

**BOĞSAK KARAYOLU TÜNELLERİ (TAŞUCU-MERSİN)
JEOTEKNİK TASARIMI**

Dursun ERİK

Doktora Tezi

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2004**

**BOĞSAK KARAYOLU TÜNELLERİ (TAŞUCU-MERSİN)
JEOTEKNİK TASARIMI**

DURSUN ERİK

**Danışman
Prof. Dr. AZİZ ERTUNÇ**

**DOKTORA TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2004**

Nazan ve Rüzgara' a ...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
KATKI BELİRTME.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XIII
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	XVII
SİMGELER DİZİNİ.....	XX
EKLER.....	XXI
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	3
3. MATERYAL VE METOD.....	6
3.1. Genel Jeoloji.....	9
3.1.1. Stratigrafi.....	12
3.1.1.1. Gümüşali Formasyonu (Dg).....	12
3.1.1.2. Ziyarettepe Formasyonu (Kz).....	16
3.1.1.3. Yiğiltepe Formasyonu (Py).....	18
3.1.1.4. Katarası Formasyonu (Trak).....	21
3.1.1.5. Keçilidağ Formasyonu (Trok).....	25
3.1.1.6. Köroğlu Formasyonu (JKk).....	28
3.1.1.7. Yanıktepe Kireçtaşı (Ky).....	31
3.1.1.8. Akdere Formasyonu (Pa).....	32
3.1.1.9. Alüvyon.....	34
3.2. Yapısal Jeoloji.....	38
3.3. Hidrojeoloji.....	38
3.4. Depremsellik.....	38
3.5. Mühendislik Jeolojisi.....	42
3.5.1. Saha çalışmaları.....	46
3.5.2. Laboratuvar çalışmaları.....	47
3.5.3. Kaya kütleleri sınıflama sistemleri.....	53
4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR.....	53
4.1. Arazi Çalışmaları.....	53
4.1.1. Sondajlar çalışmaları.....	53
4.1.2. Süreksizlik incelemeleri.....	64
4.1.2.1. Süreksizliklerin yönelimi.....	66
4.1.2.2. Süreksizliklerin aralıkları.....	83
4.1.2.3. Süreksizlik açıklıklıkları.....	88
4.1.2.4. Süreksizliklerin devamlılığı.....	94
4.1.2.5. Süreksizliklerin dolgu durumu.....	98
4.1.2.6. Süreksizliklerin su durumu.....	98
4.1.2.7. Süreksizlik duvarının durumu.....	100
4.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	101
4.2.1. Hacim kütle deneyi.....	102
4.2.2. Tek eksenli basınç deneyi.....	102
4.2.3. İndirekt çekme deneyi.....	105
4.2.4. Sonik hız deneyi.....	105

	Sayfa
4.2.5. Nokta yük deneyi.....	105
4.2.6. Kohezyon (C) ve içsel sürtünme açısı (Φ) nın belirlenmesi.....	110
4.2.7. Elastisite modülü, rijidite modülü ve poisson oranının belirlenmesi....	113
4.2.8. Süreksizliklerin makaslama dayanımı.....	113
5. BOĞSAK TÜNELLERİ JEOTEKNİK TASARIMI.....	117
5.1. Giriş Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi.....	117
5.2. Giriş Ağzı Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi.....	124
5.2.1. Giriş ağzı kinematik Analizler.....	124
5.2.2. Giriş ağzı kaya kütlesi sınıflandırma sistemleri.....	130
5.3. Orta Bölgenin Jeoteknik Değerlendirmesi.....	137
5.4. Çıkış Ağzı Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi.....	150
5.4.1. Çıkış ağzı kinematik analizler.....	150
5.4.2. Çıkış ağzı kaya kütlesi sınıflandırma sistemleri.....	153
5.5. Çıkış Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi.....	160
5.6. İlksel Gerilmelerin Belirlenmesi.....	163
5.7. Gerilme Deformasyon Analizlerinde Kullanılacak Elastisite Modülleri..	170
5.8. Gerilme Deformasyon Analizleri.....	171
5.8.1. Km: 103+810 Giriş ağzı gerilme-deformasyon analizleri.....	172
5.8.2. Orta Bölge Km: 103+618 TSK -2 gerilme-deformasyon analizleri.....	178
5.8.3. Orta Bölge Km: 103+300 TSK-4 gerilme-deformasyon analizleri.....	184
5.8.4. Çıkış Ağzı Km: 104+000 TSK -3 gerilme-deformasyon analizleri.....	190
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	196
7. DEĞİNİLEN KAYNAKLAR.....	198
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ÖZET

Mersin ve Antalya illerini bir birine bağlayan devlet kara yolu üzerinde bulunan Taşucu-Ovacık arasındaki kesimin projesi hazırlanırken Km: 102+800-104+000 arasında kalan kesimde tünel gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu nedenle Boğsak tünelleri olarak adlandırılan tünellerin Jeoteknik olarak tasarlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında tünel geçkisini de içine alan bölgenin, genel jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritaları yapılmıştır. Tünel geçkisinin Geyikdağı birliğine ait Üst Permiyen yaşlı Yığılítepe Formasyonu, Alt Triyas yaşlı Katarası Formasyonu ve Orta Triyas yaşlı Keçilidağ Formasyonları içinde açılacağı belirlenmiştir. Tünel geçkisi üzerinde 4 adet karotlu sondaj yapılmış, sondaj karotlarından elde edilen örneklerin gerekli fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Süreksizlik ölçümleri ve laboratuvar verileri birlikte değerlendirilerek, RMR, Q ve GSI ya göre tünelin içinden geçeceği kaya kütlelerinin en iyi, en kötü ve normal koşullar için sınıflandırmaları yapılmıştır. Buna göre tünel geçkisinin kaya kütlelerinin RMR ve Q sınıflandırma sistemlerine göre normal koşullar için orta ve zayıf kaya sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir. Açık kazı alanlarında şev stabilitesi analizleri yapılarak, tünelin giriş ve çıkış kesimlerinin şev tasarımları yapılmıştır. Kaya kütleleri sınıflama sistemleri ve laboratuvar verilerinden elde edilen sonuçların analitik değerlendirmesi ile tünel kazısı sırasında ortaya çıkacak olan gerilme-deformasyon analizleri yapılmış ve destek-kaya etkileşimleri ve destek üzerinde meydana gelecek deformasyonlar belirlenerek, uygun destek çözümleri ortaya konulmuştur..

Bütün bu çalışmalardan yararlanılarak 1200 m uzunluğundaki Boğsak tünellerini de içine alan 1900 m lik kesimin 5 yapısal bölge için ayrı ayrı jeoteknik tasarımı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Boğsak tünelleri, ilksel gerilme, jeoteknik tasarım, kaya kütleleri sınıflaması, kazı-destek, şev dizaynı,

ABSTRACT

It was found necessary to build a tunnel between 102+800-104+1000 Kilometers when a project was prepared on the section of road between Taşucu and Ovacık, which are found on the state road which connect Mersin and Antalya. This project aims to geotechnically plan the tunnels which were named the Boğsak tunnels.

In the scope of this project, general geological and engineering geological maps were done in the areas the tunnel is to pass through and the surrounding area. It was determined that the tunnel excavated through the Upper Permian aged Yığıltepe Formation, the Lower Triassic aged Katarası Formation and the Middle Triassic aged Keçilidağ Formation which belong to the Geyikdağı Unit.

Four core drills were done on the tunnel area and laboratory experiments were done to identify the necessary physical and mechanical characteristics of the samples obtained from the core drills. On evaluating the laboratory data and the joint measurements, the rock mass of the area the tunnel will pass through was classified into the best, the worst and normal conditions according to RMR, Q and GSI. According to this, it was determined that the rock masses of the tunnel area, for normal conditions according to the RMR and Q classification system, occurred in the middle and weak groups. Slope designs were done on the entrance and exit areas of the tunnel by doing slope stability analyses on open-excavation areas.

Analytic evaluation of the rock mass classification systems and the results from the laboratory experiments were carried out. Also stress-deformation analyses were done during the tunnel excavation. On determining the deformations on the support-rock effect with support, suitable support solutions were determined.

Using all the data from this study, the 1900 m area, in which the Boğsak tunnel caven an area of 1200 m, was separated into 5 areas and separate geotechnical designs were done.

Key Words: Boğsak tunnels, primary stress, geotechnical design, rock mass classification, excavation-support, slope design,

KATKI BELİRTME

Doktora danışmanlığımı kabul eden ve çalışmam sırasında değerli görüş ve önerilerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ' a

Çalışmamın her anında, arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarında, tezin kurgusunun oluşturulmasında her zaman yanımda olan, değerli bilgi ve görüşleri ile beni yönlendiren değerli hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Mahmut MUTLUTÜRK'e (SDÜ),

Gerilme-deformasyon analizlerinin yapılması ve yorumlanmasında değerli görüşlerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. İlyas YILMAZER'e

Çalışmanın çeşitli aşamalarında yardımını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL'e (SDÜ),

Laboratuvar deneyleri sırasında yardımlarını gördüğüm Doç.Dr. Raşit ALTINDAĞ (SDÜ), Yrd. Doç.Dr. Kazım GÖRGÜLÜ (C.Ü.), Prof. Dr. Reşat ULUSAY (H.Ü.) ve Prof.Dr. Hasan GERÇEK'e (K.Ü),

Genel jeolojinin oluşturulmasında yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç.Dr. Hüseyin YILMAZ'a (C.Ü.), Paleontolojik ve petrografik tanımlamaları hassasiyetle yapan Prof. Dr. Muhittin GÖRMÜŞ'e (SDÜ),

Sonik Hız deneylerini yapan DLH TAD. Jeofizik Laboratuvarı çalışanlarına, yorucu ve uzun laboratuvar çalışmaları sürecinde her zaman yanımda olan değerli arkadaşım Jeoloji Müh. Sedat CIRIK'a,

Bilgisayar yazılımı konusunda yardımlarını gördüğüm Sayın Jeoloji Yük. Müh. Yavuz ERGİNTAV'a (KGM), Autocad çizimlerinde yardımını gördüğüm değerli arkadaşım İnşaat Mühendisi Kayhan PAMUK'a (TCK 16), topoğrafik haritanın sayısallaştırmasında yardımlarını gördüğüm stajyer öğrenciler Kürşat GEREY, Burcu BİLİCİ ve İlker GENÇLER'e,

Tez konusunun ve sahasının seçiminde yardımlarını gördüğüm Sayın Jeoloji Yük. Müh. Ergun YALÇIN'a (KGM), saha çalışmaları sırasında kalacak yer ve araç imkanlarını sağlayan sayın Jeoloji Müh. Tanju ÖKTEN'e

Çalışmalarım sırasında göstermiş oldukları anlayıştan dolayı Sayın Ertuğrul KARAKAŞ'a (TCK 16) ve Araştırma başmühendisliği çalışanlarına,

Ve çalışmamın her anında yanımda olan değerli eşim Yrd. Doç. Dr. Nazan YALÇIN ERİK' e teşekkür ederim

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>SAYFA</u>
Şekil 3.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası..... 7
Şekil 3.2.	İnceleme alanının üç boyutlu topografik görüntüsü 8
Şekil 3.3.	Orta Toroslar'ın jeolojik haritası (Akay ve Uysal, 1988'den sadeleştirilerek). 10
Şekil 3.4.	İnceleme alanının genel jeolojik haritası (Öztaş, 1989)..... 13
Şekil 3.5.	İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Özgül ve Kozlu, 2002'den değiştirilerek) 14
Şekil 3.6.	Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (AIGM, 1996) 39
Şekil 3.7.	İnceleme alanı ve yakın çevresinde 1900- 2004 yılları arasında oluşan depremler..... 39
Şekil 3.8.	Magnitüd derecesi, yer ivmesi ve uzaklığa göre depremlerin tünelde oluşturacakları hasar seviyeleri (Dowding ve Rozen, 1978) 41
Şekil 3.9.	Boğsak Tünelleri proje tip kesiti..... 43
Şekil 3.10.	Tünel güzergahındaki Mühendislik jeolojisi çalışması için ayrılan bölge sınırları..... 44
Şekil 3.11.	Tünel kotuna göre örnek seçim derinlikleri..... 46
Şekil 4.1.	TSK-1 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri..... 54
Şekil 4.2.	TSK-2 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri..... 55
Şekil 4.3.	TSK-3 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri..... 57
Şekil 4.4.	TSK-4 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri..... 58
Şekil 4.5.	Giriş bölgesi sol taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri..... 67
Şekil 4.6.	Giriş bölgesi sol taraf tabakalara ait kontur diyagram. 67
Şekil 4.7.	Giriş bölgesi sağ taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri..... 68
Şekil 4.8.	Giriş bölgesi sağ taraf tabakalara ait kontur diyagram..... 68
Şekil 4.9.	Giriş bölgesi sol taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri..... 69
Şekil 4.10.	Giriş bölgesi sol taraf eklemelere ait kontur diyagram..... 69

Şekil 4.11.	Giriş bölgesi sağ taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.	70
Şekil 4.12.	Giriş bölgesi sağ taraf eklemlere ait kontur diyagram.....	70
Şekil 4.13.	Giriş ağzı tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.....	72
Şekil 4.14.	Giriş ağzı tabakalara ait kontur diyagram.....	72
Şekil 4.15.	Giriş ağzı eklemlere ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.....	73
Şekil 4.16.	Giriş ağzı eklemelere ait kontur diyagram.....	73
Şekil 4.17.	Orta bölge tabakalara ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.....	74
Şekil 4.18.	Orta bölge tabakalara ait kontur diyagram.	74
Şekil 4.19.	Orta bölge eklemlere ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.	75
Şekil 4.20.	Orta bölge eklemlere ait kontur diyagram.	75
Şekil 4.21.	Çıkış ağzında bulunan tabakalara ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.....	77
Şekil 4.22.	Çıkış ağzında bulunan tabakalara ait kontur diyagram.....	77
Şekil 4.23.	Çıkış ağzında bulunan eklemlere ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.....	78
Şekil 4.24.	Çıkış ağzında bulunan eklemelere ait kontur diyagram.....	78
Şekil 4.25.	Çıkış bölgesi sol taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.....	79
Şekil 4.26.	Çıkış bölgesi sol taraf tabakalara ait kontur diyagram.....	79
Şekil 4.27.	Çıkış bölgesi sağ taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.	80
Şekil 4.28.	Çıkış bölgesi sağ taraf tabakalara ait kontur diyagram.....	80
Şekil 4.29.	Çıkış bölgesi sol taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.	81
Şekil 4.30.	Çıkış bölgesi sol taraf eklemeler ait kontur diyagram.....	81

Şekil 4.31.	Çıkış bölgesi sağ taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.	82
Şekil 4.32.	Çıkış bölgesi sağ taraf eklemeler ait kontur diyagram.	82
Şekil 4.33.	Giriş bölgesi süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.	84
Şekil 4.34.	Giriş ağzı süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.	85
Şekil 4.35.	RQD değerleri ve süreksizlik aralığı arasındaki ilişki (Bienieawski, 1989)	85
Şekil 4.36.	Çıkış ağzı süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.	87
Şekil 4.37.	Çıkış bölgesi süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.	88
Şekil 4.38.	Giriş bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	90
Şekil 4.39.	Giriş ağzı bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	91
Şekil 4.40.	Orta bölge süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	92
Şekil 4.41.	Çıkış ağzı bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	93
Şekil 4.42.	Çıkış bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	93
Şekil 4.43.	Giriş bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	95
Şekil 4.44.	Giriş ağzı bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	95
Şekil 4.45.	Orta bölge süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	96
Şekil 4.46.	Çıkış ağzı bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	97

Şekil 4.47.	Çıkış bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram.....	97
Şekil 4.48.	C ve Φ arasındaki ilişki (Brady and Brown, 1999).....	110
Şekil 5.1.	Km: 102+700 de tüneller ve Zindan Deresinin konumu.....	118
Şekil 5.2.	Giriş bölgesi sol taraf düzlemsel kayma analizi.....	119
Şekil 5.3.	Giriş bölgesi sol ve sağ taraf şev dizaynı.....	121
Şekil 5.4.	Giriş bölgesi sağ taraf düzlemsel kayma analizi.....	122
Şekil 5.5.	Giriş ağzı alın şevi için düzlemsel kayma analizi.	123
Şekil 5.6.	Giriş ağzı alın şevi için düzlemsel kayma analizi.	125
Şekil 5.7.	Giriş ağzı 1-2-3 nolu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.	126
Şekil 5.8.	Giriş ağzı 1-2-3 nolu süreksizliklerin tavanda oluşturduğu kamanın destek sonrası durumu.	126
Şekil 5.9.	Giriş ağzı 2-3-4 nolu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.	127
Şekil 5.10.	Giriş ağzı 2-3-4 nolu süreksizliklerin tavanda oluşturduğu kamanın destek sonrası durumu.....	128
Şekil 5.11.	Giriş ağzı 2-3-4 nolu süreksizliklerin sol tarafta oluşturduğu kamanın destek sonrası durumu.....	128
Şekil 5.12.	Giriş ağzı 1-3-4 nolu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.....	129
Şekil 5.13.	Giriş ağzı 1-3-4 nolu süreksizliklerin sağ tarafta oluşturduğu kamanın destek sonrası durumu.....	129
Şekil 5.14.	Giriş ağzı TSK-1 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri.....	136

Şekil 5.15.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri.....	143
Şekil 5.16.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri.....	149
Şekil 5.17.	Çıkış ağzı hakim süreksizlik setleri ve şev yöneliminin büyük daireleri.....	151
Şekil 5.18.	Çıkış ağzı 4 nolu süreksizlikte devrilme analizi.	151
Şekil 5.19.	Çıkış ağzı 3-5-8 no lu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.	152
Şekil 5.20.	Çıkış ağzı TSK-3 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri.....	159
Şekil 5.21.	Çıkış bölgesi Km: 104+100 de en kesit.....	160
Şekil 5.22.	Çıkış bölgesi sağ taraf düzlemsel kayma analizi.....	161
Şekil 5.23.	Çıkış bölgesi sol taraf süreksizlik setleri.....	162
Şekil 5.24.	Çıkış bölgesi sol taraf kama tipi kayma analizi.....	162
Şekil 5.25.	Dünyadaki çeşitli projelerden ölçülen düşey gerilmeler ve derinlik arasındaki ilişki (Brown ve Hoek,1978)	164
Şekil 5.26.	Derinliğin fonksiyonu olarak k ve E_h değerlerinin değişimi (Sheorey,1994).....	166
Şekil5. 27.	Tünellerin farklı kesimlerinde k değerinin değişimi.	169
Şekil 5.28.	Kazı geometrisinin Phase yazılımında modellenmesi.	171
Şekil 5.29.	TSK-1 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası $\sigma_1(a)$, σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası $\sigma_1(c)$, σ_3 (d) gerilme dağılımları...	173
Şekil 5.30.	Kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. aşamada yenilme dağılımı.....	175

Şekil 5.31.	TSK -1 Tavanda uygulanan pükürtme beton (a) üzerine gelen normal (b) ve makaslama gerilmeleri (c)	176
Şekil 5.32.	Giriş ağızı ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı.....	177
Şekil 5.33.	TSK-2 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası $\sigma_1(a)$, σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası $\sigma_1(c)$, σ_3 (d) gerilme dağılımları...	179
Şekil 5.34.	TSK-2 bölgesinde kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. aşamada yenilme dağılımı.....	181
Şekil 5.35.	TSK-2 bölgesinde kazı çevresinde uygulanan bulonların yeri(a), sol (b) ve sağ (c) tüpteki bulonların kazı dan uzaklığına göre etki eden düşey gerilme.....	182
Şekil 5.36.	TSK-2 bölgesinde ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı.....	183
Şekil 5.37.	TSK-4 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası $\sigma_1(a)$, σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası $\sigma_1(c)$, σ_3 (d) gerilme dağılımları..	185
Şekil 5.38.	TSK-4 bölgesinde kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. aşamada yenilme dağılımı.....	187
Şekil 5.39.	TSK-4 bölgesinde kazı çevresinde uygulanan bulonların yeri(a), sol (b) ve sağ (c) tüpteki bulonların kazı dan uzaklığına göre etki eden düşey gerilme.....	188
Şekil 5.40.	TSK-4 bölgesinde ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı.....	189
Şekil 5.41.	TSK-3 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası $\sigma_1(a)$, σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası $\sigma_1(c)$, σ_3 (d) gerilme dağılımları..	191

Şekil 5.42.	TSK-3 bölgesinde kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. aşamada yenilme dağılımı.....	193
Şekil 5.43.	TSK -3 de uygulanan pükürtme beton (a) üzerine gelen normal (b) ve makaslama gerilmeleri (c)	194
Şekil 5.44.	TSK-3 bölgesinde ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı.....	195

ÇİZELGELER DİZİNİ

		<u>SAYFA</u>
Çizelge 3.1.	Toroslar' daki birliklerin karşılaştırmalı özellikleri (Özgül,1976)	11
Çizelge 3.2.	İnceleme Alanı ve 90 km yarıçapındaki çevresindeki faylar ve eski deprem merkezleri ve büyüklükleri.....	40
Çizelge 3.4.	Kaya Kütle sınıflama sistemleri (Palmstörn,2000).....	48
Çizelge 3.5.	RMR sınıflama parametreleri, değişim aralıkları ve puanları (Bieniawski,1989)	49
Çizelge 4.1.	Boğsak Tünelleri boyunca yapılan sondajların yerleri ve uzunlukları.....	53
Çizelge 4.2.	Sondaj karotlarından yapılan ölçüm ve değerlendirme sonuçları özeti.....	63
Çizelge 4.3.	Süreksizlik aralığı tanımlama esasları (ISRM, 1981).....	83
Çizelge 4.4.	Süreksizlik devamlılığının tanımlama esasları (ISRM, 1981)	94
Çizelge 4.5.	Toprak zeminlerin drenajsız makaslama dayanımlarının tanımlanmasına ait ölçütler (ISRM, 1981)	98
Çizelge 4.6.	Dolgusuz ve dolgulu süreksizlikler için su durumunun sınıflandırılması ve tanımlanması (ISRM, 1981).....	99
Çizelge 4.7.	Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımları ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)	100
Çizelge 4.8.	Yapılan deney türleri ve örnek sayıları.....	101
Çizelge 4.9.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan hacim kütle deneyi sonuçları.....	103
Çizelge 4.10.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Tek eksenli basınç deneyi sonuçları.....	104
Çizelge 4.11.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan İndirekt çekme deneyi sonuçları.....	106
Çizelge 4.12.a	a. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Sonik hız ölçümleri Vp deney sonuçları.....	107

Çizelge 4.12. b.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Sonik hız ölçümleri Vs deney sonuçları.....	108
Çizelge 4.13.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Nokta yük deneyi sonuçları.....	109
Çizelge 4.14. a.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Kohezyon (MPa) ölçümleri.....	111
Çizelge 4.14. b.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan İçsel sürtünme açısı(Φ) ölçümleri.....	112
Çizelge 4.15.	İnceleme alanında sondaj karotlarında yapılan E modülü ve poison oranı (statik) ölçümleri.....	114
Çizelge 4.16.	İnceleme alanında sondaj karotlarında yapılan E modülü, Rijidite modülü ve poison oranı ölçümleri (Dinamik)....	115
Çizelge 4.17.	İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan süreksizliklerin makaslama dayanımı deneyi sonuçları...	116
Çizelge 5.1.	Giriş bölgesi sol taraf süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi.....	119
Çizelge 5.2.	Giriş bölgesi sağ taraf süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi.....	121
Çizelge 5.3.	Giriş ağzı hakim süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi.....	124
Çizelge 5.4 a.	Giriş ağzı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması.....	131
Çizelge 5.4 b.	Giriş ağzı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	132
Çizelge 5.4 c.	Giriş ağzı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri.....	132
Çizelge 5.5 a.	Giriş ağzı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması.....	133

Çizelge 5.5 b.	Giriş ağızı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	134
Çizelge 5.5 c.	Giriş ağızı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri.....	134
Çizelge 5.6.	Giriş ağızı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri.....	135
Çizelge 5.7 a.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması.....	138
Çizelge 5.7 b.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	139
Çizelge 5.7 c.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri.....	139
Çizelge 5.8 a.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması.....	140
Çizelge 5.8 b.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	141
Çizelge 5.8 c.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri..	141
Çizelge 5.9.	Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri.....	142
Çizelge 5.10 a.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması.....	144
Çizelge 5.10 b.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	145

Çizelge 5.10 c.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri.....	145
Çizelge 5.11 a.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması.....	146
Çizelge 5.11.b.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	147
Çizelge 5.11. c.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri..	147
Çizelge 5.12.	Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri.....	148
Çizelge 5.13.	Çıkış ağız bölgesi hakim süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi.....	150
Çizelge 5.14 a.	Çıkış ağız TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması.....	154
Çizelge 5.14 b.	Çıkış ağız TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	155
Çizelge 5.14 c.	Çıkış ağız TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri.....	155
Çizelge 5.15 a.	Çıkış ağız TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması.....	156
Çizelge 5.15.b.	Çıkış ağız TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri.....	157
Çizelge 5.15. c.	Çıkış ağız TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri.....	157
Çizelge 5.16.	Çıkış ağız TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri.	158

Çizelge 5.17.	Çıkış bölgesi sağ taraf hakim süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi.....	160
Çizelge 5.18.	Çıkış bölgesi sol taraf hakim süreksizlik setleri ve kinematik ön değerlendirme çizelgesi.....	161
Çizelge 5.19.	Tünel eksenini boyunca yerinde gerilme değerleri.....	168
Çizelge 5.20.	Kaya kütle sınıflama sistemlerinden elde edilen E modülü dağılımı.....	170
Çizelge 5.21.	Km: 120+810 de gerilme deformasyon analizinde kullanılacak parametreler.	172
Çizelge 5.22.	Km: 103+618de gerilme-deformasyon analizlerinde kullanılacak parametreler.	178
Çizelge 5.23.	Km: 103+300 de gerilme-deformasyon analizlerinde kullanılacak parametreler.....	184
Çizelge 5.24.	Km: 103+300 de gerilme-deformasyon analizlerinde kullanılacak parametreler.	190

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

<u>Fotoğraf</u>	<u>Sayfa</u>
Foto 3.1. Ziyarettepe Formasyonu' na ait bol organik maddeli stilolitli biyomikrit (Tek nikol, X10).....	17
Foto 3.2. Yığıltepe Formasyonunda yüzeysel karstlaşmalar (Zindan Deresi Civarı)	20
Foto 3.3. Yığıltepe Formasyonundaki biyomikritler (Tek nikol, X4).....	21
Foto 3.4. Timurini Tepe'de gözlenen Katarası Formasyonu dolomitleri.....	22
Foto 3.5. Katarası Formasyonu'nda belirlenen oolitle kireçtaşı seviyeleri (Tek nikol, X4).....	23
Foto 3.6. Katarası Formasyonunda gözlenen Stilolitlerdeki organik madde dolguları içeren biyomikritler (Tek nikol, X10).....	23
Foto 3.7. Katarası Formasyonu TSK-4 sondajında belirlenen intraklast seviyesi (Tek nikol, X10).....	24
Foto 3.8. TSK-4 sondajında Katarası Formasyonunda belirlenen zonlu dolomitler (Tek nikol, X10).....	24
Foto 3.9. Keçilidağ Formasyonu'nun Tahtı Koyu civarındaki görünümü (Tokmar Mahallesinden doğuya bakış)	26
Foto3.10. Keçilidağ Formasyonu'nunda zonlu doku gösteren dolomitler (Tek nikol, X10).....	27
Foto 3.11. Köroğlu Tepesi Formasyonu'ndaki biyomikritik fasiyes (Tek nikol, X10).....	29
Foto 3.12. Köroğlu Tepesi Formasyonu'nda karstik erime izleri.....	30
Foto 3.13. Kalabak Tepe'de Akdere Formasyonu ve Keçilidağ Formasyonu arasındaki ilişki (Boğsak Mahallesinden batıya bakış)	33
Foto 3.14. İnceleme alanının kuzeyinde Gölcük Mahellesi civarında gözlenen 57° lik normal fay (Timurini Tepeden kuzeye bakış)	36
Foto 3.15. Teke Tepenin batısındaki normal faylar (Tokmar Kalesinden batıya bakış)	37
Foto 3.16. Tünel giriş bölgesindeki normal Fay.....	37

<u>Fotoğraf</u>		<u>Sayfa</u>
Foto 4.1.	Tünel giriş bölgesindeki Katarası Formasyonu'nda gözlenen karstik erimeler.....	65
Foto 4.2.	Tünel giriş bölgesindeki Katarası Formasyonu'nda gözlenen karen oluşumu.....	65
Foto 4.3.	Tünel giriş bölgesindeki Katarası Formasyonu'nda süreksizliklerden itibaren oluşan karstlaşma.....	89

SİMGELER DİZİNİ

C	Kohezyon
C_i	Anlık kohezyon
E	Elastisite modülü
E_{din}	Dinamik elastisite modülü
Em	Kaya kütleinin elastisite modülü
GSI	Jeolojik dayanım indeksi
I_{s(50)}	Nokta yük dayanım indeksi
J_a	Q sisteminde eklem alterasyon sayısı
J_n	Q sisteminde eklem set sayısı
J_r	Q sisteminde eklem pürüzlülük sayısı
J_v	Hacimsel eklem sayısı
J_w	Q sisteminde eklem suyu azaltma faktörü
m	Hoek-Brown yenilme ölçütünde boyutsuz malzeme sabiti
m_i	Hoek-Brown yenilme ölçütünde kayaç malzemesine ait boyutsuz malzeme sabiti
Q	Q kaya kütlei sınıflama sisteminde kaya kalitesi
RMR	Kaya kütlei sınıflama puanı
RQD	Kaya kalite göstergesi
SCR	Sağlam karot verimi, süreksizlik yüzey koşulu puanı(GSI' da)
SR	Yapısal özellik puanı (GSI' da)
SRF	Q sisteminde gerilme azaltma faktörü
s	Hoek-Brown yenilme ölçütünde boyutsuz malzeme sabiti
TBM	Tünel açma makinesi
γ	Birim hacim ağırlık
σ	Normal Gerilme
σ'	Etkin normal gerilme
σ_c	Kayaç malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
σ_{cm}	Kaya kütleinin tek eksenli basınç dayanımı
σ_t	Kayaç malzemesinin çekme dayanımı
σ₁	En büyük asal gerilme
σ₃	En küçük asal gerilme
τ	Makaslama gerilmesi
Φ	İçsel sürtünme açısı
Φ'	Etkin içsel sürtünme açısı
Φ_i	Anlık İçsel sürtünme açısı
Φ_i'	Anlık etkin içsel sürtünme açısı

EKLER

- EK-1. Petrografik İncelemeler
- EK-2. Sol tp 1/5000 lik harita
- EK-3. Sağ tp 1/5000 lik harita
- EK-4. Sondaj karotlarında süreksizlik olęmleri
- EK-5 .En kesitler

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun tarih sahnesine çıkması ile birlikte başlayan yer altı kazıları, gerek barınma, gerek korunma, gerekse de depolama amacı ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki devirlerde insanlığın madenleri keşfetmesi ile yer altı kazıları gelişmeye başlamıştır. Sanayi devrimi ile birlikte gelişmeye başlayan şehirleşme, sanayinin ve çarpık kentleşmenin bir ürünü olarak ulaşım sorunlarını getirmiş ve bunun sonucu olarak da ilk metro 1868 yılında Newyork' ta açılmıştır. Sanayileşmenin ve ekonominin gelişimi ile yeni pazarlar arayışına girilmiş ve ulaşım önemli rol oynamıştır. Ulaşımında karşılaşılan güçlüklerden en önemlileri yüksek dağ geçitlerinde karşılaşılmış olup bu sorun tüneller açılarak çözülmeye çalışılmıştır.

Günümüzde ekonomik ve sosyal gelişme sonucu mevcut yolların ihtiyaca cevap veremeyecek ölçüde düşük standartlara sahip olması nedeniyle, yeni güzargah seçimleri veya mevcut yolların iyileştirilmesi gündeme gelmiştir.

Ülkemizde proje aşamasında jeoteknik etütlere gerekli para ve zaman ayrılmamaktadır. Bunun doğal sonucu olarak da yapım aşamasında projelerde büyük yapısal değişiklikler zorunlu olmaktadır. Bunun en önemli örneği ise Bolu dağı tünellerinde görülmektedir.

Bu çalışmanın da konusu olan Taşucu-Ovacık yolu, ülkemizin önemli turizm ve tarım merkezlerinden olan Mersin ve Antalya illerimizi birbirine bağlayan devlet kara yolu üzerinde bulunmaktadır. Mersin ve Antalyadan başlayan bölünmüş yol projeleri halen devam etmektedir. Taşucu- Ovacık arasında kalan yol sahilden devam etmekte olup, çok düşük geometrik standartlara sahiptir. Bu nedenle bu kesimin projelendirilmesi Form Mühendislik Ltd. Şti tarafından yapılmaktadır. Proje kapsamında Km: 102+810 -104+000 arasında topoğrafyanın elverişli olmaması sebebi ile tünel geçkisi planlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında tünel geçkisini de içine alan bölgenin, 1/25000 ölçekli, genel jeoloji ve 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritaları yapılmıştır. Tünel geçkisi üzerinde 4 adet tam karotlu sondajlar yapılmış, sondaj karotları üzerinde yapılan RQD, TCR, SCR ve Jv gibi ölçümler ile kaya kütlelerinin özellikleri belirlenmiştir. Sondaj karotlarından elde edilen örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak, kayaç malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri

belirlenmiştir. Sahada yapılan süreksizlik ölçümleri ve laboratuvar verileri birlikte değerlendirilerek, tünelin içinden geçeceği kaya kütlelerinin RMR, Q ve GSI' ya göre en iyi, en kötü ve normal koşullar için sınıflandırmaları yapılmıştır. Açık kazı alanlarında şev stabilitesi analizleri yapılarak, giriş ve çıkış kesimleri için dizaynlar yapılmıştır. Sondajlar, deneyler ve saha gözlemlerinden yararlanılarak ilksel gerilmeler belirlenmeye çalışılmıştır. Kaya kütle sınıflama sistemleri ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçların analitik değerlendirilmesi ile tünel kazısı sırasında ortaya çıkacak olan gerilme-deformasyon analizleri yapılmış, kütle sınıflamaları tarafından önerilen destek sistemleri denenmiş ve destek-kaya etkileşimleri ve destek üzerinde meydana gelecek deformasyonlar araştırılmıştır.

Bütün bu çalışmalardan yararlanılarak 1200 m uzunluğundaki Boğsak tünellerini de içine alan 1900 m lik kesimin jeoteknik tasarımı yapılmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK BİLGİSİ

Yurdumuzun güneyindeki en önemli dağ birimlerini oluşturan Toroslar, Batı, Orta, ve Doğu Toroslar şeklinde ayırtlanmaktadır (Özgül, 1976). Çalışma alanının da içinde yer aldığı Orta Toroslar ilginç jeolojisi ve tektonik evrimi ile birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bölgedeki değişik amaçlı çalışmalar 1800' lü yılların sonlarında başlamış ve günümüze kadar sürmüştür. İnceleme alanı ve yakın çevresinde bu çalışmanın kapsamını oluşturan mühendislik jeolojisi çalışması bulunmamaktadır. Genel jeoloji, stratigrafik ve hidrojeoloji amaçlı bazı çalışmalar; Tchihatcheff (1869), Ziegler (1939), Blumenthal (1955), Akarsu (1960), Demirtaşlı (1973, 1978, 1981, 1983, 1984), Yalçınlar (1969, 1973), Gökten (1975), Gedik ve diğ., (1976), Öztaş (1989), Özgül ve Kozlu (2002) şeklinde sıralanabilir.

Bu araştırmacılara ait bulgular aşağıdaki şekilde özetlenmiş olup, çalışmalarda bazı terimler değiştirilmeksizin kullanılmıştır.

Orta Toroslar' da bölgesel jeoloji hakkında ilk bilgiler Tchihatcheff (1869) in 1860'larda Anadolu'da yaptığı geziler sonunda ortaya çıkmıştır.

Bölgede jeolojik anlamda ilk ayrıntılı çalışma Blumenthal (1955) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı Taşucu-Ovacık arasındaki bölgeyi "Sahil Silsilesi" olarak adlandırmış ve burada arka arkaya sıralanmış üç dağ silsilesinden bahsetmiştir. Yazar bu üç dağ silsilesi içerisinde, fosilli Devoniyen, Permian ve Kretase serilerini ayırtlamıştır. Bu birimler çalışma alanındaki Gümüşali formasyonu, Yığıltepe Formasyonu, Köroğlu formasyonu ve Yanıktepe formasyonlarına karşılık gelmektedir.

Akarsu (1960); Silifke, Gülnar, Ermenek ve Karaman arasında kalan bölgenin jeolojisini petrol kapını olabilme açısından incelemiştir. Bölgede Paleozoyik, Kretase, Miyosen ve Kuvaterner yaşlı birimlerin bulunduğunu, serpantinlerin Üst Kretase'ye ait olduğunu ve özellikle önemli fayların, kıvrım eksenlerine paralel uzandığını saptamıştır.

Demirtaşlı (1973); Toroslarda sürdürdüğü bir dizi çalışma ile, "Ara Kuşak" olarak adlandırdığı Silifke - Babadil ve dolayının jeolojisini değerlendirmiştir. Kuzeyden güneye doğru bindirmiş olan birimlerin stratigrafik açıdan allohton, otokton ve post - tektonik seriler oluşturduğunu ve Kambriyen yaşlı kireçtaşı, şeyl ve

intraformasyonel konglomeraların üzerinde Üst Kambriyen - Üst Devoniyen aralığında çökelmiş çok ince bir Paleozoyik serinin yer aldığını belirtmiştir. Ayrıca Üst Permiyen yaşlı kireçtaşlarının ince olduğuna ve bazen hiç görülmediğine dikkati çekmiş, Üst Triyas'ın, karasal ve lagünel fasiyeslerde geliştiğini ortaya koymuştur.

Yalçınlar (1969,1973); Anamur, Ovacık ve Silifke dolayının jeolojisini ve özellikle fosilli Alt Paleozoyik serilerini incelemiştir. Tremadosiyen, Ordovisiyen ve Silüriyen serileri ile bunların değişik stratigrafik seviyelerini ilk defa ayırtlamıştır. Fosilli Devoniyen ile denizel ve karasal Karbonifer yaşlı formasyonların iyi geliştiğini ve bu temel üzerine Kretase ve Miyosen'in diskordansla geldiğini saptamıştır. Ayrıca Kambro - Ordovisiyen ve Silüriyen birimlerinin Ovacık -Akdere arasında uzanan bir fay ile kesilmiş olabileceğini ileri sürmüştür.

Gökten (1975); Silifke, Mut - Aslanlı köyü ve Kırobası bucağı civarında yaptığı çalışmada, bölgenin jeolojisini incelemiş ve Miyosen stratigrafisini ayrıntısıyla ortaya koymuştur. Bölgede; Devoniyen ve Permiyen yaşlı kireçtaşları, Üst Jura yaşlı kireçtaşları, Üst Kretase yaşlı plaketsiz kireçtaşı ile melanj özelliğindeki serpantinitle bulduğunu göstermiş, yanal ve düşey geçişli Miyosen tortullarının temel kaya birimlerini transgressif olarak örttüğünü saptamıştır.

Gedik ve diğ., (1976); tarafından Mut, Ermenek ve Silifke dolayında yapılan araştırmalarla bölgenin petrol kapalı olabilirliği, havzanın stratigrafik istif ve tortul kayaçların çökme ortamları belirlenmiştir. Havzada Silüriyen - Miyosen arasında çökelmiş 8500 m kalınlıkta bir tortul istifin bulunduğu ve ofiyolitli melanjin Kretase sonunda ve kuzeyden allokton olarak bölgeye gelmiş olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, Silüriyen - Kretase aralığında çökelen birimlerin yapısal kapan, Miyosen'de çökelenlerin ise stratigrafik kapan oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir.

Demirtaşlı (1978); "Kuzey Kuşak" olarak adlandırdığı Silifke - Korucak ve dolayının jeolojisini incelemiştir. Jura kireçtaşlarının eski birimleri uyumsuz olarak örttüğünü, diğer "Kuşak"larda bulunmayan Karbonifer'in burada yenildiğini ve Üst Permiyen öncesinde kuzeyden güneye olan bindirme nedeniyle de Permiyen yaşlı kireçtaşının bütün yaşlı birimler üzerine uyumsuzlukla geldiğini ortaya koymuştur. Bu arada, bölgedeki birimlerin stratigrafik açıdan otokton ve post - tektonik seriler oluşturduğunu göstermiştir.

Demirtaşlı (1981); "Güney Kuşak" olarak adlandırdığı Silifke-Ovacık ve dolayının jeolojisini incelemiştir. Metamorfizma geçirmemiş tortul birimlerin stratigrafik açıdan otokton ve post - tektonik seriler oluşturduğunu, önemli açılı uyumsuzlukların Orta Devoniyen, Üst Permiyen ve Üst Jura tabanında yer aldığını, ayrıca Üst Permiyen ile denizel Alt Triyas çökelleri arasında bir geçiş zonu bulunduğunu ve Karbonifer'e bu bölgede rastlanmadığını belirlemiştir.

Öztaş (1989); Boğsak karst kaynağında yapmış olduğu hidrojeoloji amaçlı çalışma kapsamında 1/10 000 lik ayrıntılı bir jeoloji çalışması yapmıştır. Birimleri yaşlarına ve litolojilerine göre ayırtlandığı bu çalışmada, Boğsak karst kaynağının tuzluluk bakımından kullanılmayacak özelliklerde olduğu ortaya konulmuştur.

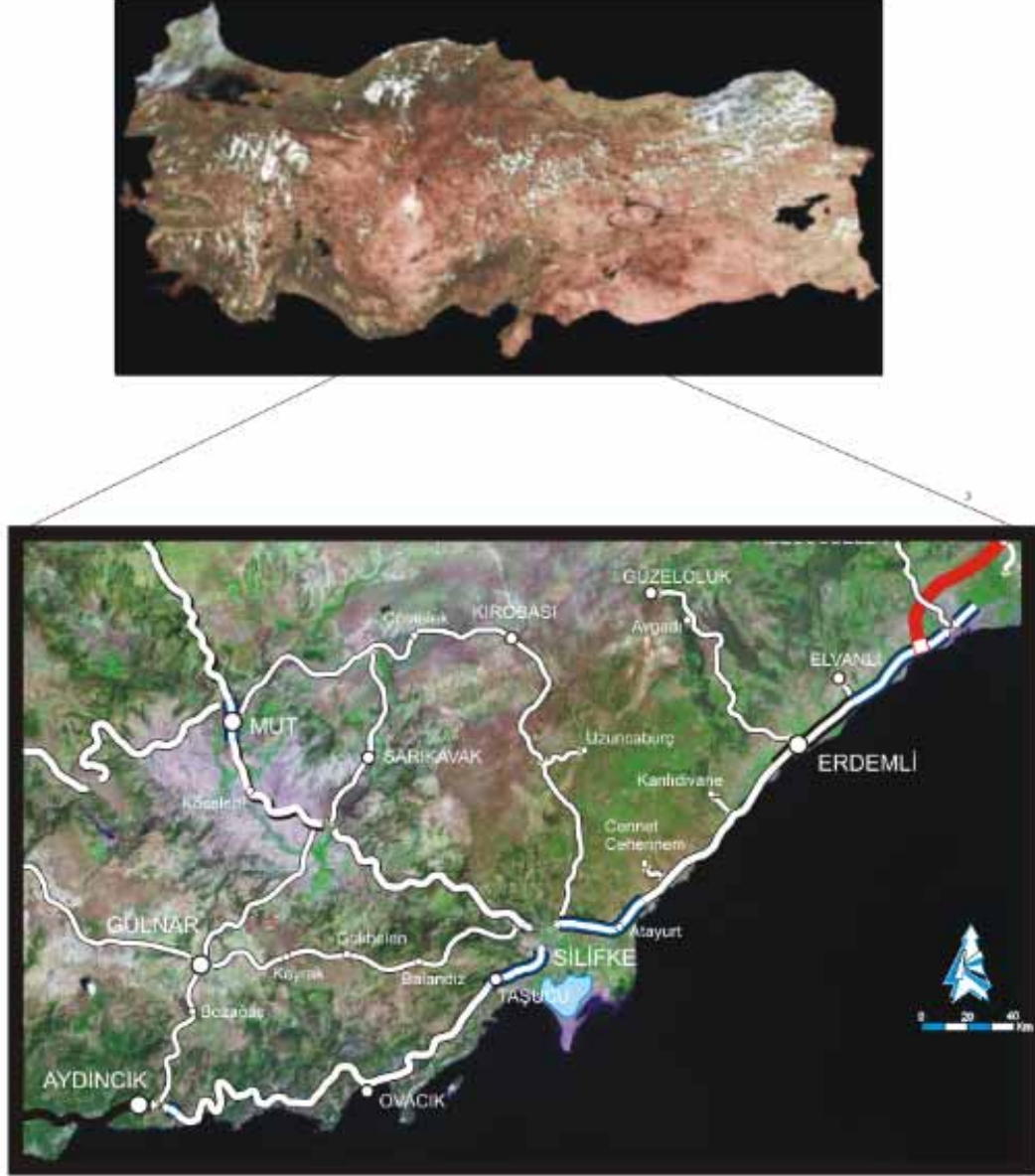
Özgül ve Kozlu (2002); Doğu Toroslar'ın batı kesiminde yapmış oldukları çalışmada, Geyikdağı Birliği içindeki birimleri ayrıntılı olarak incelemiş ve adlandırmışlardır. Çalışma alanındaki birimlerin kaya türleri, fosil içerikleri ve alt-üst ilişkileri deneştirildiğinde bu çalışma ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle inceleme alanındaki birimlerin adlamasında bu çalışmada yer alan adlandırmalar kullanılmıştır.

3. MATERYAL – METOT

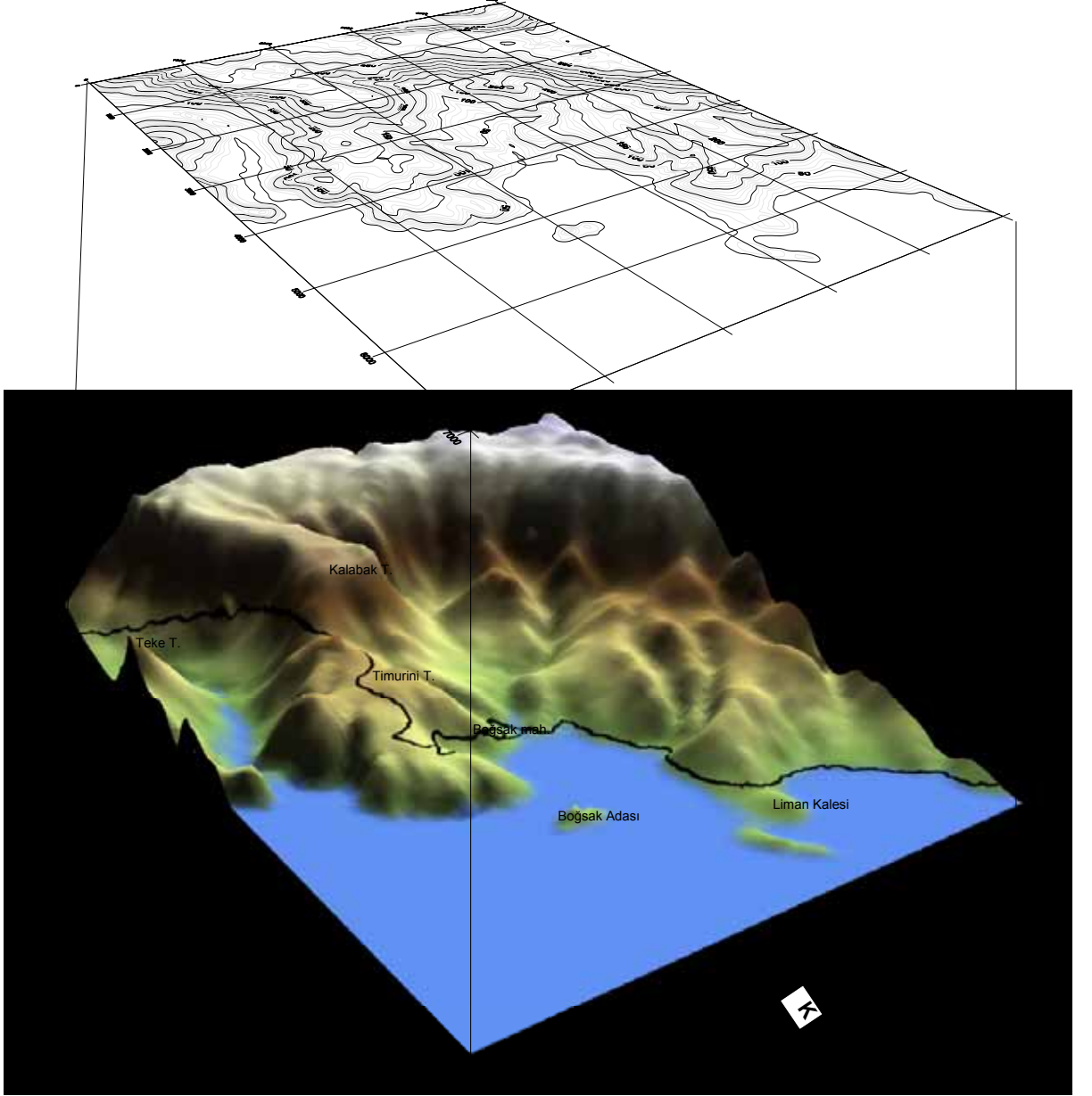
Mersin – Antalya Devlet yolu, Taşucu – Ovacık arasında kalan kesimin düşük geometrik standartlara sahip olması sebebi ile yeniden projelendirilmesi gerekmektedir. Yeni proje yapımı sırasında yolun geometrik standartlarının uygulanamadığı Km: 102+800 ile 104+400 arasında tünel geçkisi yapılması gerekmektedir. Bu kapsam çerçevesinde bu tez çalışması ile tünelin ön proje çalışması için jeoteknik bir tasarım yapılması amaçlanmıştır. İnceleme alanı İçel – Antalya Devlet yolu üzerinde, Taşucu Beldesinin 20 km batısında kalan, Boğsak Mahallesi yakınlarındadır. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli Silifke *i 31 b1* paftasının güney kısmına düşmektedir (Şekil 3.1).

Bölgenin doğu-güneydoğu kesimlerinde Akdeniz bulunmakta olup, orta ve güney kesimleri oldukça engebelidir. İnceleme alanındaki önemli yükseltiler; Orta ve kuzey kesimlerde, Timurini Tepe (211 m), Kalabak Tepe (414 m) ve Ütük Tepe (634 m), güney kesimlerdeki önemli yükseltiler ise; Teke Tepe şeklinde sıralanabilir (Şekil 3.2). Çalışma alanındaki önemli drenaj alanları; Zindan Deresi, Suuçtuğu Dere, Kapız Deresi, Kuyucak Dere ve Kızlarkapızı Dere olarak sıralanabilir (Şekil 3.3). Bu dereler çoğunlukla mevsimsel olarak akmakta ve yaz aylarında kuru dere şeklinde görülmektedir. Bunların yanında Boğsak Mahallesi içerisinde, deniz kenarında karst kaynağı da bulunmaktadır. İnceleme alanında Gölcük Mahallesi, Karabucak Mahallesi, Tokmar Mahallesi ve Boğsak Mahallesi olmak üzere 4 adet yerleşim yeri bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bunlar çoğunlukla yaz aylarında kullanılan mahalleler şeklinde olup, deniz kenarında bulunan Boğsak Mahallesi turistik bir yerleşim yeridir. İklim özellikleri denizlere olan uzaklığa göre yöresel farklılıklar sunmaktadır. Deniz kıyısında yazlar kurak ve sıcak, kışlar ılık ve yağışlı olmak üzere tipik Akdeniz iklimi özelliğindedir. Kıyıdan uzak iç kesimler ise karasal iklime geçiş özelliği sunmaktadır. Bu kesimlerde yazlar nispeten serin ve kurak kışlar soğuk ve yağışlı geçmektedir. Sahada küçük boylu, sık, tipik Akdeniz bitki örtüsü olan makiler seyrek olarak bulunmaktadır

Bu çalışma kapsamında 2002 ve 2003 yılları yaz aylarında 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritaları yapılmıştır. Sahadan ve sondaj karotlarından derlenen örnekler üzerinde bu tezin çalışma amacına ve kapsamına uygun olan çeşitli deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 3.2. İnceleme alanının üç boyutlu topografik görüntüsü

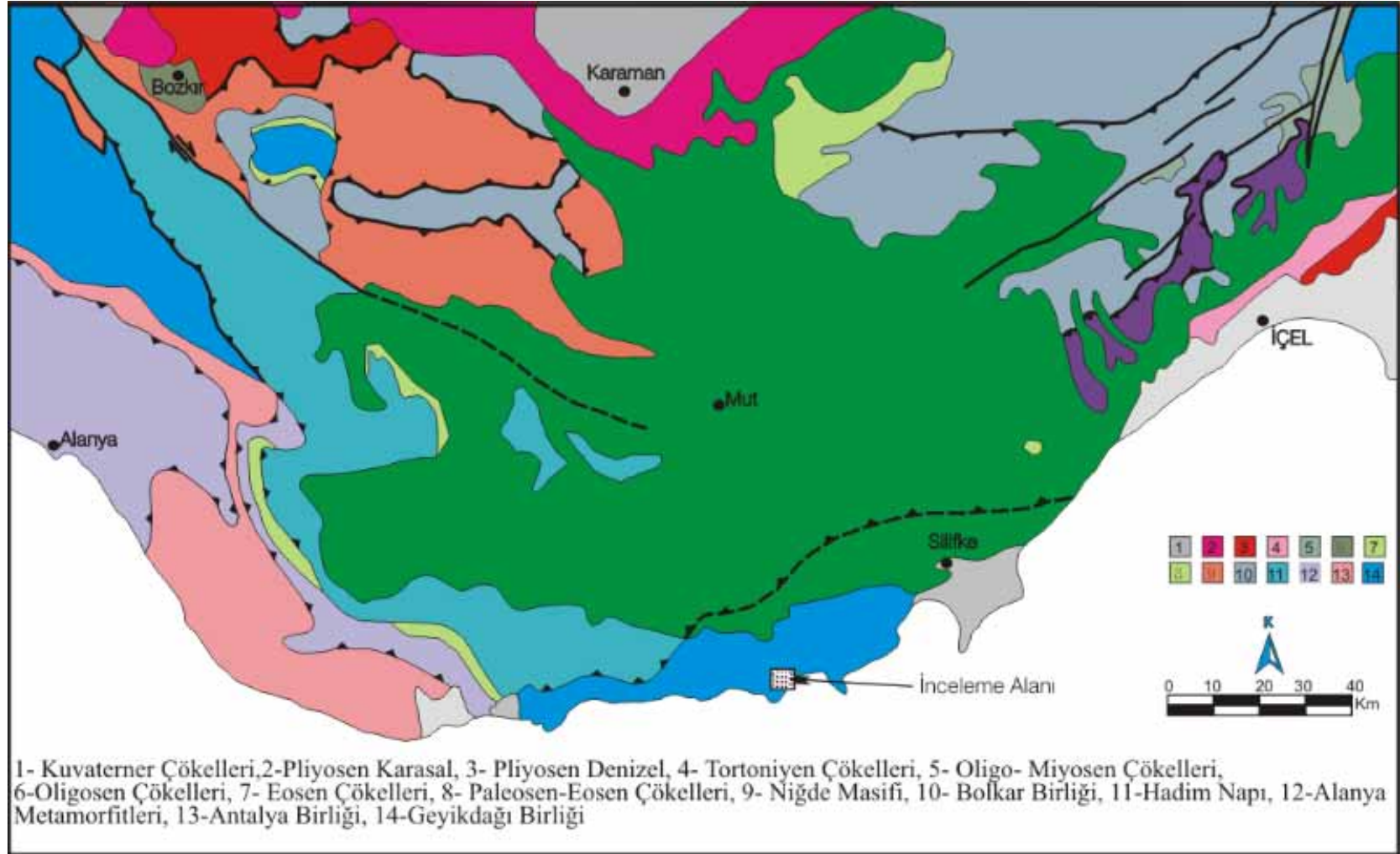
3.1. Genel Jeoloji

İnceleme alanı, Türkiye Tektonik Birlikler sınıflamasında Ketin (1966) tarafından Toridler olarak adlandırılan birliğin güneyinde yer almaktadır. Özgül (1976) tarafından Toroslarda, ayırtman stratigrafi özellikleri ve kapsadıkları kaya birimleri bakımından birbirinden farklı havza koşullarını yansıtan kaya birimi toplulukları “Birlik” olarak adlandırılmaktadır. Bu birlikler; Bolkardağ Birliği, Aladağ Birliği, Geyikdağı Birliği, Alanya Birliği, Bozkır Birliği ve Antalya Birliği olarak sıralanmaktadır (Şekil 3.3). Bu birliklerin genel özellikleri Çizelge 3.1’ de görülmektedir.

Çalışma alanı bu birliklerden Geyikdağı Birliği içerisinde yer almaktadır. Geyikdağı Birliği’nin ayırtman özellikleri Özgül (1976)’da aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir,

Geyikdağı Birliği;

- a) Kambriyen – Tersiyer aralığında oluşmuş kaya birimlerini kapsar. Kambriyen - Paleosen aralığı şelf türü karbonat ve kırıntılı kayalar, Alt Eosen-Lütesiyen fliş ve Üst Lütesiyen -Üst Eosen (?) olistostrom fasiyesinde kayalarla temsil edilmiştir.
- b) Epirojenik hareketler Kambriyen'den itibaren etkili olmuştur. Siluriyen, Permilen, yer yer Triyas, Liyas, Dogger, Malm, Maestrihtiyen ve Lütesiyen kayalarının tabanında uyumsuzluk görülür; yer yer boksit oluşuklarını (Seydişehir bölgesinde Mestrihtyen tabanında, Tufanbeyli bölgesinde Permilen tabanında) kapsar.
- c) Kuşağın kuzey kesiminde (Sultandağları, Seydişehir, Hadim dolayı) Üst Paleozoyik ve yer yer Triyas'ı kapsayan büyük bir stratigrafi boşluğu vardır; kuşağın güney kesiminde istiflenme kuzeye oranla daha eksiksizdir
- d) Birliğin kapsadığı kaya birimleri (Orta-Üst Kambriyen yaşta olanlar da dahil) metamorfizma göstermemektedir.
- e) Kuşağın çoğu kesimlerinde (Beydağları, Geyikdağı, Seydişehir, Hadim, Tufanbeyli dolayları) diğer birliklerin tabanında yer alır, onlara göre otokton konumludur; kuşağın bazı kesimlerinde (Sultandağı, Aladağ doğusu) ise alloktondur.



Şekil 3.3. Orta Toroslar'ın jeolojik haritası (Akay ve Uysal, 1988'den sadeleştirilerek)

Çizelge 3.1. Toroslar' daki birliklerin karşılaştırmalı özellikleri (Özgül,1976)

Birliğin Adı	Yaş Aralığı	Ortam ve/veya Kaya türü özellikleri	Stratigrafi ilişkileri	Metamorfizma Özellikleri	Yapısal Konumu
Bolkardağı	Devoniyen-Alt Tersiyer	-Sublitoral: Karbonat ve kırıntılı kayalar (Devoniyen-Üst Kretase) - Olistostrom: Kırıntılı kayalar ve bloklar (Mestrihtyen- Paleosen) -Çakıltaşı (Liyas)	-Çok sayıda uyumsuzluk (Permiyen yer yer Alt Triyas, Liyas, Üst Jura, Üst Kretase, Mestrihtyen tabanı)	Paleosen kayalarını da etkileyen Yeşilist fasiyesinde metamorfizma göstermekte	Menderes ve olasılıkla Kırşehir masifleri ile ilksel ilişkili ve onların örtüsünü oluşturmakta
Aladağ	Üst Devoniyen-Mestrihtyen	-Sublitoral: Karbonat ve kırıntılı kayalar - Olistostrom: Kırıntılı kayalar ve bloklar (Mestrihtyen- Paleosen) -Çakıltaşı (Üst Triyas) -Ayırtman fosilli klavuz tabakalar-	-Üst Triyas hariç bütün birimler uyumlu	Metamorfizma göstermemekte	Geyikdağı ve Bolkardağı birliklerinin üzerinde allokton konumlu
Geyikdağı	Kambriyen-Lütesiyen	-Sublitoral: Karbonat ve kırıntılı kayalar (Kambriyen-Paleosen) - Olistostrom: Kırıntılı kayalar ve bloklar (Lütesiyen) -Boksit (Mestrihtyen tabanı)	-Çok sayıda uyumsuzluk (SİLÜRIYEN, Permiyen, Liyas, yer yer Dogger, Mestrihtyen, Lütesiyen kayalarının tabanında)	Metamorfizma göstermemekte	Diğer birliklerin tabanında yeralmakta onlara göre otokton konumlu; ancak Sultandağlarında olasılıkla Bolkardağ birliklerinin üzerinde görülmekte
Alanya	Permiyen, Triyas, Alt Tersiyer	Sublitoral: Karbonat ve kırıntılı kayalar (Permiyen, Triyas, Alt Tersiyer) - Molas (Lütesiyen) -Boksit (Trijas ?)	-Permiyen ile Triyas arasında uyumluluk -Paleosen, Eosen tabanında uyumsuzluk -Jura-Kretase eksikliği	Permiyen Ve Triyas Kayaları Yeşilist fasiyesinde metamorfizma göstermekte	Antalya Birliğinin üzerinde allokton konumlu
Bozkur	Permiyen-Üst Kretase	-Gravite tektoniğinin etkili olduğu ortam -Denizaltı volkanizması (Üst Triyas) -Pelajik kireçtaşı ve radyolaritler (Üst Triyas, Jura , Kretase) -Ofiyolitler -Bolkardağı birliğine ait allokton kaya birimleri	Birbirinden bağımsız blok ve allokton kaya birimleri	Metamorfizma göstermemekte	Bolkardağı, Aladağ ve Geyikdağı birliklerinin olistostromları üzerinde yer almakta
Antalya	Kambriyen- Üst Kretase	Gravite tektoniğinin etkili olduğu ortam -Denizaltı volkanizması (Üst Triyas) -Pelajik kireçtaşı ve radyolaritler, bitkili kumtaşları (Üst Triyas-Senoniyen) -Ofiyolitler -Geyikdağı birliğine ait allokton kaya birimleri	Birbirinden bağımsız blok ve allokton kaya birimleri	Metamorfizma göstermemekte	Geyikdağı Birliğinin olistostromu üzerinde yer almakta

3.1.1. Stratigrafi

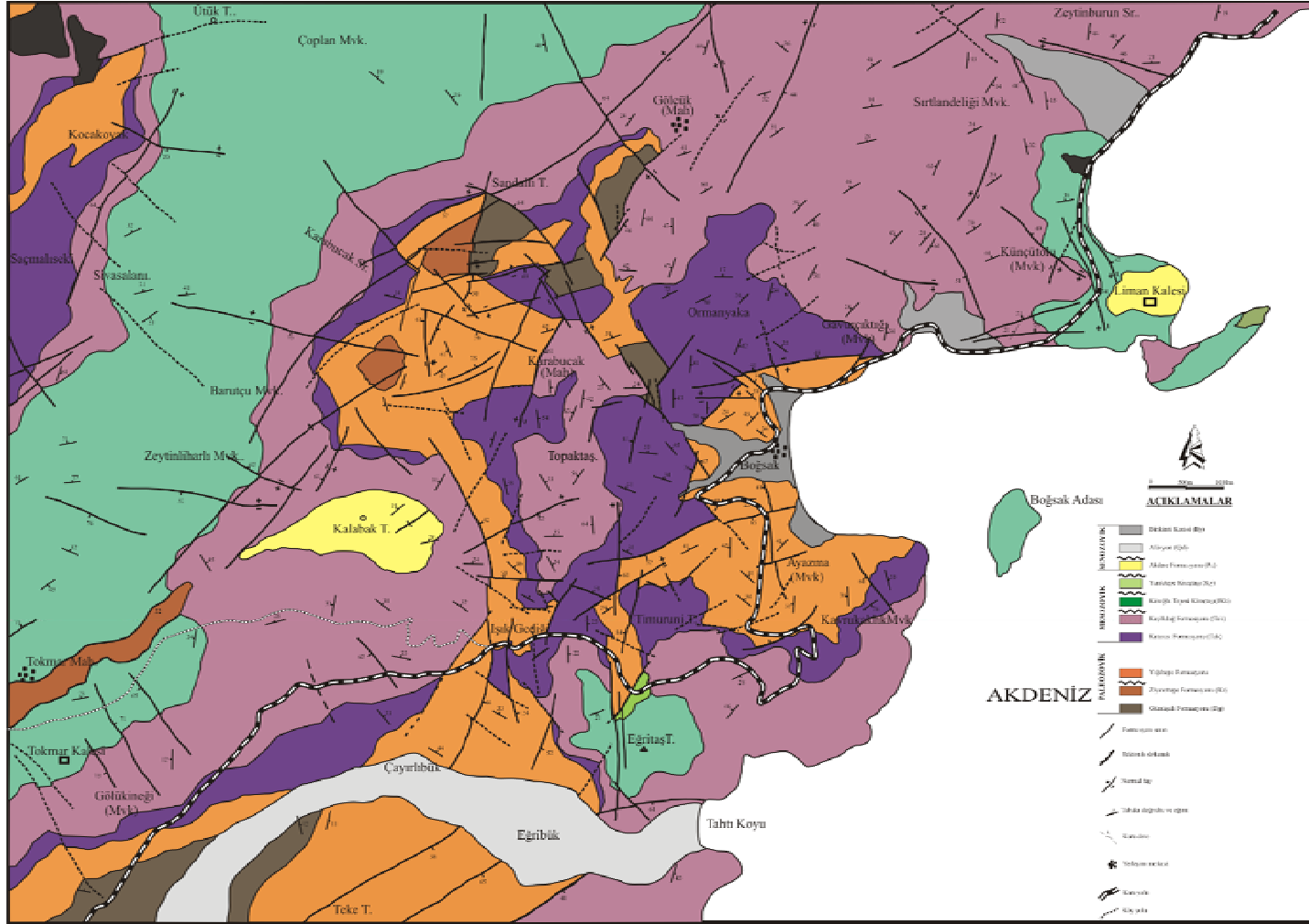
Toros dağ kuşağının uzun ekseni boyunca uzanan ve bu kuşağın merkezini oluşturan Kambriyen-Alt Tersiyer yaş aralığında çökelmiş kırıntılı ve karbonatlı kayaçların oluşturduğu görelî otokton istifler Geyikdağı Birliğı olarak tanımlanır (Özgül, 1976; Metin, 1984; Özgül ve Kozlu, 1993). İnceleme alanında Geyikdağı birliğine ait birimlerden Gümüşali Formasyonu (Üst Devoniyen), Ziyarettepe Formasyonu (Alt Karbonifer), Yığılktepe Formasyonu (Üst Permiyen), Katarası Formasyonu (Alt Triyas), Keçilidağ Formasyonu (Orta Triyas), Köroğlu Formasyonu (Jura-Alt Kretase), Yanıktepe Formasyonu (Senoniyen), Akdere Formasyonu (Paleosen) yüzeylemektedir (Şekil 3.4. ve Şekil 3.5).

3.1.1.1. Gümüşali Formasyonu (Dg)

Genel Tanım: İlk kez Demirtaşlı (1967) tarafından adlandırılmış olan bu formasyon gri, bej, yer yer kahverenkli, kalınlıkları yer yer değışen kalsit damarlı, demir oksit sıvımalı özellikler sunar. Gümüşali Formasyonu başlıca şeyl, kumtaşı, kireçtaşlarının arıalanmasından oluşmaktadır.

