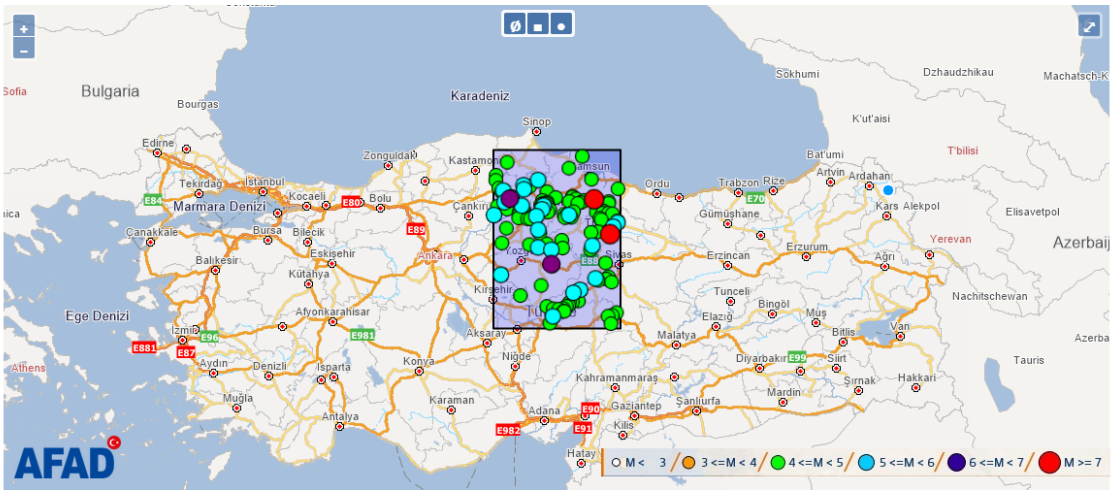
Çizelge 2.1 Veri temininde kullanılan noktalara ait enlem boylam bilgileri

Nokta Adı	Enlem (°)	Boylam (°)
Merkez	40,116	35,619
Köşe-1	41,616	34,119
Köşe-2	41,616	37,119
Köşe-3	38,616	37,119
Köşe-4	38,616	34,119



Şekil 2.4 Deprem verilerinin alındığı çalışma alanı

AFAD tarafından yayınlanan ve içeriğinde meydana gelmiş depremlere ait kayıt verileri bulunan “1900 - 20xx Deprem Kataloğu(M >= 4.0)” kullanılarak, belirlenen alan içerisinde kalan depremlere ait kayıt dosyalarının bulunduğu veri tabanı temin edilmiştir (Şekil 2.5) (URL-5).



Şekil 2.5 Deprem verilerinin alındığı çalışma alanı (URL-5)

Deprem büyüklüklerinin hesaplanması için birbirinden farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler; depremin büyüklüğü ve uzaklıklarına göre deprem dalgalarında meydana gelen değişiklikleri kullanmaktadır. Meydana gelen depremlerin ortam özelliklerine ve dış merkezden uzaklığına göre gösterdiklerine davranış/hareketlerine göre çeşitli büyüklük tanımları yapılmıştır (Beyaz, 2004).

AFAD veri tabanında belirlediğimiz alan içerisinde kalan deprem verileri incelendiğinde cisim dalgası magnitüdü (m_b), Richter yerel magnitüdü (M_L), sismik moment (M_w) ve yüzey dalgası magnitüdü (M_s) ile hesaplanmış toplam 135 adet noktaya ait kayıt indirilmiştir (Çizelge 2.3).

Magnitüd hesaplamalarında kullanılan ampirik ilişkiler genellikle çeşitli cihazların kaydettiği yerde meydana gelen sarsıntı genliklerinin büyüklük ölçeğindeki bir ifadesidir. Bir deprem sonucunda açığa çıkan enerji miktarında artış meydana gelirken yer sarsıntı özellikleri aynı oranda artmamakta ve cihaz ölçümlerine yansımamaktadır (Beyaz, 2004). Bu duruma magnitüd doygunluğu adı verilmektedir (Kramer, 1996). Magnitüd doygunluğu problemi olmayan deprem büyüklük ölçeği moment magnitüdüdür (Kanamori, 1977; Hanks ve Kanamori, 1979). Bu nedenle yatay yer ivmesi hesaplamalarında farklı yöntemlerle hesaplanmış büyüklük değerleri ampirik ilişkiler kullanılarak sismik moment (M_w) magnitüd değerine dönüştürülmüştür. Kullanılan ampirik ilişkiler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Ampirik ilişkiler ile elde edilen sismik moment (M_w) değerleri Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Sismik moment (M_w) dönüşümünde kullanılan ampirik ilişkiler (Chow, 1964).

m_b	$M_w = 1.125 \times m_b - 0,411$
M_L	$M_w = 0,994 \times M_L + 0,208$
M_s	$M_w = 0,792 \times M_s + 1,217$

Çizelge 2.3 AFAD veri tabanından alınan deprem kayıt verileri

No	Enlem	Boylam	Zaman (UTC)	Derinlik (m)	Tip	Büyüklük	Mw Verileri
1	40,6888	35,4666	18.05.2018	12,84	Mw	4,1	4,1
2	40,5446	36,5975	6.01.2018	15,81	Mw	4,0	4,0
3	40,7508	34,2811	2.11.2016	6,42	Mw	4,7	4,7
4	39,0116	35,8421	18.02.2016	5,44	Mw	4,1	4,1
5	39,5640	34,3580	10.01.2016	13,60	Mw	5,0	5,0
6	40,6681	36,6735	9.10.2015	20,52	Mw	4,0	4,0
7	40,6643	36,6810	9.10.2015	20,17	Mw	4,9	4,9
8	40,0000	36,3891	23.06.2014	6,59	Mw	4,0	4,0
9	40,9952	34,3733	28.07.2013	17,37	Ml	4,4	4,6
10	40,1163	34,3810	13.03.2013	19,06	Ml	4,1	4,3
11	40,8147	36,1693	7.03.2013	20,62	Ml	4,3	4,5
12	39,3767	35,2695	10.01.2012	7,16	Ml	4,2	4,4
13	39,0248	35,8930	22.11.2011	11,12	Ml	4,5	4,7
14	39,0800	35,9100	16.08.2011	5,00	Ml	4,5	4,7
15	40,5883	34,8145	20.02.2011	18,89	Ml	4,4	4,6
16	40,5354	35,0245	2.04.2010	15,00	mb	4,3	4,4
17	38,8340	35,5360	12.11.2008	10,00	Mw	5,1	5,1
18	40,6100	34,7700	2.04.2008	10,00	mb	4,3	4,4
19	40,3713	34,4832	1.04.2008	7,04	Ml	4,2	4,4
20	40,6335	34,8041	29.03.2008	4,00	mb	4,2	4,3
21	40,5500	34,7600	14.01.2008	7,00	Ml	4,3	4,5
22	40,6209	36,8839	29.08.2005	10,00	mb	4,0	4,1
23	39,1050	36,1160	4.07.2005	8,00	mb	4,1	4,2
24	40,6660	34,8520	29.04.2005	25,10	Mw	4,8	4,8
25	39,7700	36,7300	14.12.2004	10,00	mb	4,0	4,1
26	40,6500	36,5200	3.02.2004	1,00	mb	4,1	4,2
27	40,6036	35,8771	27.09.2003	3,10	mb	4,0	4,1
28	38,9717	35,7729	2.05.2003	10,00	mb	4,1	4,2
29	40,1640	35,7370	4.02.2002	13,00	mb	4,0	4,1
30	40,6340	36,6610	3.05.2001	6,40	mb	4,1	4,2
31	40,0290	35,7560	7.04.2001	6,00	mb	4,3	4,4
32	40,6700	34,8800	30.05.2000	9,00	mb	4,0	4,1
33	41,1930	34,2420	14.05.2000	11,00	mb	4,0	4,1
34	39,4890	36,7480	11.06.1999	10,00	mb	4,2	4,3
35	39,4650	36,5620	11.06.1999	22,70	mb	4,3	4,4
36	39,5270	36,7950	11.06.1999	4,40	mb	4,6	4,8
37	40,7400	35,2700	5.04.1999	10,00	mb	4,1	4,2
38	38,9595	35,6673	15.12.1998	1,20	mb	4,2	4,3
39	38,9220	35,7920	14.12.1998	15,00	mb	4,4	4,5
40	38,9266	35,7770	14.12.1998	10,00	mb	4,1	4,2
41	38,7123	35,4666	29.10.1998	19,80	mb	4,0	4,1
42	40,7761	35,2596	12.01.1998	4,10	mb	4,2	4,3
43	38,7047	36,8503	1.04.1997	10,00	mb	4,0	4,1
44	40,7530	35,4070	28.02.1997	8,90	mb	4,8	5,0
45	40,7200	35,2900	7.12.1996	12,00	mb	4,1	4,2

Çizelge 2.3 AFAD veri tabanından alınan deprem kayıt verileri (devam)

No	Enlem	Boylam	Zaman (UTC)	Derinlik (m)	Tip	Büyüklük	Mw Verileri
46	40,7691	35,2929	22.11.1996	9,40	mb	4,1	4,2
47	40,7900	35,4000	25.09.1996	28,00	mb	4,1	4,2
48	41,4000	35,9000	12.09.1996	14,00	mb	4,1	4,2
49	40,8000	35,3400	11.09.1996	10,00	mb	4,1	4,2
50	40,7624	35,3204	9.09.1996	5,00	mb	4,0	4,1
51	40,6694	35,2669	27.08.1996	10,00	mb	4,0	4,1
52	40,7428	35,2844	25.08.1996	5,00	mb	4,0	4,1
53	41,0000	35,4000	25.08.1996	5,00	mb	4,1	4,2
54	40,8200	35,4100	21.08.1996	24,00	mb	4,1	4,2
55	40,7500	35,3400	20.08.1996	5,00	mb	4,0	4,1
56	40,7400	35,3700	20.08.1996	10,00	mb	4,0	4,1
57	40,6600	35,3700	19.08.1996	8,00	mb	4,1	4,2
58	41,0900	35,0100	14.08.1996	21,00	mb	4,1	4,2
59	40,7000	35,3000	14.08.1996	5,00	mb	4,1	4,2
60	40,8500	35,3000	14.08.1996	10,00	mb	4,0	4,1
61	40,8000	35,3000	14.08.1996	10,00	mb	4,1	4,2
62	40,8000	35,4000	14.08.1996	10,00	mb	4,1	4,2
63	40,3450	35,2020	14.08.1996	16,40	mb	5,1	5,3
64	40,7600	35,3280	14.08.1996	16,40	Mw	5,6	5,6
65	40,7912	35,3506	14.08.1996	6,00	mb	4,5	4,7
66	40,6980	35,2900	14.08.1996	25,70	Mw	5,7	5,7
67	40,8500	36,2400	29.07.1996	5,00	mb	4,1	4,2
68	40,6510	35,4240	17.03.1996	7,90	mb	4,2	4,3
69	39,4357	36,8651	31.07.1995	21,60	mb	4,0	4,1
70	40,2800	35,2400	13.09.1993	10,00	mb	4,2	4,3
71	40,5764	35,8796	12.06.1993	10,00	mb	4,4	4,5
72	40,9190	35,9797	3.06.1993	10,00	mb	4,2	4,3
73	40,8341	35,9081	12.05.1992	18,10	mb	4,4	4,5
74	40,5590	35,9490	12.02.1992	5,60	mb	4,9	5,1
75	40,5855	35,8332	12.02.1992	10,00	mb	4,3	4,4
76	39,0096	35,3977	10.10.1989	36,10	mb	4,1	4,2
77	38,9666	35,5435	18.09.1989	33,00	mb	4,2	4,3
78	40,6476	34,7712	31.05.1988	10,00	mb	4,1	4,2
79	40,8490	34,5928	3.09.1985	10,00	mb	4,0	4,1
80	40,5557	35,8079	10.06.1985	10,00	mb	4,4	4,5
81	40,5930	35,8630	10.06.1985	11,60	mb	4,8	5,0
82	39,1900	36,0140	23.01.1985	37,40	mb	4,6	4,8
83	40,5204	36,6322	6.04.1984	12,90	mb	4,1	4,2
84	40,6569	36,0030	7.12.1981	10,00	mb	4,5	4,7
85	38,8998	36,9768	4.09.1981	83,60	mb	4,3	4,4
86	40,5360	34,9600	6.12.1978	9,90	mb	4,6	4,8
87	40,0880	35,0030	26.10.1975	35,90	mb	4,6	4,8
88	40,8780	36,0580	15.07.1975	27,70	mb	4,7	4,9
89	40,9061	34,5975	1.08.1973	19,00	mb	4,2	4,3
90	40,6100	35,7900	17.10.1970	33,00	mb	4,2	4,3

Çizelge 2.3 AFAD veri tabanından alınan deprem kayıt verileri (devam)

No	Enlem	Boylam	Zaman (UTC)	Derinlik (m)	Tip	Büyüklük	Mw Verileri
91	40,9090	35,9830	10.07.1970	39,20	mb	4,5	4,7
92	38,8370	36,7850	2.07.1970	34,40	mb	4,7	4,9
93	38,8500	36,8800	15.06.1970	33,00	mb	4,0	4,1
94	40,6000	34,2000	22.12.1969	33,00	mb	5,1	5,3
95	41,6000	36,2000	7.08.1969	33,00	mb	4,6	4,8
96	41,0600	34,3100	12.08.1967	33,00	mb	4,6	4,8
97	40,1000	35,4000	7.12.1966	78,00	mb	4,6	4,8
98	40,8000	36,1000	1.04.1962	10,00	MS	4,7	4,9
99	39,0900	35,9800	31.08.1960	70,00	MS	4,7	4,9
100	41,2100	36,4100	19.08.1954	30,00	MS	4,8	5,0
101	41,2800	34,2500	4.09.1950	10,00	MS	4,9	5,1
102	41,1100	34,8700	30.09.1944	10,00	MS	5,5	5,6
103	40,8700	36,4700	20.12.1942	10,00	MS	7,0	6,8
104	40,7600	34,8300	11.12.1942	40,00	MS	5,9	5,9
105	41,0400	34,8800	2.12.1942	20,00	MS	5,4	5,5
106	40,8200	34,4400	21.11.1942	80,00	MS	5,5	5,6
107	40,0000	35,5000	27.04.1941	35,00	MS	5,6	5,7
108	39,7200	35,5300	31.07.1940	10,00	MS	4,9	5,1
109	39,7500	35,5000	30.07.1940	35,00	MS	6,2	6,1
110	40,0400	35,2000	13.04.1940	30,00	MS	5,6	5,7
111	40,4700	37,0000	28.12.1939	40,00	MS	5,7	5,7
112	41,0500	37,0100	28.12.1939	10,00	MS	4,5	4,8
113	40,8300	36,8000	27.12.1939	10,00	MS	4,9	5,1
114	40,8000	36,8000	27.12.1939	30,00	MS	4,5	4,8
115	41,5000	34,5000	5.03.1935	30,00	MS	4,6	4,9
116	40,3100	36,5600	25.02.1934	10,00	MS	4,5	4,8
117	39,2000	34,8000	5.07.1928	10,00	MS	4,5	4,8
118	41,0200	34,4100	16.08.1923	40,00	MS	5,2	5,3
119	40,0700	36,4300	29.04.1923	10,00	MS	5,9	5,9
120	40,5800	35,1600	29.08.1918	10,00	MS	5,3	5,4
121	40,2700	36,8300	24.01.1916	10,00	MS	7,1	6,8
122	39,3000	36,1500	25.12.1915	10,00	MS	5,5	5,6
123	39,2000	36,0000	3.07.1914	10,00	MS	4,7	4,9
124	39,2500	36,0000	28.05.1914	10,00	MS	5,6	5,7
125	39,5000	36,5000	18.05.1914	10,00	MS	5,0	5,2
126	40,7000	34,5000	5.08.1910	10,00	MS	4,7	4,9
127	40,4000	36,9000	1.08.1910	10,00	MS	5,1	5,3
128	40,8800	34,5600	25.06.1910	10,00	MS	6,1	6,0
129	40,9000	34,6000	21.05.1910	10,00	MS	5,2	5,3
130	40,6000	35,9000	21.06.1908	10,00	MS	5,2	5,3
131	40,5000	37,0000	15.05.1905	10,00	MS	4,8	5,0
132	40,9000	35,6000	27.04.1903	10,00	MS	4,1	4,5
133	41,2000	35,2000	25.06.1902	10,00	MS	5,0	5,2
134	40,6300	36,7900	3.02.1902	10,00	MS	4,4	4,7
135	40,3000	36,4000	6.08.1900	10,00	MS	4,9	5,1

Yatay yer ivmesi hesaplamaları için Türkiye'de ve Dünya'da meydana gelmiş deprem verileri kullanılarak çeşitli sönüm denklemleri önerilmiştir (Douglas, 2011). Bu tez çalışması kapsamında önerilen sönüm denklemlerinden Türkiye'de yaygın olarak kullanılan İnan vd. (1996), Sabetta ve Pugliese (1987), Ulusay vd. (2004) ve Kayabalı ve Beyaz (2011)'in önermiş olduğu sönüm denklemleri kullanılarak yatay yer ivmesi hesaplanmıştır (Çizelge 2.4). Yatay yer ivmelerinin ortalaması Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Hesaplanan Yatay yer ivmesi (PGA) değerleri

No	Enlem	Boylam	Uzaklık (km)	Mw Verileri	Inan vd. (1996) (g)	Sabetta and Pugliese (1987) (g)	Ulusay vd. (2004) (g)	Kayabalı ve Beyaz (2011) (g)
1	40,689	35,467	65	5,0	0,105	0,012	0,020	0,008
2	40,545	36,598	96	4,1	0,019	0,005	0,005	0,003
3	40,751	34,281	134	4,6	0,030	0,006	0,003	0,003
4	39,012	35,842	124	4,3	0,021	0,005	0,003	0,003
5	39,564	34,358	124	4,6	0,032	0,006	0,004	0,003
6	40,668	36,674	109	4,1	0,017	0,005	0,004	0,003
7	40,664	36,681	109	4,0	0,015	0,004	0,004	0,003
8	40,000	36,389	67	4,5	0,049	0,008	0,013	0,006
9	40,995	34,373	144	4,2	0,016	0,004	0,002	0,002
10	40,116	34,381	106	4,5	0,032	0,006	0,006	0,004
11	40,815	36,169	91	4,5	0,037	0,007	0,008	0,004
12	39,377	35,270	87	4,0	0,018	0,005	0,006	0,004
13	39,025	35,893	123	4,1	0,015	0,004	0,003	0,003
14	39,080	35,910	118	4,6	0,034	0,006	0,005	0,004
15	40,588	34,815	86	4,4	0,033	0,007	0,008	0,004
16	40,535	35,025	69	4,2	0,030	0,006	0,010	0,005
17	38,834	35,536	143	4,2	0,016	0,004	0,002	0,002
18	40,610	34,770	91	4,4	0,032	0,006	0,007	0,004
19	40,371	34,483	101	4,2	0,021	0,005	0,005	0,003
20	40,634	34,804	90	4,3	0,028	0,006	0,007	0,004
21	40,550	34,760	87	4,8	0,060	0,009	0,011	0,005
22	40,621	36,884	121	4,8	0,045	0,007	0,005	0,004
23	39,105	36,116	120	4,4	0,025	0,006	0,004	0,003
24	40,666	34,852	89	4,2	0,024	0,006	0,007	0,004
25	39,770	36,730	102	4,6	0,038	0,007	0,007	0,004

Çizelge 2.4 Hesaplanan Yatay yer ivmesi (PGA) değerleri (devamı)

No	Enlem	Boylam	Uzaklık (km)	Mw Verileri	Inan vd. (1996) (g)	Sabetta and Pugliese (1987) (g)	Ulusay vd. (2004) (g)	Kayabalı ve Beyaz (2011) (g)
26	40,650	36,520	97	4,2	0,022	0,005	0,006	0,003
27	40,604	35,877	58	4,2	0,035	0,007	0,013	0,006
28	38,972	35,773	128	4,3	0,020	0,005	0,003	0,003
29	40,164	35,737	11	4,3	0,177	0,018	0,039	0,029
30	40,634	36,661	106	5,0	0,068	0,009	0,008	0,005
31	40,029	35,756	15	4,9	0,336	0,024	0,055	0,031
32	40,670	34,880	88	4,4	0,033	0,006	0,008	0,004
33	41,193	34,242	167	4,4	0,018	0,005	0,001	0,002
34	39,489	36,748	119	4,4	0,025	0,006	0,004	0,003
35	39,465	36,562	108	4,8	0,049	0,008	0,007	0,004
36	39,527	36,795	120	4,6	0,033	0,006	0,005	0,003
37	40,740	35,270	75	4,1	0,024	0,006	0,008	0,004
38	38,960	35,667	128	5,2	0,077	0,009	0,006	0,005
39	38,922	35,792	133	4,1	0,014	0,004	0,002	0,002
40	38,927	35,777	133	4,6	0,030	0,006	0,003	0,003
41	38,712	35,467	156	4,7	0,031	0,006	0,002	0,003
42	40,776	35,260	79	4,3	0,031	0,006	0,009	0,004
43	38,705	36,850	189	4,9	0,035	0,006	0,001	0,003
44	40,753	35,407	73	5,1	0,110	0,012	0,018	0,008
45	40,720	35,290	73	4,3	0,033	0,007	0,010	0,005
46	40,769	35,293	78	4,6	0,049	0,008	0,011	0,005
47	40,790	35,400	77	4,9	0,077	0,010	0,014	0,006
48	41,400	35,900	145	4,6	0,030	0,006	0,003	0,003
49	40,800	35,340	80	4,6	0,052	0,008	0,011	0,005
50	40,762	35,320	76	4,8	0,069	0,009	0,014	0,006
51	40,669	35,267	68	4,7	0,067	0,009	0,015	0,007
52	40,743	35,284	75	4,7	0,062	0,009	0,013	0,006
53	41,000	35,400	100	5,0	0,069	0,009	0,009	0,005
54	40,820	35,410	80	4,7	0,058	0,009	0,012	0,006
55	40,750	35,340	74	4,6	0,055	0,008	0,013	0,006
56	40,740	35,370	72	4,6	0,057	0,009	0,013	0,006
57	40,660	35,370	64	4,6	0,063	0,009	0,016	0,007
58	41,090	35,010	120	4,8	0,046	0,007	0,005	0,004
59	40,700	35,300	70	5,4	0,175	0,015	0,024	0,009
60	40,850	35,300	86	5,0	0,079	0,010	0,013	0,006
61	40,800	35,300	81	4,6	0,051	0,008	0,011	0,005
62	40,800	35,400	78	4,6	0,053	0,008	0,012	0,005
63	40,345	35,202	44	4,6	0,089	0,011	0,025	0,010
64	40,760	35,328	76	5,1	0,113	0,012	0,018	0,007
65	40,791	35,351	78	5,6	0,228	0,016	0,024	0,010

Çizelge 2.4 Hesaplanan Yatay yer ivmesi (PGA) değerleri (devamı)

No	Enlem	Boylam	Uzaklık (km)	Mw Verileri	Inan vd. (1996) (g)	Sabetta and Pugliese (1987) (g)	Ulusay vd. (2004) (g)	Kayabalı ve Beyaz (2011) (g)
66	40,698	35,290	70	5,2	0,136	0,013	0,021	0,008
67	40,850	36,240	97	4,7	0,049	0,008	0,008	0,005
68	40,651	35,424	62	5,4	0,201	0,016	0,029	0,011
69	39,436	36,865	131	4,7	0,038	0,007	0,004	0,003
70	40,280	35,240	37	4,7	0,117	0,013	0,030	0,012
71	40,576	35,880	56	4,6	0,072	0,010	0,019	0,008
72	40,919	35,980	94	5,1	0,093	0,011	0,012	0,006
73	40,834	35,908	83	4,9	0,072	0,009	0,013	0,006
74	40,559	35,949	57	5,1	0,147	0,014	0,027	0,010
75	40,586	35,833	55	4,7	0,082	0,010	0,021	0,008
76	39,010	35,398	124	4,8	0,044	0,007	0,005	0,004
77	38,967	35,544	128	4,7	0,038	0,007	0,004	0,004
78	40,648	34,771	93	4,8	0,058	0,008	0,010	0,005
79	40,849	34,593	119	4,7	0,041	0,007	0,005	0,004
80	40,556	35,808	51	4,7	0,087	0,011	0,022	0,009
81	40,593	35,863	57	4,6	0,070	0,010	0,019	0,007
82	39,190	36,014	108	4,6	0,039	0,007	0,006	0,004
83	40,520	36,632	97	4,6	0,043	0,007	0,008	0,004
84	40,657	36,003	68	4,6	0,060	0,009	0,015	0,006
85	38,900	36,977	179	4,6	0,025	0,005	0,001	0,002
86	40,536	34,960	73	4,6	0,056	0,009	0,013	0,006
87	40,088	35,003	53	4,6	0,075	0,010	0,020	0,008
88	40,878	36,058	92	4,7	0,051	0,008	0,009	0,005
89	40,906	34,598	123	4,4	0,024	0,005	0,004	0,003
90	40,610	35,790	57	5,4	0,217	0,016	0,032	0,012
91	40,909	35,983	93	4,6	0,045	0,008	0,008	0,005
92	38,837	36,785	174	5,1	0,047	0,007	0,002	0,003
93	38,850	36,880	178	4,6	0,025	0,005	0,001	0,002
94	40,600	34,200	132	4,8	0,042	0,007	0,004	0,004
95	41,600	36,200	172	4,7	0,029	0,006	0,002	0,003
96	41,060	34,310	153	4,6	0,029	0,006	0,002	0,003
97	40,100	35,400	19	4,6	0,191	0,018	0,043	0,022
98	40,800	36,100	86	6,2	0,492	0,023	0,030	0,013
99	39,090	35,980	118	4,7	0,041	0,007	0,005	0,004
100	41,210	36,410	139	4,3	0,018	0,005	0,002	0,003
101	41,280	34,250	173	4,6	0,026	0,006	0,001	0,002
102	41,110	34,870	127	4,6	0,034	0,006	0,004	0,003
103	40,870	36,470	111	5,6	0,167	0,014	0,012	0,007
104	40,760	34,830	98	5,5	0,146	0,013	0,014	0,007
105	41,040	34,880	120	4,8	0,046	0,007	0,005	0,004

Çizelge 2.4 Hesaplanan Yatay yer ivmesi (PGA) değerleri (devamı)

No	Enlem	Boylam	Uzaklık (km)	Mw Verileri	Inan vd. (1996) (g)	Sabetta and Pugliese (1987) (g)	Ulusay vd. (2004) (g)	Kayabalı ve Beyaz (2011) (g)
106	40,820	34,440	127	5,7	0,164	0,014	0,009	0,006
107	40,000	35,500	16	4,9	0,311	0,023	0,054	0,029
108	39,720	35,530	45	4,7	0,099	0,012	0,026	0,010
109	39,750	35,500	42	4,6	0,093	0,011	0,026	0,010
110	40,040	35,200	37	4,6	0,104	0,012	0,029	0,011
111	40,470	37,000	124	4,7	0,039	0,007	0,005	0,004
112	41,050	37,010	157	4,9	0,041	0,007	0,003	0,003
113	40,830	36,800	128	4,7	0,038	0,007	0,004	0,004
114	40,800	36,800	126	5,1	0,063	0,009	0,006	0,004
115	41,500	34,500	180	4,6	0,025	0,005	0,001	0,002
116	40,310	36,560	83	4,7	0,057	0,008	0,011	0,005
117	39,200	34,800	124	4,6	0,035	0,007	0,004	0,003
118	41,020	34,410	143	4,6	0,031	0,006	0,003	0,003
119	40,070	36,430	69	4,6	0,059	0,009	0,014	0,006
120	40,580	35,160	65	4,4	0,043	0,008	0,013	0,006
121	40,270	36,830	105	4,7	0,046	0,008	0,007	0,004
122	39,300	36,150	101	5,0	0,068	0,009	0,009	0,005
123	39,200	36,000	107	4,6	0,040	0,007	0,006	0,004
124	39,250	36,000	102	4,9	0,060	0,009	0,008	0,005
125	39,500	36,500	102	5,1	0,087	0,010	0,010	0,006
126	40,700	34,500	115	4,7	0,042	0,007	0,006	0,004
127	40,400	36,900	114	5,1	0,070	0,009	0,007	0,005
128	40,880	34,560	124	5,1	0,064	0,009	0,006	0,004
129	40,900	34,600	123	4,6	0,035	0,007	0,004	0,003
130	40,600	35,900	59	4,6	0,068	0,010	0,018	0,007
131	40,500	37,000	125	5,2	0,081	0,010	0,006	0,005
132	40,900	35,600	87	5,3	0,127	0,012	0,016	0,007
133	41,200	35,200	125	5,5	0,117	0,012	0,008	0,006
134	40,630	36,790	115	4,7	0,042	0,007	0,006	0,004
135	40,300	36,400	70	4,9	0,085	0,010	0,017	0,007

Yapılan tüm bu işlemler ile dört farklı araştırmacının önermiş olduğu sönüm denkleri kullanılarak AFAD veri tabanından alınan deprem kayıtları ile deprem esnasında çalışma alanında gözlenebilecek yatay yer ivmesi (PGA) değerleri elde edilmiştir. Analizlerde kullanılacak yatay yer ivmesi değerinin belirlenebilmesi için elde edilen tüm verilerin ortalaması alınmış ve Çizelge 2.5'de araştırmacılara ait yatay yer ivmesi değerlerinin ortalaması gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Hesaplanan yatay yer ivmelerinin (PGA) ortalaması

Araştırmacılar	PGA (g) (ortalama)
İnan vd. (1996)	0,067
Sabetta ve Pugliese (1987)	0,009
Ulusay vd. (2004)	0,011
Kayabalı ve Beyaz (2011)	0,006

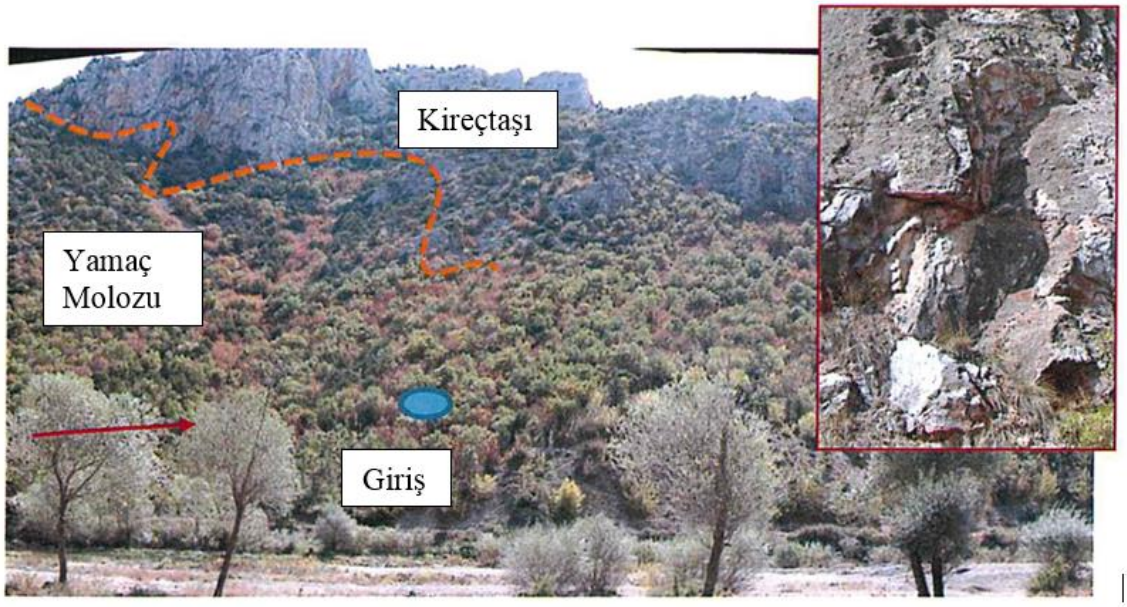
Elde edilen veriler incelendiğinde PGA ortalamasının en fazla 0,067 g ile İnan vd. (1996)'ya ait olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu tez kapsamında yapılacak olan analizlerde güvenli tarafta kalmak amacıyla PGA=0,067 olarak kullanılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çekerek tüneli portal ve eksen kısımları boyunca geçilecek jeolojik birimlerin mühendislik jeolojisi açısından tanım ve değerlendirmeleri bu bölüm altında yapılmıştır. Önerilen bu tanım ve değerlendirmeler doğrultusunda jeoteknik değerlendirmeler gerçekleştirilmiş ve tünel hesap raporlarının oluşturulmasında gereksinim duyulacak veriler elde edilmiştir.

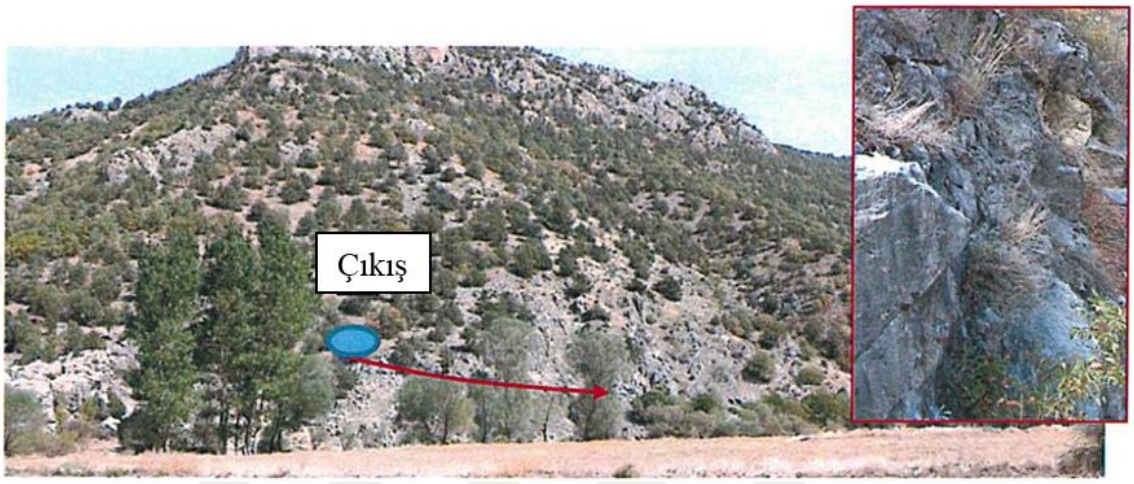
3. 1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları sonucunda yaklaşık 601 m uzunluğundaki tünelli geçişin portal-1 kesiminde kireçtaşından türemiş çakıl, blok ve silt türü malzemeden oluşan yamaç molozu içerisinde, tünel ekseninin büyük bir bölümünde kireçtaşı içerisinde kalacağı belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Tünel portal-1 ve eksen kesiminde karşılaşılacak kireçtaşı birimi

Eksenin devamında ve portal-2 kesiminde ise dolerit geçilecektir (Şekil 3.2). Jeofizik çalışmalar sonucunda belirlenen ve yaklaşık olarak KM:14+100-14+170 arasında mevcut olan ayrışmış zon haricinde bu iki kayaç türü dışında başka bir oluşumla karşılaşılmayacaktır.



Şekil 3.2 Eksen kesiminin bir bölümünde ve portal-2 kesiminde gözlenen dolerit birimi

3. 1. 1 Sondaj çalışmaları

Arazi çalışmaları sonucunda portal-1, kireçtaşından türemiş çakıl, blok ve silt türü malzemeden oluşan yamaç molozlarının olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Tünelin portal-1 kesiminde gözlenen yamaç molozları

Bu birim; portal tasarımına yönelik jeoteknik değerlendirmeler açısından belirsizlik yaşanmasına neden olmuştur. Bunun netleştirilmesi, amacıyla portal-1 kesiminde bir adet sondajlı araştırma yapılmasına gereksinim duyulmuştur. Çalışma sonucunda 17 m. kalınlığında yamaç molozu birimi geçildikten sonra kireçtaşı birimine girdiği belirlenmiştir. Tünelin portal-1 kesimi, kireçtaşı biriminde kalacak şekilde projelendirilerek portal-1 kesimi ve portal şevlerinin yamaç molozundan kurtarılması sağlanmıştır.

3. 2 Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanında tünel portal-1 kesiminde yapılan sondaj çalışması ve potal-2 kesiminden alınan blok numunelerde tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı parametrelerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Sondaj numunelerinde elde edilen UCS, Et ve ν değerleri

KUYU NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	ÇAP (cm)	BOY (cm)	Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Kırılma Yükü (kN)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Teğetsel Elastisite Modülü (E_t) (GPa)	Poisson Oranı (ν)
13+660	1	21,20-21,40	4,75	9,50	2,80	64	36	25	0,39
	2	21,40-21,60	4,75	9,50	2,86	47	26	17	0,34
	3	24,00-24,25	4,75	9,50	2,92	45	26	14	0,32
	4	24,40-24,80	4,75	9,50	2,96	64	36	22	0,38
	5	26,85-27,00	4,75	9,50	3,11	39	22	12	0,31
	6	30,00-30,40	4,75	9,50	3,11	41	23	14	0,33
	7	31,60-31,75	4,75	9,50	2,95	51	29	19	0,35
	8	34,50-35,00	4,75	9,50	2,86	54	31	18	0,35

Sondaj numunelerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda,

- birim ağırlığının en düşük 2,80 gr/cm^3, en fazla 3,11 gr/cm^3 ve ortalamasının da 2,95 gr/cm^3 olduğu,
- kırılma yükünün en düşük 40 kN, en fazla 64 kN ve ortalamasının 51 kN olduğu,
- tek eksenli basınç dayanımı değerinin en düşük 22 MPa, en fazla 36 MPa ve ortalamasının 29 MPa olduğu,
- teğetsel elastisite modülünün en düşük 12 GPa, en fazla 25 GPa ve ortalamasının 18 GPa olduğu,
- Poisson oranının en düşük 0.31, en fazla 0.39 ve ortalamasının 0.35 olduğu

belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 Blok numunelerden elde edilen UCS, Et ve ν değerleri

BLOK NO	ÇAP (cm)	BOY (cm)	Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Kırılma Yükü (kN)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Teğetsel Elastisite Modülü (Et) (GPa)	Poisson Oranı (ν)
B-1	5.50	12.45	2.63	105	44	21	0.26
B-2	5.50	12.40	2.66	137	58	27	0.25
B-3	5.50	11.00	2.91	30	13	9	0.31

Blok numunelerde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda,

- birim ağırlığın en düşük 2,63 gr/cm^3, en fazla 2,91 gr/cm^3 ve ortalamasının da 2,73 gr/cm^3 olduğu,
- kırılma yükünün en düşük 30 kN, en fazla 137 kN ve ortalamasının 91 kN olduğu,
- tek eksenli basınç dayanımı değerinin en düşük 13 MPa, en fazla 58 MPa ve ortalamasının 38 MPa olduğu,
- teğetsel elastisite modülünün en düşük 9 GPa, en fazla 27 GPa ve ortalamasının 19 Gpa olduğu,
- poisson oranının en düşük 0.25, en fazla 0.31 ve ortalamasının 0.27 olduğu

belirlenmiştir.

4. TÜNEL JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMELERİ

Tez kapsamına konu olan Çekerek Tüneli incelenirken, tünel portalleri ve eksen kesimi bölümlere ayrılarak incelenmiştir. Portal kesimlerinde örtü kalınlığının az olması ve buna bağlı olarak da bulonlu destekler önerilemeyeceği için analiz yapılırken eksen kesiminden ayrı olarak incelenmekte ve bu kesimlere sürenli destek sistemi önerilmiştir. Ayrıca eksen kesiminde yer alan jeolojik birimler incelendiğinde, kireçtaşı, dolerit ve ayrışmış dolerit birim geçişleri dikkate alınarak eksen kesimi dört parçaya ayrılarak incelenmiştir (Çizelge 4.1).

Çalışma alanında yer alan jeolojik birimlerin mühendislik jeolojisi açısından ve birimlerin jeomekanik özelliklerini ortaya koyan tanımlamalar üzerinden yapılacak olan değerlendirmeler ile tünelin geçtiği güzergahta yer alan kireçtaşı ve dolerit intrüzyonunda kaya kütle sınıflamaları yapılmış ve buna bağlı olarak da tünel destek sistemi önerilerinde bulunulmuştur. Bu destek sistemleri oluşturulurken tünel ekseni boyunca en kritik gömülme derinlikleri dikkate alınmıştır. Kullanılan kritik gömülme derinlikleri jeolojik birim türü, birim özellikleri ve tünel üzerinde yer alan birim kalınlıkları dikkate alınarak bölümlere ayrılmış ve bu bölümler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Çekerek Tüneline ait bölümlendirmeler

Tünel Kesimi	Sembol	İstasyonu (KM)	Uzunluk (m)	Kritik Gömülme Derinliği (m)	Kritik Kesit KM'si	Jeoloji
Portal-1	**P-1**	KM:13+673-KM:13+730	57	20,0	KM:13+730	Kireçtaşı
Tünel Ekseni-1	**TE-1**	KM:13+730-KM:13+975	245	130,0	KM:13+917	Kireçtaşı
Tünel Ekseni-2	**TE-2**	KM:13+975-KM:14+100	125	108,0	KM:13+975	Dolerit
Tünel Ekseni-3	**TE-3**	KM:14+100-KM:14+170	70	76,0	KM:14+100	Ayrş. Dolerit
Tünel Ekseni-4	**TE-4**	KM:14+170-KM:14+260	90	52,0	KM:14+170	Dolerit
Portal-2	**P-2**	KM:14+260-KM:14+274	14	20,0	KM:14+260	Dolerit

601 m uzunluğundaki tünelli geçişin Portal-1 ve Tünel Ekseni-1 kesimi kireçtaşı birimi içerisinde kalacaktır. Tünel Ekseni-2, Tünel Ekseni-4 ve Portal-2 kesimi dolerit birimi içerisinde kalmaktadır. Tünel Ekseni-3 kesimi ise dolerit birimine göre nispeten daha düşük dayanım değerleri sunan ayrışmış dolerit birimi içerisinde kalmaktadır. Tüm bu jeolojik değişimler ve portal kesimlerinin ayrı incelenmesi gerekliliği göz önüne alındığında çalışma alanında konu olan tünel altı bölüme ayrılmış ve her bölüm için ayrı analizler yapılarak destek sistemleri önerilmiştir.



Şekil 4.1 Tünel güzergahının 3 boyutlu görüntüsü

4. 1 Araştırma Verilerinin Değerlendirilmesi

Portal-1 kesiminde, kireçtaşının mekanik ayrışması sonucunda oluşmuş çakıl, blok ve silt türü malzemelerin bulunduğu yamaç molozu birimi gözlenmiştir. Bu birimin kalınlığının ve altında bulunan birimin tespit edilmesi amacıyla 35,0 m. derinliğinde sondaj çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda; 0,0-17,0 m. arasında sıkı-çok sıkı özellikte killi siltli kumlu iri bloklu çakıl malzemelerin bulunduğu yamaç molozunun olduğu, 17,0-35,0 m. arasında ise orta dayanımlı kırıklı çatlaklı kireçtaşı biriminin olduğu belirlenmiştir.

Yamaç molozu gibi akıcı özellik sunan malzemenin portal-1 kesiminde yer alması ve bu özelliğinden dolayı da tünel kazısı sırasında duraylılık sorunlarının yaşanabilmesi muhtemel olduğu için tünelin girişi daha çok sağlam kaya içerisinde kalacak şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşımla, söz konusu zemin malzemesinin tamamen sıyrılarak kaldırılması ve portal şevleri ile portal kesiminin zayıf zondan kurtarılması sağlanmıştır. Ayrıca tünelin sağ omuzlarında et kalınlığının arttırılması açısından da gerekli olarak değerlendirilmiştir.

Portal-1 kesiminde, egemen jeolojik birimin kireçtaşı olduğu arazi gözlemleri ile belirlenmiştir. Sondajlı araştırma verileri ve laboratuvar deney sonuçları doğrultusunda kireçtaşının orta/yüksek dayanımlı özellik sunduğu gözlenmiştir. Sondaj çalışmaları ile alınan karot numuneleri ile çeşitli araştırmaların yaptığı çalışmalardan yararlanılarak elde edilen ve bu bölüm için analizlerde kullanılacak olan parametreler ve açıklamaları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Portal-1 kesimi için kullanılan parametreler

Tanım	Değer	Açıklama
σ_c (MPa)	29	Deney sonuçlarının ortalaması
γ (gr/cm^3)	2,95	Deney sonuçlarının ortalaması
RQD (%)	36	J_v değeri ile hesaplanmıştır (Palmstrom, 1982)
E_i (GPa)	13	Deney sonuçlarının ortalaması
E_{rm} (GPa)	34	Roclab ile elde edilen değer (Hoek ve Diederichs, 2006)
ν	0,35	Deney sonuçlarının ortalaması

Tünel ekseni-1 kesiminde arazi koşullarının elverişli olmaması nedeniyle bu kesimi temsil edecek sondaj çalışması yapılamamıştır. Ancak yapılan arazi gözlemleri ile bu kesiminde portal-1 kesiminde gözlenen kireçtaşı birimi içerisinde kalacağı belirlenmiştir. Bu nedenle de bu kesim için yapılacak olan analizlerde kullanılacak parametreler portal-1 kesiminden yararlanılarak elde edilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Tünel Ekseni-1 kesimi için kullanılan parametreler

Tanım	Değer	Açıklama
σ_c (MPa)	29	Deney sonuçlarının ortalaması
γ (gr/cm^3)	2,95	Deney sonuçlarının ortalaması
RQD (%)	36	J_v değeri ile hesaplanmıştır (Palmstrom, 1982)
E_i (GPa)	13	Deney sonuçlarının ortalaması
E_{rm} (GPa)	34	Roclab ile elde edilen değer (Hoek ve Diederichs, 2006)
ν	0,35	Deney sonuçlarının ortalaması

Tünel Ekseni-2 kesiminde Portal-1 ve Tümel Ekseni-1 kesiminde yer alan kireçtaşı birimi değiştiği ve egemen jeolojik birim yüksek/orta dayanımlı dolerit birimi olduğu arazi gözlemleri ile belirlenmiştir. Tünel Ekseni-2 kesiminde arazi koşullarının elverişli olamaması nedeniyle sondaj çalışması yapılamamıştır. Ancak Tünel Ekseni-2, Tünel Ekseni-3, Tünel Ekseni-4 ve Portal-2 kesiminde yer alan dolerit biriminin jeomekanik özelliklerini belirlemek amacıyla Portal-2 kesiminden blok numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak sayısal analizlerde kullanılacak parametreler elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Tünel Ekseni-2 ve Tünel Ekseni-4 kesimi için kullanılan parametreler

Tanım	Değer	Açıklama
σ_c (MPa)	38	Deney sonuçlarının ortalaması
γ (gr/cm^3)	2,73	Deney sonuçlarının ortalaması
RQD (%)	30	Jv değeri ile hesaplanmıştır (Palmstrom, 1982)
E_i (GPa)	19	Deney sonuçlarının ortalaması
E_{rm} (GPa)	46	Roclab ile elde edilen değer (Hoek ve Diederichs, 2006)
ν	0,27	Deney sonuçlarının ortalaması

Tünel Ekseni-3 kesiminde çevresindeki eksenlerde yüzlek veren dolerit birimine göre daha fazla fiziksel ayrışmaya uğramış dolerit birimi gözlenmiştir. Gözlenen bu birim nispeten daha fazla sağlam kaya özelliği sunan dolerit biriminden ayrılmış ve ayrışmış dolerit birimi olarak tanımlanmış ve bu kesim için farklı jeoteknik parametreler belirlenerek ayrıca incelenmesine karar verilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Tünel ekseni-3 kesimi için kullanılan parametreler

Tanım	Değer	Açıklama
σ_c (MPa)	10	Deney sonuçları min. değerinin indirgenmiş
γ (gr/cm^3)	2,73	Deney sonuçlarının ortalaması
RQD (%)	10	Jv değeri ile hesaplanmıştır (Palmstrom, 1982)
E_i (GPa)	3,5	Roclab ile elde edilen değer (Hoek ve Diederichs, 2006)
E_{rm} (GPa)	0,25	Roclab ile elde edilen değer (Hoek ve Diederichs, 2006)
ν	0,27	Deney sonuçlarının ortalaması

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi güvenli tarafta kalmak amacıyla bu kesim için kullanılacak olan tek eksenli basınç değeri, blok numunelerden elde edilen en düşük değerin (13 MPa) indirgenmesi ile elde edilmiştir.

Portal-2 kesiminde egemen jeolojik birim daha fazla sağlam kaya özelliği sunan dolerit birimi olmaktadır. Tünel kazı çalışmalarında, tünel portal tasarımı tünel duraylılığı açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Tünel giriş ve portal kazısı sırasında var olan doğal gerilmelerin yerini ikincil gerilmeler almakta ve bu gerilmeler en çok tünel portal kısımlarında yoğunlaşmaktadır (Kırmızıoğlu ve Özbek, 2017). Bu nedenle Portal-2 kesimi için kullanılacak olan parametreler belirlenirken Tünel-Ekseni-2 ve Tünel Ekseni-4'de kullanılan değerlerde farklı kullanılmıştır.

Çizelge 4.6 Portal-2 kesimi için kullanılan parametreler

Tanım	Değer	Açıklama
σ_c (MPa)	38	Deney sonuçlarının ortalaması
γ (gr/cm^3)	2,73	Deney sonuçlarının ortalaması
RQD (%)	30	Jv değeri ile hesaplanmıştır (Palmstrom, 1982)
E_i (GPa)	9	Deney sonuçlarının min. değeri
E_{rm} (GPa)	2	Roclab ile elde edilen değer (Hoek ve Diederichs, 2006)
ν	0,27	Deney sonuçlarının ortalaması

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi güvenli tarafta kalabilmek amacıyla ve portal tasarımının tünel duraylılığı açısından önem arz etmesi nedeniyle laboratuvar numunesinin elastisite modülü (E_i) deney sonuçlarının ortalaması değil, deney sonuçlarının en düşük değeri seçilerek tasarım yapılmıştır.

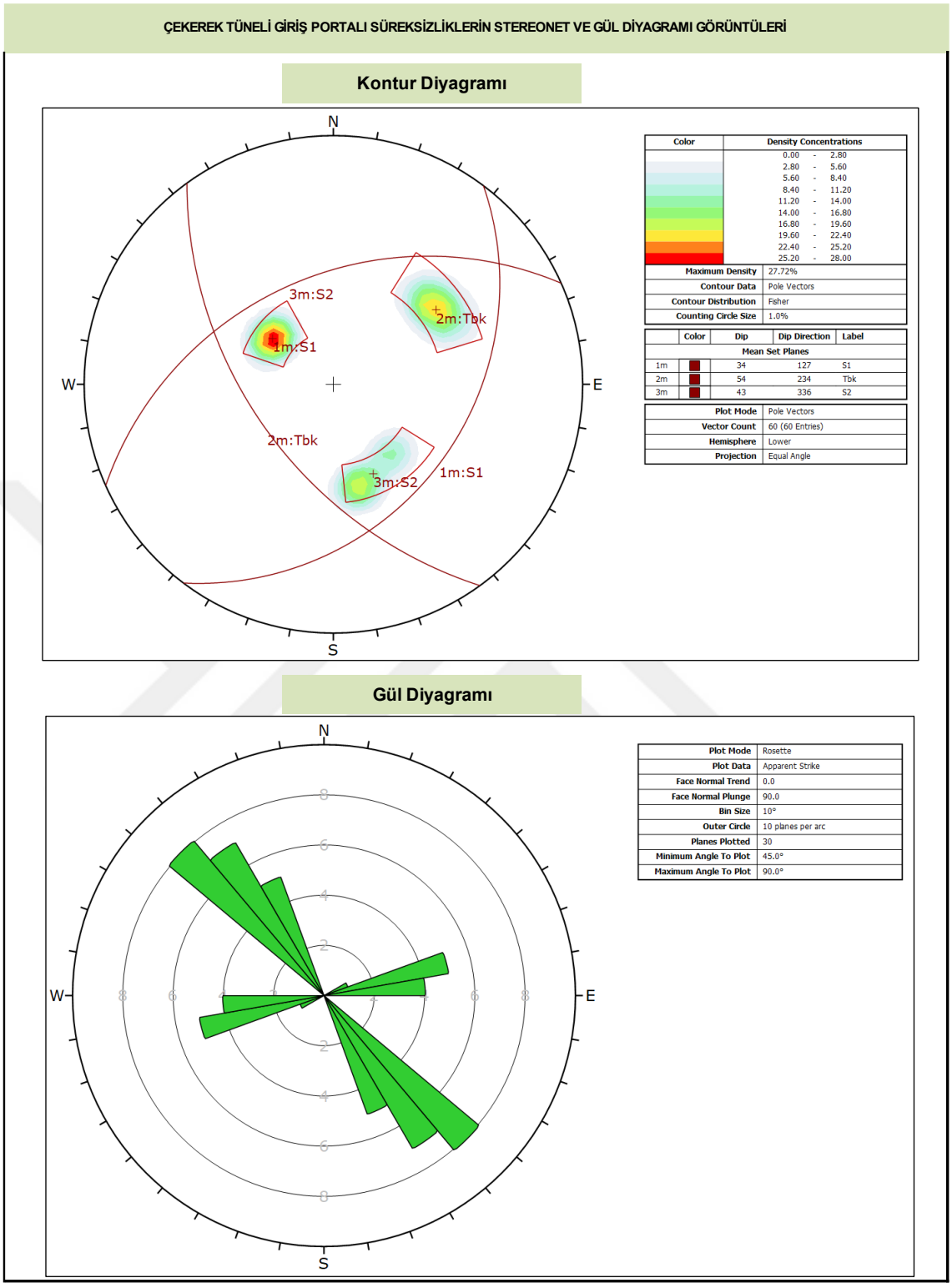
4. 2 Portal Şevlerinin Değerlendirilmesi

Portal-1 çalışma alanında yer alan kireçtaşları; yüksek/orta dayanımlı ve çoğunlukla mineral (kalsit) dolgulu özellikte izlenmektedir. Arazi çalışmaları ile gözlenen üç süreksizlik setine ait ölçümler alınmış olup ölçüm değerleri Çizelge 4.7 'te gösterilmiştir.

Üç süreksizlik setinde her bir süreksizlik seti için alınan 20 adet ölçüm sonucunda toplam 60 adet ölçüme ait dağılımlar ve süreksizlik setlerini temsil edecek şekilde alansal belirleme yardımıyla elde edilen 3 adet süreksizliğe ait bilgiler Şekil 4.2'de, süreksizliklerin genel özellikleri de Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Portal-1 kesimi için ölçülen süreksizlik değerleri

NO	Set:1		Set:2		Set:3	
	Eğim Miktarı/Yönü		Eğim Miktarı/Yönü		Eğim Miktarı/Yönü	
1	37	129	54	228	48	343
2	38	122	51	223	47	339
3	33	112	48	240	45	348
4	32	116	51	235	42	339
5	33	124	52	221	43	346
6	32	117	48	225	45	351
7	39	117	53	228	45	342
8	36	130	58	228	45	351
9	36	127	57	238	48	346
10	34	125	53	243	48	350
11	30	136	54	232	45	345
12	33	124	54	229	40	322
13	36	139	60	242	48	350
14	35	124	53	236	38	312
15	29	129	60	237	37	318
16	35	136	58	228	38	326
17	30	130	58	244	42	314
18	33	136	56	246	40	331
19	34	131	53	237	42	323
20	30	129	55	233	43	319

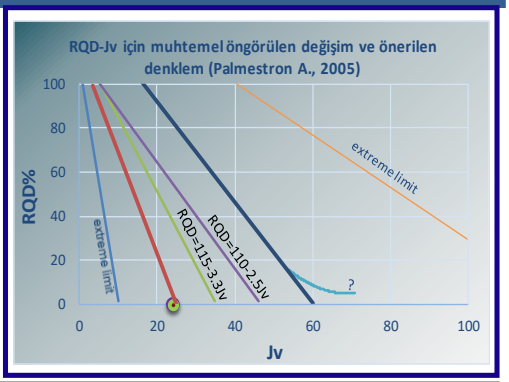


Şekil 4.2 Portal-1'de baskın süreksizlik setlerinin stereonet üzerinde görünümü

ÇEKEREK TÜNELİ PORTAL-1 SÜREKSİZLİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Set Numarası	T	E1	E2
Türü	Tabaka	Süreksizlik	Süreksizlik
Ort.Eğim Miktarı/Yönü	54/234	34/127	43/336
Aralığı, mm	200-600	200-600	200-600
Açıklığı, mm	2.5-10.0	0.25-0.5	0.25-0.5
Uzunluk, m	3.0-10.0	3.0-10.0	3.0-10.0
Pürüzlülük	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü
Dalgalılık	Dalgalı	Dalgalı	Dalgalı
Ayrışma	Az Ayrışmış	Az Ayrışmış	Az Ayrışmış
Dolgu Malzemesi	Kalsit dolgulu		
Su Durumu (Jw)	Kuru		
Sürtünme Açısı	35	35	35
Blok boyutu, Jv (Jv: 1/S1 +1/S2 +1/S3)	S_1	S_2	S_3
	100	100	250
	24.00		
RQD	*Uzun ve Düz bloklar için uygun*	*RQD: 115-3.3 Jv (Palmstrom, 1982)*	*36*
	Kübik bloklar için uygun	*RQD: 110-2.5 Jv (Palmstrom, 2005)*	*50.0*

Notlar: Kireçtaşı tabakalalarındaki kalınlık/devamlılık oranı az olduğundan uzun/düz blok gibi değerlendirilmiştir



Sınıf	Kaya Kütle Ayrışma (ISRM, 1981)	
I	Taze	Ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz renk değişimleri
II	Az	Süreksizlik yüzeyi ve kaya kütlesinde renk değişimi
III	Orta	Kaya kütlesinin önemli bir kesimi dayanım kaybına uğramış, taze kaye çekirdek
IV	Tamamen	Kaya kütlesi tamamı toprak zemine dönüşmüş ancak ilksel kaya dokusu korunmaktadır
V	Toprak Zemin	Kaya kütlesi tamamı toprak zemine dönüşmüş, ilksel kaya dokusu kaybedilmiştir.

Sınıf	Aralık, mm	Tanımlama (ISRM, 1981)
I	< 20	Çok dar
II	20-60	Dar
III	60-200	Yakın
IV	200-600	Orta derecede
V	600-2000	Geniş
VI	2000-6000	Çok geniş
VII	>6000	İleri derecede geniş

Sınıf	Açıklık, mm	Tanımlama (ISRM, 1981)
I	<0.1	Çok sıkı
II	0.1-0.25	Sıkı
III	0.25-0.5	Kısmen açık
IV	0.5-2.5	Açık
V	2.5-10.0	Orta derecede geniş
VI	>10	Geniş
VII	10-100	Çok geniş
VIII	10-1000	Aşırı geniş
IX	>1000	Boşluklu

Sınıf	Uzunluk, m	Tanımlama (ISRM, 1981)
I	< 1	Çok düşük
II	1 - 3	Düşük derecede
III	3 - 10	Orta derecede
IV	10 - 20	Yüksek
V	> 20	Çok yüksek

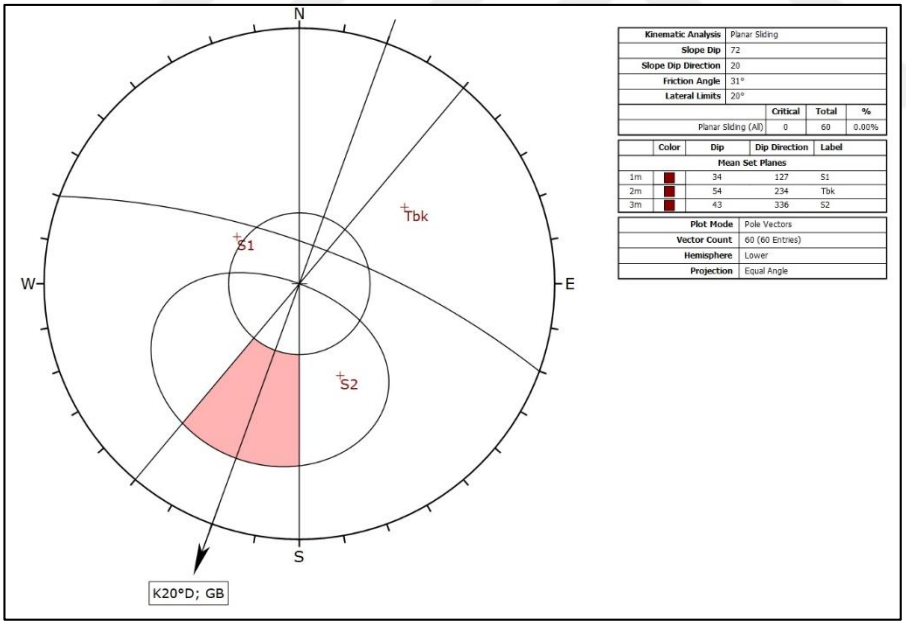
Sınıf	Pürüzlülük	Dalgalılık (ISRM, 1981)
I	Kaygan/Parlak	Düzlemsel
II	Düz	Az dalgalı
III	Pürüzlü	Dalgalı
IV	Çıkıntılı	Kavisli
V	Basamaklı	Kıvrımlı

Sınıf	Jv (/m3)	Eklem tanımı (Palmstrom, 1996)
I	<0.3	Masif
II	0.3-1.0	Çok az eklemli
III	1-3	Az eklemli
IV	3-10	Orta eklemli
V	10-30	Çok eklemli
VI	30-100	İleri derecede
VII	>100	Parçalanmış

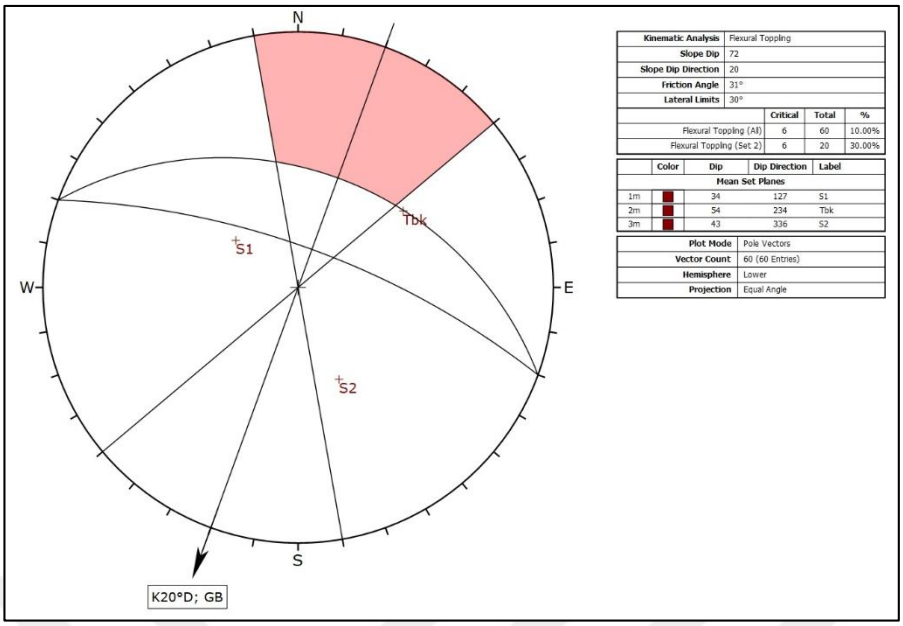
Şekil 4.3 Portal-1'de gözlenen süreksizlik setlerinin genel özellikleri

Portal-1'de yer alan kireçtaşı biriminde süreksizlik etkisi altında herhangi bir duraysızlık probleminin oluşup oluşmayacağının belirlenmesi amacıyla elde edilen üç adet süreksizlik seti kullanılarak sağ, sol ve alın şevinde kinematik analiz çalışması yapılarak düzlemsel, devrilme ve kama tipi duraylılık riskleri incelenmiştir.

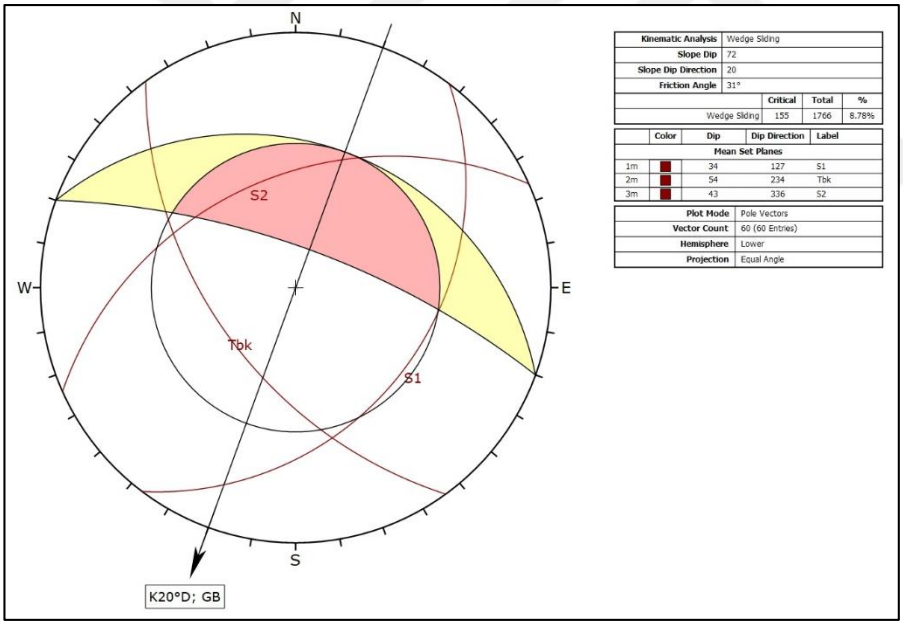
Arazi çalışmaları sırasında süreksizliklerin içsel sürtünme açısı tiltmetre cihazı kullanılarak ölçüm alınamadığı için bu parametre kullanılırken Barton ve Choubey (1977)'nin önermiş olduğu değerlerden yararlanılmıştır. Barton ve Choubey (1977), Portal-1 kesiminde yer alan kireçtaşı birimi için süreksizlik içsel sürtünme açısının 31-37° arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu çalışmadan yola çıkarak içsel sürtünme açıları 31° ve 37° alınarak iki farklı kinematik analiz yapılmıştır. İçsel sürtünme açısı 31° alınarak yapılan analizler Şekil 4.4 ile Şekil 4.12, 37° alınarak yapılan analizler Şekil 4.13 ile Şekil 4.21 arasında gösterilmiştir.



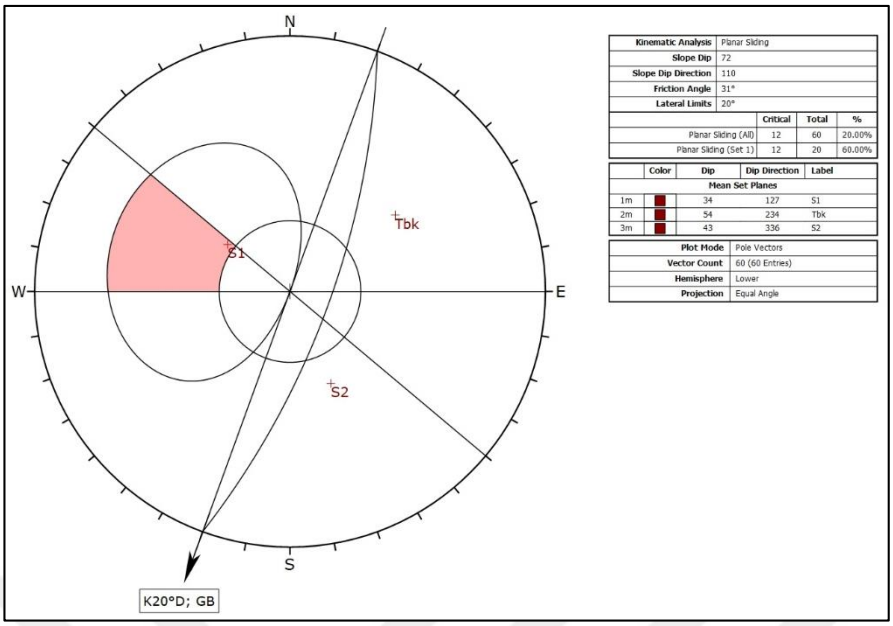
Şekil 4.4 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi



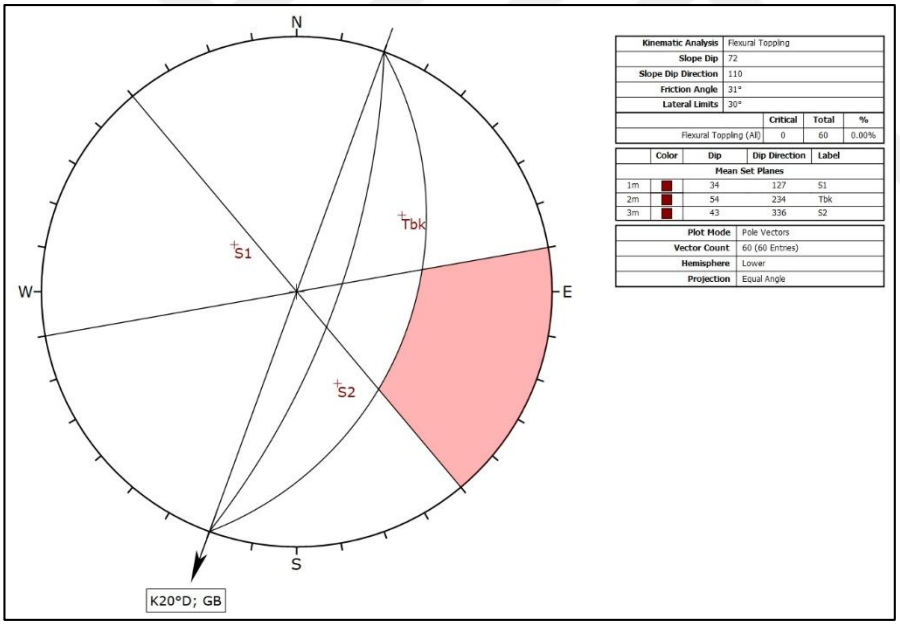
Şekil 4.5 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi



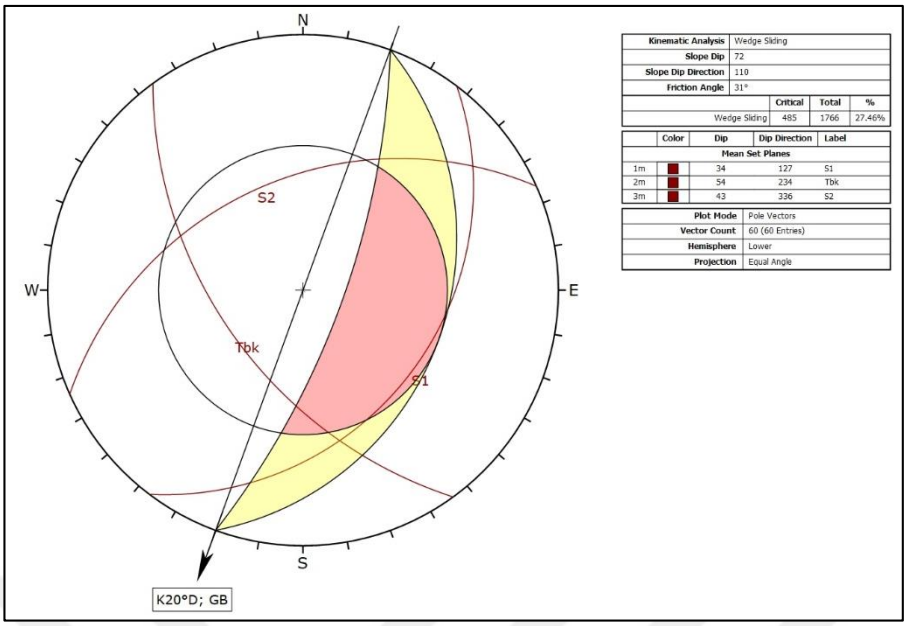
Şekil 4.6 Alın şevi kama tipi kayma analizi



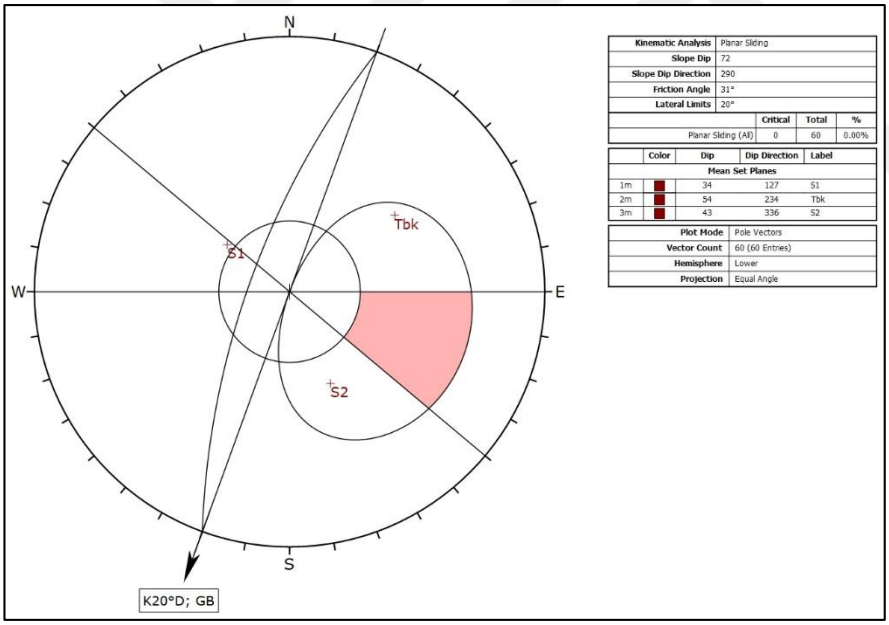
Şekil 4.7 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi



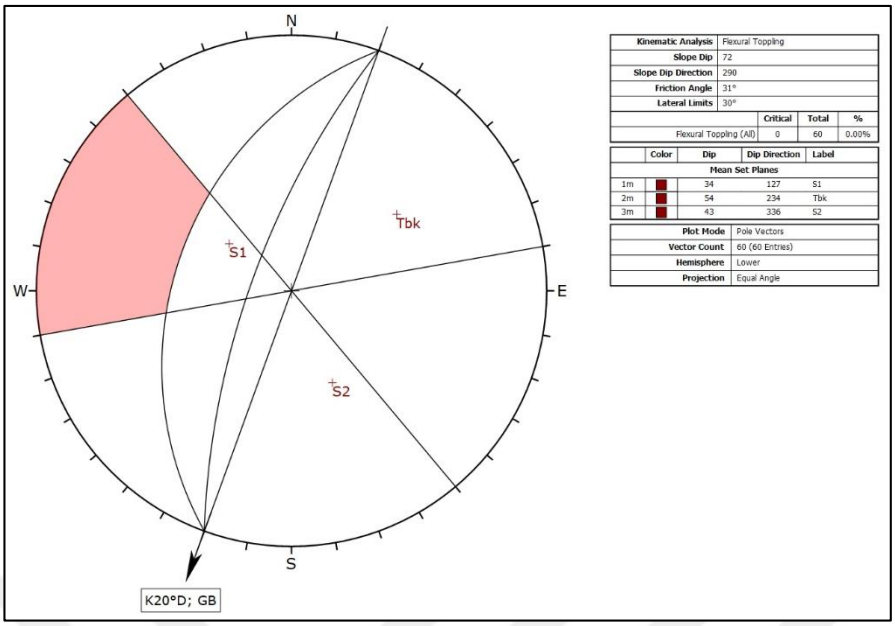
Şekil 4.8 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi



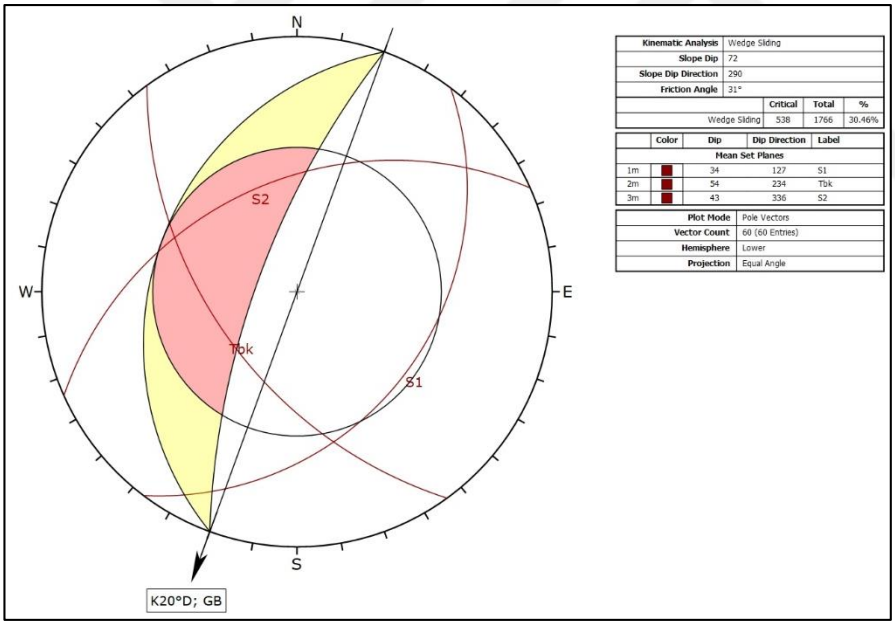
Şekil 4.9 Sağ şev kama tipi kayma analizi



Şekil 4.10 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi



Şekil 4.11 Sol şev devrilme tipi kayma analizi

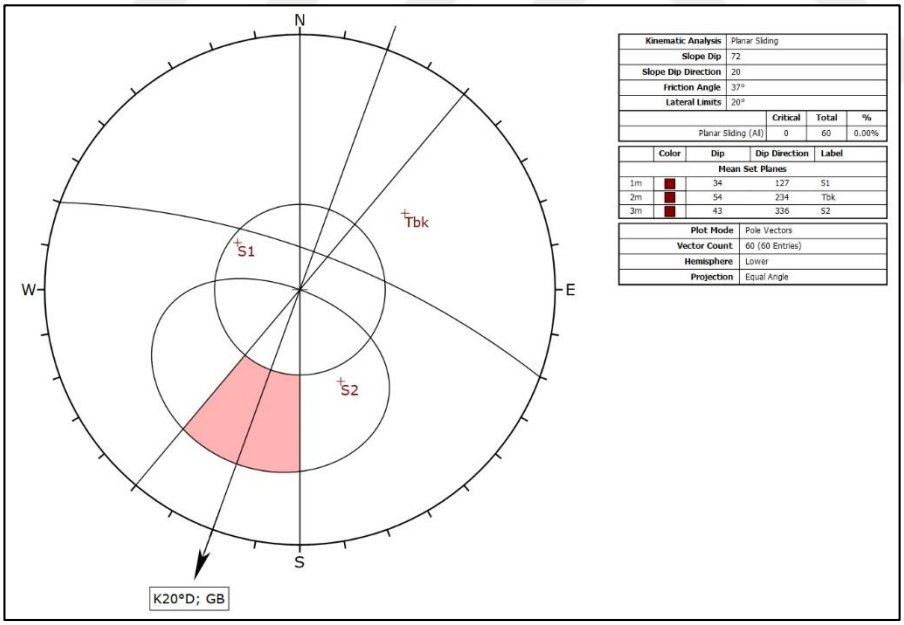


Şekil 4.12 Sol şev kama tipi kayma analizi

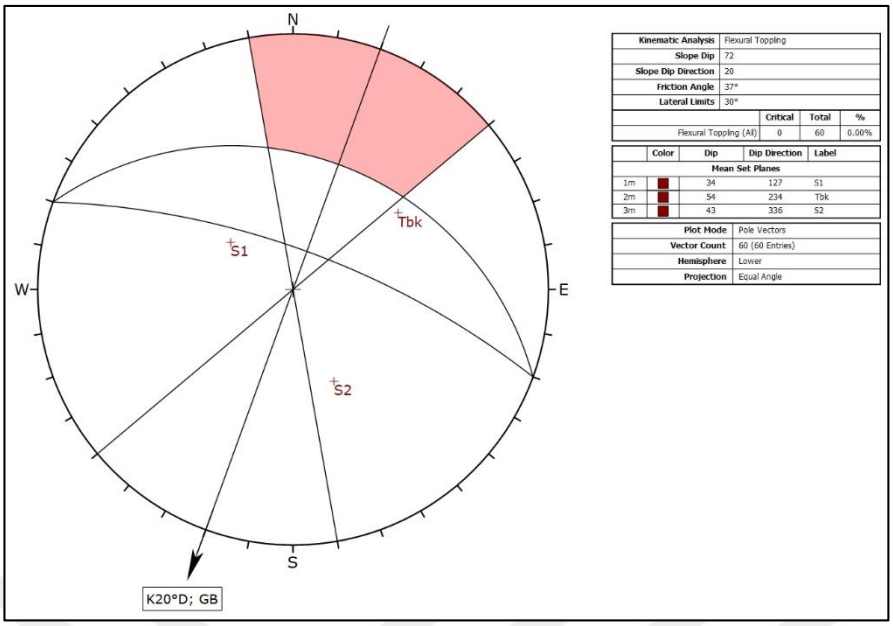
- **<u>Alın Şevi Kinematik Analizi</u>**:
  - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

- **<u>Sağ Şev Kinematik Analizi</u>**:
  - İncelenen risklerden düzlemsel kayma sorunu gözlenebilir.
  - İncelenen risklerden devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).

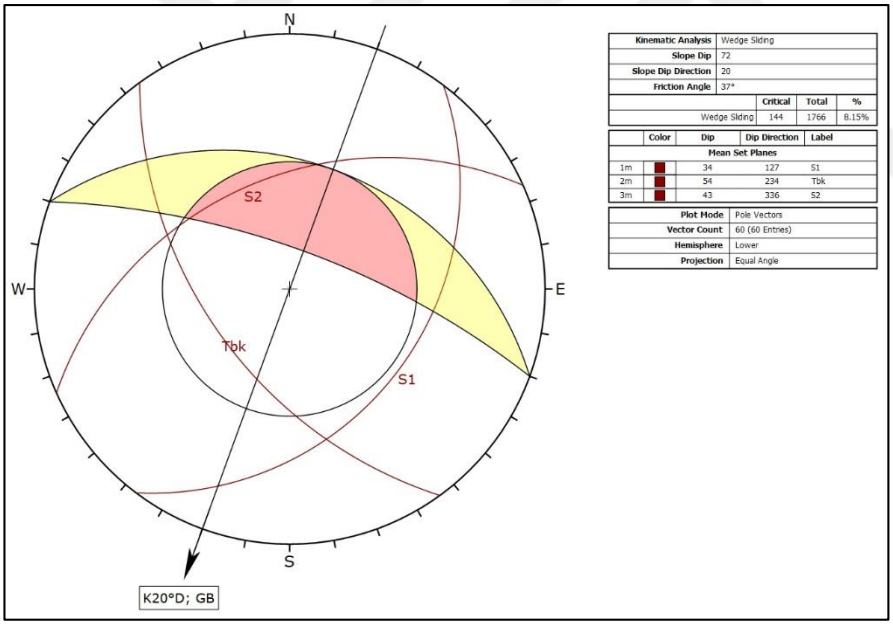
- **<u>Sol Şev Kinematik Analizi</u>**:
  - İncelenen risklerden kama türü duraylılık sorunu gözlenebilir.
  - Düzlemsel ve devrilme türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).