Dağılım ve Konum: Birim inceleme alanının orta kesimlerinde, Sandıklı Tepe, Gölcük Mahallesi, Ormanyaka ve Karabucak Mahallesi arasında kalan alanda ve Teke Tepe'nin batısında yaklaşık 1.5 km² lik bir alanda izlenir (Şekil 3.4). Gümüşali Formasyonu'nun taban ilişkisi inceleme alanında gözlenememiş olup, Ziyarettepe Formasyonu'nu tarafından uyumlu olarak üstlenmektedir (Şekil 3.5).

Kaya Türü: Gümüşali Formasyonu, Geyikdağı Otoktonu birimlerinden olan, ancak inceleme alanında yüzeylemeyen Şafaktepe Formasyonu'nun kalın tabakalı kireçtaşı - dolomitik kireçtaşı - dolomitleri üzerine kumtaşı - şeyl - kireçtaşı arıalanması şeklinde gelmektedir (Şekil 3.5). Bol mercan, brakiopod, gastropod, krinoid, bryozoa ve değışen oranda mil-kum boyu kuvars içeren kireçtaşları şeyl ve kumtaşı gibi kırıntılılarla yanal ve düşey geçişler gösteren büyüklü, küçüklü mercerler ve/veya ara katmanlar oluşturur (Özgül ve Kozlu, 2002).



Şekil 3.4. İnceleme alanının genel jeolojik haritası (Öztaş, 1989' dan değiştirilerek).

Üst Sistem		Sistem		Seri		Formasyon		Kalınlık (m)		Simgesi		Litoloji		Açıklamalar	
SENOZOYİK		Kuvaterner					Alüvyon	15		Qal			Serbest çakıl ve kum		
Paleojen							Akdere	40		Pa			Resifal karakterli kireçtaşı		
Paleosen				Üst			Yanıktepe Kireçtaşı	20		Ky			Üst seviyeleri killi plakete kireçtaşı		
MESOZOYİK				Alt			Köröğlü	100		Jkk			Orta seviyeleri fosilsiz, alt seviyeleri dolomit içeren kireçtaşı		
Jura				Üst											
Triyas				Orta			Keçilıdağ	90		Trok			Bol kalsit damarlı kireçtaşı		
Alt							Katarası	60		Trak			Orta ve alt seviyeleri dolomitleşmiş rekristalize kireçtaşı		
PALEOZOYİK															
Permian				Üst			Yığıltepe	150		Py			Üst seviyeleri kuvars kumtaşı içeren dolomitleşmiş rekristalize kireçtaşı		
Orta ve alt seviyeleri dolomitik, orta seviyeleri killi-siltli kireçtaşı ve kuvars kumtaşı içeren kireçtaşı															
Karbonifer				Alt			Ziyarettepe	80		Kz			Üst seviyeleri demir çimentolu kuvarsit arkoz, orta ve alt seviyeleri siltli fosilli kireçtaşı		
Devoniyen				Üst			Gümüşali	70		Dg			Üst seviyeleri dolomit, orta ve alt seviyeleri rekristalize kumlu kireçtaşı		

Şekil 3.5. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Özgül ve Kozlu, 2002'den değiştirilerek)

Kumtaşları yer yer kil matriksli, yer yer de karbonat ve silis çimentolu olup kuvars, kuvarsit, çok az muskovit, biyotit, feldspat ve kayaç parçaları içerir; mikroskobik incelemelerde kuvarsvakeden kuvarsarenite değin değışen bileşim ve doku gözlenmektedir. Laminalanma ve çapraz katmanlanma ile iyi boylanma belirlenmiştir.

Koyu gri - yeşil renkli olan şeyller laminalı - çok ince tabakalı olarak kumtaşları ile ardalanmalıdır. Bu ardalanmaya yer yerde kireçtaşı bantları katılmaktadır. Kireçtaşları ise koyu gri - bej renkli olup, formasyon içinde çok ince - ince tabakalı (3 -10 cm) olarak görülür. Gümüşali Formasyonu'na ait kireçtaşlarının petrografik incelemelerinde mikrit, intrabiyomikrit, biyomikrit belirlenmiş olup, bu kireçtaşı bantları oldukça bol mercanlı ve brachiopodludur (EK-1).

Kalınlık: İnceleme alanında tabanı gözlenmeyen birimin yaklaşık görünür kalınlığı 70 m dir (Şekil 3.5).

Fosil İçeriği Ve Yaş: Makrofosilce çok zengin olan Gümüşali Formasyonu'nun kuzeyde Tufanbeyli yöresindeki yüzeylemelerinde, Üst Devoniyen'i temsil eden *Dysphyllum* sp., *Hexagonaria* sp., *Alveolites* sp. *Thamnopora reticulata*, *Zaphrentis* sp., gibi mercan, *Lepteania* sp., *Cyrtospirifer* cf. *brodi.*, *Spirifer striatus* gibi brakyopod türleri saptanmıştır (Özgül ve diğ., 1973; Otlu, 1992). İnceleme alanında birime yaş verecek karakteristik fosil bulunamaması sebebi ile tavan ve taban ilişkileri kullanılarak yaş verilmiştir.

Ortamsal Yorum: Gümüşali Formasyonu karadan getirimin yüksek ve organik etkinliğin yoğun olduğu yüksek enerjili, sığ şelf koşullarını yansıtır (Özgül ve Kozlu, 2002).

Kumtaşı-şeyl-kireçtaşı ardalanması Üst Devoniyen boyunca deniz düzeyi değışimleri olduğunu belirtmekle birlikte, kireçtaşı fasiyesleri (biyomikrit, mikrit, intrabiyomikrit) karbonat çökelim ortamının resif önü - resif gerisi ile set gerisi sıklıkları olduğunu gösterir.

3.1.1.2. Ziyarettepe Formasyonu (Kz)

Genel Tanım: Ziyarettepe Formasyonu (Demirtaşlı, 1967) kumlu kireçtaşı ve kumtaşı arakatmanlı, koyu renkli şeyller ile başlar ve üzerine kuvarsarenit ve mikritik kireçtaşları gelir.

Sarımsı - kahverenkli kumtaşı, koyu gri - yeşil şeyl ardalanması ve üst düzeyleri kumlu kireçtaşı ve beyaz - bej renkli kireçtaşlarından oluşan ve Demirtaşlı (1967) tarafından "Ziyarettepesi Kalkeri" olarak adlanan formasyon, Özgül ve diğ. (1973) tarafından "Ziyarettepe Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanındaki aynı yaşlı birimin yalnızca kireçtaşlarından ibaret olmaması ve taban seviyelerinin kumtaşı - şeyl ardalanmasından oluşması nedeniyle bu formasyon, Özgül ve diğ. (1973) nin adladıkları gibi "Ziyarettepe Formasyonu" olarak kullanılmıştır.

Dağılım ve Konum: Birim inceleme alanının orta kesimlerinde, Karabucak Sırtının doğu ve güneyi ile Tokmar Mahallesi güneyinde görülür (Şekil 3.4). Yayılım alanı yaklaşık 1 km² dir. Ziyarettepe Formasyonu Gümüşali Formasyonunu uyumlu olarak üstler. Yığılıtepe Formasyonu tarafından uyumsuzlukla üstlenir (Şekil 3.5).

Kaya Türü: Ziyarettepe Formasyonu, Gümüşali Formasyonuna ait kumtaşı - şeyl - kireçtaşı ardalanması üzerinde kumtaşı - şeyl ardalanması ile başlamakta ve üst seviyelerinde ise, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve beyaz - bej renkli kireçtaşları ile temsil olmaktadır (Şekil 3.5).

Birim gri-koyu gri renkli kumlu kireçtaşı ve kumtaşı ara katmanlı, koyu renkli şeyl düzeyi ile başlar. Kumtaşları; sarımsı - kahverenkli, orta - kalın tabakalı (40 - 70 cm) ve iyi çimentolanmıştır. Şeyllerle ardalanmalı olup, orta iyi yuvarlaklaşmış, kuvars, muskovit ve feldispat minerallerinden oluşmuştur ve subarkoz olarak adlanmıştır. Birimde değişen kalınlıklarda ve yönelimlerde bol kalsit dolgulu çatlaklar görülür. Yaklaşık 100 metre kalınlık gösteren bol organik maddeli ve makrofosilli düzeyin üzerinde 25-30 m kalınlıkta kuvarsarenit, daha üstte ise 150 m kalınlıkta koyu gri, stilolitli mikrit ve biyomikritlerin egemen olduğu kireçtaşı düzeyleri yer alır (Foto 3.1, EK-1).

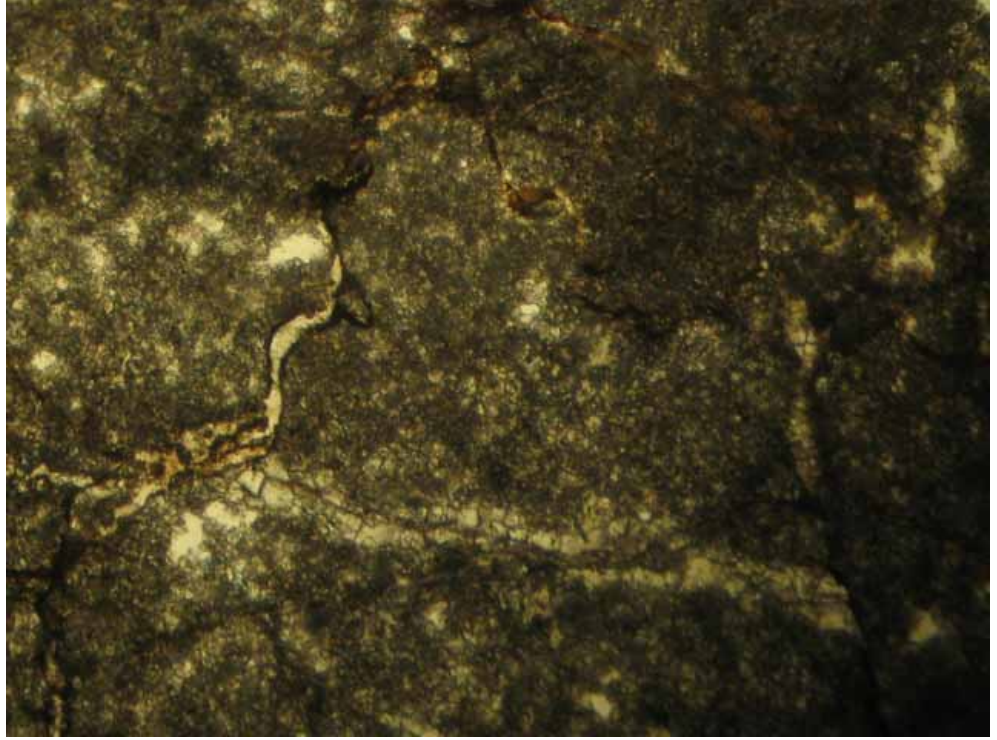


Foto 3.1. Ziyarettepe Formasyonu' na ait bol organik maddeli, stilolitli biyomikrit (Tek nikol, X10)

Formasyonun alt düzeyini oluşturan koyu gri yeşilimsi renkli şeyller, iyi korunmuş brakyopod ve trilobit kapsar. İnce - orta tabakalı ve yer yerde laminalıdır.

Gümüşali formasyonu ile Ziyarettepe formasyonunun dokanakları, benzer litolojik ve fasiyes özelliklerinin olması nedeniyle oldukça güç ayrılabilir. Ancak Ziyarettepe Formasyonuna ait kumtaşı seviyelerinin Pelecypodlu olması ile ayırım yapılabilir. Ayrıca, Ziyarettepe Formasyonu makro fauna karakteri de Gümüşali Formasyonununa göre oldukça farklıdır.

Kalınlık: İnceleme alanında birimin yaklaşık kalınlığı 80 m dir (Şekil 3.5).

Fosil İeriği ve Yaş: Formasyonun alt düzeyini oluşturan koyu renkli şeyller brakyopod ve trilobit içerir. Metin (1982) tarafından "Tuzludere Formasyonu" olarak ayrı bir formasyon adıyla adlandırılmış olan bu düzeyde, Turnesiye'n'i temsil eden

Tomiproductus sp. türü brakyopodların bol olduğu belirtilmiştir. Formasyonun üst kesimini oluşturan şeyl arakatlı, krinoidli, biyoklastlı koyu gri renkli karbonat istifi içinde Endotyranopsis crassa, E. sphaerica, Endothyra spp., Erlandia minor, Tetrataxis sp., Archeadiscus sp., Rectodiscus sp., Eostaffella sp. Eotuberitina sp., Calcisphaera sp. saptanmıştır. Bu fosil içeriği Viziyen'i temsil etmektedir. Ziyarettepe Formasyonu'nda Karbonifer'in üst katlarını gösteren fosil saptanmamıştır (Özgül ve Kozlu, 2002).

Ziyarettepe Formasyonu, makrofaunaca zengin olmasına karşın yapılan incelemelerde mikrofosil bulunamamıştır. Bu formasyonda gözlenen fosiller: Lithosrotion sp., Syringopora sp., Aulopora sp., Spirifer tornacensis (Dekoninck), Athyris lamellosa (Leveille), Chonetes sp. dir.

Ortamsal Yorum: Gümüşali Formasyonunun çökeldiği Üst Devoniyen' den Ziyarettepe Formasyonunun çökeldiği Alt Karbonifer sonlarına kadar ortamsal koşullarda büyük bir benzerlik gözlenir. Ancak, Alt Karbonifer'in sonlarında ortam daha da sığlaşmış ve karbonat çökeli başlanmıştır.

Buna göre, Ziyarettepe Formasyonu, karadan getirimin yoğun olduğu, sığ - sıcak sulu sublitoral ortamdaki çökeli başlanmış, Alt Karbonifer'in sonlarına doğru, resifal koşullar gelişmiş ve özellikle çatı oluşturan mercanlar (Lithosrotion sp., Syringopora sp., Aulopora sp. gibi) set resiflerini oluşturmuşlardır. Karbonatların petrografik tanımlamalarında belirlenen, biyointrasparit, biyomikrit de resif önü ve resif gerisi sığıklarında gelişen çökelin ürünleridir.

3.1.1.3. Yığıltepe Formasyonu (Py)

Genel Tanım: Birim Tufanbeyli yöresinde ilk kez Demirtaşlı (1967) tarafından adlandırılmış olup, başlıca platform tipi neritik karbonatlardan oluşur. Gri-siyah, kahve-bej renkli kireçtaşlarında kalsit dolgulu çatlaklar ile makroskobik ölçekte stilolitler de gözlenmektedir.

Dağılım ve Konum: Formasyon inceleme alanında, Boğsak Mahallesi kuzeyi, Ayazma Mevkii civarı, Karabucak Mahallesi batısı, Işıkgediği Mevkii, Çayırılıbük

kuzeyi, Kocakoyak, Teke Tepe civarında görülmektedir (Şekil 3.4). Birim inceleme alanında yaklaşık 6 km² lik bir alanda yüzlek vermektedir. Yığılıtepe Formasyonu inceleme alanında, genellikle Alt Karbonifer yaşta Ziyarettepe Formasyonu'nun kireçtaşı katmanlarını 3-5 m kalınlıktaki boksitli kuvarsit düzeyi aracılığıyla, yer yer de Üst Devoniyen yaşlı Gümüşali Formasyonu'nu uyumsuz olarak; Katarası Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir (Şekil 3.5).

Kaya Türü: Yığılıtepe Formasyonu, koyu gri - siyah, yer yer kahve-bej renkli, orta kalın katmanlı, yer yer küçük ölçekli kıvrımların gözlendiği oldukça bol *Mizzia sp.* li kireçtaşı özelliğindedir (Şekil 3.5). Saha incelemelerinde ileri derecede karstlaşma görülmektedir (Foto 3.2).

Büyük bir bölümü ile mikrit-biyomikrit türü neritik kireçtaşından oluşan formasyon (Foto 3.3), değişik düzeylerinde koyu renkli şeyl arakatlıdır.

Birim en altta 3-5 m kalınlıkta kuvarsit düzeyi ile başlar. Kızıl renkli, demirli ve boksitli olan bu kuvarsit düzeyi, Yığılıtepe Formasyonu'nun transgressif taban kırıntılılarını oluşturur. Kireçtaşı istifinde bol foraminifer, alg, yer yer brakiyopod ve gastropod gözlenmiş olup, genellikle biyomikrit özelliği gösterirler. Pelletler mikritik matrikste ve yuvarlağımsı intraklastlarda sparit ile bağlanmış olup, stilolitler yer yer organik madde dolguludur (EK-1) .

Çeşitli boyutlarda gözlenen çatlaklar düzensiz kalınlık ve yönelim sunmakta olup kalsit ile doldurulmuştur. Çeşitli düzeylerinde gri-bej renkli dolomit arakatlıları da olan Yığılıtepe Formasyonu, bol alg ve foraminifer kapsamından dolayı sahada kolaylıkla tanınır.

Kalınlık: İnceleme alanında birimin kalınlığı yaklaşık 150 m dir (Şekil 3.5).

Fosil İçeriği ve Yaş: Yığılıtepe Formasyonu içinde Özgül ve diğ. (1973) tarafından Alt, Orta ve Üst Permian'i temsil eden foraminifer ve alglerin bulunduğu belirtilmiştir. Aynı şekilde, Kozan-Feke civarında yapılan incelemelerde formasyonun bütünüyle Üst Permian yaşta kireçtaşlarından oluştuğu saptanmıştır (Özgül ve Kozlu, 2002). Bu çalışmada formasyona yaş verebilecek karakteristik bir fosil bulunamamıştır. Önceki çalışmalarda istifin en alt katmanlarında *Hemigordius*

sp., Geinitzina spp; Agathammina sp., Staffella ? sp., Pachypholia sp. Gymnocodium spp. ve Mizzia sp. gibi Üst Permiyen'i temsil eden foraminifer ve alg saptanmıştır. İstifin en üst düzeylerinin Neoschwagerina sp., Hemigordius sp, Eotuberitina spp. Geinitzina spp., Lunucamina spp., Pachyploia sp. Pseudovermiportella spp., Dagmarita sp. Mizzia sp. Permocalculus spp. gibi Üst Murgabiyen-Culfiyen aralığını gösteren foraminifer ve algleri kapsadığı belirtilmiştir (Özgül ve Kozlu, 2002; Otlu, 1992).

Ortamsal Yorum: Yığıltepe Formasyonunu oluşturan biyomikrit fasiyesi ile yoğun alg (Yeşil alg-Mizzia sp.) varlığı birimin, resif gerisi sığıklarında gelişen lagüner ortamda çökeldiğinin işaretidir. Formasyon maksimum deniz derinliği 200 m ye kadar olan, duraylı-sığ-sıcak sulu ortamın ürünüdür. Set resifinin gerisinde, özellikle yeşil alglerin oluşturduğu yama resifleri gelişmiştir. Seyrek gözlenen intraklastlar resif gerisi döküntüler olarak tanımlanabilir (Özgül ve Kozlu, 2002).



Foto 3.2. Yığıltepe Formasyonunda gözlenen yüzeysel karstlaşmalar (Zindan Deresi Civarı)

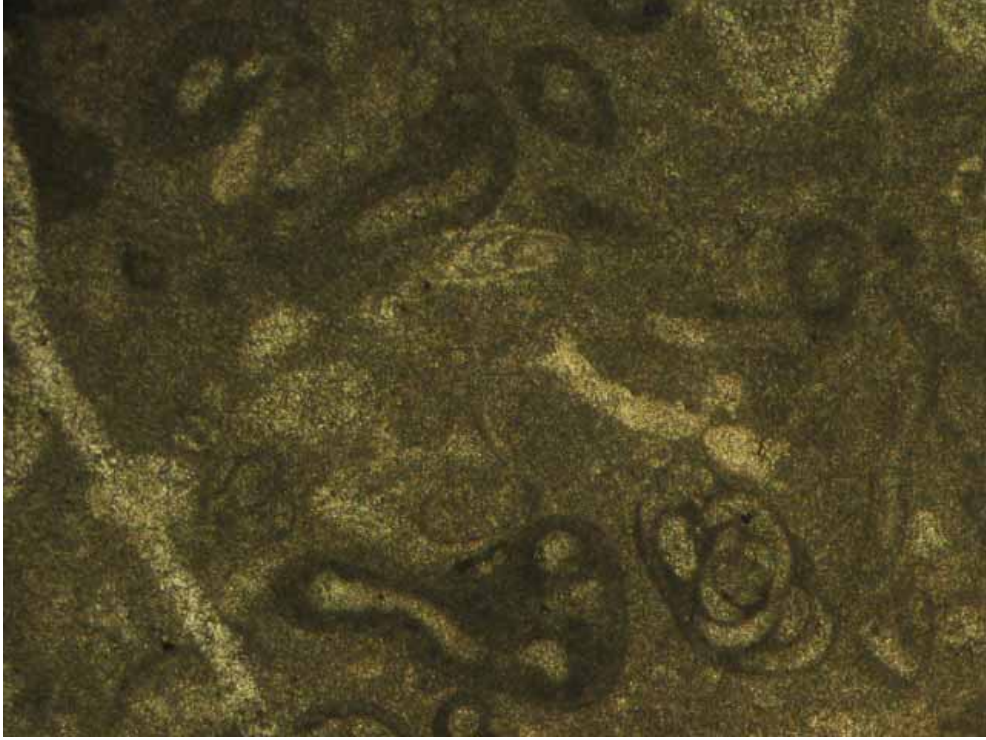


Foto 3.3. Yığıltepe Formasyonundaki biyomikritler (Tek nikol, X4)

3.1.1.4. Katarası Formasyonu (Trak)

Genel Tanım: Katarası Formasyonu ilk kez Demirtaşlı (1967) tarafından Tufanbeyli yöresinde adlandırılmıştır. Geyikdağı Otoktonu'nda Mesozoyik yaşlı birimler Katarası Formasyonu ile başlamaktadır. Birim başlıca şeyl arakatlı kireçtaşı, killi kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşur.

Dağılım ve Konum: Birim inceleme alanında, orta kesimlerde, Ormanyaka civarı, Topaktaş'ın doğu ve batısı, Timurini Tepe (Foto 3.4), Kavrukalık mevki, Işıklar Gediği, Gölükineği mevkiinin güneyinde, kuzey batıda ise, Saçmalışeki civarında olmak üzere toplam 5 km² lik bir alanda görülür (Şekil 3.4). Katarası Formasyonu'nun gri ve lamine yapı gösteren stromatolitik kireçtaşı katmanları, Yığıltepe Formasyonu'nun koyu renkli ve bol algli kireçtaşı katmanlarını doğrudan ve uyumlu olarak üstler; Keçilidağ Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir (Şekil 3.5).



Foto 3.4. Timurini Tepe’de gözlenen Katarası Formasyonu dolomitleri (K. den G.’ e bakış)

Kaya Türü: Katarası Formasyonu, Yığıltepe Formasyonu koyu renkli kireçtaşı katmanlarının üzerine gelen, yaklaşık 10-15 m kalınlıkta sarımsı - kırmızı - gri renk tonlarında alacalı renkli, ince orta katmanlı, stromatolitik kireçtaşı düzeyi ile başlar ve onun üstünde yaklaşık 10 m kalınlıkta oolitle kireçtaşı düzeyi yer alır (Şekil 3.5) (Foto 3.5).

Daha üstte şeyl, killi kireçtaşı, intraformasyonel çakıllı kireçtaşı ve stromatolitik kireçtaşı ardışığı, en üstte kireçtaşı ve kumtaşı arakatkılı boz, pembe morumsu şeyller yer alır.

Kireçtaşlarının petrografik incelemesi sonucunda mikrit, intrasparit ve dolomitik fasiyeslere rastlanmıştır (EK-1). Mikritler özellikle bu birimde egemen fasiyes durumundadır (Foto 3.6). İntrasparitler; kumlu pelsparitlerde, demiroksit (FeO) gözlenmekte ve fasiyeste gözlenen klastlar yer yer çakıl boyutuna ulaşmaktadır (Foto 3.7). Dolomit; yer yer zonlu dolomitler şeklinde görülmektedir (Foto 3.8).

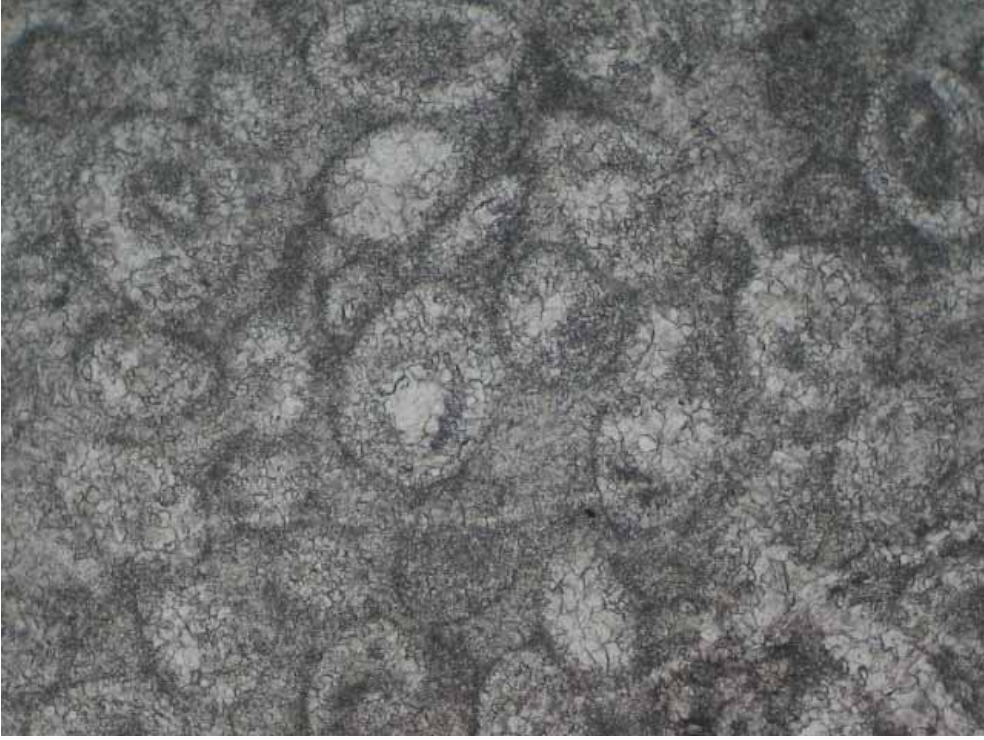


Foto 3.5. Katarası Formasyonu'nda belirlenen oolitli kireçtaşı seviyeleri (Tek nikol, X4)

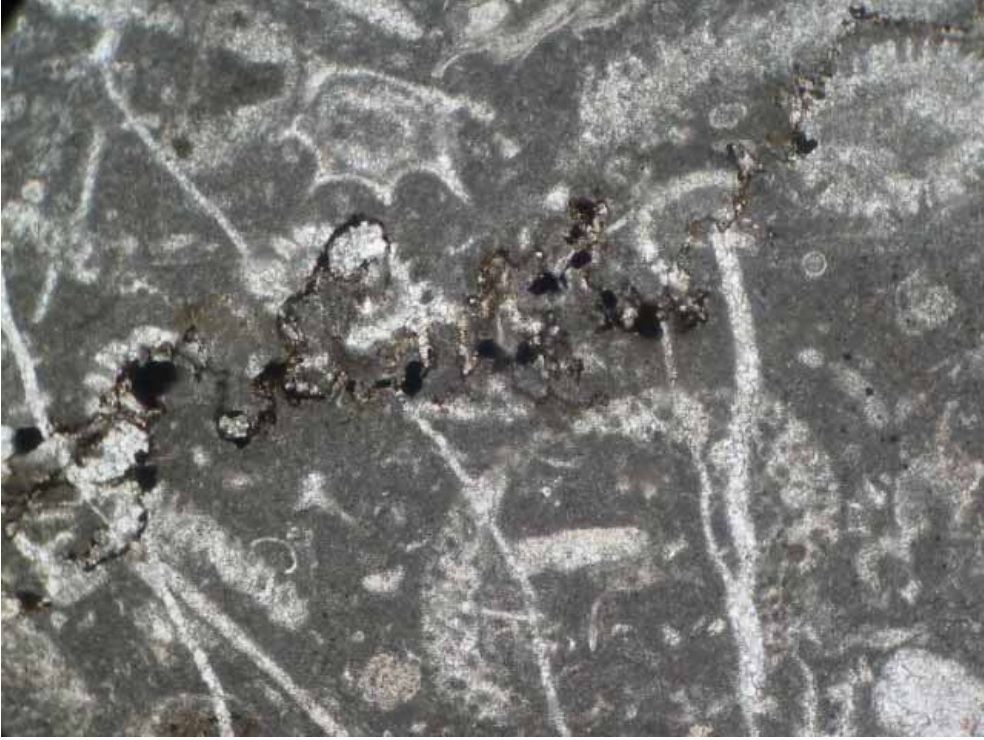


Foto 3.6. Katarası Formasyonu'nda gözlenen stilolitlerdeki organik madde dolguları içeren biyomikritler (Tek nikol, X10)

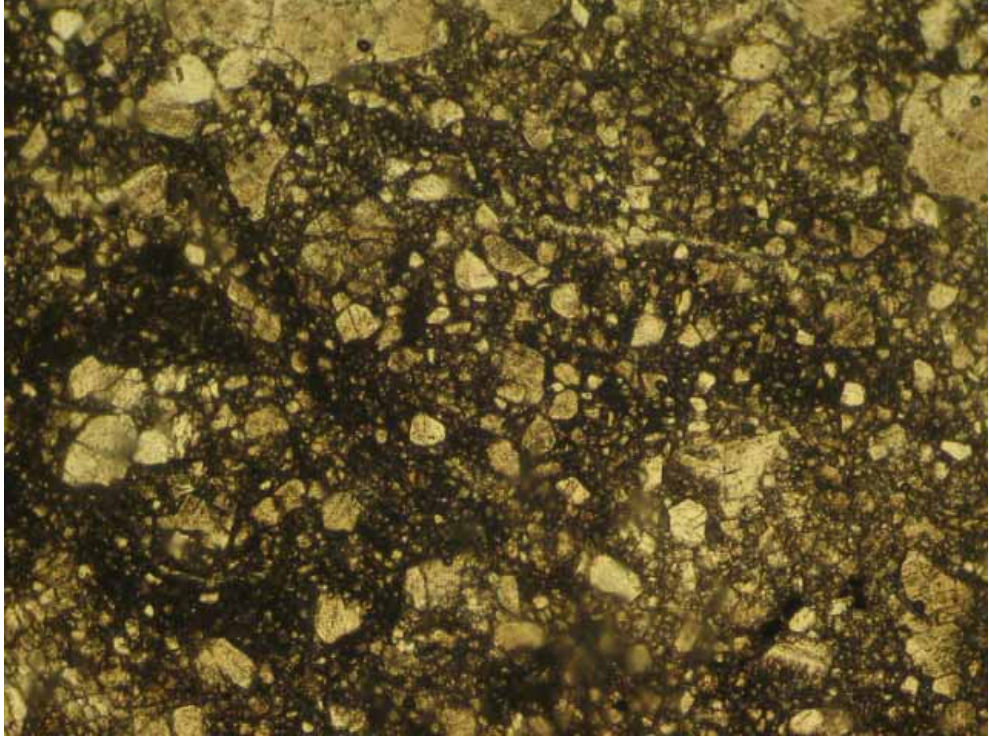


Foto 3.7. Katarası Formasyonu TSK-4 sondajında belirlenen intraklast seviyesi (Tek nikol, X10)



Foto 3.8. TSK-4 sondajında Katarası Formasyonu'nda belirlenen zonlu dolomitler (Tek nikol, X10)

Kalınlık: Katarası Formasyonu'nun inceleme alanındaki yüzeylemeleri yaklaşık 60 m kalınlıktadır (Şekil 3.5).

Fosil İçeriği ve Yaş: Birimin alt düzeylerinde *Uncites fassensis* ve *Claraiacari* (Emrich) gibi Alt Triyas (İskitiyen) lamelli branşlarının bol bulunduğu belirtilmiştir (Özgül ve Kozlu, 2002).

Çalışma alanında incelenen Katarası Formasyonuna yaş verebilecek ve tanınabilecek fosil bulunamamıştır. Ancak, Varol ve diğ. (1988) bu çalışma sahasının dışında kalan geniş bir alanda çok sayıdaki ölçülü stratigrafik kesit ile Katarası Formasyonunda; *Rectocarnuspira kalhori*, *Meandospira pusilla*, *Spirorbis phlyctaena* ile mavi - yeşil alg'ler saptamışlardır. Bu fosillere göre formasyonun yaşı Alt Triyas'tır.

Ortamsal Yorum: Katarası Formasyonunu oluşturan fasiyeler incelendiğinde genel olarak, sığ denizel ve dalga tabanı altında - sublitoral çökelinin hakim olduğu gözlenir. Özellikle seyrek foraminifer içeren mikritik kireçtaşları, Alt Triyas'ta canlı yaşamını kısıtlayan, sınırlı-su dolaşımıyla sığ-durgun, zaman zaman da beslenimle acılaşabilen çökel ortamı şartlarını yansıtır (Varol ve diğ., 1986).

Koyu renkli (kırmızı) çamurtaşlarındaki FeO gelimi, mikrosparitleşme ve dolomit seviyeleri ise ortamın hem tuzluluğun hem de oksitleyici ve indirgeyici şartların kısa zaman aralıkları ile değiştiğini gösterir. Bu şekilde deniz suyunda tuzluluk ve havalandırma koşullarının düzensiz değişimleri canlı yaşamını önemli ölçüde kısıtlamıştır. Seyrek foraminiferli mikritler bunun sonucu gelişmiş olmalıdır.

3.1.1.5. Keçilidağ Formasyonu (Trok)

Genel Tanım: Kumtaşı arakatlı şeyl, bentik foraminifer ve algli kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan birim ilk kez Özgül ve Kozlu (2002) tarafından Saimbeyli ilçesi civarında adlandırılmıştır.

Dağılım ve Konum: Formasyon inceleme alanının kuzey doğudan güney batıya doğru geniş yüzlekler verir. Kuzey doğudan itibaren; Sırtlandere Mevkii, Liman Kalesi güneyi, Gölcük Mahallesi, Sandallı Tepe, Karabucak Mahallesi, Topaktaş, Kalabak Tepe, Gölük inegi Mevkii ile kıyı kesimlerde; Tahtı koyunun kuzeyi ve güneyinde yüzeyler (Foto 3.9). Kuzey batıda ise Saçmalı Seki ile Sivasalanı arasında kalan koridor boyunca görülür (Şekil 3.4). Birimin inceleme alanındaki yayılımı yaklaşık 21 km² dir.

Keçilidağ Formasyonu Katarası Formasyonu'nu üstler, Köroğlu Formasyonu'nun kireçtaşı katmanları tarafından üstlenir (Şekil 3.5).

Kaya Türü: Genellikle neritik karbonatlardan oluşan ve üst düzeyinde şeyl içeren bu birim Katarası Formasyonu'nu dolomit katmanlarıyla üzerler. Altta dolomit, üstte neritik kireçtaşı ve en üstte şeyl olmak üzere başlıca üç düzeyden oluşur (Şekil 3.5).

Dolomit düzeyi beyaz-gri-bej renkli, iri kristalli, kalın katmanlı ve bol çatlaklı olup, dolosparitik özellikler sunar. Bunlarla birlikte zonlu dolomitler de görülmektedir (Foto 3.10).

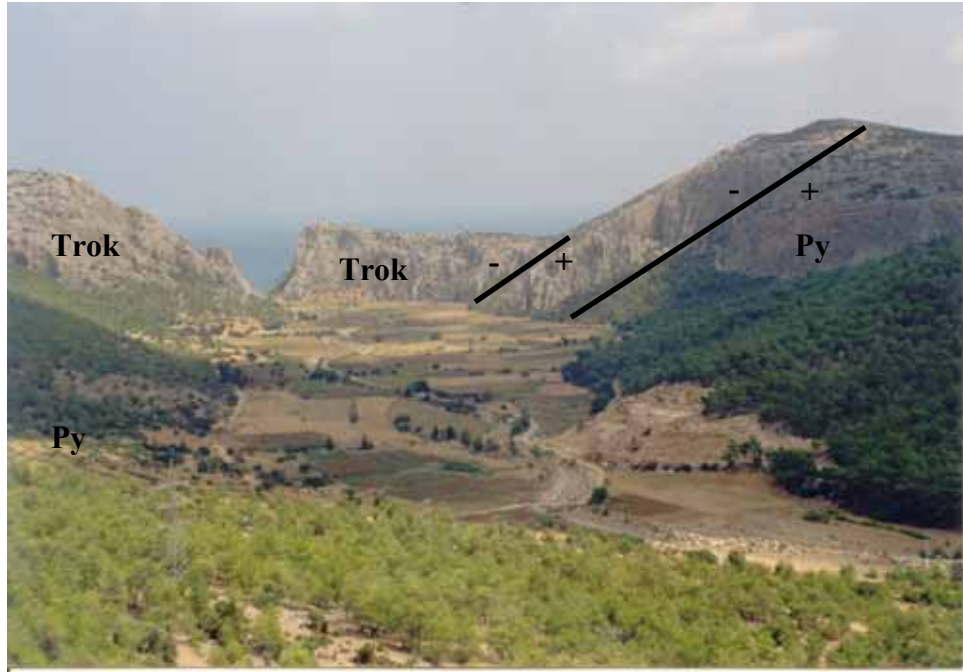


Foto 3.9. Keçilidağ Formasyonu'nun Tahtı Koyu civarındaki görünümü (Tokmar Mahallesi'nden doğuya bakış)

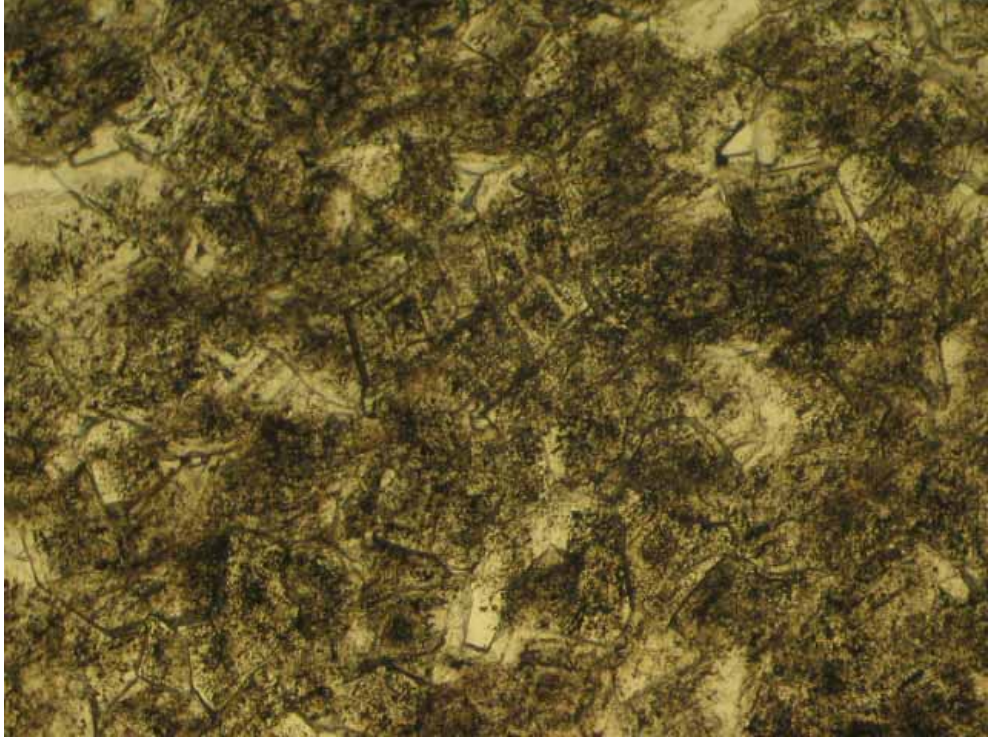


Foto3.10. Keçilidağ Formasyonu'nda zonlu doku gösteren dolomitler (Tek nikol, X10)

Dolomitlerin üzerinde geçişli olarak yer alan kireçtaşı düzeyi, gri renkli, orta katmanlı, bol mercan, bryozoalı, krinoidli ve bol çatlaklıdır. Mikroskopik incelemelerinde oolit, yuvarlağımsı mikritik intraklastlar ve didolomitleşme görülür (EK-1).

Karbonat istifi, başlıca, ince kumtaşı arakatkılı şeylden oluşan kırıntılı bir istif tarafından üstlenir. Yeşilimsi koyu gri, ince katmanlı, yapraklanmalı, seyrek kumtaşı ve en üst düzeyinde ince kireçtaşı arakatkılıdır.

Kalınlık: Birimin toplam kalınlığı yaklaşık 90 metredir (Şekil 3.5).

Fosil İçeriği ve Yaş: Tufanbeyli'nin KKD'sunda aynı stratigrafik konumda yüzeyleyen dolomitlerin dolomitik kireçtaşı arakatkılarında Varol ve diğ. (1986) tarafından Orta-Üst Triyas'ı belirten foraminifer ve alg topluluğu saptanmıştır. Dolomit düzeyinin üzerinde yer alan 20 m kalınlıktaki mikrit düzeyinde Pliammina

densa, Pliamminella grandis, Aulotortus sp.(eotriasica), Turriplomina mesotriasica, Duostominidae, Nodosaridae saptanmıştır. Bu düzeyin üstünde yer alan ve bol makro fosil kavkısı kapsayan kireçtaşlarında ise Endoteba sp., Duostominidae ve Involutinid foraminifer saptanmıştır. Bu fosil içeriğine göre mikritik düzey Üst Anisiyen'i, diğeri ise Orta-Üst Triyas aralığını işaret etmektedir.

Ortamsal Yorum: Keçilidağ Formasyonu'na ait dolomitler, Katarası Formasyonu çökel şartlarına uygun olarak gelişmiş, tuzluluk, oksidasyon ve redüksiyon koşullarının sık sık değiştiğini göstermektedir. Mikritik kireçtaşları ve şeyller de sığ denizel yer yer karasal beslenimin arttığı koşulları ifade eder.

3.1.1.6. Köroğlu Formasyonu (JKk)

Genel Tanım: Demirtaşlı, (1967) tarafından adlandırılan birim gri-bej renkli platform tipi sığ deniz karbonatlardan oluşmaktadır.

İnceleme alanında bu birim, beyaz - bej renkli, orta-kalın katmanlı masif kireçtaşı - dolomitik kireçtaşı - dolomit litolojisinde olup, bol kalsit dolgulu çatlaklar içerir.

Dağılım ve Konum: Birim Kuzeyde Çoplan Mevkiinden güneyde Tokmar Kalesine kadar olan kesimde ve doğuda Liman Kalesi civarında, Boğsak Adasında ve Eğritaş Tepe'de olmak üzere yaklaşık 14 km² lik bir alanda gözlenmektedir (Şekil 3.4). Köroğlu Formasyonu, Yığılítepe, Katarası ve Gedikli formasyonlarını, genellikle alt düzeyinde yer alan dolomit katmanları aracılığıyla doğrudan açısız uyumsuzlukla üstler (Şekil 3.5).

Formasyon, Yanıktepe Kireçtaşı tarafından olasılıkla açısız uyumsuzlukla üstlenmekle birlikte bu iki formasyon arasındaki dokanak ilişkisi net değildir.

Kaya Türü: Formasyon, genellikle 5-10 m kalınlıkta, gri-bej renkli, orta-kalın katmanlı ve iri kristalli dolomit düzeyi ile başlar; daha üstte birimin büyük bir bölümünü oluşturan bol algli ve bentonik foraminiferli mikrit ve biyomikrit türü kireçtaşı istifli yer alır (Şekil 3.5). Fosiller genellikle tektonizma etkisiyle parçalanmış, kırılmıştır. Bazı fosil kavkuları sparit ile doldurulmuştur. Bazı

düzeylede zenginleşmiş mikritik intraklastlar bulunmaktadıdır. Ayrıca bol miktarda pellet görülür. Kireçtaşı istifi değışik kalınlık ve aralıklarla dolomit ve stromatolitli kireçtaşı ara düzeylelerini kapsar.

Formasyonda tipik midye kabuğu şekilli kırılma yüzeyleleri ve ikincil sparikalsit ile doldurulmuş kırık ve çatlaklar bulunur. Yapılan petrografik incelemelerde, Köroğlu Formasyonunun tabanındaki dolomitik kireçtaşlarının mikrit ve biyomikrit oluşumunun dolomitleşmesi ile geliştiği belirlenmiştir. Dolomit mineralleri ile birlikte foraminifer, gastropod ve alger yer yer korunmuş olarak bulunmaktadıdır. Kireçtaşlarında petrografik incelemeler sonucunda bazı özellikler belirlenmiştir. Biyomikritik özellikteki kireçtaşlarında allokemler, genel olarak foraminifer ve gastropoddur. Bağlayıcının mikrit olduğu bu litofasiyeste gastropodların etrafı daha küçük boyutlu allokemlerce (foraminifer - intraklast) rotasyonel olarak sarılmıştır (Foto 3.11). Biyoinsparitlerde oldukça iyi yuvarlaklaşmış, kötü boylanmış intraklastlar ile birlikte biyoklastlar (foraminifera, echinodermata, ech. spikülü) ve pelloidler sparikalsit ile bağlanmıştır. Oosparitlerde ise oldukça seyrek, düzgün zarflanmalı oolitler bulunmakta olup, bunlar sparit ile bağlanmıştır (EK-1).

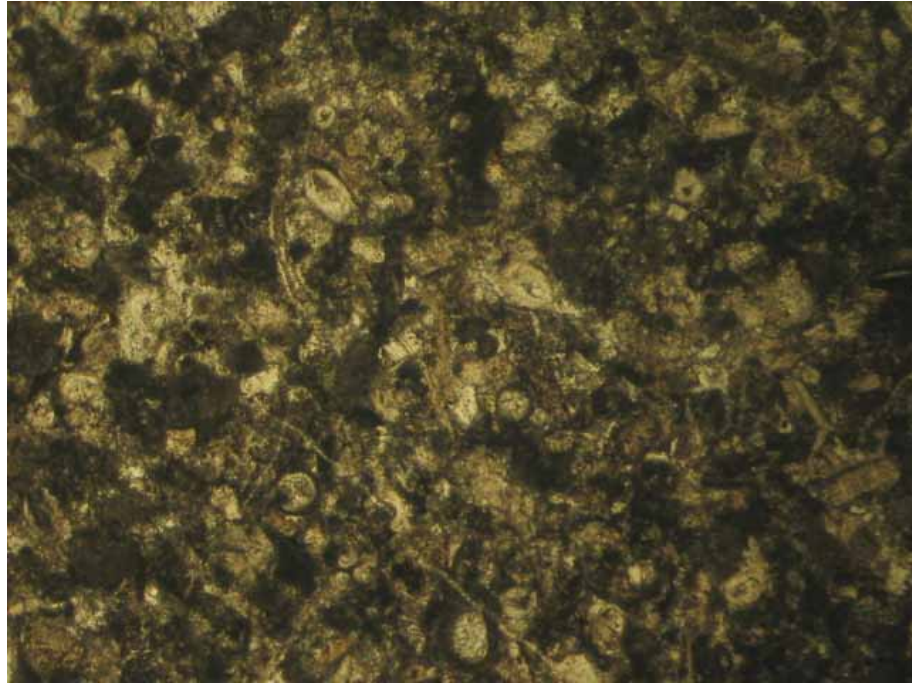


Foto 3.11. Köroğlu Formasyonu'ndaki biyomikritik fasiyes (Tek nikol, X10)

Köroğlu Formasyonu'nun mostra verdiği oldukça geniş alanlarda, karstik erimelerle, karenler, dolinler, polyeler ve mağaralar gibi karbonatlı kayalara özgü yapılar gelişmiştir (Foto 3.12).



Foto 3.12. Köroğlu Formasyonu'nda karstik çözünme yapıları

Kalınlık: Köroğlu Formasyonu'nun inceleme alanındaki kalınlığı, yaklaşık 100m olarak belirlenmiştir (Şekil 3.5).

Fosil İçeriği ve Yaş: Formasyonun en alt düzeyindeki kireçtaşlarında Dogger'i (Bajosiyen?) gösteren *Mesoendothyra* sp., *Amijiella* amiji, *Haurania* deserta, *Pseudocyclammina?* sp., *Siphovalvulina* sp., *Ataxophragmiidae*, *Valvulina* cf. *lugeoni*, *Pfenderina* spp., *Satorina* sp., *Paleopfenderina* sp., *Haurania* sp., *Klianina* sp., *Cladocoropsis mirabilis*, *Ataxophragmiidae* (Batoniyen); *Labyrintina mirabilis*, *Valvulina* gr. *lugeoni*, *Kurnubia* spp., *Klianina* sp.(Malm); *Salpingoporella annulata* (Neokomiyen); *Praechrysalidina infracretacea*, *Vercorsella scarsellai*, *Ophtalmidium* sp. (Hotriviyen-Apsiyen); *Salpingoporella dinarica* (Apsiyen-Albiyen) belirlenmiş olup, fosil içeriği Köroğlu Formasyonu'nun Dogger (Bajosiyen)-Alt Kretase aralığını

temsil eden karbonat düzeylerini kapsadığını göstermektedir (Özgül ve Kozlu, 2002). Formasyonun Tufanbeyli yöresindeki yüzeylemelerinin alglerini inceleyen Varol ve diğ. (1988), formasyonun Üst Triyas alglerini de kapsadığını belirtmektedir.

Üst Jura - Alt Kretase olarak bilinen (Demirtaşlı, 1967; Özgül ve diğ., 1973; Metin ve diğ., 1982) Köroğlu Formasyonu'nun yaşını Jura - Alt Kretase olarak ortaya koymuştur (Özgül ve Kozlu, 2002).

Ortamsal Yorum: Köroğlu Formasyonunu oluşturan litofasiyesler ve organizmalara göre, ortam koşulları tek düze gelişmemiştir. Ancak genel olarak birimin şelf ortamında çökeldiği söylenebilmektedir. Buna göre;

Dolomitik mikrit ve biyomikrit: Sınırlı dolaşımı, enerjinin düşük olduğu, nisbeten derin duraylı ortam koşullarında çökelmiştir. Bu ortamın lagüner karakterli olduğu söylenebilir. Kristalize oosparit; bu fasiyes ise oldukça sığ, çalkantılı, sıcak sulu, karbonat konsantrasyonunun yüksek olduğu platform ortamında çökelmiştir. Bu görüşü oolitlerin düzenli - çok zarflı oluşu destekleyici veridir.

Biyointrasparitik oluşumlar ise bu fasiyesin açık dolaşımı, sığ - çalkantılı bir şelf ortamı olduğunu gösterir.

3.1.1.7. Yanıktepe Kireçtaşı (Ky)

Genel Tanım: Beyaz - krem renkli kalın katmanlı, rudistli Üst Kretase (Senoniyen) yaşlı birim, Özgül ve diğ. (1973) tarafından Yanıktepe Kireçtaşı olarak adlanmıştır.

Dağılım ve Konum: Birim inceleme alanında, Liman Kalesinin uç kesimlerinde ve Eğritaş Tepenin kuzeyinde yaklaşık 250 m² lik çok dar bir alanda izlenir (Şekil 3.4).

Formasyon Köroğlu Formasyonu'nu olası açısız uyumsuzlukla üstler ve Akdere Formasyonu tarafından açısız uyumsuz olarak üstlenir (Şekil 3.5).

Kaya Türü: Beyaz - bej - çok açık kahverenkli, kalın katmanlı - masif özellikteki Yanıktepe Kireçtaşı bol rudist içeriği ile karakterizedir. Genellikle parçalanmış rudist kavkılı ve bol bentonik foraminiferli mikrit, sparit, biyosparit türleri ve biyoklastik kireçtaşı egemendir. Fosil kavkıları genellikle deforme olmuştur (Şekil 3.5).

Yapılan petrografik tanımlamalarda (EK-1), Yanıktepe Kireçtaşı bol rudist parçaları, foraminifera ve intraklastların allokem olarak katıldığı, biyoinsparit, intrabiyoimikrit olduğu, ayrıca yer yer de pelajik fasiyeste olduğu belirlenmiştir.

Kalınlık: Birimin kalınlığı yaklaşık olarak 20 m olarak belirlenmiştir (Şekil 3.5).

Fosil İçeriği ve Yaş: Yanıktepe Kireçtaşındaki paleontolojik incelemeler sonucunda *Siderolites calcitrapoides* (Lamarc), *Sirtina orbitoidiformis* (Bronnimann), *Lepidorbitoides* minör (Schlumberger), *Omphalocyclus macroporus* (Lamarck), *Loftusia linor* (B) (Cox), *Orbitoides medius* (d'archiac), *Globotruncana fornicata* (Plummer), *Globotruncana lugeoni* (Tillev), *Idalina* sp., *Anomalina* sp., *Smoutina* sp., *Sulcoperculina* sp., *Textularia* sp., *Triloculina* sp., *Quinqueloculina* sp. ile Echinid, alg ve rudist parçaları ile *Siderolites vidali* ve *Orbitoides tissotti* gibi Senoniyen'i temsil eden bentonik foraminiferleri de kapsamaktadır (Özgül ve Kozlu, 2002, Otlu, 1992).

Ortamsal Yorum: Yanıktepe Kireçtaşından alınan örneklerin petrografik incelemesi sonucu, birimin sığ - sıcak ve çalkantılı bir ortamda çökelmeye başladığı saptanmıştır. Bu görüş, gerek sığ - sıcak sulu ortamda yaşayan organizmalar ve gerekse, iri kum boyu (1,5-2 mm) intraklastların varlığı ile anlaşılmaktadır. Ancak, Üst Kretase'den (Kampaniyen) itibaren ortamın ani olarak derinleşmesi ile killi - kumlu kireçtaşı fasiyesi başlamış ve ortokem olarak da sparitin yerini mikrit almıştır. Bu derinleşme Maestrihtiyen'e kadar devam etmiştir.

3.1.1.8. Akdere Formasyonu (Pa)

Genel Tanım: Formasyon alt düzeylerde gri-bej renkli pelajik kireçtaşı, üstte ise şeyllerden oluşmakta olup, ilk kez Aziz ve diğ., (1979) tarafından Gürün civarında incelenmiştir.

Dağılım ve Konum: Birim inceleme alanı içerisinde sadece Liman Kalesi ve Kalabak Tepe civarında yaklaşık 500 m² lik dar bir alanda gözlenir (Şekil 3.4) (Foto 3.13). Yanıktepe Formasyonunu uyumsuz olarak üstler (Şekil 3.5).

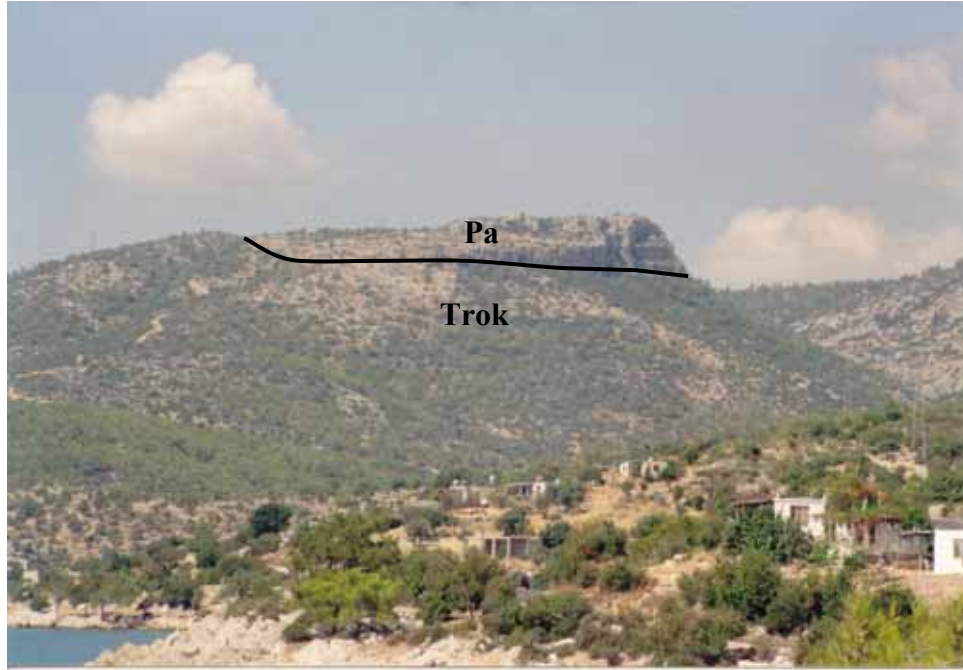


Foto 3.13. Kalabak Tepe’de Akdere Formasyonu (Pa) ve Keçilidağ Formasyonu (Trok) arasındaki ilişki (Boğsak Mahallesinden batıya bakış)

Kaya Türü: Birim, Yanıktepe Kireçtaşı'nın rudist'li kireçtaşı katmanları üzerine, 3-5 m kalınlıkta kalkarenit ve kalsirudit katmanlarından oluşan kırıntılı bir düzey aracılığıyla açısız uyumsuzlukla gelir (Şekil 3.5). Kalkarenit ve kalsirudit katmanları çoğunlukla altındaki taban kayadan türemiş kum ve çakıl boyutunda, yarı yuvarlanmış kireçtaşı kırıntılarını kapsar. Bu kırıntılı düzey üst seviyelerde bol globotruncanalı, bej ve kırmızı biyomikritlere geçer.

Kalınlık: Formasyonun kalınlığı inceleme alanında yaklaşık 40 m olarak belirlenmiştir (Şekil 3.5).

Fosil İçeriği ve Yaş: Akdere Formasyonu'nun tip kesit yerinde alt kesimini oluşturan mikritlerde Kozlu ve diğ. (1990) tarafından Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen'i temsil eden Globotruncana calcarata, G. gr. linneianna, G. arca, G. stuartiformis, G. cf.

bulloides, Globigerinelloides sp., Rugoglobigerina sp. ve Paleosen - Alt Eosen'i temsil eden Subbotina pseudobulloides, S. triloculinoides, Planorotalites cf.compressus topluluğu saptanmıştır.

Ortamsal Yorum: Birimde belirlenen mikritler, Geç Senoniyen-Erken Tersiyer aralığında düşük enerjili, karasal getirimin az olduğu, görel olarak derin deniz koşullarını yansıtır.

3.1.1.9. Alüvyon

Kendinden yaşlı birimlerin ayrışması ve aşınması sonucu oluşmuş kum, çakıl ve tutturulmamış malzemeden oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyon tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Alüvyon inceleme alanında Eğribük Dere' de çok geniş yayılım göstermektedir. Yamaç döküntüsü ise özellikle Zindan Deresinin denize ulaştığı yer olan Boğsak Mahallesi civarında ve Kızılarkapı Deresinin denize ulaştığı kesimlerde geniş yayılımlar sunar. İnceleme alanında alüvyonlar özellikle tarıma elverişli arazi olarak kullanılmaktadır.

3.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, büyük boyutlu tektonik hareketlerin etkisinde kalmış Toridlerde Geyikdağı Birliği içerisinde yer almaktadır. Çeşitli jeolojik dönemlerde meydana gelen tektonik hareketler, inceleme alanındaki birimlerin oldukça, kırıklı, çatlaklı ve faylı bir yapı kazanmasına neden olmuştur (Şekil 3.4).

Çalışma alanında irili ufaklı ve birbirini kesen çok sayıda fay gözlenmiştir. Bölgedeki fayların çoğunlukla küçük devamlılıklı ve bir birine yakın olması nedeni ile önceki çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da faylarda adlama yapılmamıştır. Faylanmaların çok sayıda ve yakın aralıklı olması sebebi ile formasyonlardaki tabaka doğrultu ve eğimleri farklılıklar sunmaktadır. Birimlerin tabaka eğimleri genel olarak değerlendirildiğinde 20-40° arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Formasyonlarda gelişen eklemler ise çoğunlukla dik ve dike yakın eğimdedir. İnceleme alanındaki eklemler farklı dönemlerdeki tektonik aktiviteler sonucu

oluşmaları nedeni ile farklı yönelimler sunarlar. Tünel güzergahında yapılan eklem ve diğer süreksizliklerin ölçümleri ayrıntılı olarak Bölüm 4.1.2 de değerlendirilecektir.

İnceleme alanında gözlenen uyumsuzluklardan ilki; Alt Karbonifer yaşlı Ziyeratetepe Formasyonu ile Üst Permiyen yaşlı Yığılıtepe Formasyonu arasındaki, Kalabak Tepenin kuzeyinde görülen, zaman boşluklu uyumsuzluktur. Yığılıtepe Formasyonu ve Katarası Formasyonu arasındaki açısız uyumsuzluk ise, inceleme alanının bir çok yerinde geniş alanlarda görülmektedir. Orta Triyas yaşlı Keçilidağ Formasyonu ile Jura-Kretase yaşlı Köroğlu Formasyonu arasındaki zaman boşluklu uyumsuzluk, inceleme alanın doğusundan kuzeyine kadar olan geniş bir alanda, Eğritaş Tepe ve Liman Kalesi civarında gözlenebilmektedir. Köroğlu Formasyonu ile Yanıktepe Kireçtaşı arasındaki açısız uyumsuzluk inceleme alanında sadece Liman Kalesinin uç kesimlerinde küçük bir alanda gözlenmektedir.

İnceleme alanındaki önemli faylar; kuzey kesimlerde yer alan, Barutçu mevkiinden başlayarak, Sandıklı Tepe'den geçen ve Gölcük Mahallesi'nin kuzeyinden geçerek inceleme alanının dışına çıkan ve çeşitli faylar tarafından kesilen – ötelenen 57° lik eğime sahip normal fay (Foto 3.14), bu faydan daha genç oluşum yaşlı ve bu fayı kesen, Sandıklı Tepe' den başlayarak güneydoğuya uzanan ve Boğsak Mahallesi'nin batısında son bulan 64° lik normal fay, yine bu fayı kesen Gölcük Mahallesi'nin güneyinden başlayan ve kuzey batıya, çalışma alanının dışına doğru devam eden 64° lik eğimli normal fay, Teke Tepenin batısında ise 58° , 65° ve 41° lik üç tane (Foto 3. 15) normal fay sayılabilir (Şekil 3.4).

Tünel güzergahında bulunan faylardan önemlileri ise; çıkış bölgesinde bulunan, Çayırılıbük' ten başlayarak kuzeye doğru devam eden ve Kalabak Tepenin doğusunda kıvrılarak kuzey doğuya dönen 44° eğime sahip ters fay, Işıklar Gediği mevkiinde bulunan 54° lik ters fay, ve tünelin giriş bölgesinde tünel eksenine dik olan 58° lik normal fay olarak sıralanabilir (Foto 3.16 ve EK-2,3).

İnceleme alanındaki formasyonlarda tabaka doğrultu ve eğim yönleri oldukça değişkendir. Ancak tünel güzergahındaki geçilen formasyonların tabaka doğrultuları tünel eksenine yaklaşık olarak dik ve eğim yönleri KD' ya doğrudur. Tünel güzergahı boyunca geçilen Katarası Formasyonunda tabaka eğimleri $30-35^{\circ}$ arasında, Yığılıtepe formasyonu'nda ise $35-40^{\circ}$ arasındadır.

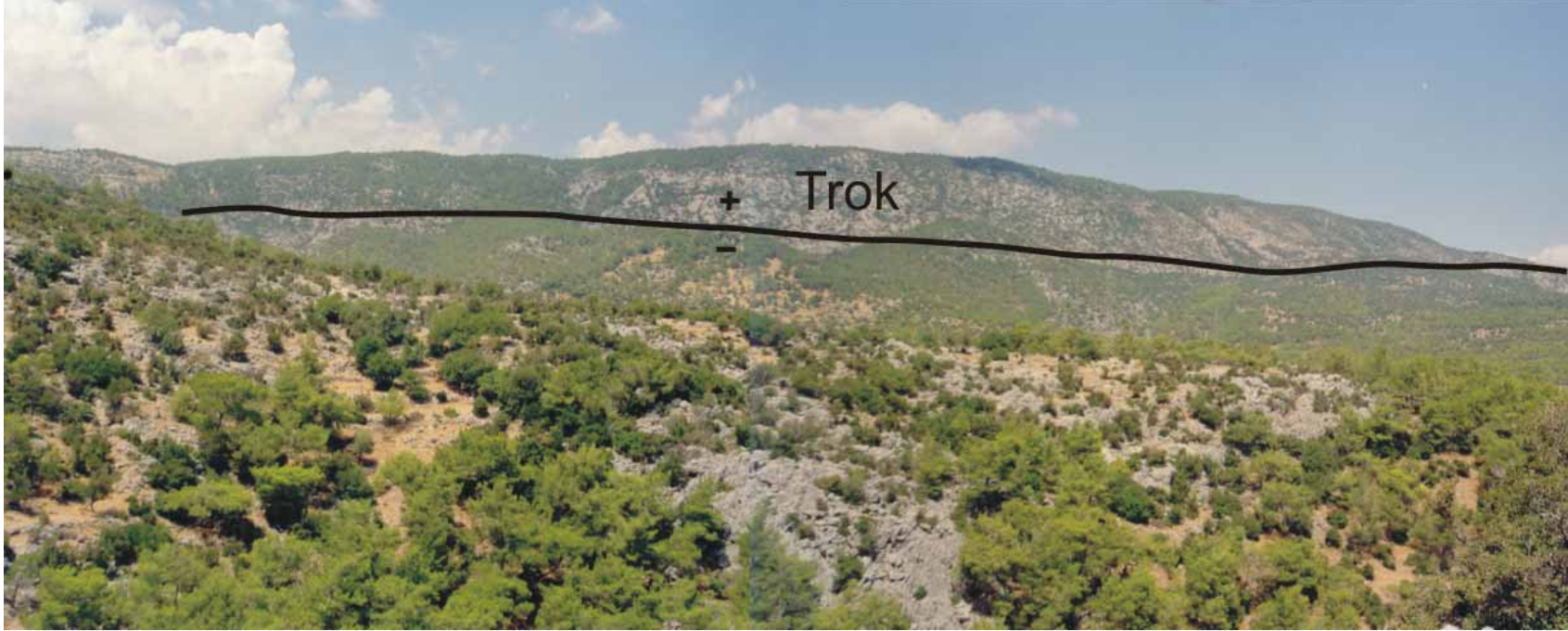


Foto 3.14. İnceleme alanının kuzeyinde Gölcük Mahallesi civarında gözlenen 57° lik normal fay (Timurini Tepeden kuzeye bakış)



Foto 3.15. Teke Tepenin batısındaki normal faylar (Tokmar Kalesinden batıya bakış)



Foto 3.16. Tünel giriş bölgesindeki normal fay aynası

3.3. Hidrojeoloji

İnceleme alanı içerisinde sürekli akış gösterir dere bulunmamaktadır. Dereler genellikle kuru dere şeklinde olup, mevsimsel akışlar gösterirler. Çalışma alanındaki önemli drenaj alanları; Boğsak tünellerinin giriş ağzının yanında bulunan Zindan Dere, çıkış ağzının ilerisinde bulunan Eğribük Deresi, Gölcük Mahallesinden başlayarak güneye devam eden Kızılkapı Deresi sayılabilir (Şekil 3.4). Çalışma sahasındaki tüm drenaj alanları Akdenize doğru akmaktadır.

İnceleme alanındaki su kaynaklarından en önemlisi Boğsak Mahallesi içinde bulunan Boğsak Karst kaynağıdır. Bu kaynak denizin içerisinde çıkmakta olup, tuzluluk oranının yüksek olması sebebi ile içme ve kullanma suyu olarak kullanılamamaktadır.

Tünel güzergahındaki birimlerin hidrojeolojik açıdan değerlendirildiğinde, karstlaşma çok fazla olmasına karşın geçirimsizliklerinin düşük olduğu sondajlar sırasında yapılan basınçlı su testi (BST) sonucunda belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak karstik çözünme boşluklarının arasında bağlantı olmaması düşünülebilir.

Tünel güzergahı boyunca açılan 4 adet sondajda yeraltı suyuna rastlanılmamıştır.

3.4. Depremsellik

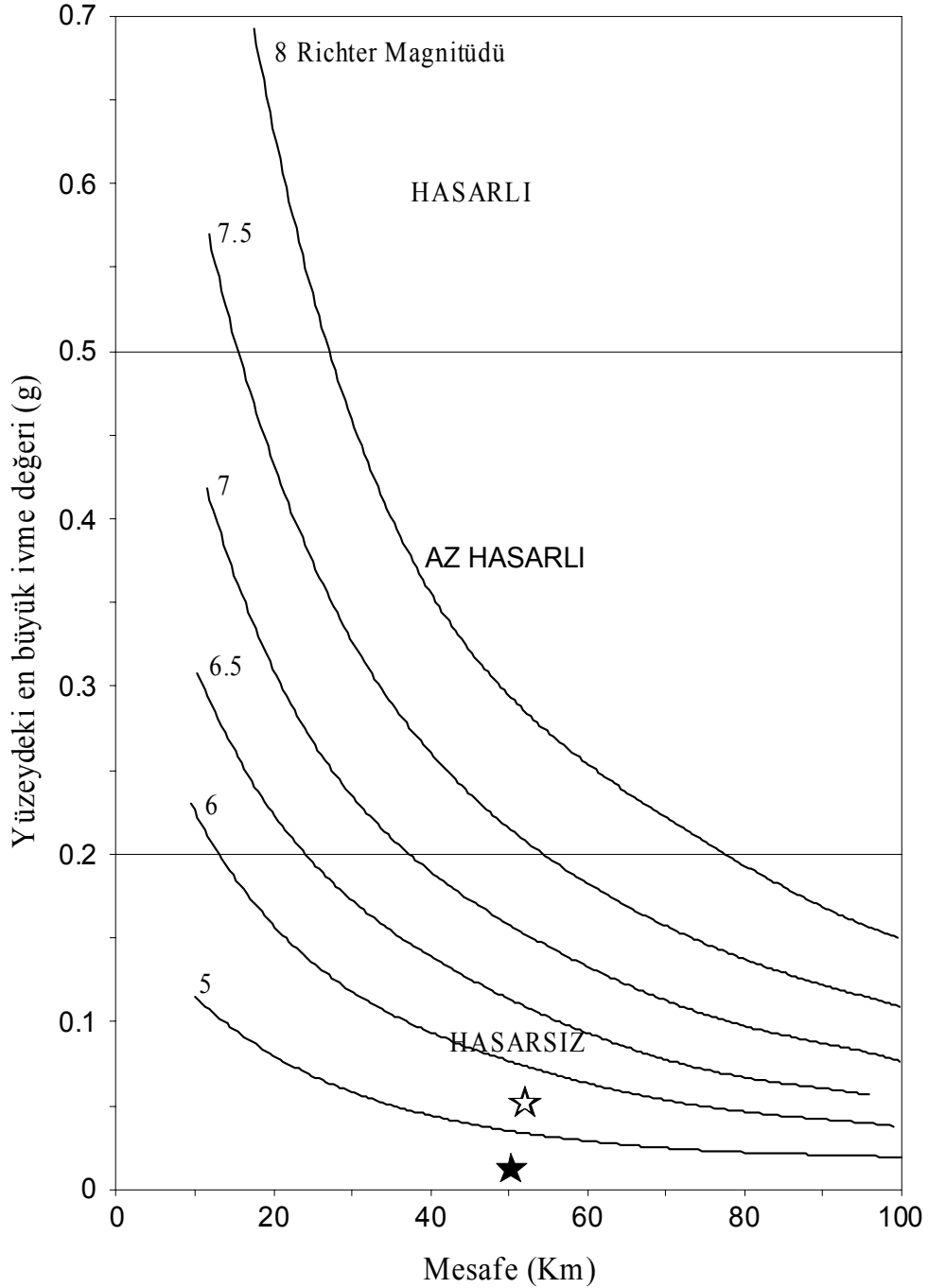
Çalışma alanı Türkiye deprem bölgeleri haritasında 4. derece deprem bölgesine düşmektedir (Şekil 3.6). İnceleme alanı içerisinde veya yakınından geçen aktif bir fay bulunmamaktadır. Bunun yanında Kandilli Rasathanesinin ve USGS nin 1900- 2004 yılları arasında oluşan depremlerin oluşum zamanları, yerleri ve odak derinliklerini gösterir veriler Çizelge 3.2’de sunulmaktadır.

İnceleme alanına en yakın deprem 57.8 km doğuda 1947 tarihli ve 5.7 büyüklüğündeki depremdir (Çizelge 3.2). Olası en yakın aktif fay ise 54.7 Km kuzey batıda bulunan Mut fayıdır (Şekil 3.7). Bu fay , 3.8 ,3.4 ve 3.8 büyüklüğünde 3 adet deprem üretmiştir.

Çizelge 3.2. İnceleme alanı ve 90 km yarıçapındaki çevresindeki faylar ve eski deprem merkezleri ve büyüklükleri

Tarih	Saat (GMT)	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük
20.01.2004	17:42	36.30	33.95	8	3.0
09.12.2002	01:45	36.87	34.54	10	3.3
06.10.2002	03:49	35.75	33.30	18	3.5
27.09.2002	13:23	36.85	34.33	5	3.4
30.04.2002	23:41	36.85	34.62	11	4.1
23.06.2001	13:37	35.95	34.12	9	3.9
17.04.2001	12:32	36.77	33.56	4	3.4
25.01.2001	12:07	35.91	34.11	18	3.8
22.09.2000	15:22	36.91	33.09	24	3.3
08.06.2000	01:58	35.90	32.89	5	3.3
02.07.1999	07:33	35.80	33.95	4	3.7
02.07.1999	07:20	35.87	33.94	2	3.7
14.02.1999	10:57	36.64	34.19	0	3.5
09.01.1999	02:09	36.38	34.81	15	3.1
18.07.1998	21:02	36.67	33.67	9	3.8
06.04.1998	08:02	35.96	33.39	0	3.2
06.04.1998	07:33	35.87	33.49	0	3.4
19.03.1998	08:58	35.91	33.74	5	3.4
18.10.1997	15:49	36.60	34.71	1	3.5
27.08.1997	02:57	36.08	34.61	10	3.3
03.11.1996	11:32	36.63	33.53	0	3.8
04.04.1996	19:22	35.84	34.09	26	3.6
13.08.1991	19:02	35.70	34.20	33	2.2
22.04.1991	18:17	35.76	33.31	10	3.5
09.12.1990	01:16	36.23	33.92	27	3.8
17.10.1990	02:00	37.05	33.99	24	4.2
24.10.1989	22:46	36.17	34.10	10	3.1
20.07.1989	05:41	36.46	34.80	61	4.0
06.03.1989	16:43	35.88	33.60	10	3.2
09.07.1988	13:00	36.30	34.30	25	3.4
05.07.1980	02:48	36.17	33.95	42	4.2
21.12.1977	05:36	36.20	33.10	0	3.7
26.06.1974	14:24	36.63	34.74	45	3.9
20.03.1970	08:50	36.90	33.50	33	4.0
16.06.1968	08:34	36.70	34.27	52	4.4
15.12.1964	17:31	36.46	34.80	41	4.5
19.05.1960	17:46	36.00	34.00	0	4.5
09.12.1947	23:40	36.52	34.34	10	5.2
20.03.1910		36.80	34.60	0	4.9

İnceleme alanının yakın çevresindeki depremlerin şiddetleri ve tünele olan uzaklıkları ve en yakın olası aktif fayın uzaklığı ve ürettiği depremlerin büyüklükleri değerlendirildiğinde, olası bir depremin tünele hasar vermesi beklenilmemektedir (Şekil 3.8).



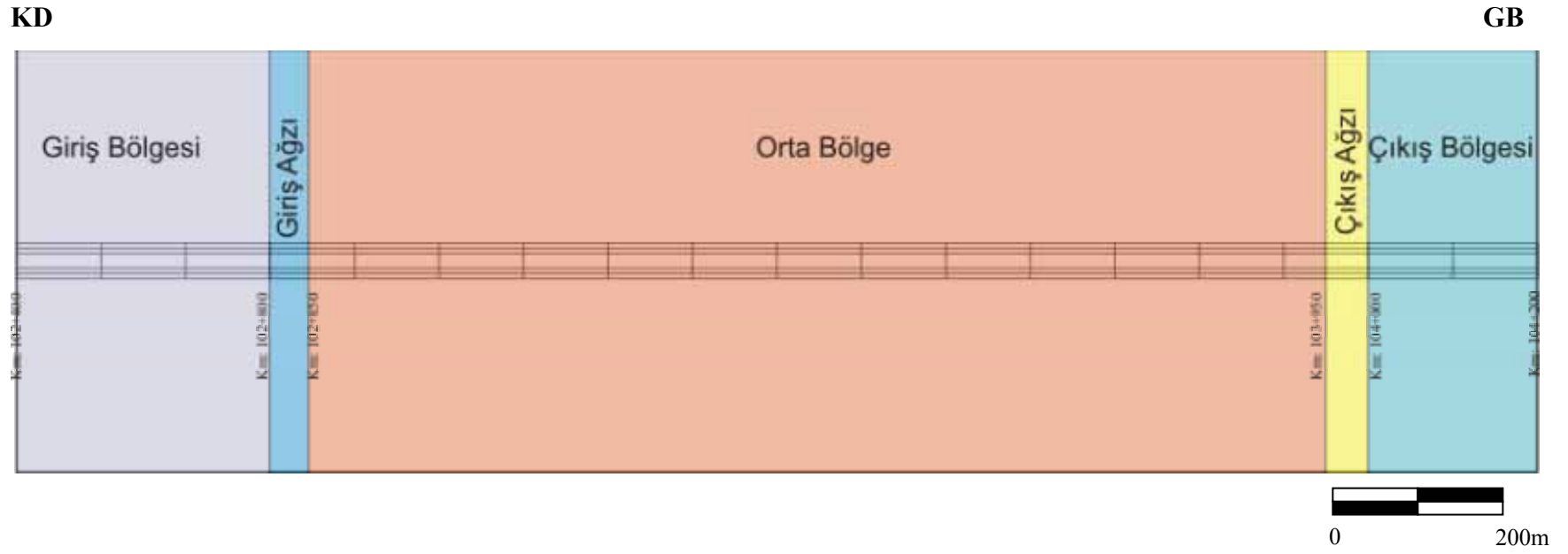
Şekil 3.8. Magnitüd derecesi, yer ivmesi ve uzaklığa göre depremlerin tünelde oluşturacakları hasar seviyeleri (★ ve ☆ inceleme alanı yakın çevresinde oluşan en büyük depremler ve uzaklıkları) (Dowding ve Rozen, 1978)

3.5. Mühendislik Jeolojisi

Artan nüfus yoğunluğu ve ekonomideki gelişmeler ulaşımın yeterli olmadığı yerleşim birimleri arasında yeni yolların yapılmasını veya mevcut yolları iyileştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ülkemizin önemli turizm merkezlerinden olan Antalya ve İçel illerimiz arasındaki mevcut karayolu, oldukça düşük geometrik standartlara sahip bir yoldur. Bu sebeple iki il arasında devam eden bölünmüş yol çalışmaları İçel ilinden Taşucu beldesi yakınlarına kadar gelmiştir. Yapım projesi sırasında Taşucu – Ovacık arasındaki kesimde topoğrafyanın oldukça engebeli olması ve mevcut projenin sahaya uygulanmasında güçlük çekilmesi sebebi ile varyant düşünülmüştür. Taşucu - Ovacık arasındaki kesimde, özellikle Boğsak Mahallesi yakınlarından başlayan engebeli arazi bu noktada tünel geçkisini zorunlu kılmaktadır. Yeni yapılan proje yüksek geometrik standartlara sahip bölünmüş yol olarak planlanmaktadır. Projenin toplam uzunluğu 45 km olup, tünel uzunluğu 1200m dir. Tünelin giriş bölgesinde 400 m, çıkış bölgesinde 300m olmak üzere toplam 700m lik açık kazı ile tünele girilmektedir. Silifke'den başlayan yapım çalışmaları Taşucu çıkışına kadar tamamlanmıştır. Taşucu-Ovacık arasında kalan kesimin ise proje hazırlık çalışmaları devam etmektedir.

Yapımı planlanan Boğsak tünelleri çift tüp olup; 2X3.5 m lik şeritler ve sağ ve sol tarafta 2.5 m lik banketler olmak üzere toplam 12 m genişliğinde ve 9 m yüksekliğindedir (Şekil 3.9). Mühendislik jeolojisi amaçlı olarak tünel güzergahı boyunca ISRM(1978)' e göre süreksizlik ölçümleri yapılmış, sondajlardan elde edilen karotlar üzerinde RQD, TCR, SCR, Jv ölçümleri yapılmış ve süreksizliklerin eğim miktarları belirlenmiştir. Karotlardan elde edilen örnekler üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılarak, kayaç malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular ile kaya kütesinin RMR,Q ve GSI sınıflama sistemlerine göre kütle özellikleri ve kazı-destek tipi seçimi belirlenmeye çalışılmıştır.

Tünel geçkisi boyunca açık kazı alanları ve tünelin bulunduğu kesim çeşitli yapısal bölgelere ayrılarak çalışılmıştır (Şekil 3.10). Yapısal bölgelerin seçiminde açık kazı alanları ayrı bölgeler şeklinde düzenlenmiştir. Örtü yüksekliğinin az olduğu ve ilksel gerilmelerin oldukça farklılık sunduğu giriş ve çıkış ağızları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ortada kalan kesim ise iki adet sondajdan elde edilen farklılık



Şekil 3.10. Tünel güzergahındaki mühendislik jeolojisi çalışması için ayrılan yapısal bölgeler

sunması nedeni ile iki kesimde incelenmiştir. Çalışma alanının bu şekilde yapısal alanlara ayrılmasının bir diğer nedeni ise tünelin her kesiminde aynı kazı ve destek tipinin kullanılmasının ekonomik olmaması, kaya kütleindeki duraysızlıkların bazı kesimlerde tamamen süreksizlik kontrolünde gelişecekken, bazı kesimlerde ise gerilme- deformasyon ilişkisi sonucu gelişecek olmasıdır. Bu bölgeler;

Km: 102+400 – 102+800 arasındaki açık kazı alanları **“Giriş Bölgesi”**

Km: 102+810 deki tünelin girdiği kesim **“Giriş Ağızı”**

Km: 102+850 -103+950 arasındaki kesim **“Orta Bölge”**

Km: 104+000 daki tünelin çıktığı kesim **“Çıkış Ağızı”**

Km: 104+000- 104+200 arasındaki açık kazı alanları ise **“Çıkış Bölgesi”** olarak isimlendirilmiştir

3.5.1. Saha Çalışmaları

Mühendislik jeolojisi çalışmaları ile ilgili olarak 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır (EK-2 ve 3). Harita alımı sırasında daha önce bahsedilen yapısal bölgeler (Şekil 3.10) daha küçük boyutlu alt bölgelere ayrılmıştır. Her bir bölge için ISRM (1978)’ e göre süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. Topoğrafyanın düzgün olmaması sebebi ile ölçümlerde hat etüdü yapılamamış olup, alan tarama şeklinde ölçüm alınmıştır. Her bir süreksizlik için; süreksizlik türü, yönelim, aralık, açıklık, devamlılık, süreksizlik duvarının durumu, dalgalılık-pürüzlülük, su durumu ve dolgu malzemesi incelenmiştir. Sondaj karotlarında yapılan süreksizlik ölçümlerinde ise, sadece eğim miktarı, süreksizlik aralığı, süreksizlik duvarının durumu ve dolgu malzemesi incelenmiştir.

Tünel güzergahı boyunca toplam 4 adet tam karotlu sondaj yapılmıştır. Bu sondajlar; Km: 102+810 da 60.30 metre, Km:103+300 de 180 metre, Km:103+618 de 175 metre ve Km: 104+000da 60 metre olmak üzere toplam 480 metredir. Sondajlar sırasında birimlerin geçirimsizliğinin belirlenebilmesi amacı ile Basıncılı Su Testi (BST) yapılmıştır. Ayrıca sondajlardan elde edilen karot numuneleri üzerinde, RQD, TCR, SCR ve Jv ölçümleri yapılmıştır.

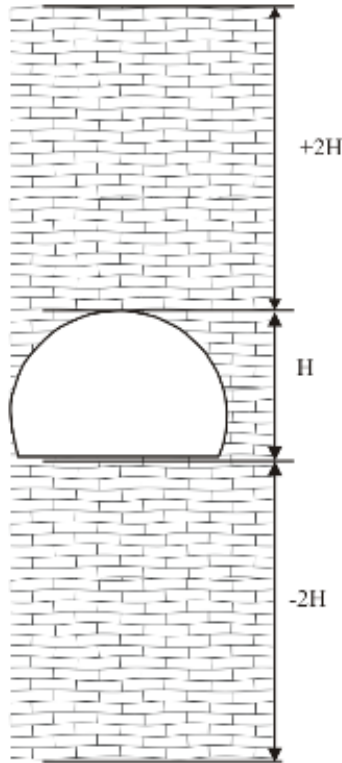
3.5.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında kullanılacak örnekler sondaj karotlarından seçilmiştir. Örnek seçiminde her bir sondaj için Tünelin Yüksekliği “H” kabul edilerek tünel seviyesinden, “2H” kadar tünelin alt kotuna gelen kısımdan ve “2H” kadar tünelin üstünde kalan seviyelerden örnek seçimi yapılmıştır (Şekil 3.11). Karotlardan örnek seçimi sırasında kırıksız - çatlaksız ve karstlaşma içermeyen seviyeler tercih edilmiştir.

Seçilen örneklerden;

Tünel üzerine gelecek gravite yükünü belirleyebilmek amacı ile; hacim kütle deneyi (γ_n),

Kayaç Malzemesinin dayanım özelliklerinin belirlenebilmesi amacı ile; tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), nokta yükleme (I_s), indirek (dolaylı) çekme deneyi (σ_t) ve shore sertliği deneyleri,



Şekil 3.11. Tünel kotuna göre örnek seçim derinlikleri

Süreksizliklerin makaslama dayanımlarının belirlenebilmesi için; makaslama deneyi,

Kayaç malzemesinin elastik parametrelerinin belirlenebilmesi için; statik elastisite modülü (E_s) ve poisson oranı (ν_s) ve dinamik elastik parametrelerinin belirlenebilmesi için sonik hız deneyi,

Kayaç malzemesinin görünür porozitesinin belirlenmesi için; su emme ve dane birim hacim ağırlığı (γ_s) deneyleri yapılmıştır.

Tüm deneyler ISRM (1981) ve TSE 690 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.5.3. Kaya Kütleleri Sınıflama Sistemleri

Kaya kütlelerinin sınıflama çalışmaları ilk kez 1879'da Ritter tarafından tünel dizaynlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir (Hoek, 2000). O zamandan günümüze kadar bir çok araştırmacı çeşitli sınıflama sistemleri ileri sürmüş ve bunlar uzun yıllar boyunca kullanılmıştır. Bu sistemlerden yaygın olarak kullanılanları Çizelge 3.3'de görülmektedir. Bu çalışmada ise kaya kütleleri sınıflama sistemlerinden , RMR, Q ve GSI sistemleri kullanılacaktır. Kullanılacak sistemler hakkında kısa bilgiler aşağıda sunulmaktadır.

a) RMR Sınıflama sistemi

RMR ilk kez 1973 yılında Bieniawski tarafından geliştirilmiş, zamanla bunlar çeşitli değişikliklere uğramıştır. Bu değişiklikler 1974, 1976, 1979 ve son olarak ta 1989 da yapılmıştır (Bieniawski 1974, 1976,1979 ve 1989). Bu çalışmada en son hali olan RMR₈₉ kullanılmıştır. RMR sisteminde 6 parametre kullanılmaktadır. Bunlar;

- 1- Kayacın tek eksenli basınç dayanımı veya nokta yük indisi
- 2- Kaya kalitesi yüzdesi (RQD)
- 3- Süreksizlik aralığı
- 4- Süreksizlik durumu
- 5- Yer altı suyu durumu
- 6- Süreksizlik yönelimi düzeltmesi

Bu parametrelere ait puanlama durumu Çizelge 3.5 de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Kaya kütle sınıflama sistemleri (Palmstörn, 2000)

Sınıflama Sistemi Adı		Geliştiren Araştırmacı	Uygulama Alanları
1	Kaya Yüğü	Terzaghi, 1946	Tünelcilik
2	Desteksiz durma süresi	Lauffer, 1958	Tünelcilik
3	Yeni Avusturya Tünel Metodu (NATM)	Rabcewicz, Müller ve Pacher, 1958 - 1964	Tünelcilik
4	Kaya mekaniğı için Kaya sınıflaması	Patching and Coates, 1968	Kaya mekaniğı temel veri girişı
5	RQD	Deere vd., 1964	Sondaj karot logları
6	Boyut- Dayanım Sınıflaması	Franklin, 1975	Madencilik
7	RSR	Wickham et al., 1972	Tünel destek tipleri seçimi
8	Kaya Kütle Sınıflama Sistemi (RMR)	Bieniawski, 1973	Tünel, Madencilik ± Şev
9	Q Sistemi	Barton vd., 1974	Tüneller ve Maden
10	Temel Jeoteknik Sınıflama	ISRM, 1981	Genel amaçlı Kaya mekaniğı
11	MBR	Cummings, vd., 1982	Madencilik
12	Birleştirilmiş Sınıflama	Williamson, 1980	Genelleştirme amaçlı
13	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	Hoek, 1994	Yer altı kazıları için destek sistemi dizaynı
14	Kaya Kütle İndeksi (RMi)	Palmström, 1995	Tünelcilik

Çizelge 3.5. RMR sınıflama parametreleri, değişim aralıkları ve puanları
(Bieniawski,1989)

No.	Parametre		1	2	3	4	5		
			Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf		
1	Kayaç malzemesinin dayanımı	Nokta Yüğü Dayanımı	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli sıkışma dayanımı kullanılmalı		
		Tek eksenli dayanımı	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5- 25 MPa	1 -15 MPa	<1 MPa
	Puan		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik aralığı		>2m	0.6-2m	200 – 600m m	60-200 mm	<60 mm		
	Puan		20	15	10	8	5		
4	Süreksizliklerin durumu		Çok kaba yüzeyler, sürekli değil, ayrılma yok sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler, ayrılma <1 mm, sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler, ayrılma < 1 mm, yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu < 5mm veya 1-5 mm açıklıkta eklem, sürekli eklem	Yumuşak fay dolgusu, >5 mm kalınlıkta veya açık eklem >5 mm devamlı süreksizlikler		
	Puan		30	25	20	10	0		
5	Yeraltısuyu	Tünelin 10 m lik kısmından gelen su	Yok	<10 lt/dk	<25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk		
		Eklemdeki su basıncı En büyük asl gerilim	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
	Genel Kpşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı			
	Puan		15	10	7	4	0		

Bu parametrelerden elde edilen RMR puanına göre, kaya kütlesi içinde açılacak yer altı boşluğunu destek sistemi, maksimum desteksiz açıklık süresi, kaya kütlesinin Elastisite modülü gibi değerler hesaplanabilmektedir.

b) Q Sınıflaması

Q kaya kalitesi sınıflama sistemi ilk kez Barton ve diğ. (1974) tarafından ortaya konmuştur. Bu sistem, kaya kütlesinin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesinde ve yer altı kazılarında destek tiplerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Q sisteminde altı parametre kullanılmakta olup bunlar;

- 1- RQD değeri
- 2- Süreksizlik seti sayısı(Jn)
- 3- Süreksizlik pürüzlülük sayısı (Jr)
- 4- Süreksizlik alterasyon sayısı (Ja)
- 5- Süreksizlik su azaltma faktörü (Jw)
- 6- Gerilme azaltma faktörü (SRF)

şeklinde sıralanmaktadır. Bu parametrelerden Q değerinin hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılmaktadır;

$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$

Q sınıflama sisteminde 1974 de önerilen destek sistemi Grimstad ve Barton (1993) tarafından değiştirilmiştir. Destek sistemi son yıllarda kullanımı yaygınlaşan tünel açma makineleri (TBM) için 2002 yılında tekrar düzenlenmiştir (Barton, 2002). Bu çalışmada TBM kullanımı düşünülmemesi sebebi ile 1993 de önerilen destek sistemi kullanılmıştır. En son yapılan değişikliğe göre 9 adet kaya grubu için toplam 38 adet destek sınıfı bulunmaktadır (Grimstad ve Baron, 1993).

c) Hoek – Brown görgül yenilme ölçütü ve jeolojik dayanım indeksi

Hoek ve Brown (1980 a ve 1980 b) tarafından geliştirilen Hoek – Brown görgül yenilme sistemi, süreksizlik içeren kaya kütlelerinin makaslama dayanımlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu sistem Hoek (1983), Hoek ve Brown (1988), Hoek ve diğ. (1992), Hoek ve diğ. (1995), Hoek ve Brown (1997) ve Hoek ve diğ (2002) tarafından değiştirilerek günümüzdeki halini almıştır. Bu çalışmada sistemin son hali olan Hoek ve diğ. (2002) kullanılmıştır. Sistem 1995' e kadar RMR puanını parametre olarak kullanırken, 1995 de RMR nin kullanımından

vazgeçilmiş ve bunun yerine Jeolojik dayanım indeksi (GSI) olarak adlanan sınıflama kullanılmaya başlanılmıştır.

Mohr-Cloumb yenilme ölçütüne göre; normal gerilme (σ) ve makaslama gerilmesi (τ) arasındaki doğrusal olan ilişkinin bu sistemde eğrisel olduğu belirtilmektedir (Hoek 1980a ve 1980 b).

Hoek- Brown görgül yenilme ölçütünde kullanılan formüller aşağıda sunulmaktadır;

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[mb \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (1)$$

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (2)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (4)$$

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a \quad (5)$$

$$\sigma_t = -\frac{s \sigma_{ci}}{m_b} \quad (6)$$

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cdot \frac{d\sigma'_1 / d\sigma'_3 - 1}{d\sigma'_1 / d\sigma'_3 + 1} \quad (7)$$

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \frac{\sqrt{d\sigma'_1 / d\sigma'_3}}{d\sigma'_1 / d\sigma'_3 + 1} \quad (8)$$

$$d\sigma'_1 / d\sigma'_3 = 1 + am_b \left(m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s \right)^{a-1} \quad (9)$$

$$E_m (GPA) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (\text{sigci} \leq 100 \text{ MPa}) \quad (10)$$

$$E_m (GPA) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (\text{sigci} > 100 \text{ MPa}) \quad (11)$$

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (12)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}} \quad (13)$$

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci} \quad (14)$$

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad (15)$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (16)$$

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94} \quad (\text{Tüneller için}) \quad (17)$$

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91} \quad (\text{Şevler için}) \quad (18)$$

4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

4.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları 2002 ve 2003 yılı yaz dönemlerinde yapılmış olup, sahada 1/25 000 ölçekli jeoloji (Şekil 3.4) ve 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası yapılmıştır (EK-2 ve 3). Saha çalışmaları sırasında 4 adet tam karotlu sondaj yapılmıştır. Süreksizlik incelemeleri ise; giriş bölgesi, giriş ağzı, orta bölge, çıkış ağzı ve çıkış bölgesi olmak üzere 5 ana bölge içindeki küçük alanlarda yapılmıştır.

4.1.1. Sondaj çalışmaları

Tünel güzergahı boyunca 4 adet karotlu sondaj yapılmıştır. Bu sondajların yerleri ve sondaj derinlikleri Çizelge 4.1, EK-2 ve EK-3 de ifade edilmiştir.

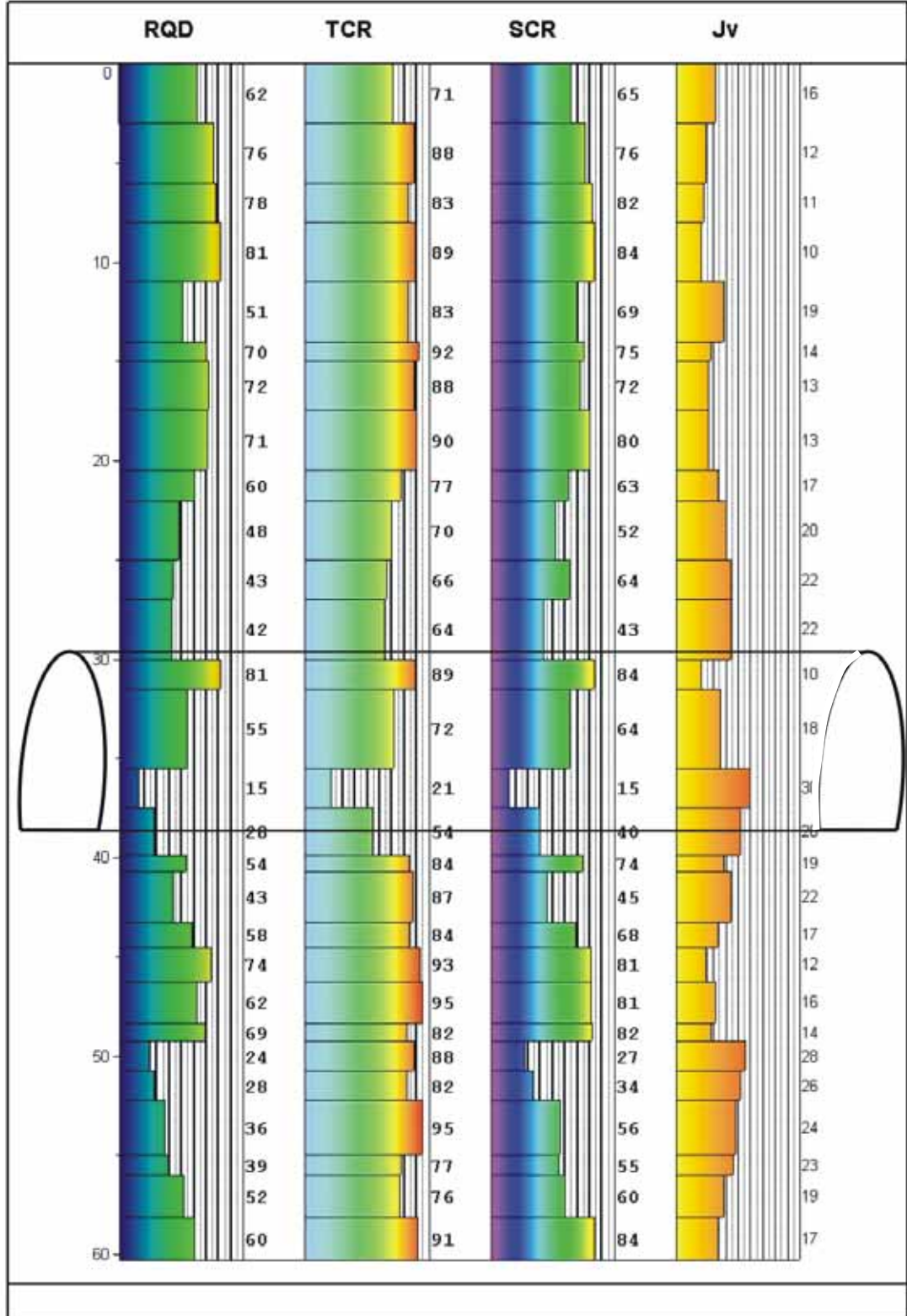
Çizelge 4.1. Boğsak Tünelleri boyunca yapılan sondajların yerleri ve derinlikleri

Sondaj Numarası	Sondaj Yeri	Sondaj Derinliği
TSK-1	Km: 102+810	60.30 m
TSK-2	Km: 103+618	175.00 m
TSK-3	Km: 104+000	60.00 m
TSK-4	Km: 103+300	180.00 m

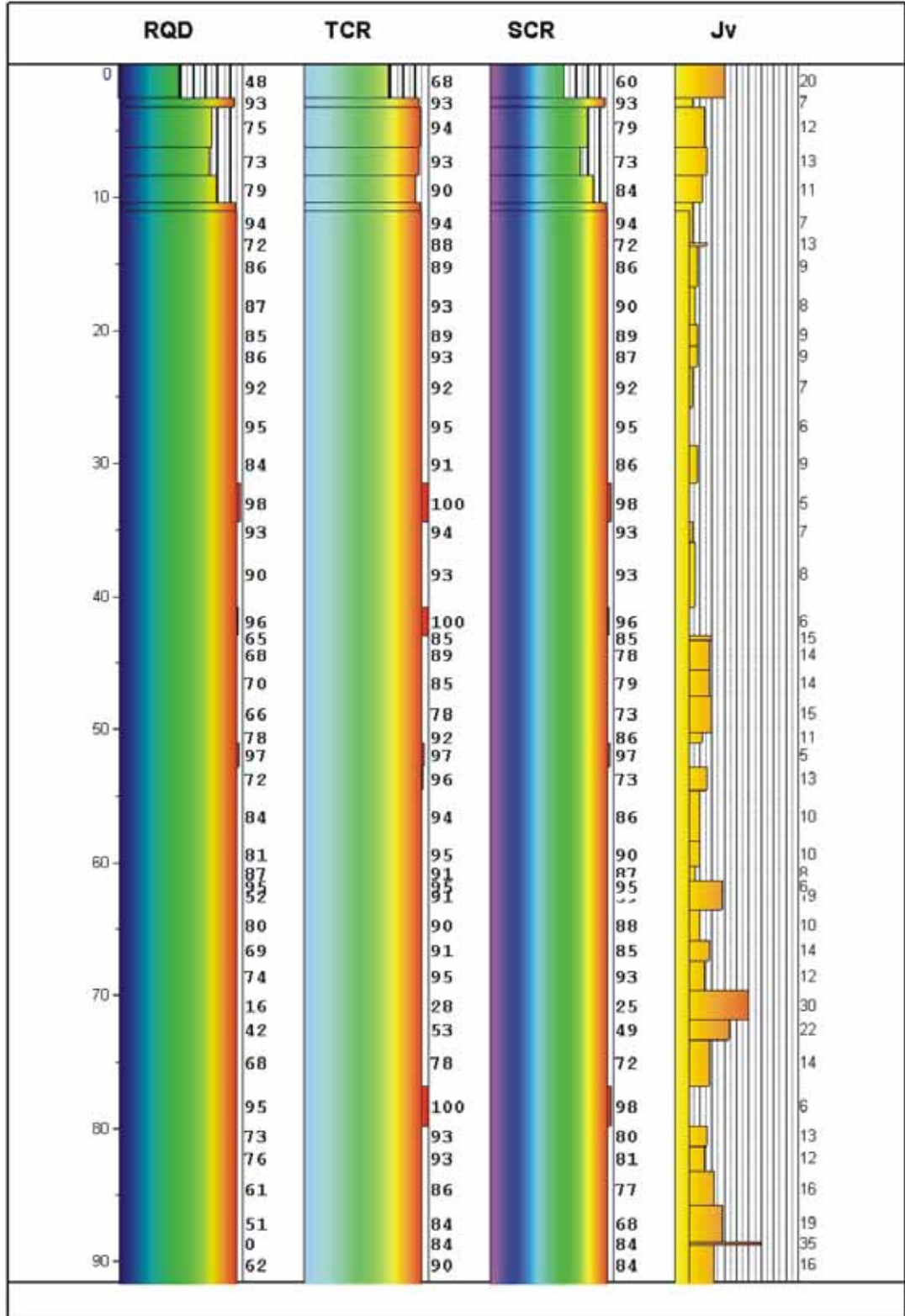
Sondaj çalışmaları sırasında TSK - 4 nolu sondajın ilk 120 metresi haricinde tüm sondajlarda Basınçlı Su Testi (BST) yapılmıştır. Yapılan tüm sondajlarda, Kaya kalitesini gösteren; RQD, Sondaj makinesinin kalitesini gösteren; TCR, sondörün çalışma kalitesini gösteren; SCR ve kütlenin hacimsel eklem sayısını gösteren; Jv değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere göre hazırlanan sondaj logları, Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4' de sunulmuştur.

Sondajlarda TSK-1 nolu sondaj başlangıçtan yaklaşık 24. metreye kadar Yığıltape formasyonu içerisinde ilerlemiştir. Bu kesimde sondajda bej renkli çözümlenme boşluğu içermeyen kireçtaşları kesilmiştir. 11 ve 13m ler arasında birimde kalsit dolgululu bol düzensiz çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu çatlaklar boyunca yer yer

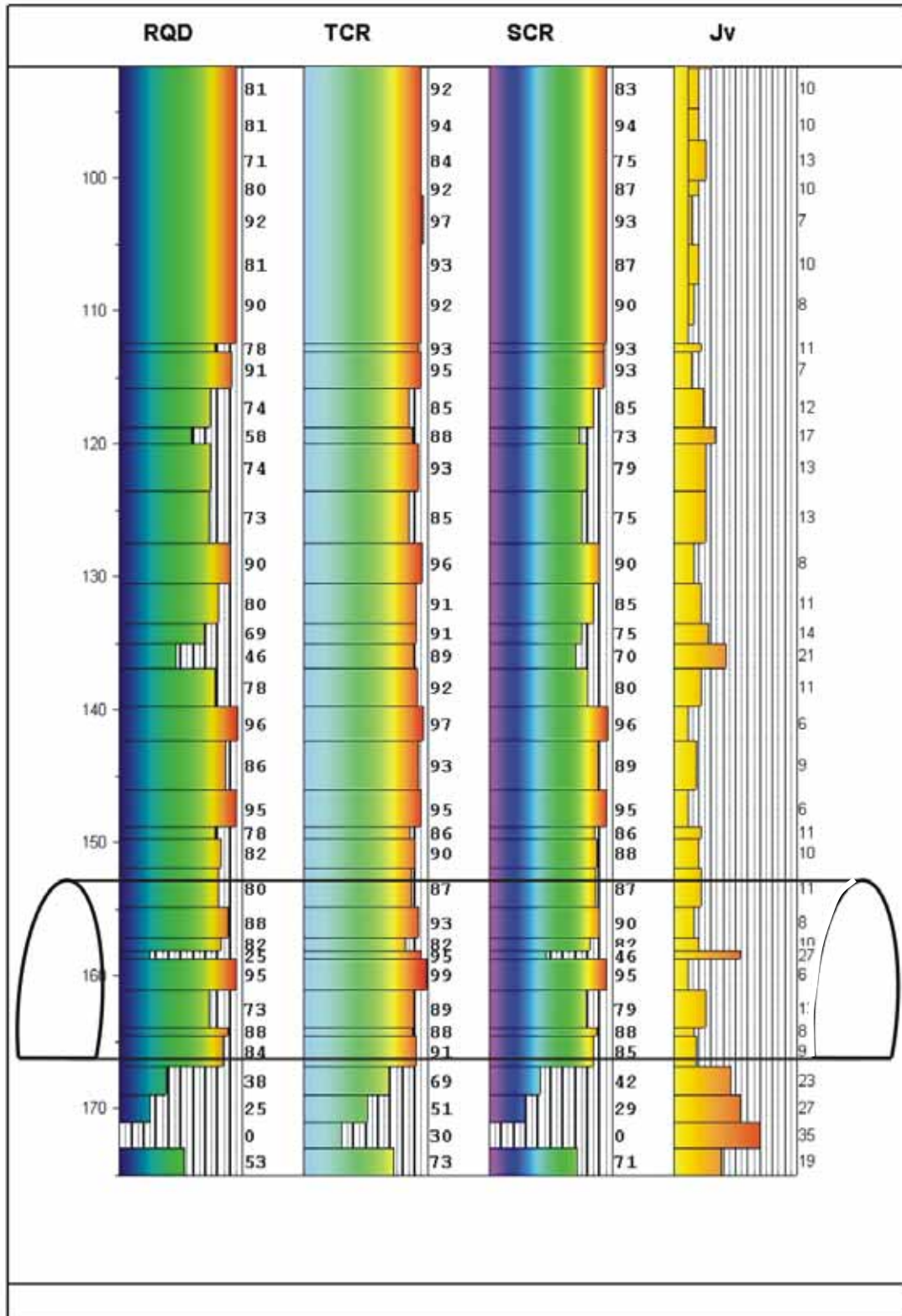
kil ve klorit dolguya da rastlanılmıştır. Oldukça çatlaklı olan bu seviyede RQD değerleri düşük sonuçlar vermiştir.



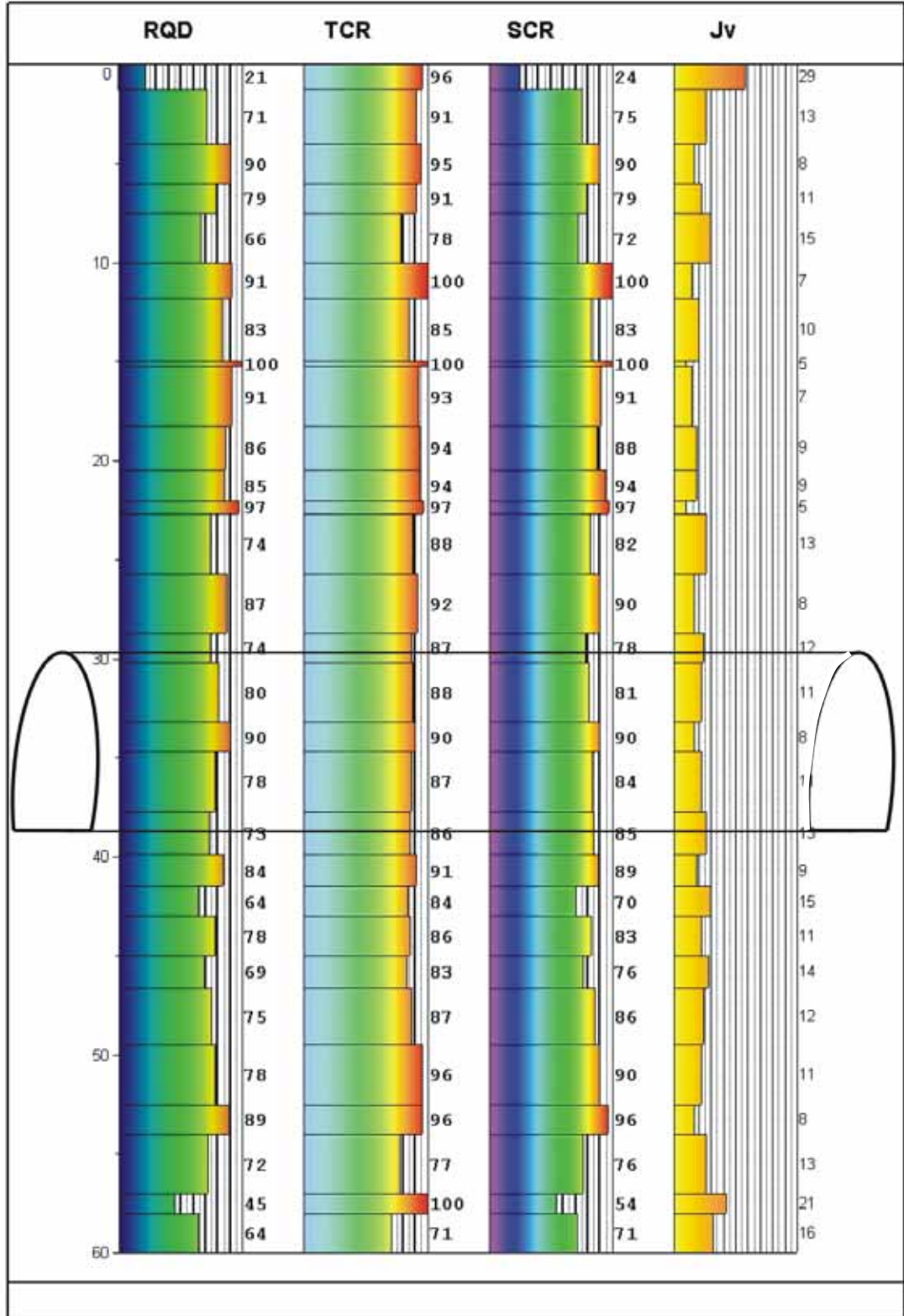
Şekil 4.1. TSK-1 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri



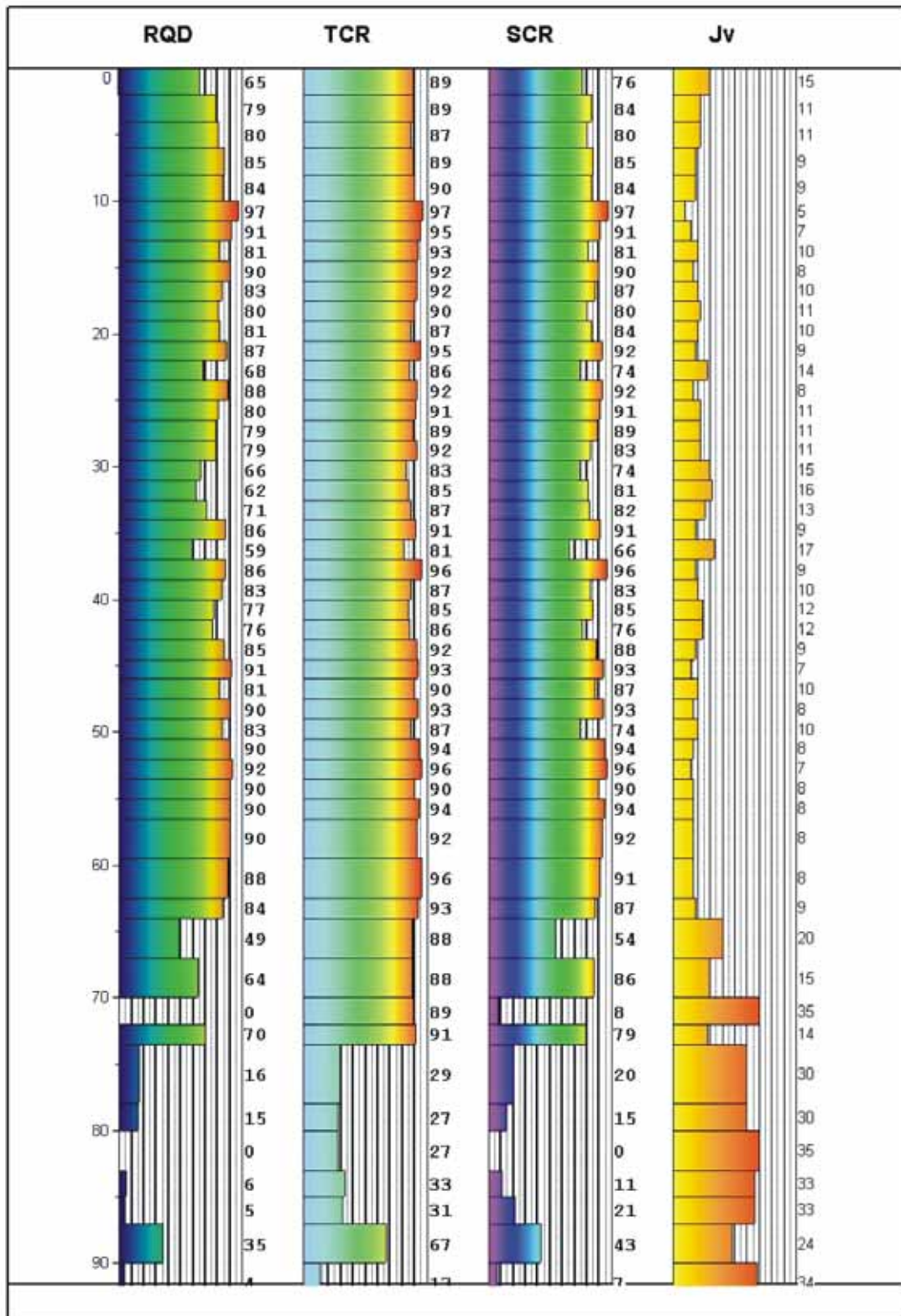
Şekil 4.2. TSK-2 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri



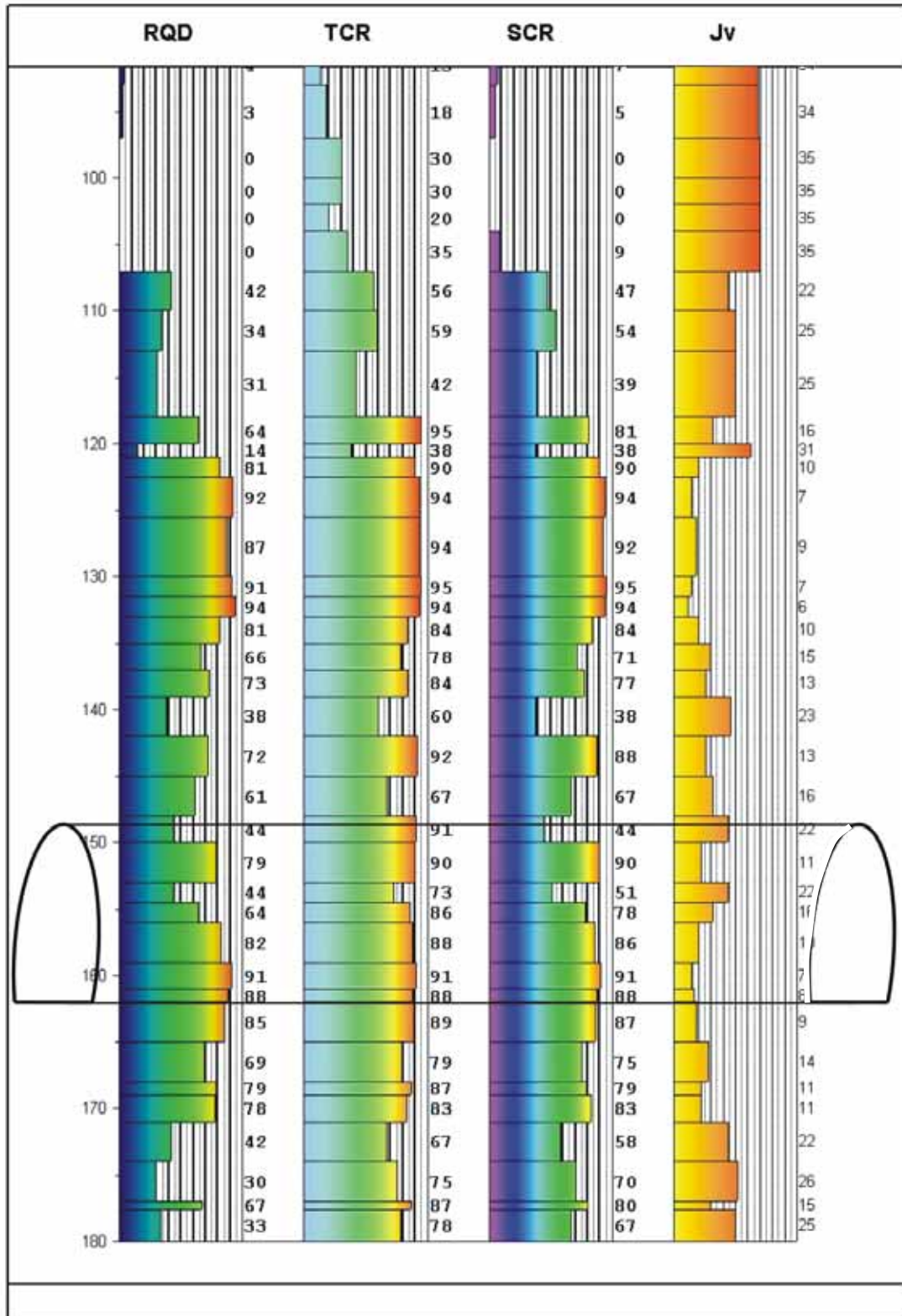
Şekil 4.2 (devamı)



Şekil 4.3. TSK-3 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri



Şekil 4.4. TSK-4 sondajındaki RQD, TCR, SCR ve Jv değerleri



Şekil 4.4. (devamı)

Yaklaşık olarak 24. metrede başlayan Katarası Formasyonunda bej-sütlü kahve renkli, yer yer kumlu seviyeler içeren kireçtaşları kesilmiştir. Bu birimin Yığıltepe formasyonuna oranla daha çok karstlaşmaya uğradığı görülmüştür. Özellikle 35.50 - 37.50 m leri arasında büyük bir karstik boşluk geçilmiştir. 37.50. m den sonra birim kumlu kireçtaşı litolojisinde gözlenmiştir. 40.70. m den sonra birim içerisinde karstik çözünmeler ve boşluklara rastlanılmış, bu nedenle bu seviyelerde RQD değerleri düşük çıkmıştır (EK-4).

TSK-2 nolu sondajın tamamı Yığıltepe Formasyonu içerisinde açılmıştır. Bu sondajda birimin litolojisi, sütlü kahve- bej renkli, yer yer kumlu seviyeler içeren kireçtaşları olarak belirlenmiştir. Birimde sondaja paralel yönde gelişen çatlaklar boyunca karstlaşma gözlemlenmiştir. Birim içerisinde yer yer çakıllara rastlanılmıştır. Birimin yaklaşık 33. metresinde fay zonuna girilmiş, bu seviyede ince bir breşik zon kesilmiştir. Aynı şekilde yaklaşık 160. metrede de bir fay zonuna girilmiş ve bu kesimde de breş kesilmiştir. 170. metrede koyu bordo-vişne rengi breşik seviyeye rastlanılmış bu kesimde ayrıca boksitlerde gözlemlenmiştir. Bu seviyeden sonra sütlü kahve-bej renkli kireçtaşları devam etmiştir. Breşik zonlarda RQD değerlerinde önemli düşmeler olmuştur (EK-4).

TSK-3 nolu sondajın tamamı Yığıltepe Formasyonu içerisinde açılmıştır. Birim bej renkli kireçtaşları ile başlamış olup, yer yer pembemsi bej renkli olarak gözlenmiştir. 18. metre civarında çatlaklar boyunca FeO sıvamalarına rastlanılmıştır.

TSK- 4 nolu sondajın ilk 64m si Yığıltepe Formasyonu içinde geçmektedir. Birimin ilk seviyeleri bej renkli kireçtaşı olup, 50. metrede yer yer pembemsi renk almaktadır. Birimde ana çatlak yüzeyleri boyunca kalsit dolgusunun yanı sıra kil ve klorit dolguya rastlanılmıştır. 64. metrede fay zonu kesilmiş bu kesimde breşik doku, kloritler ve FeO lara rastlanılmıştır. 64. m den sonra Katarası formasyonuna girilmiştir. 80-85 m ve 90-102 m leri arasında milonit zonları kesilmiş olup, killer içerisinde kayaç parçaları ve kloritlere rastlanılmıştır. Bu seviyeden sonra sondajın sonuna kadar sütlü kahve- bej renkli kireçtaşları kesilmiştir (EK-4).

TSK-1 nolu sondajın tamamı değerlendirildiğinde, ortalama RQD değeri 57, TCR değeri 80, SCR değeri 59 ve Jv değeri 18 olarak bulunmuştur. Deere (1963)' e göre RQD değeri orta kaliteli kaya sınıfı içinde yer almaktadır. Jv değeri ise Palmstörn (1996)' ya göre yüksek sınıf içinde yer almaktadır.

Sondaj ekipmanının ve elemanını çalışma kaliteleri hakkında fikir veren TCR ve SCR değerlerine göre ise sondaj ekipmanı iyi nitelikte olup, sondaj elemanları orta kalitede çalışmışlardır. Kaya kütleleri sınıflama sistemlerinde dikkate alınan 20-60.30 m derinlikleri arasında kalan kısım incelendiğinde RQD için; ortalama değer 50, en büyük değer 81, en küçük değer ise 15 dir. Jv değeri için ise ortalama değer 20, en büyük değer 30 ve en küçük değer 30 olarak belirlenmiştir.

TSK-2 nolu sondajın tamamı değerlendirildiğinde ortalama değerler; RQD için 75, TCR için 88, SCR için 79 ve Jv için 12 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden RQD değeri Deere (1963)' e göre iyi kaya kalitesi sınıfındadır. Sondaj ekipmanı ve sondaj elemanı ise iyi-çok iyi kalitelidir. Palmstörn (1996)' e göre Jv değerleri yüksek sınıf içinde yer almaktadır.

Kaya kütlesi için değerlendirme yapılacak aralık dikkate alındığında, ortalama RQD değeri 66, en büyük değer 95 ve en küçük değer 0 olarak hesaplanmıştır. Jv değeri için ise ortalama değer, 15, en büyük değer 35 ve en küçük değer ise 6 olarak belirlenmiştir.

TSK-3 nolu sondajın tamamı değerlendirildiğinde; ortalama değerler; RQD için 78, TCR için 90, SCR için 80 ve Jv için 11 olarak belirlenmiştir. RQD değeri Deere (1963)' e göre iyi kaya kalitesi sınıfında yer almaktadır. Jv değeri ise Palmstörn (1996)' ya göre yüksek sınıfta yer almaktadır.

Kaya kütlesi sınıflama sistemleri için değerlendirme yapılacak aralık göz önüne alındığında ise, ortalama RQD değeri 80, en büyük değer 100 ve en küçük değer 45 dir. Jv değeri için ise ortalama değer 11, en büyük değer 5 ve en küçük değer ise 5 olarak belirlenmiştir.

TSK-4 nolu sondajın tamamı değerlendirildiğinde; ortalama RQD değeri 64, TCR değeri 78, SCR değeri 69 ve Jv değeri ise 15 dir. RQD değeri Deere (1963)' e göre orta kaya kalitesi sınıfında, Jv değeri ise Palmstörn (1996)'e göre yüksek sınıfta yer almaktadır.

Kaya kütlesi sınıflama sistemleri için değerlendirme yapılacak aralık göz önüne alındığında RQD değeri, ortalama 65, en büyük değer 91 ve en küçük değer 30 olarak belirlenmiştir. Jv değeri için ise ortalama; 15, en büyük değer 26 ve en küçük değer 26 dır.

Sondaj karotlarının tamamında süreksizliklerin eğim miktarları, süreksizlik duvarının durumu ve karot boyları incelenerek bunlar log halinde EK-4 de sunulmuştur. Bu incelemeler sonucunda ;

TSK-1 nolu sondajda değerlendirme yapılan 20-60.30 m arasında kalan kesimdeki süreksizliklerin normal koşullar için ağırlıklı olarak, düz - kaygan duvarlardan oluştuğu, alterasyon olarak renk değişiminin gözlemlendiği, en kötü koşullar için değerlendirmeye alınacak durum olarak da düz –kaygan renk değişimli, en iyi koşullar için ise düz – dalgalı duvardan oluştuğu belirlenmiştir. Ana süreksizlik eğim dereceleri ise ortalama 50-60° aralığındadır (EK-4).

TSK-2 nolu sondajda değerlendirme yapılan 147-175 m arasında kalan kesimdeki süreksizlik duvar durumları normal koşullar için; ağırlıklı olarak düz ve renk değişimi ile altere olmuş, 1mm den küçük kil dolgulu, en kötü koşullar için ise düz kaygan, alterasyon ile renk değişimine uğramış ve klorit dolgulu, en iyi koşullar için ise; düz dalgalı, 0.1 mm den küçük karbonat dolguludur. Ana süreksizliklerin eğim dereceleri ise ortalama 30 - 40° arasındadır (EK-4).

TSK-3 nolu sondajda değerlendirme yapılan, 29.80 -60.00 m arasında kalan kesimdeki süreksizlik duvarlarının durumu normal ve en kötü koşullar için; ağırlıklı olarak düz-kaygan, klorit dolgulu, altere olmuş renk değişimli ve yer yer terra rosa killeri ile sıvanmış durumda, en iyi koşullarda değerlendirilebilecek duvar durumu ise az çıkıntılı –düz, alterasyon sonucu renk değişimli ve klorit, yer yer de kil dolgulu olarak belirlenmiştir (EK-4). Ana süreksizliklerin eğim miktarları ise 40-50° arasındadır bulunmaktadır. Bu değerler yüzey ölçümleri ile karşılaştırıldığında tutarlılık göstermektedir.

TSK-4 nolu sondajda değerlendirme yapılan, 136.70 -180.00 m arasında kalan kesimdeki süreksizlik duvarlarının durumu normal ve en kötü koşullar için; ağırlıklı olarak, düz-kaygan, klorit dolgulu, altere olmuş renk değişimli ve yer yer terra rosa killeri ile sıvanmış durumda, en iyi koşullarda değerlendirilebilecek duvar durumu ise az çıkıntılı –düz alterasyon sonucu renk değişimi oluşmuş, kil ve kayaç parçası dolgulu olarak gözlenmiştir (EK-4). Ana süreksizliklerin eğim miktarları ise; 50-70° arasında yoğunlaşır.

Sondajlardan yapılan değerlendirmelere ait bulgular Çizelge 4.2 de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. Sondaj karotlarından yapılan ölçüm ve değerlendirme sonuçları özeti

Sondaj No	Km:	Derinlik	Koşullar	RQD	Deere (1963) kaya kalitesi sınıfı	Jv	Süreksizlik duvarının Durumu	Eğim Miktarı
TSK-1	102+810	20.00-60.30	Ortalama	50	Orta Kaya Kalitesi	20	Düz-Kaygan renk değişimi	50-60°
			En iyi	81	İyi Kaya Kalitesi	10	Düz dalgalı renk değişimi	
			En Kötü	15	Çok Zayıf Kaya Kalitesi	30	Düz-Kaygan renk değişimi	
TSK-2	103+618	147.00-175.00	Ortalama	66	Orta Kaya Kalitesi	15	Düz renk değişimi <1mm kil dolgulu	30-40°
			En iyi	95	Çok İyi Kaya Kalitesi	6	Düz-dalgalı karbonat dolgulu	
			En Kötü	0	Çok Zayıf Kaya Kalitesi	35	Düz-kaygan renk değişimi, klorit dolgulu	
TSK-3	104+000	12.80-60.00	Ortalama	80	İyi Kaya Kalitesi	11	Düz-kaygan renk değişimi klorit, kil dolgulu	40-50°
			En iyi	100	Çok İyi Kaya Kalitesi	5	Az çıkıntılı-düz renk değişimi, klorit ve kil dolgu	
			En Kötü	45	Zayıf Kaya Kalitesi	21	Düz-kaygan renk değişimi klorit, kil dolgulu	
TSK-4	103+300	136.70-180.00	Ortalama	65	Orta Kaya Kalitesi	15	Düz-kaygan renk değişimi klorit, kil terra rosa dolgulu	50-70°
			En iyi	91	Çok İyi Kaya Kalitesi	7	Az çıkıntılı-düz renk değişimi, kil ve kyç. parçası dolgu	
			En Kötü	30	Zayıf Kaya Kalitesi	26	Düz-kaygan renk değişimi klorit, kil terra rosa dolgulu	

4.1.2. Süreksizlik incelemeleri

Kayaç malzemesi ile birlikte kaya kütlesini oluşturan süreksizlikler, kaya kütlesinin tanımlanmasında ve özelliklerinin ortaya konulması sırasında araştırılması gereken önemli bir konudur. Süreksizlikler sahada çeşitli yöntemlerle incelenebilmektedir. Bunların başlıcaları; bir hat boyunca ölçüm yapılan hat etütleri ve yüzlek taramaya yönelik olan pencere etütleridir. İnceleme alanı; sarp bir topoğrafyaya sahip olması nedeni ile hat etüdü yapmaya elverişli değildir. Bu sebeple çalışma alanında yüzlek tarama şeklinde süreksizlik ölçümleri gerçekleştirilememiştir.

Çalışmalar sırasında tünel ekseni merkez kabul edilerek, 250 m lik sol ve 250 m lik sağ yöndeki alan içerisinde ölçümler yapılmıştır. Süreksizliklerin incelenmesi amacı ile güzergah 5 ana bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler; giriş bölgesi, giriş ağzı, orta bölge, çıkış ağzı ve çıkış bölgesi olarak adlandırılmıştır. Bu ana bölgeler kendi içlerinde irili ufaklı küçük çalışma alanlarına ayrılmış olup; giriş bölgesi 9 küçük alana bölünmüş ve bu alanlarda inceleme yapılmıştır. Orta bölge ise 7 alana bölünmüş ve bu alanlarda çalışma yapılmıştır. Son olarak çıkış bölgesi daha sistematik ve düzenli bir yapı sunması sebebi ile 4 bölgeye ayrılarak inceleme yapılmıştır.

Saha ölçümleri ISRM (1978)' de tavsiye edilen yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Buna göre sahada süreksizliklerin aralık, açıklık, devamlılık, yönelim, dalgalılık-pürüzlülük, dolgu durumu, süreksizlik yüzeyinin dayanımı parametreleri araştırılmıştır.

İncelemeler sondaj karotları ile de denştirilerek kütle sınıflamalarında kullanılacak olan değerler belirlenmeye çalışılmıştır.

Tünel güzergahının içinde bulunduğu birimler yoğun bir şekilde karstlaşmaya uğramış kireçtaşlarından oluşmaktadır (Foto 4.1 ve 4.2). Bu sebeple saha ölçümlerinden elde edilen bazı parametreler yerine sondajlardan elde edilen ölçümlerin kullanılması uygun görülmüştür. Özellikle dalgalılık ve pürüzlülük parametrelerinin değerlendirilmesinde sondaj karotlarından faydalanılmıştır. Yapılan ölçümler ve bunların değerlendirmeleri aşağıda süreksizlik parametrelerine göre düzenlenerek anlatılmaktadır.



Foto 4.1. Tünel giriş bölgesindeki Katarası Formasyonu'nda gözlenen yüzeysel suların etkisi ile oluşmuş çözünme yapıları (Karren ve boşluklar)



Foto 4.2. Tünel giriş bölgesindeki Katarası Formasyonu'nda gözlenen karren oluşumu

4.1.2.1 Süreksizliklerin Yönelimi

Sahada jeolog pusulası ile süreksizliklerin eğim/eğim yönleri ölçülmüştür. Ana bölgeler bazında değerlendirmeler aşağıda görüldüğü gibidir.

a) Giriş bölgesi süreksizliklerinin yönelimi

Km:102+400-102+800 arasında kalan bu bölgede toplam 9 küçük alanda ölçüm yapılmıştır. Açık kazı ile geçilecek olan bu bölgede şev stabilitesi analizlerinde kullanılacak olan kinematik yöntem dikkate alındığında sol ve sağ taraftaki bölgeler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

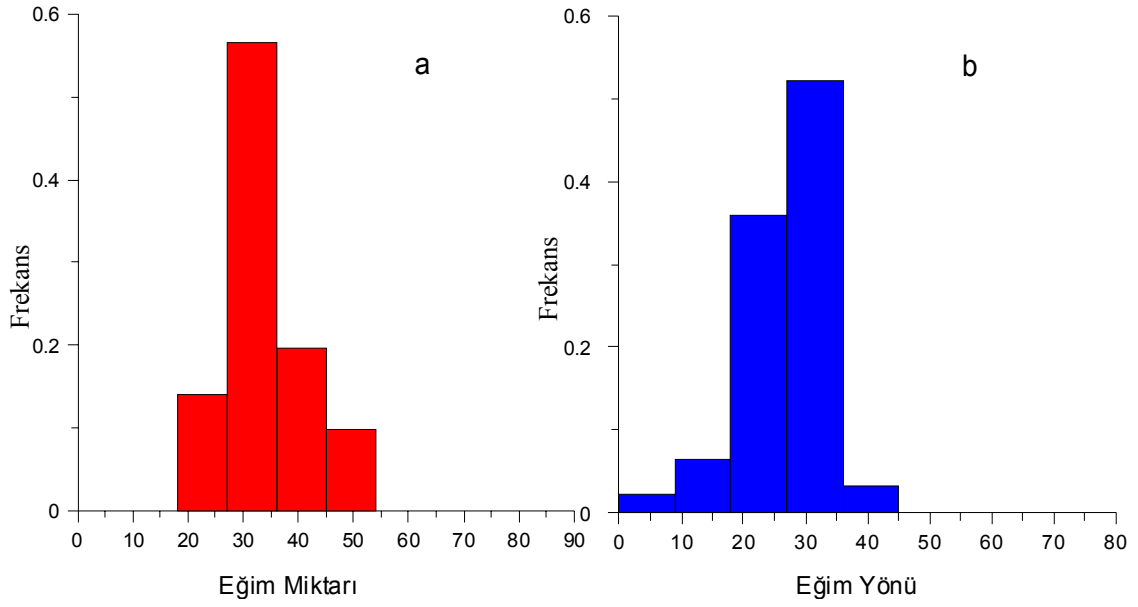
Giriş bölgesinde sol ve sağ tarafta kalan bölgeler için tabaka ve eklemler ayrı ayrı değerlendirilmiş, eğim yönleri ve eğim miktarları için histogram çözümlenmeleri yapılmıştır.