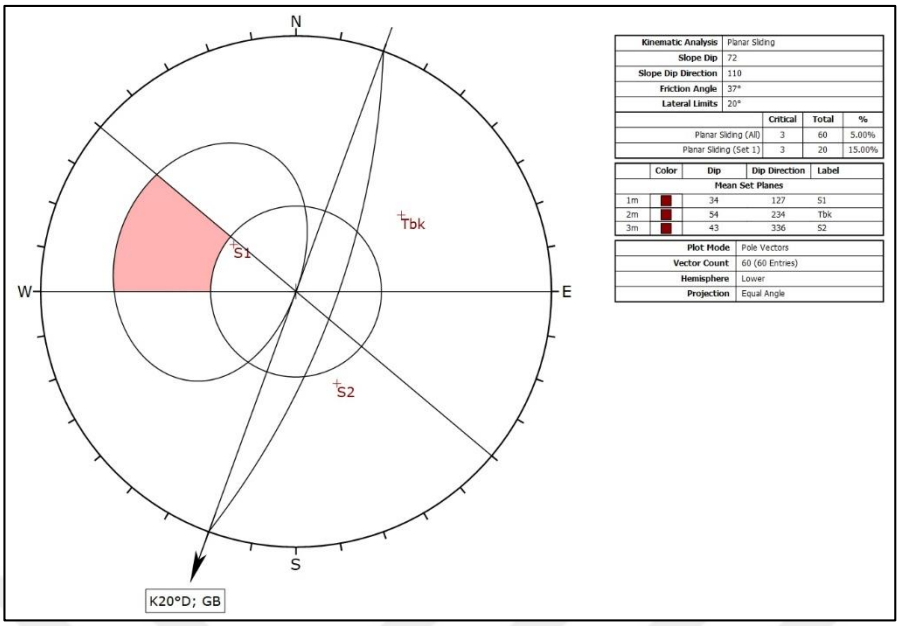
Şekil 4.13 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi



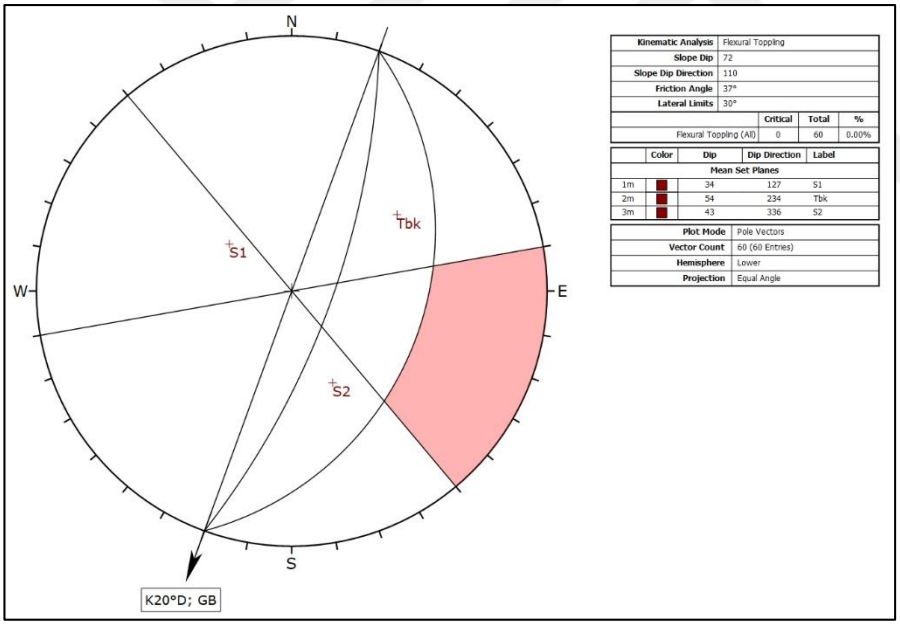
Şekil 4.14 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi



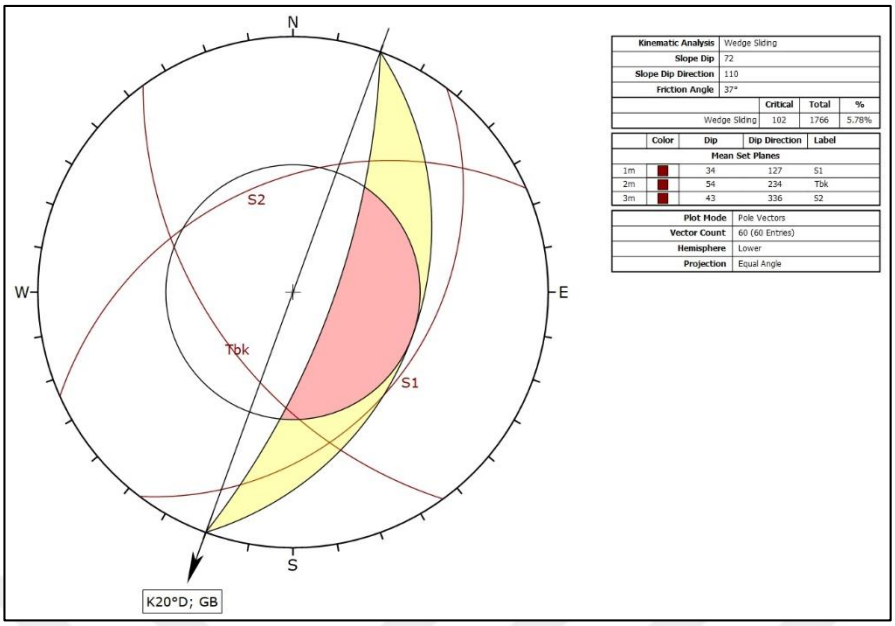
Şekil 4.15 Alın şevi kama tipi kayma analizi



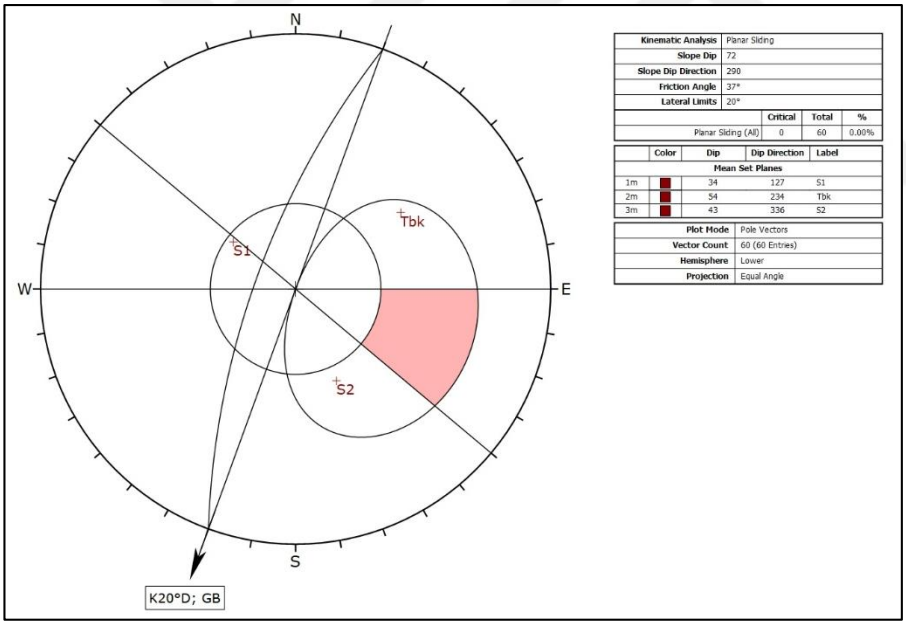
Şekil 4.16 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi



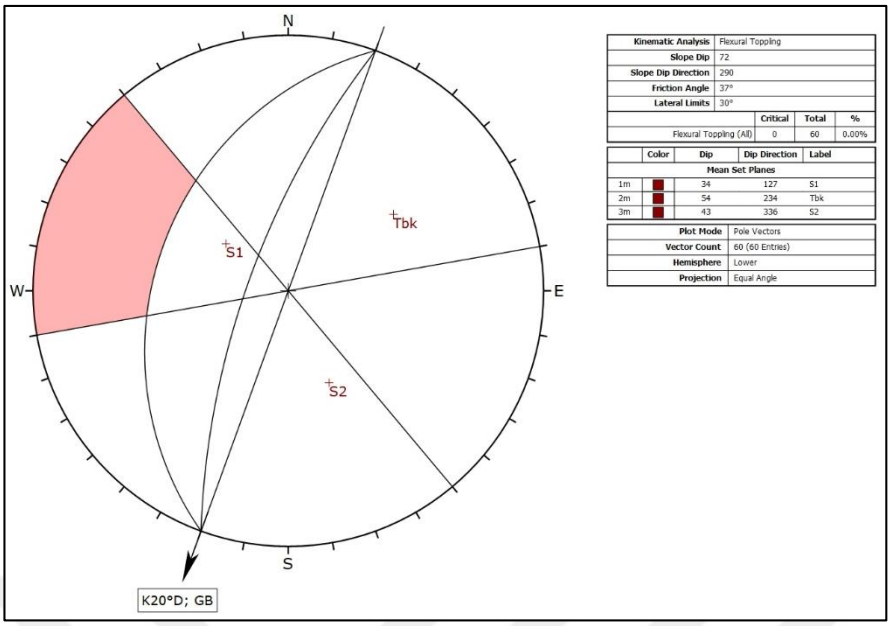
Şekil 4.17 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi



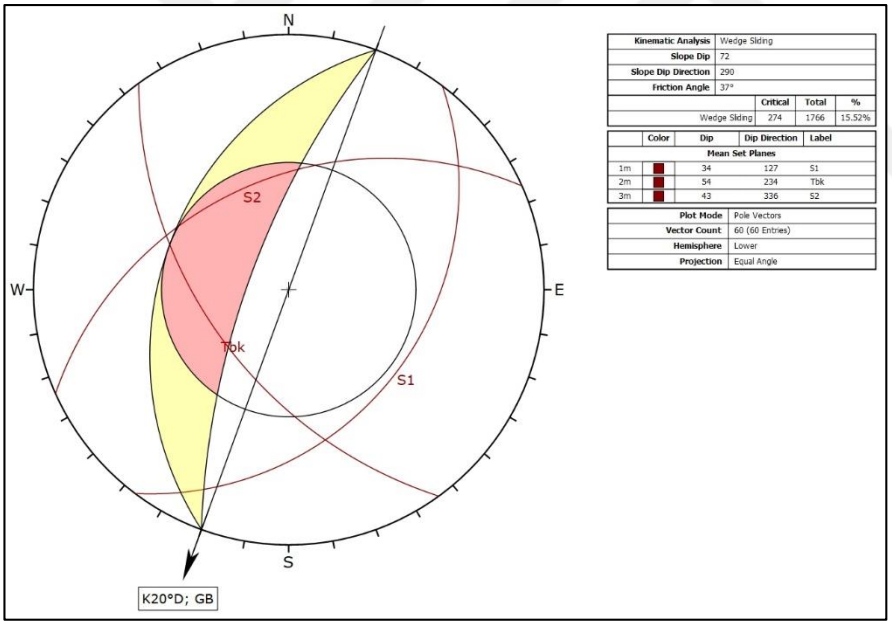
Şekil 4.18 Sağ şev kama tipi kayma analizi



Şekil 4.19 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi



Şekil 4.20 Sol şev devrilme tipi kayma analizi



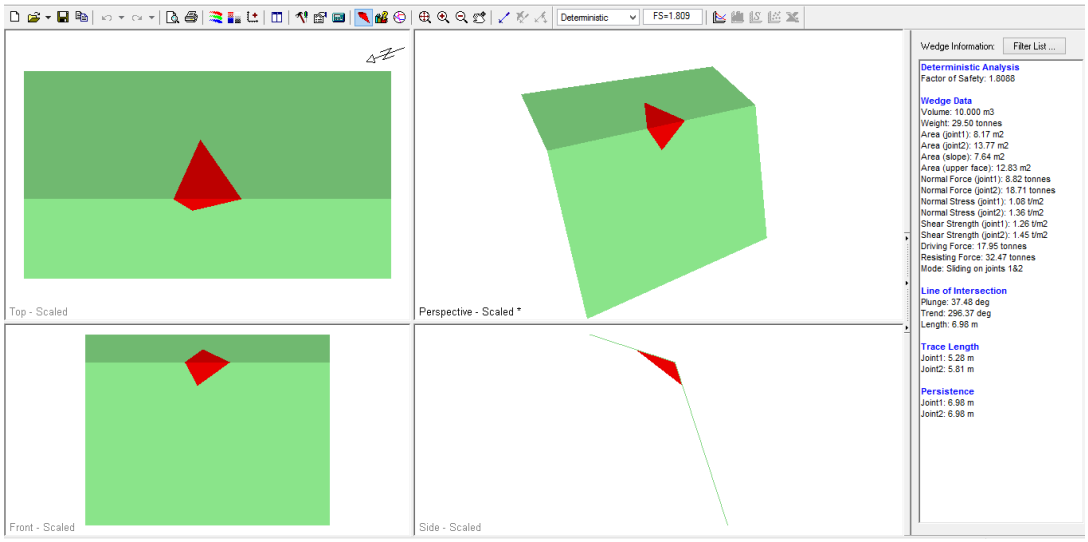
Şekil 4.21 Sol şev kama tipi kayma analizi

- **<u>Alın Şevi Kinematik Analizi</u>**:
    - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).

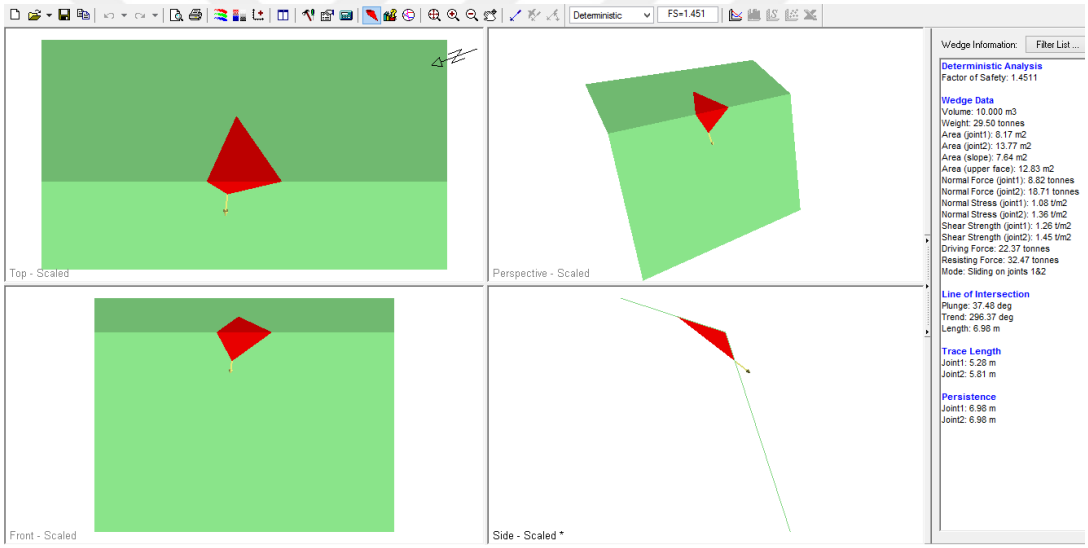
- **<u>Sağ Şev Kinematik Analizi</u>**:
    - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).

- **<u>Sol Şev Kinematik Analizi</u>**:
    - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21).

Portal-1'de yapılan kinematik analizler sonucunda alın şevinde düzlemsel, devrilme ve kama; sağ şevde devrilme ve kama; sol şevde düzlemsel ve devrilme türü duraylılık sorunlarının gözlenmeyeceği, sağ şevde düzlemsel, sol şevde de kama tipi duraylılık sorunu gözlenebileceği belirlenmiştir. Yapılan kinematik analiz sonucunda belirlenen bu problemlerin daha detaylı analizi yapılmış, sol şevde gözlenmesi beklenen kama tipi duraylılık sorunu analizleri belirtilen şevlerin güvenlik sayıları belirlenmiştir (Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

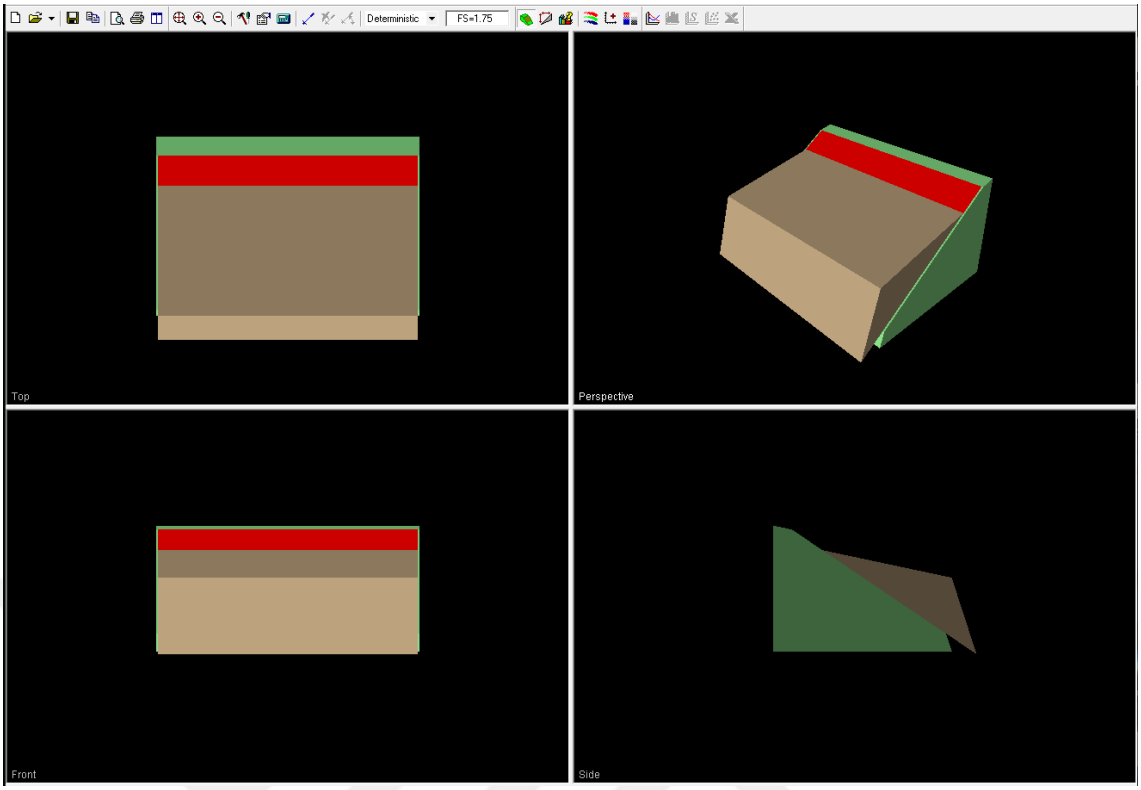


Şekil 4.22 Sol şev kama türü kayma analizi (GS:1,81)

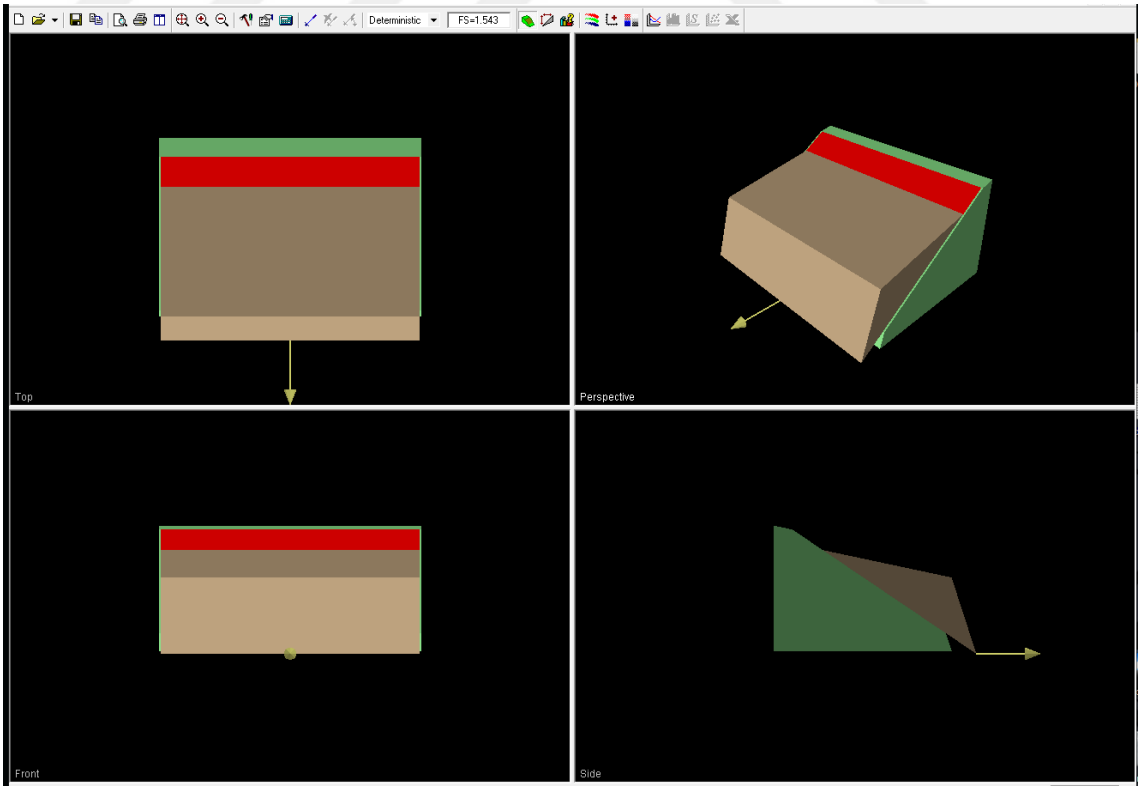


Şekil 4.23 Sol şev kama türü kayma analizi depremli (0,067g) (GS:1,45)

Sol şevde gözlenmesi beklenen kama tipi duraylılık problemlerine ait detaylı analizler incelendiğinde, şevin güvenlik sayısının depremsiz durumda 1,81, depremli durumda da 1,45 olduğu belirlenmiştir. Bu analiz sonucuna göre güvenlik sayısı değerleri depremsiz durumda 1,5'den depremli durumda da 1,1'den büyük olduğu için şevde duraylılık problemi gözlenmeyeceği belirlenmiştir (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23).



Şekil 4.24 Sağ şev kama türü kayma analizi (GS:1,75)



Şekil 4.25 Sağ şev kama türü kayma analizi depremli (0,067g) (GS:1,54)

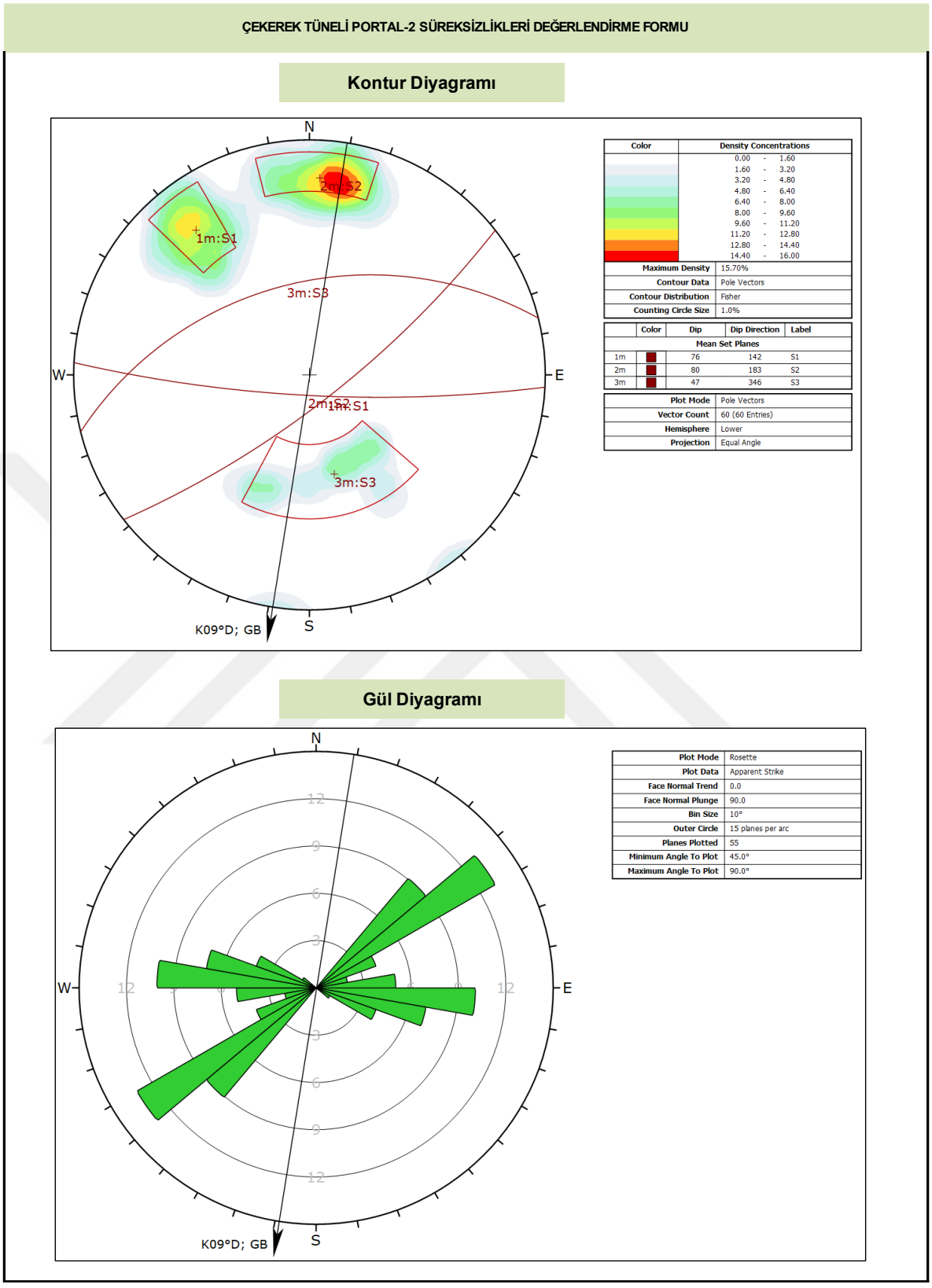
Sağ şevde gözlenmesi beklenen düzlemsel kayma problemine ait detaylı analizler incelendiğinde, şevin güvenlik sayısının depremsiz durumda 1,75, depremli durumda da 1,54 olduğu belirlenmiştir. Bu analiz sonucuna göre güvenlik sayısı değerleri depremsiz durumda 1,5'den depremli durumda da 1,1'den büyük olduğu için şevde duraylılık problemi gözlenmeyeceği belirlenmiştir (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

Portal-2 kesiminde yüksek/orta dayanımlı dolerit birimi yer almaktadır. Arazi çalışmaları sırasında bu birime ait üç adet süreksizlik seti belirlenmiş ve bu setlere ait süreksizlik ölçümleri alınarak ölçüm değerleri Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Üç süreksizlik setinde her bir süreksizlik seti için alınan 20 adet ölçüm sonucunda toplam 60 adet ölçüme ait dağılımlar ve süreksizlik setlerini temsil edecek şekilde alansal belirleme yardımıyla elde edilen 3 adet süreksizliğe ait bilgiler Şekil 4.2'de, süreksizliklerin genel özellikleri de Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Portal-2 kesimi için ölçülen süreksizlik değerleri

NO	Set:1		Set:2		Set:3	
	Eğim Miktarı/Yönü		Eğim Miktarı/Yönü		Eğim Miktarı/Yönü	
1	66	136	80	187	43	317
2	61	135	87	188	41	318
3	67	136	81	192	46	320
4	60	144	85	185	41	320
5	61	136	82	191	42	337
6	72	152	82	173	46	342
7	71	154	80	174	40	343
8	72	145	75	173	45	338
9	65	149	79	166	47	339
10	74	146	82	170	62	329
11	80	147	76	199	62	327
12	85	145	74	197	52	323
13	85	141	76	191	50	360
14	81	143	82	191	55	25
15	85	142	79	199	51	9
16	77	132	76	181	49	355
17	74	139	77	186	59	35
18	75	130	77	182	51	22
19	79	137	70	182	57	21
20	77	132	75	187	58	22

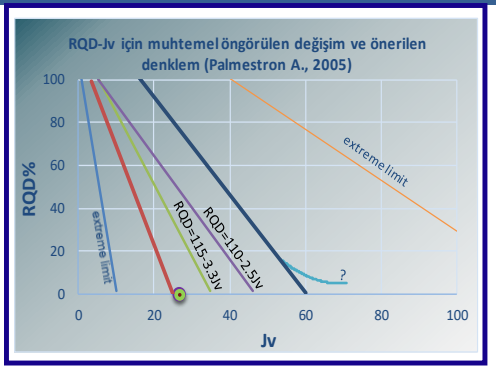


Şekil 4.26 Portal-2'de baskın süreksizlik setlerinin stereonet üzerinde görünümü

ÇEKEREK TÜNELİ PORTAL-2 SÜREKSİZLİKLERİ DEĞERLENDİRME FORMU

Set Numarası	T	E1	E2
Türü	Süreksizlik	Süreksizlik	Süreksizlik
Ort.Eğim Miktarı/Yönü	76/142	80/183	47/346
Aralığı, mm	200-600	200-600	200-600
Açıklığı, mm	<0.1	0.1-0.25	0.50-2.50
Uzunluk, m	>20	3.0-10.0	3.0-10.0
Pürüzlülük	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü
Dalgalılık	Dalgalı	Dalgalı	Dalgalı
Ayrışma	Az Ayrışmış	Az Ayrışmış	Az Ayrışmış
Dolgu Malzemesi	Sert Mineral Dolgulu veya Kapalı		
Su Durumu (Jw)	Kuru		
Sürtünme Açısı	35	35	35
Blok boyutu, Jv (Jv: 1/S1 +1/S2 +1/S3)	S_1	S_2	S_3
	100	100	150
	26.67		
RQD	*Uzun ve Düz bloklar için uygun* — *RQD: 115-3.3 Jv (Palmstrom, 1982)*		*27*
	Kübik bloklar için uygun — *RQD: 110-2.5 Jv (Palmstrom, 2005)*		*43.3*

Notlar: Kireçtaşı tabakalalarındaki kalınlık/devamlılık oranı az olduğundan uzun/düz blok gibi değerlendirilmiştir



Sınıf	Kaya Kütle Ayrışma (ISRM, 1981)	
I	Taze	Ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz renk değişimleri
II	Az	Süreksizlik yüzeyi ve kaya kütlesinde renk değişimi
III	Orta	Kaya kütlesinin önemli bir kesimi dayanım kaybına uğramış, taze kaye çekirdek
IV	Tamamen	Kaya kütlesi tamamı toprak zemine dönüşmüş ancak ilksel kaya dokusu korunmaktadır
V	Toprak Zemin	Kaya kütlesi tamamı toprak zemine dönüşmüş, ilksel kaya dokusu kaybedilmiştir.

Sınıf	Aralık, mm	Tanımlama (ISRM, 1981)
I	< 20	Çok dar
II	20-60	Dar
III	60-200	Yakın
IV	200-600	Orta derecede
V	600-2000	Geniş
VI	2000-6000	Çok geniş
VII	>6000	İleri derecede geniş

Sınıf	Açıklık, mm	Tanımlama (ISRM, 1981)
I	<0.1	Çok sıkı
II	0.1-0.25	Sıkı
III	0.25-0.5	Kısmen açık
IV	0.5-2.5	Açık
V	2.5-10.0	Orta derecede geniş
VI	>10	Geniş
VII	10-100	Çok geniş
VIII	10-1000	Aşırı geniş
IX	>1000	Boşluklu

Sınıf	Uzunluk, m	Tanımlama (ISRM, 1981)
I	< 1	Çok düşük
II	1 - 3	Düşük derecede
III	3 - 10	Orta derecede
IV	10 - 20	Yüksek
V	> 20	Çok yüksek

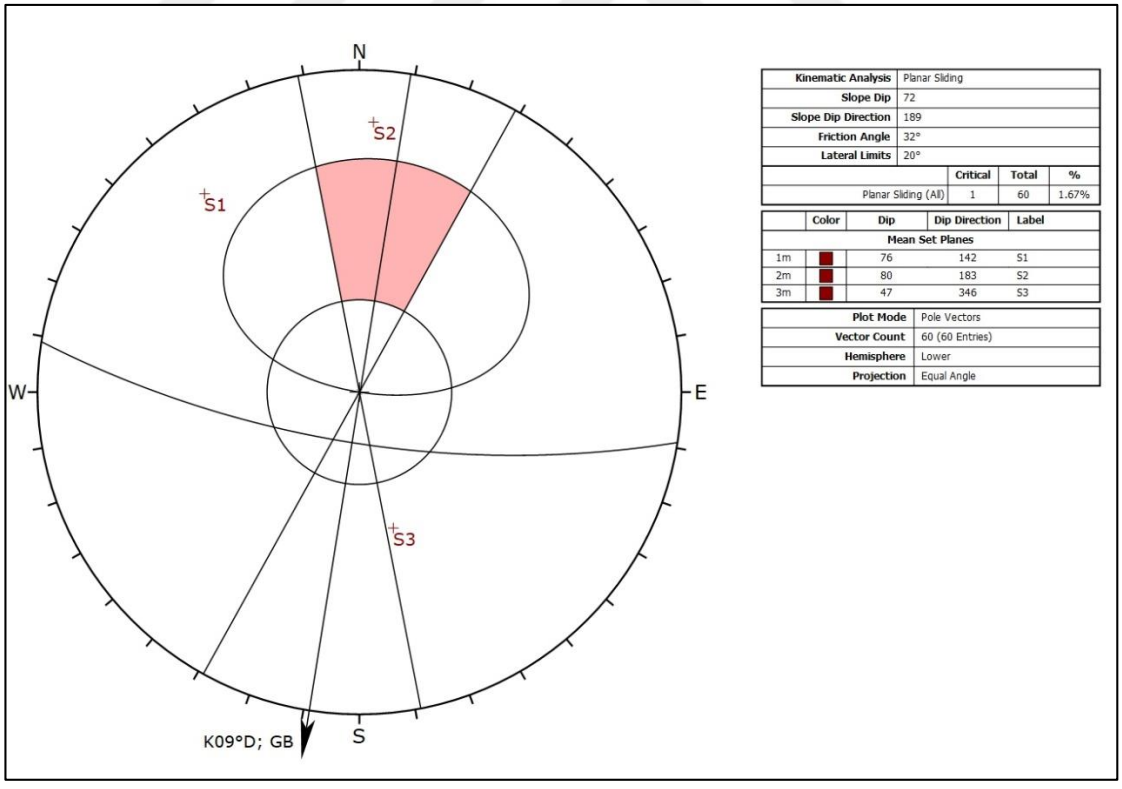
Sınıf	Pürüzlülük	Dalgalılık (ISRM, 1981)
I	Kaygan/Parlak	Düzlemsel
II	Düz	Az dalgalı
III	Pürüzlü	Dalgalı
IV	Çıkıntılı	Kavisli
V	Basamaklı	Kıvrımlı

Sınıf	Jv (/m3)	Eklem tanımı (Palmstrom, 1996)
I	<0.3	Masif
II	0.3-1.0	Çok az eklemli
III	1-3	Az eklemli
IV	3-10	Orta eklemli
V	10-30	Çok eklemli
VI	30-100	İleri derecede
VII	>100	Parçalanmış

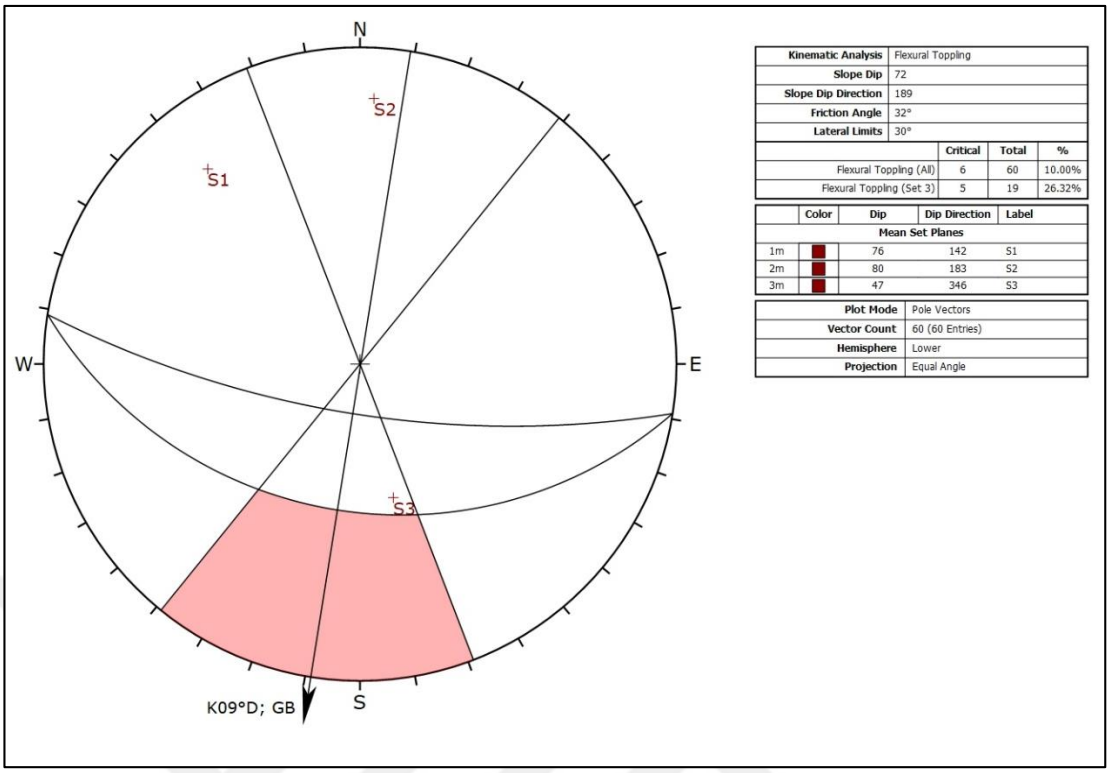
Şekil 4.27 Portal-2'de gözlenen süreksizlik setlerinin genel özellikleri

Portal-2'de yer alan dolerit biriminde süreksizlik etkisi altında herhangi bir duraysızlık probleminin oluşup oluşmayacağının belirlenmesi amacıyla elde edilen üç adet süreksizlik seti kullanılarak sağ, sol ve alın şevinde kinematik analiz çalışması yapılarak düzlemsel, devrilme ve kama tipi duraylılık riskleri incelenmiştir.

Arazi çalışmaları sırasında süreksizliklerin içsel sürtünme açısı tiltmetre cihazı kullanılarak ölçüm alınamadığı için bu parametre kullanılırken Richards (1975)'in önermiş olduğu değerlerden yararlanılmıştır. Richards (1975), Portal-2 kesiminde yer alan dolerit birimi için süreksizlik içsel sürtünme açısının 32-36° arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu çalışmadan yola çıkarak içsel sürtünme açıları 32° ve 36° alınarak iki farklı kinematik analiz yapılmıştır. İçsel sürtünme açısı 32° alınarak yapılan analizler Şekil 4.28 ile Şekil 4.36, 36° alınarak yapılan analizler Şekil 4.37 ile Şekil 4.45 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.28 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi



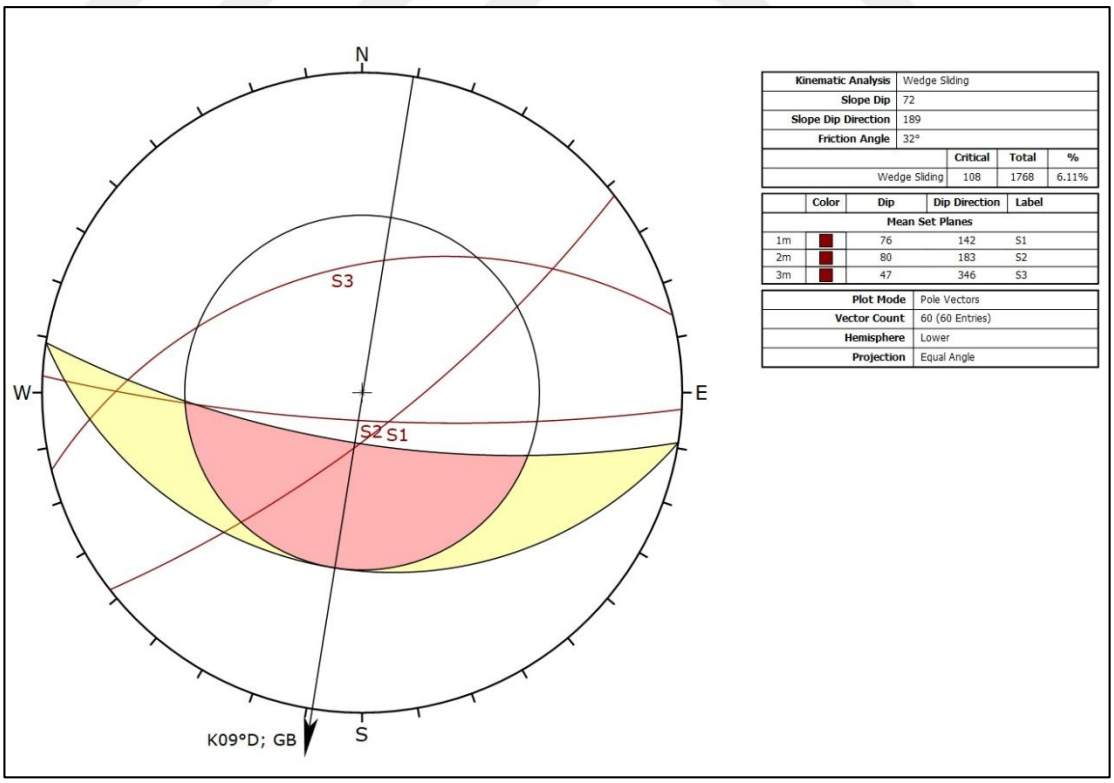
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	189
Friction Angle	32°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	6	60	10.00%
Flexural Toppling (Set 3)	5	19	26.32%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.29 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi



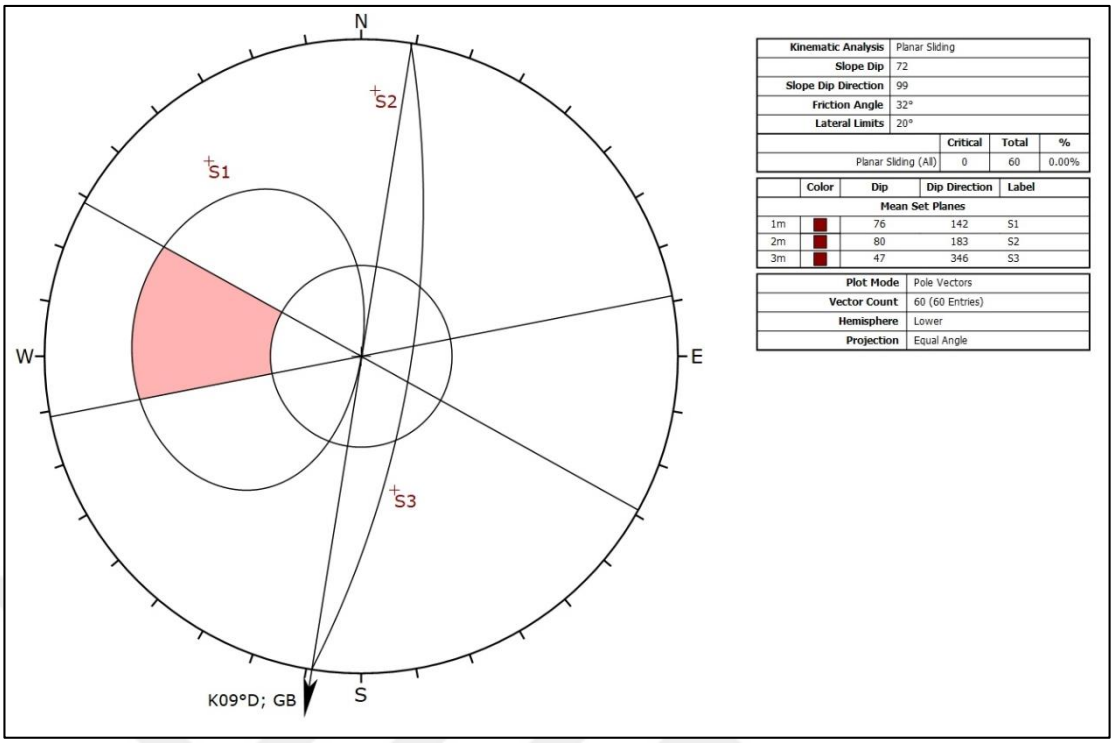
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	189
Friction Angle	32°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	108	1768	6.11%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.30 Alın şevi kama tipi kayma analizi



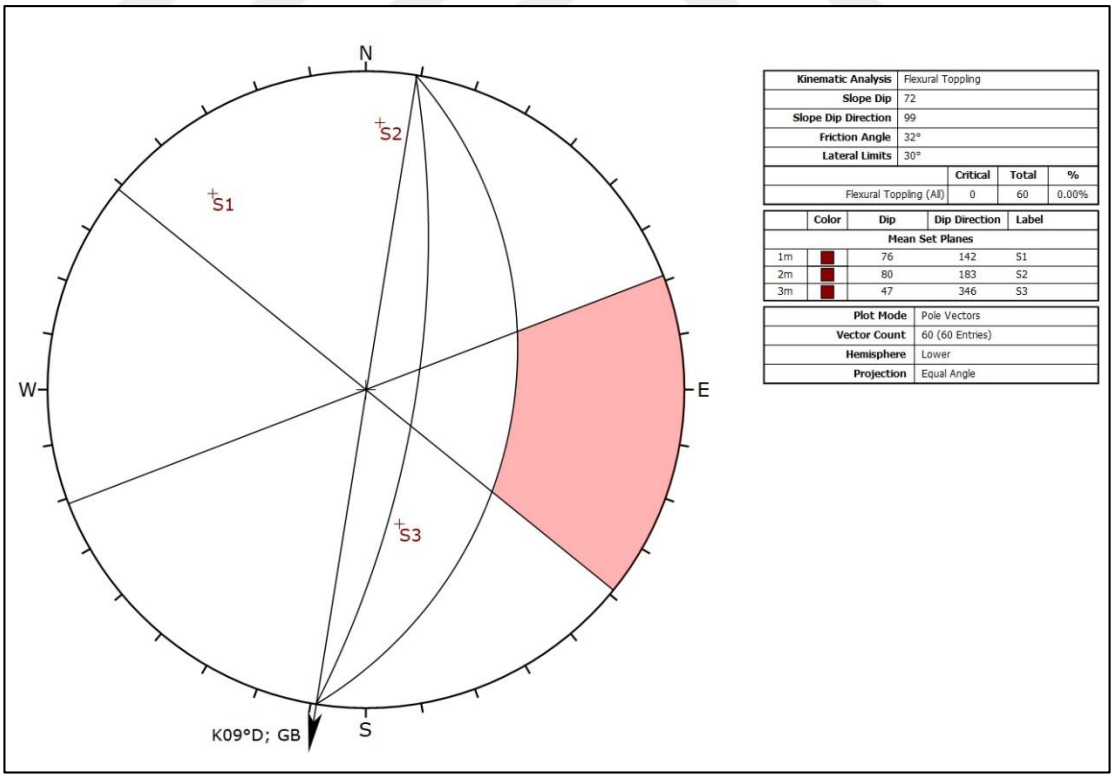
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	99
Friction Angle	32°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	60	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.31 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi



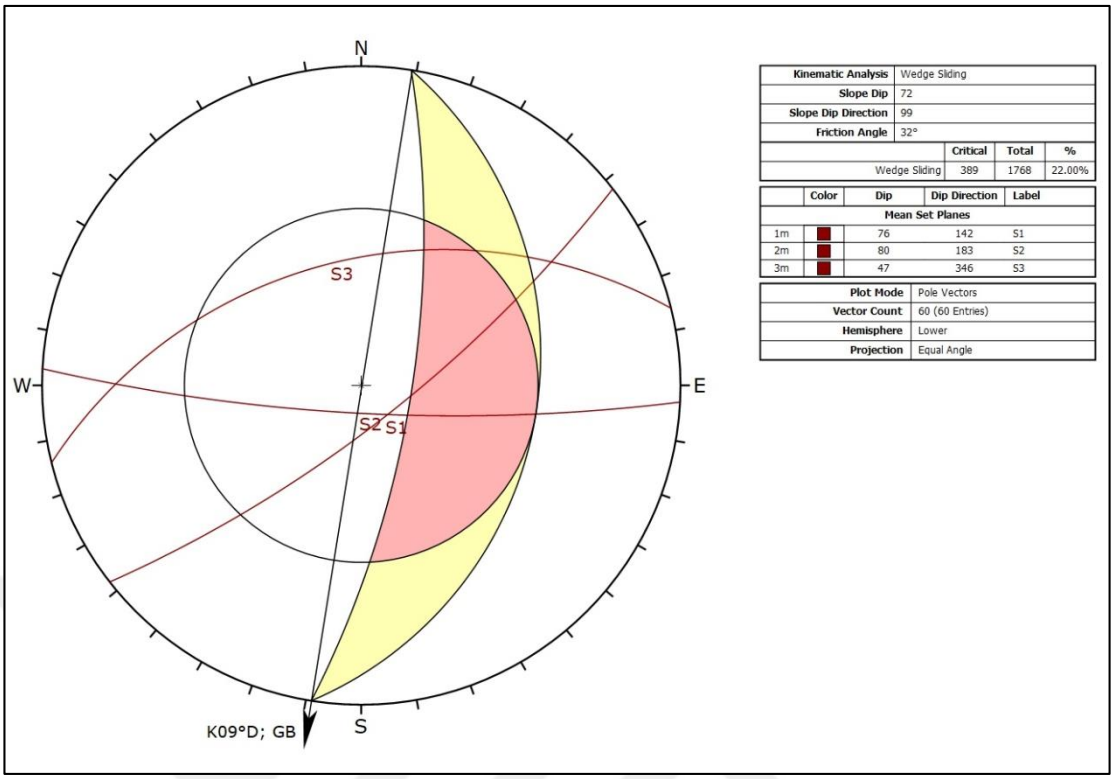
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	99
Friction Angle	32°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	60	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.32 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi



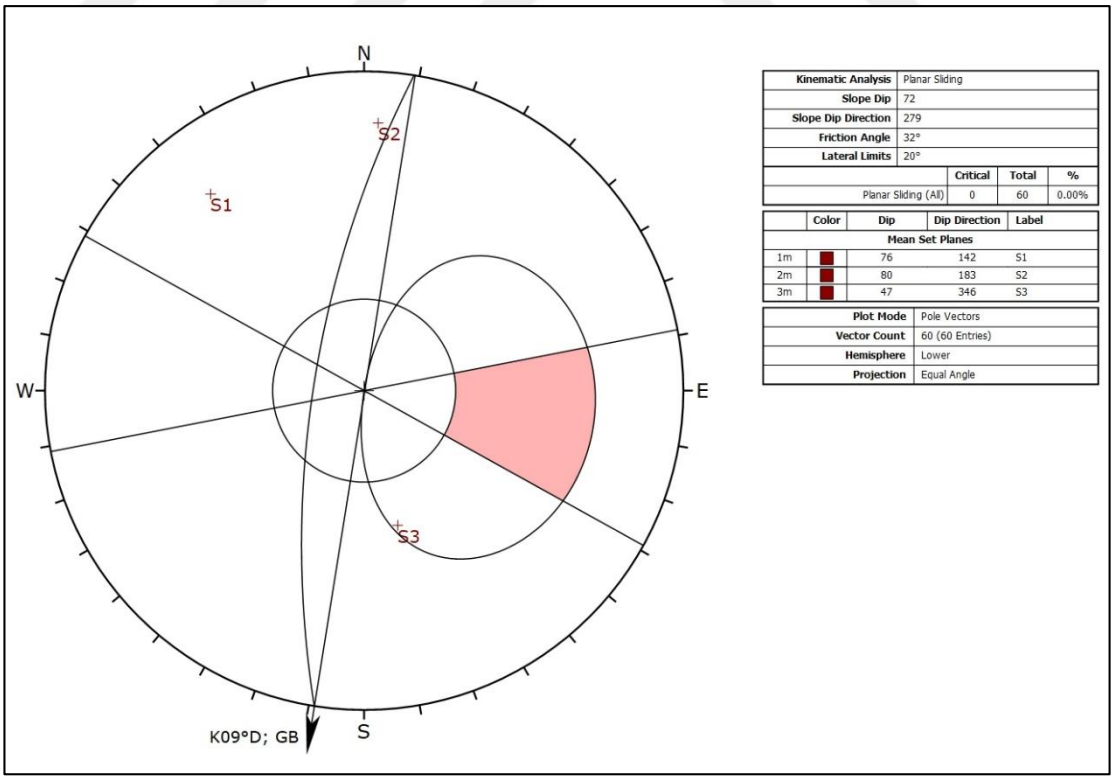
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	99
Friction Angle	32°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	389	1768	22.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.33 Sağ şev kama tipi kayma analizi



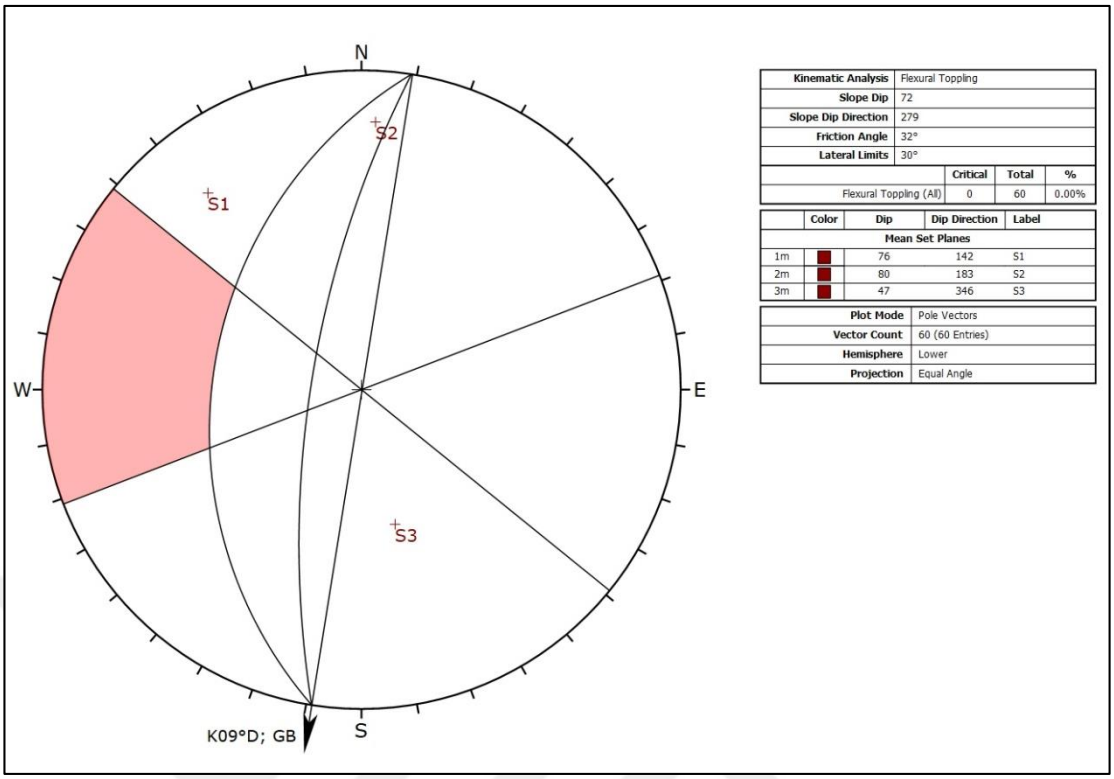
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	279
Friction Angle	32°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	60	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.34 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi



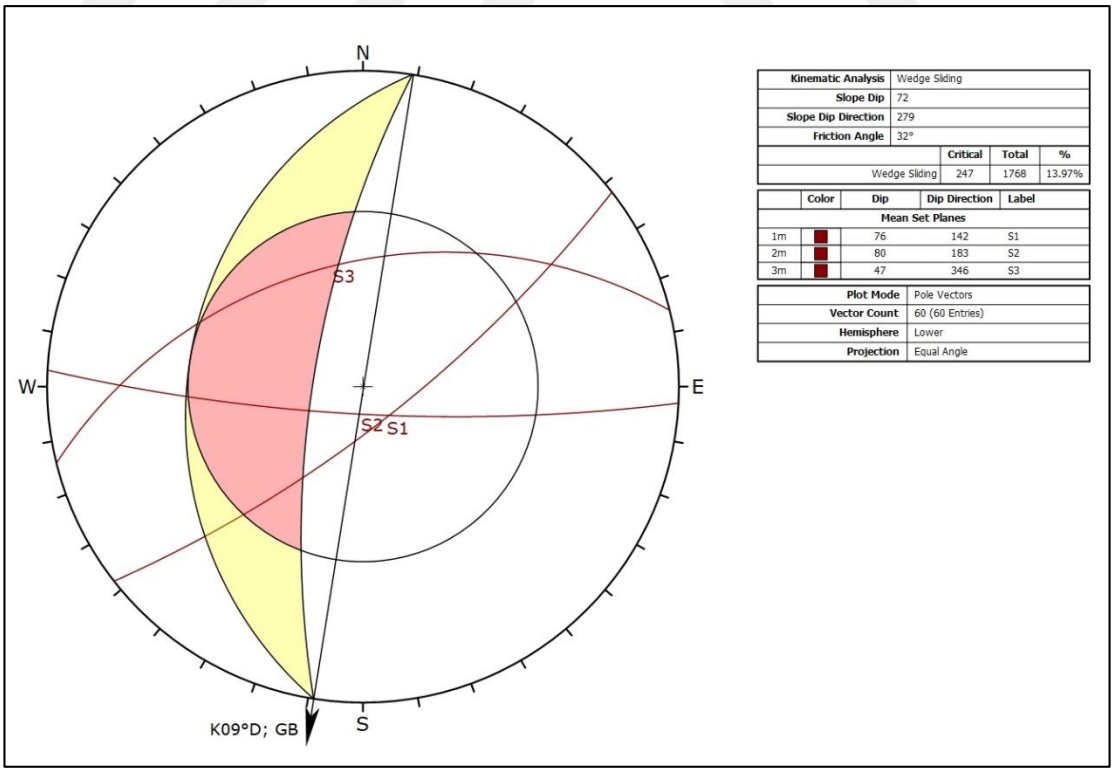
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	279
Friction Angle	32°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	60	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.35 Sol şev devrilme tipi kayma analizi



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	279
Friction Angle	32°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	247	1768	13.97%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

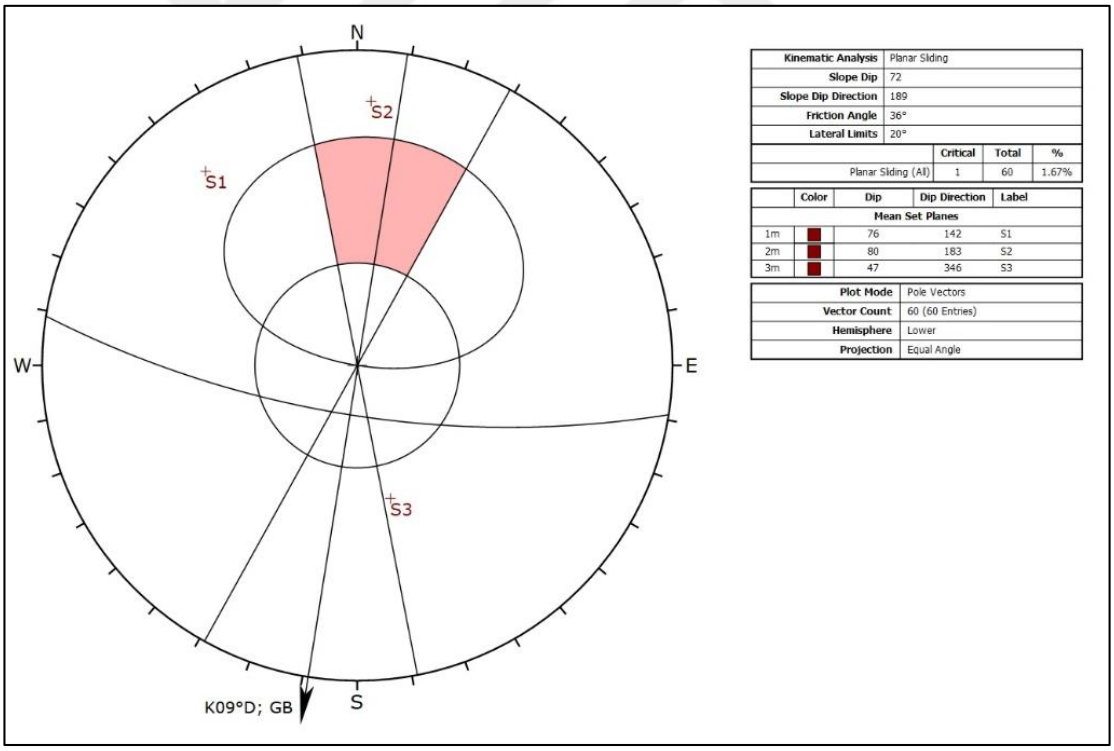
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.36 Sol şev kama tipi kayma analizi

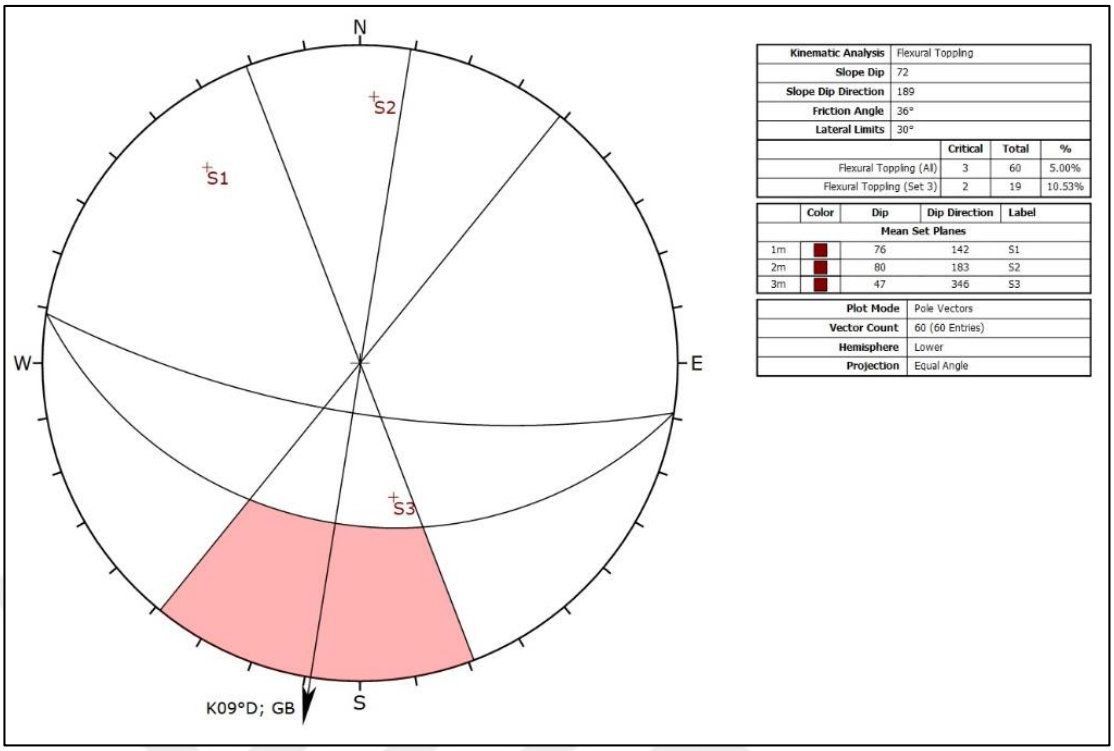
- **<u>Alın Şevi Kinematik Analizi</u>**:
  - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).

- **<u>Sağ Şev Kinematik Analizi</u>**:
  - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33).
  -

- **<u>Sol Şev Kinematik Analizi</u>**:
  - İncelenen risklerden kama, düzlemsel ve devrilme türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36).



Şekil 4.37 Alın şevi düzlemsel tipi kayma analizi



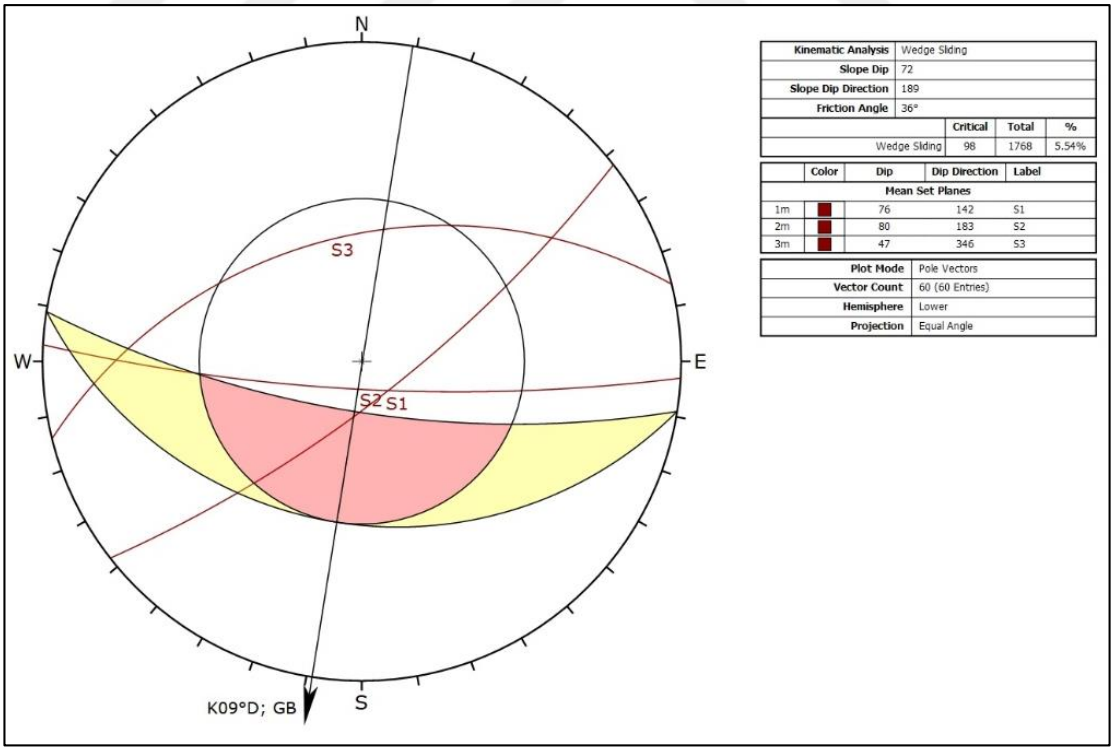
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	189
Friction Angle	36°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	3	60	5.00%
Flexural Toppling (Set 3)	2	19	10.53%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.38 Alın şevi devrilme tipi kayma analizi



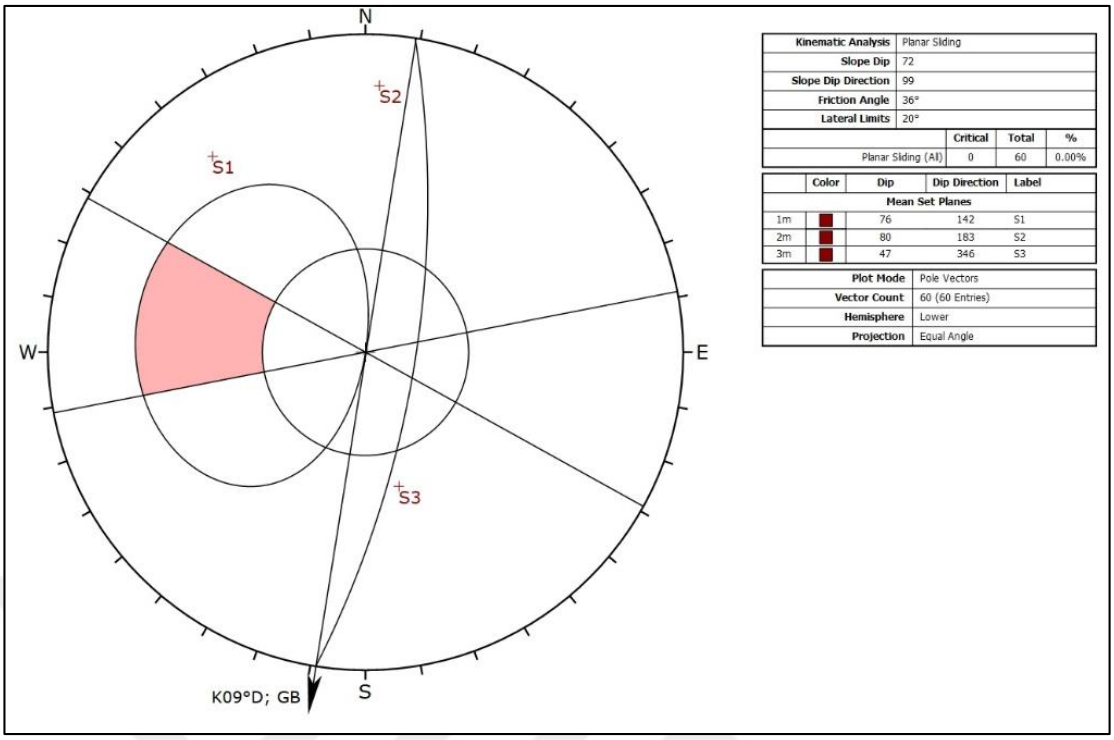
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	189
Friction Angle	36°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	98	1768	5.54%

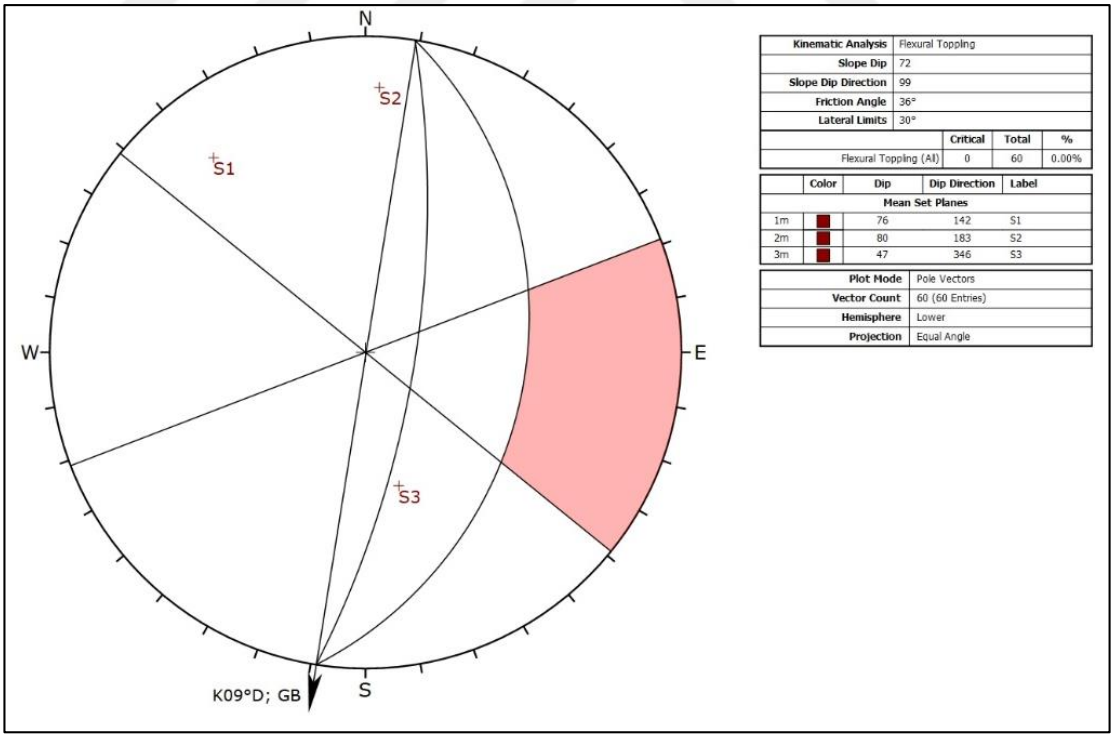
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

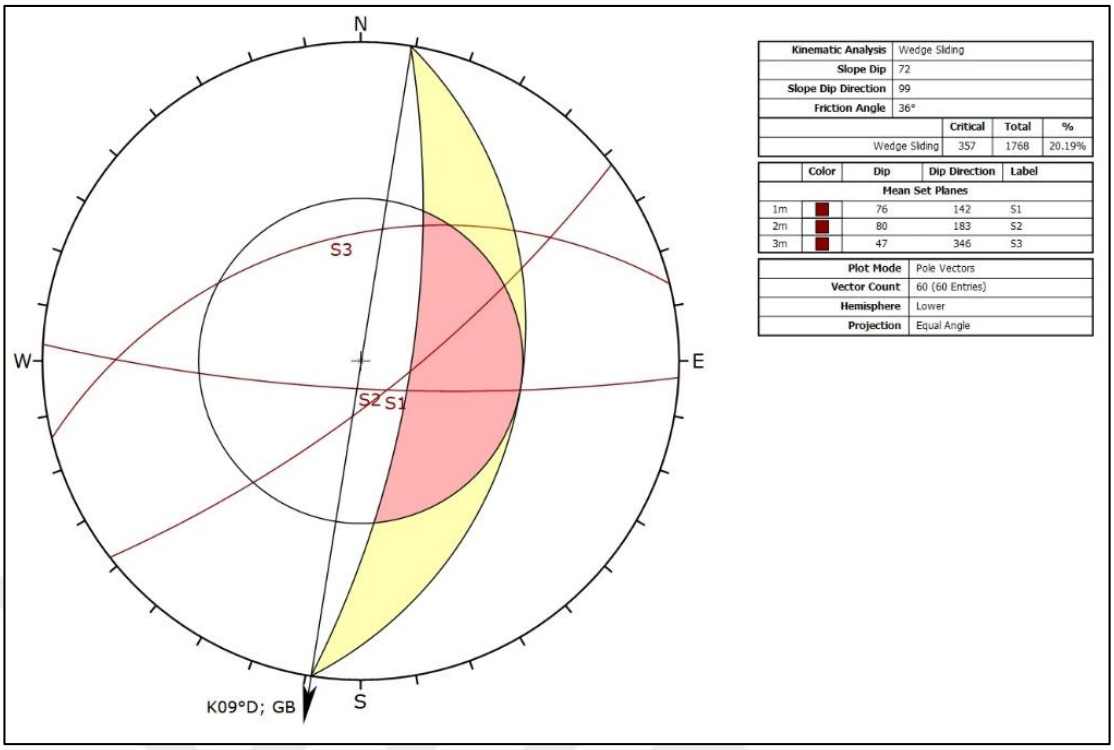
Şekil 4.39 Alın şevi kama tipi kayma analizi



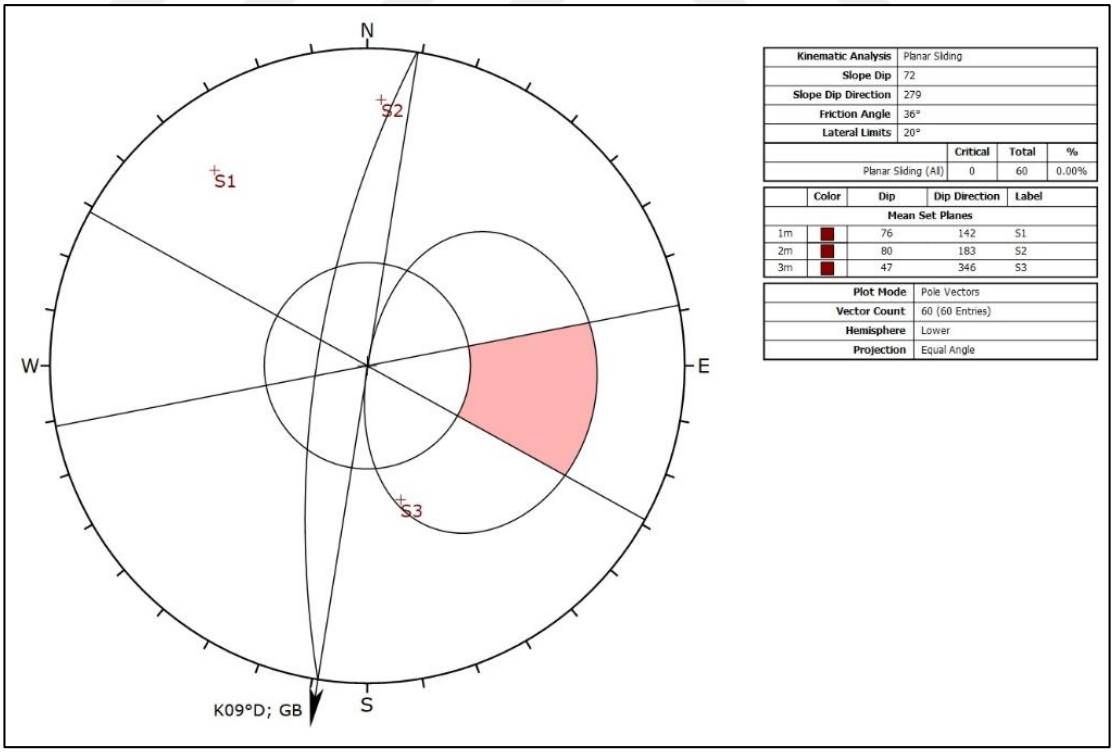
Şekil 4.40 Sağ şev düzlemsel tipi kayma analizi



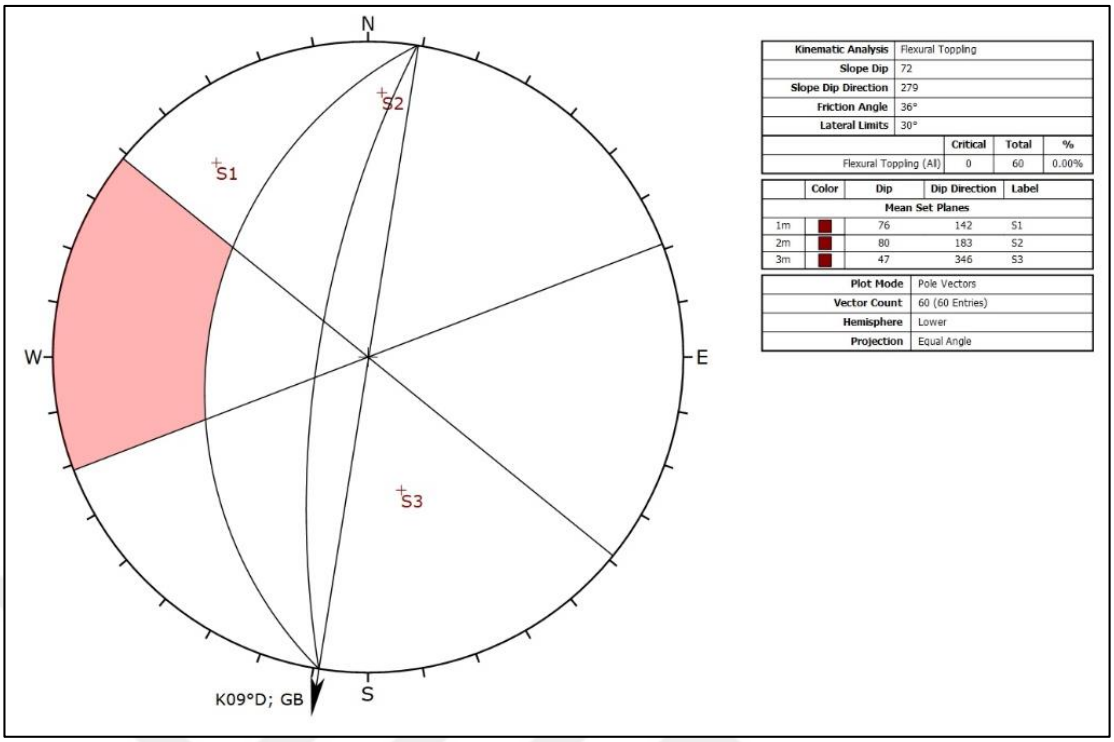
Şekil 4.41 Sağ şev devrilme tipi kayma analizi



Şekil 4.42 Sağ şev kama tipi kayma analizi



Şekil 4.43 Sol şev düzlemsel tipi kayma analizi



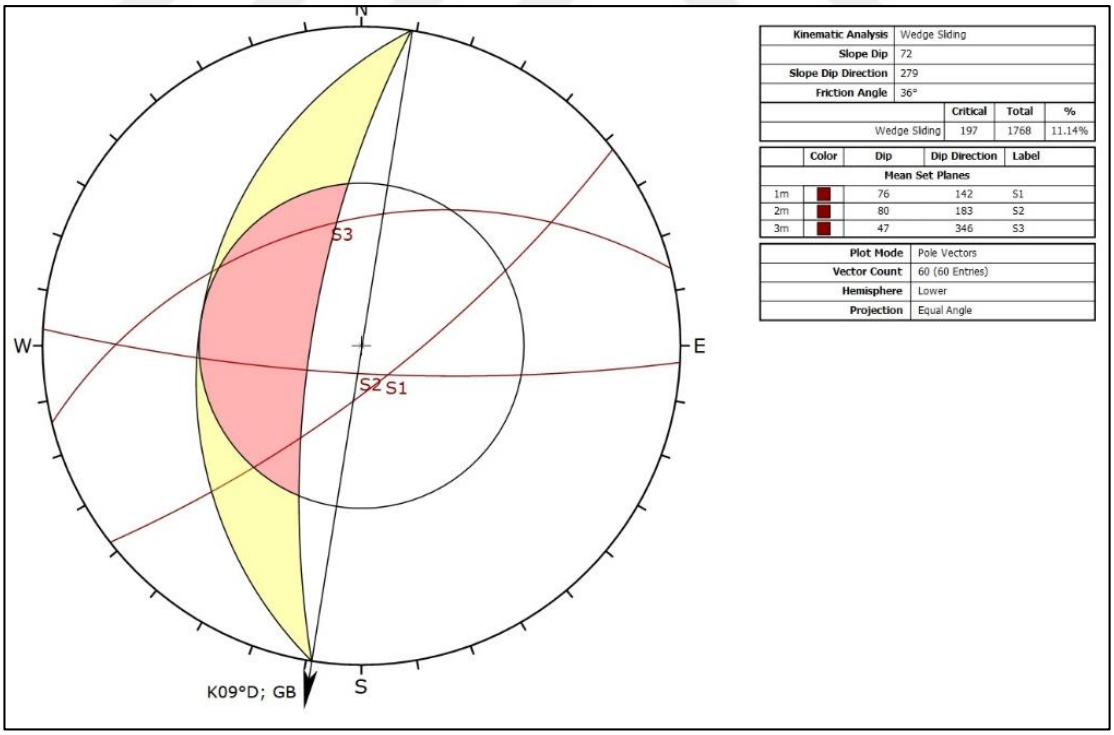
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	279
Friction Angle	36°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	60	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.44 Sol şev devrilme tipi kayma analizi



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	279
Friction Angle	36°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	197	1768	11.14%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	142	S1
2m		80	183	S2
3m		47	346	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Şekil 4.45 Sol şev kama tipi kayma analizi

- **<u>Alın Şevi Kinematik Analizi</u>**:
    - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39).

- **<u>Sağ Şev Kinematik Analizi</u>**:
    - İncelenen risklerden düzlemsel, devrilme ve kama türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42).
    -
- **<u>Sol Şev Kinematik Analizi</u>**:
    - İncelenen risklerden kama, düzlemsel ve devrilme türü duraylılık sorunu gerçekleşmeyecektir (Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45).

Portal-2'de, süreksizlik içsel sürtünme açısı 32° ve 36° derece alınarak kinematik analizleri yapıldığında, sağ, sol ve alın şevlerinde düzlemsel, devrilme ve kama tipi duraylılık problemi gözlenmeyeceği belirlenmiştir.

4. 3 RMR Kaya Kütle Sınıflama Sistemi Değerlendirmesi

Jeomekanik kaya kütle sınıflaması olarak da bilinen sistem, ilk defa Bienawski (1973) tarafından geliştirilmiş ve 1973-1989 (Bienawski, 1973; Bienawski, 1978; Bienawski, 1984; Bienawski, 1989) arasında yapılan gözlemler ve araştırmalar sonucunda da 1989'da son kez değişikliğe uğrayarak nihai halini almıştır (Ulusay, 2001).

RMR sistemi ile kaya kütlelerini sınıflandırırken 6 parametre esas alınır. Bunlar;

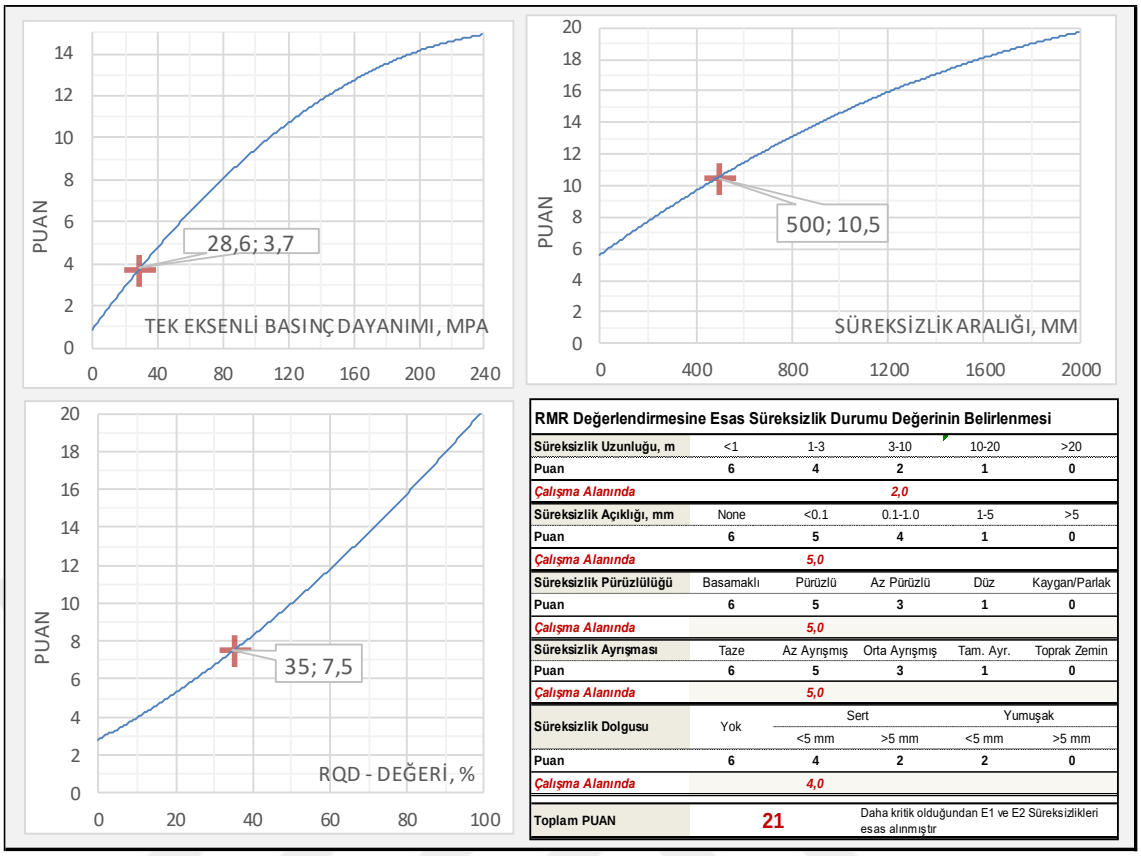
- Kaya kütlelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı
- RQD
- Süreksizlik aralığı
- Süreksizliklerin durumu (devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık)
- Yeraltı suyu koşulları

- Süreksizliklerin yönelimidir.

Sistemin uygulanmasında, kullanılacak olan puanlama tabloları ve abaklar aşağıda gösterilmiştir.

RMR puanı, Beniawski (1989)'un çalışmasında belirlediği altı parametre ve her bir parametre için belirlediği beş aralık değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. Kaya kütlesi için RMR puanı hesaplanırken belirtilen parametrelerin hangi aralığa denk geldiği belirlenir ve o aralığa ait puan değeri yazılır. Sonuçta elde edilen puanlar toplanarak "Taban RMR" puanı elde edilir. Süreksizlik yönelimi bölümünde, yapılması planlanan yapı türü ve bu yapı güzergahı boyunca süreksizliklerin konumu arasındaki ilişkiye bağlı olarak süreksizlik yönelimi düzeltmesi yapılmakta (Çizelge 4.9) ve bu düzeltme sonucunda "Toplam RMR" puanı elde edilmektedir (Şekil 4.47).

Bieniawski (1973)'de yapılacak olan tanımlamalar aralığa denk gelen puanların belirlenmesi ile sağlanmaktadır. Ancak, aralığa denk gelen en küçük ve en yüksek değerlere de aynı puanın verilmesi, puanlamanın şeffaflığı açısından problem oluşturmaktadır. Bu nedenle Beniawski (1989) yaptığı çalışma ile RQD, tek eksenli basınç dayanımı ve süreksizlik aralığı puanlarının daha detaylı olarak puanlanabileceği abaklar sunmuştur (Şekil 4.46).