Sol taraf için tabakaların eğim miktarlarına ve eğim yönlerine göre histogram çözümlenmeleri hazırlanmıştır (Şekil 4.5). Aynı şekilde tabakalar için yapılan sterografik izdüşüm yöntemi sonucunda hakim tabaka setlerinin eğim miktarı ve eğim yönü $33^{\circ}/032^{\circ}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6).

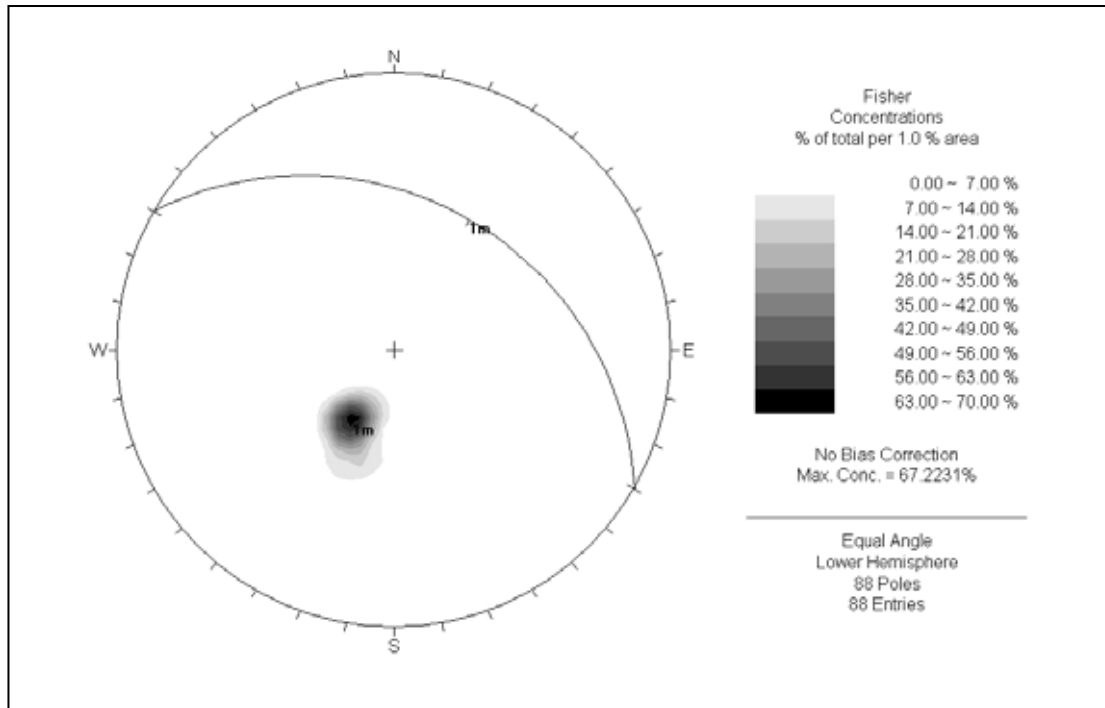
Giriş bölgesi sağ taraf tabakalar için eğim miktarı ve eğim yönü histogram çözümlenmeleri Şekil 4.7 de görüldüğü gibidir. Yapılan sterografik izdüşüm çözümlenmesi sonucunda sağ tarafta hakim tabaka setlerinin eğim miktarı ve eğim yönü $36^{\circ}/027^{\circ}$ ve $25^{\circ}/300^{\circ}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8).

Giriş bölgesinde ölçülen eklemlerin sol taraf için eğim miktarı ve eğim yönüne göre yapılan histogram çözümlenmesi ve sterografik izdüşüm çözümlenmesi sonucu hakim eklem setlerinin; $71^{\circ}/80^{\circ}$, $73^{\circ}/45^{\circ}$, $40^{\circ}/20^{\circ}$, $84^{\circ}/271^{\circ}$ ve $58^{\circ}/297^{\circ}$ olmak üzere 5 bölgede yığılım yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).

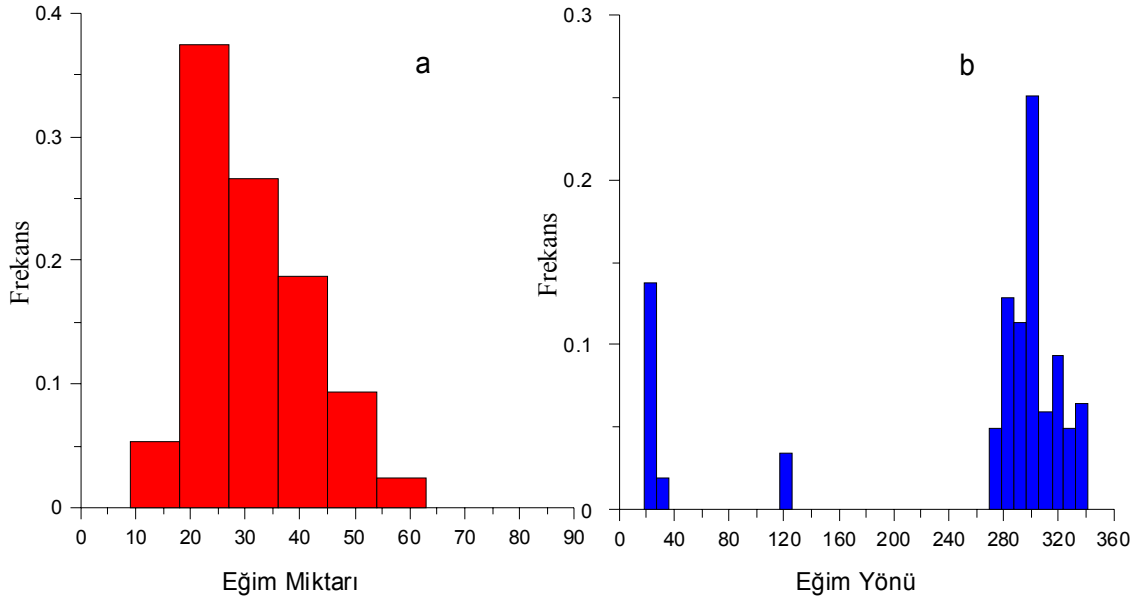
Sağ taraftaki eklemler için yapılan eğim miktarı ve eğim yönü histogram çözümlenmeleri ve sterografik izdüşüm çözümlenmesi sonucu hakim eklem setlerinin bu kesimde; $65^{\circ}/156^{\circ}$, $63^{\circ}/93^{\circ}$, $66^{\circ}/352^{\circ}$, $72^{\circ}/308^{\circ}$ ve $47^{\circ}/269^{\circ}$ olmak üzere 5 bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).



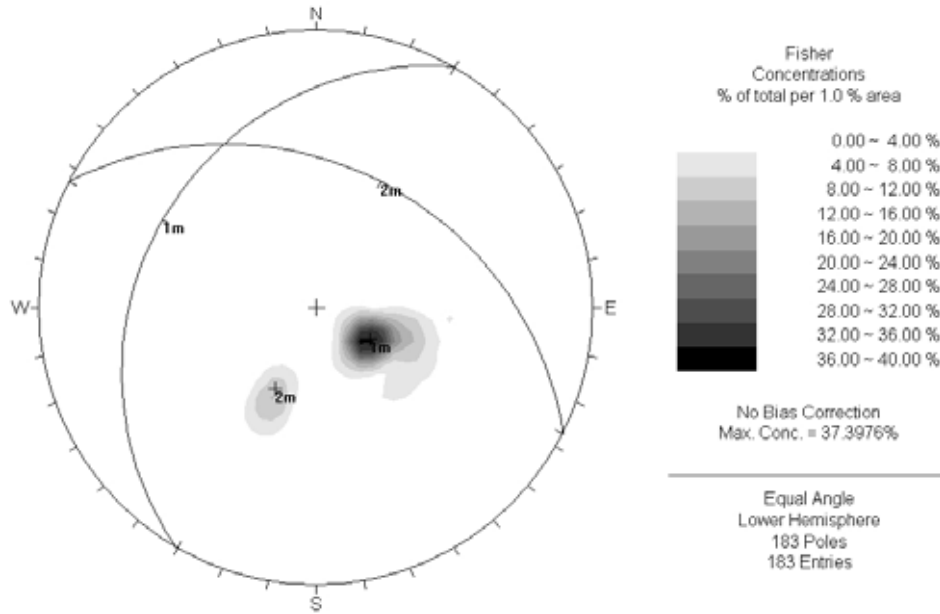
Şekil 4.5. Giriş bölgesi sol taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.



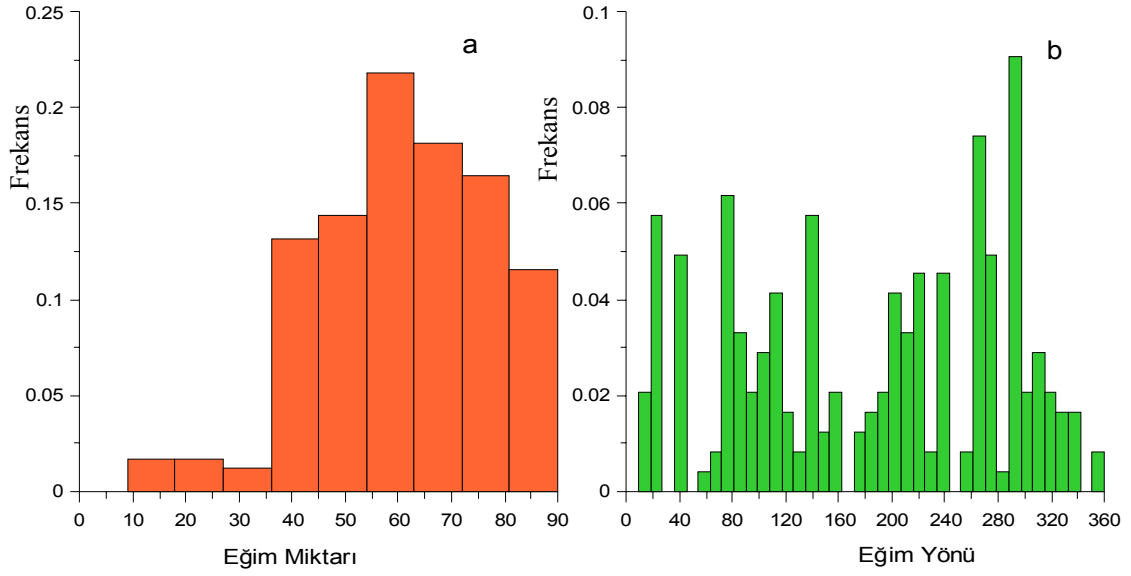
Şekil 4.6. Giriş bölgesi sol taraf tabakalara ait kontur diyagram.



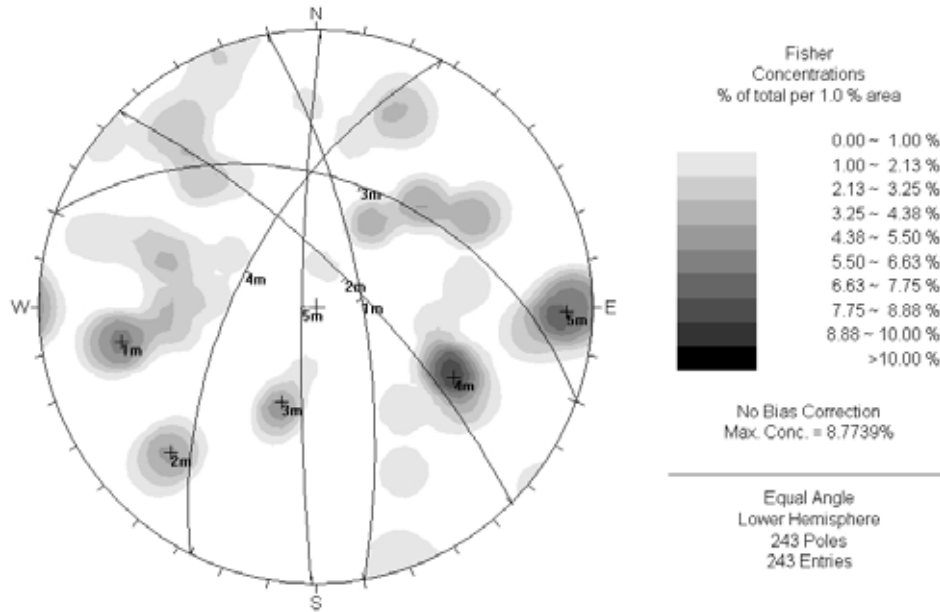
Şekil 4.7. Giriş bölgesi sağ taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



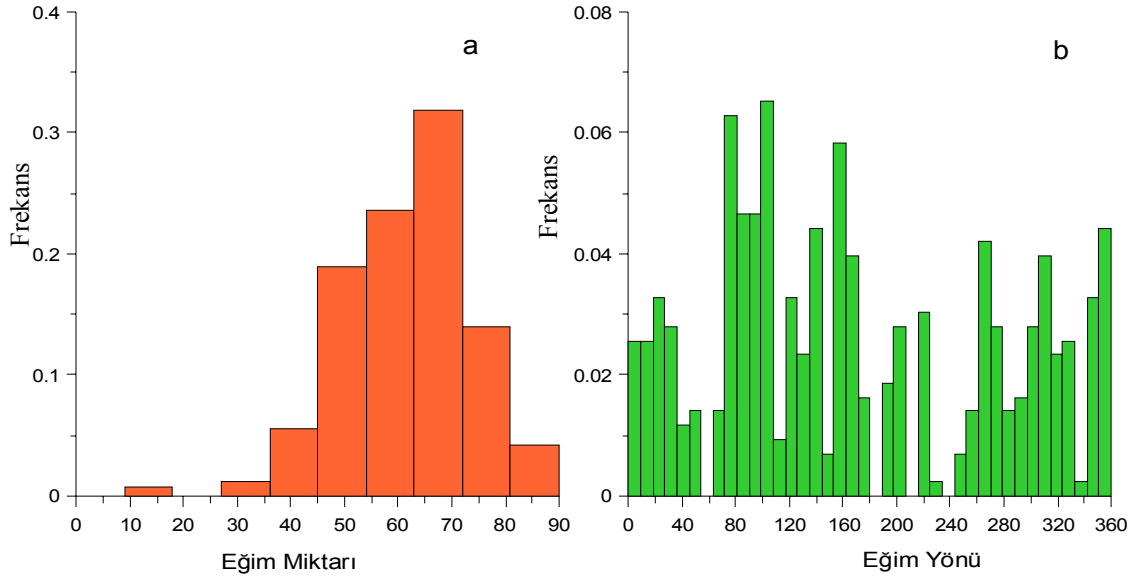
Şekil 4.8. Giriş bölgesi sağ taraf tabakalara ait kontur diyagram



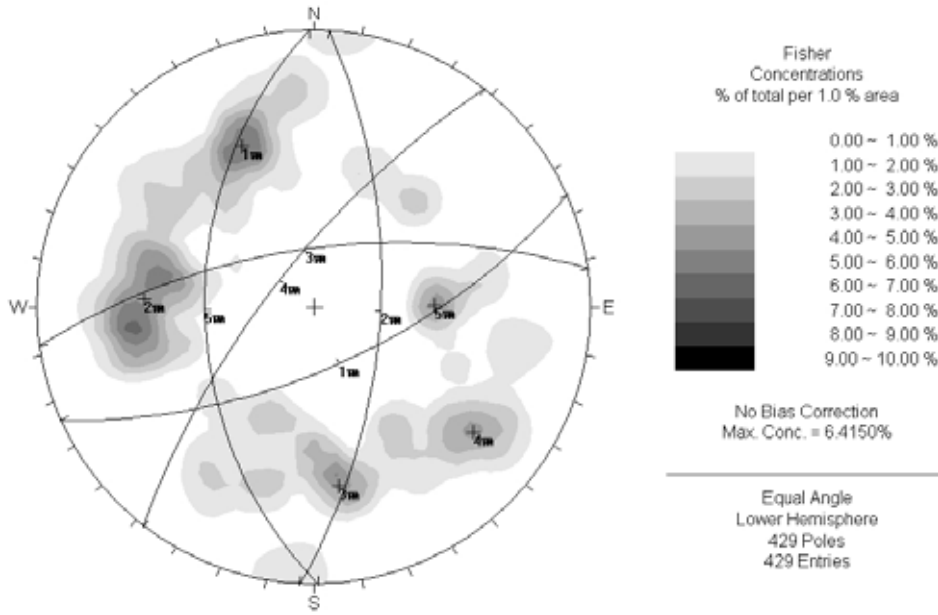
Şekil 4.9. Giriş bölgesi sol taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



Şekil 4.10. Giriş bölgesi sol taraf eklemlere ait kontur diyagram



Şekil 4.11. Giriş bölgesi sağ taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.



Şekil 4.12. Giriş bölgesi sağ taraf eklemlere ait kontur diyagram

b) Giriş ağız süreksizliklerinin yönelimi

Tünelin giriş kesimi olan Km: 102+810 den 102+850 ye kadar olan alanda yapılan süreksizlik ölçümleri tabaka ve eklem olarak ayrılmış, bunlar değerlendirilmiştir. Buna göre, giriş ağız için kinematik analiz yöntemi ile yapılacak olan alın şevi dizaynı için hakim süreksizlik setleri belirlenmiştir. Giriş ağızında tabakalar için eğim miktarı ve eğim yönüne göre yapılan histogram çalışmaları ve sterografik izdüşüm analizi sonucunda; $36^{\circ}/024^{\circ}$ yöneliminde yığışım olduğu görülmektedir (Şekil 4.13 ve 4.14).

Giriş ağızında bulunan eklemeler için yapılan analizler sonucu ise; eklemelerin, $55^{\circ}/069^{\circ}$, $67^{\circ}/122^{\circ}$ ve $65^{\circ}/278^{\circ}$ bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.15 ve 4.16).

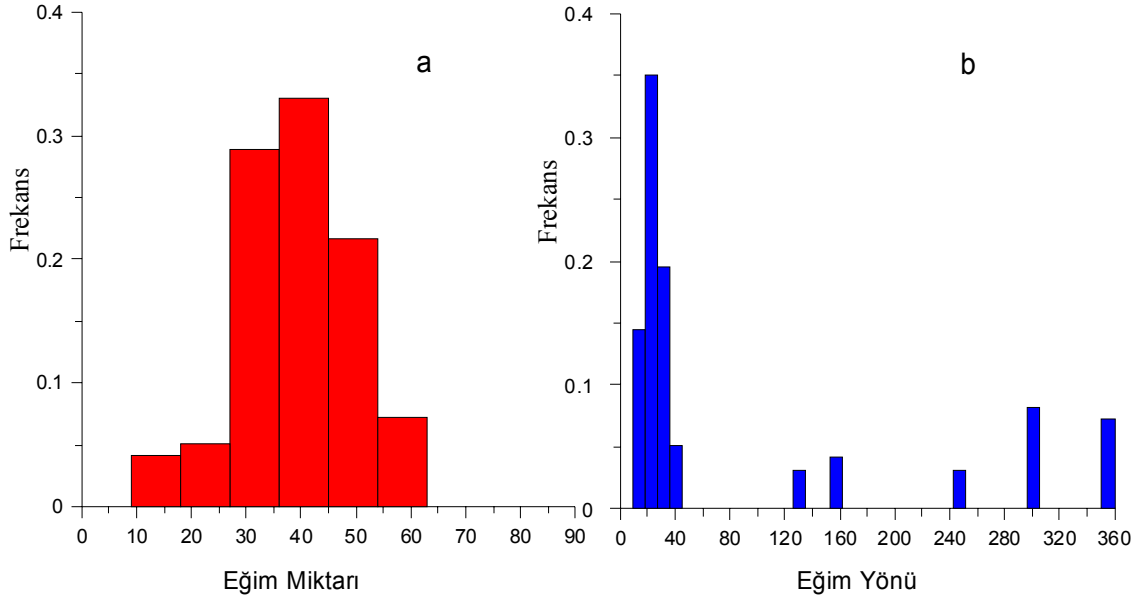
c) Orta bölge süreksizliklerinin yönelimi

Km: 102+850 ile 103+950 arasında kalan orta bölgede, süreksizlik ölçümleri üzerinde yapılan çalışmalar tabaka ve eklem olarak iki kısımda incelenmiştir. Tabakalar için, eğim miktarı ve eğim yönüne göre yapılan histogram çözümlenmeleri ve sterografik izdüşüm analizi sonucunda hakim tabaka düzlemlerinin; $26^{\circ}/109^{\circ}$, $35^{\circ}/162^{\circ}$ ve $55^{\circ}/97^{\circ}$ olmak üzere 3 bölgede yoğunlaştıkları belirlenmiştir (Şekil 4.17 ve 4.18).

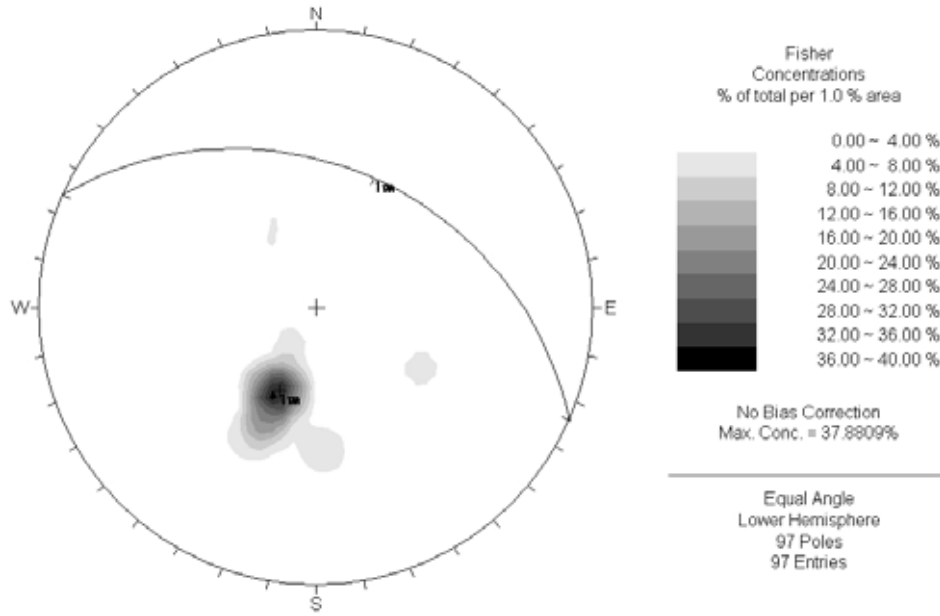
Orta bölgede eklemeler üzerinde eğim miktarı ve eğim yönüne göre yapılan histogram çözümlenmeleri ve sterografik izdüşüm analizi sonucunda hakim eklem düzlemlerinin; $69^{\circ}/134^{\circ}$, $66^{\circ}/177^{\circ}$, $43^{\circ}/47^{\circ}$, $75^{\circ}/287^{\circ}$ ve $75^{\circ}/247^{\circ}$ olmak üzere 5 bölgede yığışım yaptıkları belirlenmiştir (Şekil 4.19 ve 4.20).

d) Çıkış ağız süreksizliklerinin yönelimi

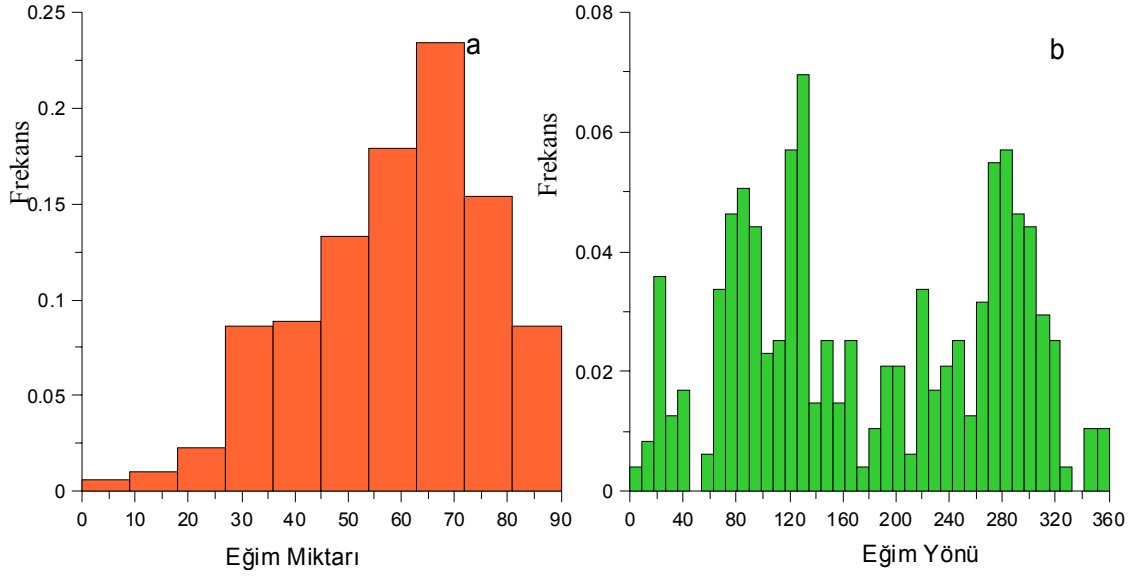
Tünel geçkisinin çıkacağı kesim olan Km: 104+000 ve 50 m. gerisini kapsayan çıkış ağız bölgesinin alın şevinin tasarımında kullanılacak olan kinematik yöntem için veri sağlamak amacı ile yapılan süreksizlik değerlendirmeleri tabaka ve eklemeler ayrı ayrı olmak üzere iki kısımda değerlendirilmiştir. Tabaka ölçümleri üzerinde eğim yönü ve eğim miktarına göre histogram çözümlenmeleri ve sterografik izdüşüm analizi yapılmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda çıkış ağızında bulunan



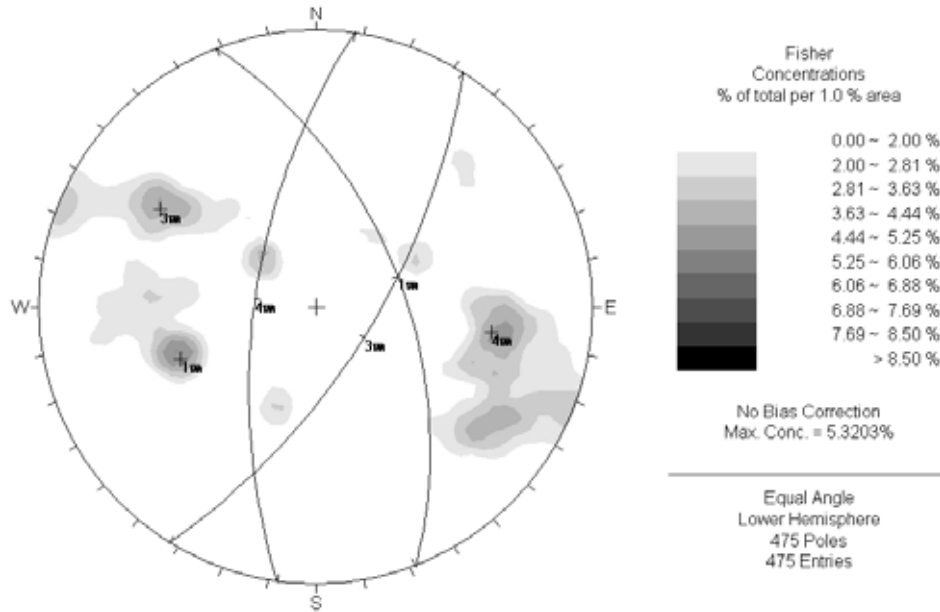
Şekil 4.13. Giriş ağız tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



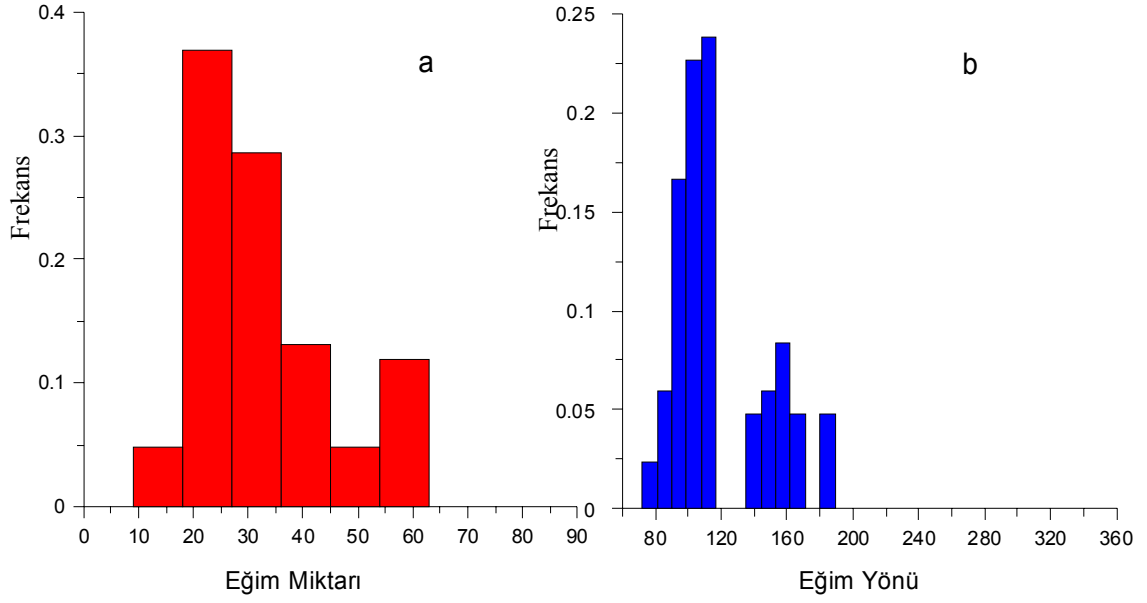
Şekil 4.14. Giriş ağız tabakalara ait kontur diyagram



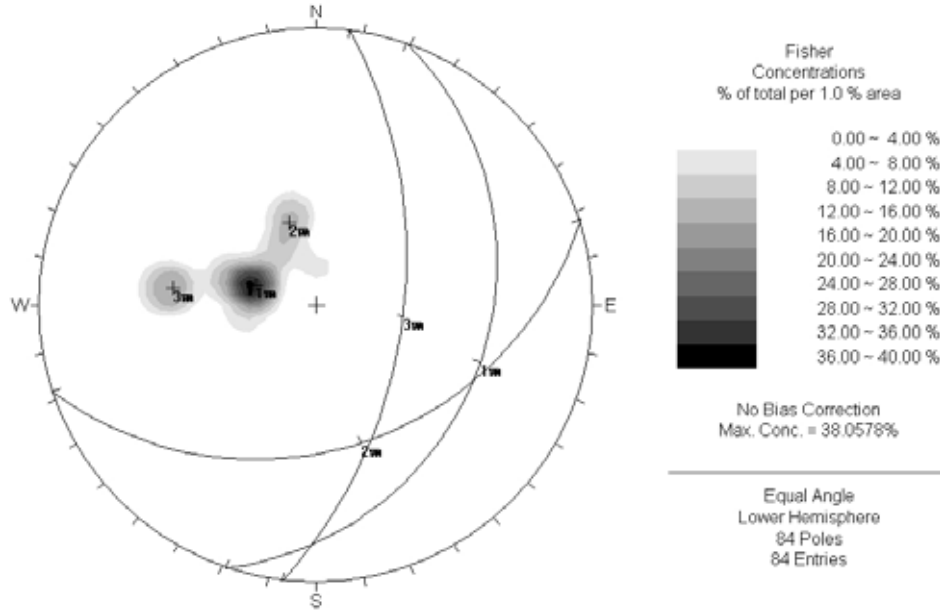
Şekil 4.15. Giriş ağız eklemelere ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



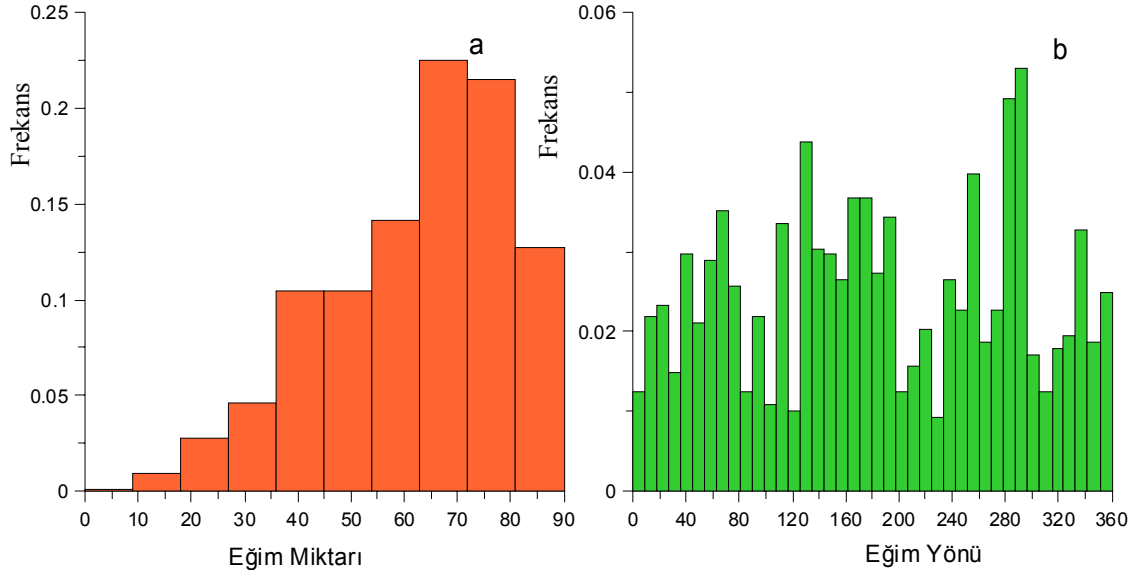
Şekil 4.16. Giriş ağız eklemelere ait kontur diyagram



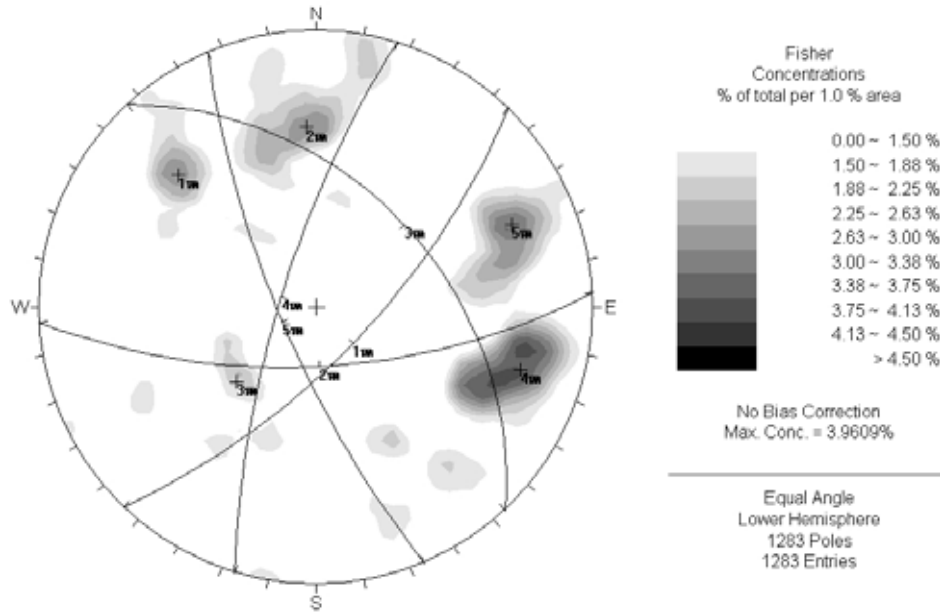
Şekil 4.17. Orta bölge tabakalara ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



Şekil 4.18. Orta bölge tabakalara ait kontur diyagramı.



Şekil 4.19. Orta bölge eklemlere ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri.



Şekil 4.20. Orta bölge eklemlere ait kontur diyagramı.

tabakaların $61^{\circ}/187^{\circ}$, $34^{\circ}/40^{\circ}$ ve $54^{\circ}/130^{\circ}$ bölgelerinde yığışım yaptıkları belirlenmiştir (Şekil 4.21 ve 4.22).

Çıkış ağzındaki eklemler üzerinde yapılan, eğim yönü ve eğim miktarına göre histogram çözümlenmeleri ve sterografik iz düşüm analizi sonucunda bu bölgedeki eklemlerin; $66^{\circ}/159^{\circ}$, $67^{\circ}/140^{\circ}$, $87^{\circ}/103^{\circ}$, $44^{\circ}/43^{\circ}$, $68^{\circ}/18^{\circ}$ ve $61^{\circ}/86^{\circ}$ olmak üzere 6 bölgede yığışım yaptıkları belirlenmiştir (Şekil 4.23 ve 4.24).

e) Çıkış bölgesi süreksizliklerinin yönelimi

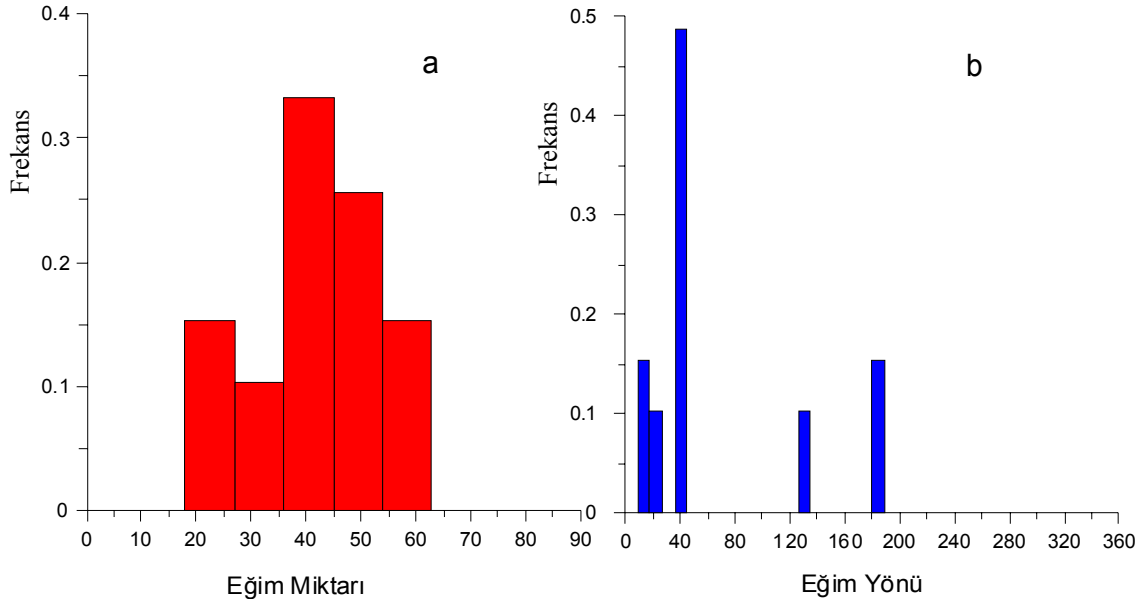
Km: 104+000 – 104+300 arasında açık kazı ile geçilecek bu bölge sol ve sağ olarak iki kısımda incelenmiştir.

Sol taraf için tabakaların eğim miktarlarına ve eğim yönlerine göre yapılan histogram çözümlenmeleri Şekil 4.25 de görülmektedir. Aynı şekilde tabakalar için yapılan sterografik izdüşüm yöntemi sonucunda hakim tabaka setlerinin eğim miktarı ve eğim yönü $33^{\circ}/35^{\circ}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.26).

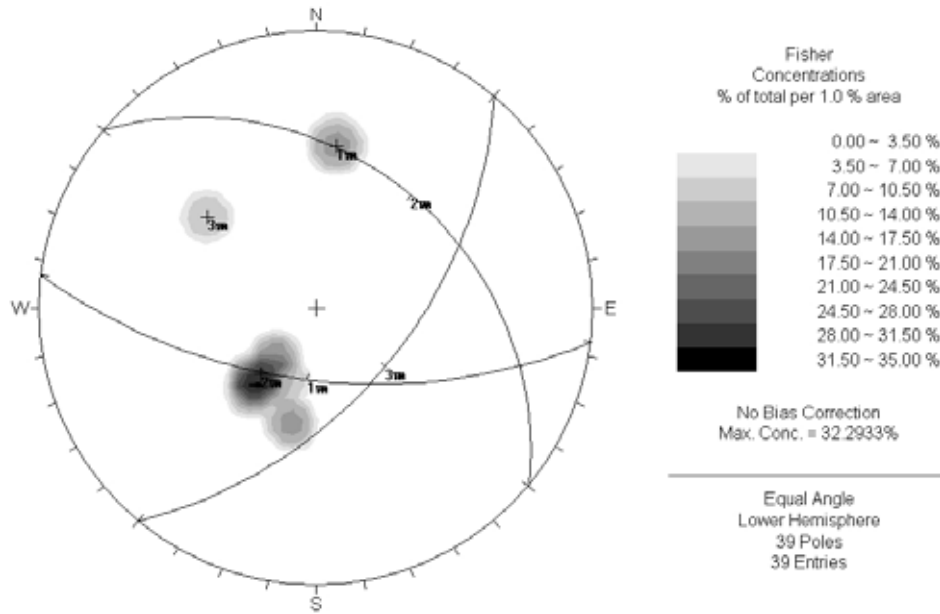
Çıkış bölgesi sağ taraf tabakalar için eğim miktarı ve eğim yönü histogram çözümlenmeleri Şekil 4.27 de görüldüğü gibidir. Yapılan sterografik izdüşüm çözümlenmesi sonucunda sağ tarafta hakim tabaka setlerinin eğim miktarı ve eğim yönü $37^{\circ}/24^{\circ}$ ve $79^{\circ}/110^{\circ}$ olmak üzere 2 bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.28).

Çıkış bölgesinde ölçülen eklemlerin sol taraf için eğim miktarı ve eğim yönüne göre yapılan histogram çözümlenmesi ve sterografik izdüşüm çözümlenmesi sonucu hakim eklem setlerinin; $78^{\circ}/172^{\circ}$, $63^{\circ}/161^{\circ}$, $76^{\circ}/258^{\circ}$ ve $62^{\circ}/283^{\circ}$ olmak üzere 5 bölgede yığışım yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).

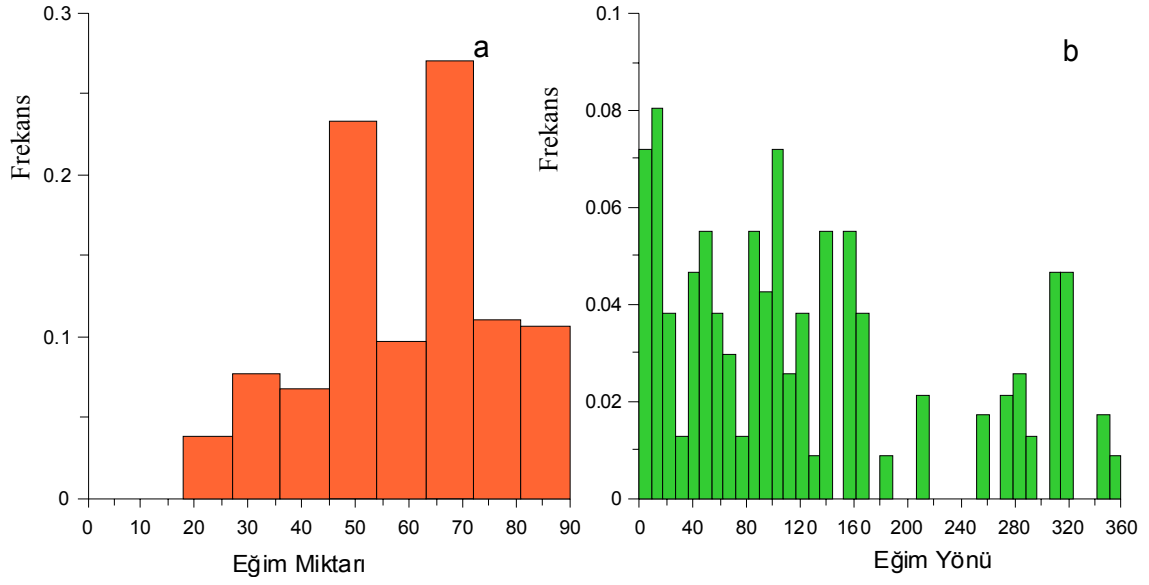
Sağ taraftaki eklemler için yapılan eğim miktarı ve eğim yönü histogram çözümlenmeleri ve sterografik izdüşüm çözümlenmesi sonucu hakim eklem setlerinin bu kesimde; $79^{\circ}/99^{\circ}$ ve $71^{\circ}/16^{\circ}$ olmak üzere 2 bölgede yığışım yaptığı belirlenmiştir (Şekil.4.31 ve Şekil 4.32).



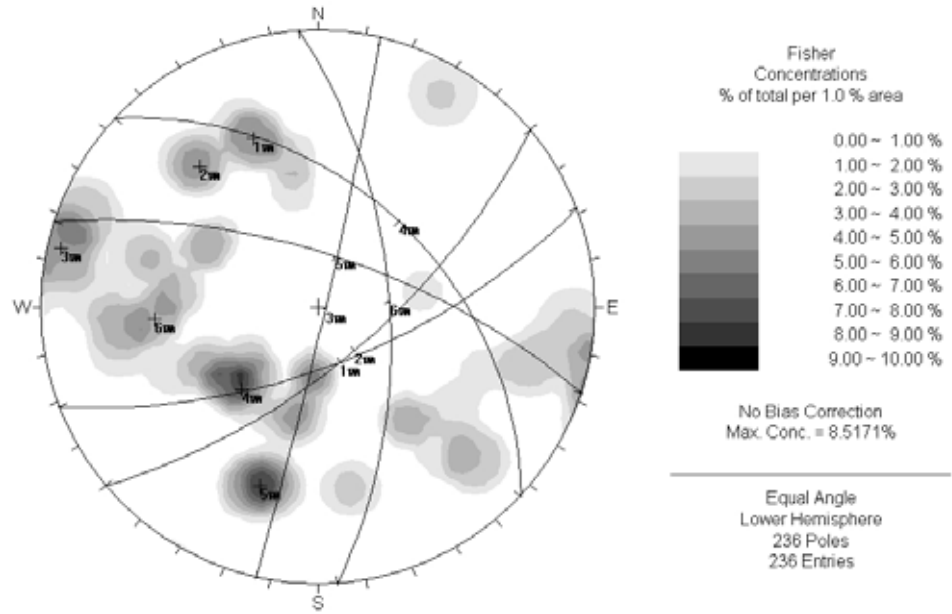
Şekil 4.21. Çıkış ağzında bulunan tabakalara ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



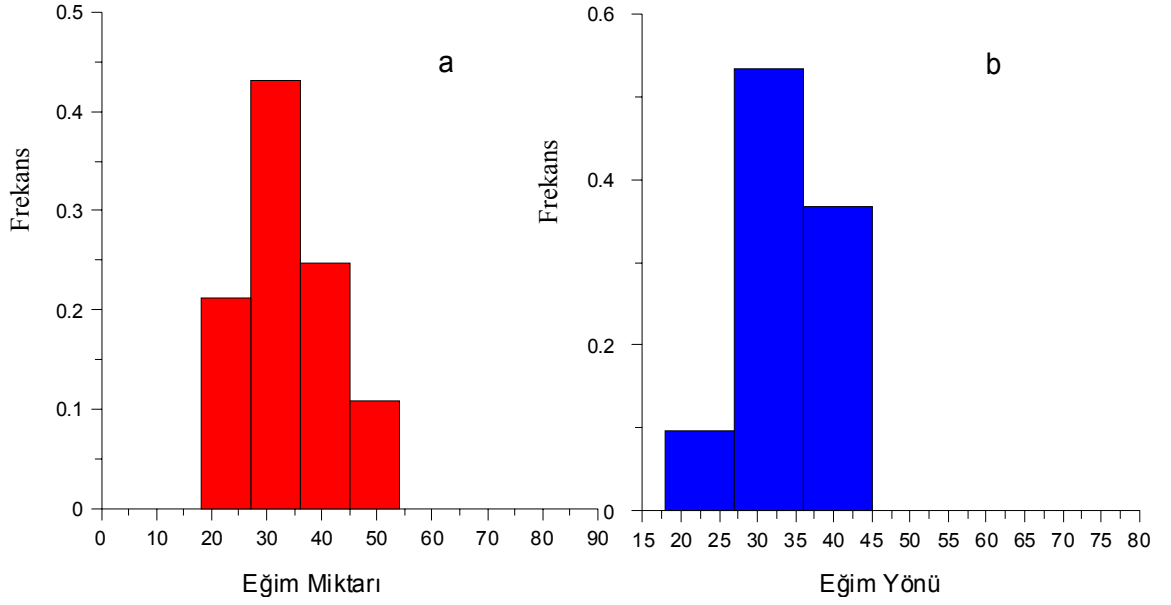
Şekil 4.22. Çıkış ağzında bulunan tabakalara ait kontur diyagramı.



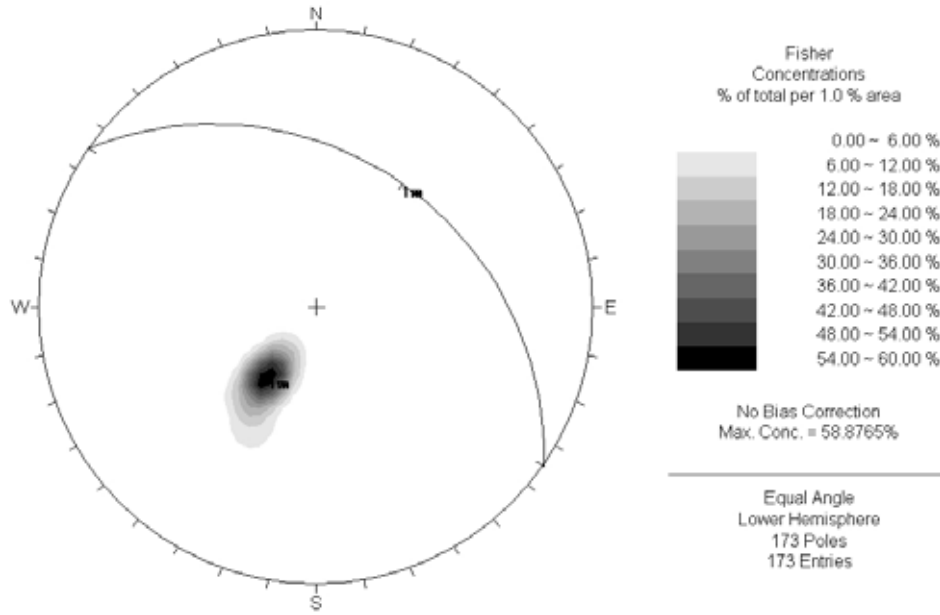
Şekil 4.23. Çıkış ağzında bulunan eklemelere ait eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



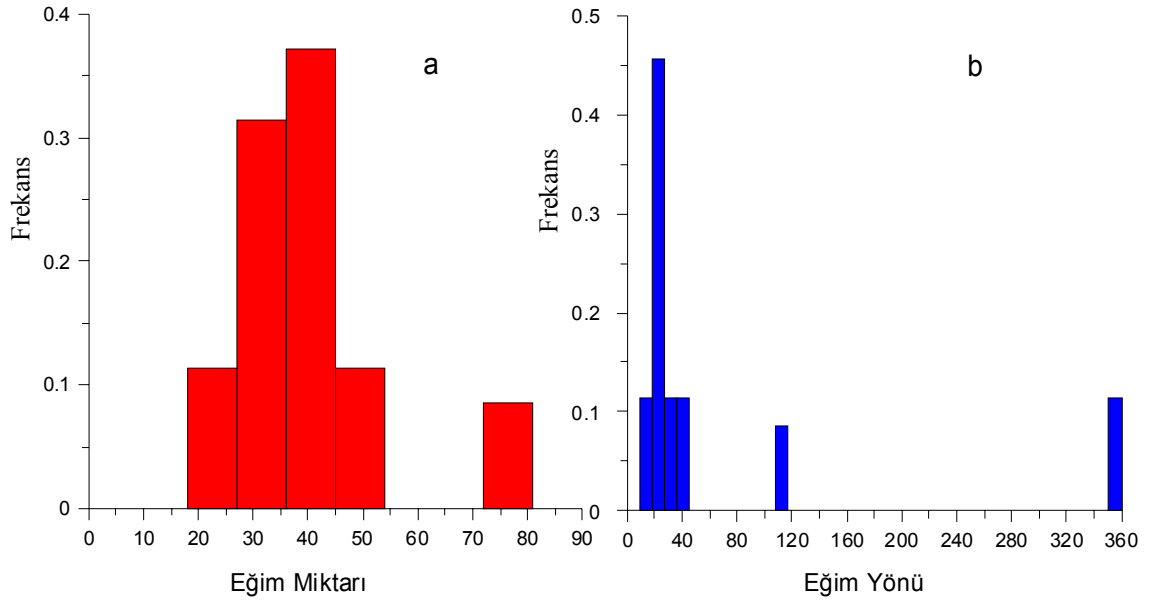
Şekil 4.24. Çıkış ağzında bulunan eklemelere ait kontur diyagram



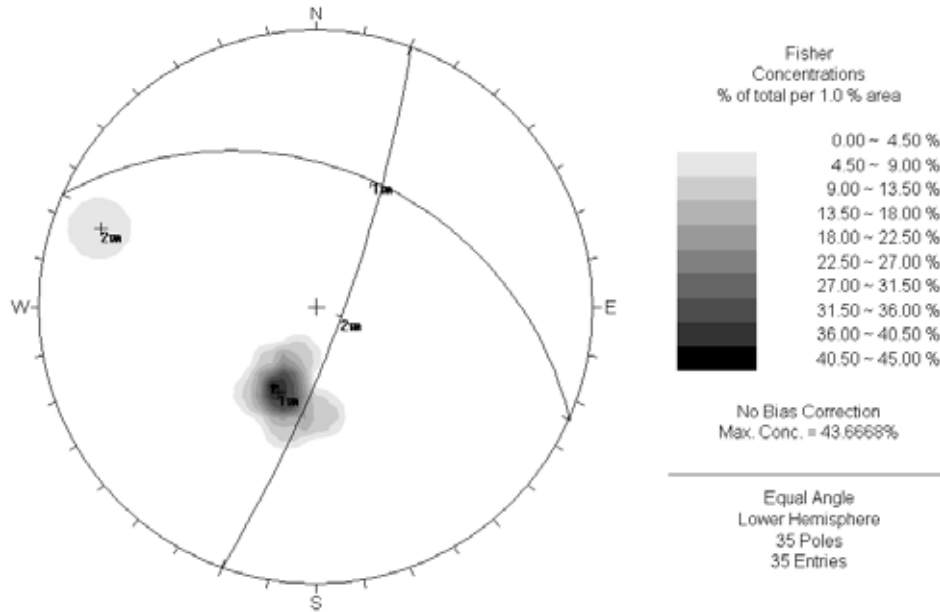
Şekil 4.25. Çıkış bölgesi sol taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



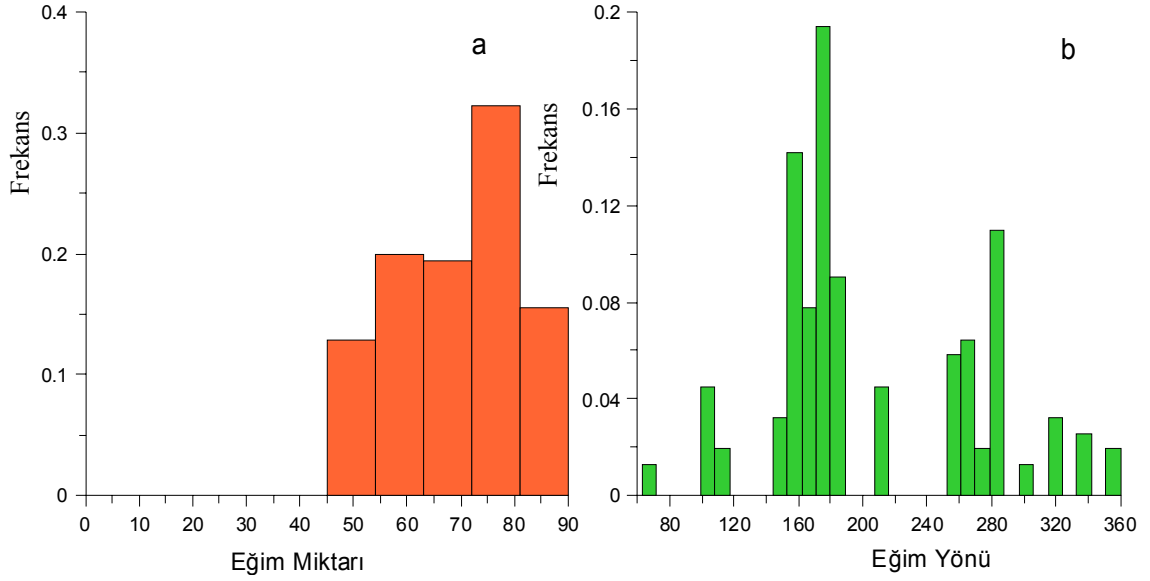
Şekil 4.26. Çıkış bölgesi sol taraf tabakalara ait kontur diyagram



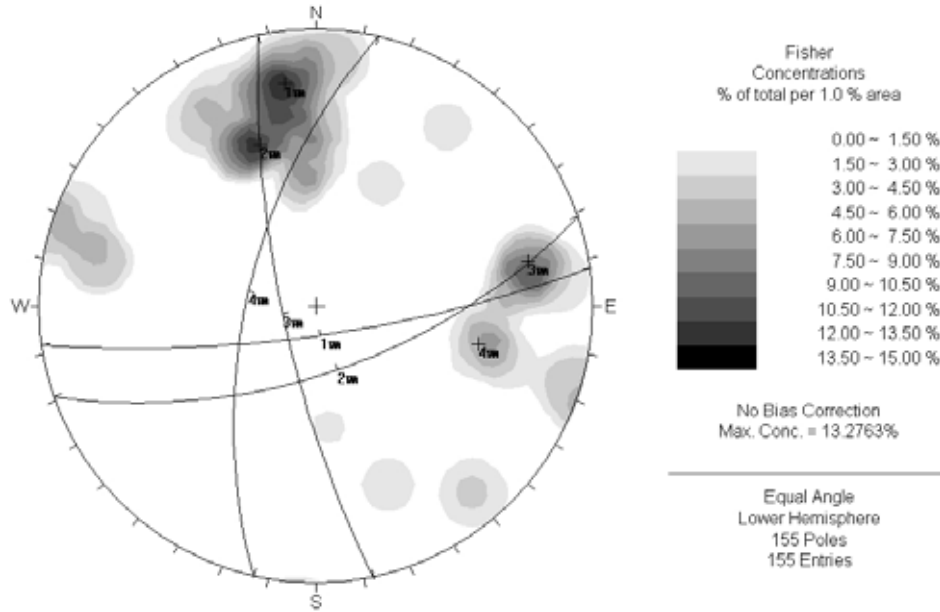
Şekil 4.27. Çıkış bölgesi sağ taraf tabaka eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



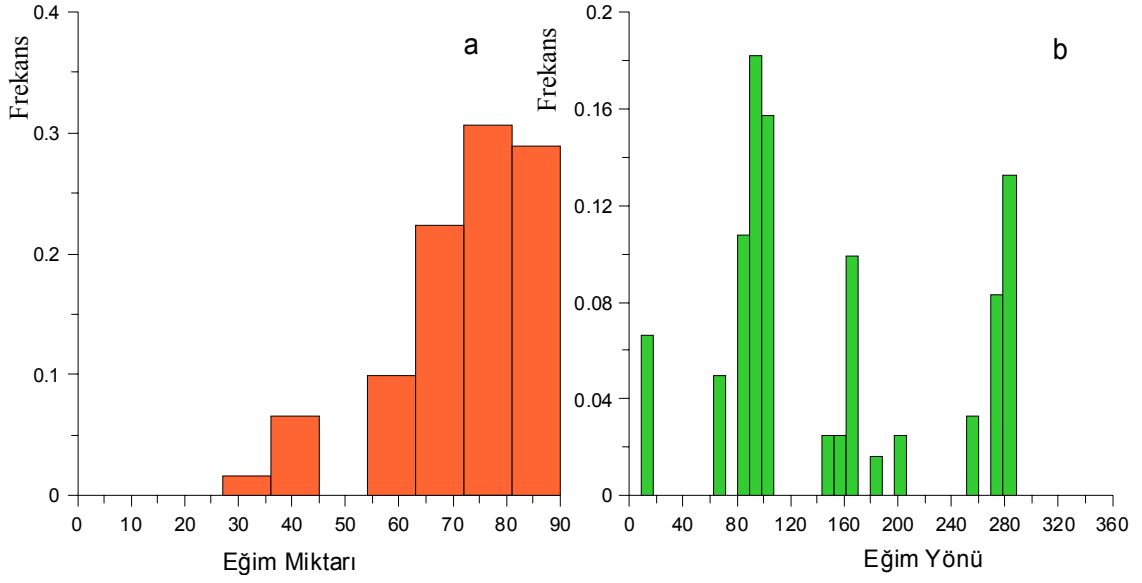
Şekil 4.28. Çıkış bölgesi sağ taraf tabakalara ait kontur diyagram



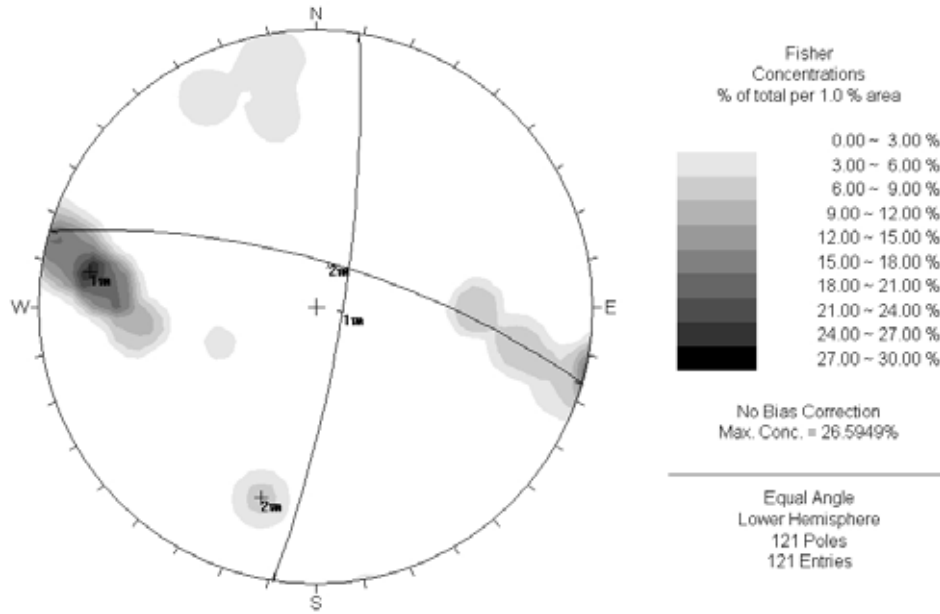
Şekil 4.29. Çıkış bölgesi sol taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümleri



Şekil 4.30. Çıkış bölgesi sol taraf eklemeler ait kontur diyagram



Şekil 4.31. Çıkış bölgesi sağ taraf eklem eğim miktarları (a) ve eğim yönleri (b) histogram çözümlenmeleri



Şekil 4.32. Çıkış bölgesi sağ taraf eklemeler ait kontur diyagram

4.1.2.2. Süreksizliklerin Aralıkları

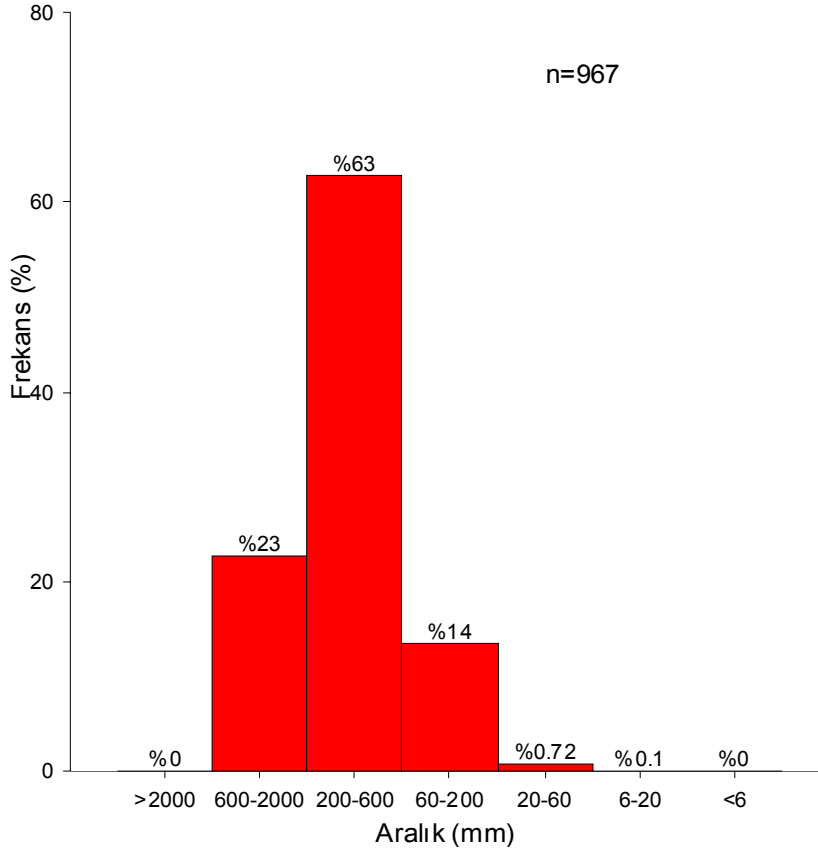
İnceleme alanı içerisinde yapılan süreksizlik ölçüm çalışmaları sırasında süreksizlik aralığı olarak adlandırılan, süreksizliklere dik yönde komşu süreksizliğe olan uzaklıklar ölçülmüştür. Bu ölçümler, beş bölge için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sondaj bulunan bölgeler için sondaj karotları üzerinden yapılan ölçümler ile saha ölçümleri karşılaştırılmış ve Bieniawski (1989) tarafından Süreksizlik aralığı ve RQD arasında önerilen ilişki de kullanılarak süreksizlik aralığı parametresi değerlendirilmiştir. Bulunan aralık değerleri ISRM (1981)' tarafından önerilen sınıflandırmaya göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.3)

Çizelge 4.3. Süreksizlik aralığı tanımlama esasları (ISRM, 1981)

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

a) Giriş bölgesi süreksizliklerinin aralıkları

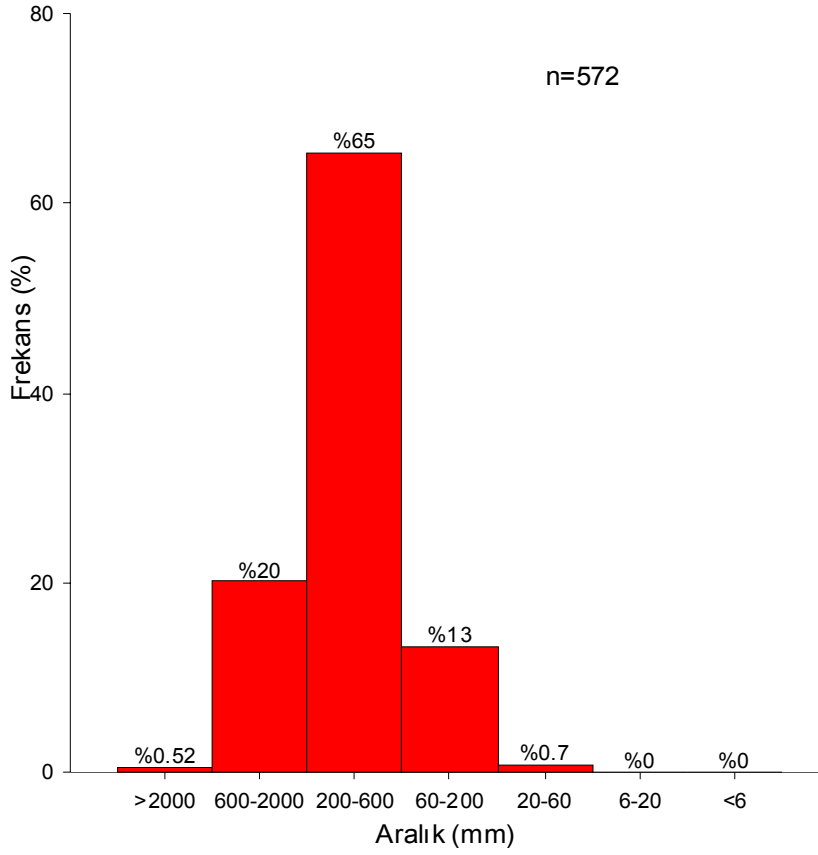
Saha çalışmaları sırasında yapılan ölçümlerin histogramda değerlendirilmesi ile süreksizlik aralığının 200-600 mm arasında yığılım yaptığı görülmektedir (Şekil 4.33). ISRM (1981)' e göre giriş bölgesi eklem aralıkları Orta aralıklı sınıfta yer almaktadır.



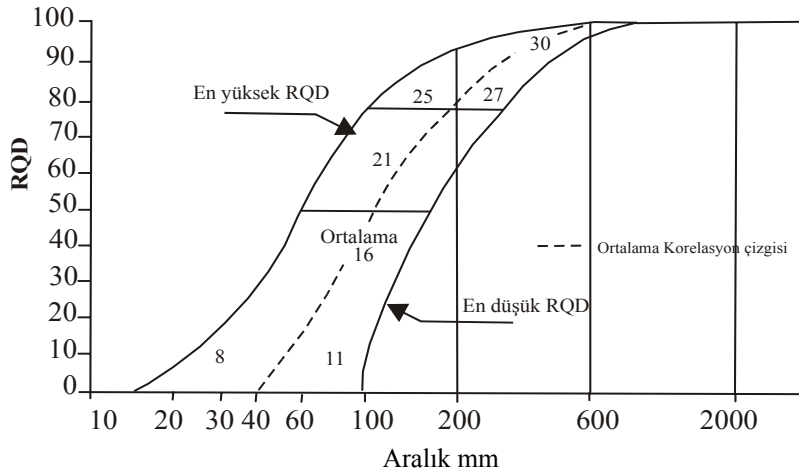
Şekil 4.33. Giriş bölgesi süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.

b) Giriş ağız süreksizliklerinin aralıkları

Tünelin giriş seviyesi olan bu kesimdeki süreksizlikler üzerinde yapılan histogram çözümlemesi sonucu aralık değerlerinin 200-600 mm arasında yığılım yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.34). Tünel kotu ile topoğrafik kot arasında büyük farklar olan bölgeler için aralık değerinin belirlenmesinde Bienieawski (1989) tarafından öne sürülen RQD – süreksizlik aralığı diyagramı daha doğru sonuçlar vermektedir (Şekil 4.35). Bu bölgede yer alan TSK -1 sondajında 20.50 -60.00 m arasında kalan kesimdeki en büyük, en küçük ve ortalama RQD değerleri olan 81, 15 ve 50 değerleri ile aralık arasındaki ilişki incelendiğinde ise süreksizlik aralıklarının 100-110 mm arasında ortalama değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu değer ISRM (1981) sınıflamasında 60-200 mm aralığına düşmektedir. Kütle sınıflamalarında en iyi, en kötü ve normal koşullar için değerlendirme yapılacaktır. Bu sebeple en kötü ve normal koşullar için 60-200 ve en iyi koşullar için ise 200-600 mm aralık değerleri kullanılacaktır



Şekil 4.34. Giriş ağız süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.



Şekil 4.35. RQD değerleri ve süreksizlik aralığı arasındaki ilişki (Bieniawski, 1989)

b) Orta Bölge süreksizliklerinin aralıkları

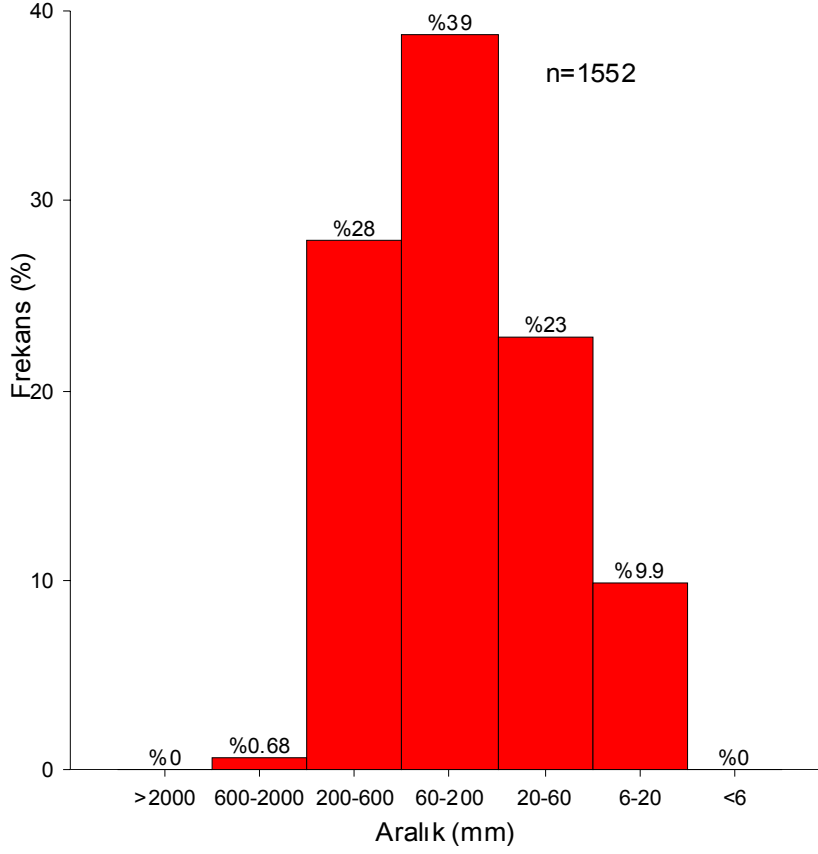
Tünelin orta seviyeleri olan bu kesimde örtü kalınlığı 30 -150 m arasında değişmektedir. Bu sebeple bu kesimdeki aralık değerlerinin belirlenmesinde yüzey ölçümleri yerine TSK-2 ve TSK-4 nolu sondajlardan elde edilen en büyük, en küçük ve ortalama RQD değerleri kullanılarak Şekil 4.35 deki diyagram yardımıyla her iki sondajın bulunduğu kesim için ayrı ayrı aralık değeri hesaplanmıştır.

Km: 103+618 de bulunan TSK-2 sondajında, kütle sınıflamalarında kullanılacak olan derinlik 146.10 -175.00 m arasındaki RQD değerlerinden en büyük 95, en küçük 0 ve ortalama değer olan 66 kullanılarak süreksizlik aralığının ortalama 150-350 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Saha gözlemleri de dikkate alındığında bu kesim için kütle sınıflamalarında normal ve en iyi koşullar için kullanılacak süreksizlik aralığı değeri ISRM (1981)' e göre Orta aralıklı olarak sınıflandırılan 200-600 mm olarak belirlenmiştir. En kötü koşullar için ise, 60- 200 mm aralık değeri kullanılacaktır

Aynı bölgede Km: 103+300 de bulunan TSK-4 sondajında, kütle sınıflamalarında kullanılacak derinlik olan 136.00-180.00 m arasındaki RQD değerlerinden en büyük 91, en küçük 30 ve ortalama değer olan 65 kullanılarak süreksizlik aralığının 100-200 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Bu değer ISRM (1981)' e göre yakın aralıklı olarak sınıflandırılan 60-200 mm olarak sınıf içinde yer almaktadır. En kötü koşullar için aralık değeri 20-60 mm olarak kullanılacaktır.

c) Çıkış ağı süreksizliklerinin aralıkları

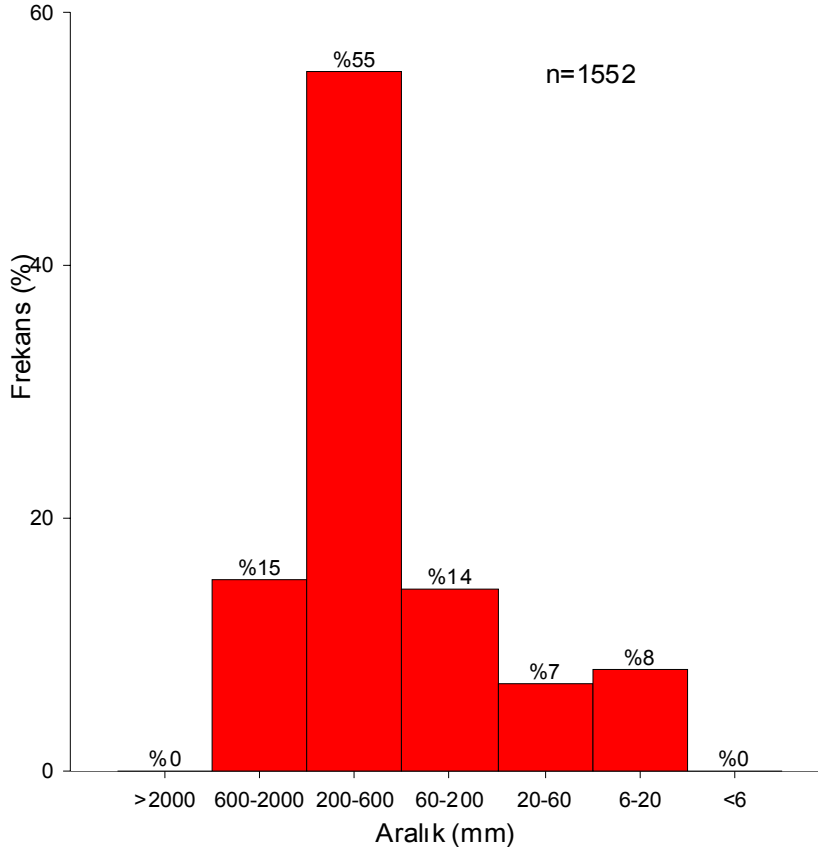
Tünelin çıkış seviyesi olan bu kesimdeki süreksizlikler üzerinde yapılan histogram çözümlemesi sonucu aralık değerlerinin homojen olmayan bir yığılım yaptığı görülmektedir (Şekil 4.36). Bu bölgede yer alan TSK -3 sondajında 11.80 - 60.00 m arasında kalan kesimdeki en büyük, en küçük ve ortalama RQD değerleri olan 100, 45 ve 80 değerleri ile aralık arasındaki ilişki incelendiğinde ise süreksizlik aralıklarının 50, 200 ve 600 mm olduğu belirlenmiştir. RQD değerlerinin yüksek olması sebebi ile bu kesim için ISRM (1981) sınıflamasında orta aralıklı olarak tanımlanan ve 200-600 mm arasında kalan aralık değerleri ortalama koşullar için kullanılmıştır. En iyi ve normal koşullar için aynı değer kullanılacak olmakla birlikte en kötü koşullar için 60-200 mm aralık değeri kullanılacaktır.



Şekil 4.36. Çıkış ağızlı süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.

d) Çıkış bölgesi süreksizliklerinin aralıkları

Saha çalışmaları sırasında yapılan ölçümlerin histogramda değerlendirilmesi ile süreksizlik aralığının 200-600 mm arasında yığılım yaptığı görülmektedir (Şekil 4.37). ISRM (1981)' e göre çıkış bölgesi eklem aralıkları Orta aralıklı sınıfında yer almaktadır. Bu bölgede en iyi koşullar için 600-2000, en kötü koşullar içinse 60-200 değerleri kullanılacaktır.



Şekil 4.37. Çıkış bölgesi süreksizliklerinin aralık dağılımını gösterir histogram diyagram.

4.1.2.3. Süreksizlik açıklıklıkları

Saha çalışmaları sırasında süreksizliklerin iki duvarı arasındaki mesafeler düzenli olarak ölçülmüştür. 5 ana bölgede incelenen tünel güzergahı için her bir bölgenin süreksizlik açıklıkları daha sonra kütle sınıflama sistemlerinde yer alacak olan normal şartlar, en iyi koşullar ve en kötü koşullar için ayrı ayrı incelenmiştir. Daha sonra elde edilen değerler ISRM (1981)' e göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4). Güzergah boyunca geçilen karstlaşmaya uğramış birimlerde karstlaşma süreksizliklerden itibaren başladığı için açıklıklıklar gerçek değerlerinden daha fazla görülmektedir (Foto 4.3). Bu ayrıntı karotlarda yapılan incelemelerde göz önüne alınarak düzeltilmiştir.

Çizelge 4.4. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ait esaslar (ISRM, 1981)

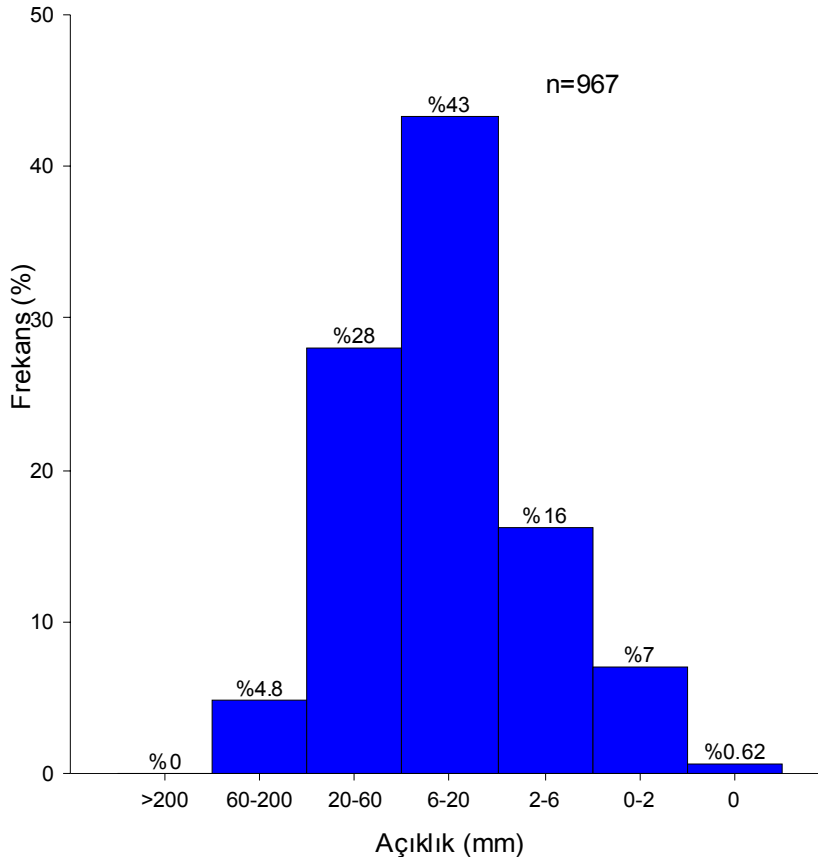
Açıklık	Tanımlama	
<0.1 mm	Çok Sıkı	KAPALI
0.1-0.25mm	Sıkı	
0.25-0.5mm	Kısmen Açık	
0.5-2.5mm	Açık	BOŞLUKLU
2.5-10mm	Orta derecede Geniş	
>10mm	Geniş	
1-10cm	Çok Geniş	AÇIK
10-100cm	Aşırı Geniş	
>100cm	Boşluklu	



Foto 4.3. Tünel giriş bölgesindeki Katarası Formasyonu'nda süreksizliklerden itibaren oluşan karstlaşma

a) Giriş bölgesi süreksizlik açıklıkları

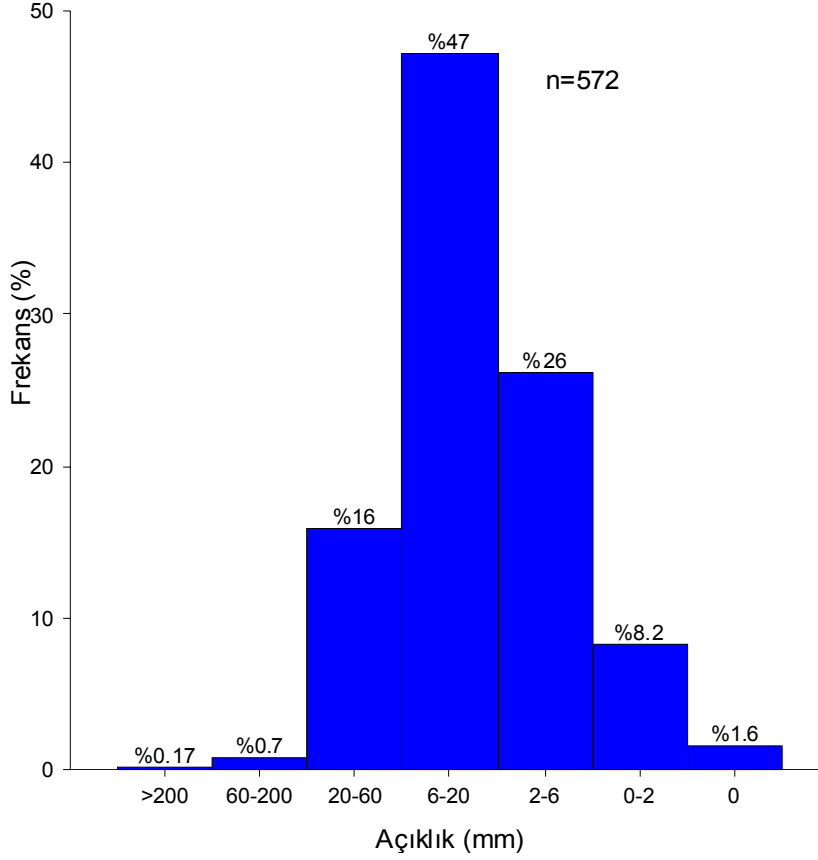
Giriş bölgesinde yapılan süreksizlik ölçümlerinden elde edilen açıklık değerlerinin histogram değerlendirmesinde (Şekil 4.38) aritmetik ortalama 19.05 mm dir. Histogram çözümlerinde ISRM (1981)' e göre ayrılan gruplardan 6-20 mm arasında bir yığılım gözlenmektedir.



Şekil 4.38. Giriş bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram

b) Giriş ağız süreksizlik açıklıkları

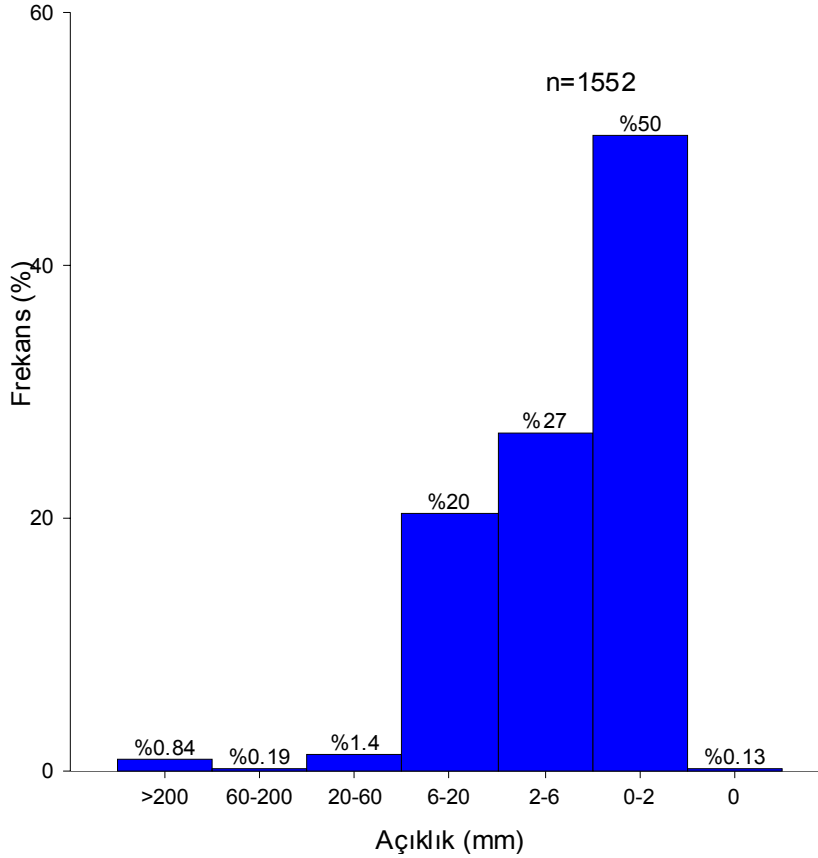
Giriş ağız bölgesinde yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen açıklık değerlerinin histogram analizi sonucunda 6-20 mm arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.39). Kütle sınıflamaları için normal koşullar ve en kötü koşullar için 6-20 mm değeri en iyi koşullar içinse 2-6 mm değeri kullanılacaktır



Şekil 4.39. Giriş ağız bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram

c) Orta bölge süreksizlik açıklıkları

Orta bölgede yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen açıklık değerlerinin histogram analizi sonucunda 0-2 mm arasında yoğunluk belirlenmiştir (Şekil 4.40). Kütle sınıflamalarında TSK-2 ve TSK -4 nolu sondajların bulunduğu kesimler için normal koşullar ve en iyi koşullar için 0-2 mm değeri en kötü koşullar içinse 2-6 mm değeri kullanılacaktır.



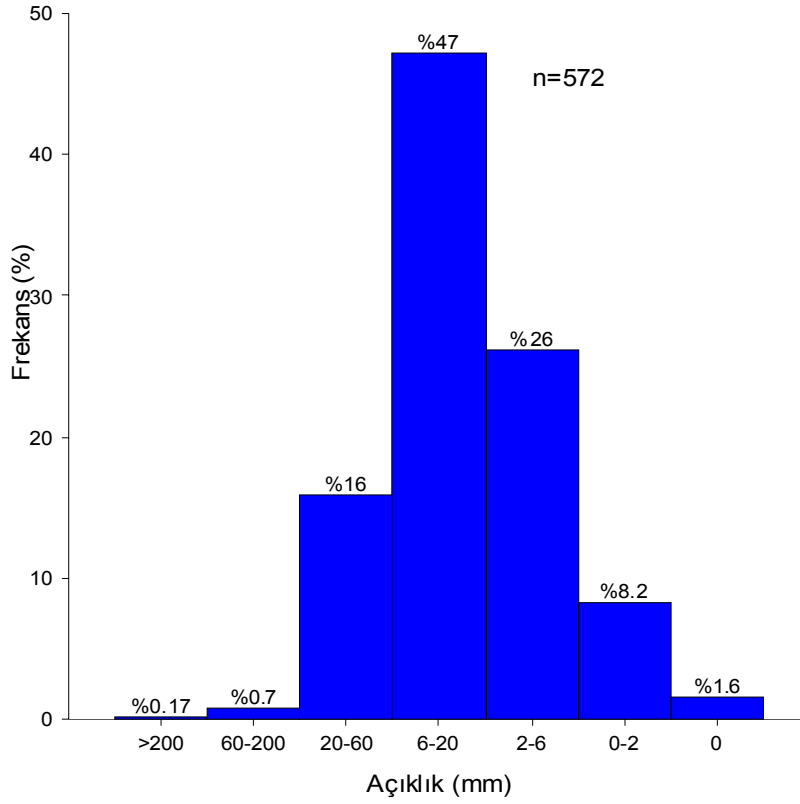
Şekil 4.40. Orta bölge süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram

d) Çıkış ağız süreksizlik açıklıkları

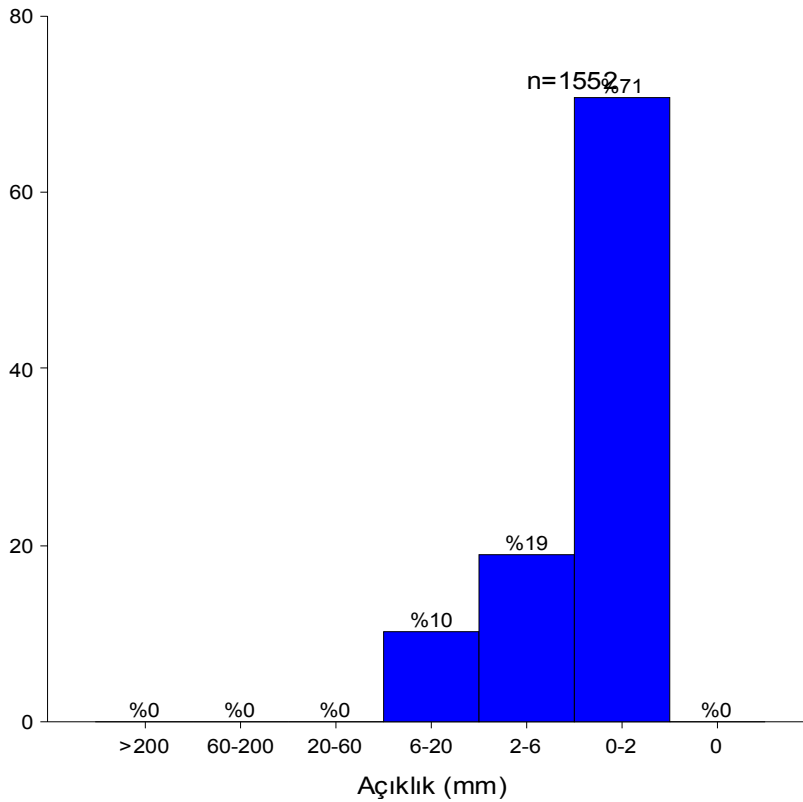
Çıkış ağız bölgesinde yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen açıklık değerlerinin histogram analizi sonucunda 6-20 mm arasında yoğunluk belirlenmiştir (Şekil 4.41). Kütle sınıflamaları için normal koşullar, 6-20, en iyi koşullar için 2-6 mm, en kötü koşullar için ise 20-60 mm değeri kullanılacaktır.

d) Çıkış bölgesi Süreksizlik Açıklıkları

Çıkış bölgesinde yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen açıklık değerlerinin histogram analizi sonucunda 0-2 mm arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.42). Bu bölge için süreksizlik açıklığı 0-2 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.41. Çıkış ağız bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram



Şekil 4.42. Çıkış bölgesi süreksizliklerinin açıklık dağılımını gösterir histogram diyagram

4.1.2.4. Süreksizliklerin Devamlılığı

Saha çalışmaları sırasında süreksizliklerin alansal yayılımını tespit edebilmek amacı ile düzenli olarak devamlılıkları ölçülmüştür. 5 ana bölgede incelenen tünel güzergahı için her bir bölgenin süreksizliklerin devamlılıkları aşağıda incelenmektedir. Daha sonra elde edilen değerler ISRM (1981)' e göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4).

a) Giriş bölgesi süreksizlik devamlılıkları

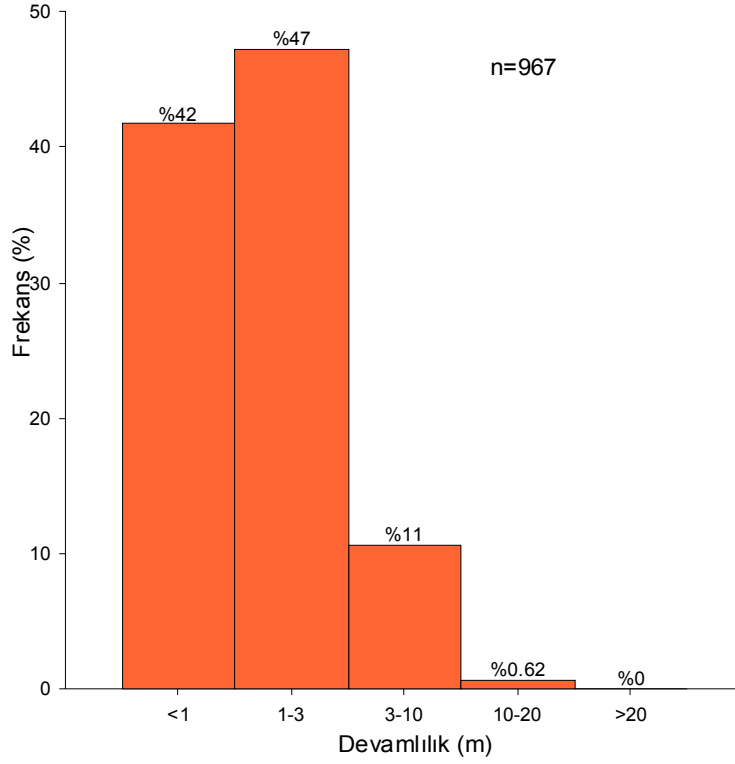
Giriş bölgesinde yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen devamlılık değerlerinin histogram analizi sonucunda 1-3 m arasında yığılım yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.43). Bu bölge için süreksizlik devamlılığı ISRM (1981)' e göre “düşük devamlılık” sınıfında yer almaktadır..

Çizelge 4.4. Süreksizlik devamlılığının tanımlama esasları (ISRM, 1981)

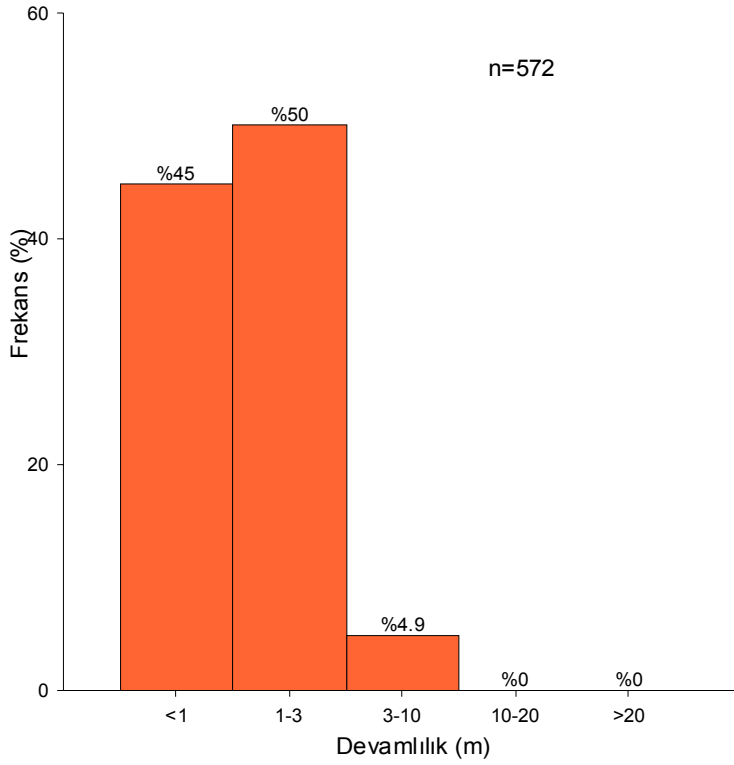
Tanımlama	Süreksizlik devamlılığı
Çok Düşük devamlılık	<1m
Düşük devamlılık	1-3m
Orta devamlılık	3-10m
Yüksek devamlılık	10-20m
Çok Yüksek devamlılık	>20m

b) Giriş ağız süreksizliklerinin devamlılıkları

Giriş ağız bölgesinde yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen devamlılık değerlerinin histogram analizi sonucunda normal koşullar için 1-3 m arasında yığılım yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.44). Kütle sınıflamalarında kullanılmak üzere en iyi koşullar için <1 m, en kötü koşullar için ise 3-10 m değeri kullanılacaktır



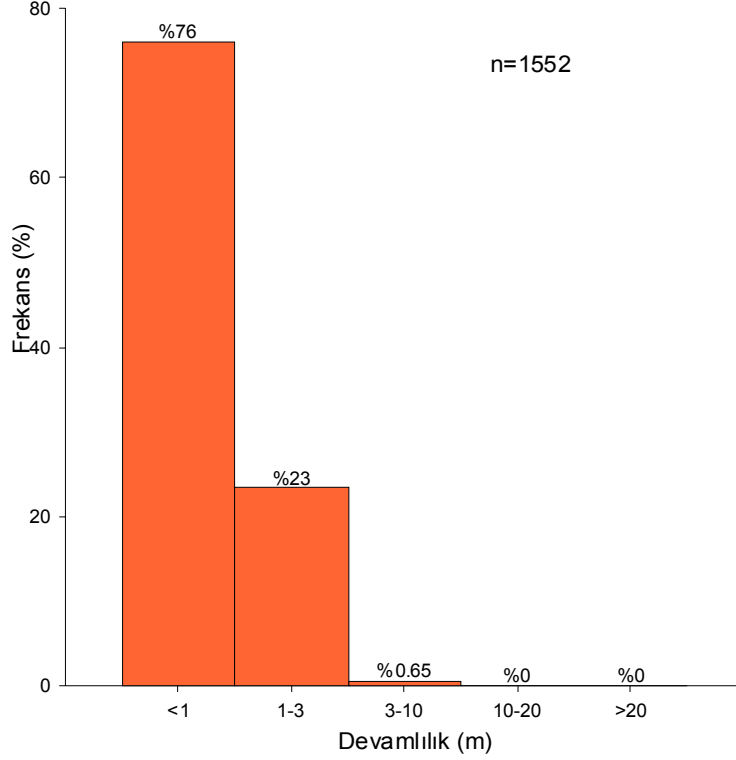
Şekil 4.43. Giriş bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram



Şekil 4.44. Giriş ağız bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram

c) Orta bölge süreksizliklerinin devamlılıkları

Orta bölgede yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen devamlılık değerlerinin histogram analizi sonucunda <1 m yığılım yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.45). Kütle sınıflamaları için normal ve en iyi koşullarda <1 m, en kötü koşullar için ise 1-3 m değeri kullanılacaktır



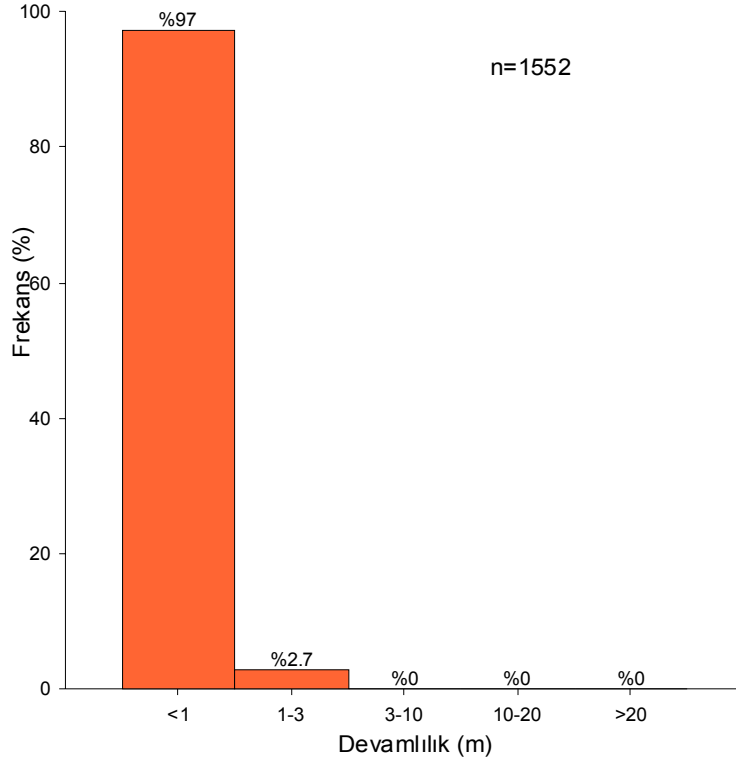
Şekil 4.45. Orta bölge süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram

c) Çıkış ağı süreksizliklerinin devamlılıkları

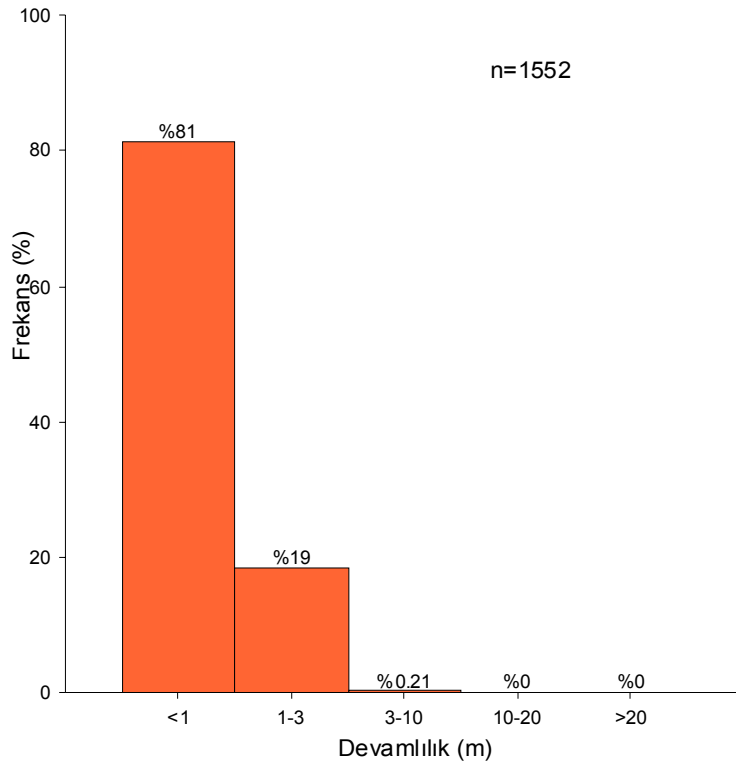
Çıkış ağı bölgesinde yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen devamlılık değerlerinin histogram analizi sonucunda 0 -0.5 m arasında yığılım yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.46). Kütle sınıflamaları için normal, en iyi ve en kötü koşullar için <1 m değeri kullanılacaktır

d) Çıkış bölgesi süreksizliklerinin devamlılıkları

Çıkış bölgesinde yapılan süreksizlik çalışmalarından elde edilen devamlılık değerlerinin histogram analizi sonucunda <1 m arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.47). Kütle sınıflamaları için normal ve en iyi koşullar için <1 m değeri, en kötü koşullar için ise 1-3 m değeri kullanılacaktır.



Şekil 4.46. Çıkış ağızı bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram



Şekil 4.47. Çıkış bölgesi süreksizliklerinin devamlılık dağılımını gösterir histogram diyagram

4.1.2.5. Süreksizliklerin dolgu durumu

Saha incelemeleri sırasında süreksizlik açıklıklarının dolgunsuz olduğu gözlemlenmiş olmasına rağmen sondaj karotlarının incelenmesi sırasında kil dolguya rastlanılmıştır. Yer yer kil dolguyu klorit dolgu da izlemektedir. ISRM (1981) tarafından yapılan toprak zeminlerin drenajsız makaslama dayanımlarının değerlendirilmesi için önerilen sınıflamada “S1” yani “Çok Yumuşak Zemin” tanımlamasına uymaktadır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Toprak zeminlerin drenajsız makaslama dayanımlarının tanımlanmasına ait ölçütler (ISRM, 1981)

Dayanım Simgesi	Tanım	Sahada Tanımlama Ölçütü	Tek eksenli sıkışma dayanımı, σ_c (MPa)
S1	Çok Yumuşak zemin	El yumruk haline getirilip zeminde 1” (2.54 cm) kadar bastırılabilir.	<0.025
S2	Yumuşak zemin	Başparmak ile zeminin içinde birkaç inç’ lik derinliğe kadar bastırılabilir.	0.025-0.05
S3	Katı zemin	Baş parmak baskı kuvveti biraz artırılarak zeminin içinde birkaç inç’ lik derinliğe kadar bastırılabilir.	0.05-0.1
S4	Sert zemin	Baş parmak ile kilde çentik oluşturulabilir.	0.1-0.25
S5	Çok sert zemin	Zemine elle bastırılarak nüfuz edilemez	0.25-0.5
S6	Aşırı sert zemin	Zeminde tırnak ile çentik oluşturulması güçtür.	>0.5

4.1.2.6. Süreksizliklerin su durumu

Karot örneklerinin incelenmesi sonucu süreksizlik yüzeyleri boyunca su akışına veya su akışını gösterir bir belirtiye rastlanılmamıştır. ISRM (1981)’ e göre tünel güzergahındaki 5 bölgenin tamamı da II. grupta yer almaktadır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Dolgusuz ve dolgulu süreksizlikler için su durumunun sınıflandırılması ve tanımlanması (ISRM, 1981)

Sızıntı Sınıflaması	Tanımlama
DOLGUSUZ SÜREKSİZLİKLER	
1	Süreksizlik yüzeyi kapalı ve kuru, su akışı yok
2	Süreksizlik yüzeyi kuru ve suyun aktığına dair bir belirti yok
3	Süreksizlik yüzeyi kuru ancak suyun akmış olduğunu gösterir izler var
4	Süreksizlik yüzeyi nemli, ancak su akışı yok
5	Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var, ancak sürekli bir akış gözlenmiyor
6	Süreksizlik yüzeyi boyunca sürekli bir su akışı var
DOLGULU SÜREKSİZLİKLER	
1	Dolgu malzemesi aşırı derecede konsolide olmuş malzemeden oluşuyor ve geçirgenliğinin az olması sebebiyle önemli bir su akışı gözlenmiyor
2	Dolgu ıslak, yer yer su damlacıkları gözleniyor
3	Dolgu malzemesi su damlaları ile ıslanmış
4	Dolgu malzemesinin yıkanmış – ıslanmış olduğuna ilişkin izler ve sürekli su akışı izleniyor
5	Dolgu malzemesi yerel olarak yıkanmış – taşınmış ve yıkanma kanalları boyunca dikkate değer miktarda su akışı var
6	Dolgu malzemesi tamamen taşınmış, su basıncı yüksek

4.1.2.1.7. Süreksizlik duvarının durumu

Saha incelemeleri sırasında süreksizlik duvarının durumları gözlemlenmiş ancak, karstlaşmanın yaygın olması ve atmosferik suların süreksizlikler boyunca yüzeyleri çözmesi nedeniyle gerçeği yansıtan veriler elde edilememiştir. Bu parametrenin tespitinde sondaj karotlarındaki süreksizlikler dikkate alınmıştır. Genel değerlendirmeye göre yüzey durumunun ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamada R3 grubu içerisinde yer aldığı görülmektedir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımları ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Simge	Tanım	Saha Tanımlaması	Tek eksenli Sıkışma dayanımı, (σ_{Mpa})
R0	Aşırı derecede zayıf kayaç	Kayaçın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir	0.25-1.0
R1	Çok zayıf kayaç	Jeolog çekici ile sert bir darbe ile ufalanan kayaç, çakı ile doğranabilir	1.0-5.0
R2	Zayıf kayaç	Kayaç, çakı ile güçlükle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayaçın yüzeyinde iz bırakır	5.0-25
R3	Orta derecede sağlam kayaç	Kayaç, çakı ile doğranamaz. Kayaç örneği, jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbe ile kırılabilir.	25-50
R4	Sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile birden fazla darbenin uygulanması gerekir	50-100
R5	Çok sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir	100-250
R6	Aşırı derecede sağlam kayaç	Kayaç örneği, jeolog çekici ile sadece yontulabilir	>250

4.2. Laboratuvar Çalışmaları

Jeoteknik tasarımda kullanılmak üzere kayaç malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit edebilmek amacı ile çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneyler, sondajlardan elde edilen karot örneklerinden, tünel kotuna göre, tünel yüksekliği (H) dikkate alınarak; H, +2H ve -2H seviyelerden seçilmiş ve bu örnekler üzerinde yapılmıştır. Tüm deneyler ISRM (1981) ve TSE 690 a uygun olarak, SDÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji laboratuvarı, SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarı, SDÜ İnşaat Mühendisliği laboratuvarı, C.Ü. Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği laboratuvarı, ve DLH Teknik Araştırma Dairesi Jeofizik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sondaj karotları üzerinde; hacim kütle, tek eksenli basınç deneyi, Nokta yük deneyi, Dolaylı (Brazilian) çekme deneyi, Sonik hız deneyi, Shore sertlik deneyi, elastisite modülü (statik ve dinamik) ve poisson oranları (statik ve dinamik) deneyleri yapılmıştır (Çizelge 4.8). Deneylerden elde edilen sonuçlar diğer verilerle birlikte kaya kütle sınıflamalarında kullanılmıştır.

Her bir deney çizelgeler halinde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Her deney için örneklerin aritmetik ortalamaları, örnek grubunda en sık tekrarlanan değer olan *Tepe Değer (Mod)*, örnek grubundaki değerlerin ortalamadan farklarının ortalamasını ifade eden *Standart Sapma*, ortalamaya göre ikinci momenti ifade eden *Değişim (Varyans)*, Dağılımın simetrik olup olmadığının ölçüsü olan *Yamukluk*, dağılım eğrisinin normal dağılıma göre ne kadar yassı olduğunu gösterir *Basıklık*, örnek grubundaki en büyük değer ile en küçük değer farkı olan *Dağılım*, Örnek grubundaki *En Büyük* ve *En Küçük* değer hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Yapılan deney türleri ve örnek sayıları

	Hacim Kütle	Tek Eksenli Basınç Deneyi	İndirek (Dolaylı) Çekme Deneyi	Sonik Hız deneyi	Nokta Yükleme Deneyi	Kohezyon ve İçsel Sürtünme	Statik Elastik Parametreler	Dinamik Elastik Parametreler	Süreksizliklerin Makaslama Dayanımı
TSK-1	22	12	15	19	2	11	4	5	-
TSK-2	26	14	23	42	24	12	17	8	2
TSK-3	37	25	41	56	25	23	7	10	2
TSK-4	23	3	39	63	48	2	2	12	3

4.2.1. Hacim Kütle Deneyi (γ_n)

Dört ayrı sondajdan elde edilen örneklerde deneyler gerçekleştirilmiştir. TSK-1 de 22, TSK-2 de 26, TSK-3 de 37 ve TSK-4 de 23 olmak üzere toplam 108 adet deney yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre ortalama birim hacim ağırlık sonuçları; TSK-1 de 2.57 gr/cm^3 , TSK-2 de 2.72 gr/cm^3 , TSK-3 de 2.69 gr/cm^3 ve TSK-4 de ise 2.65 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. Tüm sondajların bir arada istatistiksel değerlendirilmesi Çizelge 4.9 da görülmektedir. Birim hacim ağırlık deneyinden elde edilen sonuçlar tünel üzerindeki gravite etkisindeki yükün hesaplanmasında kullanılacaktır.

En iyi ve en kötü koşullarda kullanılacak olan en büyük ve en küçük değerler ise sırasıyla, TSK-1' de 2.69 gr/cm^3 ve 2.17 gr/cm^3 , TSK-2 de, 2.81 gr/cm^3 , 2.48 gr/cm^3 , TSK-3' de 2.69 gr/cm^3 , 2.60 gr/cm^3 ve TSK-4' de ise 2.77 gr/cm^3 , 2.57 gr/cm^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge .4.9).

4.2.2. Tek eksenli basınç deneyi

Sondaj karotlarından seçilen numuneler üzerinde toplam 54 adet tek eksenli basınç deneyi uygulanmış olup, bunların sondajlara ve derinliklere göre dağılımı Çizelge 4.10 da görülmektedir. Sonuçlar sondajlar bazında değerlendirildiğinde TSK-1 nolu sondajda Tek eksenli basınç dayanımının ortalama, en büyük ve en küçük değerleri sırasıyla; 54.44 MPa , 114.92 MPa ve 17.36 MPa ' dır. TSK-2 nolu sondajda bu dağılım; 61.68 MPa , 102.59 MPa ve 36.29 MPa şeklinde sıralanmaktadır. TSK-3 de tek eksenli basınç dayanımının dağılımı ise, ortalama, 82.28 MPa , en büyük değer 130.10 MPa , ve en küçük değer ise, 26.70 MPa , olarak bulunmuştur TSK-4 de ise, ortama, en büyük ve en küçük tek eksenli basınç değerleri dağılımı sırasıyla; 77.41 MPa , 94.11 MPa ve 46.24 MPa şeklindedir. Tek eksenli basınç deneyinden elde edilen sonuçlar, kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde temel parametrelerden biri olarak kullanılacaktır.

Çizelge 4.9. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan hacim kütle deneyi (γ_n) sonuçları(gr/cm^3)

Sondaj	Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	Alt	8	2.54	2.59	0.09	0.01	-0.83	0.17	0.29	2.37	2.66
	Orta	7	2.55	2.41	0.09	0.01	-0.10	-1.34	0.25	2.41	2.66
	Üst	7	2.61	2.68	0.19	0.04	-2.64	6.97	0.52	2.17	2.69
	Tümü	22	2.57	2.59	0.13	0.02	-1.48	2.62	0.52	2.17	2.69
TSK-2	Alt	4	2.75	2.75	0.02	0.00	0.00	1.50	0.04	2.73	2.77
	Orta	7	2.65	2.75	0.12	0.02	-0.45	-2.24	0.29	2.48	2.77
	Üst	15	2.75	2.78	0.04	0.00	-1.36	3.04	0.18	2.63	2.81
	Tümü	26	2.72	2.75	0.08	0.01	-1.95	3.17	0.33	2.48	2.81
TSK-3	Alt	14	2.69	2.73	0.08	0.01	-1.38	2.60	0.31	2.48	2.79
	Orta	8	2.69	2.70	0.03	0.00	-1.33	1.52	0.08	2.64	2.72
	Üst	15	2.69	2.68	0.01	0.00	0.08	1.96	0.05	2.66	2.71
	Tümü	37	2.69	2.68	0.05	0.00	-1.93	8.27	0.31	2.48	2.79
TSK-4	Alt	7	2.64	2.64	0.03	0.00	0.84	0.92	0.09	2.60	2.69
	Orta	7	2.66	2.63	0.05	0.00	-0.27	-0.77	0.14	2.58	2.72
	Üst	9	2.67	2.57	0.06	0.00	0.00	-0.58	0.20	2.57	2.77
	Tümü	23	2.65	2.63	0.05	0.00	0.35	-0.27	0.20	2.57	2.77

Çizelge 4.10. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan tek eksenli basınç deneyi sonuçları(MPa)

Sondaj	Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	Alt	4	48.27	31.77	18.24	332.78	0.354	-3.806	37.76	31.77	69.53
	Orta	4	32.12	17.36	11.00	121.10	-1.007	-0.351	23.96	17.36	41.32
	Üst	4	82.94	57.87	24.63	606.41	0.687	-0.245	57.05	57.87	114.92
	Tümü	12	54.44	17.36	27.92	779.49	0.884	0.508	97.56	17.36	114.92
TSK-2	Alt	2	73.70	69.97	5.27	27.75	-		7.45	69.97	77.42
	Orta	2	55.80	46.75	12.80	163.81	-		18.10	46.75	64.85
	Üst	10	60.45	36.29	18.66	348.23	1.280	2.227	66.30	36.29	102.59
	Tümü	14	61.68	36.29	16.87	284.51	0.926	1.448	66.30	36.29	102.59
TSK-3	Alt	10	80.99	40.6	26.98	728.00	0.160	0.082	89.5	40.6	130.1
	Orta	3	88.11	68.7	17.49	305.99	-1.148		34.0	68.7	102.7
	Üst	12	81.91	26.7	24.62	606.08	-1.316	1.179	81.3	26.7	107.9
	Tümü	25	82.28	26.7	24.11	581.30	-0.592	0.281	103.5	26.7	130.1
TSK-4	Alt	1	46.24	46.24			-		.00	46.24	46.24
	Orta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Üst	2	93.00	91.88	1.58	2.49			2.23	91.88	94.11
	Tümü	3	77.41	46.24	27.02	729.92	-1.719		47.87	46.24	94.11

4.2.3. İndirekt (Dolaylı) çekme deneyi

Kayaç malzemesi örneklerinden çekme dayanımını belirlemek amacı ile 4 sondajda toplam 118 adet indirekt çekme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarının sondajlara ve derinliklere göre dağılımı Çizelge 4.11' de görülmektedir. Bu sonuçlara göre çekme dayanımının, ortalama, en büyük ve en küçük değerlerinin sondajlara göre dağılımı ise sırasıyla; TSK-1 de 54.44 MPa, 114.92 MPa ve 17.36 MPa, TSK-2 de, 61.68 MPa, 102.59 MPa ve 17.36 MPa, TSK-3 de, 82.28 MPa, 130.10 MPa ve 26.70 MPa, ve TSK-4 de ise, 77.41 MPa, 94.11 MPa ve 46.24 MPa olarak sıralanmaktadır. Kayaç malzemesinden elde edilen çekme dayanımından ampirik yaklaşımlarla kaya kütlesinin çekme dayanımı elde edilmesinde kullanılacaktır.

4.2.4. Sonik Hız deneyi

Karot örneklerinin dinamik elastik parametrelerinin belirlenmesi amacı ile 4 sondajda toplam 35 adet Vs ölçümü, 145 adet Vp ölçümü yapılmıştır. Vp-Vs nin aynı örnek üzerinde yapıldığı deney sayısı 35 dir. Deney sonuçlarının dağılımı Çizelge 4.12 a ve b de belirtilmiştir. Bu sonuçlar dinamik elastik parametrelerin hesaplanmasında kullanılacaktır.

4.2.5. Nokta yük deneyi

Kayaç malzemesinin nokta yük dayanım indisinin belirlenmesi amacı ile tüm sondajlarda toplam 99 adet örnek üzerinde nokta yük dayanım (I_{S50}) deneyi yapılmıştır (Çizelge 4.13). Elde edilen sonuçlar kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde tek eksenli basınç deneyi sonuçları ile karşılaştırılarak kullanılacaktır.

Çizelge 4.11. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan dolaylı çekme deneyi sonuçları(MPa)

Sondaj	Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	Alt	4	5.3500	3.63	1.1879	1.4111	-1.624	2.500	2.57	3.63	6.20
	Orta	4	3.3050	1.72	1.4815	2.1948	0.665	.819	3.53	1.72	5.25
	Üst	7	6.2671	4.65	1.3965	1.9502	0.598	-1.071	3.81	4.65	8.46
	Tümü	15	5.2327	1.72	1.7914	3.2092	-0.215	-.002	6.74	1.72	8.46
TSK-2	Alt	3	2.8200	1.13	1.8279	3.3411	0.604		3.63	1.13	4.76
	Orta	2	4.5800	3.68	1.2728	1.6200			1.80	3.68	5.48
	Üst	18	4.6783	4.53	1.5404	2.3730	.040	.070	5.86	1.58	7.44
	Tümü	23	4.4274	4.53	1.6177	2.6170	-0.101	.003	6.31	1.13	7.44
TSK-3	Alt	21	6.5462	7.05	1.6000	2.5601	-0.184	.012	6.51	3.32	9.83
	Orta	10	6.9440	5.01	1.1712	1.3718	0.483	1.143	4.29	5.01	9.30
	Üst	10	6.3070	4.16	1.8833	3.5470	0.614	-1.182	5.26	4.16	9.42
	Tümü	41	6.5849	7.05	1.5618	2.4391	0.017	-.440	6.51	3.32	9.83
TSK-4	Alt	18	7.088	8.2	1.749	3.061	-0.770	.594	6.7	3.2	9.9
	Orta	11	7.333	5.1	1.364	1.861	0.605	1.080	5.1	5.1	10.2
	Üst	10	7.075	4.2	2.269	5.148	-0.112	-2.037	5.5	4.2	9.7
	Tümü	39	7.154	8.2	1.758	3.091	-0.359	-.402	7.0	3.2	10.2

Çizelge 4.12 a. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Sonik hız ölçümleri Vp deney sonuçları(m/sn)

Sondaj		Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük
TSK-1	Alt	4	5466.76	5000.00	463.74	215054.54	-.002	-5.090	932.70	5000.00	5932.70
	Orta	6	5285.18	4589.55	411.61	169419.54	-.919	.702	1134.79	4589.55	5724.34
	Üst	4	6080.84	5358.59	539.90	291488.15	-.977	-.306	1193.91	5358.59	6552.50
	Tümü	14	5564.39	4589.55	550.49	303034.78	.230	-.304	1962.95	4589.55	6552.50
TSK-2	Alt	5	5703.80	4654.95	639.64	409134.70	-1.502	1.742	1538.99	4654.95	6193.94
	Orta	5	5713.94	4474.90	710.17	504337.93	-1.977	4.018	1720.87	4474.90	6195.77
	Üst	24	5532.02	4296.80	504.92	254944.37	-1.146	1.022	1876.67	4296.80	6173.47
	Tümü	34	5584.03	4296.80	543.24	295110.33	-1.060	.311	1898.97	4296.80	6195.77
TSK-3	Alt	18	5647.22	4611.90	437.81	191673.61	-.885	.475	1701.83	4611.90	6313.73
	Orta	8	6089.84	5283.97	348.12	121188.58	-2.123	5.314	1144.60	5283.97	6428.57
	Üst	20	5844.51	3738.50	619.52	383806.83	-2.487	6.888	2626.96	3738.50	6365.46
	Tümü	46	5809.98	3738.50	527.60	278363.19	-1.856	4.435	2690.07	3738.50	6428.57
TSK-4	Alt	16	5943.19	4914.77	416.27	173281.14	-1.482	1.817	1437.21	4914.77	6351.98
	Orta	16	6045.44	4898.65	380.90	145088.35	-2.142	4.960	1478.75	4898.65	6377.40
	Üst	19	5552.03	4807.69	353.31	124831.24	-.770	.367	1321.44	4807.69	6129.13
	Tümü	51	5829.54	4807.69	434.47	188763.21	-.838	-.079	1569.71	4807.69	6377.40

Çizelge 4.12. b. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Sonik hız ölçümleri Vs deney sonuçları (m/sn)

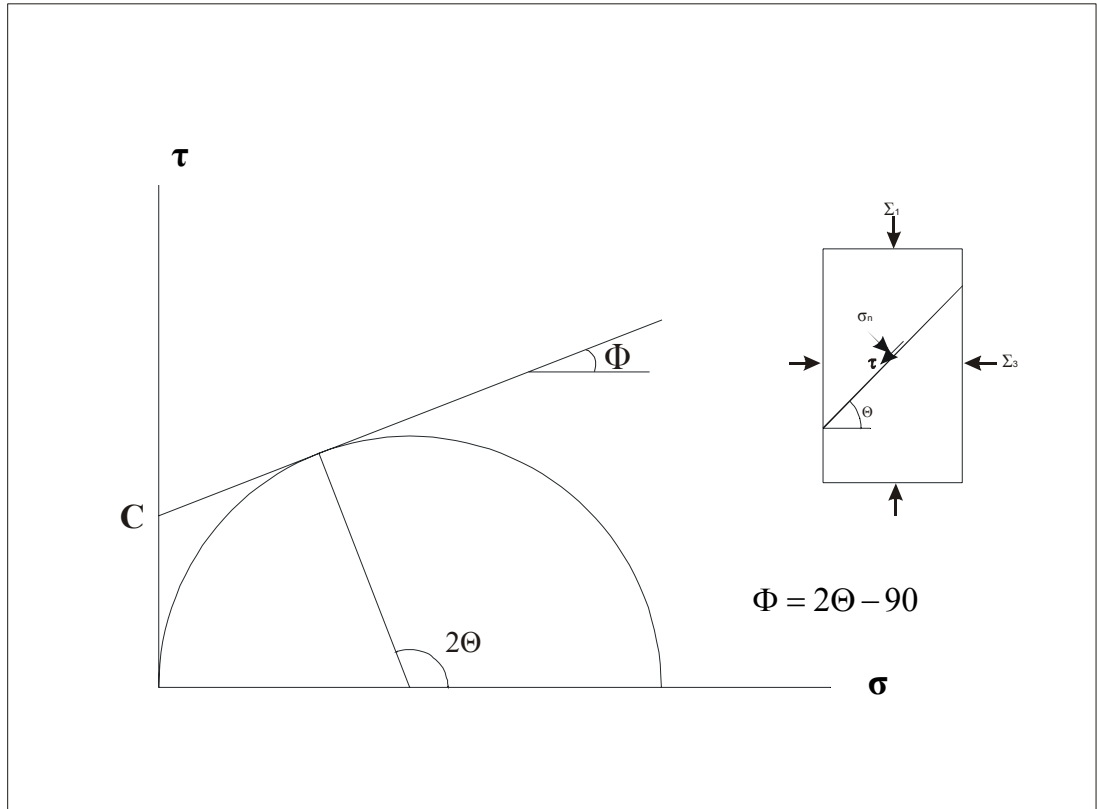
Sondaj	Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	Alt	1	2500.00	2500.00	-	-	-	0.00	2500.00	2500.00	
	Orta	2	2578.13	2541.00	52.06	2709.95	-	-	74.00	2541.00	2615.00
	Üst	2	3126.73	3103.00	32.92	1083.45	-	-	47.00	3103.00	3150.00
	Tümü	5	2781.94	2500.00	317.85	101028.50	0.55	-3.16	650.00	2500.00	3150.00
TSK-2	Alt	2	3074.44	3017.68	80.26	6442.26	-	-	113.51	3017.68	3131.19
	Orta	2	3013.83	2976.19	53.23	2833.54	-	-	75.28	2976.19	3051.47
	Üst	4	3026.15	3004.81	16.45	270.61	-0.51	1.17	39.74	3004.81	3044.55
	Tümü	8	3035.14	2976.19	45.37	2058.24	1.33	3.05	155.00	2976.19	3131.19
TSK-3	Alt	4	2837.81	2713.68	113.67	12919.82	0.36	-0.75	265.04	2713.68	2978.72
	Orta	2	3046.12	3033.98	17.16	294.52			24.27	3033.98	3058.25
	Üst	4	2883.45	2763.16	126.82	16082.24	0.08	-5.19	251.55	2763.16	3014.71
	Tümü	10	2897.72	2713.68	127.59	16279.55	-0.15	-1.84	344.57	2713.68	3058.25
TSK-4	Alt	4	2586.38	2429.78	110.11	12123.19	-1.38	2.48	256.79	2429.78	2686.57
	Orta	2	2417.10	2384.87	45.57	2076.90			64.45	2384.87	2449.32
	Üst	6	2760.78	2467.11	227.30	51664.67	0.41	-0.58	629.48	2467.11	3096.59
	Tümü	12	2645.37	2384.87	212.10	44984.50	0.91	0.55	711.72	2384.87	3096.59

Çizelge 4.13. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Nokta yük deneyi sonuçları (MPa)

Sondaj	Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	Alt	1	2.81	2.81	-	-	-	0.00	2.81	2.81	
	Orta	1	10.78	10.78				0.00	10.78	10.78	
	Üst	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Tümü	2	6.80	2.81	5.64	31.76	-	-	7.97	2.81	10.78
TSK-2	Alt	2	9.61	7.73	2.66	7.07	-	-	3.76	7.73	11.49
	Orta	4	4.64	3.61	0.83	0.69	-0.47	-1.79	1.87	3.61	5.48
	Üst	18	6.92	2.72	2.97	8.81	-0.15	-1.61	8.43	2.72	11.15
	Tümü	24	6.76	2.72	2.90	8.42	0.13	-1.46	8.77	2.72	11.49
TSK-3	Alt	9	8.21	5.42	2.92	8.54	1.18	0.63	8.69	5.42	14.11
	Orta	7	8.65	6.18	1.73	2.99	-0.16	-1.46	4.51	6.18	10.69
	Üst	9	6.78	3.53	1.89	3.58	-0.47	-1.01	5.50	3.53	9.03
	Tümü	25	7.82	3.53	2.34	5.46	0.67	0.82	10.58	3.53	14.11
TSK-4	Alt	15	7.60	3.17	2.56	6.56	-0.39	-0.65	8.20	3.17	11.37
	Orta	16	7.91	4.03	2.24	5.01	-0.75	-1.15	6.56	4.03	10.59
	Üst	17	7.15	5.36	1.21	1.47	1.54	2.76	5.01	5.36	10.37
	Tümü	48	7.54	3.17	2.04	4.16	-0.21	-0.60	8.20	3.17	11.37

4.2.6. Kohezyon (C) ve İçsel sürtünme açısı (Φ) nın belirlenmesi

Sondaj karot çaplarının (63 mm) uygun olmaması sebebi ile üç eksenli basınç deneyi yapılamamıştır. C ve Φ değerleri tek eksenli basınç deneyinde numunenin kırılma açısı (θ) ölçülerek ve Şekil 4.48 de görülen bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır. Her sondaj için yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.14 (a ve b) de görülmektedir. Kayaç malzemesinin C ve Φ değerleri kaya kütesinin C ve Φ değerlerinin hesaplanılmasında kullanılacaktır.



Şekil 4.48. C ve Φ ile θ arasındaki ilişki (Brady and Brown, 1999)

Çizelge 4.14. a. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan Kohezyon (MPa) ölçümleri

Sondaj	Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	Alt	3	5.82	3.04	3.59	12.87	1.39		6.83	3.04	9.87
	Orta	4	6.00	3.27	2.11	4.47	-0.42	1.48	5.15	3.27	8.42
	Üst	4	19.24	18.08	1.08	1.16	0.24	-2.18	2.43	18.08	20.51
	Tümü	11	10.76	3.04	7.03	49.40	0.42	-1.82	17.47	3.04	20.51
TSK-2	Alt	2	14.54	13.43	1.56	2.44			2.21	13.43	15.64
	Orta	1	8.51	8.51					0.00	8.51	8.51
	Üst	9	12.47	4.91	5.45	29.69	0.43	-0.66	16.32	4.91	21.23
	Tümü	12	12.48	4.91	4.90	24.01	0.37	-0.43	16.32	4.91	21.23
TSK-3	Alt	9	12.99	4.81	6.13	37.63	0.88	0.67	20.15	4.81	24.96
	Orta	3	13.58	9.85	3.46	11.95	-0.79		6.83	9.85	16.68
	Üst	11	10.91	3.08	6.50	42.26	0.87	0.39	20.37	3.08	23.45
	Tümü	23	12.07	3.08	5.94	35.31	0.63	0.05	21.88	3.08	24.96
TSK-4	Alt	-									
	Orta	-									
	Üst	2	13.83	11.50	3.36	11.28			4.80	11.50	16.20
	Tümü	2	13.83	11.50	3.36	11.28			4.80	11.50	16.20

Çizelge 4.14. b. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan İçsel sürtünme açısı(Φ) ölçümleri

Sondaj	Örnek sayısı (n)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	Alt	3	63.33	52.00	14.74	217.33	1.42		28	52	80
	Orta	4	45.50	18.00	22.11	489.00	-0.13	1.35	54	18	72
	Üst	4	38.00	26.00	12.11	146.67	0.81	0.07	28	26	54
	Tümü	11	47.64	18.00	18.63	347.05	0.18	-0.34	62	18	80
TSK-2	Alt	2	47.00	46.00	1.41	2.00			2	46	48
	Orta	1	50.00	50.00					0	50	50
	Üst	9	46.44	48.00	10.43	108.78	0.88	1.65	36	32	68
	Tümü	12	46.83	48.00	8.96	80.33	0.79	2.47	36	32	68
TSK-3	Alt	9	56.44	48.00	11.39	129.78	-0.03	-0.69	36	38	74
	Orta	3	56.00	54.00	2.00	4.00	0.00		4	54	58
	Üst	11	60.55	38.00	14.06	197.67	-0.65	-0.65	42	38	80
	Tümü	23	58.35	38.00	11.92	142.06	-0.24	-0.65	42	38	80
TSK-4	Alt										
	Orta										
	Üst	2	57.00	52.00	7.07	50.00			10	52	62
	Tümü	2	57.00	52.00	7.07	50.00			10	52	62

4.2.7. Elastisite modülü, Rijidite Modülü ve Poisson oranının belirlenmesi

Kayaç malzemesinin elastik parametreleri olan elastisite modülü (E), poisson oranı (ν) ve rijidite modülünün (G) statik yöntemler ile belirlenmesi için toplam 15 adet numune üzerinde deney yapılmıştır. Bu deney sonucunda statik Elastik parametreler tespit edilmiştir (Çizelge 4.15). Sonik hız deneyi sonucunda elde edilen V_p ve V_s değerlerinden ise dinamik elastik parametreleri saptanmıştır (Çizelge 4.16). Bu değerler kaya kütesinin elastik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak olup hesaplamalarda kullanılan eşitlikler aşağıda sunulmuştur.

$$E_{din} = \gamma_n V_s^2 \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} *$$

$$\nu_{din} = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)} *$$

$$G_{din} = \gamma_n V_s^2$$

4.2.8. Süreksizliklerin makaslama dayanımı

Süreksizliklerin kohezyon ve içsel sürtünme değerlerinin belirlenebilmesi amacı ile sondaj karotlarından elde edilen süreksizlikler üzerinde makaslama deneyi yapılmıştır (Çizelge 4.17). Örnek seçimi sırasında tünel kotu ve üst seviyelerdeki süreksizlikler tercih edilmiştir. Bu deney sonucunda elde edilecek veriler tünel giriş ve çıkış ağzındaki ve orta bölgedeki kama tipi kayma analizinde ve açık kazı alanlarındaki düzlemsel kayma analizlerinde kullanılacaktır.