Şekil 4.46 Portal-1 RMR Değerlendirmesine esas süreksizlik verileri seçimi (Bieniawski, 1989)

Çizelge 4.9 Süreksizlik yönelimine göre sınıflama (Bieniawski, 1989)

Eğim Yönünde ilerleme		Eğime Karşı Yönde İlerleme		Doğrultuya Paralel İlerleme		Doğrultuya Bakılmaksızın (eğim 0-20°)
Eğim 45-90°	Eğim 20-45°	Eğim 45-90°	Eğim 20-45°	Eğim 45-90°	Eğim 20-45°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE PUANLARI								
Bozulmamış Kaya Kütlesi Dayanımı	*Tek-Nokta Basınç Dayanımı*	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Daha düşük değerler için TEB değeri tercih edilir.		
	Uniaxial compressive strength	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	1
Puan		**15**	**12**	**7**	**4**	**2**	**1**	**0**
Çalışma Alanı						***3.7***		
RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Puan		**20**	**17**	**13**	**8**	**3**		
Çalışma Alanı						***7.7***		
Süreksizlik Aralığı, mm		>200	60-200	20-60	6-20	<6		
Puan		**20**	**15**	**10**	**8**	**5**		
Çalışma Alanı						***7.2***		
Süreksizliklerin Durumu		Çok pürüzlü. "kapalı- ayrışmasız"	Pürüzlü "<1mm açıklık- az ayrışmış"	Az pürüzlü. "<1mm açıklık veya çok ayrışmış"	Kayma çizikli. "1-5mm açıklık - <5mm dolgulu	>5mm açıklık >5mm yumuşak dolgulu		
Puan		**30**	**25**	**20**	**10**	**0**		
Çalışma Alanı				***21.0***				
Yer Altı Suyu	*Tünel Boyunca Her 10m için akış hızı*	None	<10	10-25	25-125	>125		
	Genel Durum	Kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su Akışı		
Puan		**15**	**10**	**7**	**4**	**0**		
Çalışma Alanı				***7.0***				
TABAN RMR				**47**				

SÜREKSİZLİK YÖNELİMİNE GÖRE DÜZELTİLMİŞ RMR						
Tabaka Doğrultusu ve Eğim Yönelimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Değer	Tünel&Maden	0	-2	-5	-10	-12
	Temel Kazıları	0	-2	-7	-15	-25
	Yarma	0	-5	-25	-50	-60
Çalışma Alanı			***-2.0***			
TOPLAM RMR				**45**		

RMR SİSTEMİ KAYA KÜTLE DEĞERLENDİRMESİ						
RMR Değeri	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 -21	<21	
RMR Sınıflandırma Numarası	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	
Kaya Kütle Tanımı	**Çok İyi**	**İyi**	**Orta**	**Zayıf**	**Çok Zayıf**	
Ortalama Desteksiz Kalma Süresi	15 m açıklıkta 20 yıl	10 m açıklıkta 1 yıl	5m açıklıkta 1 hafta	2.5 m açıklıkta 10 saat	1 m açıklıkta 30 dk.	
Kaya Kütlesi Kohezyonu ,kPa	>400	300-400	200-300	100-200	<100	
Kaya Kütlesi Sürtünme Açısı,°	>45	35-45	25-35	15-25	<15	
İzin Verilir Taşıma Gücü, (ton/m^2)	600-440	440-280	280-135	135-45	45-30	

Şekil 4.47 Portal-1 RMR sınıflama sistemi ile elde edilen puan

Çizelge 4.10 Tünel eksenleri ve Portal-2 kesimi için RMR puanları

Sınıflama Parametresi		TE-1		TE-2		TE-3		TE-4		P-2	
		Kaya Kütlesi Parametre Değeri	Puan	Kaya Kütlesi Parametre Değeri	Puan	Kaya Kütlesi Parametre Değeri	Puan	Kaya Kütlesi Parametre Değeri	Puan	Kaya Kütlesi Parametre Değeri	Puan
Dayanım (Mpa)		28,6	3,7	38,2	4,6	10,0	1,9	38,2	4,6	38,2	4,6
RQD (%)		36	7,7	30	6,8	10	4,0	30	6,8	30	6,8
Süreksizlik Aralığı (mm)		500	10,5	500	10,5	500	10,5	500	10,5	500	10,5
Süreksizliklerin Durumu	Uzunluluk (m)	3-10	2,0	1-3	4,0	1-3	4,0	1-3	4,0	1-3	4,0
	Süreksizlik açıklığı (mm)	<0,1	5,0	<0,1	5,0	<0,1	5,0	<0,1	5,0	<0,1	5,0
	Pürüzlülük	pürüzlü	5,0	pürüzlü	5,0	pürüzlü	5,0	pürüzlü	5,0	pürüzlü	5,0
	Ayrışma	az ayrışmış	5,0	az ayrışmış	5,0	tam ayrışmış	1,0	az ayrışmış	5,0	az ayrışmış	5,0
	Dolgu	sert <5 mm	4,0	sert <5 mm	4,0	yok	6,0	sert <5 mm	4,0	sert <5 mm	4,0
Yeraltı Suyu		nemli	10,0	nemli	10,0	nemli	10,0	nemli	10,0	nemli	10,0
Taban RMR Puanı		53		55		47		55		55	
Süreksizlik Yönelimi Düzeltmesi		-2,0		-2,0		-2,0		-2,0		-2,0	
Toplam RMR		**51**		**53**		**45**		**53**		**53**	
Kaya Sınıfı		**III-Orta**		**III-Orta**		**III-Orta**		**III-Orta**		**III-Orta**	
Kaya Kütlesinin	Kohezyonu (kPa)	200-300		200-300		200-300		200-300		200-300	
	İçsel Sürtünme Açısı (derece)	25-35		25-35		25-35		25-35		25-35	

Hesaplanan RMR puanları incelendiğinde, tünel güzergahı boyunca yer alan jeolojik birimlerin sınıf III orta kaya özelliğinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.47, Çizelge 4.10). RMR kaya kütlesi sınıflamasının orta sınıf değerlendirmesine göre, çalışma alanında yer alan birimlerin 5 m. açıklıkta bir hafta boyunca desteksiz ayakta kalabileceği öngörülmektedir (Şekil 4.47).

4. 4 Q Sınıflama Sistemi Değerlendirmesi

Q sınıflama sistemi ilk olarak Barton vd. (1974) tarafından geliştirilmiştir. İskandinavya'da yer alan 200 farklı tünelde çalışmalar yaparak oluşturulan sistem iksa tasarımına yönelik kullanılmaktadır (Barton vd., 1974).

$$Q = \frac{RQD}{J\,n}\ x\ \frac{Jr}{Ja}\ x\ \frac{Jw}{SRF}$$

bağıntısı ile hesaplanır.

- RQD = Kaya kalite göstergesi

- J_n= Eklem takımı sayısı
- J_r = Eklem pürüzlülük durumu
- J_a =Eklem ayrışma durumu
- J_w =Eklemde su azaltma faktörü
- SRF = Gerilme indirgeme faktörü

olarak tanımlanmıştır.

Eşitlikteki ilk ifade (RQD/Jn) blok boyutu, (Jr/Ja) eklem yüzeyleri ve dolgunun sürtünme ve pürüzlülüğü, (Jw/SRF) ise etken gerilme koşullarının ifadesi olarak tanımlanmıştır (Barton vd., 1974).

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında değerlendirilerek ilgili sınıflama sistemi için puan ve buna bağlı olarak da NATM kazı sınıfı belirlenmiştir (Şekil 4.48 ve Çizelge 4.11).

RQD, %		Tanımlama	Tasarım Değeri
A	0-25	Çok Zayıf	
B	25-50	Zayıf	36
C	50-75	Orta	
D	75-90	İyi	
E	90-100	Çok İyi	
RQD ≥ 10 olup 5'in katları olarak seçilir			

Jn- Srks.Set Sayısı		Tanımlama	Tasarım Değeri
A	0.5 - 1.0	Masif, birkaç süreksizlik	
B	2	Bir süreksizlik seti	
C	3	Bir set + Düzensiz süreksizlikler	
D	4	İki süreksizlik seti	
E	6	İki set + Düzensiz süreksizlikler	
F	9	Üç süreksizlik seti	18
G	12	Üç set + Düzensiz süreksizlikler	
H	15	Dört ve daha fazla set / Çok eklemli	
J	20	Tamamen ezilmiş kaya kütlesi	
*Kesişim için (3.0*Jn) ve b) Portaller için (2.0*Jn)*			

Jr- Srks.Pürüzlülük		Tanımlama	Tasarım Değeri
a) Duvar teması veya <10cm kayma için duvar teması			
A	4	Devamsız Süreksizlikler	
B	3	Pürüzlü veya düzensiz/dalgalı	3
C	2	Pürüzsüz, dalgalı	
D	1.5	Kayma çizikli, dalgalı	
E	1.5	Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel	
F	1	Pürüzsüz düzensiz/düzlemsel	
G	0.5	Kayma çizikli/düzlemsel	
Lineasyonlar uygun şekilde yönlenmiş olmak koşuluyla lineasyonlu düzlemsel, çizikli eklemler için Jr=0.5 kullanılabilir.			
b) Kesme etkisinde kaya yüzey teması yok			
Ortalama Aralık >3m ise Jr değeri 1.0 artırılır			

Jw- Su Durumu		Tanımlama	Tasarım Değeri
A	1	Kuru veya çok az akış (<5 l/min)	1
B	0.66	Orta akış veya basınç, nadiren eklem yıkanmaları	
C	0.5	Yüksek akış veya basınç	
D	0.33	Yüksek akış veya basınç, önemli boyutta eklem yıkanması	
E	0.2-0.1	Zaman içinde azalan çok yüksek su girişi veya basıncı	
F	0.1-0.05	Zaman içinde azalmayan çok yüksek su girişi veya basıncı	
C ve F arasındaki sınıflar kaba tahminlerdir. Drenaj önlemi varsa Jw değeri artırılabilir			

Ja- Srks. Alterasyonu			Tanımlama	Tasarım Değeri
a) Duvar teması var				
A	0.75		Geçirimsiz mineral dolgu, sıkı-kapalı	
B	1	25-35°	Bozuşma yok, sadece yüzey lekeleri	
C	2	25-30°	Az bozuşmuş; kilsiz, kumlu, kaya parçalı ve mineral lekeli	2
D	3	20-25°	Siltli, kumlu ve kil sıvamalı yumuşamayan kil içerikli	
E	4	8-16°	Yumuşayan veya düşük sürtünmeli kil sıvaması; mika,talk vb.	
b) Duvar teması <10cm için var (ince mineral dolgulu)				
c) Duvar teması yok, (kalın mineral dolgulu)				

SRF		q_c/σ_1	Tanımlama	Tasarım Değeri
a) Kazıyı kesen zayıflık zonları				
A	10		Kil veya kimyasal ayrışmış metaryal içeren, sıkça tekrarlanan ezik zonlar, tamamiyle ayrışmış çevre kaya.(Her derinlik	
B	5		Kil veya kimyasal ayrışmış metaryal içeren tek bir ezik zon (kazı derinliği<50m).	
C	2.5		Kil veya kimyasal ayrışmış metaryal içeren tek bir ezik zon (kazı derinliği>50m).	
D	7.5		Sağlam Kayalarda bir çok kilsiz kayma zonları, ayrışmış çevre kayaçlar (Her derinlikte).	
E	5		Sağlam Kayada tek bir kilsiz kayma zonu (Kazı derinliği<50m)).	
F	2.5		Sağlam Kayada tek bir kilsiz kayma zonu (Kazı derinliği>50m).	
G	5		Açık eklemler, yüksek eklemlenme yada "kesme şeker" formu (Her derinlikte).	
Reduce these values of SRF by 25 - 50% but only if the relevant shear zones influence do not intersect the excavation				
b) Kesme etkisinde kaya yüzey teması yok				
H	2.5	>200	Düşük stres, yüzeye yakın ve açık süreksizlikler	
J	1	200-10	Orta stres, olumlu stres koşulları	1.00
K	0,5-2	10-5	Yüksek stres, çok sıkı süreksizlik koşulları	
L	5-50	5-3	Masif kaya, >1 saat için orta ölçekli plaka yenilmeleri	
M	50-200	3-2	Masif kaya, dakika içerisinde plaka düşmeleri ve kaya patlamaları	
N	200-400	<2	Ağır kaya patlamaları ve masif kayada anında deformasyon	
c) Sıkışma , yüksek basınç etkisinde plastik akış.				
d) Kaya kabarması su etkisinde kimyasal kabarma.				

Q - SİSTEMİ KAYA KÜTLE DEĞERLENDİRMESİ VE NATM KAZI SINIFI DEĞERİ				
N	Kaya Kütle Numarası	$(RQD/J_n)*(J_r/J_a)*(J_w)$	-	3.00
ϕ_{mass_p}	Kaya Kütle Pik Sürt.Açısı	$\tan^{-1}(Jr/Ja + 0.1)$ (Singh,2006)	°	57
Q	Kaya Kütle Değeri	$(RQD/J_n)*(J_r/J_a)*(J_w/SRF)$	-	3.0
NATM	NATM Kazı Sınıfı		-	B2

Şekil 4.48 Portal-1 Q sınıflama sistemi ile elde edilen puan ve NATM sınıfı karşılığı

Çizelge 4.11 Tünel eksenleri ve Portal-2 kesimi için Q puanı ve NATM karşılığı

Çalışma Alanı / Tanımlamalar	TE-1	TE-2	TE-3	TE-4	P-2
RQD	36	30	10	30	36
Jn	9	12	20	12	18
Jr	3	3	3	3	3
Jw	0.6	1	1	1	1
Ja	1	1	3	1	2
SRF	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
Q	7.9	7.5	0.2	7.5	3
NATM	B1	B1	B3	B1	B2

4. 5 GSI Değerlendirmesi

Jeolojik dayanım indeksi (GSI), ilk olarak Hoek vd. (1995) tarafından önerilmiştir. Kaya kütlelerinin jeomekanik davranışlarını süreksizlik durumuna bağlı olarak değerlendirilen ve RMR ve Q sınıflama sistemleri ile ilişkilendirilerek sunulan sistemdir.

Hoek ve Brown (1980, 1980b), "Hoek-Brown yenilme ölçütü" sistemini geliştirme aşamasında kullanılacak parametrelerin belirlenmesi amacıyla da GSI sistemini kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışma ile kaya kütlesi ve süreksizlik durumu dikkate alınarak dolaylı yoldan kaya kütle kalitesini gösteren yeni bir sistem ortaya koymuşlardır.

İlk olarak bloklu, çok bloklu, bloklu/örselenmiş ve parçalanmış olarak dört gruptan oluşan GSI sistemine Hoek vd. (1998) "foliasyonlu-laminalı-makaslanmış" grubunu, Hoek (1999) "Sağlam veya Masif kaya" grubunu eklemiş ve Hoek vd. (2002) yaptıkları son değişiklikle beraber sistemi son haline getirmişlerdir.

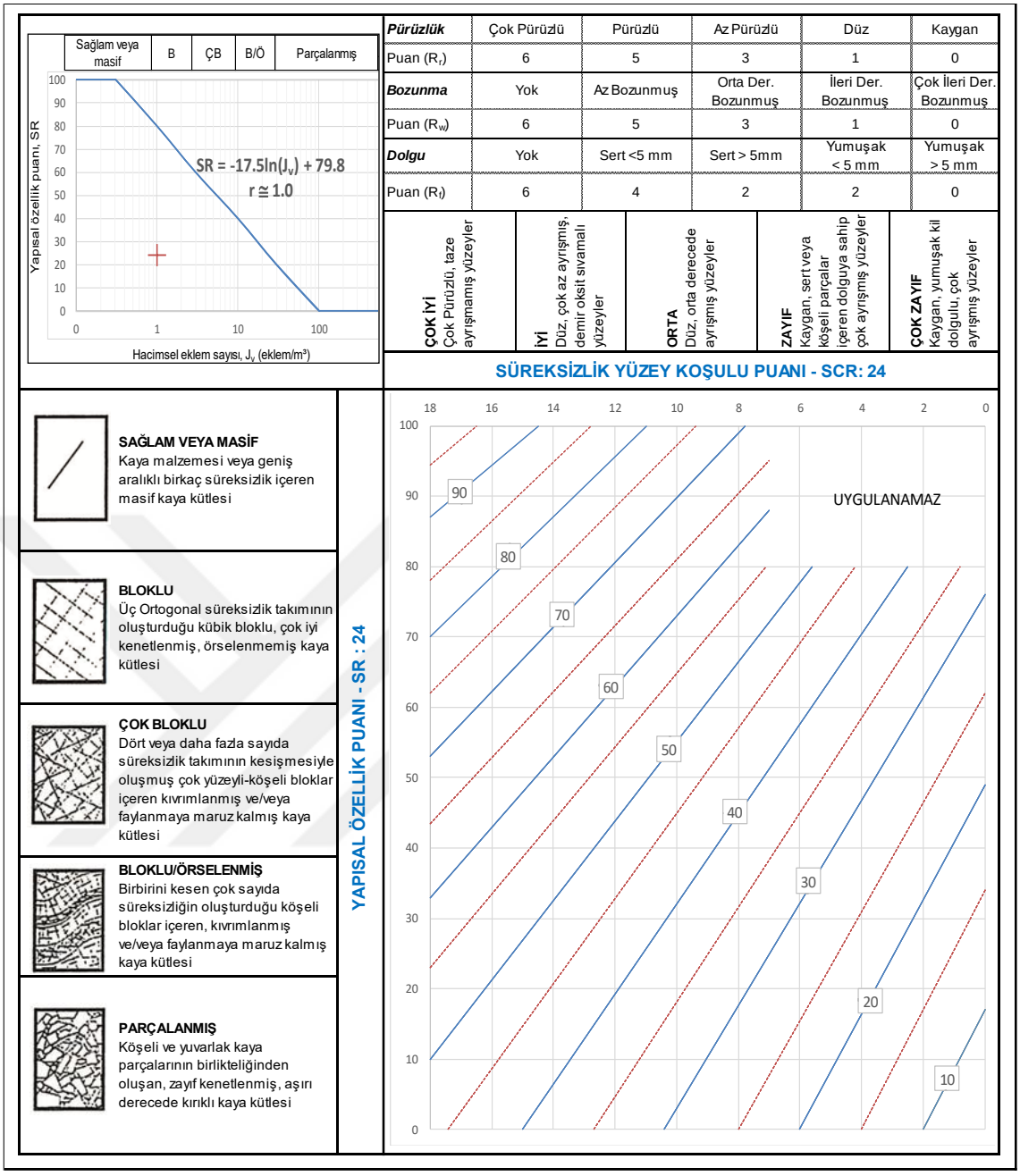
Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından yapılan çalışmalarla süreksizlik yüzeyi koşulunun ve kaya kütlesi yapısının doğru ve duyarlı bir şekilde tayini amacıyla ölçülebilen veya tanımlanabilen bir puanlama sistemine geçilmesini ve bu amaçla Yapısal Özellik Puanı (SR) ve Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR) olarak tanımlanan iki özelliğin sisteme dahil edilmesini önermişlerdir (Temiz, 2011).

Yüzey koşulu puanı (SCR), Sönmez ve Ulusay (1999) ve Ulusay ve Sönmez (2002) tarafından yayınlanan GSI abağındaki süreksizliklerin pürüzlülük (R_r), bozunma (R_w) ve dolgu (R_f) puanlarının toplanması ile elde edilir (Çizelge 4.12).

Yapısal özellik puanı (SR), belirlenen ortalama süreksizlik aralığı (S) ile hacimsel eklem sayısına (J_v) bağlı olarak ampirik formül yardımıyla elde edilmektedir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 GSI puanlama sistemi formülleri (Ulusay ve Sönmez, 2002)

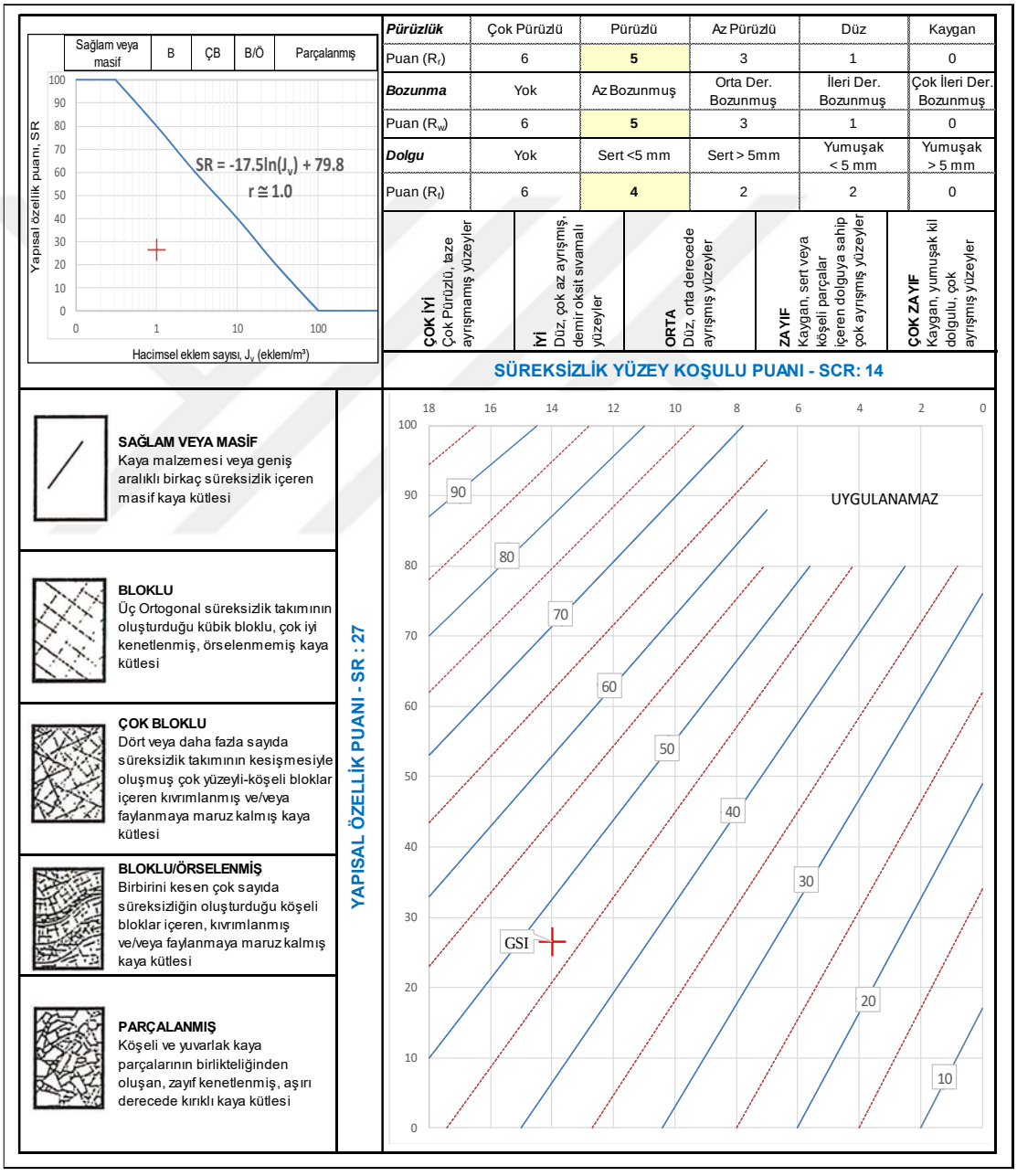
Sonuç	Formül
SCR	$R_r+R_w+R_f$
J_v	$(1/S1+1/S2+..+1/S_n)$
SR	$-17,5x\ln(J_v)+79,8$



Şekil 4.49 GSI sınıflama sistemi abağı (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Ulusay ve Sönmez (2002) de verilen abaklar yardımıyla R_r, R_w, R_f değerleri elde edilir (Şekil 4.49). Elde edilen bu değerlerden ampirik formüller yardımıyla SCR ve SR değerleri elde edilir (Çizelge 4.12). SR ve SCR değerleri, Ulusay ve Sönmez (2002)'nin verdiği abakta kesiştirilerek GSI değeri elde edilir (Şekil 4.49).

Bu doğrultuda, Ulusay ve Sönmez (2002) tarafından yapılan çalışma sonucunda elde edilen güncel jeolojik dayanım indeksi (GSI) hesaplama yöntemi kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Söz konusu değerlendirme kapsamında belirlenen GSI değeri ise önceki bölümlerde tanımlanan süreksizlik özellikleri dikkate alınarak saptanmıştır (Şekil 4.50 ve Çizelge 4.13).



Şekil 4.50 Portal-1 GSI değerlendirme ölçütleri

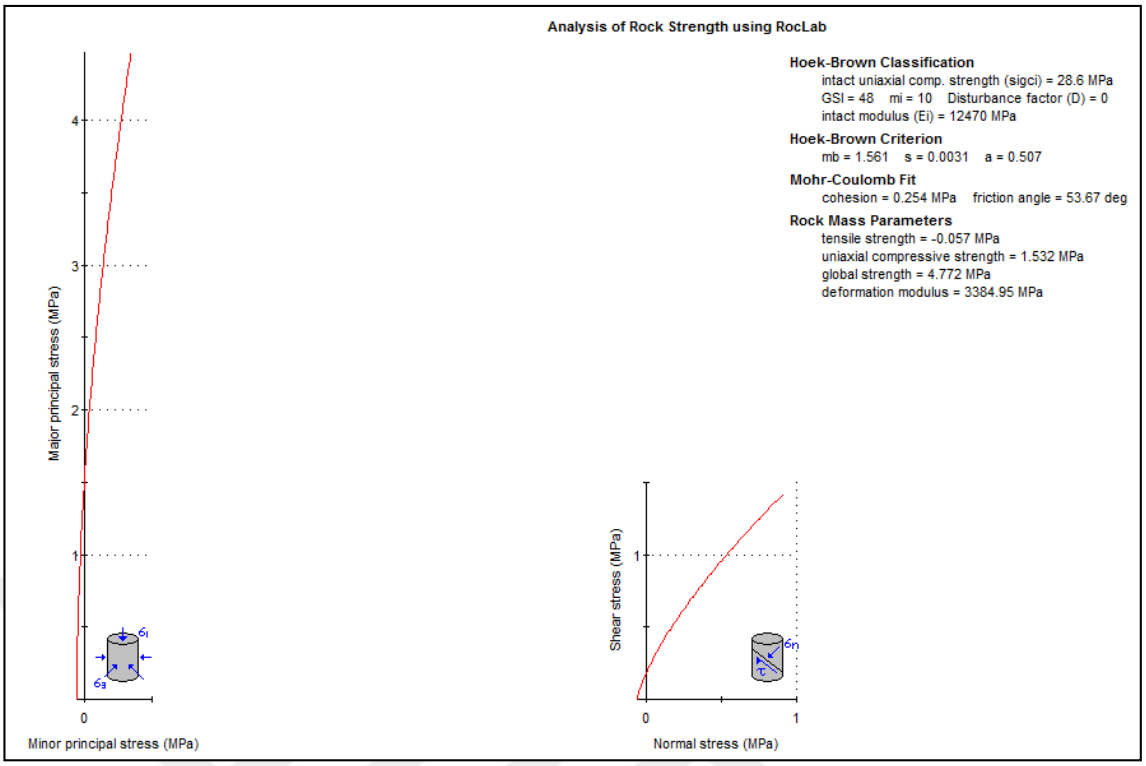
Çizelge 4.13 Portal-1, tünel eksenleri ve Portal-2 için GSI değerlendirme ölçütleri

Çalışma Alanı / Tanımlamalar		P-1	TE-1	TE-2	TE-3	TE-4	P-2
Pürüzlülük	Tanımlama	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü
	Puanı	5	5	5	3	5	5
Bozunma	Tanımlama	az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş	İleri derece bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
	Puanı	5	5	5	1	5	5
Dolgu	Tanımlama	sert <5mm	Sert <5mm	Sert <5mm	Sert <5mm	Sert <5mm	Sert <5mm
	Puanı	4	4	4	2	4	4
SCR		14	14	14	6	14	14
SR		24	24	22	22	22	22
GSI		48	48	46	28	46	46

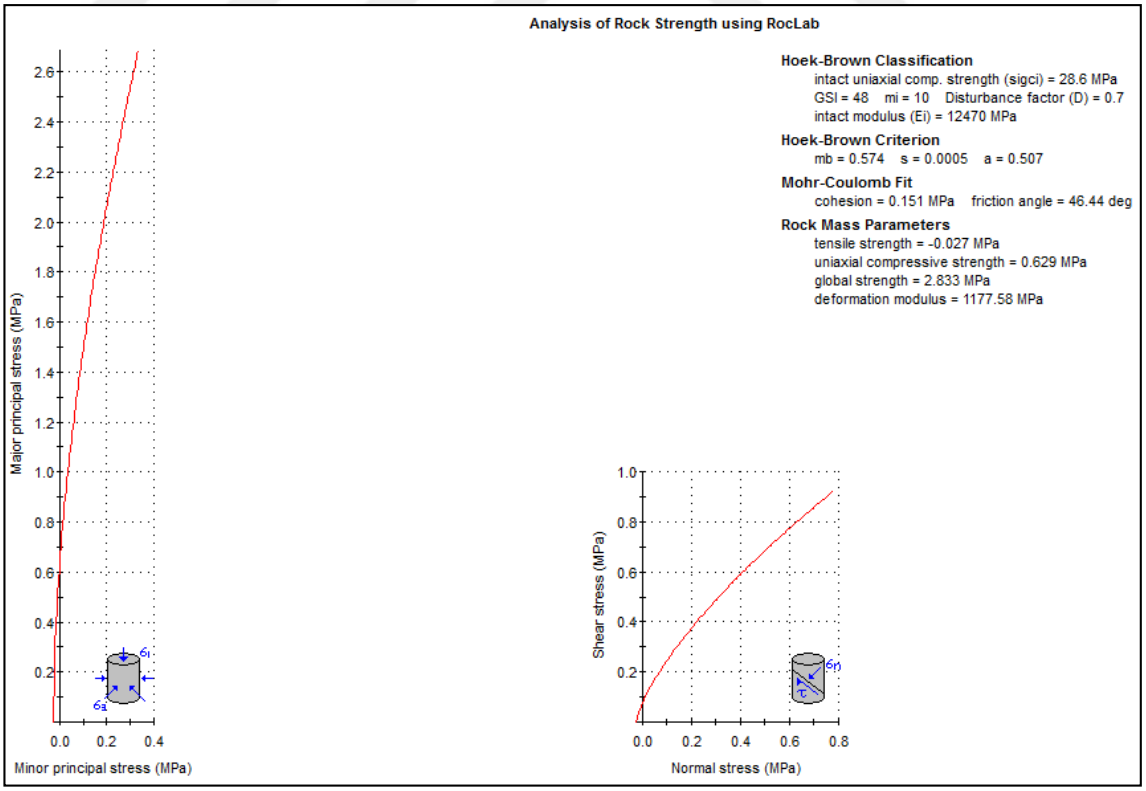
Tünel güzergahında yer alan jeolojik birimlere ait GSI değerleri incelendiğinde, güzergah üzerinde bulunan tüm birimlerin “Bloklu / Örselenmiş” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

4. 6 Hoek-Brown Kriterlerinin Değerlendirilmesi

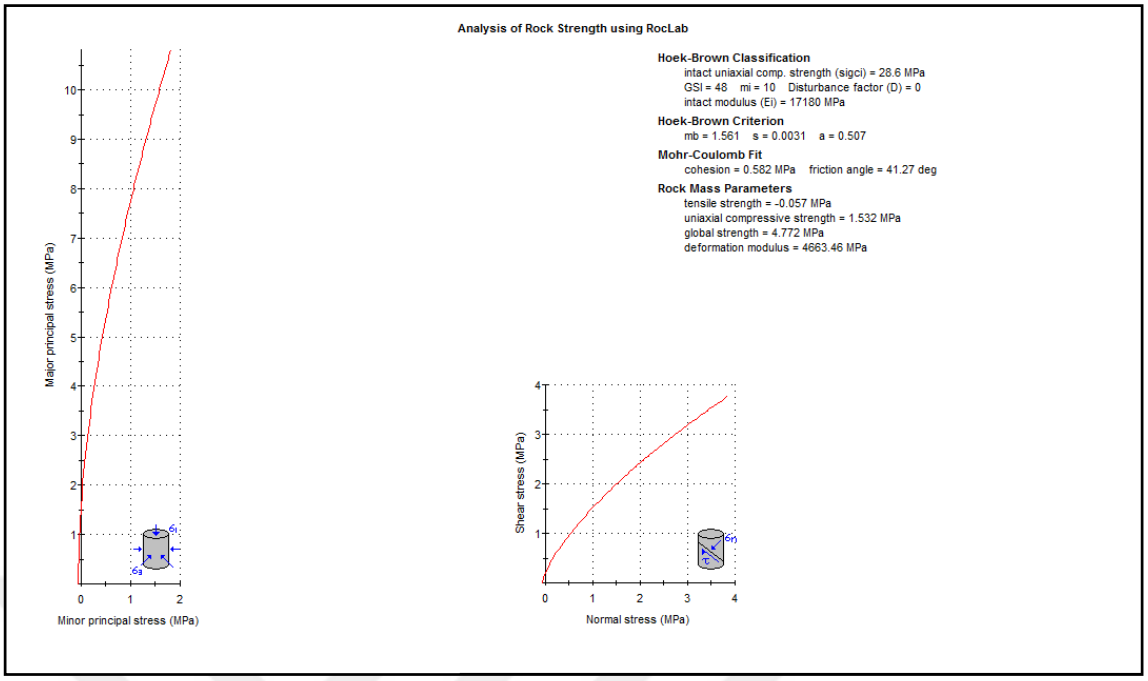
Jeoteknik tasarımlarda kullanılmak amacıyla Roclab programı aracılığıyla kaya kütlesinin içsel sürtünme açısı, kohezyon değeri ve elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır.



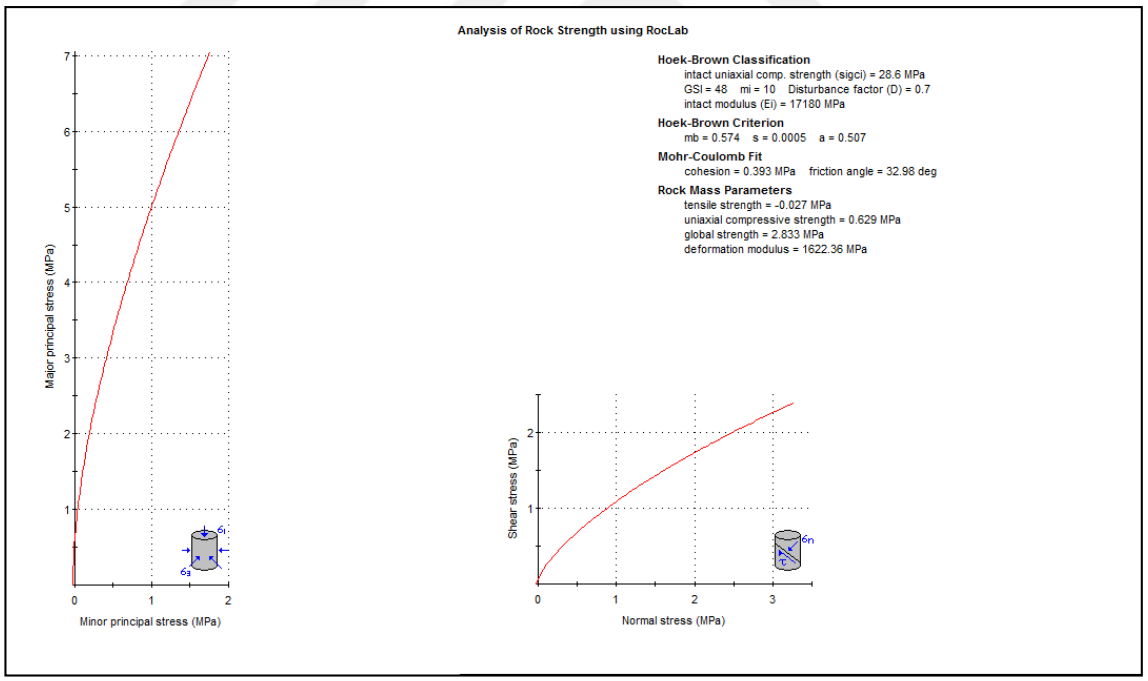
Şekil 4.51 Portal-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0)



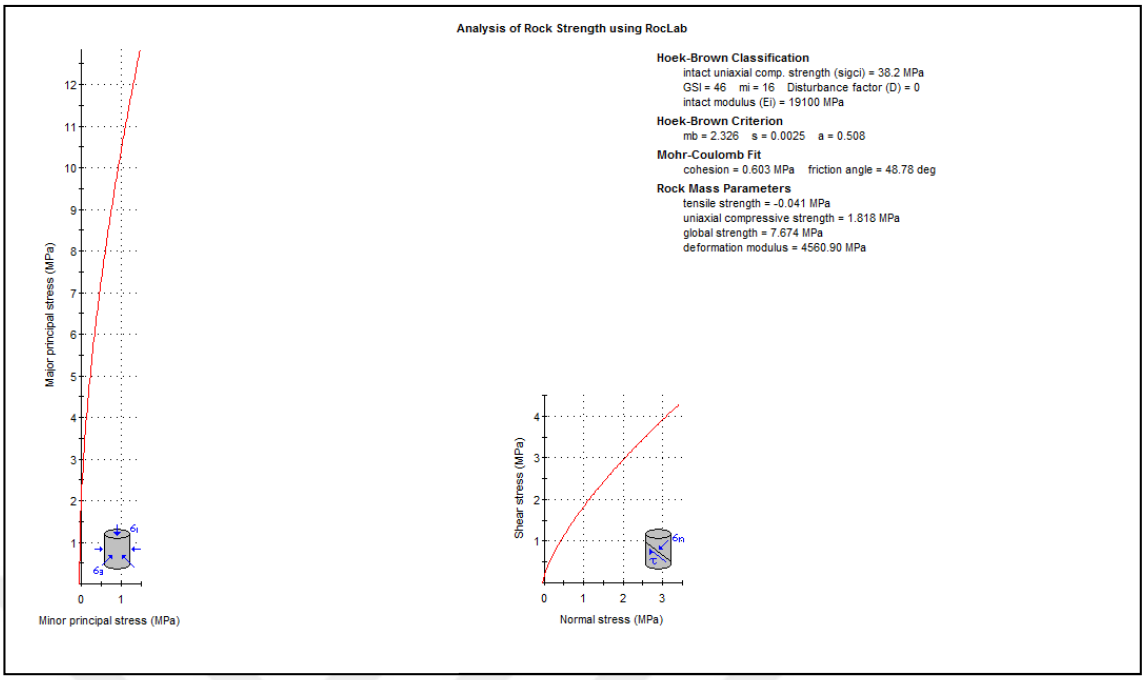
Şekil 4.52 Portal-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7)



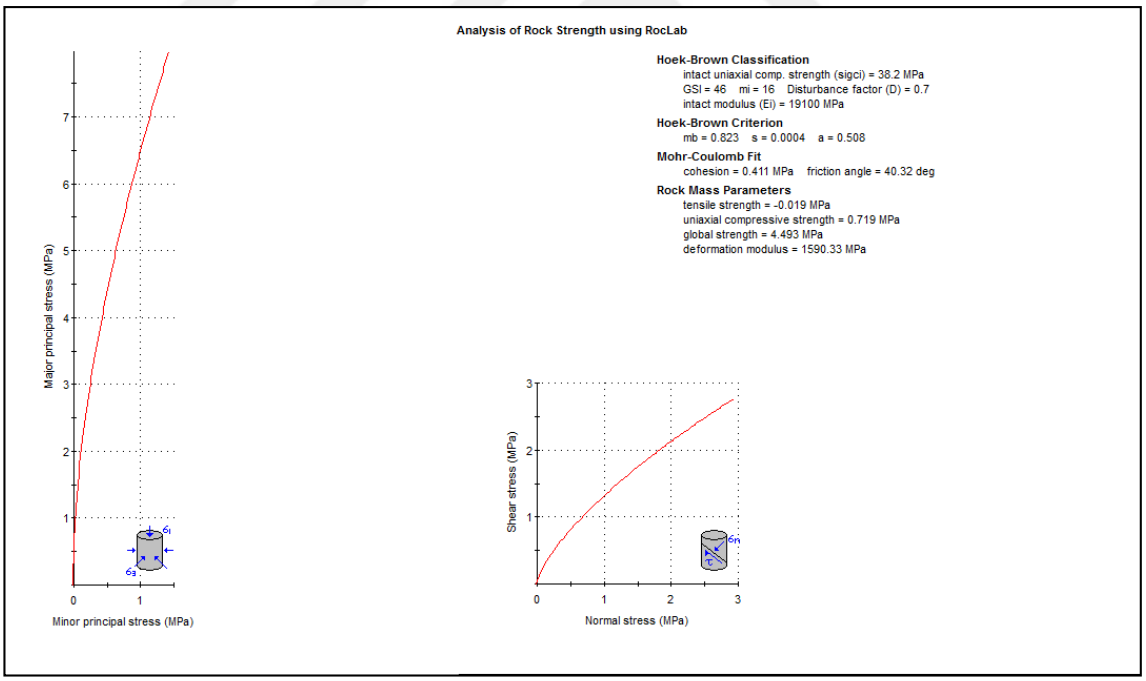
Şekil 4.53 TE-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0)



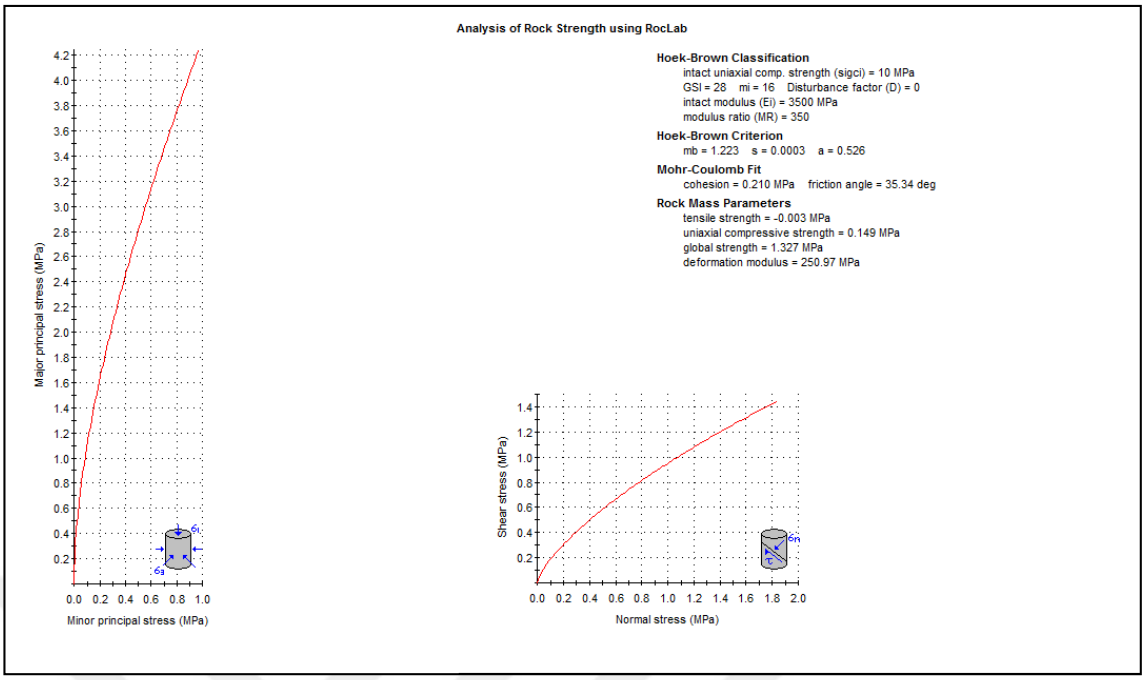
Şekil 4.54 TE-1 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7)



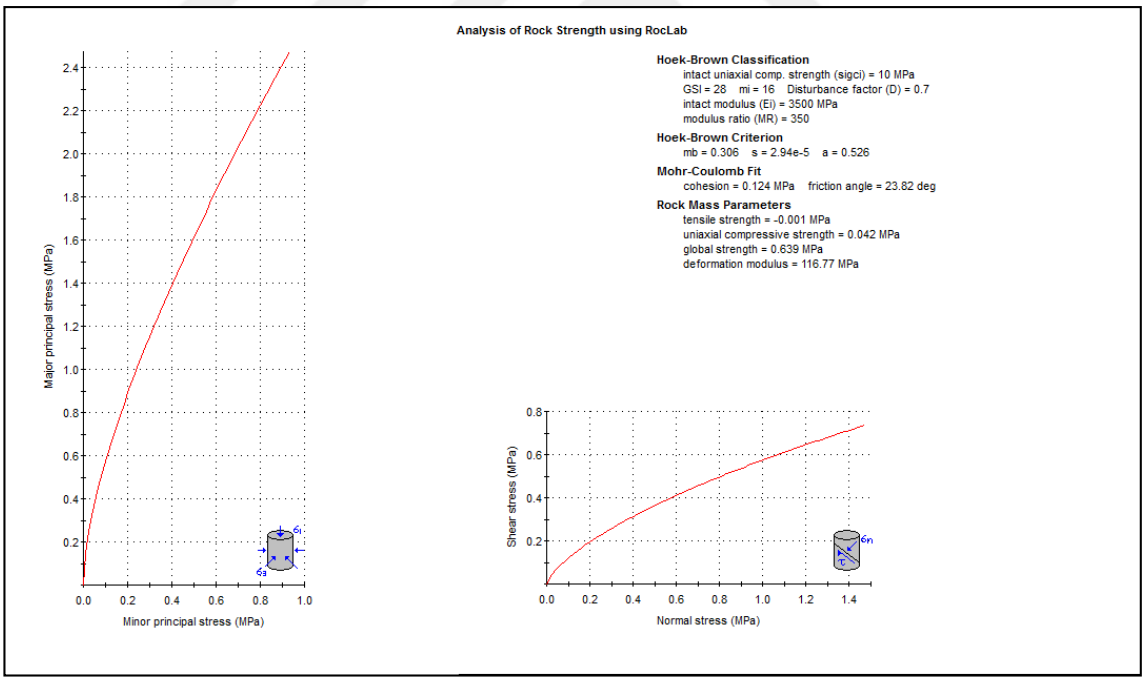
Şekil 4.55 TE-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0)