Çizelge 4.15. İnceleme alanında sondaj karotlarında yapılan E modülü ve Poisson oranı (statik) ölçümleri (Ü: Üst, A: Alt, KT: Tünel kotu)

Sondaj	Secant E Modülü (Gpa)	Tanjant E Modülü (Gpa)	Ortalama E Modülü (Gpa).	Sec Poisson Oranı	Tan Poisson Oranı	Ortalama Poisson Oranı	
TSK-1	1Ü2	53.04	48.97	49.73	0.1535	0.1412	0.14636
	1Ü4	43.50	132.03	106.23	-	-	-
	1A1	60.49	163.53	163.42	-	-	-
	1A3	29.79	33.49	32.11	-	-	-
TSK-2	2Ü5	77.84	145.51	137.44	-	-	-
	2Ü7-B	51.83	94.66	87.25	-	-	-
	2Ü2	104.18	139.30	149.29	-	-	-
	2T1	27.75	72.65	64.27	-	-	-
	2Ü4	36.04	108.46	101.48	-	-	-
	2Ü7-C	75.63	84.40	97.55	-	-	-
	2Ü3	57.18	203.29	155.78	-	-	-
TSK-3	3A18	86.62	240.33	193.46	-	-	-
	3A17	142.49	257.36	267.70	-	-	-
	3A12	130.49	252.39	276.34	-	-	-
	3T6	80.22	193.14	183.16	-	-	-
	3Ü2	133.54	242.37	217.73	-	-	-
	3Ü1	176.69	259.99	242.96	-	-	-
	3A13	76.54	171.66	174.79	-	-	-
	3Ü4	67.46	116.86	112.77	-	-	-
	3T4	85.72	164.19	119.46	-	-	-
	3Ü9	36.83	80.25	73.36	-	-	-
	3A4	149.64	255.85	216.35	-	-	-
	3A10	26.76	79.13	71.22	-	-	-
	3A2	144.12	141.61	144.52	-	-	-
	3Ü5	121.25	238.99	208.04	-	-	-
	3Ü11-A	84.36	158.24	149.96	-	-	-
	3Ü13-A	109.34	262.82	249.21	-	-	-
	3T5	92.97	85.61	86.43	0.4573	0.4331	0.4339
TSK-4	4Ü4	161.82	147.97	94.114	0.4219	0.308	0.2852
	4Ü4-A	126.14	118.56	91.877	0.5829	0.5576	0.5197

Çizelge 4.16. İnceleme alanında sondaj karotlarında yapılan E modülü, Rijidite modülü ve Poisson oranı ölçümleri (Dinamik)

Sondaj	Örnek sayısı (N)	Ortalama	Tepe Değer	Standart Sapma	Değişim	Yamukluk	Basıklık	Dağılım	En küçük	En büyük	
TSK-1	$E_{din}(GPa)$	5	5.74	5.09	1.39	1.94	0.51	-3.17	2.79	4.54	7.33
	ν_{din}	5	0.33	0.33	0.03	0.00	-1.24	2.53	0.08	0.28	0.36
	$G_{din}(GPa)$	5	2.16	1.92	0.49	0.24	0.51	-3.07	1.03	1.70	2.73
TSK-2	$E_{din}(GPa)$	8	6.94	6.88	0.21	0.05	1.74	3.93	0.71	6.70	7.41
	ν_{din}	8	0.32	0.33	0.02	0.00	-0.55	0.64	0.06	0.29	0.35
	$G_{din}(GPa)$	8	2.62	2.63	0.09	0.01	1.28	2.76	0.30	2.51	2.81
TSK-3	$E_{din}(GPa)$	10	6.26	6.28	0.50	0.25	0.11	-1.62	1.42	5.58	7.00
	ν_{din}	10	0.34	.35	0.02	0.00	0.12	-0.37	0.05	0.32	0.37
	$G_{din}(GPa)$	10	2.33	2.37	0.20	0.04	-0.13	-1.80	0.53	2.05	2.58
TSK-4	$E_{din}(GPa)$	12	5.27	5.24	0.84	0.70	0.72	0.23	2.81	4.21	7.02
	ν_{din}	12	0.34	0.34	0.03	0.00	0.29	-1.31	0.09	0.30	0.39
	$G_{din}(GPa)$	12	1.97	1.93	0.34	0.12	0.95	0.53	1.13	1.57	2.70

Çizelge 4.17. İnceleme alanı sondaj karotlarında yapılan süreksizliklerin makaslama dayanımı deneyi sonuçları.

Sondaj No	Örnek No	Görünür Kohezyon C (MPa)	Görünür İşsel Sürtünme Açısı Φ Derece	Kalıcı İşsel Sürtünme Açısı Φ Derece
TSK-2	2K6	0.022	24.23	28.06
	2K7	0.03	26.57	30.34
TSK-3	3K6	0.071	34.99	46.1
	3K7	0.12	26.57	56
TSK-4	4K3	0.055	11.31	41.01
	4K4	0.004	23.27	20.91
	4T2	0.044	29.25	36.3

5. BOĞSAK TÜNELLERİNİN JEOTEKNİK TASARIMI

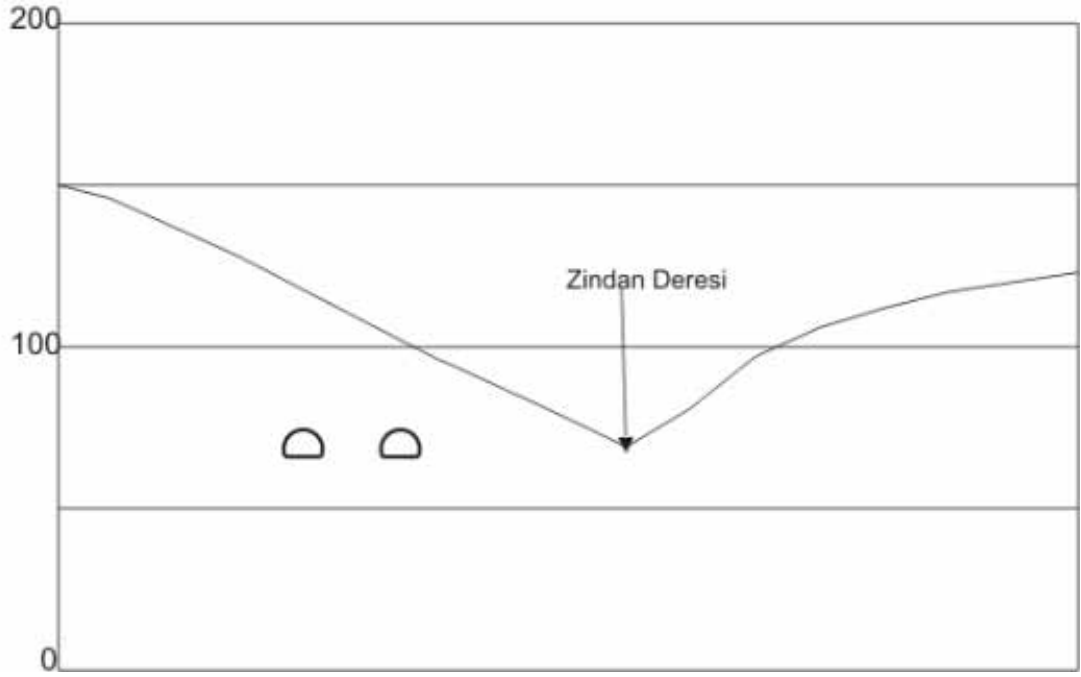
Bir tünelin jeoteknik tasarımında, eldeki verilerin optimum kullanılarak en uygun destek önlemlerinin önerilmesi amaçlanmaktadır. Bütün bir güzergahın tek tip destek kullanılarak değerlendirilmesi ekonomik olmayan çözümler ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca tünel yapısına ulaşmak için gerekli olan açık kazı alanlarının da bu değerlendirme içinde olması kaçınılmazdır. Böylece bir tünel güzergahının bir bütün olarak jeoteknik tasarımını yapmak mümkün olabilmektedir. Bu nedenlerle eldeki bütün sondaj, laboratuvar ve arazi verileri ile açık kazı alanları da dikkate alınarak Boğsak Tünelleri jeoteknik tasarımı Bölüm 3.5 de belirtildiği gibi 5 adet alanda ayrı ayrı değerlendirme yapılarak optimum çözüm üretilmeye çalışılmıştır.

Giriş ve çıkış bölgelerindeki açık kazı alanlarında ve giriş ve çıkış ağzındaki alın şevlerinde süreksizlik ölçümleri kullanılarak kinematik analiz yöntemi ile düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilme analizleri Rockdata III yazılımı ile yapılmıştır. Giriş ve çıkış ağzında tünelin iç kesiminde süreksizlik kontrolü ile gelişecek olan kamaların boyutları ve bunları önlemek için gerekli olan destek sistemleri Unwedge yazılımı ile analiz edilmiştir. Ayrıca sondajların bulunduğu giriş ve çıkış ağzı ve orta bölgede kazı yöntemleri simule edilerek kazının her aşamasında kazı çevresinde oluşacak plastik yenilmeler Phase² yazılımı ile incelenmiştir. Bu kesimlerde farklı destek sistemi kullanılarak tekrar analizler yapılmış ve optimum destek tipi seçilmeye çalışılmıştır.

5.1. Giriş Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi

Giriş bölgesi olarak adlandırılan bölge Km: 102+300 – Km: 102+800 arasında kalan bölge olarak tanımlanmıştır. Tünel giriş ağzına kadar açık kazı yapılacak olan bu kesimde şev duraylılıkları süreksizlik kontrollü olarak gerçekleştirilecektir. Kazı yüksekliği, açık kazı alanında sol tüpte maksimum Km: 102+680 de 35,667 m, sağ tüpte ise 56,657 m yüksekliğindedir. Uygulamada yüksek şevlerde 15 m de bir basamak yapılması göz önünde bulundurularak sırası ile 1/2 (yatay/düşey) 1/3, 1/4 değerleri 1/5 kullanılarak sol ve sağ şev için kinematik analiz

yapılmıştır. Bu analizlerde süreksizliklerin makaslama dayanımlarının C ve Φ değerleri TSK-4 sondajından yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. En kesitlerde de görülebileceği gibi sağ taraftan akan Zindan Deresi kazı sonrası yol kotundan 11 m yukarıda kalacaktır. Bu dereden sızan sular sağ şevden çıkarak stabilitenin bozulmasına neden olabilir. Bu sebeple sağ tarafta uygun yöntemlerle drenaj yapılarak su sızıntısı engellenmelidir.



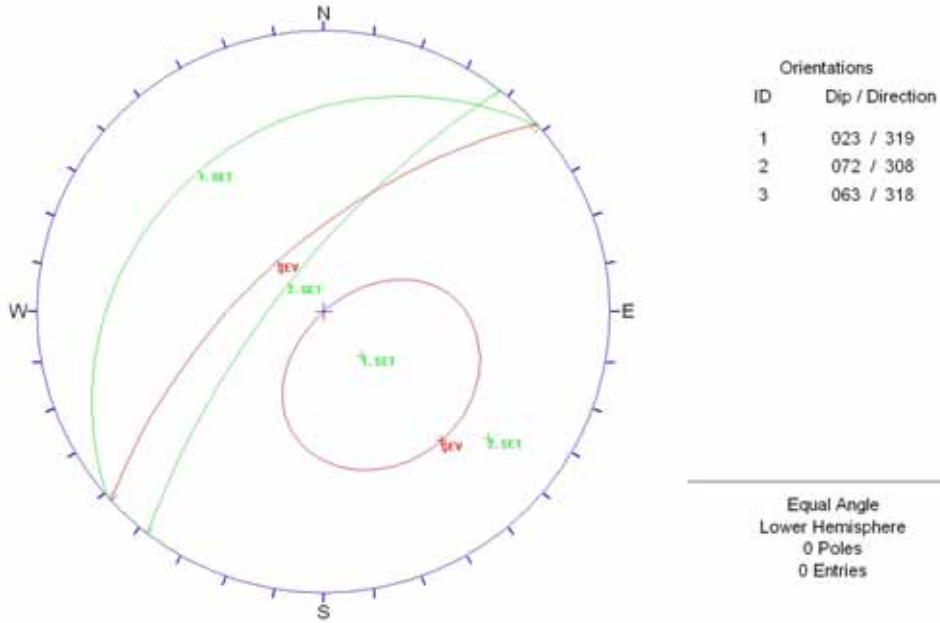
Şekil 5.1. Km: 102+700 de tüneller ve Zindan Deresinin konumu

a) Giriş bölgesi sol taraf kinematik analizler

Giriş bölgesi sol taraf için yapılan süreksizlik çalışmaları sonucu 7 adet süreksizlik seti belirlenmiştir (Çizelge 5.1, Şekil 5.2). Sol tarafta yapılacak kazının yarma şevinin eğim yönü 318° dir. Şevin eğim yönü ve süreksizlik eğim yönü arasındaki açının 20° ye kadar olan aralıkta düzlemsel kaymanın olabilme riski göz önüne alındığında 318 ± 20 ve $318 + 20$ aralığında 2 ve 6 numaralı süreksizlikler için düzlemsel kayma riski belirlenmiş ve kinematik analiz yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Giriş bölgesi sol taraf süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi

No	Eğim miktarı/Eğim Yönü	Tür	Düzlemsel kayma riski	Devrilme
1	$39^{\circ}/24^{\circ}$	Tabaka	-	-
2	$23^{\circ}/319^{\circ}$	Tabaka	+	-
3	$65^{\circ}/156^{\circ}$	Eklem	-	-
4	$63^{\circ}/93^{\circ}$	Eklem	-	-
5	$66^{\circ}/352^{\circ}$	Eklem	-	-
6	$72^{\circ}/308^{\circ}$	Eklem	+	-
7	$47^{\circ}/269^{\circ}$	Eklem	-	-



Şekil 5.2. Giriş bölgesi sol taraf düzlemsel kayma analizi

Sol taraf için sırası ile 1/2, 1/3, 1/4 ve 1/5 (yatay/düsey) için düzlemsel kayma için kinematik analiz yapılmıştır. Çözümleme Hoek ve Bray (2003) tarafından önerilen yöntemin kullanıldığı Rockdata III programı kullanılmıştır. 1/4 şev değeri ve $23^\circ/319^\circ$ yönelimli süreksizlik için analizde kullanılan değerler sırası ile;

$$H=72,9\text{m}$$

$$\text{Şev açısı} = 76^\circ$$

$$\text{Şev üstü yamaç açısı} = 21^\circ$$

Süreksizliğin Kohezyonu (C_j)= 32 kN (Çizelge 4.17den, TSK-4 sondajı ortalaması)

Süreksizliğin İçsel Sürtünme açısı= $32,74^\circ$ (Çizelge 4.17den, TSK-4 sondajı ortalaması)

Kayaç malzemesinin birim hacim ağırlığı= 27 kN/m^3

şeklinde kullanılmıştır. Süreksizliğe ait C ve Φ değerleri, aynı formasyon içinde yer alan ve en yakın sondaj olan TSK-4 nolu sondaj karotlarında yapılan deneylerden elde edilen C ve Φ dir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen bulgular ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

$$\text{Süreksizlik temas alanı} = 537,51 \text{ m}^2$$

$$\text{Dilimin ağırlığı} = 435401,12 \text{ kN}$$

$$\text{Güvenlik Faktörü} = 2,6$$

Güvenlik faktörünün 2,6 olması, bu şev değerlerinde herhangi bir stabilite sorunu ile karşılaşılmayacağını göstermektedir.

Aynı şev değeri için $72^\circ/308^\circ$ süreksizliği değerlendirildiğinde ise, süreksizliğin şevi birinci basamakta kestiği görülmüştür (Şekil 5.3). Bu nedenle düzlemsel kayma analizi sadece birinci basamağa kadar olan kesim için yapılmıştır. bu analizde kullanılan veriler;

$$H= 15 \text{ m}$$

$$\text{Şev açısı} = 76^\circ$$

$$\text{Şev üstü yamaç açısı} = 0^\circ$$

Süreksizliğin Kohezyonu (C_j)= 34.33 kN (Çizelge 4.17den, TSK-4 sondajı ortalaması)

Süreksizliğin İçsel Sürtünme açısı= $32,74^\circ$ (Çizelge 4.17den, TSK-4 sondajı ortalaması)

Kayaç malzemesinin birim hacim ağırlığı= 27 kN/m^3

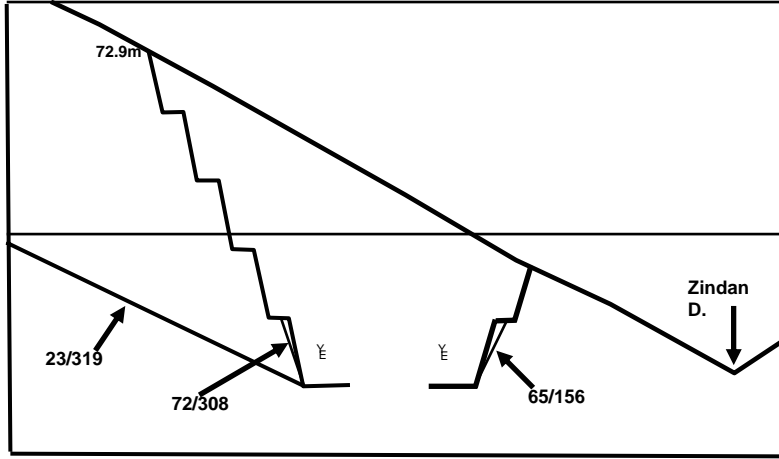
Analiz sonrası elde edilen değerler ise;

Süreksizlik temas alanı = 4,77 m²

Dilimin ağırlığı= 70,06 kN

Güvenlik Faktörü= 24,89

Her iki süreksizlik için ayrı ayrı yapılan analizler sonucunda 1/4 şev değeri için güvenlik sayılarının 2,6 ve 24,89 gibi değerler sunması sonucunda sol şevde düzlemsel kayma riski beklenmemektedir.



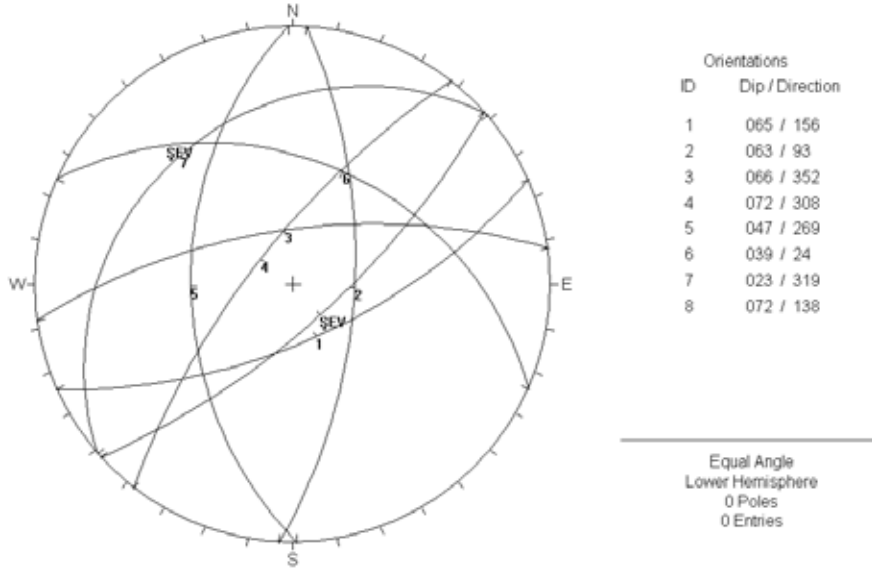
Şekil 5.3. Giriş bölgesi sol ve sağ taraf şev dizaynı

b) Giriş bölgesi sağ taraf kinematik analizler

Giriş bölgesi sağ taraf için yapılan süreksizlik çalışmaları sonucu 7 adet süreksizlik seti belirlenmiştir (Çizelge 5.2). Sağ tarafta açılan yarma şevinin eğim yönü 138° dir. Şevin eğim yönü ile ±20° lik aralık dikkate alındığında sadece 1 nolu süreksizlikte düzlemsel kayma riski gözlenmektedir (Şekil 5.4). 1/2,1/3,1/4 ve 1/5 şev eğimleri yapılan düzlemsel kayma analizlerinde 1/3 şev için kullanılan değerler;

Çizelge 5.2. Giriş bölgesi sağ taraf süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi

No	Eğim miktarı/Eğim Yönü	Tür	Düzlemsel kayma riski	Devrilme
1	65° /156°	Eklem	+	-
2	63° /93°	Eklem	-	-
3	66° /352°	Eklem	-	-
4	72° /308°	Eklem	-	-
5	47° /269°	Eklem	-	-
6	39° /24°	Tabaka	-	-
7	23° /319°	Tabaka	-	-



Şekil 5.4. Giriş bölgesi sağ taraf düzlemsel kayma analizi.

H= 15 m

Şev açısı = 72°

Şev üstü yamaç açısı= -5°

Süreksizliğin Kohezyonu (C_j)= 34.33 kN(Çizelge 4.17den, TSK-4 sondajı ortalaması)

Süreksizliğin İçsel Sürtünme açısı= $32,74^\circ$ (Çizelge 4.17den, TSK-4 sondajı ortalaması)

Kayaç malzemesinin birim hacim ağırlığı= 27 kN/m^3

Analiz sonrası elde edilen değerler ise;

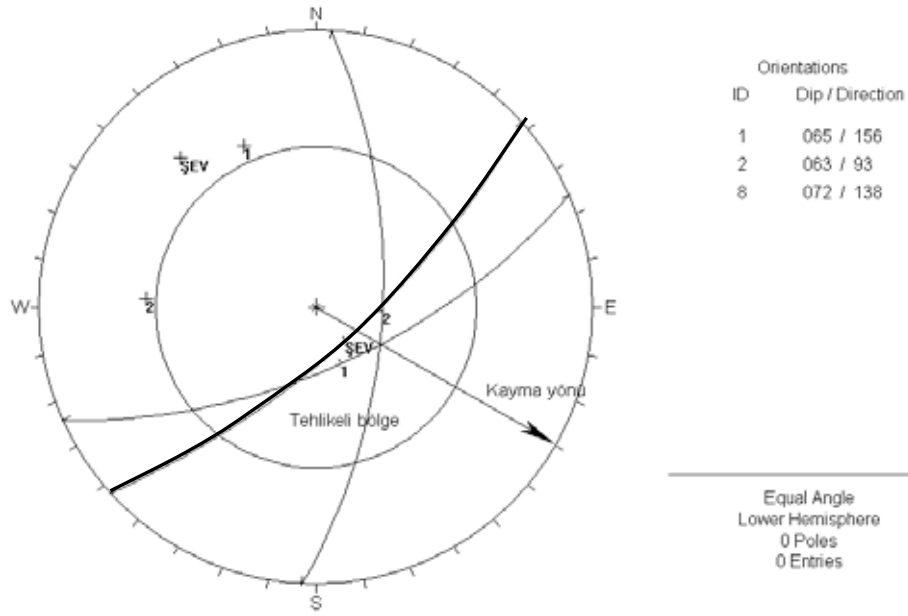
Süreksizlik temas alanı = $4,38 \text{ m}^2$

Dilimin ağırlığı= 122,9 kN

Güvenlik Faktörü= 13,84

şeklindedir. Bu şev değeri için 13,84 gibi yüksek bir güvenlik faktörü elde edilmiştir. Ancak, sağ tarafta bulunan Zindan Deresi yol kotunun üst seviyelerinde kalmaktadır (EK-5). Bu derenin mevsimsel olarak su bulundurması sebebi ile bu kesimde önlem alınması gerekmektedir.

Giriş bölgesi sağ taraf için kama tipi kayma oluşturabilecek süreksizlikler, 65/156 ve 63/93 yönelimli 1 ve 2 numaralı süreksizliklerdir. Bu süreksizlik takımlarının şev ile olan ilişkileri kinematik olarak değerlendirildiğinde 30° lik içsel sürtünme açısında kama tipi kayma riski görülmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Giriş bölgesi sağ taraf kama tipi kayma analizi.

Süreksizlik setlerinin kohezyon ve içsel sürtünme değerleri TSK-4 nolu sondaj verilerinden yararlanılarak analitik analiz yöntemi ile kama tipi analiz yapılmıştır. Bu analizde kullanılan parametreler;

1 nolu süreksizlik seti için

$$c=55 \text{ kN/m}^2$$

$$\Phi=41^\circ$$

2 Nolu süreksizlik seti için

$$c=44 \text{ kN/m}^2$$

$$\Phi=29.25^\circ$$

Şev yüksekliği = 15 m

Kayacın hacim kütlesi= 27 kN/m³

Şev açısı = 72°

olarak kullanılan analiz sonucu güvenlik faktörü 3.12 gibi oldukça yüksek bir sonuç vermiştir. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi sağ tarafta bulunan Zindan Deresinden sızabilecek olan sular süreksizliklerin dayanımlarında düşme olacak ve kayma riski ortaya çıkabilecektir.

5.2. Giriş Ağız Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi

5.2.1. Giriş ağız Kinematik Analizler

Giriş ağızında alın şevinin tasarımı için bu bölgede ölçülen süreksizlik setleri değerlendirilmiş ve kinematik analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu kesim için hakim süreksizlik setleri Çizelge 5.3 de görülmektedir. Oluşturulacak olan alın şevinin eğim yönü 49° dir. Düzlemsel kayma için $\pm 20^\circ$ lik aralık değerlendirildiğinde 1 numaralı süreksizlikte düzlemsel kayma riski bulunmaktadır (Şekil 5.6). Şev değeri olarak 1/2, 1/3, 1/4 şev değerleri için analiz yapılmıştır. Bu şev değerlerinden 1/3 şev değeri olumlu sonuç vermiştir (Şekil 5.6). Şev stabilite analizinde kullanılan parametreler;

$H = 31,33\text{m}$

Şev açısı = 72°

Şev üstü yamaç açısı = 11°

Süreksizliğin Kohezyonu (C_j) = 34.33 kN

Süreksizliğin İçsel Sürtünme açısı = $32,74^\circ$ (Çizelge 4.17den, TSK-4 sondajı ortalaması)

Kayaç malzemesinin birim hacim ağırlığı = 27 kN/m^3

Şeklinde kullanılması sonucu elde edilen değerler;

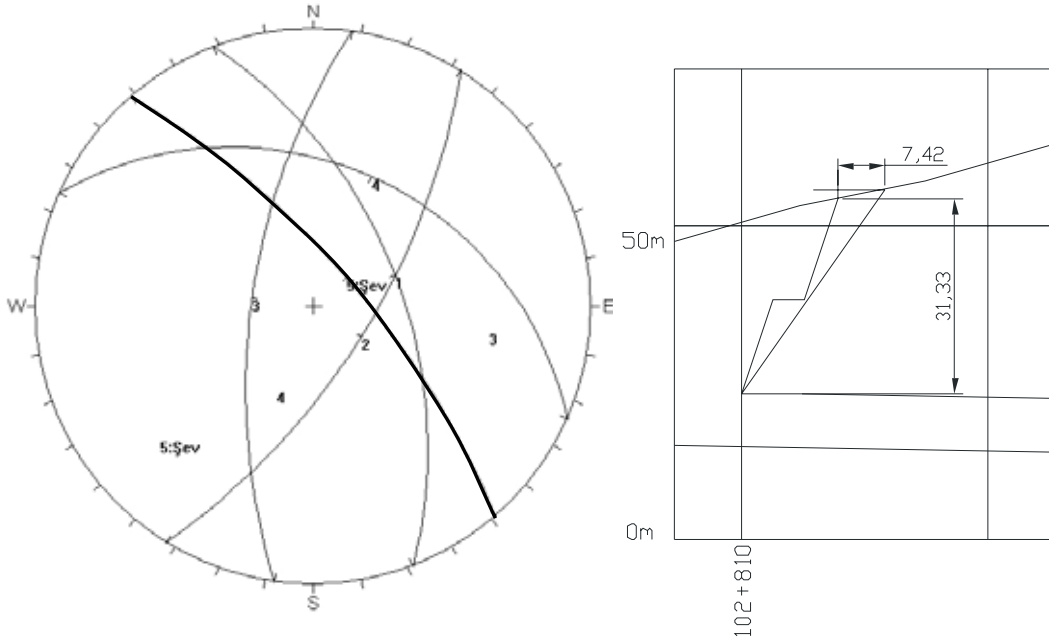
Süreksizlik temas alanı = $9,35\text{ m}^2$

Dilimin ağırlığı = 1449.23 kN

Güvenlik Faktörü = 1,71 bulunmuştur. Süreksizliğin şev basmaklarının tamamını kesmesi sebebi ile şevin bütününde analiz yapılmıştır. Elde edilen güvenlik faktörünün 1.7 olması düzlemsel kayma sorununun beklenmediğini göstermektedir. Ancak tünellerin giriş ve çıkış ağız kesimleri tünel güvenliği açısından oldukça önemli bölgelerdir. Kazı aşamasında bu değerler tekrar kontrol edilmelidir.

Çizelge 5.3. Giriş ağız hakim süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi

No	Eğim miktarı/Eğim Yönü	Tür	Düzlemsel kayma riski	Devrilme
1	55/69	Ekleme	+	-
2	67/122	Ekleme	-	-
3	65/278	Ekleme	-	-
4	36/24	Tabaka	-	-

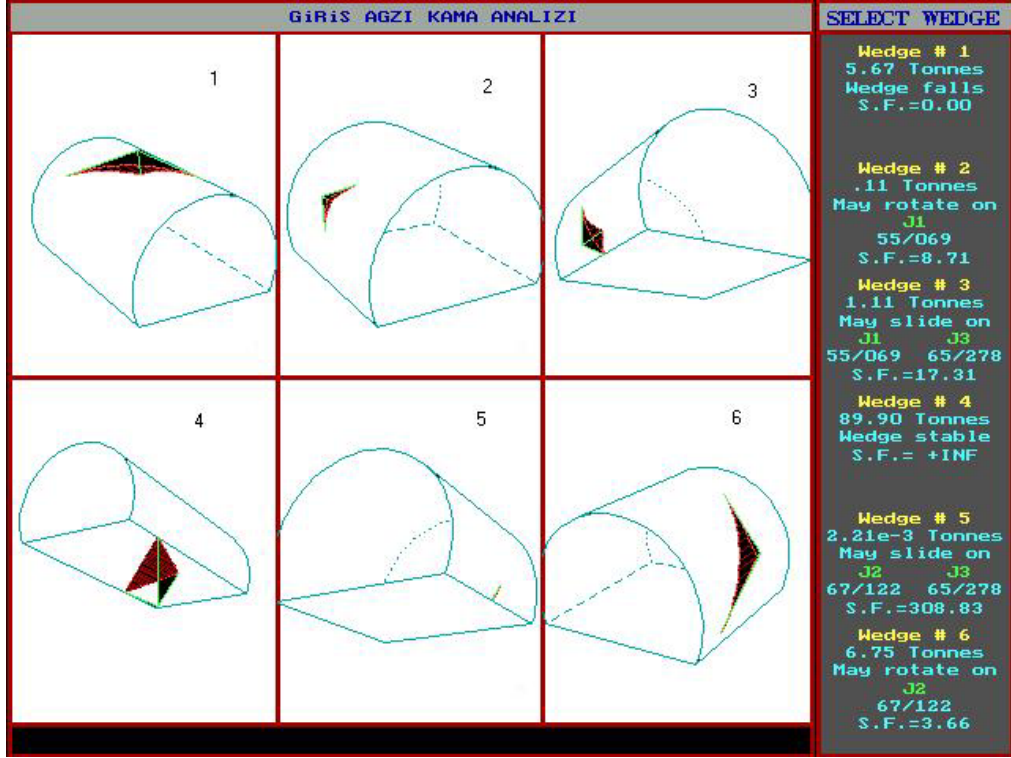


Şekil 5.6. Giriş ağzı alın şevi için düzlemsel kayma analizi.

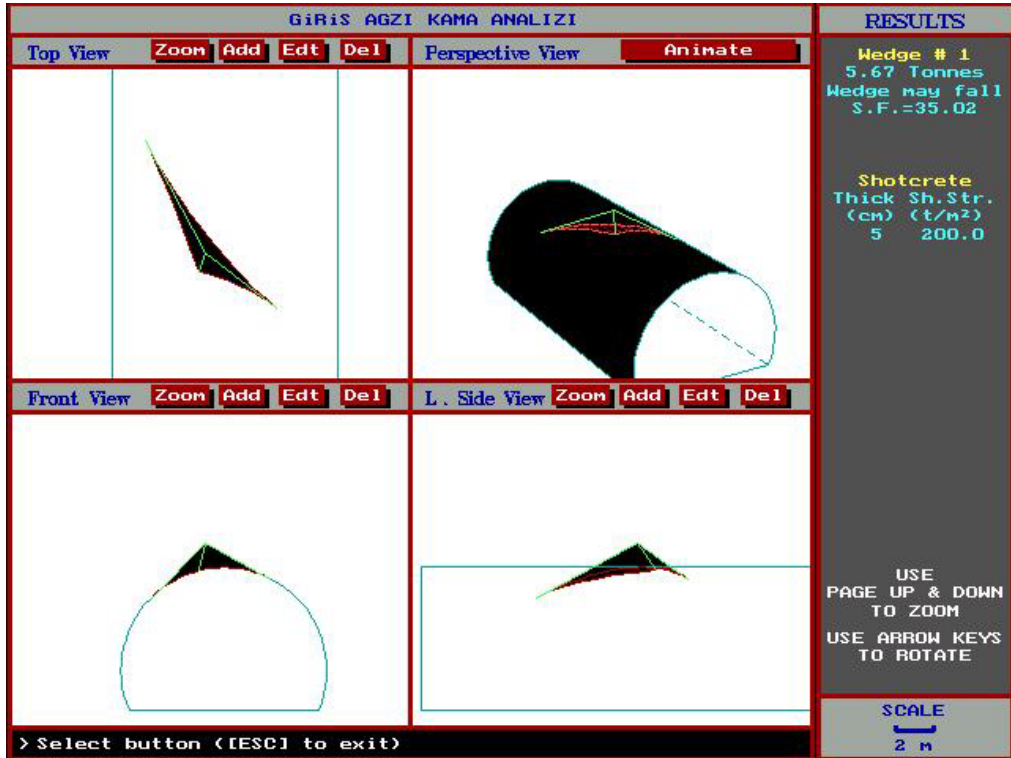
Tünelin giriş ağzında örtü yüksekliğinin düşük olması sebebi ile buradaki yenilmeler gerilme dağılımından çok süreksizlik kontrolünde gerçekleşecektir. Bu kesim için süreksizlik kontrolünde gelişecek kama tipi kayma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu kesimdeki kullanılacak analizler için UNWEDGE 3.35 yazılımı kullanılmıştır. Giriş ağzında bulunan 4 süreksizlik seti sırasıyla; 1-2-3, 2-3-4 ve 1-3-4 kombinasyonları kullanılarak analizler yapılmıştır. Süreksizlik setleri için kohezyon ve içsel sürtünme değerleri en yakın sondaj olan TSK-4 sondajında yapılan deneylerden alınmıştır. Buradaki süreksizliklerin C ve Φ değerleri sırasıyla; 5.5 ton/m² -11.31°, 4.4 ton/m² - 29.35° ve 0.4 ton/m² – 23.27° olarak kullanılmıştır. Süreksizlik aralığı değerleri ise TSK-1 sondajından hesaplanan değerlerdir.

1-2-3 nolu süreksizliklerin analizi sonucunda tünel tavanında 5.6 tonluk bir kütle için kama tipi kayma riski gözlenmiştir (Şekil 5.7). Tünelin taban, sol, sol alt, sağ ve sağ alt tarafında oluşacak bloklar çok ufak boyutlu ve/veya güvenlik faktörleri büyüktür (Şekil 5.7). Tünelin tavanında oluşacak blok için destek sistemlerinden 5 cm kalınlığında püskürtme denendikten sonra güvenlik faktörü 35.02 gibi oldukça güvenli bir rakama ulaşmıştır (Şekil 5.8). Destekte kullanılan püskürtme betonunun makaslama dayanımı 2 MPa olarak seçilmiştir.



Şekil 5.7. Giriş ağız 1-2-3 nolu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.



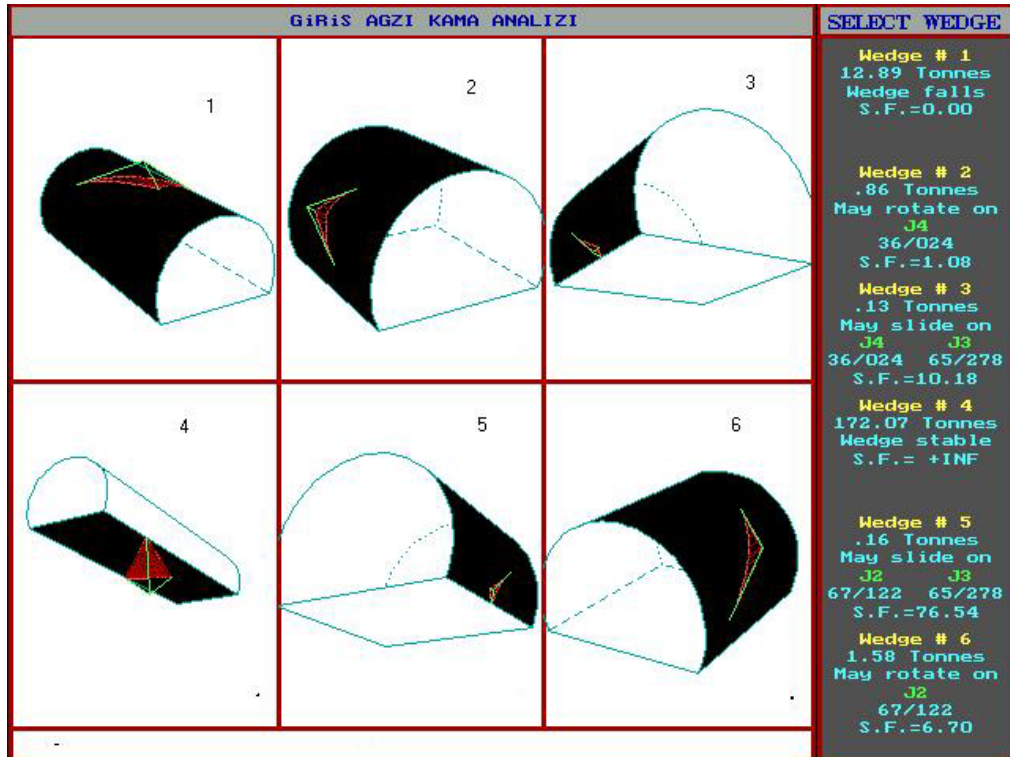
Şekil 5.8. Giriş ağız 1-2-3 nolu süreksizliklerin tavanda oluşturduğu kamanın destek sonrası durumu.

Püskürtme beton kalınlığının uygulama sırasında yeterli olmadığı görülürse ikinci kat bir püskürtme beton uygulaması yapılabilir. Bunun yanında küçük boyutlu bloklar için uygulama sırasında lokal bulonlama yapılması da gerekebilir.

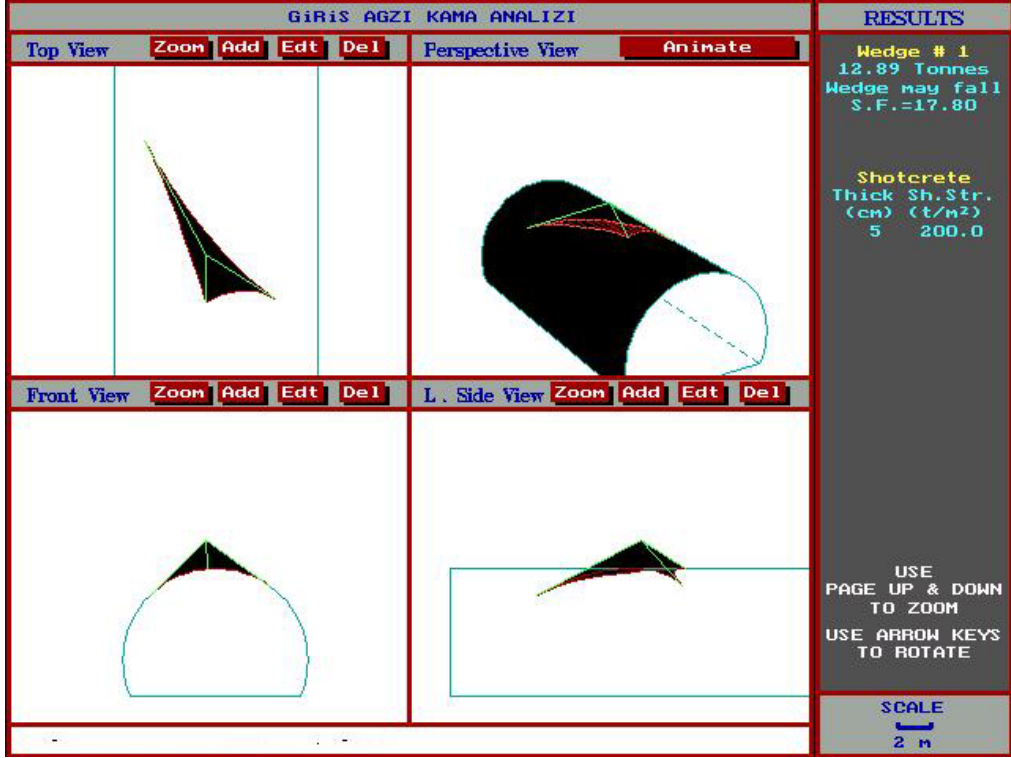
Süreksizlik setlerinden 2-3-4 nolu süreksizlikler değerlendirildiğinde ise tavanda 12.89 tonluk ve sol tarafta ise 0.86 tonluk blokların kayma oluşturacağı belirlenmiştir. (Şekil 5.9). Bir önceki analizde uygulanan destek sistemi olan 2 MPa makaslama dayanımlı, 5 cm kalınlığında püskürtme beton uygulaması sonunda ise güvenlik faktörü tavanda, 17.80 (Şekil 5.10), sol tarafta ise 123.79 (Şekil 5.11) gibi oldukça güvenli seviyelere çıktığı görülmüştür.

Süreksizlik setleri 1-3-4 kombinasyonu ile analiz edildiğinde ise; tavanda sağ üst tarafta oldukça küçük bir bloğun (0.000104 ton) kayma oluşturabileceği görülmüştür (Şekil 5.12). Destek sistemi olarak yapılacak olan 5 cm lik püskürtme beton sonrası ise güvenlik faktörü 162863 gibi oldukça abartılı rakamlara ulaşmaktadır (Şekil 5.13).

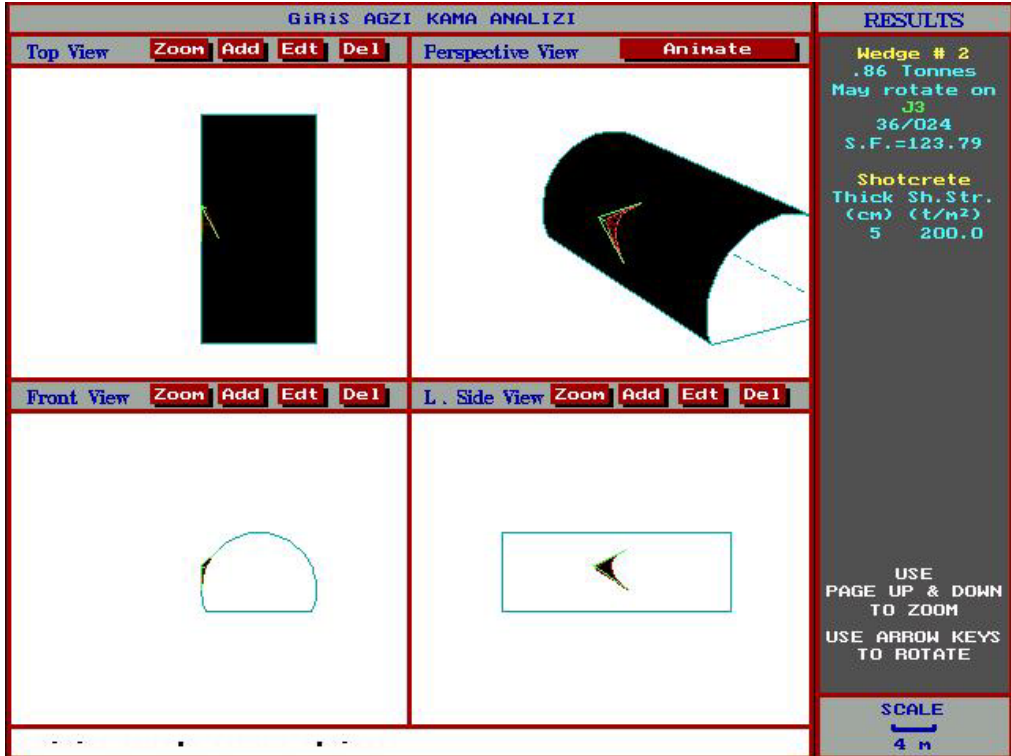
Sonuç olarak tünelin giriş ağzında oluşacak olan kama tipi kayma hareketleri için destek olarak 5 cm lik püskürtme beton uygulaması yeterli görülmektedir.



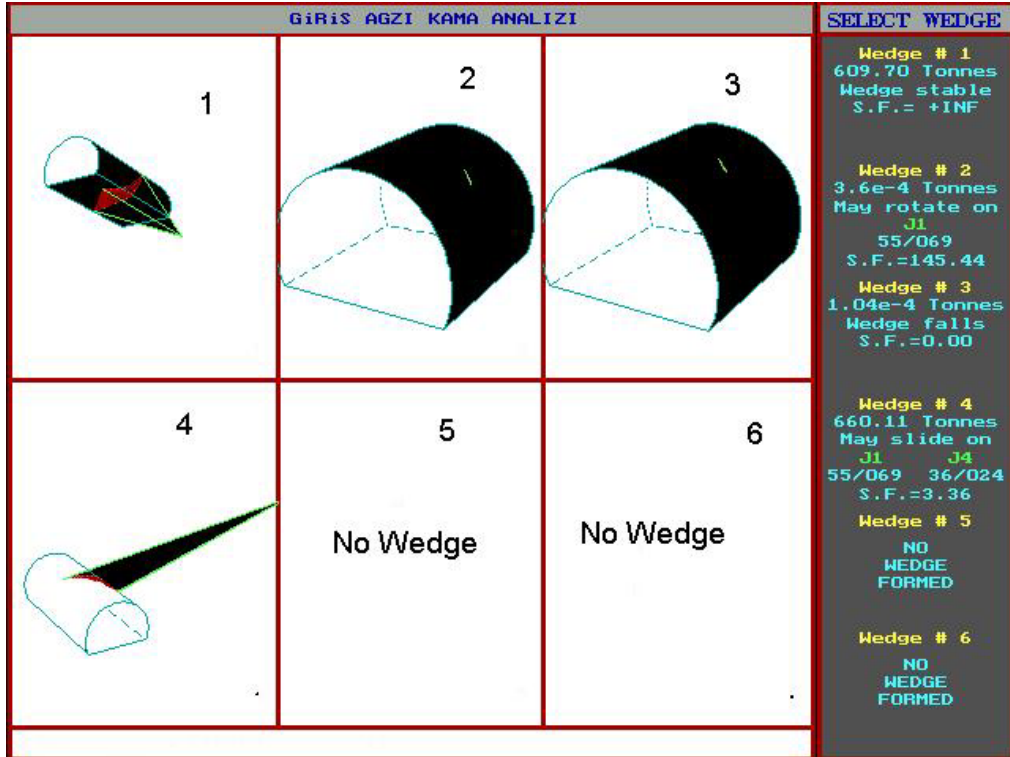
Şekil 5.9. Giriş ağzı 2-3-4 nolu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.



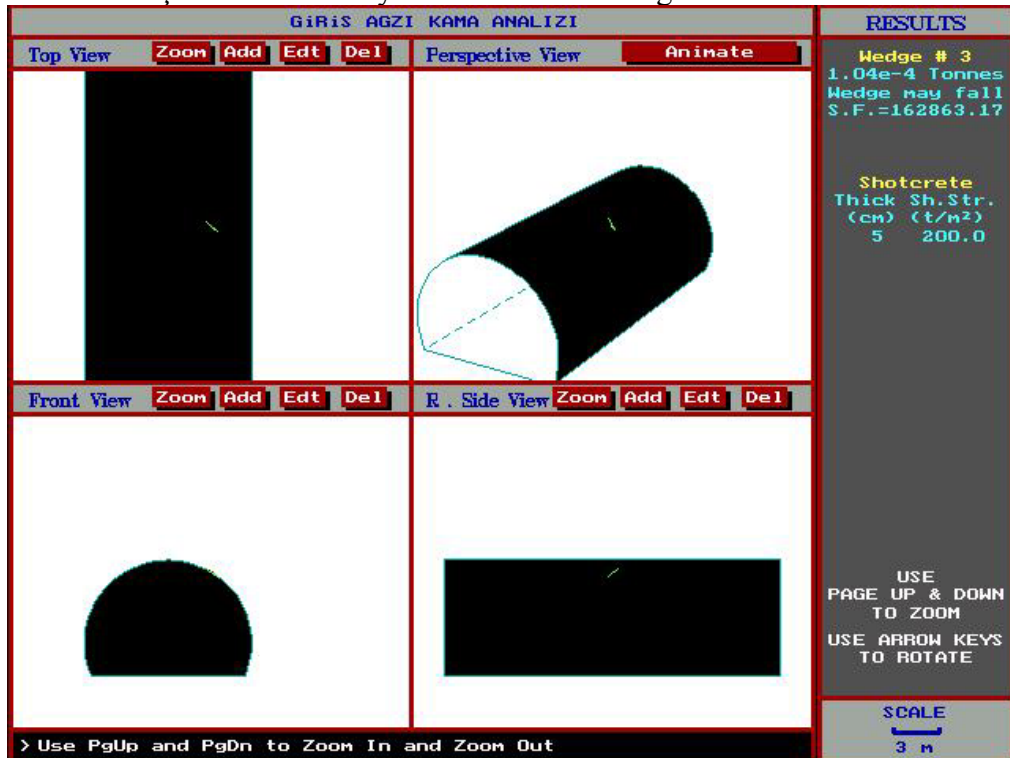
Şekil 5.10. Giriş ağızı 2-3-4 nolu süreksizliklerin tavanda oluşturduğu kamamın destek sonrası durumu.



Şekil 5.11. Giriş ağızı 2-3-4 nolu süreksizliklerin sol tarafta oluşturduğu kamamın destek sonrası durumu.



Şekil 5.12. Giriş ağız 1-3-4 nolu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.



Şekil 5.13. Giriş ağız 1-3-4 nolu süreksizliklerin sağ tarafta oluşturduğu kamamın destek sonrası durumu.

5.2.2. Giriş ağız kaya kütlesi sınıflandırma sistemleri

Boğsak Tünelleri Km:102+810 da bulunan giriş ağzının jeoteknik değerlendirmesinde TSK-1 nolu sondajın verilerinden yararlanılmıştır. Km: 102+810 da topoğrafik kot ile tünel kotu arasında 23.71 m lik bir fark bulunması sebebi ile tünellerin giriş ağzına açık kazı girilecektir.

Bu kesimde RMR sınıflama sistemin uygulanmasında süreksizliklerin yüzey ölçüm parametrelerinden sadece açıklık kullanılmıştır. Diğer parametreler için sondaj karotlarından faydalanılmıştır. Tünel yüksekliği H olarak kabul edildiğinde +2H ve -2H derinliklerindeki veriler kullanılarak gerilme dağılımları için gerçeğe daha yakın değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Giriş ağızı, RMR sınıflama sistemine göre, en iyi koşullar için “II İyi kaya”, en kötü koşullar için “IV Zayıf kaya” ve normal koşullar içinse “III Orta kaya” sınıfında yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı, kütle özellikleri ve kazı-destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 5.4 a,b ve c de sunulmuştur.

Giriş ağızı için yapılan Q sınıflamasında süreksizlik takımı sayısı (J_n) yüzey ölçümlerinden yararlanılarak 4 veya daha fazla set ve geliş güzel eklemler olarak seçilmiştir. Giriş ve çıkış ağızları için sistemde önerilen $J_n \cdot 2$ önerisi bu kesim için kullanılmıştır. Sınıflamaya göre giriş ağızı, en iyi ve normal koşullar için “ Çok zayıf kaya” ve en kötü koşullar için ise “Aşırı derede zayıf kaya” içerisinde yer almaktadır. Sınıflamada kullanılan parametreler ve kaya kütle sınıfı, kütle özellikleri ve destek sistemi önerileri Çizelge 5.5 a, b ve c de sunulmuştur.

GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünün belirlenmesinde Rocscience firması tarafından üretilen ve ölçütün 2002 versiyonunu kullanan RocLab v. 1.009 yazılımı kullanılmıştır. GSI değerinin seçiminin görsel ve öznel olması sebebi ile (Ulusay ve Sönmez, 2002) Hoek ve Brown (1997) tarafından önerilen şekli ile GSI nin belirlenmesinde RMR puanından faydalanılmıştır. Hesaplama kullanılan m_i sabiti dolomitler için yazarlar tarafından önerilen ± 9 değeri kullanılmıştır. Örselenme faktörü olan D ise taban kemersiz mekanik kazı ile açılacak tüneller için önerilen 0.5 değeri kullanılmıştır. Ölçütte kullanılan parametreler, elde edilen bulgulardan kütle parametreleri ve kütlenin normal ve makaslama gerilmesi arasındaki ilişki Çizelge 5.6 ve Şekil 5.14 da sunulmuştur.

Çizelge 5.4 a. Giriş ağız TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>	
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	114.92	17.36	54.44	
Puan	12	2	7	
RQD	81	15	50	
Puan	20	3	13	
Süreksizlik Aralığı (mm)	600-2000	60-200	200-600	
Puan	15	8	10	
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	3-10	1-3
	Puan	6	2	4
	Açıklık (mm)	1-5	6-20	6-20
	Puan	1	0	0
	Pürüzlülük	Düz	Kaygan	Kaygan
	Puan	1	0	0
	Dolgu	<5mm Sert	<5mm Yumuşak	Dolgu yok
	Puan	4	2	6
	Bozunma	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
	Puan	5	5	5
Yeraltı Suyu	Yok	Yok	Yok	
Puan	15	15	15	
Temel RMR Puanı	79	37	60	
Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	
Düzeltilmiş RMR Puanı	69	27	50	
Kaya Kütle Sınıfı	II İyi Kaya	IV Zayıf Kaya	III Orta Kaya	

Çizelge 5.4 b. Giriş ağız TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

<i>Koşullar</i>	<i>Kütle Parametreleri</i>				
	Kohezyon (C) (kPa) (Trueman, 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (Φ) (Trueman, 1988)	E Modülü (GPa) (* Bieniawski, 1978 **Serafim ve Pereira, 1983))	Destek Basıncı (kN/m^2) (Ünal, 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski, 1989)
<i>En iyi Koşullar</i>	4,19	44,5°	58,00*	4819,5	1250 gün
<i>En Kötü Koşullar</i>	76,95	23,5°	4,73**	14458,5	Ani Çökme
<i>Normal Koşullar</i>	15,63	35°	20,00*	9180	402 saat

Çizelge 5.4 c. Giriş ağız TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>			
	<i>Kazı Yönetimi</i>	<i>Kaya Saplamları</i>	<i>Püskürtme Beton</i>	<i>Çelik Destek</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Tam Kesit 1-1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20m mesafede	Kemerin her 2-3m sinde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-2.5m aralıklı	Gerektiğinde tavan kemerinde 50mm	Yok
<i>En Kötü Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1-1.5m İlerleme, kazıya uygun şekilde aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5m aralıklı, 4-5m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 100-150mm ve yan duvarlarda 100mm	Gereken yerlerde 1.5m aralıklı ve yer yer hafif profiller
<i>Normal Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1.5-3m İlerleme. Komple destek. Aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	3-4m uzunlukta sistematik saplamalar. Kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2m aralıklı	Tavan kemerinde 50-100mm ve yan duvarlarda 30mm	Yok

Çizelge 5.5 a. Giriş ağızı TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
RQD	81	15	50
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler
	15*2 (giriş ve çıkış ağızı için)	15*2 (giriş ve çıkış ağızı için)	15*2 (giriş ve çıkış ağızı için)
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Düz, dalgalı	Düz, düzlemsel	Düz, düzlemsel
	2	1.0	1.0
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Az ayrışma	Az ayrışma	Az ayrışma
	2	2	2
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü (Jw)	Kuru kazılar, ya da küçük sızma	Kuru kazılar, ya da küçük sızma	Kuru kazılar, yada küçük sızma
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği <50m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği <50m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği <50m)
	5	5	5
Q	0.540	0.050	0.167
Kütle Sınıfı	Çok Zayıf Kaya	Aşırı Derecede Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya

Çizelge 5.5 b. Giriş ağız TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

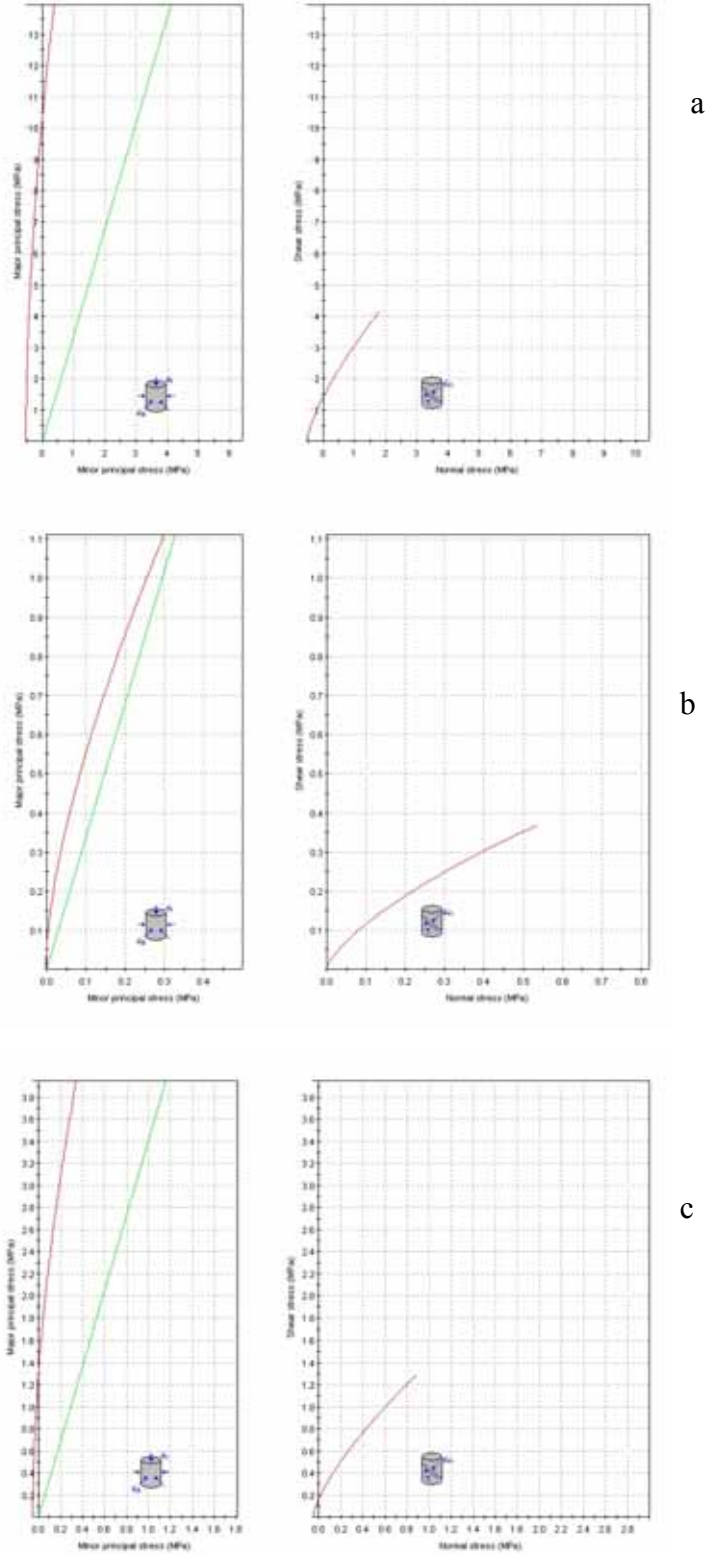
<i>Kütle Özellikleri</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
<i>Tünel Açıklığı</i>	12	12	12
<i>Tünel Yüksekliği</i>	9	9	9
<i>Blok Boyutu</i>	5.4	1	3.33
<i>Bloklar arası Kayma Direnci</i>	1	0.5	0.5
<i>Aktif Gerilme</i>	0.2	0.2	0.2
<i>ESR (Kazı Destek Puanı)</i>	1	1	1
<i>Maksimum Desteksiz Tavan Açıklığı</i>	1.56 m	0.60 m	0.98 m
<i>Destek Üzerine Gelecek Basınç</i>	1.23 kg/cm ²	5.43 kg/cm ²	3.63 kg/cm ²
<i>Kaya Kütlelerinin Ortalama Elastisite Modülü</i>	7.94 GPa	3.25 GPa	5.11 GPa

Çizelge 5.5 c. Giriş ağız TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>	
	<i>Tavan</i>	<i>Duvar</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Bulon boyu 3.35m aralığı 1.6 m, 9 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.04 m bulon aralığı 1.6m, 9 cm Püskürtme beton
<i>En Kötü Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.2 m, 15 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.2m, 15 cm Püskürtme beton
<i>Normal Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.3 -1.4 m, 15 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.3-1.4 m, 15 cm Püskürtme beton

Çizelge 5.6. Giriş ağız TSK-1 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri

<i>Kütle Özellikleri</i>		<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
<i>Örtü Yüksekliği</i>		23.71 m	23.71 m	23.71 m
<i>GSI (RMR₈₉₋₅)</i>		74	32	55
<i>Tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) MPa</i>		114.92	17.36	54.44
<i>mi (malzeme sabiti) dolomit</i>		10	8	9
<i>D (Örselenme faktörü)</i>		0.5	0.5	0.5
<i>Uygulama</i>		Tünel	Tünel	Tünel
<i>mb</i>		2.89936	0.313909	1.05587
<i>s</i>		0.0312209	0.000115451	0.00247875
<i>a</i>		0.500988	0.519528	0.504048
<i>σ_{3max} (MPa)</i>		0.388125	0.305412	0.348949
<i>Hacim Kütle (MN/m³)</i>		0.0269	0.0217	0.026
<i>Tünel Derinliği</i>		23.71m	23.71m	23.71m
<i>Mohr-Coulom</i>	<i>C Kohezyon (MPa)</i>	2.88054	0.0780948	0.395681
	<i>Φ İçsel Sürtünme</i>	58.3265	37.3028	54.3151
<i>Kaya Kütleli Parametreleri</i>	<i>σ_t (Çekme Gerilmesi)</i>	-1.23748	-0.00638474	-0.127803
	<i>Tek eksenli basınç (σ_c)</i>	20.2363	0.156262	2.64537
	<i>Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa</i>	29.8618	1.16789	7.57025
	<i>Elastisite Modülü (E_m) MPa</i>	29858	1108.76	7379.39



Şekil 5.14. Giriş ağızı TSK-1 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri

5.3. Orta Bölgenin Jeoteknik Değerlendirmesi

Tünel eksenini boyunca Km: 102+810 -104+000 arasında kalan orta bölgenin jeoteknik değerlendirmesinde TSK-2 ve TSK-4 nolu sondajlardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu sebeple analizler sondajların bulunduğu yer ve yakın çevresini yansıtmaktadır. Sondajlardan elde edilen parametreler ışığında bu bölgenin kaya kütle koşulları, en iyi, en kötü ve ortalama koşullarda değerlendirilmiştir.

TSK-2 ve TSK-4 sondajlarından elde edilen bulgular ile sondajların bulunduğu Km: 103+618 ve Km: 103+300 için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Her iki kesimde de örtü yükünün çok fazla olması sebebi ile yüzey ölçüm verilerinden ziyade sondajlardan elde edilen bulgulardan yararlanılmıştır. Tünelin ilerleme yönü olarak proje yönü kabul edilerek süreksizlik düzeltmesi yapılmıştır. Sınıflamada kullanılan parametreler, kaya kütle sınıfı, kütle özellikleri ve sistemin destek önerileri TSK-2 nolu sondajın bulunduğu kesim için, Çizelge 5.7 a, b ve c de, TSK-4 sondajının bulunduğu kesim için ise, Çizelge 5.10 a, b ve c de sunulmuştur.

Orta bölge için uygulanan Q sınıflamasında J_n değeri için yüzey ölçümleri, diğer parametreler için ise sondaj karotlarından elde edilen verilerden yararlanılmıştır. TSK-2 sondajında RQD değerinin 0 olduğu en kötü koşullar için Barton ve diğ. (1974) tarafından önerilen 10 değeri kullanılmıştır. Orta bölge için yapılan Q sınıflamasında kullanılan parametreler, kaya kütle sınıfı ve destek sistemi önerileri TSK-2 nolu sondajın bulunduğu kesim için, Çizelge 5.8 a, b ve c de, TSK-4 sondajının bulunduğu kesim için ise, Çizelge 5.11 a, b ve c' de sunulmuştur.

Gerilme–deformasyon analizlerinin temel verilerini oluşturacak olan GSI ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü hesaplamalarında giriş ağzı bölgesinde olduğu gibi GSI'nin belirlenmesinde RMR puanından faydalanılmıştır. Ölçütün sabitlerinden olan m_i bir önceki kesimde olduğu gibi dolomitler için önerilen ± 9 değeri kullanılmıştır. Örtü yükü olarak TSK-2 sondajı için, 155.09 m, TSK-4 sondajı için ise 150.41 m olarak alınmıştır. Sistemde kullanılan parametreler, elde edilen kütle özellikleri ve sabitleri ve kütle normal ve makaslama gerilmesi arasındaki ilişki, TSK-2 sondajı için Çizelge 5.9 ve Şekil 5.15 ve TSK-4 sondajı için ise Çizelge 5.12 ve Şekil 5.16 da sunulmuştur.

Çizelge 5.7 a. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>	
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	102.59	36.29	61.68	
Puan	12	4	7	
RQD	95	0	66	
Puan	20	3	13	
Süreksizlik Aralığı (mm)	200-600	60-200	60-200	
Puan	10	8	8	
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	<1
	Puan	6	4	6
	Açıklık (mm)	1-5	>5	1-5
	Puan	1	0	1
	Pürüzlülük	Az Pürüzlü dalgalı	Kaygan	Düz
	Puan	3	0	1
	Dolgu	<5mm karbonat dolgu	<5mm kil dolgu	<5mm kil dolgu
	Puan	4	2	2
	Bozunma	Az Bozunmuş	Az Bozunmuş	Az Bozunmuş
	Puan	5	5	5
Yeraltı Suyu	Yok	Yok	Yok	
Puan	15	15	15	
Temel RMR Puanı	76	41	58	
Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	
Düzeltilmiş RMR Puanı	66	31	48	
Kaya Kütle Sınıfı	II İyi Kaya	IV Zayıf Kaya	III Orta Kaya	

Çizelge 5.7 b. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

<i>Koşullar</i>	<i>Kütle Parametreleri</i>				
	Kohezyon (C) (kPa) (Trueman, 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (Φ) (Trueman, 1988)	E Modülü (GPa) (* Bieniawski,1978 **Serafim ve Pereira,1983))	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal, 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski,1989)
<i>En iyi Koşullar</i>	5,15	43	52,00	5508	625 gün
<i>En Kötü Koşullar</i>	58,31	25,5	5,96	13540,5	Ani göçme
<i>Normal Koşullar</i>	17,95	34	16,00	9639	70 saat

Çizelge 5.7 c. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>			
	<i>Kazı Yönetimi</i>	<i>Kaya Saplamları</i>	<i>Püskürtme Beton</i>	<i>Çelik Destek</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Tam Kesit 1-1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20m mesafede	Kemerin her 2-3m sinde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-2.5m aralıklı	Gerektiğinde tavan kemerinde 50mm	Yok
<i>En Kötü Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1-1.5m İlerleme, kazıya uygun şekilde aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5m aralıklı, 4-5m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 100-150mm ve yan duvarlarda 100mm	Gereken yerlerde 1.5m aralıklı ve yer yer hafif profiller
<i>Normal Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1.5-3m İlerleme. Komple destek. Aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	3-4m uzunlukta sistematik saplamalar. Kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2m aralıklı	Tavan kemerinde 50-100mm ve yan duvarlarda 30mm	Yok

Çizelge 5.8 a. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
RQD	95	0	66
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler
	15	15	15
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Düz, dalgalı	Düz, düzlemsel	Düz, düzlemsel
	2	1.0	1.0
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Karbonat dolgu	Klorit dolgu	Kil minerali sıvama
	2	4	4
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü (Jw)	Kuru kazılar, yada küçük sızma	Kuru kazılar, yada küçük sızma	Kuru kazılar, yada küçük sızma
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği >50m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği >50m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği >50m)
	2.5	2.5	2.5
Q	2.533	0.067	0.440
Kütle Sınıfı	Zayıf Kaya	Aşırı Derecede Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya

Çizelge 5.8 b. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

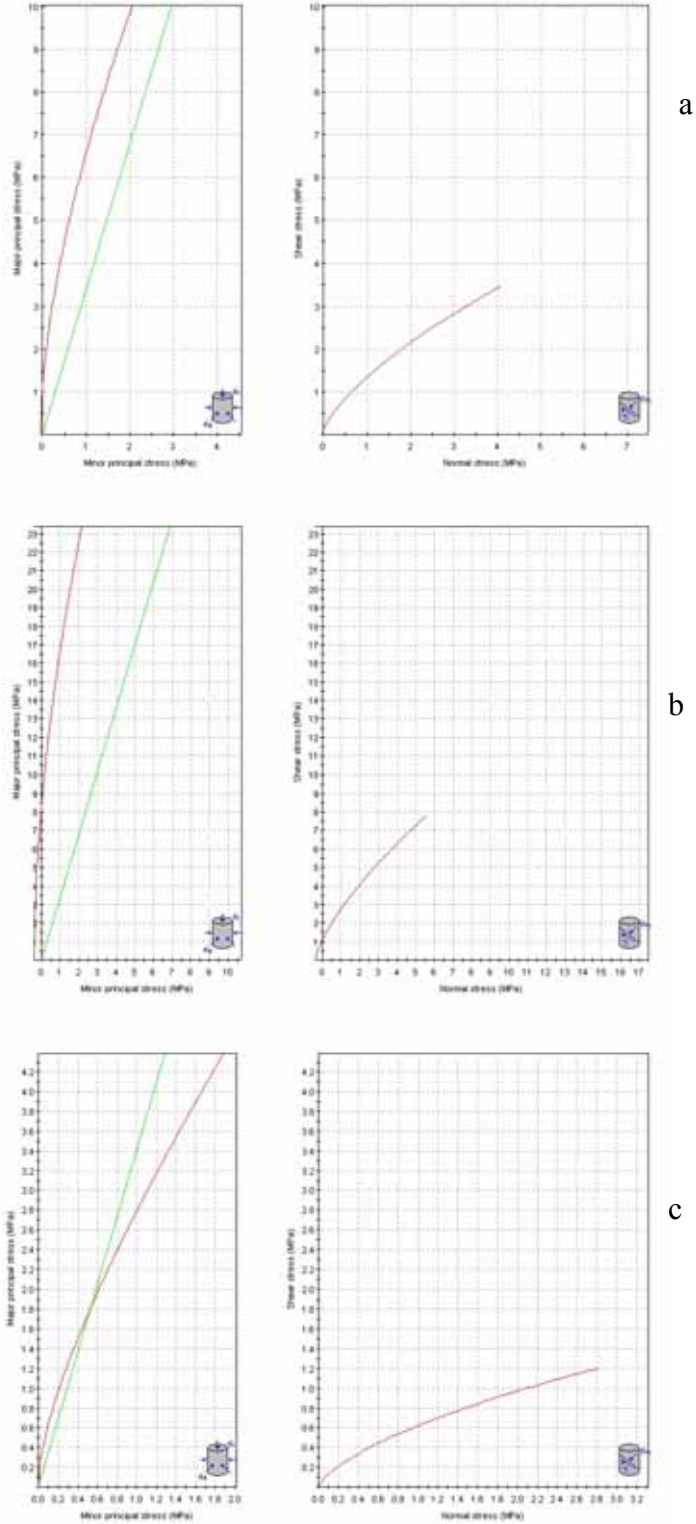
<i>Kütle Özellikleri</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
<i>Tünel Açıklığı</i>	12	12	12
<i>Tünel Yüksekliği</i>	9	9	9
<i>Blok Boyutu</i>	12.67	1.33	8.88
<i>Bloklar arası Kayma Direnci</i>	1	0.25	0.25
<i>Aktif Gerilme</i>	0.4	0.4	0.4
<i>ESR (Kazı Destek Puanı)</i>	1	1	1
<i>Maksimum Desteksiz Tavan Açıklığı</i>	2.90 m	0.68 m	1.44 m
<i>Destek Üzerine Gelecek Basınç</i>	0.73 kg/cm ²	4.93 kg/cm ²	2.63 kg/cm ²
<i>Kaya Kütlelerinin Ortalama Elastisite Modülü</i>	14.17 GPa	3.62 GPa	7.35 GPa

Çizelge 5.8 c. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>	
	<i>Tavan</i>	<i>Duvar</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Bulon boyu 3.35m aralığı 1.7 m, 7 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.04 m bulon aralığı 1.6m9 cm Püskürtme beton
<i>En Kötü Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.2 m, 16 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.2m 15 cm Püskürtme beton
<i>Normal Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.5 -1.4 m, 10 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.3-1.4 m 15 cm Püskürtme beton

Çizelge 5.9. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri

<i>Kütle Özellikleri</i>	En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar	
<i>Örtü Yüksekliği</i>	155.09	155.09	155.09	
<i>GSI (RMR₈₉₋₅)</i>	71	36	53	
<i>Tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) MPa</i>	102.59	36.29	61.68	
<i>mi (malzeme sabiti) dolomit</i>	10	8	9	
<i>D (Örselenme faktörü)</i>	0.5	0.5	0.5	
<i>Uygulama</i>	Tünel	Tünel	Tünel	
<i>mb</i>	2.51339	0.379775	0.959953	
<i>s</i>	0.020928	0.000196798	0.00189855	
<i>a</i>	0.501254	0.514908	0.504656	
<i>σ_{3max} (MPa)</i>	2.19316	1.92621	2.08973	
<i>Hacim Kütle (MN/m³)</i>	0.0281	0.0248	0.0272	
<i>Tünel Derinliği</i>	155.09	155.09	155.09	
<i>Mohr-Cloum</i>	<i>C Kohezyon (MPa)</i>	2.60206	0.282565	0.723607
	<i>Φ İçsel Sürtünme</i>	52.4303	24.6163	41.1983
<i>Kaya Kütleli Parametreleri</i>	<i>σ_t (Çekme Gerilmesi)</i>	-0.956894	-0.00899589	-0.107669
	<i>Tek eksenli basınç (σ_c)</i>	16.5445	0.214443	2.61026
	<i>Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa</i>	26.9744	1.32526	8.112
	<i>Elastisite Modülü (E_m) MPa</i>	25122.4	1395.84	7000.57



Şekil 5.15. Orta bölge TSK-2 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri

Çizelge 5.10 a. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>	
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	94.11	46.24	77.41	
Puan	7	4	7	
RQD	91	30	65	
Puan	20	8	13	
Süreksizlik Aralığı (mm)	200-600	60-200	60-200	
Puan	10	8	8	
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	<1
	Puan	6	4	6
	Açıklık (mm)	1-5	>5	1-5
	Puan	1	0	1
	Pürüzlülük	Az Pürüzlü	Düz Kaygan	Düz Kaygan
	Puan	3	0	0
	Dolgu	Kil ve Kyç. Prç. <5mm	Kil ve Klorit dolgu < 5mm	Kil ve Klorit dolgu < 5mm
	Puan	4	2	2
	Bozunma	Az bozunmuş	Orta bozunmuş	Orta Bozunmuş
	Puan	5	3	3
Yeraltı Suyu	Yok	Yok	Yok	
Puan	15	15	15	
Temel RMR Puanı	71	44	55	
Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	
Düzeltilmiş RMR Puanı	61	34	45	
Kaya Kütle Sınıfı	II İyi Kaya	IV Zayıf Kaya	III Orta Kaya	

Çizelge 5.10 b. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

<i>Koşullar</i>	<i>Kütle Parametreleri</i>				
	Kohezyon (C) (kPa) (Trueman, 1988)	İşsel Sürtünme Açısı (Φ) (Trueman, 1988)	E Modülü (GPa) (* Bieniawski,1978 **Serafim ve Pereira,1983))	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal, 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski,1989)
<i>En iyi Koşullar</i>	5,15	43	52,00	5508	291.7 gün
<i>En Kötü Koşullar</i>	50,77	26,5	6,68	13081,5	Ani göçme
<i>Normal Koşullar</i>	14,58	35,5	22,00	8950,5	95 saat

Çizelge 5.10 c. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>			
	<i>Kazı Yönetimi</i>	<i>Kaya Saplamları</i>	<i>Püskürtme Beton</i>	<i>Çelik Destek</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Tam Kesit 1-1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20m mesafede	Kemerin her 2-3m sinde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-2.5m aralıklı	Gerektiğinde tavan kemerinde 50mm	Yok
<i>En Kötü Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1-1.5m İlerleme, kazıya uygun şekilde aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5m aralıklı, 4-5m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 100-150mm ve yan duvarlarda 100mm	Gereken yerlerde 1.5m aralıklı ve yer yer hafif profiller
<i>Normal Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1.5-3m İlerleme. Komple destek. Aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	3-4m uzunlukta sistematik saplamalar. Kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2m aralıklı	Tavan kemerinde 50-100mm ve yan duvarlarda 30mm	Yok

Çizelge 5.11 a. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
RQD	91	30	65
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler
	15	15	15
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	Düz düzlemsel kaygan	Düz düzlemsel kaygan
	1.5	1	1
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Kil ve Kayaç parçası	Klorit ve Terra rosa killeri	Klorit ve Terra rosa killeri
	7	4	4
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü (Jw)	Kuru kazılar	Kuru kazılar	Kuru kazılar
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	2.5	2.5	2.5
Q	0.520	0.200	0.433
Kütle Sınıfı	Çok Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya

Çizelge 5.11.b. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

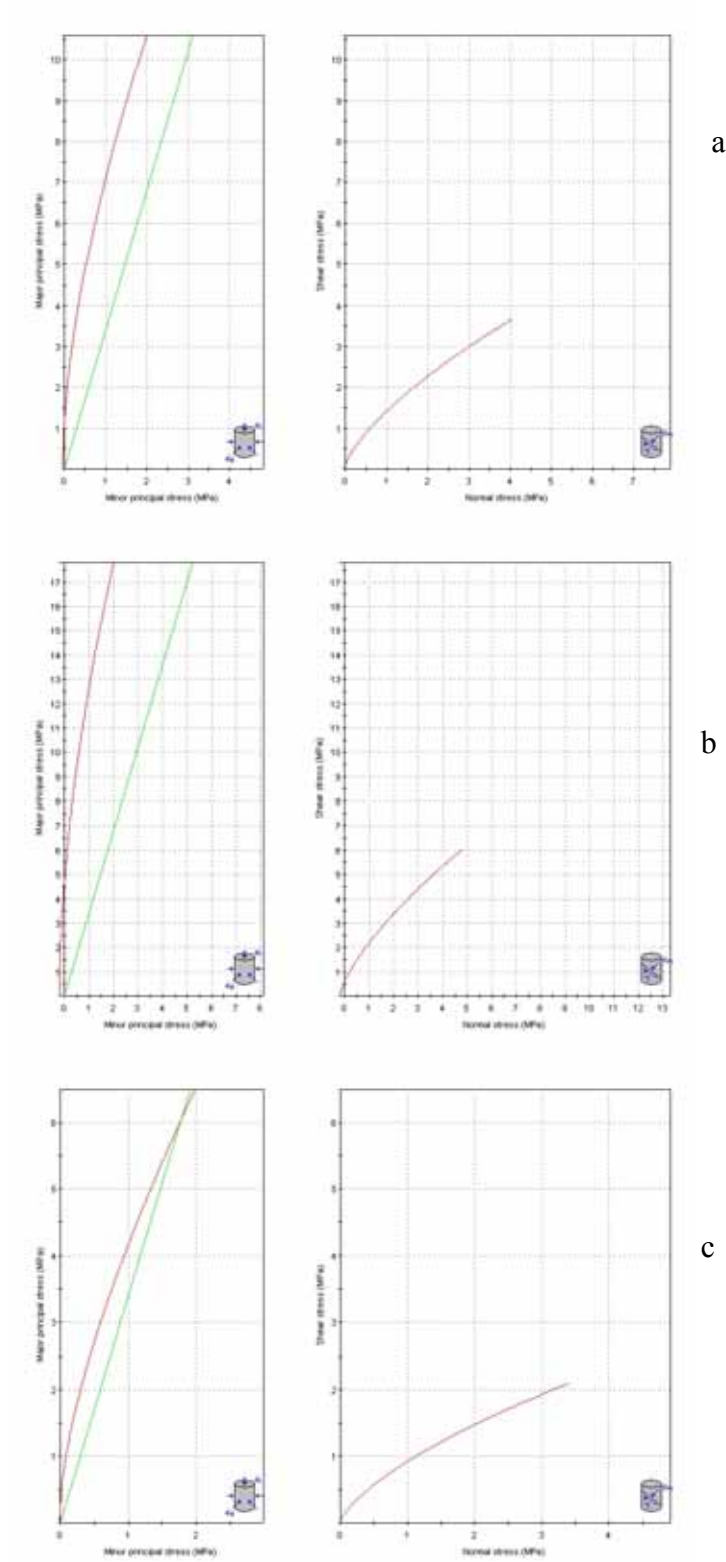
<i>Kütle Özellikleri</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
<i>Tünel Açıklığı</i>	12	12	12
<i>Tünel Yüksekliği</i>	9	9	9
<i>Blok Boyutu</i>	12.133	4	8.66
<i>Bloklar arası Kayma Direnci</i>	0.214	0.250	0.250
<i>Aktif Gerilme</i>	0.4	0.4	0.4
<i>ESR (Kazı Destek Puanı)</i>	1	1	1
<i>Maksimum Desteksiz Tavan Açıklığı</i>	1.54 m	1.05 m	1.43 m
<i>Destek Üzerine Gelecek Basınç</i>	1.66 Kg/cm ²	3.42 Kg/cm ²	2.64 Kg/cm ²
<i>Kaya Kütlelerinin Ortalama Elastisite Modülü</i>	7.83GPa	5.47 GPa	7.31 GPa

Çizelge 5.11. c. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>	
	<i>Tavan</i>	<i>Duvar</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Bulon boyu 3.35m aralığı 1.6 m, 10 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.04 m bulon aralığı1.6m 10 cm Püskürtme beton
<i>En Kötü Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.5 m, 14 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.5m 14 cm Püskürtme beton
<i>Normal Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.6 m, 10 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.6 m10 cm Püskürtme beton

Çizelge 5.12. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri

<i>Kütle Özellikleri</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>	
<i>Örtü Yüksekliği</i>	150.41	150.41	150.41	
<i>GSI (RMR₈₉₋₅)</i>	66	34	50	
<i>Tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) MPa</i>	94.11	46.24	77.41	
<i>mi (malzeme sabiti) dolomit</i>	10	8	9	
<i>D (Örselenme faktörü)</i>	0.5	0.5	0.5	
<i>Uygulama</i>	<i>Tünel</i>	<i>Tünel</i>	<i>Tünel</i>	
<i>mb</i>	1.98087	0.438095	0.832162	
<i>s</i>	0.0107448	0.000293588	0.00127263	
<i>a</i>	0.501834	0.512167	0.505734	
<i>σ_{3max} (MPa)</i>	2.03462	2.02202	2.02433	
<i>Hacim Kütle (MN/m³)</i>	0.0277	0.0257	0.0265	
<i>Tünel Derinliği</i>	150.41	150.41	150.41	
<i>Mohr-Cloum</i>	<i>C Kohezyon (MPa)</i>	1.64966	0.447009	0.764082
	<i>Φ İçsel Sürtünme</i>	50.65	33.2112	43.1031
<i>Kaya Kütleli Parametreleri</i>	<i>σ_t (Çekme Gerilmesi)</i>	-0.510479	-0.0309876	-0.118384
	<i>Tek eksenli basınç (σ_c)</i>	9.6744	0.717646	2.65796
	<i>Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa</i>	18.8665	3.86345	9.36785
	<i>Elastisite Modülü (E_m) MPa</i>	18275.9	2707.51	6598.72



Şekil 5.16. Orta bölge TSK-4 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri

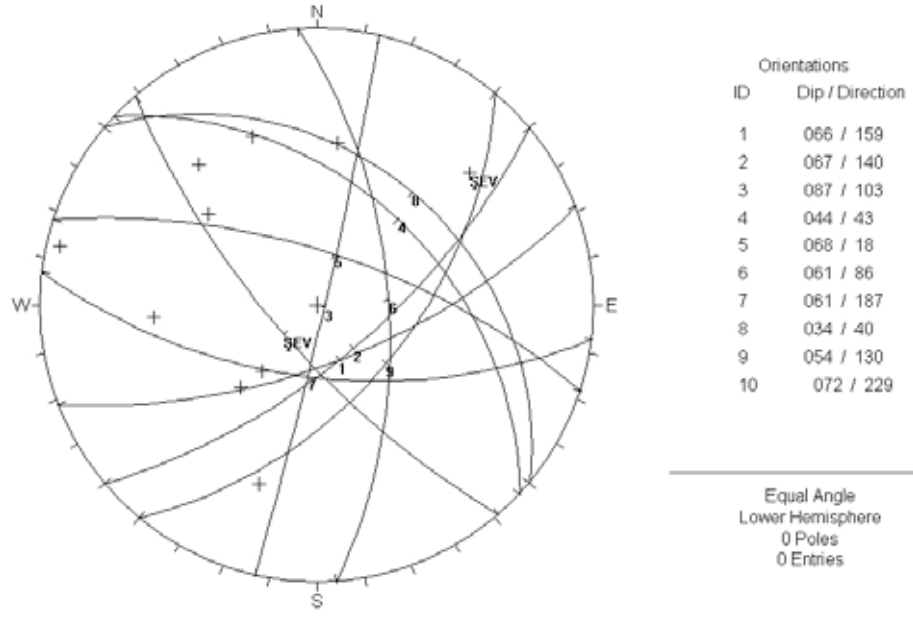
5.4. Çıkış Ağız Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi

5.4.1. Çıkış ağız kinematik analizler

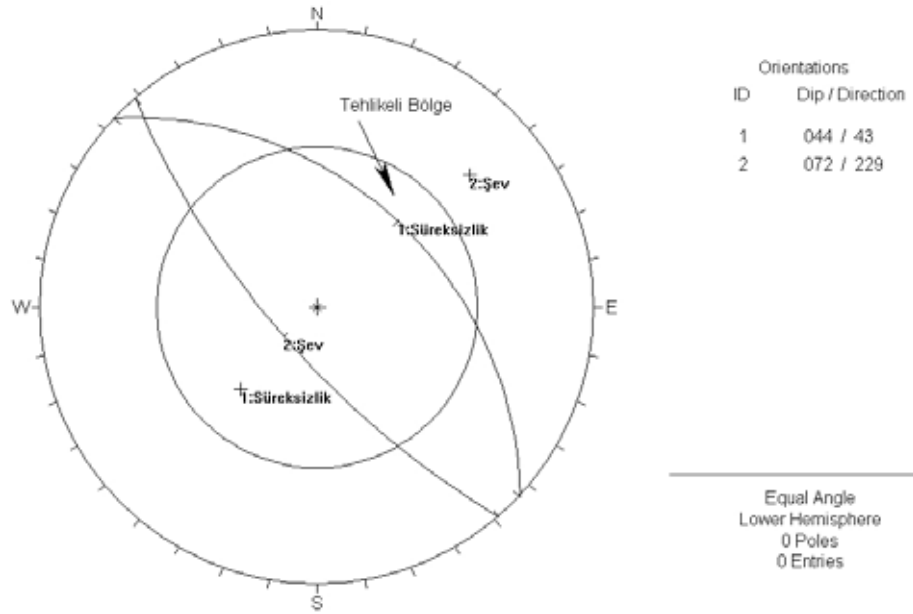
Çıkış ağız bölgesinde yapılan süreksizlik ölçümlerinde süreksizliklerin 9 bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir (Çizelge 5.13). Çıkış ağızında yapılacak olan alın şevinin eğim yönü 229° dir. Şevin eğim yönü ile $\pm 20^\circ$ lik açıda kalacak alana bakıldığında süreksizlik setlerinin hiç birinde düzlemsel kayma riski görülmemektedir (Şekil 5.17). Alın şevinin 1/3 olarak seçilmesi uygun olacaktır. Süreksizlik setleri ikişerli gruplar halinde değerlendirildiğinde, kama tipi kayma riski de görülmemektedir. Şevin eğim yönü ile 180° lik açı farkı olan eklemler devrilme olasılığı açısından incelendiğinde 4 ve 8 numaralı setlerde devrilme riski görülmektedir. Bu bölgede bulunan TSK-3 sondajı karotlarında, yapılan süreksizliklerin makaslama dayanımı deneyi sonucunda ortalama içsel sürtünme açısı (Φ_j) 30.78° olarak belirlenmiştir. Bu değer kinematik analizde kullanıldığında devrilme riski görülmemektedir (Şekil 5.18)

Çizelge 5.13. Çıkış ağız bölgesi hakim süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi.

No	Eğim miktarı/Eğim Yönü	Tür	Düzlemsel kayma riski	Devrilme
1	$66^\circ/159^\circ$	Eklemler	-	-
2	$67^\circ/140^\circ$	Eklemler	-	-
3	$87^\circ/103^\circ$	Eklemler	-	-
4	$44^\circ/43^\circ$	Eklemler	-	+
5	$68^\circ/18^\circ$	Eklemler	-	-
6	$61^\circ/86^\circ$	Eklemler	-	-
7	$61^\circ/187^\circ$	Tabaka	-	-
8	$34^\circ/40^\circ$	Tabaka	-	+
9	$54^\circ/130^\circ$	Tabaka	-	-



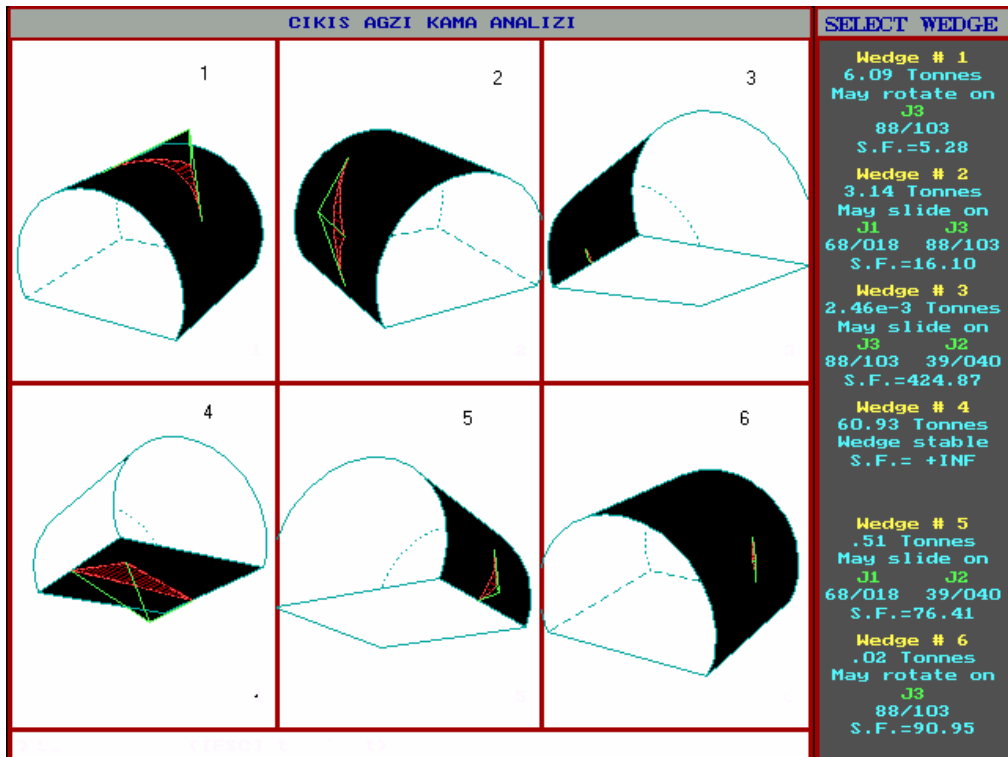
Şekil 5.17. Çıkış ağızı hakim süreksizlik setleri ve şev yöneliminin büyük daireleri.



Şekil 5.18. Çıkış ağızı 4 nolu süreksizlikte devrilme analizi.

Tünelin çıkış ağzında örtü yüksekliğinin düşük olması sebebi ile buradaki yenilmeler gerilme dağılımından çok süreksizlik kontrolünde gerçekleşecektir. Bu kesim için süreksizlik kontrolünde gelişecek kama tipi kayma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu kesimdeki kullanılacak analizler için UNWEDGE 3.35 yazılımı kullanılmıştır. Çıkış ağzında bulunan 9 süreksizlik seti elenerek kama oluşturacak olan 3 tanesi seçilerek analiz yapılmıştır. 3, 5 ve 8 no lu süreksizlik setleri için kohezyon ve içsel sürtünme değerleri en yakın sondaj olan TSK-3 sondajında yapılan deneyler kullanılmıştır. Buradaki süreksizliklerin C ve Φ değerleri sırasıyla; $7.1 \text{ ton/m}^2 - 34.99^\circ$, $12 \text{ ton/m}^2 - 26.57^\circ$ ve $12 \text{ ton/m}^2 - 26.57^\circ$ olarak kullanılmıştır. Süreksizlik aralığı değerleri ise TSK-3 sondajından hesaplanan değerlerden yararlanılmıştır. Yapılan analiz sonrası güvenlik faktörlerinin yüksek değerler sunduğu ve herhangi bir stabilite sorunu ile karşılaşılmayacağı belirlenmiştir (Şekil 5.19). Ancak kaya kütle sınıflama sistemlerinin önerdiği püskürtme beton ve lokal bulonlama yapılması tavsiye edilir.



Şekil 5.19. Çıkış ağzı 3-5-8 no lu süreksizliklerin kama tipi kayma analizi sonucu oluşturdukları en büyük kama blokları ve güvenlik faktörleri.

5.4.2. Çıkış ağız kaya kütle sınıflandırma sistemleri

Boğsak tünelleri Km:104+000 da bulunan çıkış ağzının jeoteknik değerlendirmesinde TSK-3 nolu sondajın verilerinden yararlanılmıştır. Km: 104+000 da topoğrafik kot ile tünel kotu arasında 27.54 m lik bir fark bulunması sebebi ile tünellerin çıkış ağzından sonra açık kazı ile devam edilmektedir. TSK-3 no lu sondajdan elde edilen parametreler ışığında bu bölgenin kaya kütle koşulları, en iyi şartlar, en kötü şartlar ve ortalama şartlarda değerlendirilmiştir.

Çıkış ağzında yapılan RMR sınıflamasında kot farkının fazla olması sebebi ile sondaj verilerinden faydalanılmıştır. Yapım uygulamasının hangi yönden başlayacağını bilinememesi sebebi ile tünelin ilerleme yönü proje yönü olarak seçilmiştir. Bu nedenle elde edilen temel RMR puanı üzerinden süreksizlik düzeltilmesi yapılmıştır. Yapım sırasında çıkış ağzından kazıya başlanacaksa temel RMR puanları -2 değeri ile toplanarak düzeltme yapılmalıdır. RMR sınıflamasında kullanılan parametreler, kaya kütle sınıfları, kütle özellikleri ve önerilen kazı-destek sistemleri Çizelge 5.14 a, b ve c de sunulmuştur.

Q sınıflamasının uygulanmasında, sistem tarafından önerilen Jn sayısının giriş ve çıkış ağız bölgelerinde 2 kat alınmıştır. Bu kesim için Jn sayısı 15*2 olarak kullanılmıştır. Q sınıflaması sonucunda en iyi ve normal koşullar için kaya kütle sınıfı, “ Çok zayıf kaya” ve en kötü koşullar için ise “Aşırı derecede zayıf kaya” olarak belirlenmiştir. Sınıflamada kullanılan parametreler, kütle sınıfları, kaya kütle sınıfının özellikleri ve destek sistemi önerileri Çizelge 5.15 a, b ve c de sunulmuştur.

Çıkış ağız bölgesinde GSI nin belirlenmesinde RMR puanı dikkate alınmıştır. Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünde kullanılan mi sabiti dolomitler tarafından önerilen ± 9 değeri kullanılmıştır. Örselenme faktörü D için taban kemersiz mekanik kazılar için önerilen 0.5 değeri kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan parametreler, elde edilen kaya kütle özellikleri ve kütle normal ve makaslama gerilmeleri arasındaki ilişki Çizelge 5.16 ve Şekil 5.20de sunulmuştur.

Çizelge 5.14 a. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>	
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	130.1	26.7	82.28	
Puan	12	4	7	
RQD	100	45	80	
Puan	20	8	17	
Süreksizlik Aralığı (mm)	200-600	20-60	60-200	
Puan	10	5	8	
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	<1
	Puan	6	4	6
	Açıklık (mm)	1-5	>5	1-5
	Puan	1	0	1
	Pürüzlülük	Az Pürüzlü	Kaygan	Kaygan
	Puan	3	0	0
	Dolgu	Sert dolgu < 5mm	Yumuşak Dolgu <5 mm	Yumuşak Dolgu <5 mm
	Puan	4	2	2
	Bozunma	Az Bozunmuş	Az Bozunmuş	Az Bozunmuş
	Puan	5	5	5
Yeraltı Suyu	Yok	Yok	Yok	
Puan	15	15	15	
Temel RMR Puanı	76	43	61	
Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	Uygun değil (-10)	
Düzeltilmiş RMR Puanı	66	33	51	
Kaya Kütle Sınıfı	II İyi Kaya	IV Zayıf Kaya	III Orta Kaya	

Çizelge 5.14 b. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

<i>Koşullar</i>	<i>Kütle Parametreleri</i>				
	Kohezyon (C) (kPa) (Trueman, 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (Φ) (Trueman, 1988)	E Modülü (GPa) (* Bieniawski,1978 **Serafim ve Pereira,1983))	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal, 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski,1989)
<i>En iyi Koşullar</i>	7,29	40,5	42,00	6655,5	625 gün
<i>En Kötü Koşullar</i>	47,37	27	7,08	12852	ani çökme
<i>Normal Koşullar</i>	22,10	32,5	10,00	10327,5	95 saat

Çizelge 5.14 c. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için RMR sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>			
	<i>Kazı Yönetimi</i>	<i>Kaya Saplamları</i>	<i>Püskürtme Beton</i>	<i>Çelik Destek</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Tam Kesit 1-1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20m mesafede	Kemerin her 2-3m sinde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-2.5m aralıklı	Gerektiğinde tavan kemerinde 50mm	Yok
<i>En Kötü Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1-1.5m İlerleme, kazıya uygun şekilde aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5m aralıklı, 4-5m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 100-150mm ve yan duvarlarda 100mm	Gereken yerlerde 1.5m aralıklı ve yer yer hafif profiller
<i>Normal Koşullar</i>	Tavan Kemer ve tabanda ilerleme . Tavanda 1.5-3m İlerleme. Komple destek. Aynaya 10m mesafeye kadar destek gerekli	3-4m uzunlukta sistematik saplamalar. Kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2m aralıklı	Tavan kemerinde 50-100mm ve yan duvarlarda 30mm	Yok

Çizelge 5.15 a. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırması

<i>Parametre</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
RQD	100	45	80
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler	4 veya daha fazla eklem takımı ve gelişi güzel eklemler
	15 *2	15 *2	15 *2
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Pürüzlü veya düzensiz düzlemler	Sürtünme izli düzlemsel	Sürtünme izli düzlemsel
	1.5	0.5	0.5
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Klorit dolgu	Klorit dolgu	Klorit dolgu
	4	4	4
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü (Jw)	Kuru kazılar	Kuru kazılar	Kuru kazılar
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	2.5	2.5	2.5
Q	0.500	0.075	0.133
Kütle Sınıfı	Çok Zayıf Kaya	Aşırı Derecede Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya

Çizelge 5.15.b. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre kaya kütlesi özellikleri

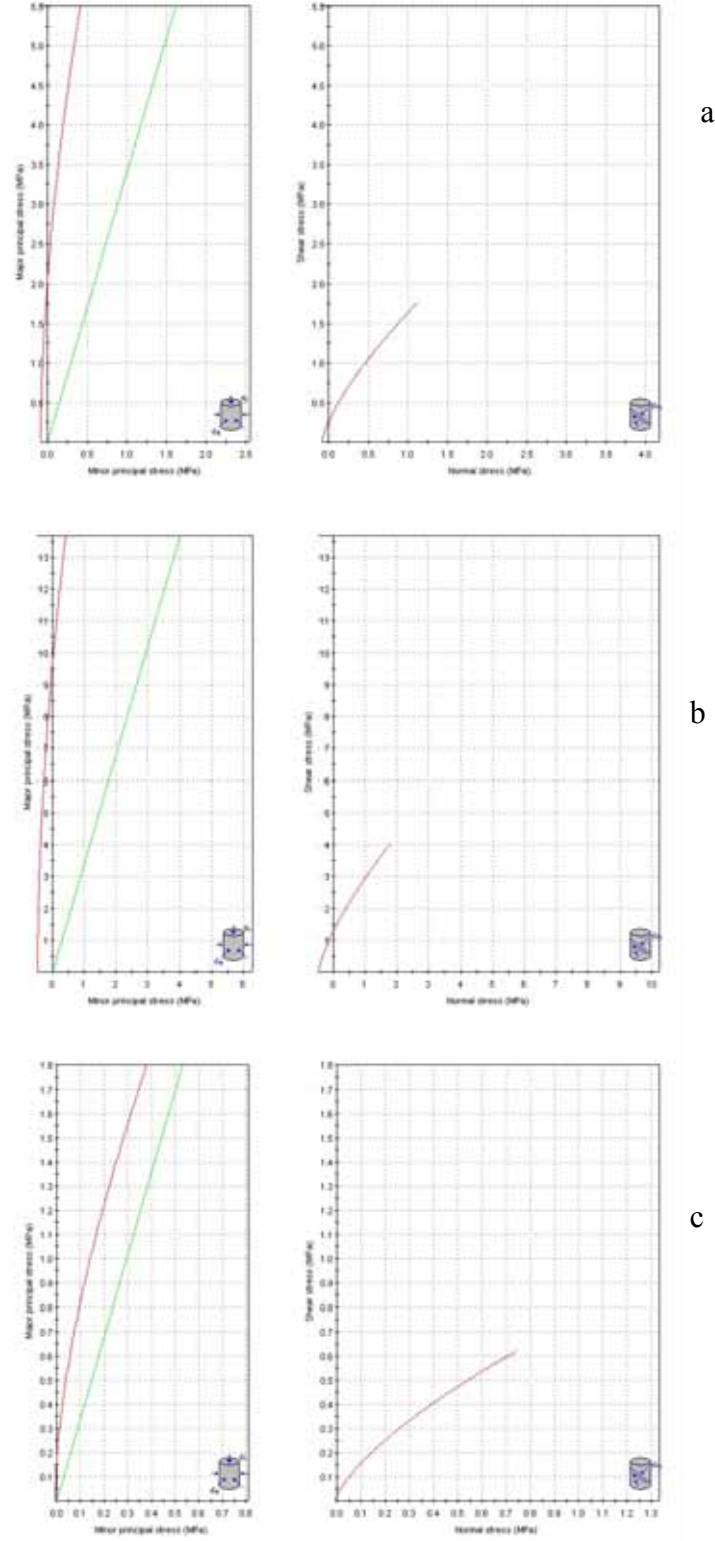
<i>Kütle Özellikleri</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>
<i>Tünel Açıklığı</i>	12	12	12
<i>Tünel Yüksekliği</i>	9	9	9
<i>Blok Boyutu</i>	6.67	3	5.33
<i>Bloklar arası Kayma Direnci</i>	0.375	0.125	0.125
<i>Aktif Gerilme</i>	0.4	0.4	0.4
<i>ESR (Kazı Destek Puanı)</i>	1	1	1
<i>Maksimum Desteksiz Tavan Açıklığı</i>	1.52	0.71	0.89
<i>Destek Üzerine Gelecek Basınç</i>	1.68	9.49	7.83
<i>Kaya Kütlelerinin Ortalama Elastisite Modülü</i>	7.71	3.79	4.70

Çizelge 5.15. c. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için Q sınıflandırmasına göre destek tipi önerileri

<i>Koşullar</i>	<i>Destek Sistemleri</i>	
	<i>Tavan</i>	<i>Duvar</i>
<i>En iyi Koşullar</i>	Bulon boyu 3.35m aralığı 1.6 m, 10 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.04 m bulon aralığı 1.6m, 10 cm Püskürtme beton
<i>En Kötü Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.2 m, 16 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.2m 16 cm Püskürtme beton
<i>Normal Koşullar</i>	Bulon boyu 3.80m aralığı 1.3 -1.4 m, 14 cm Püskürtme beton	Bulon boyu 3.35, bulon aralığı 1.3-1.4 m 14 cm Püskürtme beton

Çizelge 5.16. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi, en kötü ve normal koşullar için GSI ve Hoek –Brown Görgül yenilme ölçütü değerleri

<i>Kütle Özellikleri</i>	<i>En iyi Koşullar</i>	<i>En Kötü Koşullar</i>	<i>Normal Koşullar</i>	
<i>Örtü Yüksekliği</i>	27.54	27.54	27.54	
<i>GSI (RMR₈₉₋₅)</i>	71	38	56	
<i>Tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) MPa</i>	130.1	26.7	82.28	
<i>mi (malzeme sabiti) dolomit</i>	10	8	9	
<i>D (Örselenme faktörü)</i>	0.5	0.5	0.5	
<i>Uygulama</i>	Tünel	Tünel	Tünel	
<i>mb</i>	2.51339	0.417722	1.10737	
<i>s</i>	0.020928	0.00025694	0.0028323	
<i>a</i>	0.501254	0.51302	0.503773	
<i>σ_{3max} (MPa)</i>	0.433711	0.388178	0.41677	
<i>Hacim Kütle (MN/m³)</i>	0.0269	0.0260	0.0269	
<i>Tünel Derinliği</i>	27.54	27.54	27.54	
<i>Mohr-Cloum</i>	<i>C Kohezyon (MPa)</i>	2.60506	0.128793	0.610485
	<i>Φ İçsel Sürtünme</i>	58.6594	41.7216	55.7037
<i>Kaya Kütleli Parametreleri</i>	<i>σ_t (Çekme Gerilmesi)</i>	-1.08329	-0.0164231	-0.210446
	<i>Tek eksenli basınç (σ_c)</i>	18.7299	0.384311	4.28302
	<i>Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa</i>	30.5375	2.16548	11.7668
	<i>Elastisite Modülü (E_m) MPa</i>	25122.4	1942.3	9609.67



Şekil 5.20. Çıkış ağızı TSK-3 sondajı en iyi (a), en kötü (b) ve normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri

5.5. Çıkış Bölgesinin Jeoteknik Değerlendirmesi

Km: 104+000 ile Km: 104+400 arasında kalana çıkış bölgesinin ilk 200 metrelik kesimi tamamı kazıda 104+200 – 104+400 arasında kalan kesit ise kazı-dolguda geçilmektedir (Şekil 5.21 ve EK-4). Tam kazı ile geçilen açık kazı alanlarında şev duraylılıkları daha çok süreksizlik kontrollü olarak gelişecektir. Bu sebeple bahsedilen kesim sağ ve sol şev olarak iki kısma ayrılarak incelenmiştir.

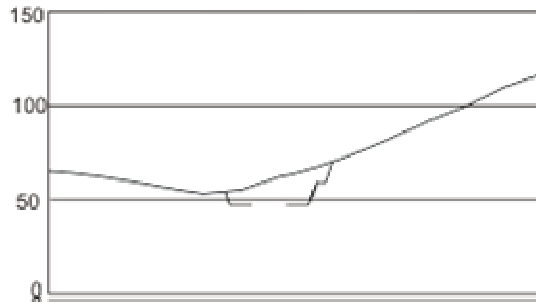
a) Çıkış bölgesi sağ taraf kinematik analizler

Çıkış bölgesi sağ tarafta açılacak olan şev tamamen kazıda geçmektedir. Bu bölgedeki süreksizlik ölçümleri sonucunda bir adet tabaka ve bir adet de eklem olmak üzere 2 adet süreksizlik seti bulunmaktadır (Çizelge 5.17). Bu kısımda açılacak olan şevin eğim yönü 138° dir. Şevin eğim yönü ile süreksizlik setlerinin eğim yönü ± 20 lik aralıkta olmaması sebebi ile düzlemsel kayma riski bulunmamaktadır (Şekil 5.22).

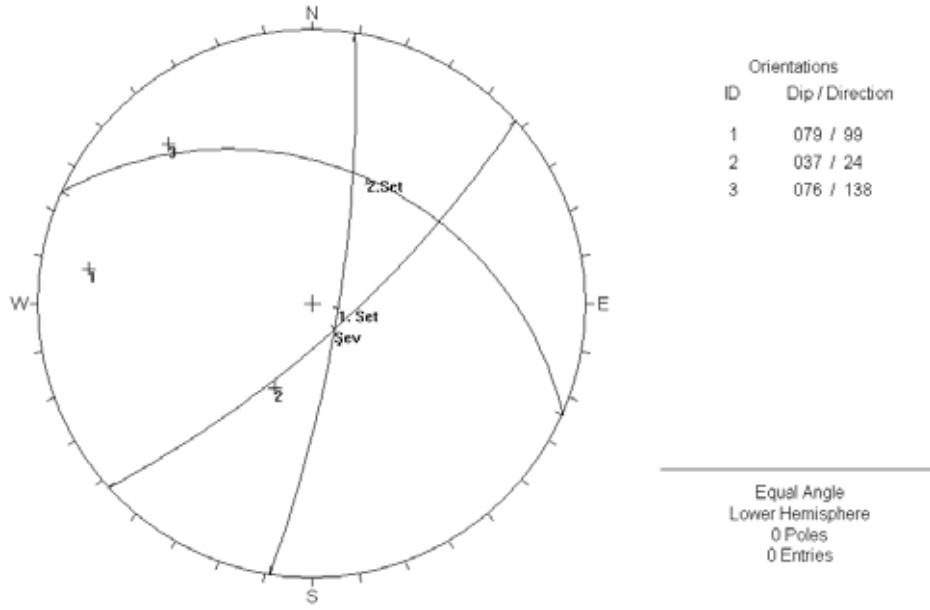
1/4 şev değeri ile yapılan kama tipi kayma analizinde güvenlik faktörü 3.52 gibi yüksek bir değer sunmaktadır. Bu analiz yapılırken süreksizliklerin C ve Φ değerleri, en yakında bulunan TSK-3 sondajından elde edilen, $C=120 \text{ kN/m}^2$, $\Phi= 26^\circ$ ve $C=71 \text{ kN/m}^2$, $\Phi= 34^\circ$ dir.

Çizelge 5.17. Çıkış bölgesi sağ taraf hakim süreksizlik setleri kinematik ön değerlendirme çizelgesi

No	Eğim miktarı/Eğim Yönü	Tür	Düzlemsel kayma riski	Devrilme
1	$79^\circ/099^\circ$	Eklem	-	-
2	$37^\circ/024^\circ$	Tabaka	-	-



Şekil 5.21. Çıkış bölgesi Km: 104+100 de topoğrafik en kesit



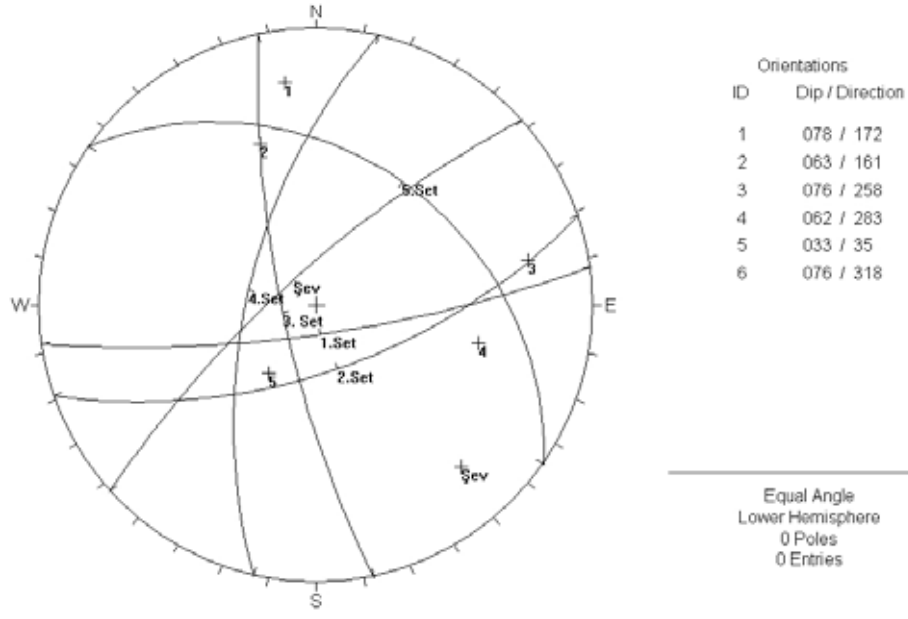
Şekil 5.22. Çıkış bölgesi sağ taraf düzlemsel kayma analizi

b) Çıkış bölgesi sol taraf kinematik analizler

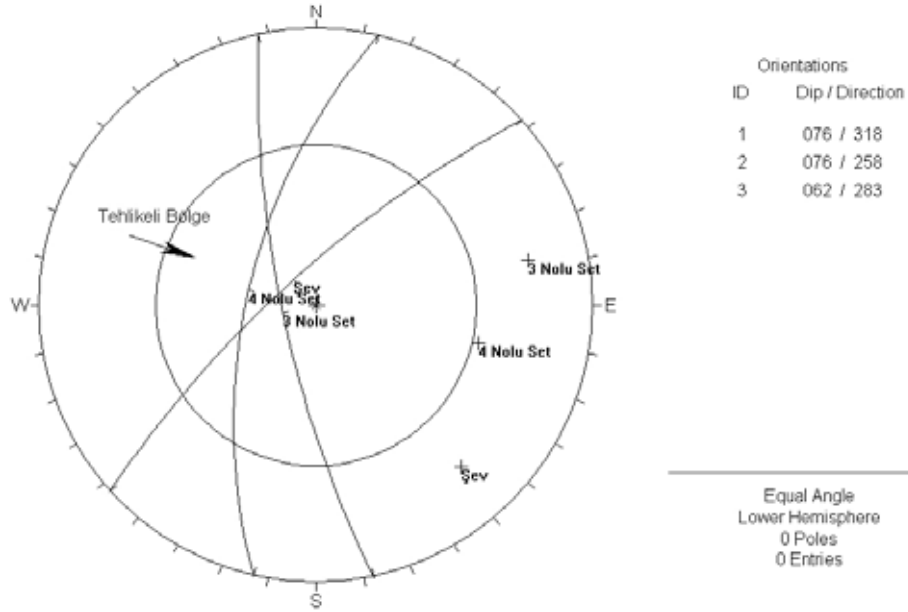
Çıkış bölgesinde sol tarafta açılacak olan şev Km:104+000 ile 104+200 arasında kazıda geçmektedir. 104+200 ile 104+400 arasında kalan kısım dolgu ile geçilmektedir. Sol tarafta açılacak olan şevin eğim yönü 318° olacağı göz önüne alındığında $318 \pm 20^\circ$ lik kısımda kalan eğim yönleri incelendiğinde, düzlemsel kayma riski bulunmamaktadır (Çizelge 5.18 ve Şekil 5.23). 5 adet süreksizlik seti 2 şerli gruplarda değerlendirildiğinde ise 3 ve 4 setlerde 76° lik şev eğimi ve 30° lik içsel sürtünme açısında kama tipi kayma riski bulunmaktadır (Şekil 5.24). Bu kesimde şev yüksekliğinin fazla olmaması sebebi ile yapım çalışmaları sırasında şev iyileştirme yöntemleri (şev yatırma, püskürtme beton vb.) uygulanmalıdır.

Çizelge 5.18. Çıkış bölgesi sol taraf hakim süreksizlik setleri ve kinematik ön değerlendirme çizelgesi

No	Eğim miktarı/Eğim Yönü	Tür	Düzlemsel kayma riski	Devrilme
1	78/172	Ekleme	-	-
2	63/161	Ekleme	-	+
3	76/258	Ekleme	-	-
4	62/283	Ekleme	-	-
5	33/35	Tabaka	-	-



Şekil 5.23. Çıkış bölgesi sol taraf süreksizlik setleri



Şekil 5.24. Çıkış bölgesi sol taraf kama tipi kayma analizi

5.6. İlksel Gerilmelerin Belirlenmesi

Bu kavram bazı kaynaklarda “Dağ Basıncı” veya “Yerinde Gerilmeler” olarak da tanımlanmaktadır. Herhangi bir derinlikteki kaya kütesinin, üzerindeki örtü yükünden gelen yük ve maruz kaldığı tektonik hareketler sonucu içinde bulunduğu kuvvetlerin etkisi ile denge durumundadır. Yeraltı kazıları sırasında bu denge durumu bozularak kütle yeniden denge durumuna gelmeye çalışır. Üç asal yöndeki bu gerilmelerin durumunun kazı öncesinde bilinmesi tünellerde tavan ve duvar üzerine gelecek olan basınç farklılıklarını tespiti ve buna göre destek seçiminde bulunulması yönünden oldukça önemlidir. Yerinde gerilmeler “ k ” sabiti ile gösterilmekte olup, Yatay gerilmeler/Düşey Gerilmeler şeklinde basitleştirilmektedir.

Brady ve Brown (1999)’ a göre yerinde gerilmelere etki eden faktörler; yüzey topoğrafyası, erozyon ve isostazi, kalık (rezidüel) gerilmeler, tektonik gerilmeler ve süreksizlik setleri şeklinde sıralanmaktadır.

Yerinde gerilmelerin yeraltı kazılarını jeoteknik tasarımı sırasında ölçülmesi gereklidir. Ölçüm için en sık kullanılan yöntemler sırasıyla; hidrolik çatlatma, yassı kriko ve iç içe karotlama şeklinde sıralanabilir. Ancak arazi ölçümlerinin yapılamadığı durumlarda bazı teorik yaklaşımlarla “ k ” değeri tespit edilebilmektedir. Bu yaklaşımlar aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Belirli bir derinlikteki kaya kütesi üzerine gelecek olan düşey yük litostatik yük olarak tanımlanmaktadır. Bu yükün hesaplanması için kaya kütesinin birim hacim ağırlığı ile derinlik çarpılır. Brown ve Hoek (1978)’in yaptığı çalışmaya göre düşey yük için dünyadaki çeşitli projelerdeki değerleri kullanarak aşağıdaki eşitliği öne sürmüşlerdir (Şekil 5.25);

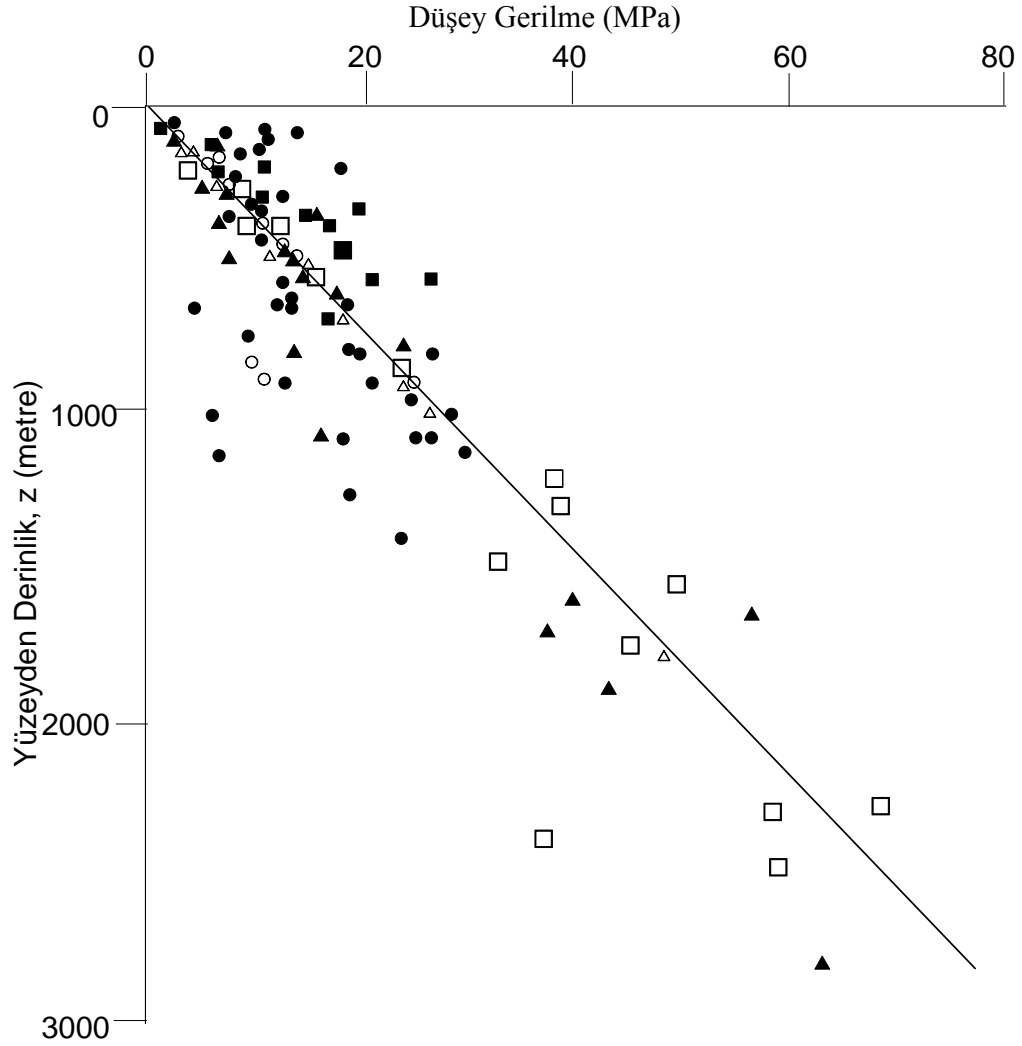
$$\sigma_{\text{düşey}} = 0.027 * z$$

$$\sigma_{\text{düşey}} = \text{Düşey gerilme (MPa)}$$

$$z = \text{derinlik (m)}$$

İlksel gerilmeler için yapılan en eski çalışmalar Heim’s kuralı olarak bilinen (Heim,1878) ve herhangi bir derinlikteki üç asal gerilmenin eşit olduğu, bir diğer ifadeyle hidrostatik basınç gibi davrandığı kabul edilmektedir.

Daha sonraki dönemlerde çeşitli araştırmacılar tarafından farklı kuramlar ortaya konulmuştur.



Şekil 5.25. Dünyadaki çeşitli projelerden ölçülen düşey gerilmeler ve derinlik arasındaki ilişki (Brown ve Hoek,1978)

Bunlardan Terzaghi ve Richard (1959), kaya kütlesi üzerine gelecek olan düşey yükten bağımsız olarak, kaya kütesinin Poisson oranından yararlanarak k değeri için aşağıdaki eşitliği ileri sürmüştür;

$$k = \nu / (1 - \nu)$$

k = yatay gerilme/düşey gerilme sabiti

ν = Kaya kütesinin Poisson oranı (birimsiz)

Hoek ve diğ. (1985)' e göre bu teori kaya mekaniğinin gelişim evresinde kullanılmış ancak yapılan saha ölçümleri ve diğer çalışmalar sonucunda doğru olmadığı belirlenmiş olup günümüzde kullanım alanı bulamamaktadır.

Brown ve Hoek (1978) bir çok projede ölçülen yerinde gerilme değerlerini kullanarak bunlar arasında ampirik bir ilişki olduğunu ve bu ilişkiye göre k'nın alabileceği alt ve üst sınır aralığını belirlemiştir. Buna göre k'nın alabileceği değer aralığı aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır;

$$\frac{100}{z} + 0.3 < k < \frac{1500}{z} + 0.5$$

bu eşitlikte,

z = derinlik (m)

k = sabit

Eşitlikten de görüleceği gibi k değeri belirli bir derinlikten sonra 1 e yaklaşmaktadır. Araştırmacılar bu eşitliğin kaya kütlelerinin homojen olduğu ve tektonik gerilmeler etkisinde kalmadığı ortamlarda kullanılmasını tavsiye etmektedir.

Herget (1988), Kanada kalkanı, kuzey Ontario bölgesinde yapmış olduğu yerinde ölçümlerden faydalanarak k değerinin alabileceği en küçük, en büyük ve ortalama değerleri için aşağıdaki eşitlikleri ileri sürmüştür.

$$k_{mak.} = \frac{357}{z} + 1.46$$

$$k_{min} = \frac{167}{z} + 1.10$$

$$k_{ort} = \frac{267}{z} + 1.25$$

k = sabit

z = derinlik (m)

bu eşitlikte k değerinin bütün derinlikler için 1 den büyük olduğu derinliğin artması ile k değerinin küçüldüğü görülmektedir.

Sheorey (1994) dünyanın elasto-statik ısı gerilme modelini ortaya koyduğu çalışmada, yer kabuğunun eğriliği ve mantodaki ısı genleşme, yoğunluk ve elastik sabitleri göz önüne alarak k değerinin bulunması için yeni bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşıma göre k değerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmaktadır.

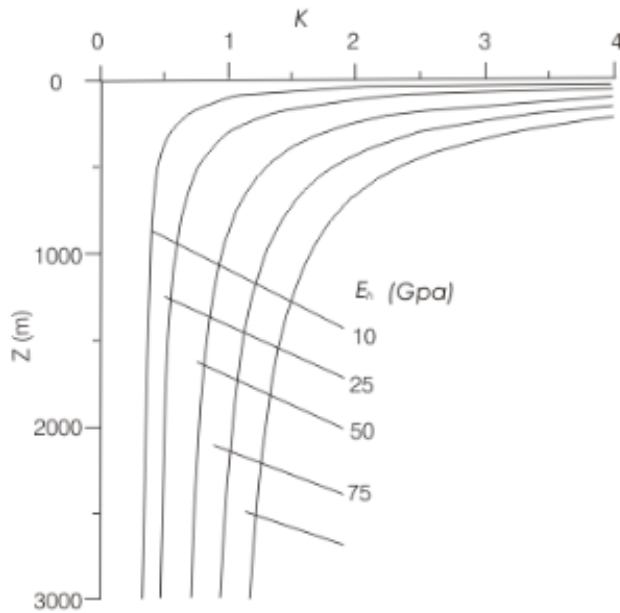
$$k = 0.25 + 7E_h \left(0.001 + \frac{1}{z} \right)$$

k =sabit

E_h = Yatay Yöndeki Elastisite Modülü (GPa)

Eşitlikten faydalanılarak E_h değerinin çeşitli değerleri, k nın bir fonksiyonu olarak derinliğe bağlı değişimi için Sheorey (1994) tarafından Şekil 5.26 deki abak önerilmektedir.

Bu kuram Brown ve Hoek (1978) ve Herget (1988) ve yerinde yapılan ölçümler ile uyumlu olup k değerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Hoek ve diğ., 1985)



Şekil 5.26. Derinliğin fonksiyonu olarak k ve E_h değerlerinin değişimi (Sheorey,1994).

Tünel güzergahı boyunca 20 m aralıklarla siyah kot ve tünel kotu arasındaki fark, tünel yüksekliği düzeltilmesi göz önüne göre hesaplanmıştır. Sondajlardan elde edilen birim hacim ağırlık sonuçlarından tünelin üst kotunda kalanların ortalamaları kullanılarak sondajların temsil ettiği aralıklar için düşey yük Brown ve Hoek (1978)' e göre hesaplanmıştır (Çizelge 5.19). k değeri ise yukarıda değinilen, farklı araştırmacıların öne sürdükleri eşitliklerden faydalanılarak hesaplanmıştır. k değerinin derinliğe ve diğer parametrelere bağlı olarak değişiminin açık olarak görülebilmesi için eksen boyunca her 20 m de bir hesaplama yapılmıştır. (Çizelge 5.19, ve Şekil 5.27).

Elde edilen sonuçlar arasında oldukça büyük farklılıklar bulunmaktadır. Ancak giriş ve çıkış ağızları gibi örtü kalınlığının düşük olduğu yerlerde k değerinin çok büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Örtü kalınlığının yüksek olduğu orta kesimlerde ise 1-14 arasında bir değişim görülmektedir.

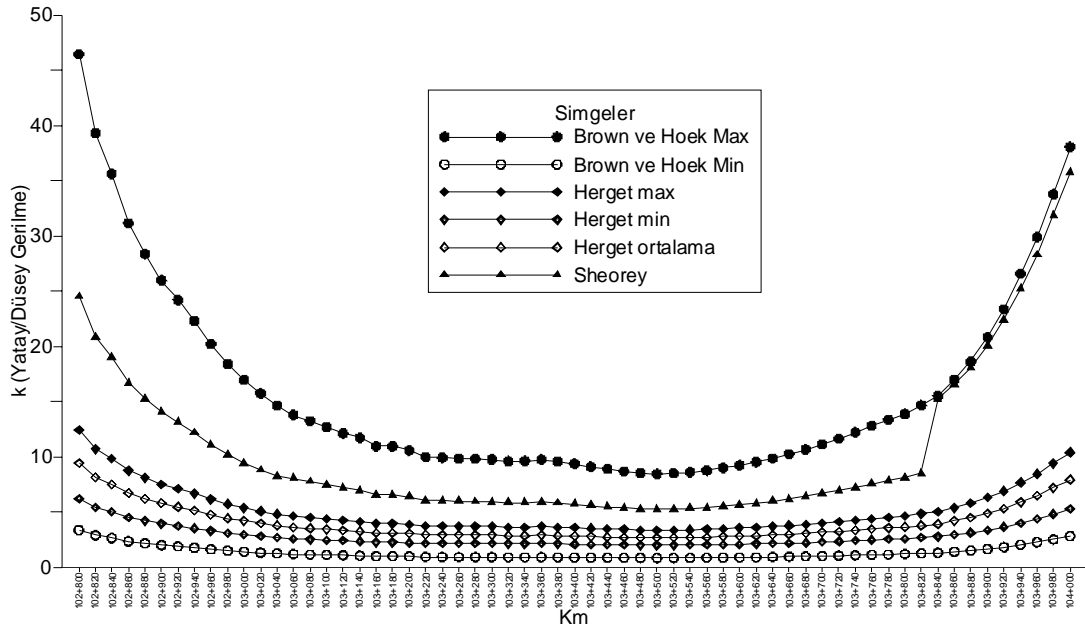
Gerilme deformasyon analizlerinde ön tasarım amacı ile yapılan hesaplamalarda Hoek (1998) tarafından önerilen 1.5, 2, 3 gibi k değerlerinin kullanılması daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. k değerinin arazide ölçülerek kullanılması gerekir. Ülkemizde bu gibi çalışmaların yapılmaması sebebi ile bu çalışmada teorik yaklaşımlar ile k değeri hesaplanmaya çalışılmıştır. Ancak Boğsak tünellerinin açılması esnasında yerinde gerilmelerin ölçülmesi ve k değerinin belirlenmesi gerekir.