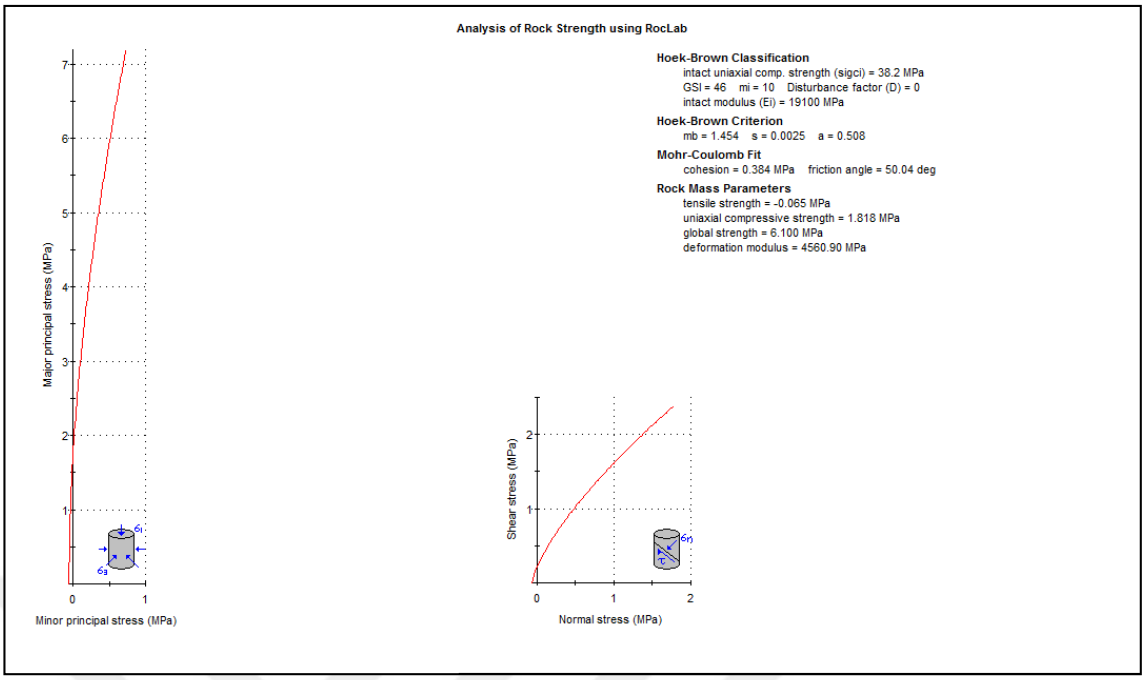
Şekil 4.56 TE-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7)



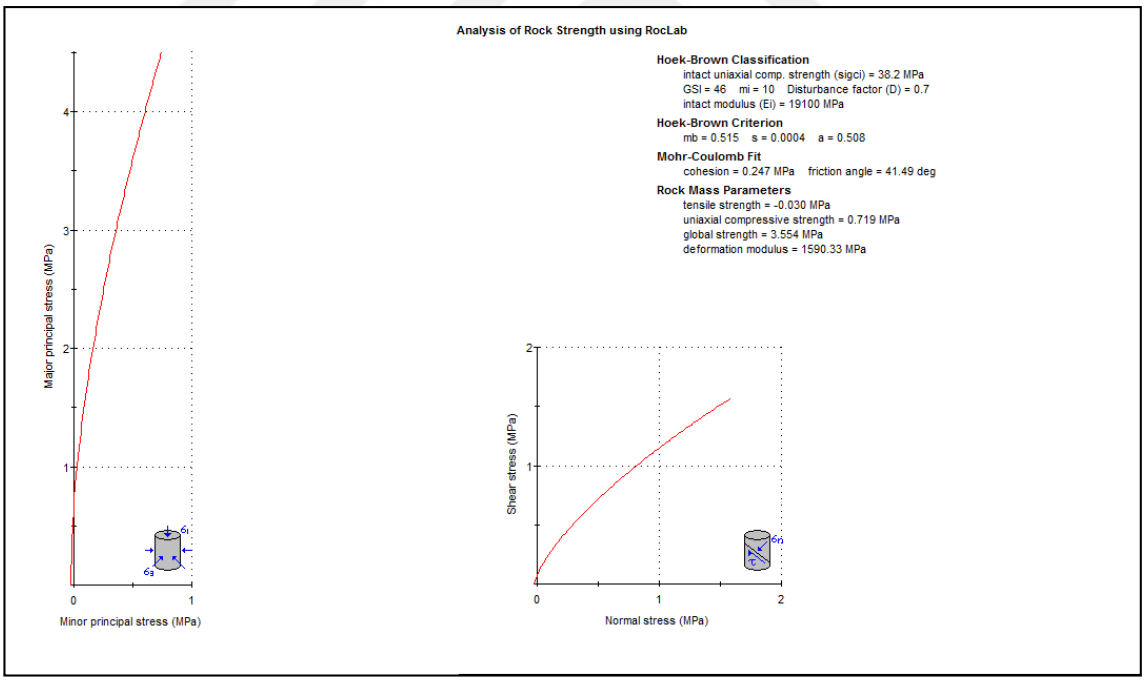
Şekil 4.57 TE-3 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0)



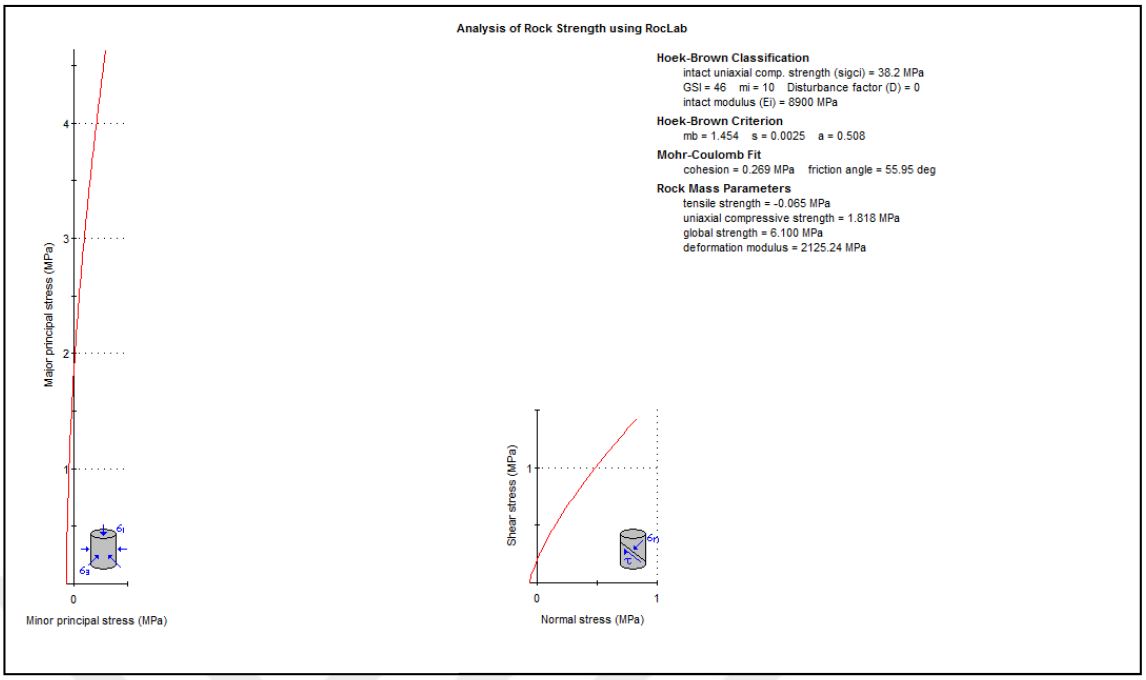
Şekil 4.58 TE-3 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7)



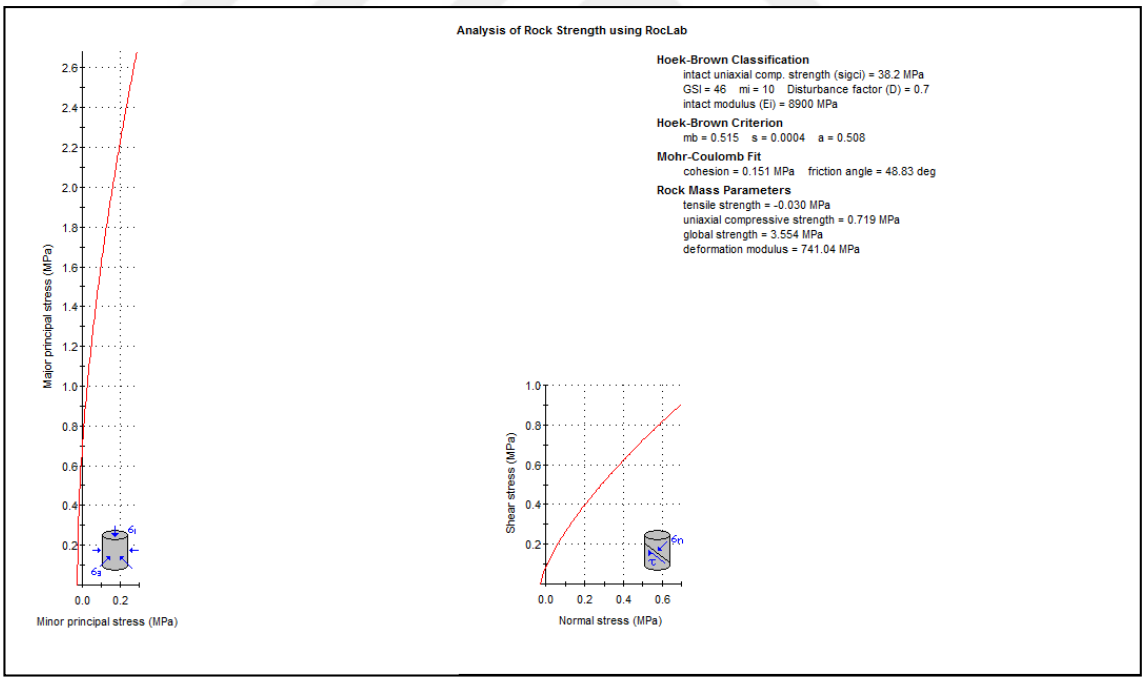
Şekil 4.59 TE-4 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0)



Şekil 4.60 TE-4 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7)



Şekil 4.61 Portal-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0)



Şekil 4.62 Portal-2 GSI tabanlı kaya kütle değerlendirmesi (D=0,7)

5. SAYISAL ANALİZLER

5. 1 Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)

Sonlu elemanlar metodu, mühendisler ve maematikçiler tarafından geliştirilmiştir. Yöntem ilk olarak yapısal analizlerinde uygulanmaya başlanmasına rağmen, dayandığı temellerden dolayı birçok mühendislik hesaplamalarında önem kazanmış ve zaman içerisinde bilgisayar programlarına da uydurulmaya başlanmıştır (Polat, 2010; Yıldız, 2005).

Sonlu elemanlar yönteminde, çalışma yapılacak alanın yer aldığı ortam, sonlu eleman adı verilen parçalara bölünmektedir. Gerçekte ortamda yer alan elemanlar birbirine sonsuz sayıda nokta ile bağlı olmasına rağmen, bu yöntemde parçalar sadece hayali olarak oluşturulan düğüm noktaları ile birbirine bağlanmaktadır. Bu sayede düğüm noktalarındaki deplasman değeri bulunarak, çalışma alanında yapılması planlanan yapı üzerindeki deplasman miktarı da belirlenmektedir (Polat, 2010; Yıldız, 2005).

Sonlu elemanlar metodunun (SEM) gerilme analizleri ve deplasmanların bulunmasında başlıca iki temel prensip uygulanmaktadır. Bunlardan ilki deplasman yöntemidir. Yöntemin temel işleyiş prensibi minimum potansiyel enerji ilkesini esas alan ve yer değiştirmeleri ilk bilinmeyen olarak tanımlayan yer değiştirme (deplasman) yöntemidir. Diğer yöntem ise minimum tamamlayan enerji prensibine dayanan ve gerilmeleri ilk bilinmeyen olarak benimseyen denge yöntemidir. Tünelcilikte minimum enerji prensibine dayanan yer değiştirme yöntemi kullanılmaktadır (Desai, 1972; Polat, 2010).

5. 2 Analiz Aşamaları

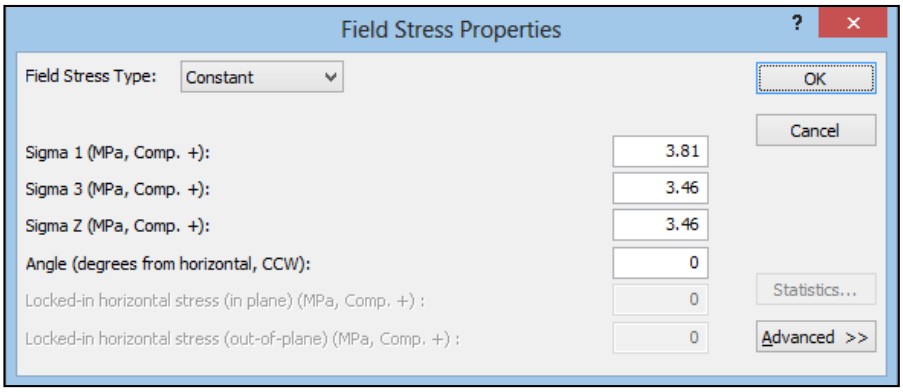
Bu çalışmada tasarımı yapılan tünelin ve tünel destek sistemlerinde gerilmeye bağlı olarak gelişebilecek deformasyon değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan yazılım kullanılmıştır.

Analizin ilk aşamasında, analiz yapılmak istenen bölge için kesit hazırlama işlemleri yapılmalıdır. Bu çalışmada Portal-1, TE1, TE2, TE3, TE4 ve Portal-2 olarak bölümlere ayrılan tünel güzergahında, her bir bölüm için analiz yapmak amacıyla gerilme durumunun maksimum olduğu (örtü yükünün en fazla olduğu) kilometrelerdeki kesitler kullanılmıştır (Çizelge 4.1). Phase programının import özelliğini kullanılabilmesi için kesitleri hazırlamak için kullanılan programın çizimi dxf olarak kaydedebilme özelliği bulunması gerekmektedir. Kesitlerin hazırlanması sırasında analiz dış yüzeyine, materyaller arasındaki çizgilere ve kazı alanlarına verilmesi gereken layer isimleri gösterilmiştir. Bu isimlendirme aşamalarına dikkat edilmemesi durumunda programın kesiti görmeme durumu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.1 Import işleminde önce Phase objelerine verilmesi gereken layer isimleri (URL-1)

RS2 Object	Layer Name	AutoCAD Entity Type
Excavation Boundary	EXCAVATION	Closed LINE / POLYLINE
External Boundary	EXTERNAL	Closed LINE / POLYLINE
Material Boundary	MATERIAL	LINE / POLYLINE

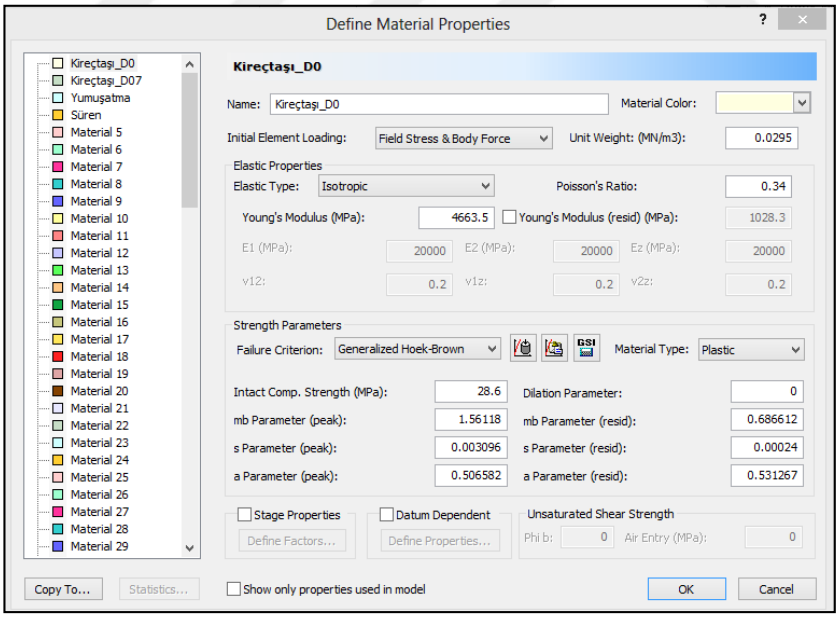
Analizin ikinci aşamasında analizi yapılacak olan bölgenin stres koşulları göz önüne alınarak zeminin kendi ağırlığından meydana gelen düşey gerilme değeri hesaplanmaktadır ($\sigma_v=\gamma xh$). Bunun için programda "Loading" menüsünden "Field Stress" sekmesine tıklanmalıdır. Portallerde örtü yükünün az olması nedeniyle stres koşulları "Gravity" (URL-2) olarak değerlendirilirken eksen kesimlerinde "Constrant" (URL-3) olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1 Field Stress Properties penceresi görünümü

Eksen kesiminde belirlenen stres parametrelerinde düşey gerilme değeri hesaplandıktan sonra Sheorey (2001) ve Lim ve Lee (1995)'in k parametre hesaplamalarının ortalaması kullanılarak yatay gerilme değeri belirlenmiştir ($\sigma_h=\sigma_v.k$). Bu çalışma da σ_2 ve σ_3 birbirine eşit olarak kabul edilmiş ve herhangi bir sürşarj yükü olmamasından dolayı artı bir yük eklenmemiştir.

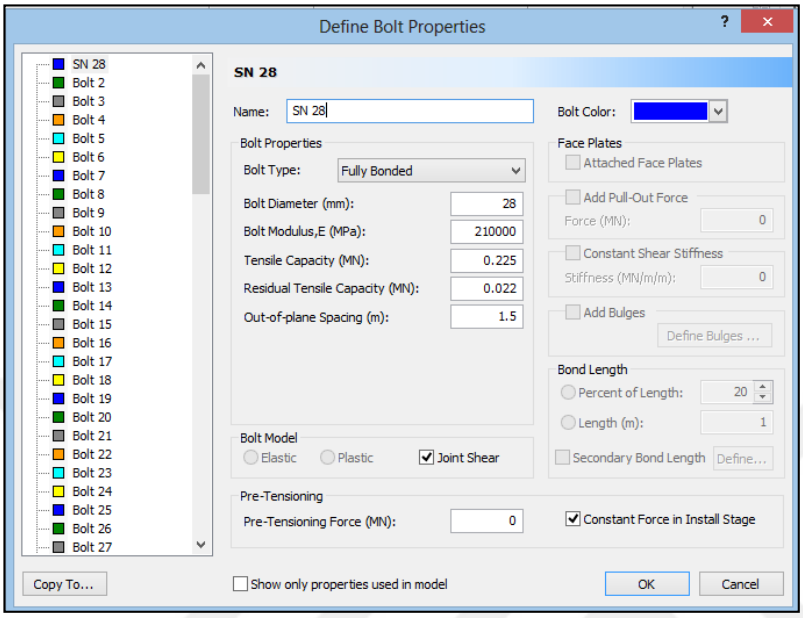
Analizin üçüncü aşamasında çalışma alanında bulunan zemin ve kaya birimlerine ait materyal özellikleri belirlenmektedir. Bunun için programda "Properties" menüsünden "Define Materials" sekmesine tıklanmalıdır. Analiz yapılırken portal kesimlerinde "Field stress and body force" kullanılırken eksen kesimlerinde "Field stress only" kullanılmaktadır (URL-4). Kaya parametrelerini belirlemek amacıyla Roclab programı kullanılmış ve tek eksenli basınç değeri, GSI, mi, D, Ei parametreleri girilerek Hoek-Brown kriterleri olan mb, s, a değerleri (Hoek vd. 2002) ile kaya kütle parametreleri belirlenerek programa girişi sağlanmıştır.



Şekil 5.2 Define Material Properties penceresi görünümü

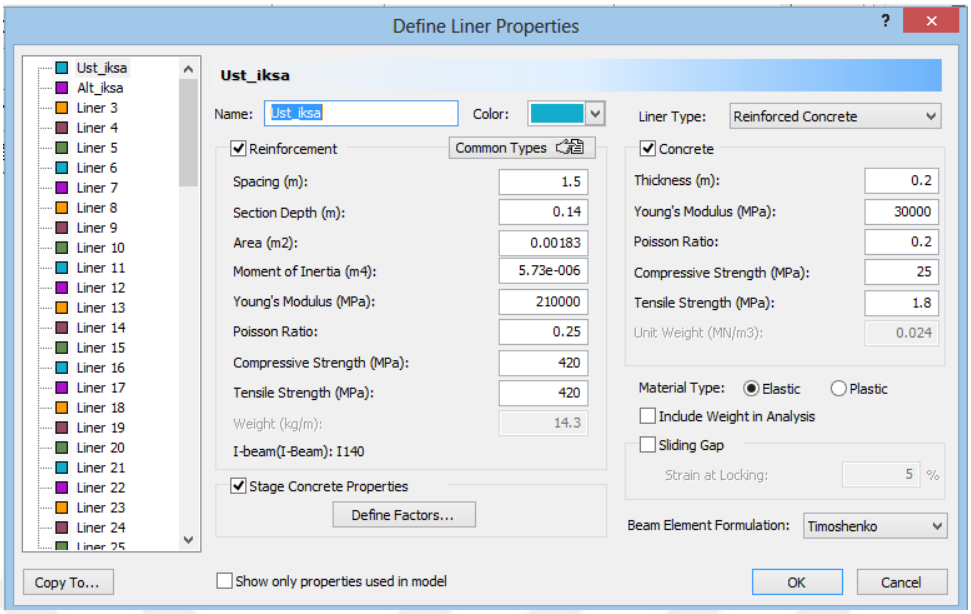
Analizin dördüncü aşamasında kazı sırasında destek amaçlı kullanılacak olan bulonların özellikleri tanımlanmaktadır. Bunun için programda "Properties" menüsünden "Define

Bolt” sekmesine tıklanmalıdır. Belirlenen kazı sınıflamasına veya zemin türüne göre PG, SN ya da R32N bulonlarına ait parametreler bu pencerede girilmektedir.



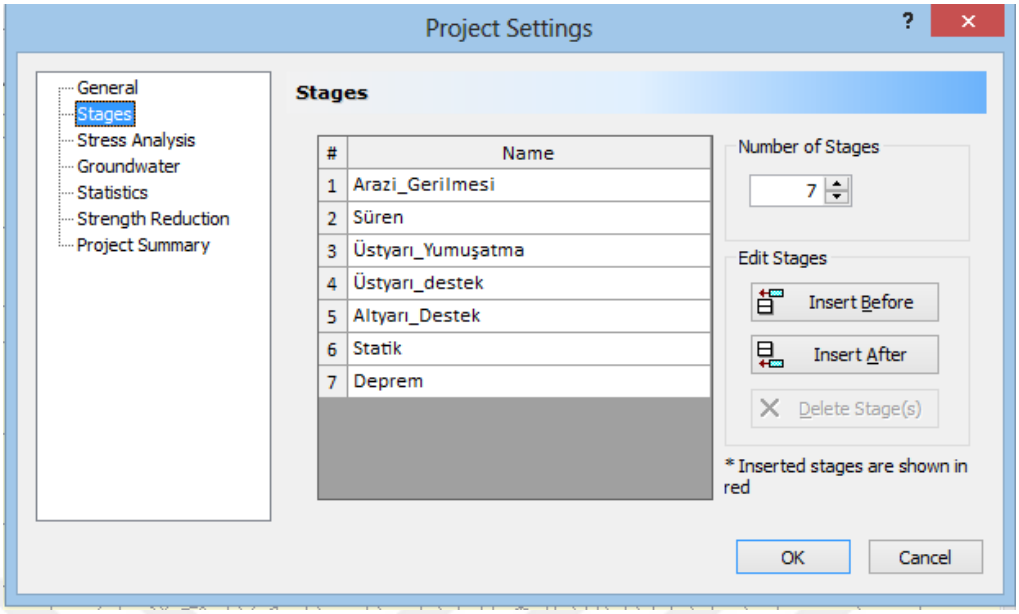
Şekil 5.3 Define Bolt Properties penceresi görünümü

Analizin beşinci aşamasında çelik iksa, çelik hasır ve püskürtme beton desteklerinin işlenmesi için “Liner” tanımlamasının yapılması gerekmektedir. Bunun için programda Properties menüsünden “Define Liner” sekmesine tıklanmalıdır. Çelik iksalar için S420 çeliği kullanılmasından dolayı bu çeliğe ait parametreler programa girilmektedir. Ayrıca belirlenen kazı sınıfına göre iksa tipi, iksa aralığı özellikleri ve iksalardan sonra kullanılacak püskürtme beton kalınlığı ile kullanılacak beton türüne ait parametreler de bu pencere de girilmektedir.



Şekil 5.4 Define Liner Properties penceresi görünümü

Analizin son aşmasında tüm tanımlama işlemleri bittikten sonra tünelim imalata bağlı olarak kademe kademe işlenmesidir. Bu işlem öncelikle tünelin kaç kademe de tasarlanacağının belirlenmesi gerekmektedir. Belirlendikten sonra programda “Analysis” menüsünden “Project Settings” penceresi açılmalıdır. Açılan bu pencere de “Stages” kısmına gelinmeli ve planlanan aşama sayısı girilerek aşamaların isimlendirilmesi yapılmalıdır.



Şekil 5.5 Project Settings penceresi görünümü

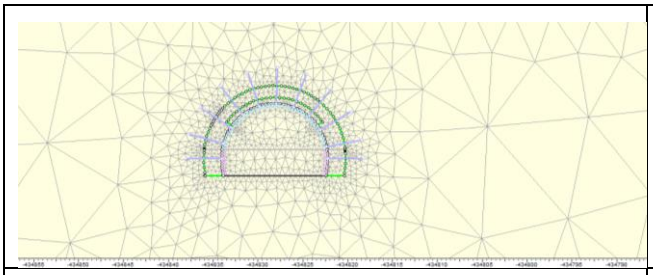
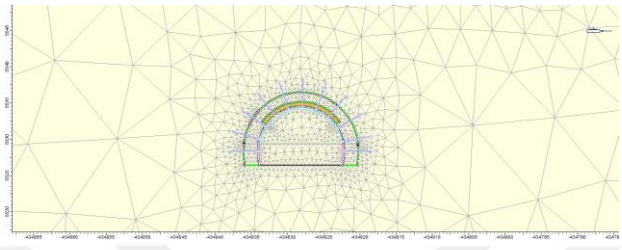
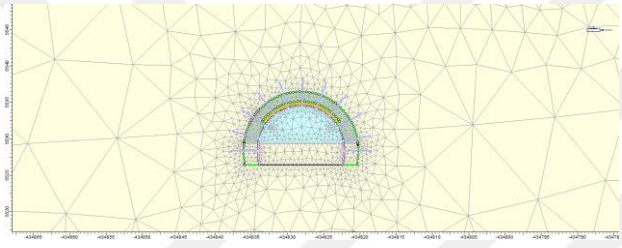
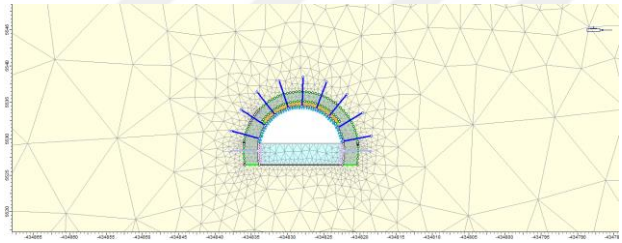
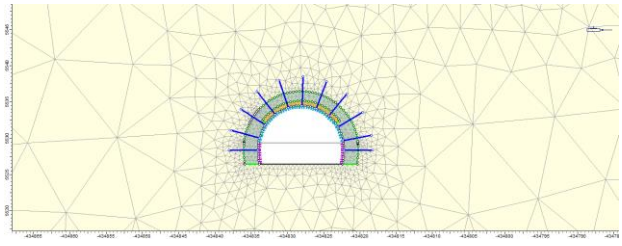
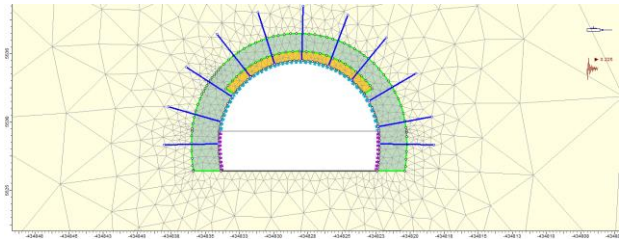
Bu çalışma da en fazla 7 kademe de tünelin açılması işlemi tamamlanmıştır.

5. 3 Portal-1 Kesimi Sayısal Analizi

Yatay/Düşey gerilme oranının (σ_h/σ_v) hesabında Sheorey (2001) ve Lim and Lee (1995) tarafından önerilen eşitliklerinin yaklaşık ortalaması kullanılmıştır. Buna göre; projesi yapılan tünelin portal-1 bölgesindeki maksimum örtü tabakası yüksekliği dikkate alındığında σ_v=0,65 MPa için yatay/düşey gerilme oranı ortalaması k= 4,65 ve σ_h=3.02 MPa olarak bulunmuştur.

Jeolojik birimler için elde edilen jeoteknik parametrelere ve gerilme değerlerine bağlı olarak portal-1 kesimi için sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve belirlenen kazı destek sistemlerine göre tünelde meydana gelebilecek olan deformasyon değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.2).

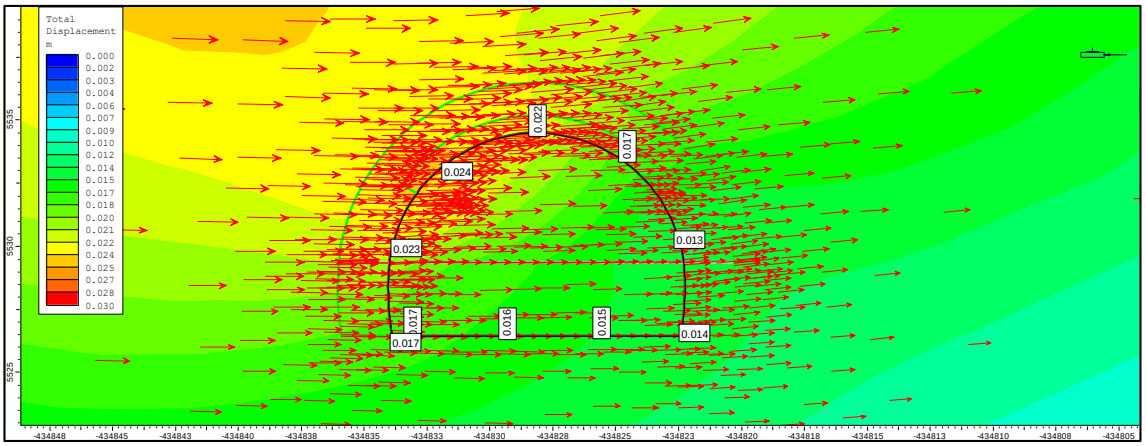
Çizelge 5.2 P1 sayısal analiz modeli

	**1. Aşama:** İlk olarak arazi modellenmiş ve tabi durumdaki stres koşulları oluşturulmuştur.
	**2. Aşama: Ş**emsiye kemer (umbrella arch) uygulanmıştır.
	**3. Aşama:** Tasarlanan tüpte tünel aynası içinde kalan kesimde, yaklaşan tünel kazısının etkisini görebilmek için üst yarıda birimlerin elastisite modülü öngörüldüğü oranda azaltılmıştır.
	**4. Aşama:** Aynanın hemen gerisinde, tünel üst yarı kazı adımı gerçekleştirilmiştir. Bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır). Tünel alt yarısında mevcut birimlere ait elastisite modülü daha önce hesabı verilen oranda azaltılmıştır. Üst yarı püskürtme betonuna ait elastisite modülü tasarım değerine yükseltilmiştir.
	**5. Aşama:** Tünel aynasının hemen gerisinde alt yarı kazısı gerçekleştirilmiş, bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır).
	**6. Aşama:** İç Kaplama betonu üzerine Pseudo-statik olarak deprem yükü etki ettirilmiştir.

Portal-1 kesimi için daha önce ampirik yöntemlerle (kaya sınıflama sistemleri kullanılarak) tahmini olarak belirlenen kazı ve destekleme sistemleri sayısal yöntemlerle (sonlu elemanlar metodu kullanılarak) analiz edilmiş ve gereksinim duyulacak taşıyıcı sistem boyutları inşaat aşamalarının etkisi de dikkate alınarak yeniden belirlenmiştir.

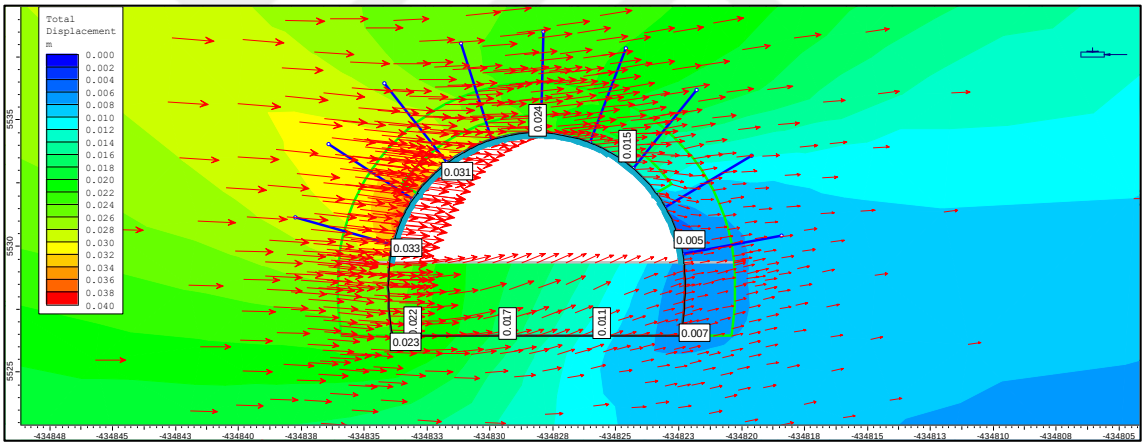
Çizelge 5.3 P1 tünel destek sistemi

<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Uygulama Aralığı</td><td>PORTAL-1</td></tr>
<tr><td>KM:13+673-KM:13+730</td></tr>
<tr><td rowspan="4">KAZI</td><td colspan="2">Destek Sınıfı</td><td>B2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Yöntemi</td><td>Alt ve üstyarılı bölünmüş kazı uygulanacaktır</td></tr>
<tr><td rowspan="2">İlerleme Boyu</td><td>Üstyarı</td><td>1,5 m</td></tr>
<tr><td>Altyarı</td><td>3,0 m</td></tr>
<tr><td rowspan="12">DESTEK</td><td rowspan="3">Kaya Bulon</td><td>Tavan</td><td>Φ:28 L= 4 m 1,5x2,0 paternde</td></tr>
<tr><td>Taban</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Yan Duvar ve Omuzlarda</td><td>Φ:28 L= 4 m 1,5x2,0 paternde</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ayna</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Çelik İksa</td><td>1,5 m Sistematik aralıklarla I140</td></tr>
<tr><td colspan="2">Süren</td><td>Gerekli</td></tr>
<tr><td colspan="2">Taban Kemeri</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Püskürtme Beton</td><td>Tavan</td><td>C25/30 (20 cm)</td></tr>
<tr><td>Taban</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Yan Duvar</td><td>C25/30 (20 cm)</td></tr>
<tr><td>Ayna</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kaplama Beton</td><td>40 cm iç kaplama betonu</td></tr>
<tr><td colspan="2">Hasır Çelik / Donatı</td><td>Q221 /221 (Çift Kat)</td></tr>
</table>



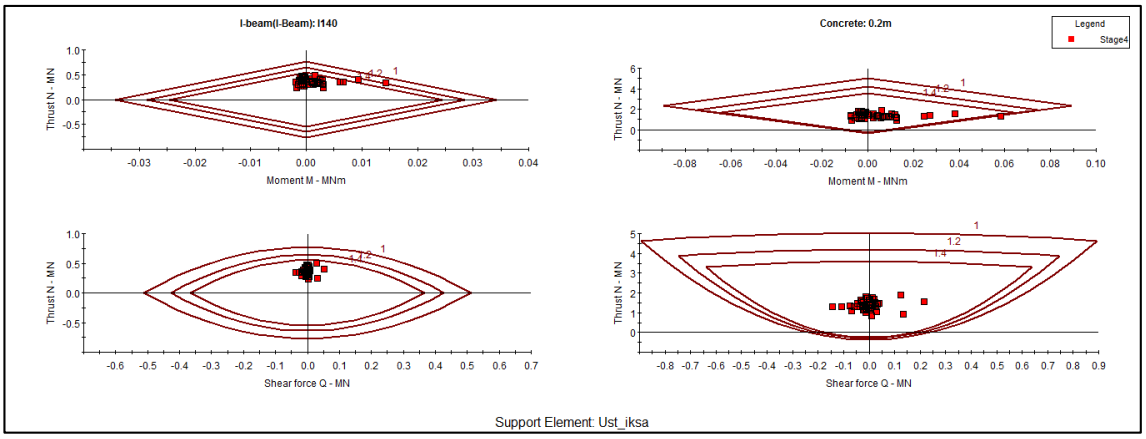
Şekil 5.6 P1 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı

En yüksek deplasman 0,024 m olup tünel stabilitesi açısından önem arz etmemektedir (Şekil 5.6).



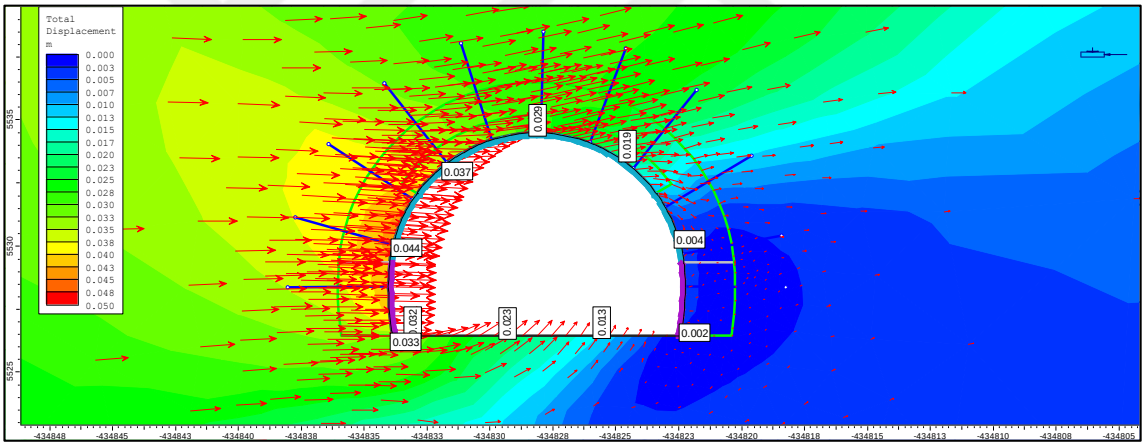
Şekil 5.7 P1 üstyarı kazısı deplasman dağılımı

Üstyarı kazısı tamamlanmış ve öngörülen destek unsuları uygulandığında; toplam deplasman miktarının 0,033 m olup kazı sonucunda seçilen destek sisteminin yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.7).



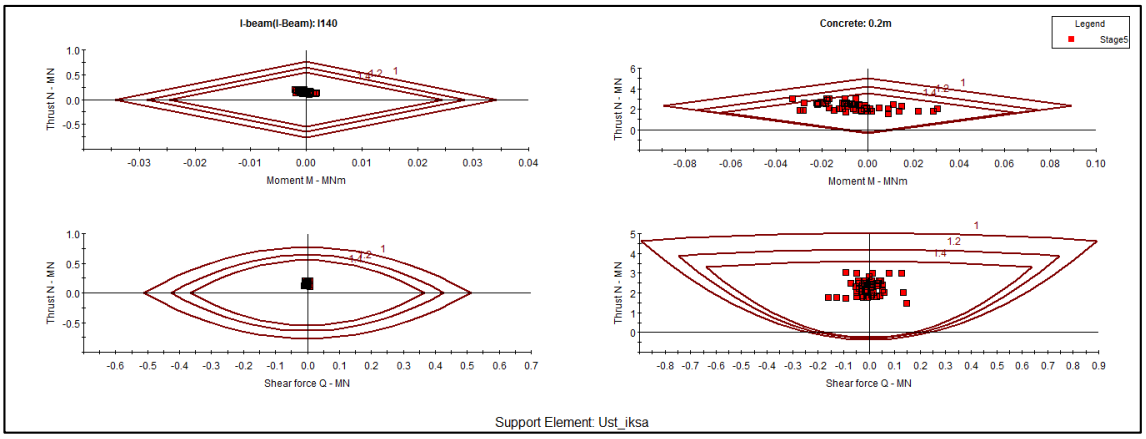
Şekil 5.8 P1 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki

Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.9 P1 altyarı kazısı deplasman dağılımı

Altyarı kazısı tamamlanmış ve yapılan sayısal inceleme sonucunda toplam deplasman miktarının 0,044 m olup kazı sonucunda seçilen destek sistemi yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.10 P1 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki

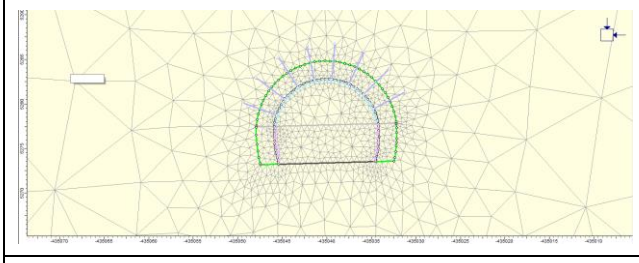
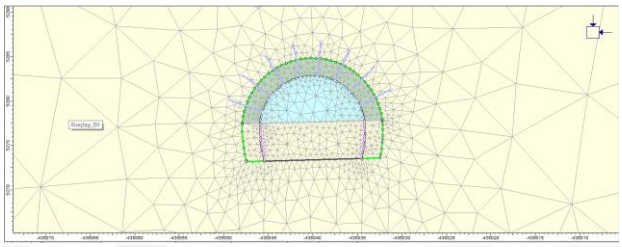
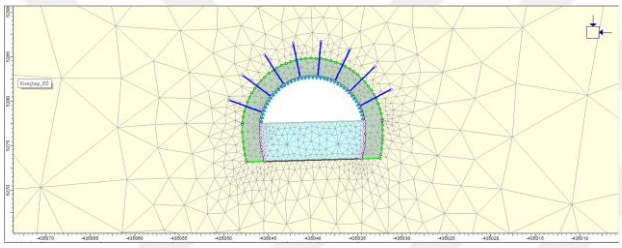
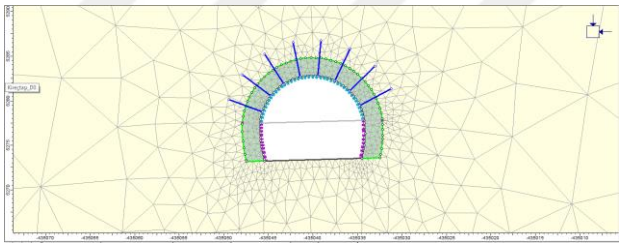
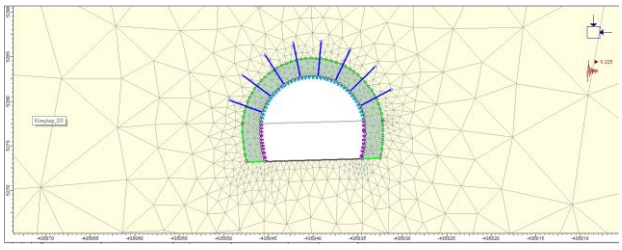
Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.10).

5. 4 Tünel Ekseni-1 Kesimi Sayısal Analizi

Yatay/Düşey gerilme oranının (σ_h/σ_v) hesabında Sheorey (2001) ve Lim and Lee (1995) tarafından önerilen eşitliklerinin yaklaşık ortalaması kullanılmıştır. Buna göre; projesi yapılan tünelin Tünel Ekseni-1 bölgesindeki maksimum örtü tabakası yüksekliği dikkate alındığında σ_v=3,81 MPa için yatay/düşey gerilme oranı ortalaması k= 0,91 ve σ_h=3,46 MPa olarak bulunmuştur.

Jeolojik birimler için elde edilen jeoteknik parametrelere ve gerilme değerlerine bağlı olarak Tünel Ekseni-1 için sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve belirlenen kazı destek sistemlerine göre tünelde meydana gelebilecek olan deformasyon değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.4).

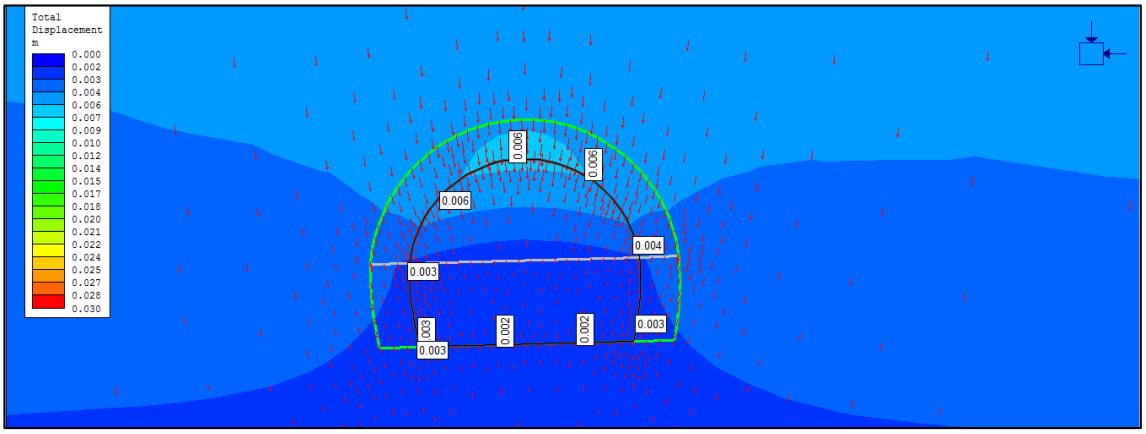
Çizelge 5.4 TE-1 sayısal analiz modeli

	**1. Aşama:** İlk olarak arazi modellenmiş ve tabi durumdaki stres koşulları oluşturulmuştur.
	**2. Aşama:** Tasarlanan tüpte tünel aynası içinde kalan kesimde, yaklaşan tünel kazısının etkisini görebilmek için üst yarıda birimlerin elastisite modülü öngörüldüğü oranda azaltılmıştır.
	**3. Aşama:** Aynanın hemen gerisinde, tünel üst yarı kazı adımı gerçekleştirilmiştir. Bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır). Tünel alt yarısında mevcut birimlere ait elastisite modülü daha önce hesabı verilen oranda azaltılmıştır. Üst yarı püskürtme betonuna ait elastisite modülü tasarım değerine yükseltilmiştir.
	**4. Aşama:** Tünel aynasının hemen gerisinde alt yarı kazısı gerçekleştirilmiş, bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır).
	**5. Aşama:** İç Kaplama betonu üzerine Pseudo-statik olarak deprem yükü etki ettirilmiştir.

Tünel ekseni-1 kesimi için daha önce ampirik yöntemlerle (kaya sınıflama sistemleri kullanılarak) tahmini olarak belirlenen kazı ve destekleme sistemleri sayısal yöntemlerle (sonlu elemanlar metodu kullanılarak) analiz edilmiş ve gereksinim duyulacak taşıyıcı sistem boyutları inşaat aşamalarının etkisi de dikkate alınarak yeniden belirlenmiştir.

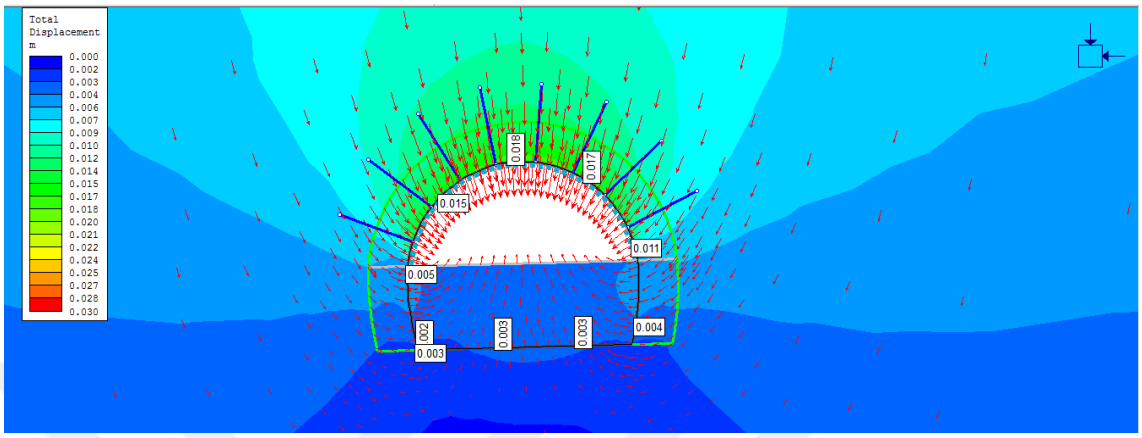
Çizelge 5.5 TE-1 tünel destek sistemi

Uygulama Aralığı			TÜNEL EKSENİ-1 KM:13+730-KM:13+975
KAZI	Destek Sınıfı		B1
	Yöntemi		Alt ve üstyarılı bölünmüş kazı uygulanacaktır
	İlerleme Boyu	Üstyarı	2,0 m
		Altyarı	4,0 m
DESTEK	Kaya Bulon	Tavan	Φ:28 L= 4 m 2,0x2,0 paternde
		Taban	-
		Yan Duvar ve Omuzlarda	-
		Ayna	-
	Çelik İksa		-
	Süren		Gerekmez
	Taban Kemeri		-
	Püskürtme Beton	Tavan	C25/30 (10 cm)
		Taban	-
		Yan Duvar	C25/30 (10 cm)
		Ayna	-
	Kaplama Beton		40 cm iç kaplama betonu
	Hasır Çelik / Donatı		Q221 /221 (Tek Kat)



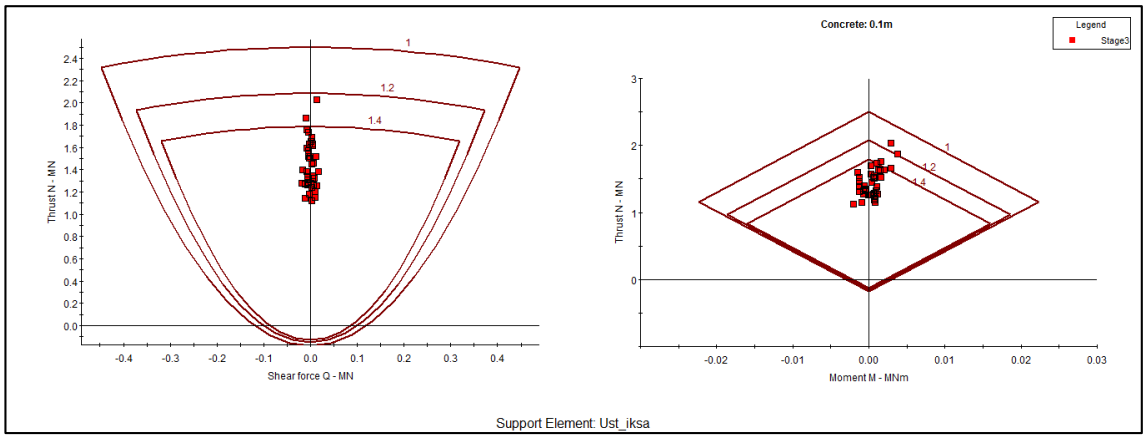
Şekil 5.11 TE-1 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı

En yüksek deplasman 0,006 m olup tünel stabilitesi açısından önem arz etmemektedir (Şekil 5.11).



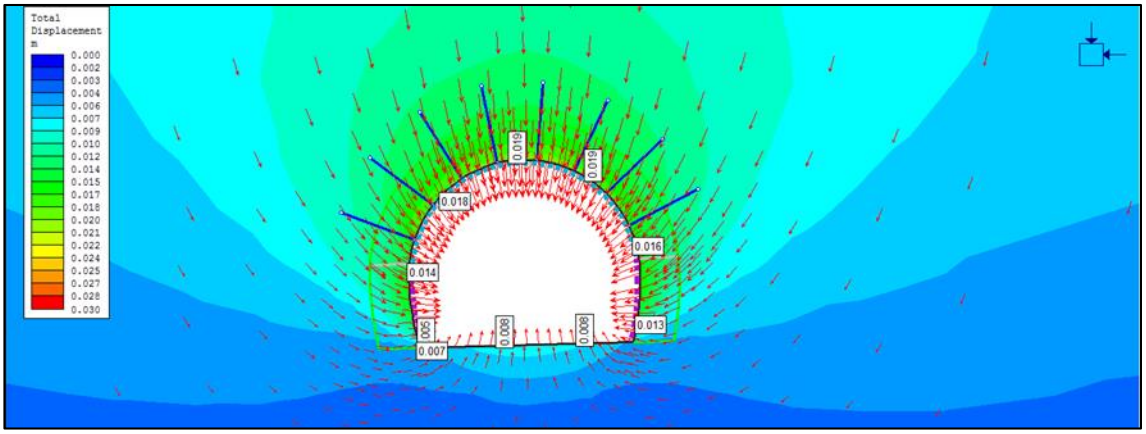
Şekil 5.12 TE-1 üstyarı kazısı deplasman dağılımı

Üstyarı kazısı tamamlanmış ve öngörülen destek unsuları uygulandığında; toplam deplasman miktarının 0,018 m olup kazı sonucunda seçilen destek sisteminin yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.12).



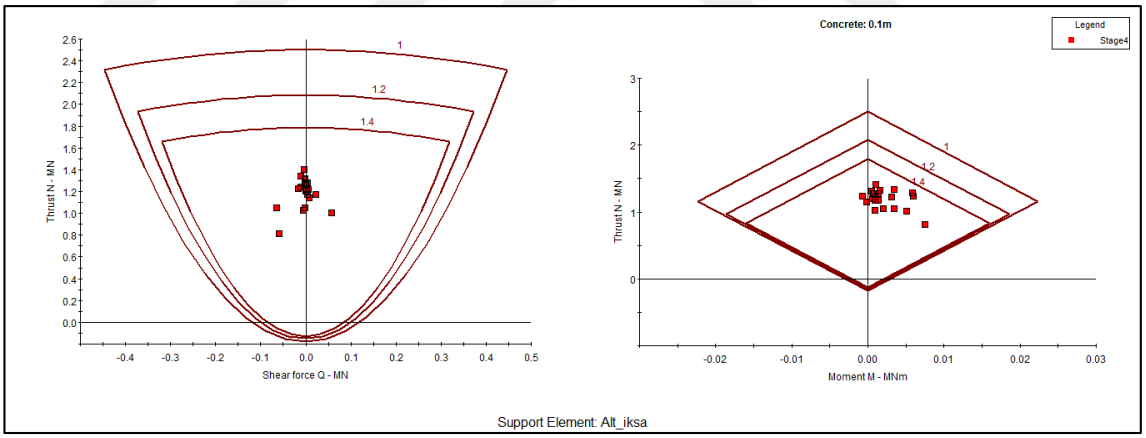
Şekil 5.13 TE-1 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki

Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.14 TE-1 altyarı kazısı deplasman dağılımı

Altyarı kazısı tamamlanmış ve yapılan sayısal inceleme sonucunda toplam deplasman miktarının 0,019 m olup kazı sonucunda seçilen destek sistemi yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.15 TE-1 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki

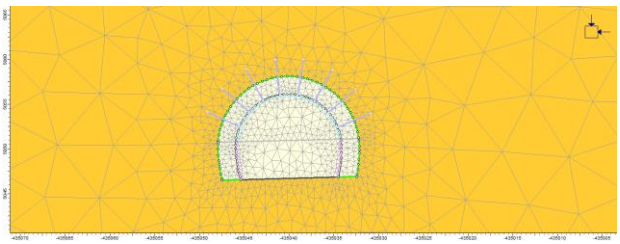
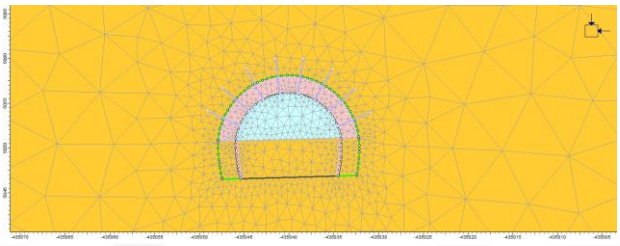
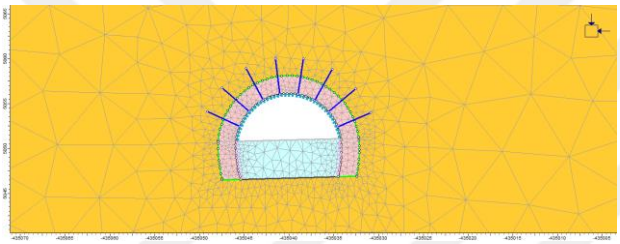
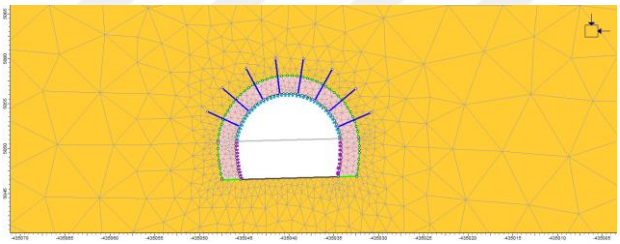
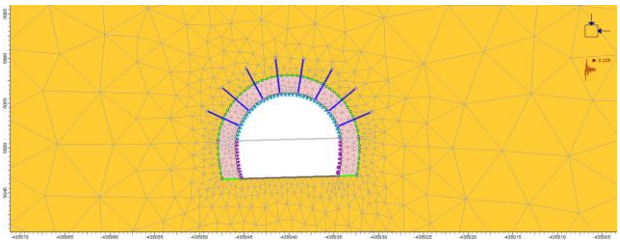
Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı “destek kapasite grafikleri” incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.15).

5. 5 Tünel Ekseni-2 Kesimi Sayısal Analizi

Yatay/Düşey gerilme oranının (σ_h/σ_v) hesabında Sheorey (2001) ve Lim and Lee (1995) tarafından önerilen eşitliklerinin yaklaşık ortalaması kullanılmıştır. Buna göre; projesi yapılan tünelin Tünel Ekseni-2 bölgesindeki maksimum örtü tabakası yüksekliği dikkate alındığında σ_v=2,95 MPa için yatay/düşey gerilme oranı ortalaması k= 1,03 ve σ_h=3,04 MPa olarak bulunmuştur.

Jeolojik birimler için elde edilen jeoteknik parametrelere ve gerilme değerlerine bağlı olarak Tünel Ekseni-2 için sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve belirlenen kazı destek sistemlerine göre tünelde meydana gelebilecek olan deformasyon değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.6).

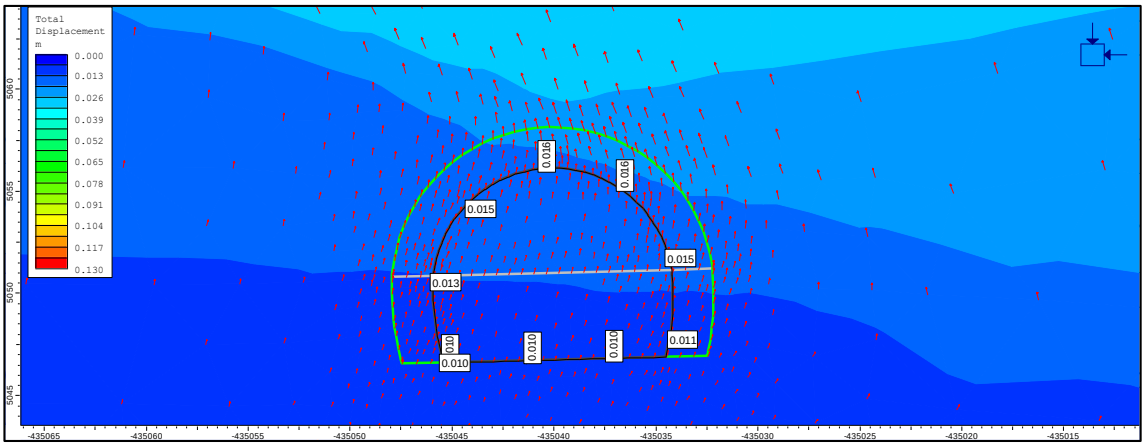
Çizelge 5.6 TE-2 sayısal analiz modeli

	**1. Aşama:** İlk olarak arazi modellenmiş ve tabi durumdaki stres koşulları oluşturulmuştur.
	**2. Aşama:** Tasarlanan tüpte tünel aynası içinde kalan kesimde, yaklaşan tünel kazısının etkisini görebilmek için üst yarıda birimlerin elastisite modülü öngörüldüğü oranda azaltılmıştır.
	**3. Aşama:** Aynanın hemen gerisinde, tünel üst yarı kazı adımı gerçekleştirilmiştir. Bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır). Tünel alt yarısında mevcut birimlere ait elastisite modülü daha önce hesabı verilen oranda azaltılmıştır. Üst yarı püskürtme betonuna ait elastisite modülü tasarım değerine yükseltilmiştir.
	**4. Aşama:** Tünel aynasının hemen gerisinde alt yarı kazısı gerçekleştirilmiş, bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır).
	**5. Aşama:** İç Kaplama betonu üzerine Pseudo-statik olarak deprem yükü etki ettirilmiştir.

Tünel Ekseni-2 kesimi için daha önce ampirik yöntemlerle (kaya sınıflama sistemleri kullanılarak) tahmini olarak belirlenen kazı ve destekleme sistemleri sayısal yöntemlerle (sonlu elemanlar metodu kullanılarak) analiz edilmiş ve gereksinim duyulacak taşıyıcı sistem boyutları inşaat aşamalarının etkisi de dikkate alınarak yeniden belirlenmiştir.

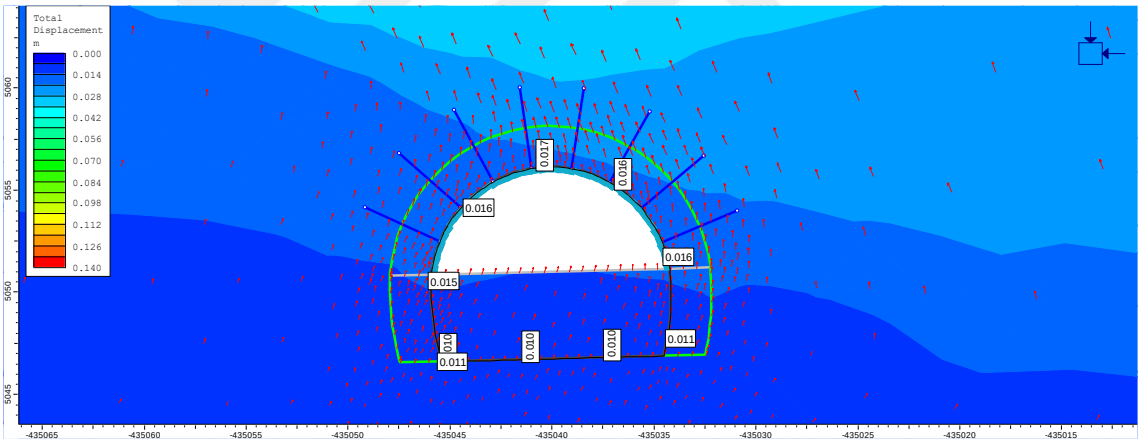
Çizelge 5.7 TE-2 tünel destek sistemi

Uygulama Aralığı			TÜNEL EKSENİ-2
			KM:13+975-KM:14+100
KAZI	Destek Sınıfı		B1
	Yöntemi		Alt ve üstyarılı bölünmüş kazı uygulanacaktır
	İlerleme Boyu	Üstyarı	2,0 m
		Altyarı	4,0 m
DESTEK	Kaya Bulon	Tavan	Φ:28 L= 4 m 2,0x2,0 paternde
		Taban	-
		Yan Duvar ve Omuzlarda	-
		Ayna	-
	Çelik İksa		-
	Süren		Gerekmez
	Taban Kemeri		-
	Püskürtme Beton	Tavan	C25/30 (10 cm)
		Taban	-
		Yan Duvar	C25/30 (10 cm)
		Ayna	-
	Kaplama Beton		40 cm iç kaplama betonu
	Hasır Çelik / Donatı		Q221 /221 (Tek Kat)



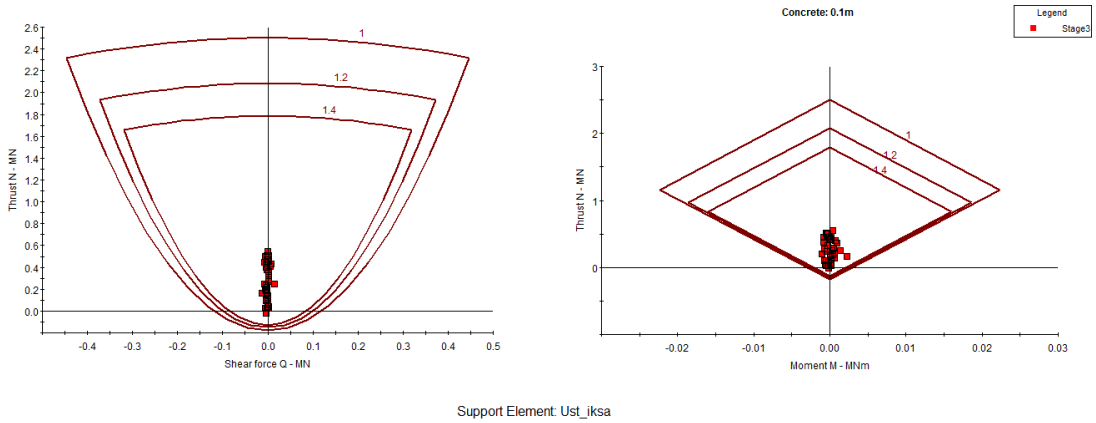
Şekil 5.16 TE-2 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı

En yüksek deplasman 0,016 m olup tünel stabilitesi açısından önem arz etmemektedir (Şekil 5.16).



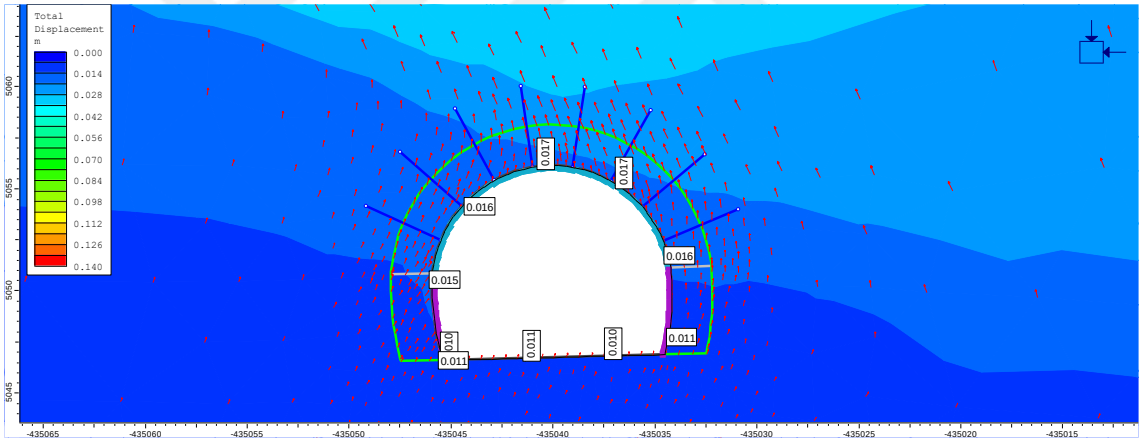
Şekil 5.17 TE-2 üstyarı kazısı deplasman dağılımı

Üstyarı kazısı tamamlanmış ve öngörülen destek unsuları uygulandığında; toplam deplasman miktarının 0,017 m olup kazı sonucunda seçilen destek sisteminin yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.17).



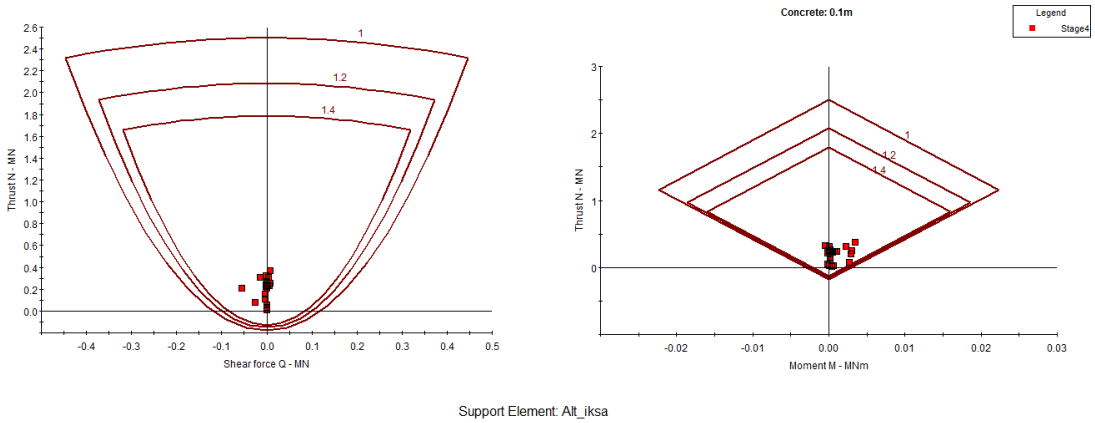
Şekil 5.18 TE-2 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki

Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.19 TE-2 altyarı kazısı deplasman dağılımı

Altyarı kazısı tamamlanmış ve yapılan sayısal inceleme sonucunda toplam deplasman miktarının 0,017 m olup kazı sonucunda seçilen destek sistemi yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.19).



Şekil 5.20 TE-2 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki

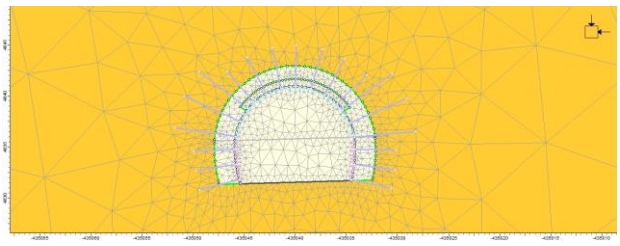
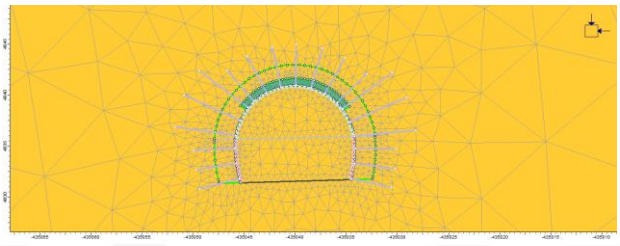
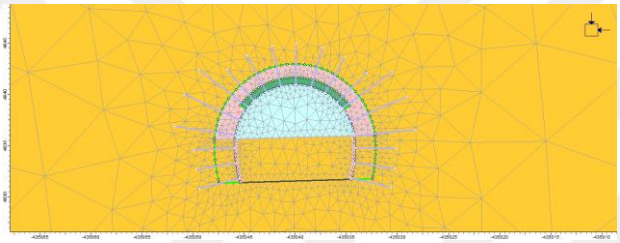
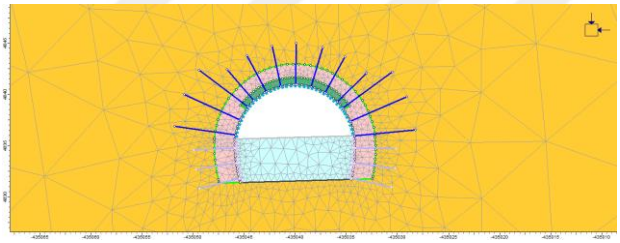
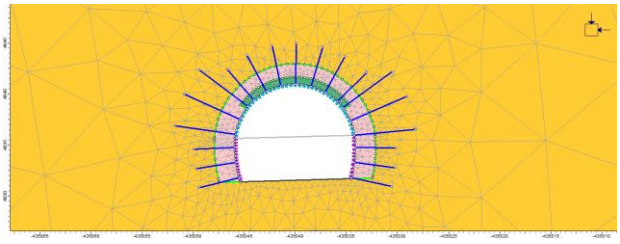
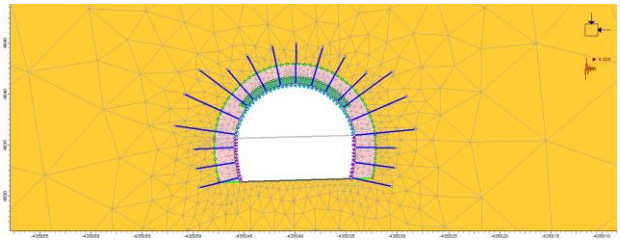
Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.20).

5. 6 Tünel Ekseni-3 Kesimi Sayısal Analiz

Yatay/Düşey gerilme oranının (σ_h/σ_v) hesabında Sheorey (2001) ve Lim and Lee (1995) tarafından önerilen eşitliklerinin yaklaşık ortalaması kullanılmıştır. Buna göre; projesi yapılan tünelin Tünel ekseni-3 bölgesindeki maksimum örtü tabakası yüksekliği dikkate alındığında σ_v=2,13 MPa için yatay/düşey gerilme oranı ortalaması k= 0,95 ve σ_h=2,02 MPa olarak bulunmuştur.

Jeolojik birimler için elde edilen jeoteknik parametrelere ve gerilme değerlerine bağlı olarak Tünel ekseni-3 için sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve belirlenen kazı destek sistemlerine göre tünelde meydana gelebilecek olan deformasyon değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.8).

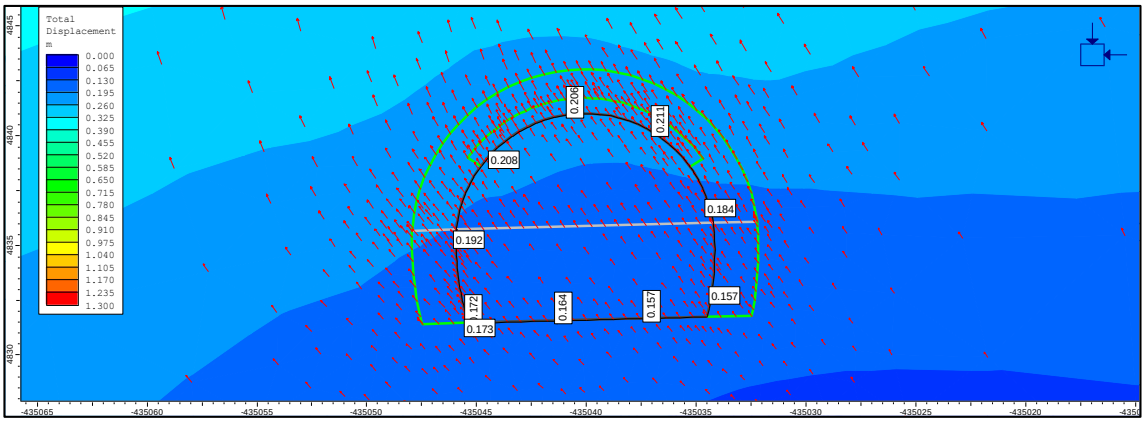
Çizelge 5.8 TE-3 sayısal analiz modeli

	**1. Aşama:** İlk olarak arazi modellenmiş ve tabi durumdaki stres koşulları oluşturulmuştur.
	**2. Aşama: Ş**emsiye kemer (umbrella arch) uygulanmıştır.
	**3. Aşama:** Tasarlanan tüpte tünel aynası içinde kalan kesimde, yaklaşan tünel kazısının etkisini görebilmek için üst yarıda birimlerin elastisite modülü öngörüldüğü oranda azaltılmıştır.
	**4. Aşama:** Aynanın hemen gerisinde, tünel üst yarı kazı adımı gerçekleştirilmiştir. Bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır). Tünel alt yarısında mevcut birimlere ait elastisite modülü daha önce hesabı verilen oranda azaltılmıştır. Üst yarı püskürtme betonuna ait elastisite modülü tasarım değerine yükseltilmiştir.
	**5. Aşama:** Tünel aynasının hemen gerisinde alt yarı kazısı gerçekleştirilmiş, bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır).
	**6. Aşama:** İç Kaplama betonu üzerine Pseudo-statik olarak deprem yükü etki ettirilmiştir.

Tünel ekseni-3 kesimi için daha önce ampirik yöntemlerle (kaya sınıflama sistemleri kullanılarak) tahmini olarak belirlenen kazı ve destekleme sistemleri sayısal yöntemlerle (sonlu elemanlar metodu kullanılarak) analiz edilmiş ve gereksinim duyulacak taşıyıcı sistem boyutları inşaat aşamalarının etkisi de dikkate alınarak yeniden belirlenmiştir.

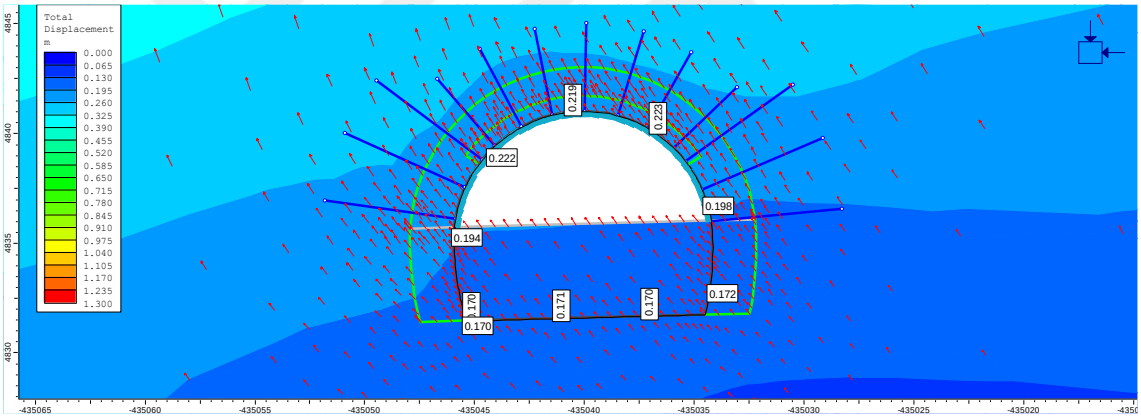
Çizelge 5.9 TE-3 tünel destek sistemi

<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Uygulama Aralığı</td><td>TÜNEL EKSENİ-3</td></tr>
<tr><td>KM:14+100-KM:14+170</td></tr>
<tr><td rowspan="4">KAZI</td><td colspan="2">Destek Sınıfı</td><td>B3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Yöntemi</td><td>Alt ve üstyarılı bölünmüş kazı uygulanacaktır</td></tr>
<tr><td rowspan="2">İlerleme Boyu</td><td>Üstyarı</td><td>1,5 m</td></tr>
<tr><td>Altyarı</td><td>3,0 m</td></tr>
<tr><td rowspan="11">DESTEK</td><td rowspan="3">Kaya Bulon</td><td>Tavan</td><td>Φ:28 L= 4 m 1,5x1,5 paternde</td></tr>
<tr><td>Taban</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Yan Duvar ve Omuzlarda</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ayna</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Çelik İksa</td><td>1,5 m Sistematik aralıklarla I140</td></tr>
<tr><td colspan="2">Süren</td><td>Gerekli</td></tr>
<tr><td colspan="2">Taban Kemeri</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Püskürtme Beton</td><td>Tavan</td><td>C25/30 (20 cm)</td></tr>
<tr><td>Taban</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Yan Duvar</td><td>C25/30 (20 cm)</td></tr>
<tr><td>Ayna</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kaplama Beton</td><td>40 cm iç kaplama betonu</td></tr>
<tr><td colspan="2">Hasır Çelik / Donatı</td><td>Q257 /257 (Çift Kat)</td></tr>
</table>



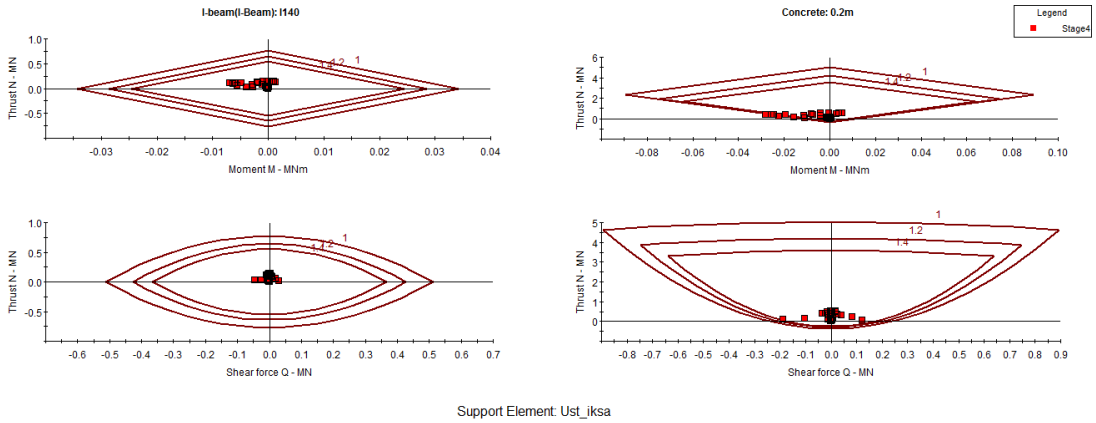
Şekil 5.21 TE-3 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı

En yüksek deplasman 0,211 m olup tünel stabilitesi açısından önem arz etmemektedir (Şekil 5.21).



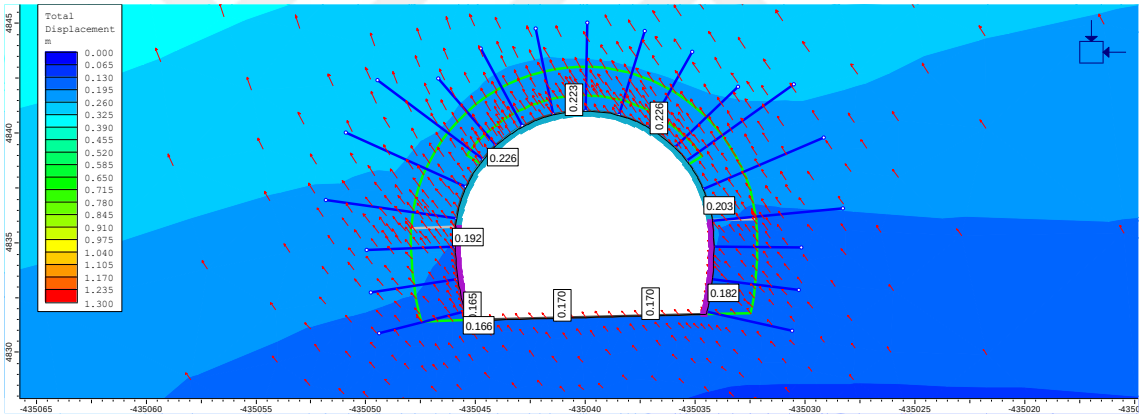
Şekil 5.22 TE-3 üstyarı kazısı deplasman dağılımı

Üstyarı kazısı tamamlanmış ve öngörülen destek unsuları uygulandığında; toplam deplasman miktarının 0,223 m olup kazı sonucunda seçilen destek sisteminin yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.22).



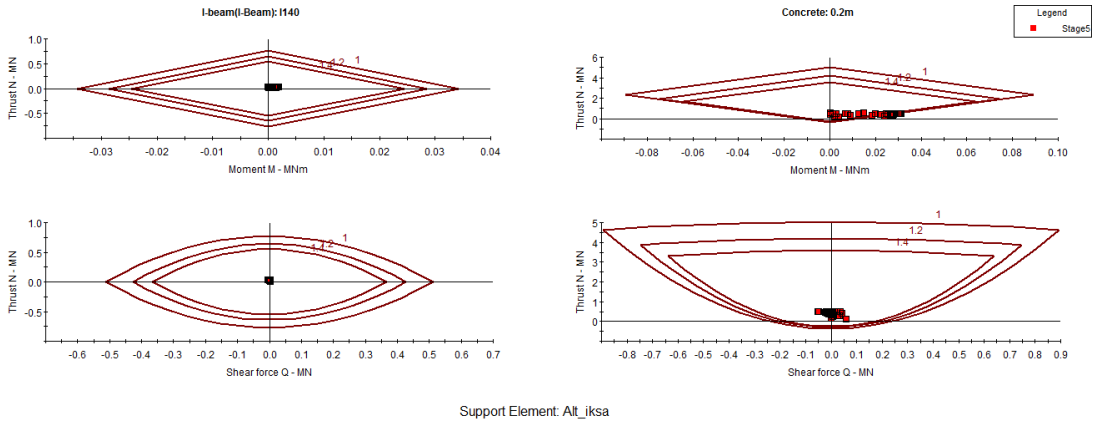
Şekil 5.23 TE-3 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki

Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.23).



Şekil 5.24 TE-3 altyarı kazısı deplasman dağılımı

Altyarı kazısı tamamlanmış ve yapılan sayısal inceleme sonucunda toplam deplasman miktarının 0,226 m olup kazı sonucunda seçilen destek sistemi yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.24).



Şekil 5.25 TE-3 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki

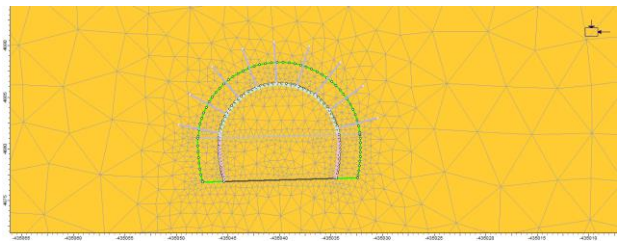
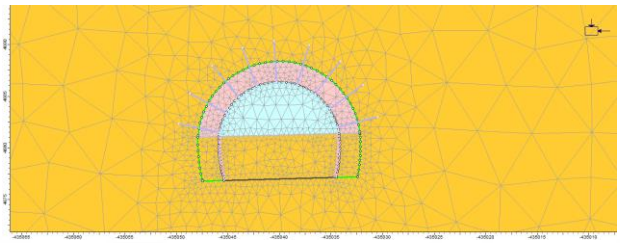
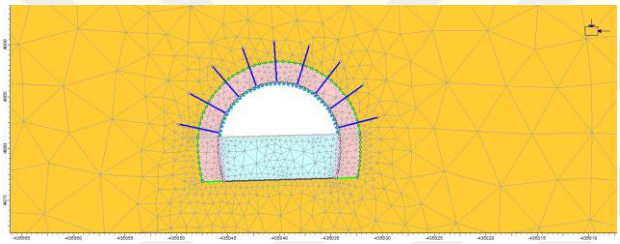
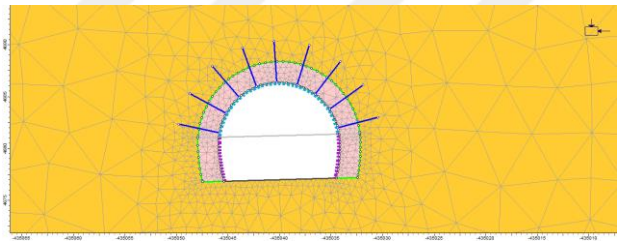
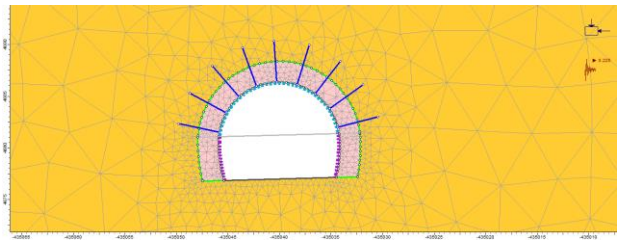
Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.25).

5. 7 Tünel Ekseni-4 Kesimi Sayısal Analiz

Yatay/Düşey gerilme oranının (σ_h/σ_v) hesabında Sheorey (2001) ve Lim and Lee (1995) tarafından önerilen eşitliklerinin yaklaşık ortalaması kullanılmıştır. Buna göre; projesi yapılan tünelin Tünel ekseni-4 bölgesindeki maksimum örtü tabakası yüksekliği dikkate alındığında σ_v=1,42 MPa için yatay/düşey gerilme oranı ortalaması k= 1,59 ve σ_h=2,25 MPa olarak bulunmuştur.

Jeolojik birimler için elde edilen jeoteknik parametrelere ve gerilme değerlerine bağlı olarak Tünel ekseni-4 için sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve belirlenen kazı destek sistemlerine göre tünelde meydana gelebilecek olan deformasyon değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.10).

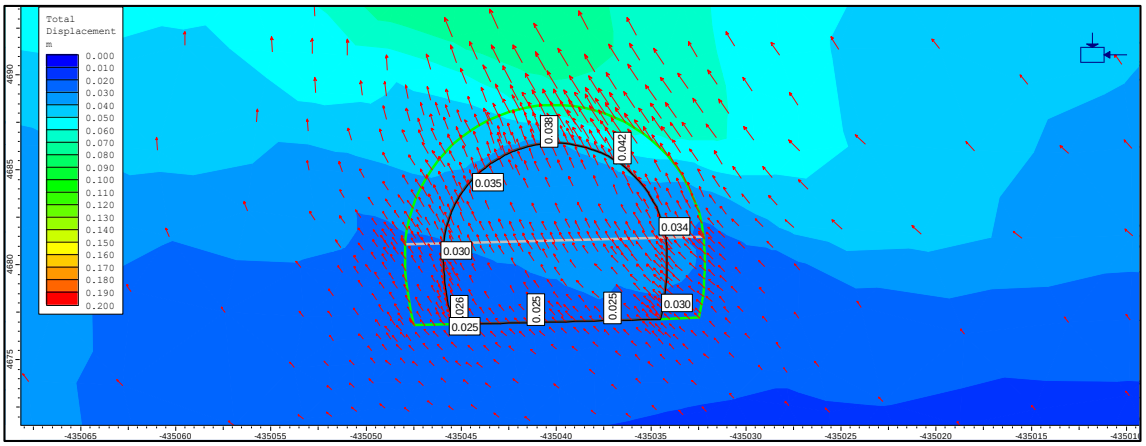
Çizelge 5.10 TE-4 sayısal analiz modeli

	**1. Aşama:** İlk olarak arazi modellenmiş ve tabi durumdaki stres koşulları oluşturulmuştur.
	**2. Aşama:** Tasarlanan tüpte tünel aynası içinde kalan kesimde, yaklaşan tünel kazısının etkisini görebilmek için üst yarıda birimlerin elastisite modülü öngörüldüğü oranda azaltılmıştır.
	**3. Aşama:** Aynanın hemen gerisinde, tünel üst yarı kazı adımı gerçekleştirilmiştir. Bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır). Tünel alt yarısında mevcut birimlere ait elastisite modülü daha önce hesabı verilen oranda azaltılmıştır. Üst yarı püskürtme betonuna ait elastisite modülü tasarım değerine yükseltilmiştir.
	**4. Aşama:** Tünel aynasının hemen gerisinde alt yarı kazısı gerçekleştirilmiş, bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır).
	**5. Aşama:** İç Kaplama betonu üzerine Pseudo-statik olarak deprem yükü etki ettirilmiştir.

Tünel ekseni-4 kesimi için daha önce ampirik yöntemlerle (kaya sınıflama sistemleri kullanılarak) tahmini olarak belirlenen kazı ve destekleme sistemleri sayısal yöntemlerle (sonlu elemanlar metodu kullanılarak) analiz edilmiş ve gereksinim duyulacak taşıyıcı sistem boyutları inşaat aşamalarının etkisi de dikkate alınarak yeniden belirlenmiştir.

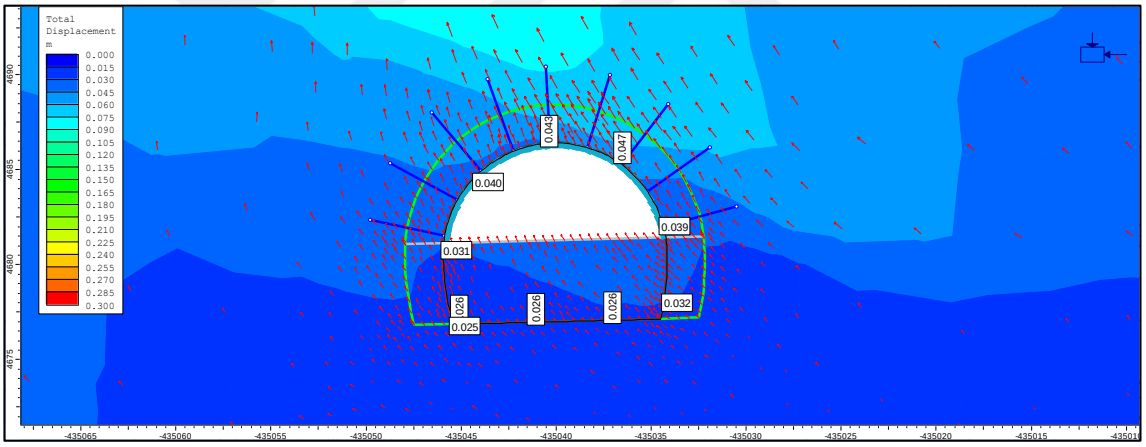
Çizelge 5.11 TE-4 tünel destek sistemi

Uygulama Aralığı			TÜNEL EKSENİ-4
			KM:14+170-KM:14+260
KAZI	Destek Sınıfı		B1
	Yöntemi		Alt ve üstyarılı bölünmüş kazı uygulanacaktır
	İlerleme Boyu	Üstyarı	2,0 m
		Altyarı	4,0 m
DESTEK	Kaya Bulon	Tavan	Φ:28 L= 4 m 2,0x2,0 paternde
		Taban	-
		Yan Duvar ve Omuzlarda	-
		Ayna	-
	Çelik İksa		-
	Süren		Gerekmez
	Taban Kemeri		-
	Püskürtme Beton	Tavan	C25/30 (10 cm)
		Taban	-
		Yan Duvar	C25/30 (10 cm)
		Ayna	-
	Kaplama Beton		40 cm iç kaplama betonu
	Hasır Çelik / Donatı		Q221 /221 (Tek Kat)



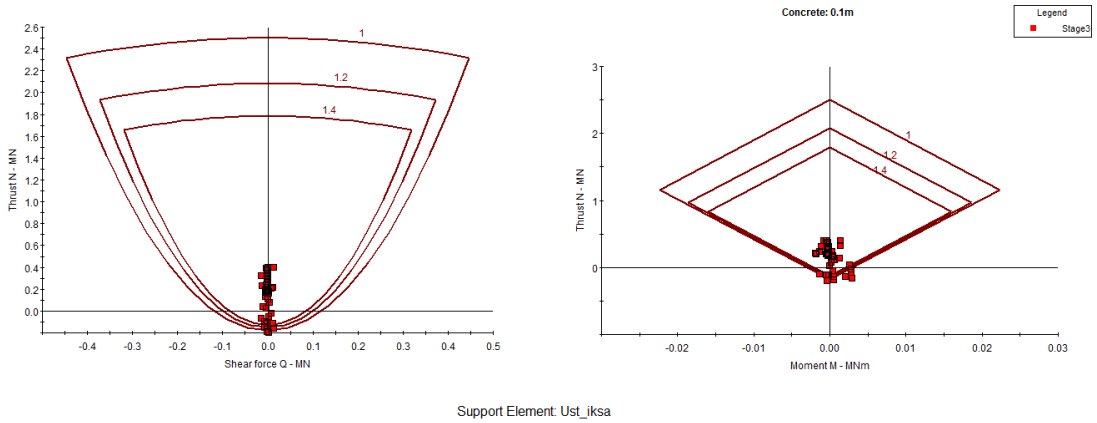
Şekil 5.26 TE-4 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı

En yüksek deplasman 0,042 m olup tünel stabilitesi açısından önem arz etmemektedir (Şekil 5.26).



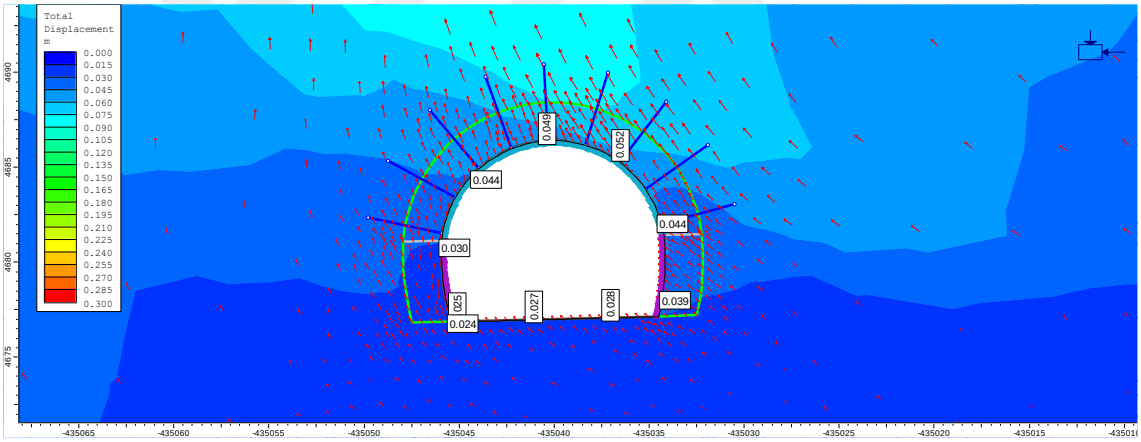
Şekil 5.27 TE-4 üstyarı kazısı deplasman dağılımı

Üstyarı kazısı tamamlanmış ve öngörülen destek unsuları uygulandığında; toplam deplasman miktarının 0,047 m olup kazı sonucunda seçilen destek sisteminin yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.27).



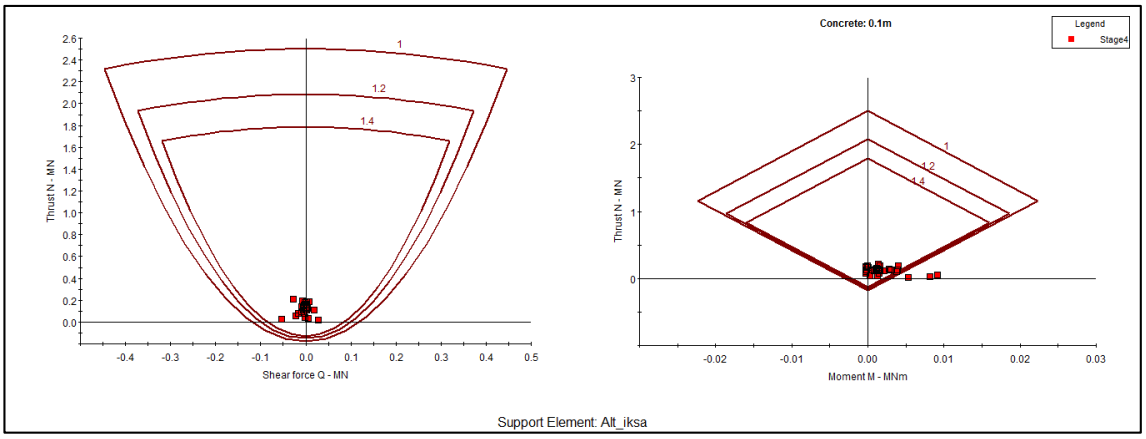
Şekil 5.28 TE-4 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki

Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.28).



Şekil 5.29 TE-4 altyarı kazısı deplasman dağılımı

Altyarı kazısı tamamlanmış ve yapılan sayısal inceleme sonucunda toplam deplasman miktarının 0,052 m olup kazı sonucunda seçilen destek sistemi yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.30 TE-4 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki

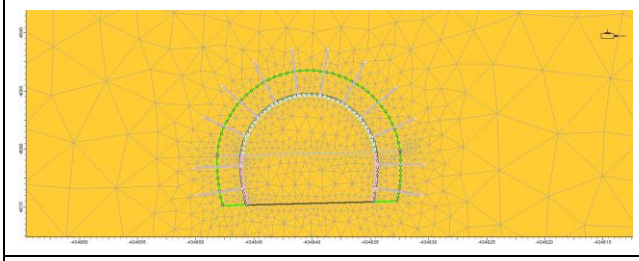
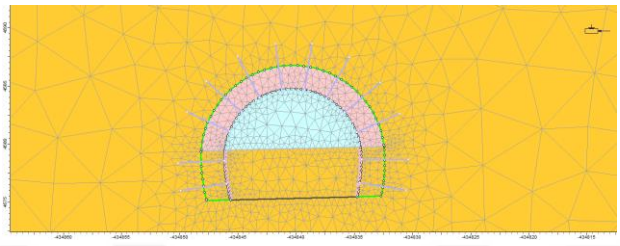
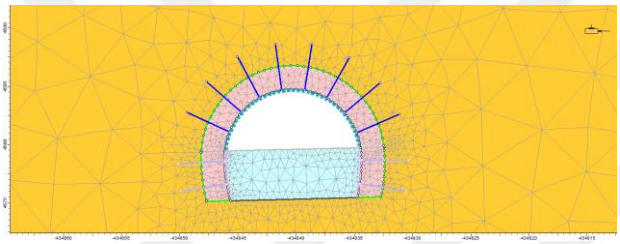
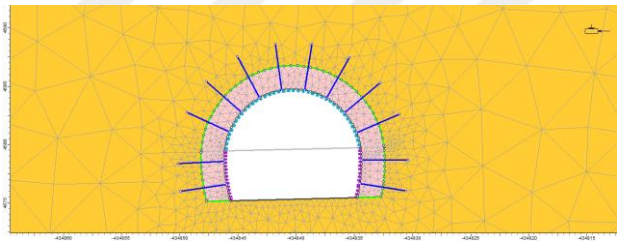
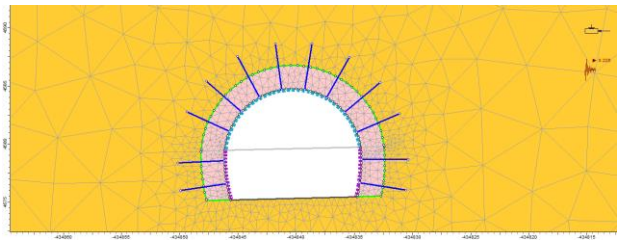
Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.30).

5. 8 Portal-2 Kesimi Sayısal Analiz

Yatay/Düşey gerilme oranının (σ_h/σ_v) hesabında Sheorey (2001) ve Lim and Lee (1995) tarafından önerilen eşitliklerinin yaklaşık ortalaması kullanılmıştır. Buna göre; projesi yapılan tünelin portal-2 bölgesindeki maksimum örtü tabakası yüksekliği dikkate alındığında σ_v=0,55 MPa için yatay/düşey gerilme oranı ortalaması k= 2,71 ve σ_h=1,48 MPa olarak bulunmuştur.

Jeolojik birimler için elde edilen jeoteknik parametrelere ve gerilme değerlerine bağlı olarak portal-2 bölgesi için sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve belirlenen kazı destek sistemlerine göre tünelde meydana gelebilecek olan deformasyon değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.12).

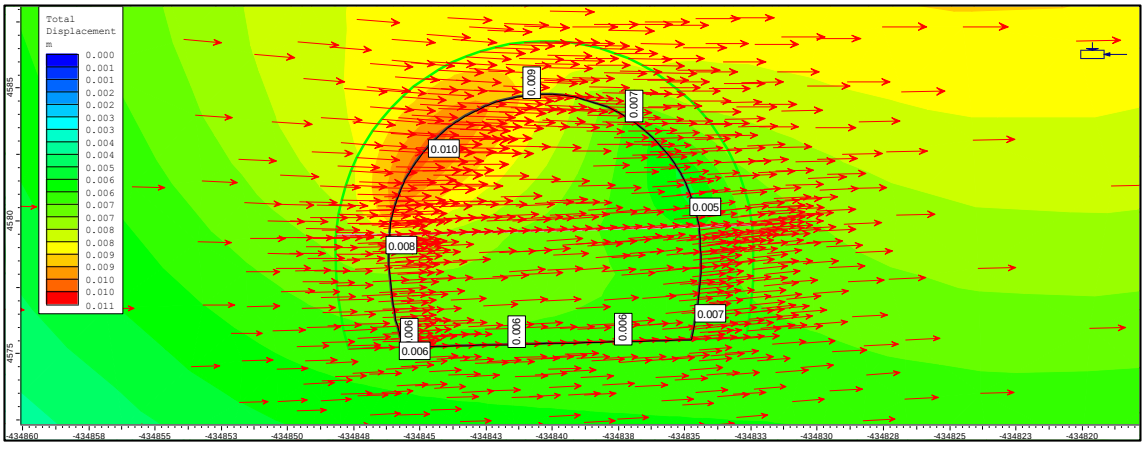
Çizelge 5.12 P2 sayısal analiz modeli

	**1. Aşama:** İlk olarak arazi modellenmiş ve tabi durumdaki stres koşulları oluşturulmuştur.
	**2. Aşama:** Tasarlanan tüpte tünel aynası içinde kalan kesimde, yaklaşan tünel kazısının etkisini görebilmek için üst yarıda birimlerin elastisite modülü öngörüldüğü oranda azaltılmıştır.
	**3. Aşama:** Aynanın hemen gerisinde, tünel üst yarı kazı adımı gerçekleştirilmiştir. Bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır). Tünel alt yarısında mevcut birimlere ait elastisite modülü daha önce hesabı verilen oranda azaltılmıştır. Üst yarı püskürtme betonuna ait elastisite modülü tasarım değerine yükseltilmiştir.
	**4. Aşama:** Tünel aynasının hemen gerisinde alt yarı kazısı gerçekleştirilmiş, bu kazı adımında öngörülen destek unsurları uygulanmıştır. (Betona ait dayanım ve elastisite modülü değerinin %25 'i kullanılmıştır).
	**5. Aşama:** İç Kaplama betonu üzerine Pseudo-statik olarak deprem yükü etki ettirilmiştir.

Portal-2 kesimi için daha önce ampirik yöntemlerle (kaya sınıflama sistemleri kullanılarak) tahmini olarak belirlenen kazı ve destekleme sistemleri sayısal yöntemlerle (sonlu elemanlar metodu kullanılarak) analiz edilmiş ve gereksinim duyulacak taşıyıcı sistem boyutları inşaat aşamalarının etkisi de dikkate alınarak yeniden belirlenmiştir.

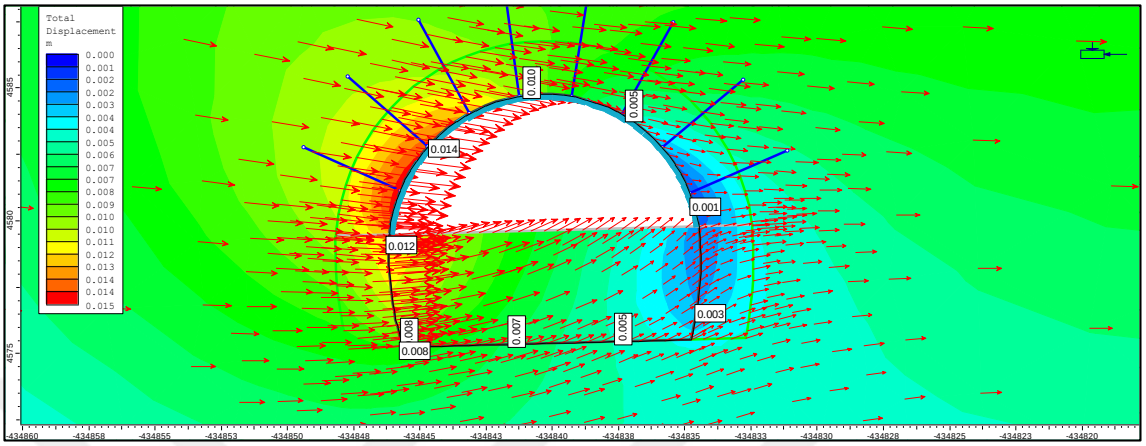
Çizelge 5.13 P2 tünel destek sistemi

Uygulama Aralığı			PORTAL-2
			KM:14+260-KM:14+274
KAZI	Destek Sınıfı		B2
	Yöntemi		Alt ve üstyarılı bölünmüş kazı uygulanacaktır
	İlerleme Boyu	Üstyarı	1,5 m
		Altyarı	3,0 m
DESTEK	Kaya Bulon	Tavan	Φ:28 L= 4 m 1,5x2,0 paternde
		Taban	-
		Yan Duvar ve Omuzlarda	Φ:28 L= 4 m 1,5x2,0 paternde
		Ayna	-
	Çelik İksa		1,5 m Sistematik aralıklarla I100
	Süren		Gerektiğinde
	Taban Kemeri		-
	Püskürtme Beton	Tavan	C25/30 (15 cm)
		Taban	-
		Yan Duvar	C25/30 (15 cm)
		Ayna	-
	Kaplama Beton		40 cm iç kaplama betonu
	Hasır Çelik / Donatı		Q221 /221 (Çift Kat)



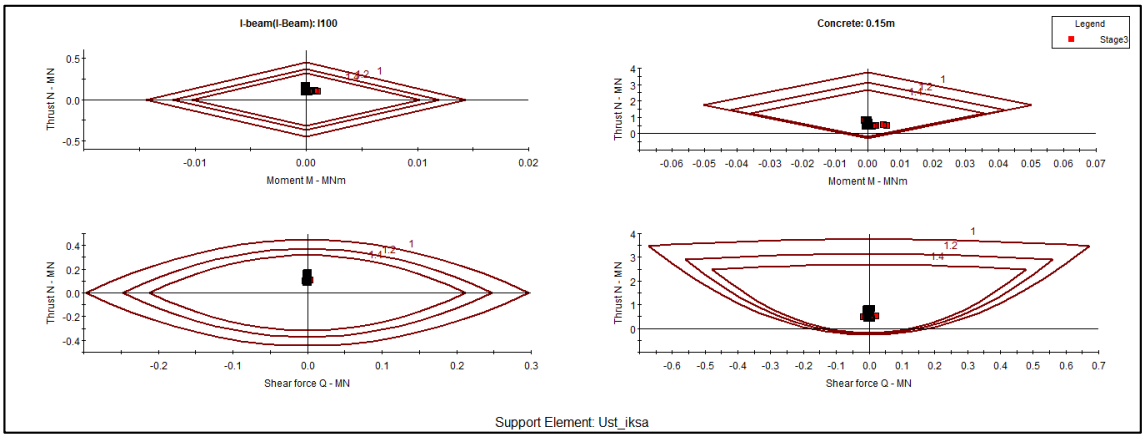
Şekil 5.31 P2 üstyarı kazısı (yumuşatma) deplasman dağılımı

En yüksek deplasman 0.010 m olup tünel stabilitesi açısından önem arz etmemektedir (Şekil 5.31).



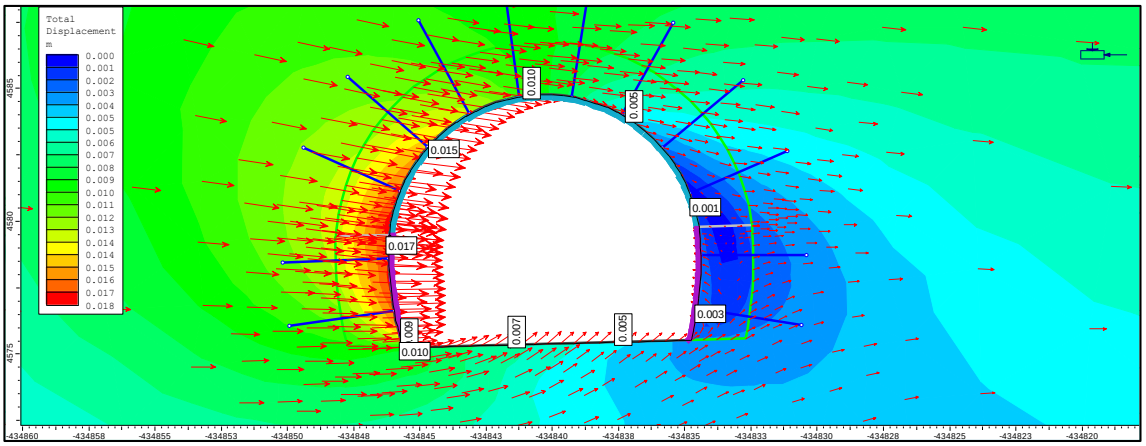
Şekil 5.32 P2 üstyarı kazısı deplasman dağılımı

Üstyarı kazısı tamamlanmış ve öngörülen destek unsuları uygulandığında; toplam deplasman miktarının 0,014 m olup kazı sonucunda seçilen destek sisteminin yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.32).



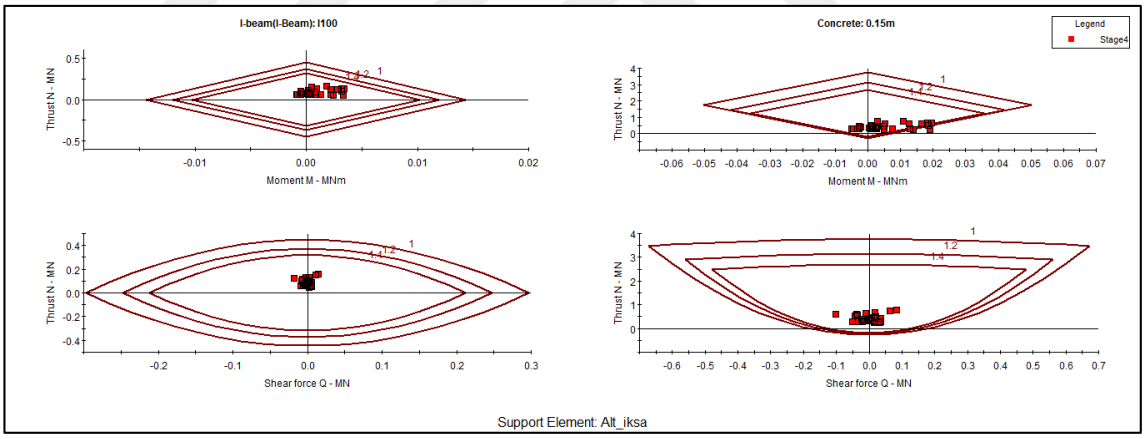
Şekil 5.33 P2 üstyarı kazısı destek sistemi tahkiki

Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı “destek kapasite grafikleri” incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.33).



Şekil 5.34 P2 altyarı kazısı deplasman dağılımı

Altyarı kazısı tamamlanmış ve yapılan sayısal inceleme sonucunda toplam deplasman miktarının 0,017 m olup kazı sonucunda seçilen destek sistemi yeterli olduğu ve oluşan deplasmanların tünel stabilitesi açısından önem arz etmediği belirlenmiştir (Şekil 5.34).



Şekil 5. 35 P2 altyarı kazısı destek sistemi tahkiki

Seçilen destek sistemindeki beton+iksa yeterliliğinin sınandığı "destek kapasite grafikleri" incelendiğinde kapasite sorununun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5. 35).

6. SONUÇLAR

Çalışma alanı, Zile-Alaca Devlet Yolunun 23. km'sinde Çekerek yol ayrımından başlayarak, Tokat-Yozgat İl Sınırı olan noktada sona ermektedir. Yaklaşık 19,0 km uzunluğundaki 805-08 kontrol kesim numaralı devlet yolu üzerinde yer almaktadır. Mevcut yol güzergahı üzerinde standartları yüksek yeni bir yol yapılması amacıyla çalışmalara başlanılmış, yolun yüksek kurplu geçiş noktasında da güvenli ve rahat bir ulaşım sağlamak için tünelli geçiş yapılması planlanmıştır. Bu hususta, proje kapsamında ele alınan 601 m uzunluğundaki Çekerek Tüneli geçişinin jeolojik ve jeoteknik açıdan değerlendirilmesi ve tünel destek sistemlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Tünelin portal-1 ve tünel ekseninin büyük bir bölümü kireçtaşı içerisinde kalmaktadır. Eksenin devamında ve portal-2 kesiminde ise dolerit birimi geçilecektir. Portal-1 kesiminde, kireçtaşından türemiş çakıl, blok ve silt türü malzemeden oluşan yamaç molozları belirlenmiştir. Araştırma çalışmaları neticesinde portalın oluşturulması planlanan noktada yamaç molozu içerisinde kalınacağı; ancak hemen altında çevre yüzleklerde tanımı yapılan kireçtaşı içerisine girileceği belirlenmiştir. Buna göre; tünel portal-1 şevlerinin, yamaç molozundan asgari düzeyde etkileneceği ve daha çok anakaya içerisinde kalacağı bir tasarım üretilmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımla; söz konusu zemin niteliğindeki kesimin tamamen sıyrılarak kaldırılması ve portal şevlerinin ve tünel ekseninin tamamen bu zayıf zondan kurtarılması sağlanmıştır. Tünel girişinin bu şekilde ilerletilmesi ile aynı zamanda tünel sağ omuzlarında yeterli et kalınlığının sağlanması açısından da gerekli olarak değerlendirilmiştir. Portal-2 kesiminde doğrudan yüzlek veren magmatik kayalar söz konusu portalın tasarımı için gerekli tüm veriyi sağlayabilmektedir. Buna göre tamamı "iyi-çok iyi kaliteli kaya kütlesi" olarak tanımlanabilecek bir birim içerisinde kalınacaktır.

Çalışma alanı topoğrafyasının yüksek eğimler sunması ve sarp arazi koşullarında sondaj çalışmasının yapılamaması nedeniyle tünelin eksen kesiminde ve portal-2 kesiminde

sondaj çalışması yapılamamıştır. Bu nedenle belirtilen kesimlerde yer alan dolerit birimine ait jeomekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla blok numuneler alınmıştır.

Tünel portallerinin şevlerinde süreksizlik ölçümleri alınmış ve kinematik analizler yardımıyla düzlemsel, kayma ya da devrilme türü duraylılık problemlerinin durumu değerlendirilmiştir. Arazide süreksizliklerin içsel sürtünme açısı tiltmetre kullanılarak belirlenemediği için çalışma alanında yer alan kireçtaşı birimi için Barton ve Choubey (1977)'nin, dolerit birimi içinde Richards (1975)'in önerdiği süreksizlik içsel sürtünme açısı değerlerinin en düşük ve en yüksek olanı kullanılarak iki farklı kinematik analiz yapılmıştır. Buna göre, portal-1 şevlerinde içsel sürtünme açısı 31° olarak alındığında sağ şevde düzlemsel kayma, sol şevde de kama türü duraylılık sorunun gözlenebileceği belirlenmiştir. Hem kama hem de düzlemsel kayma türü duraylılık problemi için detaylı analizler yapıldığında ise güvenlik sayısının depremsiz durumda 1,5'den depremli durumda da 1,1'den büyük olduğu şevde duraylılık problemi gözlenmeyeceği belirlenmiştir (Şekil 4.22-Şekil 4.25). Portal-2 şevlerinde yapılan kinematik analiz sonucunda ise sağ, sol ve alın şevlerinde düzlemsel, devrilme ve kama tipi duraylılık problemi gözlenmeyeceği belirlenmiştir.

Ampirik ve analitik yöntemler ile değerlendirilen tünelli geçişte; tanımı yapılan kaya kütle özellikleri için en uygun destek tasarımı oluşturulmaya çalışılmıştır. Ulaşılan sonuçlar tünel portal kesimi ve tünel eksen kesimi için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve destek sınıfları belirlenmiştir. Buna göre Portal-1 kesiminde B2, Tünel Ekseni-1 kesiminde B1, Tünel Ekseni-2 kesiminde B1, Tünel Ekseni-3 kesiminde B3, Tünel Ekseni-4 kesiminde B1, Portal-2 kesiminde B2 destek sınıfının uygulanması durumunda tünelde meydana gelen deformasyonların duraylılık açısından probleme neden olmayacağı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Akgün, H., Muratlı, S., Koçkar, M.K., 2014. Geotechnical investigations and preliminary support design for the Geçilmez tunnel: A case study along the Black Sea coastal highway, Giresun, northern Turkey. Tunnelling and Underground Space Technology 40, 277-299.

Aksular, İ., 2008, Determınatıon Of The Rock Mass Characterıstıcs And Support Systems Of The New Ulus Tunnel, Ankara, A Thesıs Submıtted To The Graduate School Of Natural And Applıed Scıences Of Mıddle East Technıcal Unıversıty.

Alpat, H., 1996, Süreyyabey Barajı (Yozgat-Çekerek) baraj yerinin mühendislik jeolojisi incelemesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974, "Engineering classification of rock masses for the design of rock support", Rock Mechanics 6, 1974, pp. 189-236.

Barton, N.R. ve Choubey, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech. 10(1-2), 1-54.

Barton, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterizations and tunnel design. International Journal of Rock Mechanics ve Mining. Vol:39 s.185-216.

Beyaz, T., 2004, Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye İçin Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Bieniawski, Z. T., 1973, Engineering classification of joşnted rock masses, Transactions of South African Institution of Civil Enginners, 15 (12), 335-344.

Bieniawski, Z. T., 1978, Determining rock mass deformability: Experience from case histories, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 15, 237-247.

Bieniawski, Z. T., 1984, Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 97-133.

Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering rock mass classification. John Wiley and Sons, 237 s.

Chow, V. T., 1964, Statical and Probability Analaysis of Hydrologic Data, Handbook of Applied Hydrology'de Section 8-I, Mc Graw-Hill Book Company.

Çevre ve Orman İl Müdürlüğü, 2004, Tokat İl Çevre Durum Raporu, Tokat Valiliği.

Dalgıç, S., 1997a, Tünellerde tahmin edilen ile gerçekleşen jeolojik koşulların karşılaştırılması, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 51, 36-40.

Dalgıç, S., 2002, Tunneling in squeezing rock, The Bolu Tunnel, Anatolian Motorway, Turkey, Engineering Geology, 67, 73-96.

Desai, C.S., 1972. Theory and application of the finite element method in geotechnical engineering, Symposium on the applications of the finite element method in geotechnical engineering. s. 3-8. Missisippi.

Douglas, J., 2011, Ground-motion prediction equations 1964–2010, Pacıfıc Earthquake Engıneerıng Research Center, Geoscience for a Sustainable Earth.

Ela D. A., 2008, Sorgun-Çekerek Karayolunda Kaplankaya Ve Kazantaşın Heyelanlarının Mühendislik Jeolojisi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Eriş, İ., ve Vardar, M., 1994, İstanbul Metrosu Taksim-4.Levent Güzergâhı Temel Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri ve Duraylılık Sorunu, Ulaşımda Yeraltı Kazıları I. Sempozyumu, 1-3 Aralık 1994, İstanbul: TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 163-178.

Geniş, M., Başarır, H., Özarslan, A., Bilir, E., Balaban, E., 2007, Engineering geological appraisal of the rock masses and preliminary support design, Dorukhan Tunnel, Zonguldak, Turkey, Engineering Geology, 92, 14-26.

Güreli Yolcubal, H., Akyazı, M., Sezen, T. F., Toprak, Ö., Canbolat, M. Y., Koçak, F., Özkan, A., 2014, Turhal-Pazar-Zile (Tokat) Yöresinin Üst Mesozoyik Stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Bülteni cilt 57, sayı 1.

Gürocak, Z., 2011, Analyses of stability and support design for a diversion tunnel at The Kapikaya Dam Site, Turkey, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70, 41-52.

Hanks, T.C. ve Kanamori, H. 1979. A moment magnitude scale. Journal of Geophysical Research, 84 (BS), 2348-2350.

Hoek, E., Brown, E.T., 1980. Underground Excavations in Rock. London: Institution of Mining and Metallurgy 527 pages.

Hoek, E., Brown, E.T., 1980b. Rock Mass Classification. Hoek's Corner. Alıntı: Aralık 2007.

Hoek, E., Bray, J.W., 1981. Rock Slope Engineering. 3 rd edn. London: Institution of Mining and Metallurgy 402 pages.

Hoek, E., Kaıser, P.K. and Bawden, W.H., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Rotterdam, Balkema.

Hoek, E., 1998. Practical Rock Engineering. Hoek's Corner. 313p.

Hoek, E., 1998b. Rock Engineering for Tunnels. 11.-13.11.1998 Graz, Austria.

Hoek, E., 1999. Putting numbers to geology-an engineer's view point. Quarterly Journal of Engineering Geology, 32; 1-19.

Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002, Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition, Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002, 1, 267-273.

Hoek, E., Diederichs, M.S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43, 203–215.

İnan, E., Colakoglu, Z., Koc, N., Bayülke, N., Coruh, E., 1996. Earthquake catalogs with acceleration records from 1976 to 1996. Tech. rept. General Directorate of Disaster Affairs.

Kanamori, H. 1977. The energy release in great earthquakes. Journal of Geophysical Research, 82, 2981-2987.

Kayabalı, K., Beyaz, T., 2011, Strong motion attenuation relationship for Turkey—a different perspective, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, volume 70, page 467-481.

Kırmızıoğlu, H., Özbek, A., 2017, Zayıf Kayaç Koşullarında Açılan Tünel Portal Şevlerinde Oluşan Duraysızlıklar: Mutu Tüneli Vaka Analizi, 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, s. 576, Ankara.

Koçak, B., Vardar, M., 2008, Time Dependent Ground Loosening Effect on Polilith Rock Mass Conditions in Shallow Tunnels, Geomechanics and Tunnelling, Volume 1, Issue 3, Berlin.

Kramer, S. L. 1996. Geoteknik deprem mühendisliği. (Çeviren: Kayabalı, K. 2003) Gazi Kitabevi, 708 s., Ankara.

Lim, H. U. ve Lee, C. I., 1995, Fifteen years' experience on rock stress measurements in South Korea, In: Proceedings International Workshop on Rock Stress Measurements at Great Depth, Tokyo, Japan, pp. 7-12.

MTA, 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Ankara.

Nilsen, B., 2011, Cases of instability caused by weakness zones in norwegian tunnels, Bulletin of engineering geology and the environment, 70, 7-13.

Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Öze S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., 1980, Kuzey Anado] Fayı Kırşehir masifi arasının temel jeolojisi: M.TJ Derleme rapor no: 6722,136 s., (Yayınlanmamış).

Özsan, A., Başarır, H., Yücel, S., Cücen, Ö., 2009, Engineering geological evaluation and preliminary support design for the metro extension tunnel, Ankara, Bulletin of Engineering Geology and The Environment, 68, 397-408.

Palmstrom A., 1982. The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. IAEG Congress, New Delhi, 1982. pp. V.221 – V.228.

Polat, D., 2010, NATM Metodu Kullanılarak Tünel Tasarımı ve Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Richards, L. R., 1975, The shear strenght of joints in weathered rock. PhD Thesis, University of London, Imperial College.

Temiz, R., 2011, Beypazarı (Ankara) Gölet Yerindeki Kaya Kütlelerinin Jeoteknik Değerlendirmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Terzaghi K., 1946. Rock defects and loads on tunnel support. Introduction to rock tunnelling with steel supports. Eds, R.V., Proctor and White, T.L., Commercial Sheering & Stamping Co., Youngstown, Ohio, U.S.A., 271.

Sabetta, F., & Pugliese, A. 1987. Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records. Bulletin of the Seismological Society of America, 77(5), 1491–1513.

Sheorey P. R., Mohan G. M., Sinha A., 2001, Influence of Elastic Constants on the Horizontal In–situ Stress. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 38(8), 1211–1216.

Sönmez, H. ve Ulusay, R. 1999. Modifications to The Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36 (6); 743-760.

Ulusay, R., 2001, "Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 29.

Ulusay ve Sönmez, 2002, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:60, Ankara.

Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H. ve Gokceoglu, C. 2004. An Attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265-291.

URL-1 https://bit.ly/2WRNJ69

URL-2 https://bit.ly/2MzewQX

URL-3 https://bit.ly/2Mwuv22

URL-4 https://bit.ly/31bGaXk

URL-5 https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu

Üstündağ, A. ve İnceöz, M., 1999, Zile (Tokat) batısında Uzunköy çevresinin stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, cilt 42, sayı 1,69-83.

Volkmann, G. M. & Schubert, W. 2006: Contribution to theDesign of Tunnels with Pipe Roof Support. In Proc. of4th Asian Rock Mechanics Symposium, ISRM International Symposium. eds. Leung C.F. & Zhou Y.X., ISBN981-270-437-X World Scientif ic Publishing Co. Pte. Ltd.,Singapore, 8th – 10th November 2006.

Yıldız, L., 2005, Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	Mevlüt Deniz SONGUR
Doğum Yeri	:	Çankaya
Doğum Tarihi	:	30.07.1989
Medeni Hali	:	Bekar
Yabancı Dil	:	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	:	Dikmen Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi (2003-2007)
Lisans	:	Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2009-2014)
Yüksek Lisans	:	Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2015-Ocak 2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Aker Mühendislik Müşavirlik (2017-2018)
ATAC Müh. Müş. İnş. Mad. San. Ve Tic. Ltd. Şti. (2018-2019)

Ulusal Kongre Sunum

Dokuz, U., E., Çelik, M., Arslan, Ş., Engin, H., Songur, D., 2013, "Göksu Deltası (Silifke, Mersin) Sağ Yakası Hidrojeolojik Kavramsal Modelinin Oluşturulması", Su Medeniyetleri Sempozyumu", Aksaray Üniversitesi.

Uluslararası Kongre Sunum

AGDEJAM Student Group, Ergin, M., Keskin, Ş., Sözeri, K., Çiftçi, D., Karakaş, Z., 2012, "Geochemical Assessment of Total Heavy Mineral Distribution in Modern Beach Sediments From Gult Of Kuşadası, Western Turkey", International Earth

Science Colloquium on the Aegean Region, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir. (AGDEJAM Student Group: Başak Eser-Doğdu, Ayça Taşkent, Yunus Emre Taşova, Hüseyin Demir, Mevlüt Deniz Songur).

Karakaş, Z., Ergin M., Sözeri, K., ESER DOĞDU, B., AGDEJAM Öğrenci Grubu, 2012, "Erdemli – Mersin Sahillerinde Plaj Çökellerinin Tane Boyu Özellikleri: Karasal, Denizel ve Antropojenik Etkileri", 65. Jeoloji Kurultayı, MTA.