Çizelge 5.19. Tünel eksenine boyunca yerinde gerilme değerleri

KM	Örtü Kalınlığı (m)	Ortalama Hacim Kütle (MPa)	Düşey yük MPa	Herget (1988)			Brown ve Hoek (1978)		Sheorey (1994)
				k _{min}	k _{mak}	k _{ort}	k _{min}	k _{mak}	k
102+800	24,16	0,027	0,653	6,21	12,39	9,42	3,36	46,42	24,52
102+820	30,17	0,027	0,816	5,42	10,69	8,15	2,89	39,29	20,87
102+840	34,23	0,027	0,925	5,01	9,82	7,50	2,64	35,61	18,99
102+860	40,45	0,027	1,093	4,51	8,75	6,70	2,34	31,14	16,70
102+880	45,37	0,027	1,226	4,20	8,09	6,21	2,16	28,35	15,27
102+900	50,38	0,027	1,362	3,94	7,52	5,78	2,00	25,98	14,06
102+920	54,86	0,027	1,483	3,74	7,09	5,46	1,88	24,18	13,14
102+940	60,25	0,027	1,629	3,53	6,65	5,13	1,75	22,32	12,18
102+960	67,68	0,027	1,830	3,29	6,15	4,75	1,61	20,19	11,10
102+980	75,41	0,027	2,038	3,09	5,71	4,43	1,49	18,38	10,17
103+000	82,75	0,027	2,237	2,93	5,37	4,18	1,40	16,94	9,43
103+020	90,01	0,027	2,433	2,80	5,08	3,96	1,32	15,73	8,81
103+040	97,47	0,027	2,635	2,68	4,83	3,77	1,24	14,66	8,26
103+060	104,43	0,028	2,912	2,58	4,62	3,61	1,19	13,78	8,07
103+080	109,26	0,028	3,047	2,52	4,49	3,52	1,15	13,24	7,78
103+100	114,34	0,028	3,188	2,46	4,37	3,42	1,11	12,71	7,50
103+120	120,66	0,028	3,365	2,39	4,22	3,32	1,07	12,11	7,18
103+140	125,26	0,028	3,493	2,35	4,13	3,25	1,05	11,71	6,97
103+160	135,22	0,028	3,771	2,26	3,94	3,11	1,00	10,94	6,56
103+180	135,26	0,028	3,772	2,26	3,94	3,11	1,00	10,93	6,56
103+200	140,61	0,028	3,921	2,22	3,85	3,04	0,97	10,56	6,36
103+220	149,77	0,028	4,176	2,16	3,72	2,94	0,93	9,98	6,05
103+240	151,08	0,028	4,213	2,15	3,70	2,92	0,93	9,90	6,01
103+260	152,04	0,028	4,240	2,14	3,68	2,91	0,92	9,84	5,98
103+280	152,60	0,028	4,255	2,14	3,68	2,91	0,92	9,81	5,97
103+300	153,63	0,028	4,284	2,13	3,66	2,90	0,92	9,75	5,93
103+320	156,30	0,028	4,359	2,11	3,63	2,87	0,91	9,60	5,85
103+340	156,21	0,028	4,356	2,11	3,63	2,87	0,91	9,61	5,86
103+360	153,65	0,028	4,285	2,13	3,66	2,90	0,92	9,75	5,93
103+380	156,82	0,028	4,373	2,11	3,62	2,87	0,90	9,57	5,84
103+400	160,59	0,028	4,478	2,09	3,57	2,83	0,89	9,37	5,73
103+420	166,17	0,028	4,634	2,06	3,50	2,78	0,87	9,09	5,58
103+440	170,44	0,028	4,753	2,03	3,46	2,74	0,86	8,88	5,47
103+460	174,89	0,028	4,877	2,01	3,41	2,71	0,85	8,68	5,37
103+480	178,75	0,028	4,996	1,99	3,37	2,68	0,83	8,51	5,28
103+500	180,26	0,028	5,038	1,98	3,35	2,66	0,83	8,45	5,24
103+520	179,00	0,028	5,003	1,99	3,36	2,67	0,83	8,50	5,27
103+540	176,70	0,028	4,939	2,00	3,39	2,69	0,84	8,60	5,32
103+560	173,27	0,028	4,843	2,02	3,42	2,72	0,85	8,75	5,41
103+580	168,01	0,028	4,696	2,05	3,48	2,76	0,87	9,00	5,54
103+600	163,29	0,028	4,564	2,07	3,54	2,80	0,88	9,23	5,66

Çizelge 5.19. devamı

KM	Örtü Kalınlığı (m)	Ortalama Hacim Kütle (MPa)	Düşey yük MPa	Herget (1988)			Brown ve Hoek (1978)		Shoorey (1994)
				k_{min}	k_{mak}	k_{ort}	k_{min}	k_{mak}	
103+620	158,05	0,028	4,417	2,10	3,60	2,85	0,90	9,51	5,80
103+640	151,74	0,028	4,241	2,14	3,69	2,92	0,92	9,86	5,99
103+660	145,50	0,028	4,067	2,18	3,78	2,98	0,95	10,24	6,19
103+680	139,28	0,028	3,893	2,23	3,88	3,06	0,98	10,65	6,41
103+700	132,62	0,028	3,707	2,28	3,99	3,14	1,01	11,13	6,66
103+720	126,28	0,028	3,530	2,34	4,11	3,23	1,04	11,63	6,93
103+740	119,53	0,028	3,341	2,40	4,25	3,34	1,08	12,22	7,24
103+760	113,47	0,028	3,172	2,47	4,39	3,44	1,12	12,80	7,54
103+780	108,25	0,028	3,026	2,53	4,52	3,54	1,16	13,35	7,84
103+800	103,51	0,028	2,893	2,59	4,65	3,63	1,19	13,89	8,12
103+820	97,36	0,028	2,721	2,68	4,83	3,77	1,24	14,67	8,53
103+840	91,62	0,027	2,492	2,77	5,03	3,92	1,30	15,48	15,23
103+860	82,70	0,027	2,249	2,93	5,37	4,18	1,40	16,95	16,56
103+880	74,31	0,027	2,021	3,12	5,77	4,47	1,51	18,61	18,07
103+900	65,37	0,027	1,778	3,36	6,29	4,86	1,65	20,81	20,06
103+920	57,16	0,027	1,555	3,64	6,90	5,32	1,82	23,34	22,37
103+940	49,08	0,027	1,335	4,00	7,66	5,89	2,04	26,55	25,28
103+960	42,57	0,027	1,158	4,37	8,45	6,48	2,26	29,87	28,30
103+980	36,59	0,027	0,995	4,80	9,38	7,17	2,52	33,76	31,84
104+000	31,45	0,027	0,855	5,28	10,40	7,93	2,80	38,05	35,73



Şekil 5. 27. Tünellerin farklı kesimlerinde k değerinin değişimi.

5.7. Gerilme Deformasyon Analizlerinde Kullanılacak Elastisite Modülleri

Kaya kütle sınıflamalarından elde edilen elastisite modüllerinin dağılımı ve ortalama değerleri Çizelge 5.20 de sunulmuştur. Kütle sınıflama sistemlerinin arasında görülen farklılık çoğunlukla hesaplamada kullanılan parametrelerle ilişkili olarak değişmektedir. Her sondaj için gerilme-deformasyon analizinde 3 farklı sistemden elde edilen ortalama elastisite modülleri kullanılacaktır.

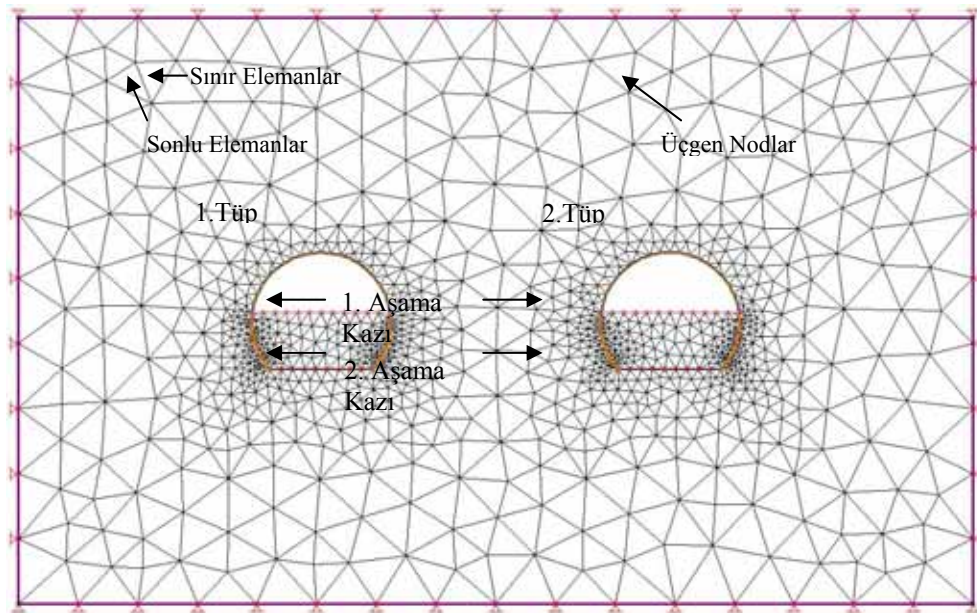
Çizelge 5.20. Kaya kütle sınıflama sistemlerinden elde edilen E modülü dağılımı

Sondaj No	Koşullar	E modülü (GPa)			
		RMR	Q	Hoek-Brown	<i>Ortalama</i>
TSK-1	En iyi Koşullar	58,00	7,94	29,858	31,93
	En Kötü Koşullar	4,73	3,25	1,10876	3,03
	Normal Koşullar	20,00	5,11	7,37939	10,83
TSK-2	En iyi Koşullar	52,00	14,17	25,1224	30,43
	En Kötü Koşullar	5,96	3,62	1,39584	3,66
	Normal Koşullar	16,00	7,35	7,00057	9,98
TSK-3	En iyi Koşullar	42,00	7,71	25,1224	24,94
	En Kötü Koşullar	7,08	3,79	1,9423	4,27
	Normal Koşullar	10,00	4,70	9,60967	8,10
TSK-4	En iyi Koşullar	52,00	7,83	18,2759	26,04
	En Kötü Koşullar	6,68	5,47	2,70751	4,95
	Normal Koşullar	22,00	7,31	6,59872	11,97

5.8. Gerilme Deformasyon Analizleri

Boğsak tünellerinde kazı sırasında kaya kütlelerinin davranışın belirlenebilmesi amacı ile Phase² yazılımı kullanılarak gerilme deformasyon analizleri yapılmıştır. Phase² yazılımı Rocscience firması tarafından geliştirilmiş yeraltı kazılarında sonlu, sınır elemanlar ve bu ikisinin karışımı olan Hybrid yöntemle analiz yapmaktadır. Yazılımda kazının çevresindeki kaya kütlelerinin koşullarının belirlenmesinde bir önceki bölümde yapılan Hoek-Brown görgül yenilme parametrelerinden faydalanılmaktadır. Kazının modellenmesinde kaya kütleleri sınıflama sistemlerinin önerdiği iki aşamalı kazı yöntemi seçilmiştir. Tünel geometrisi, uygulamada açılacak olan elips olarak seçilmiş ve tünel çevresinde kazı açıklığının 2 kat genişliğindeki kesimde inceleme yapılmıştır (Şekil 5.28). Yapılan analizler sonucunda kazı sonrası oluşacak deformasyonların farklı destek sistemi kombinasyonları ile denenerek tekrar analizler yapılmıştır.

Sondaj verilerinin olduğu Km: 102+800 (Giriş ağız), 103+300 (Orta bölge), 103+600 (Orta bölge) ve 104+00 (Çıkış ağız) de ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Tünellerin her ikisinde birlikte açılacağı ve iki aşamalı kazı yapılacağı varsayılmıştır. Bu tür yazılımlarla yapılan analizler ön proje aşamasında kullanılmaktadır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar, kazı sırasında yapılacak olan yerinde ölçümlerle denestirilmelidir.



Şekil 5.28. Kazı geometrisinin Phase yazılımında modellenmesi.

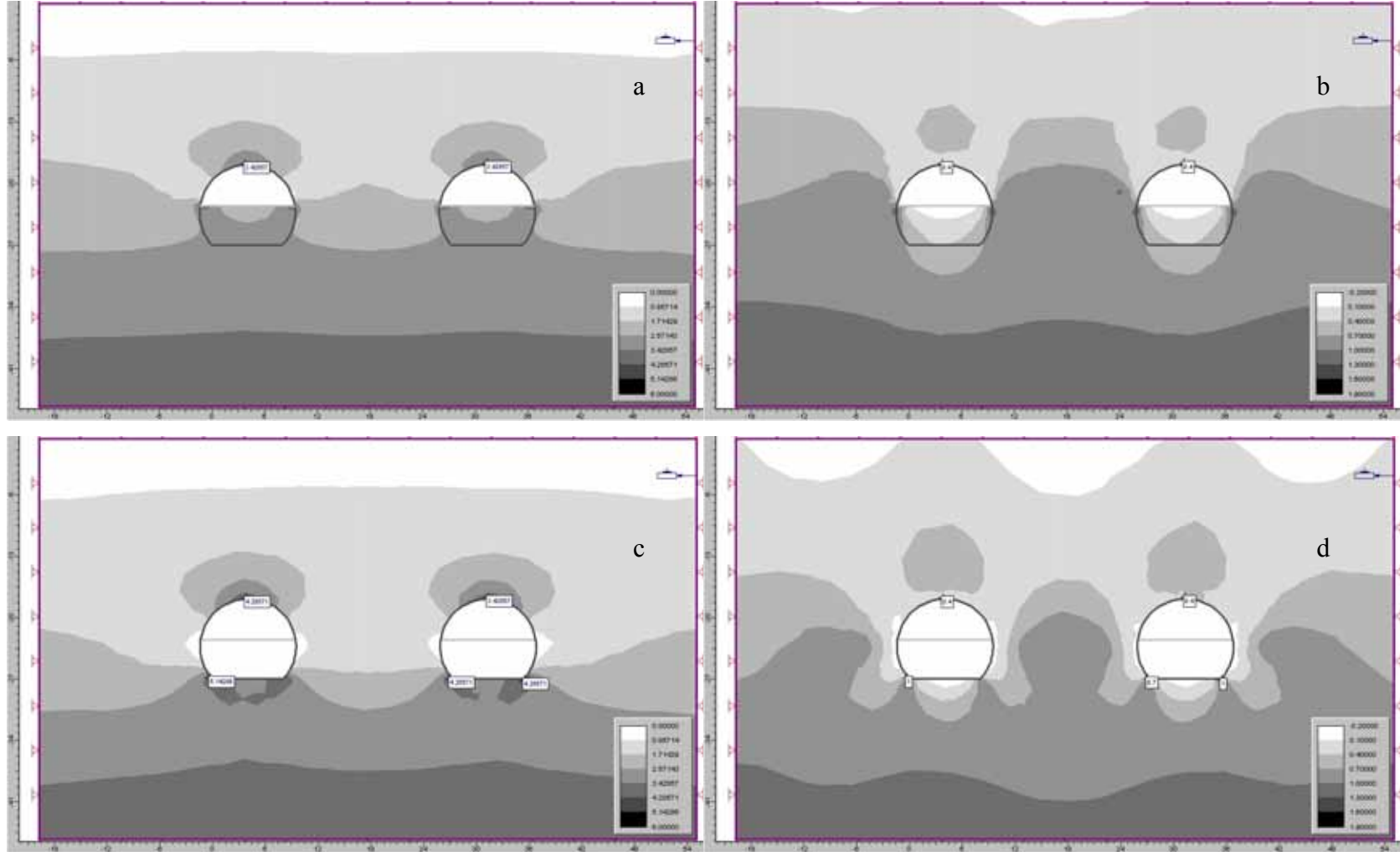
5.8.1. Km: 103+810 Giriş ağız gerilme-deformasyon analizleri

Bu kesim için giriş ağızında bulunan TSK-1 nolu sondajdan elde edilen veriler kullanılmıştır. Giriş ağızında Permian yaşlı Yığıltepe Formasyonu içerisinde kazı yapılacaktır. Bu kesimde tünel üzerindeki örtü yüksekliği 23.71 m dir. Bu yükseklik kemerleme etkisi için gerekli olan tünel yüksekliğinin 1.5 katından fazladır. TSK-1 sondajı verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu gerilme deformasyon analizinde kullanılacak olan parametreler aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 5.21.)

Çizelge 5.21. Km: 120+810 de gerilme deformasyon analizinde kullanılacak parametreler.

Kazı Yönetimi		2 Aşamalı kazı
Malzeme Özellikleri	σ_c	54.44 MPa
	mb	1.05587
	s	0.00247875
	Hacim Kütle	0.0257 MN/m ³
	Örtü Yüksekliği	23.71m
	E Modülü	10830 MPa
	Poison oranı	0.33

Bu kesim için kaya kütesinin özellikleri yukarıdaki parametreler kullanıldıktan sonra kazının birinci aşamasında σ_1 yönündeki en büyük gerilmeler tavanlarda 3.43 MPa (Şekil 5.29a) ikinci aşamasında ise tavanda 4.28 Mpa, köşelerde ise 5.14 Mpa olarak izlenmektedir (Şekil 5.29c). σ_3 yönünde ise birinci aşama sonrası, tavanda 0.4 MPa (Şekil 5.29b) ve ikinci aşama sonrasında ise tavanda 0.4 Mpa, alt köşelerde ise 1 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 5.29d). Gerilme dağılımları k faktörünü 3 gibi yüksek bir değer seçilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.29. TSK-1 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası σ_1 (a), σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası σ_1 (c), σ_3 (d) gerilme dağılımları.

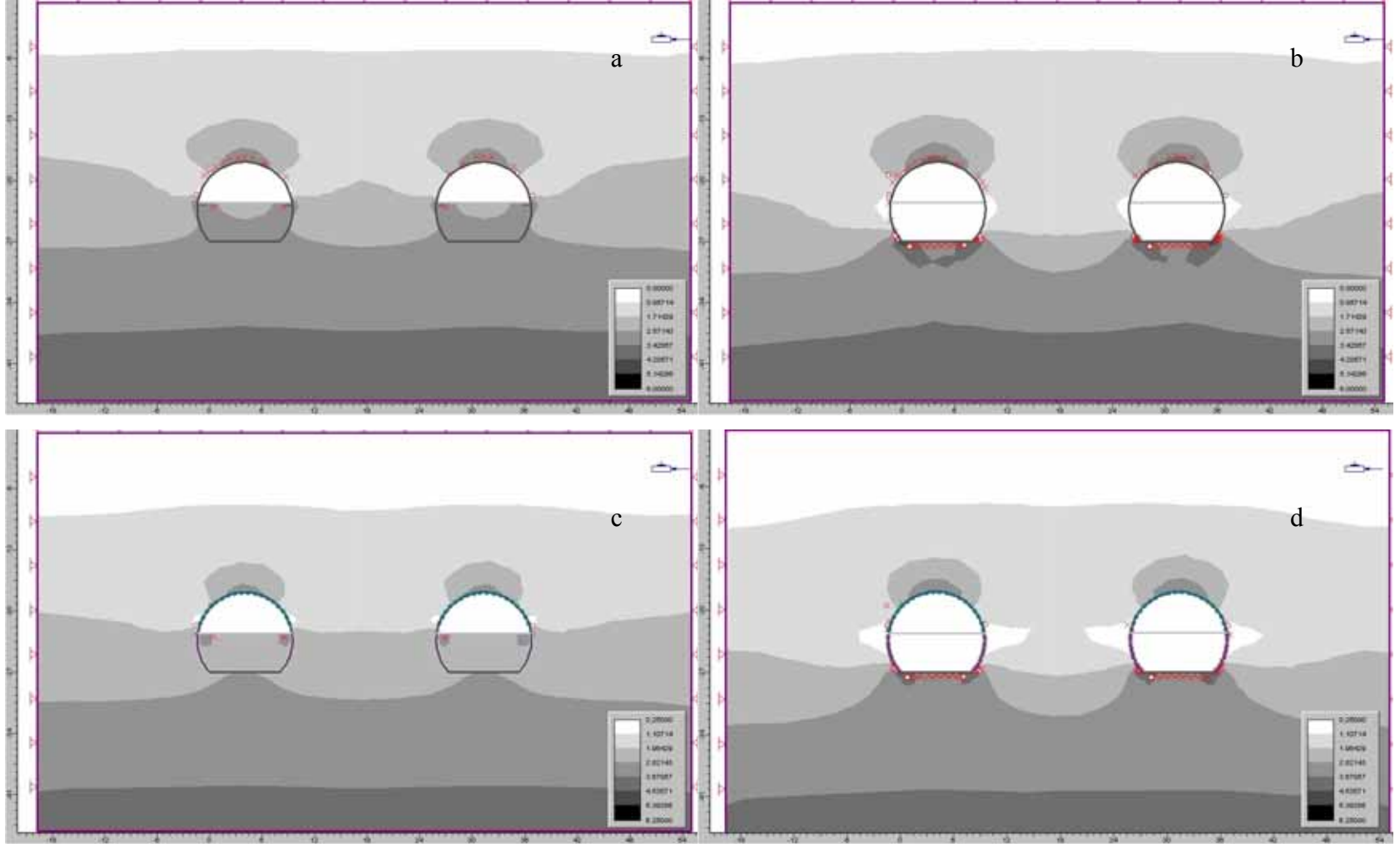
Kazı sonrasında gerilme dağılımına göre yenilmeler birinci aşama sonrasında tavanda daha çok makaslama olmak üzere makaslama ve çekme, yan duvarların üst taraflarında ise çekme yenilmeleri beklenmektedir (Şekil 5.30a). Kazının ikinci aşaması sonrasında ise yenilmelerin tavanda fazla değişmemekle birlikte 1. tüp sol üst ve 2. tüp sağ üst taraflarda çekme yenilmelerinin arttığı gözlenmektedir (Şekil 5.30 b)

Tavan ve yan duvarlardaki gerilme dağılımının küçük olması nedeni ile destek sistemi olarak tavan ve yan duvarlarda RMR sınıflama sisteminde önerilen püskürtme beton kullanılmıştır. Tavanda 15 cm kalınlığında püskürtme beton uygulaması kazının birinci aşamasından hemen sonra uygulanmıştır. Yan duvarlardaki püskürtme beton uygulaması ise kazının ikinci aşamasından hemen sonra 10 cm kalınlığında uygulanmıştır. Püskürtme betonun özellikleri tavan ve yan duvarlar için aynı olmak üzere, E modülü= 30 GPa, Poisson oranı= 0.3, basınç dayanımı 30 MPa ve çekme dayanımı 10 MPa olarak seçilmiştir

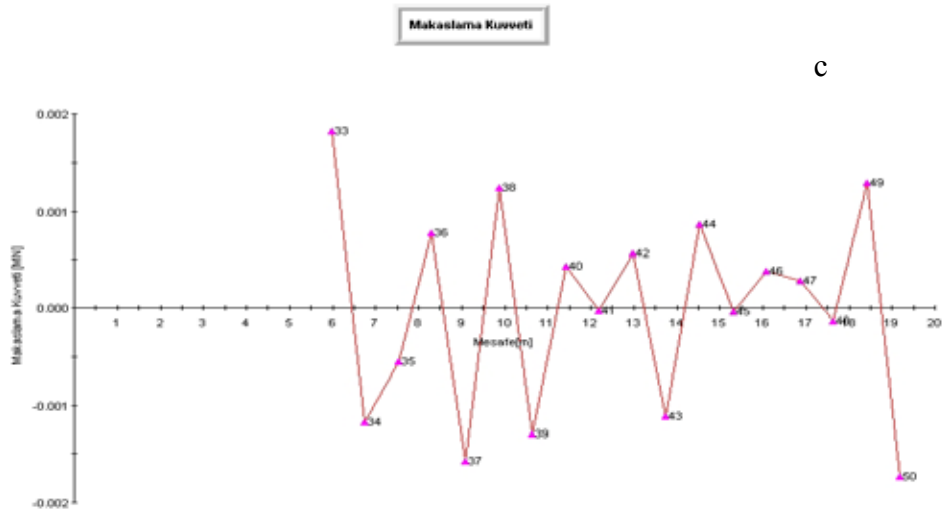
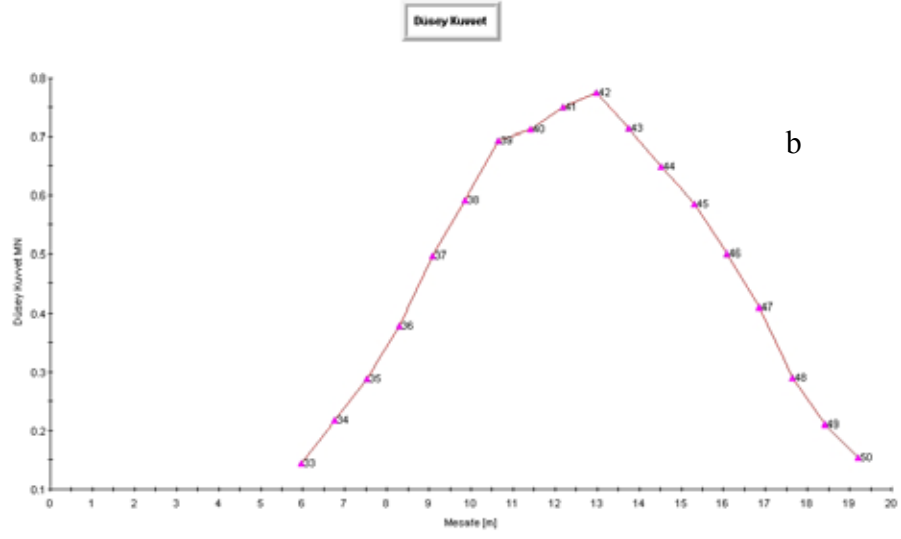
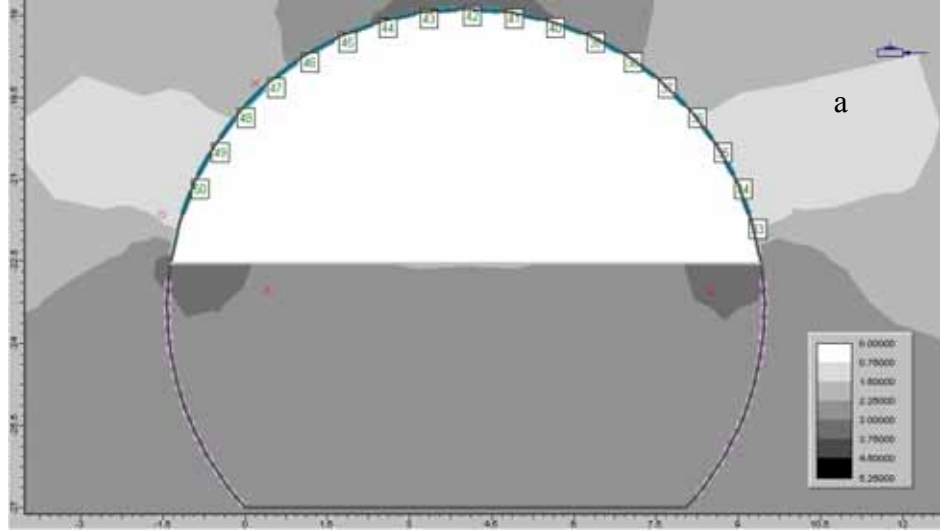
Destek sistemi uygulamasından sonra kazı çevresindeki yenilmeleri dağılımı Şekil 5.30 c ve d de sunulmuştur. Kazının 1. ve 2. aşaması sonrası yenilmelerin çok büyük oranda ortadan kalktığı sadece yan duvarların üst kısımlarında küçük çekme yenilmelerinin oluşacağı görülmektedir (Şekil 5.30 c ve d). Bu tip çekme yenilmeleri kazı sırasında yapılacak lokal bulonlama ile çözülebilir. En çok gerilme dağılımı etkisinde kalan tavandaki püskürtme betonun tünel içindeki konumlarına göre etkileyen yüklerin dağılımı Şekil 5.31 a,b ve c de sunulmuştur. Şekilde de görüleceği gibi en tepedeki bölgede en büyük düşey kuvvet etki ederken yan duvarlara doğru gidildikçe makaslama kuvveti etkisi artmaktadır..

Giriş ağzında kazı sonrası en büyük yer değiştirmeler yan duvarda olmaktadır (Şekil 5.32 a). En büyük toplam yer değiştirme miktarı 1.43423 mm olarak belirlenmiştir. Destek sistemi sonrasında yer değiştirmeler 1.23429 mm seviyelerine düşmüştür (Şekil 5.32 b).

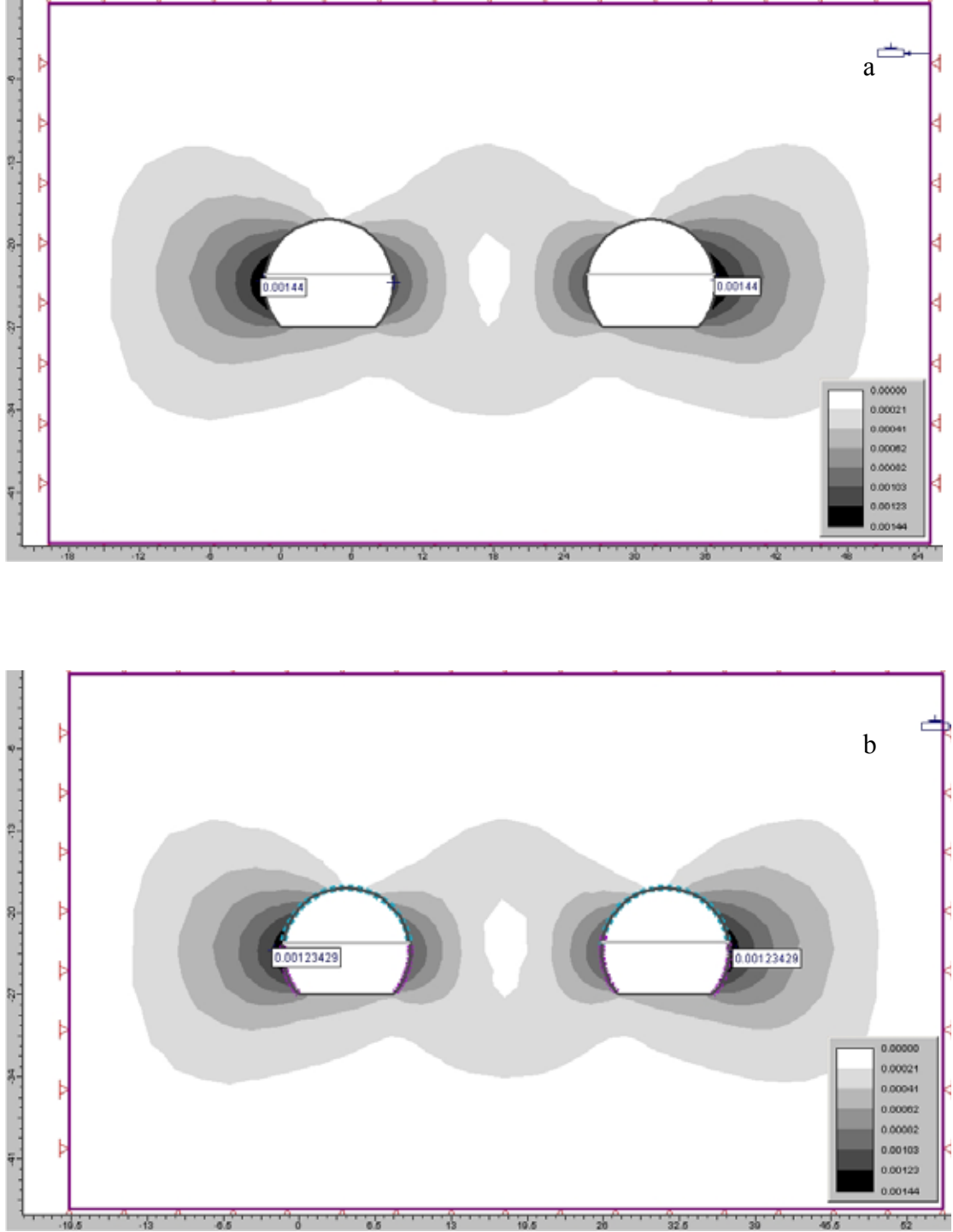
Bu kesim için destek sistemi olarak tavan da 15cm ve yan duvarlarda 10 cm lik püskürtme beton uygulaması yeterli olacaktır. Püskürtme betonun yanı sıra lokal olarak bulonlamada gerekebilir. Ancak bu tip analitik çözümlerden elde edilen destek sistemleri yerinde yapılan ölçümler ile karşılaştırılmadan kullanılmamalı, kazı sırasında detaylı ölçümler yapılarak korele edilmelidir.



Şekil 5.30. Kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. (d) aşamada yenilme dağılımı.



Şekil 5.31. TSK -1 Tavanda uygulanan pükürtme beton (a) üzerine gelen normal (b) ve makaslama gerilmeleri (c)



Şekil 5.32. Giriş ağızı ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı

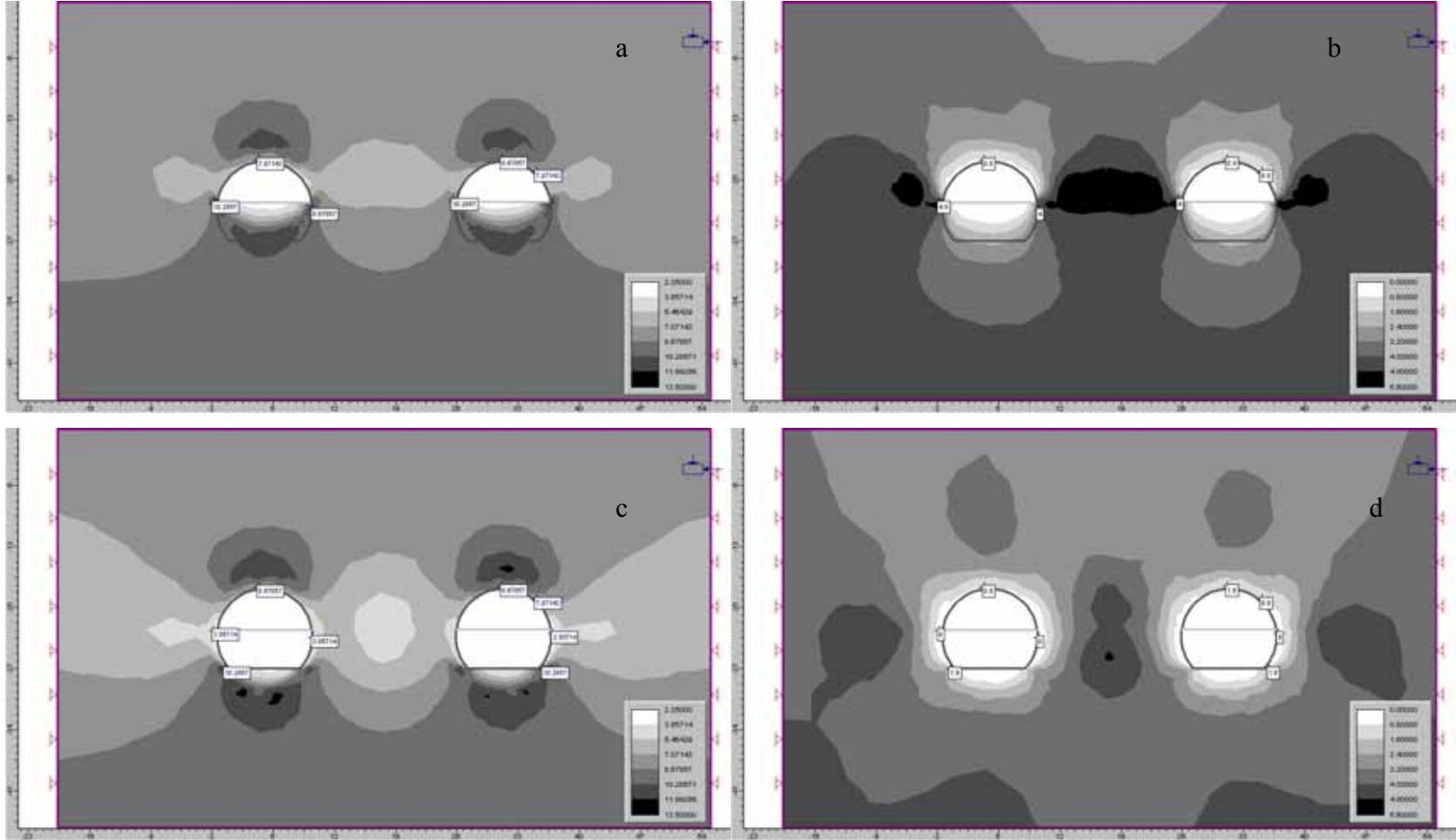
5.8.2. Orta Bölge Km: 103+618 TSK -2 gerilme-deformasyon analizleri

Orta bölgenin TSK-2 sondajının bulunduğu kesimde kazı Permiyen yaşlı Yığıltepe Formasyonu içerisinde yapılacaktır. Bu kesimde tünel üzerinde örtü yüksekliği 155.09 m. dir. Bu kesim için yapılacak olan gerilme-deformasyon analizlerinde k faktörü 2 olarak kullanılacaktır. Analizlerde kullanılacak olan parametreler Çizelge 5.22 de özet olarak verilmiştir. Bu değerlerden poisson oranı ve birim hacim ağırlık değerleri deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Diğer değerler kütle sınıflamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 5.22. Km: 103+618de gerilme-deformasyon analizlerinde kullanılacak parametreler.

Kazı Yönetimi		2 Aşamalı kazı
Malzeme Özellikleri	σ_c	61.68 MPa
	mb	0.959953
	s	0.00189855
	Hacim Kütle	0.0272 MN/m ³
	Örtü Yüksekliği	155.09m
	E Modülü	9980 MPa
	Poison oranı	0.32

Yukarıdaki parametrelerin kullanılması sonunda kazının birinci aşamasında σ_1 yönündeki en büyük gerilme tavanda 8.67 MPa ve yan duvarlarda 10.78 MPa (Şekil 5.33 a) ikinci aşama sonrasında ise tavandaki gerilme değişmezken yan duvarlarda 3.85 Mpa ya düşmekte tavanda köşelerde ise 10.28 Mpa olmaktadır (Şekil 5.33 c). σ_3 yönünde ise birinci aşamadan sonra tavanda 0.8 MPa, yan duvarlarda 4.8 MPa (Şekil 5.33 b), ikinci aşama sonrasında ise tavanda sol tüpte 0.8 sağ tüpte ise 1.6 MPa, yan duvarlarda gerilme 0'a düşerken taban köşelerinde 1.6 MPa gerilme görülmektedir (Şekil 5.33 d).



Şekil 5.33. TSK-2 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası σ_1 (a), σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası σ_1 (c), σ_3 (d) gerilme dağılımları

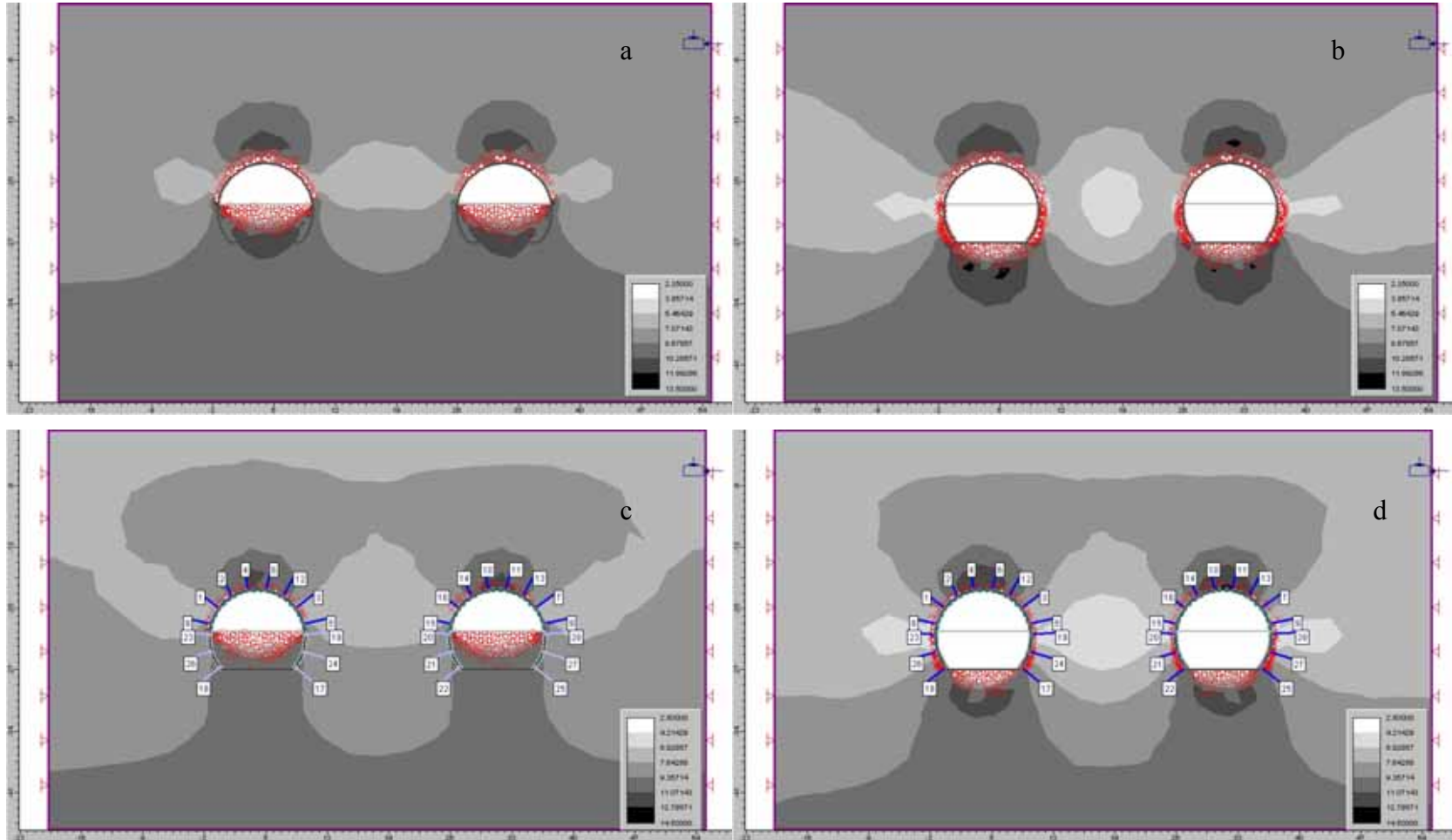
Kazı sonrası gerilme dağılımına göre yenilmeler birinci aşama sonrası kazı çevresinde daha çok makaslama olmak üzere makaslama ve tavanda çekme yenilmeleri (Şekil 5.34 a) şeklindedir. İkinci aşama sonrası ise kazının çevresini tamamen saran makaslama yenilmeleri yanında tavan ve yan duvarlarda çekme yenilmeleri görülmektedir (Şekil 5.34 b). İkinci aşama sonrası tavanda 1.7 m., yan duvarlarda 70 cm ve taban köşelerinde 1.2 m. lik bir zonda yenilme gerçekleşmektedir (Şekil 5.34 b).

Destek sistemi seçimi olarak öncelikle tavanda 15 cm. lik püskürtme beton uygulaması denenmiş olup tavanda bazı bölgelerde püskürtme betonda yenilmeler gözlenmiş bu nedenle püskürtme beton kalınlığı 20 cm. e çıkarılmıştır. Püskürtme betonun yenilmeleri büyük oranda önlediği ancak yeterli olmadığının görülmesi sebebi ile sistematik olarak 4m uzunluğunda 2 şer m. aralıklarla, 25 mm çapında, 20 ton taşıma kapasiteli kaya bulonları ile birlikte destek olarak kullanılmıştır. Destek kazının her aşamasından hemen sonra uygulanmıştır. Destek sisteminin uygulanmasından sonra kazı çevresindeki yenilme zonu tavanda 60 cm, yan duvarlarda 45 cm ve taban köşelerinde ise 80 cm. e düşmüştür.

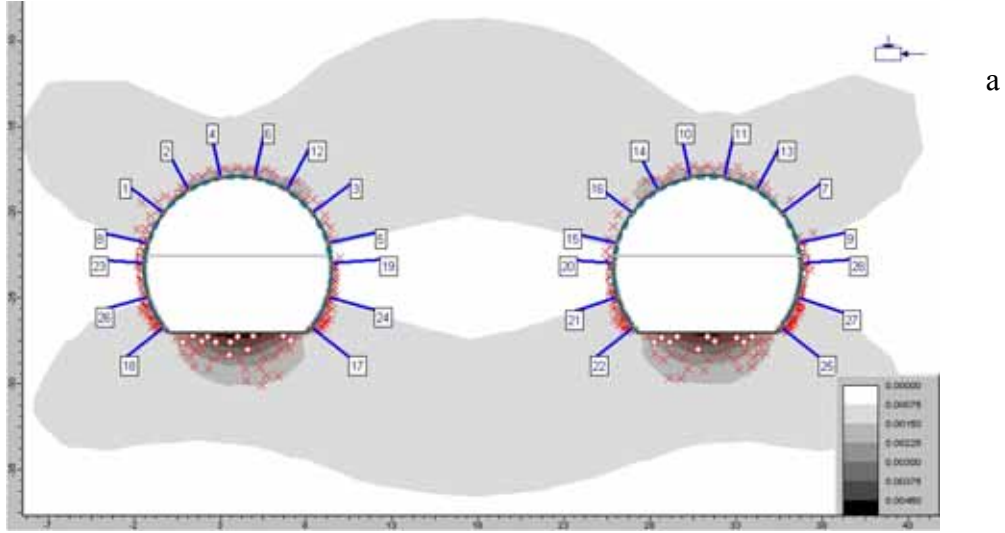
Destek sistemi sonrasında kazı çevresindeki yenilmelerde önemli oranda azalma olmuştur (Şekil 5.34 c ve d). Ancak yenilmelerin tamamen ortadan kaldırmak imkansızdır. Destek olarak seçilen kaya bulonlarına etki eden düşey yükler bulonun taşıma kapasitesini aşmamaktadır (Şekil 5.35 a, b ve c). Düşey gerilmelerden en çok etkilenen bulonlar sol tüpte 23 numaralı bulon (Şekil 5.35 b), sağ tüpte ise 9 numaralı bulondur (Şekil 5.35 c).

TSK-2 sondajının bulunduğu Km: 103+618 de kazı sonrası en büyük yer değiştirmeler yan duvarda olmaktadır (Şekil 5.36 a). En büyük toplam yer değiştirme miktarı 6.7038 mm dir. Destek sistemi sonrasında yer değiştirmeler 5.10488 mm seviyelerine düşmüştür (Şekil 5.36 b).

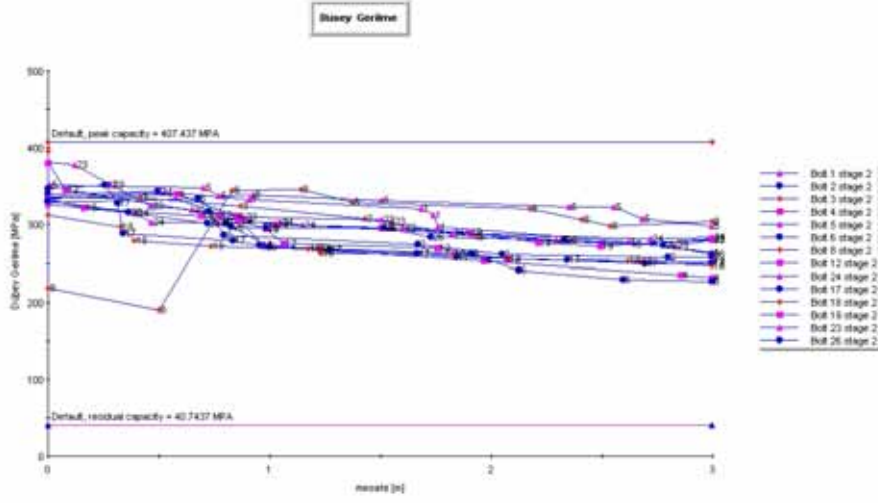
Km: 103+618 de yapılacak kazı için destek sistemi olarak tavanda 20, yan duvarlarda 15 cm püskürtme beton ve 2 m aralıklarla 3 m uzunluğunda sistematik kaya bulonlaması gerekmektedir. Ancak uygulamada yerinde ölçümlerle önerilen destek sistemi korele edilmelidir. Uygulamada püskürtme betonun yeterli görülmemesi durumunda 2. kat püskürtme beton yapılarak destek kuvvetlenebilir.



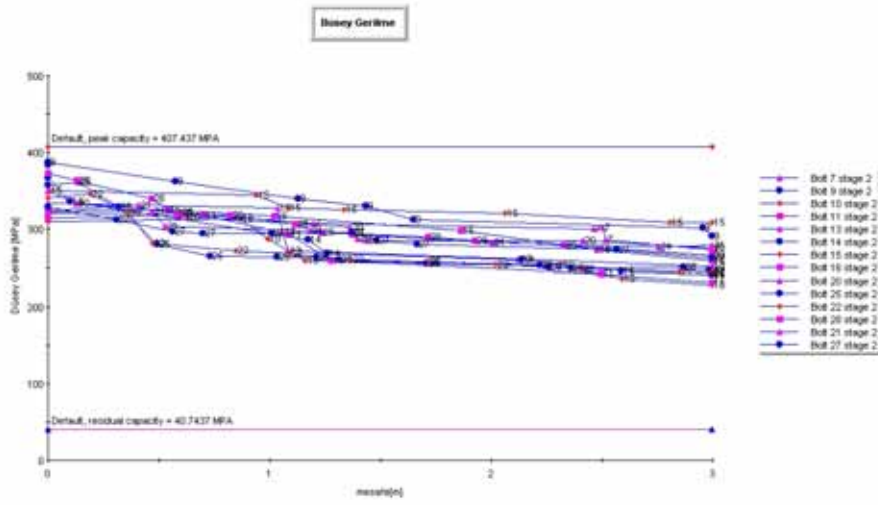
Şekil 5.34. TSK-2 bölgesinde kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. aşamada yenilme dağılımı.



a

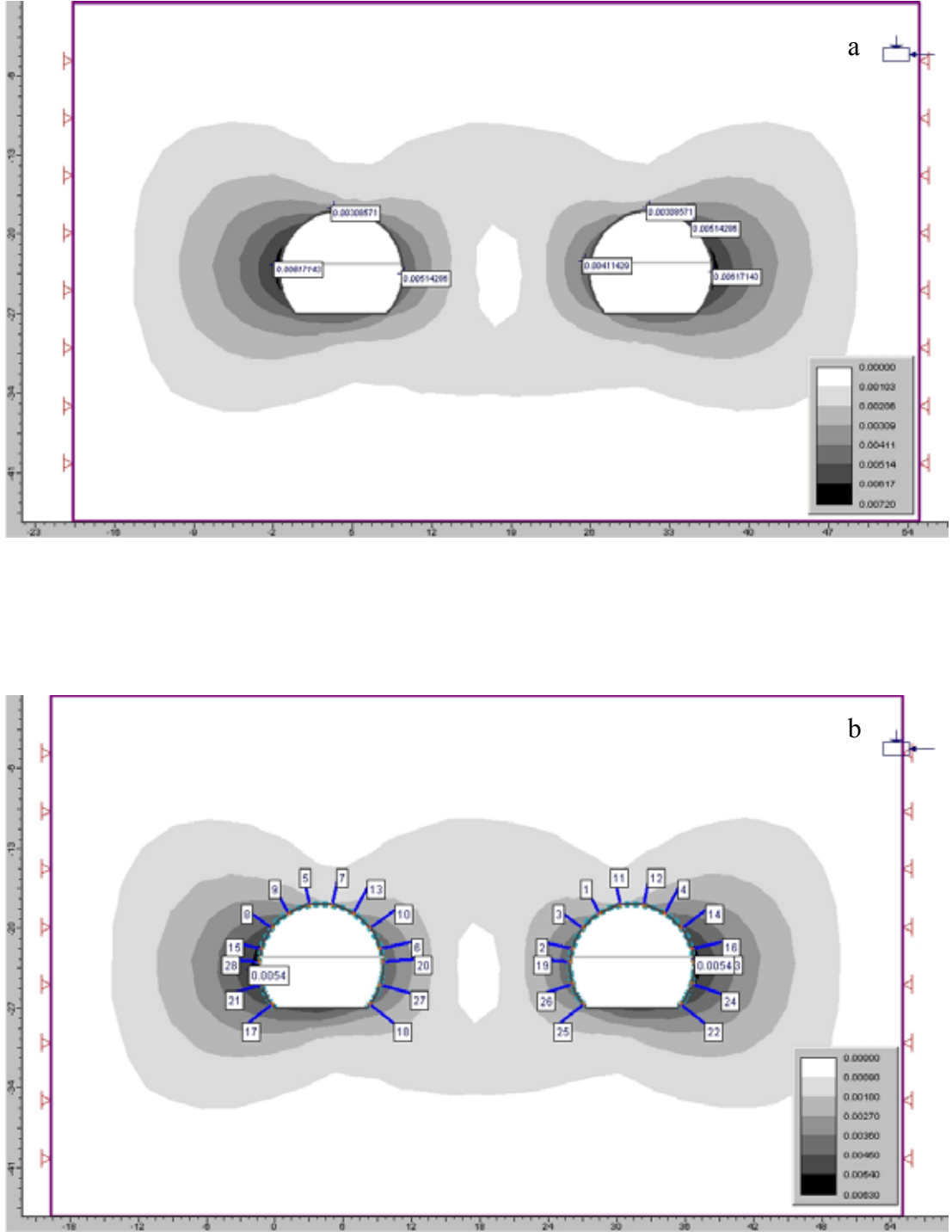


b



c

Şekil 5.35. TSK-2 bölgesinde kazı çevresinde uygulanan bulonların yeri (a), sol (b) ve sağ (c) tüpteki bulonların kazı dan uzaklığına göre etki eden düşey gerilme.



Şekil 5.36. TSK-2 bölgesinde ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı

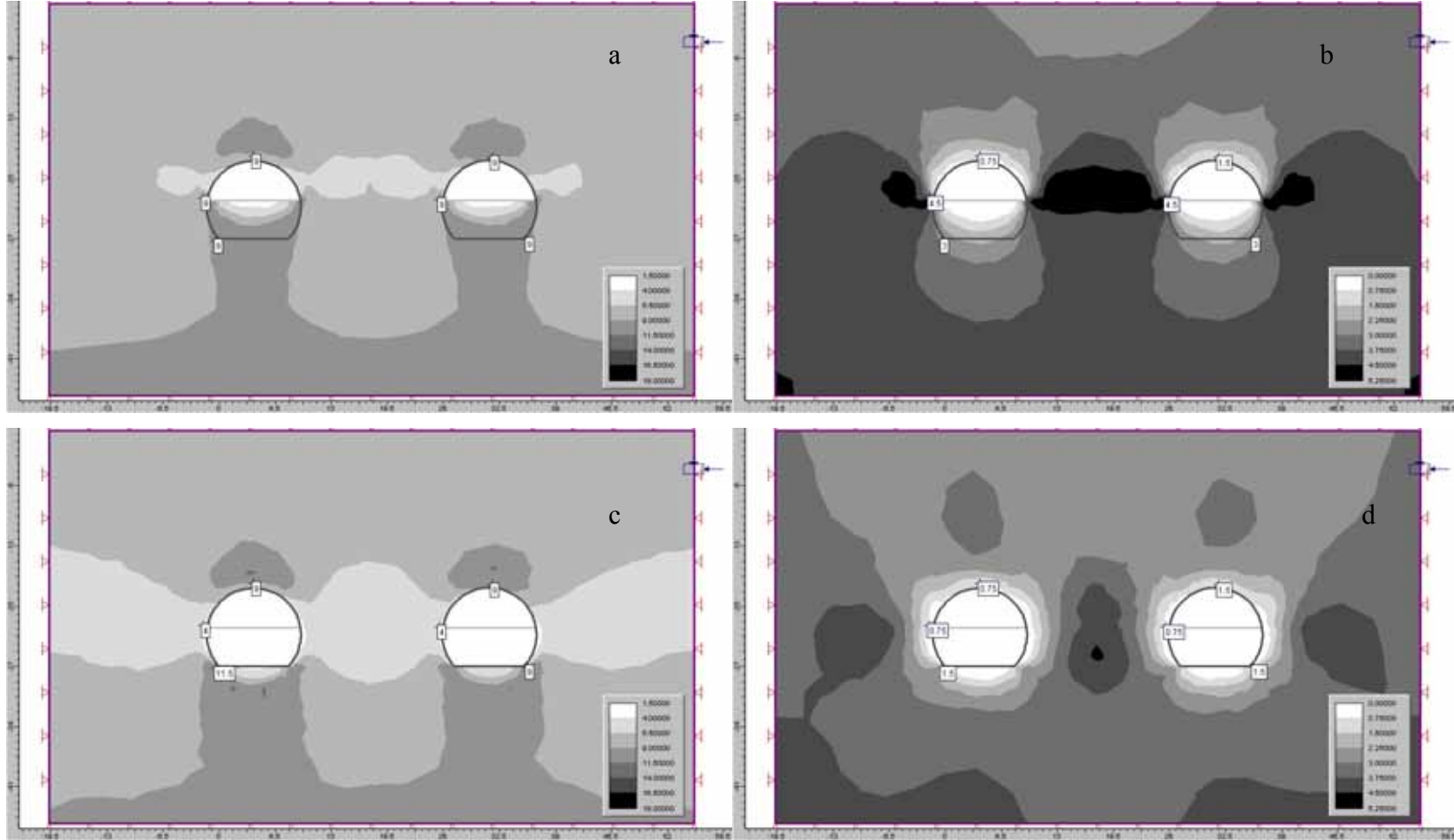
5.8.3. Orta Bölge Km: 103+300 TSK-4 gerilme-deformasyon analizleri

Orta bölgenin TSK-2 sondajının bulunduğu kesimde kazı Triyas yaşlı Akdere Formasyonu içerisinde yapılacaktır. Bu kesimde tünel üzerinde örtü yüksekliği 155.09 m. dir. Bu kesim için yapılacak olan gerilme-deformasyon analizlerinde k faktörü 2 olarak kullanılacaktır. Analizlerde kullanılacak olan parametreler Çizelge 5.23 de özet olarak verilmiştir. Bu değerlerden poison oranı ve tane birim hacim ağırlık değerleri deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Diğer değerler kütle sınıflamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 5.23. Km: 103+300 de gerilme-deformasyon analizlerinde kullanılacak parametreler.

Kazı Yönetimi		2 Aşamalı kazı
Malzeme Özellikleri	σ_c	77.41
	mb	0.832162
	s	0.00127263
	Hacim Kütle.	0.0265 MN/m ³
	Örtü Yüksekliği	150.41
	E Modülü (MPa)	11970
	Poison oranı	0.34

Km:103+300 de kazının birinci aşamasında σ_1 yönündeki en büyük gerilme tavanda ve yan duvarlarda 9 MPa (Şekil 5.37a) ikinci aşama sonrasında ise tavandaki gerilme değişmezken yan duvarlarda 4 Mpa'a düşmekte, tabanda köşelerde ise 11.5 Mpa olmaktadır (Şekil 5.37c). σ_3 yönünde ise birinci aşamadan sonra tavanda 1.5 MPa, yan duvarlarda 4.5 MPa (Şekil 5.37b), ikinci aşama sonrasında ise tavanda değişme olmazken, yan duvarlarda gerilme 0.75 MPa, taban köşelerinde ise 1.5 MPa gerilme görülmektedir (Şekil 5.37d).



Şekil 5.37. TSK-4 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası σ_1 (a), σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası σ_1 (c), σ_3 (d) gerilme dağılımları

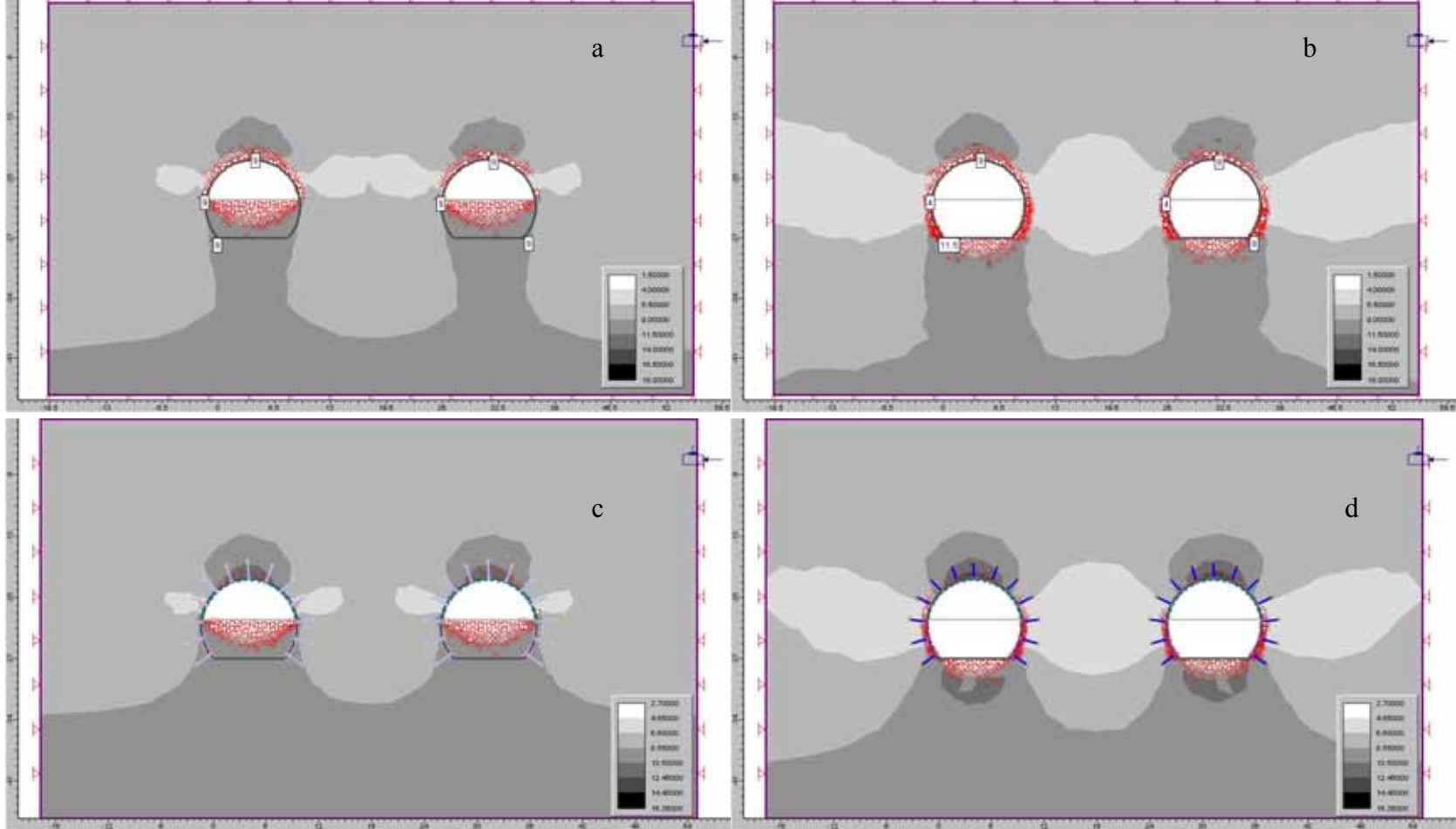
Bu kesimde kazı sonrası yenilmeler birinci aşama sonrasında kazı çevresinde çekme ve makaslama yenilmelerinin dağılımı yaklaşık olarak eşit dağılım sunmaktadır (Şekil 5.38 a). İkinci aşama sonrasında ise kazı çevresini tamamen saran bir makaslama yenilmesi dağılımı sunmaktadır (Şekil 5.38 b). Tavanda makaslama yenilmelerinin yanında çekme yenilmeleri de gözlenirken yan duvarlarda makaslama yenilmelerinin çok büyük olduğu görülmektedir (Şekil 5.38 b). Yenilme dağılımları ikinci aşama sonrası tavanda 1.98 m, yan duvarlarda 0.80 m ve taban köşelerinde 1.086 m. lik bir zonda gerçekleşmektedir.

Destek sistemi olarak öncelikle püskürtme beton uygulaması denenmiştir. Sırası ile 15, 30 , 40 ve 60 cm lik püskürtme beton uygulamaları yapılmıştır. 60 cm lik püskürtme beton uygulaması tavan ve yan duvarlardaki yenilmelerin tamamına yakını karşılamıştır. Ancak uygulamada bu kalınlıkta püskürtme betonun yapılması oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle tavanda 40 cm ve yan duvarlarda da 20 cm lik püskürtme beton uygulaması ile birlikte 2 m aralıklarla 2 m uzunluğuna 25 mm çapında 20 ton taşıma kapasiteli tam tutturmalı bulonlar kullanılmıştır. Kullanılan püskürtme beton ise, E modülü=30 GPa, Poisson oranı=0.3, basınç dayanımı 30 MPa ve çekme dayanımı 10 MPa özelliklerinde seçilmiştir. Uygulanan destek sonrası kazı çevresindeki yenilme zonu, tavanda 45cm'e, yan duvarlarda 40 cm' e ve taban köşelerinde ise 63 cm' e düşmüştür.

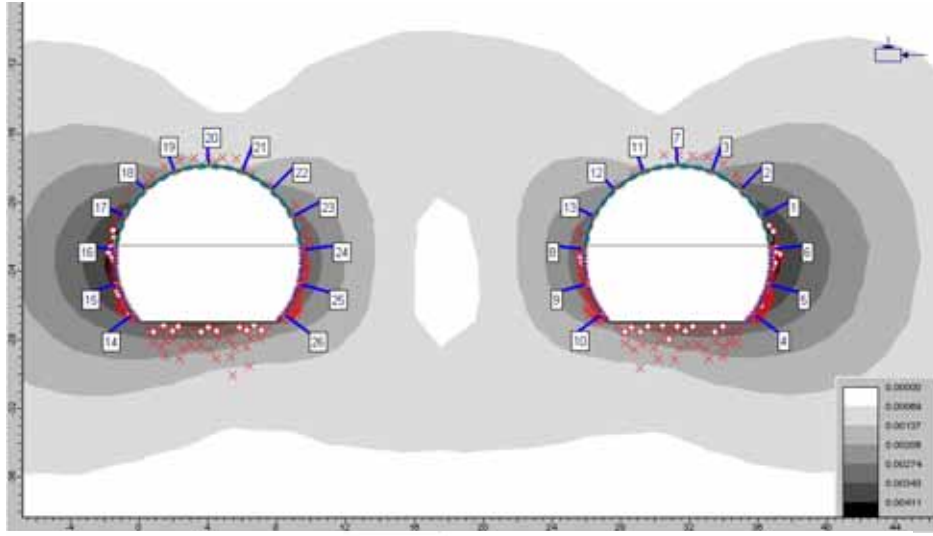
Destek sistemi sonrasında kazı çevresindeki yenilmeler önemli oranda azalmış ancak tamamen ortadan kalkmamıştır (Şekil 5.38 c ve d). Destek olarak seçilen püskürtme betonda yenilme gözlenmemiştir. Kaya bulonlarına etki eden düşey gerilmeler ise bulonun taşıma kapasitesini aşmamaktadır (Şekil 5.39 a, b ve c). Düşey gerilmelerden en çok etkilenen bulonlar sol tüpte, 16 ve 26 numaralı bulonlar olurken (Şekil 5.39 b), sağ tüpte ise 4, 6 ve 10 numaralı bulonlardır (Şekil 5.39 c)

Kazı sonrası en büyük yer değiştirmeler, sol tüpte sol duvarda iken sağ tüpte sağ duvardadır (Şekil 5.40 a). Destek sisteminden önce en büyük toplam yer değiştirme 5.0729 mm olurken destek sisteminden sonra bu değer 4.54574 mm ye düşmektedir (Şekil 5.40 b).

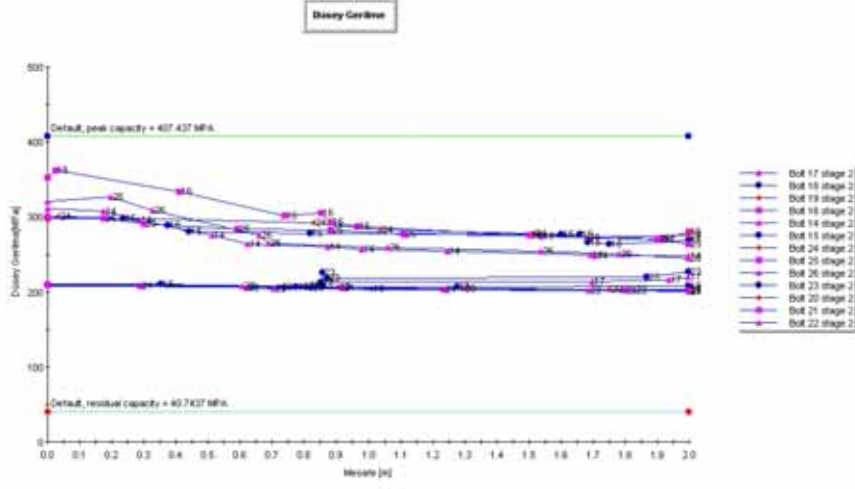
Km: 103+300 de yapılacak kazı için tavanda 40, duvarlarda 20cm püskürtme beton ve 2m x 2m uzunluğundaki sistematik kaya bulonlaması yeterli görülmektedir.



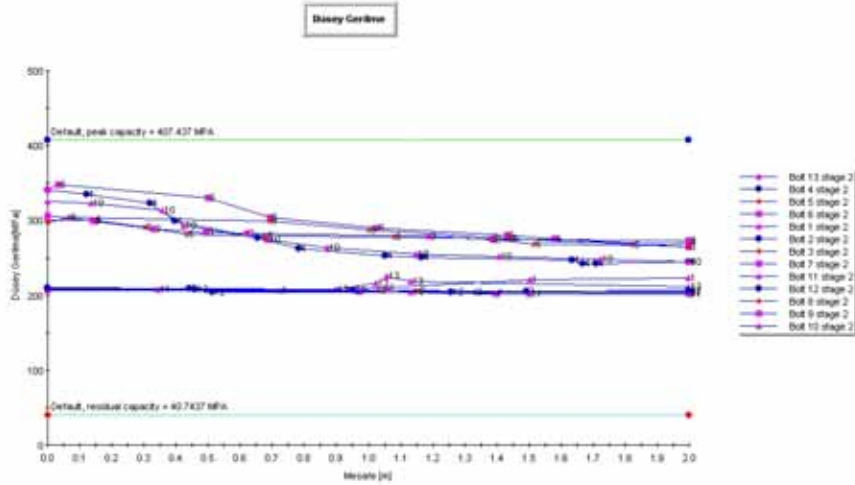
Şekil 5.38. TSK-4 bölgesinde kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. aşamada yenilme dağılımı.



a

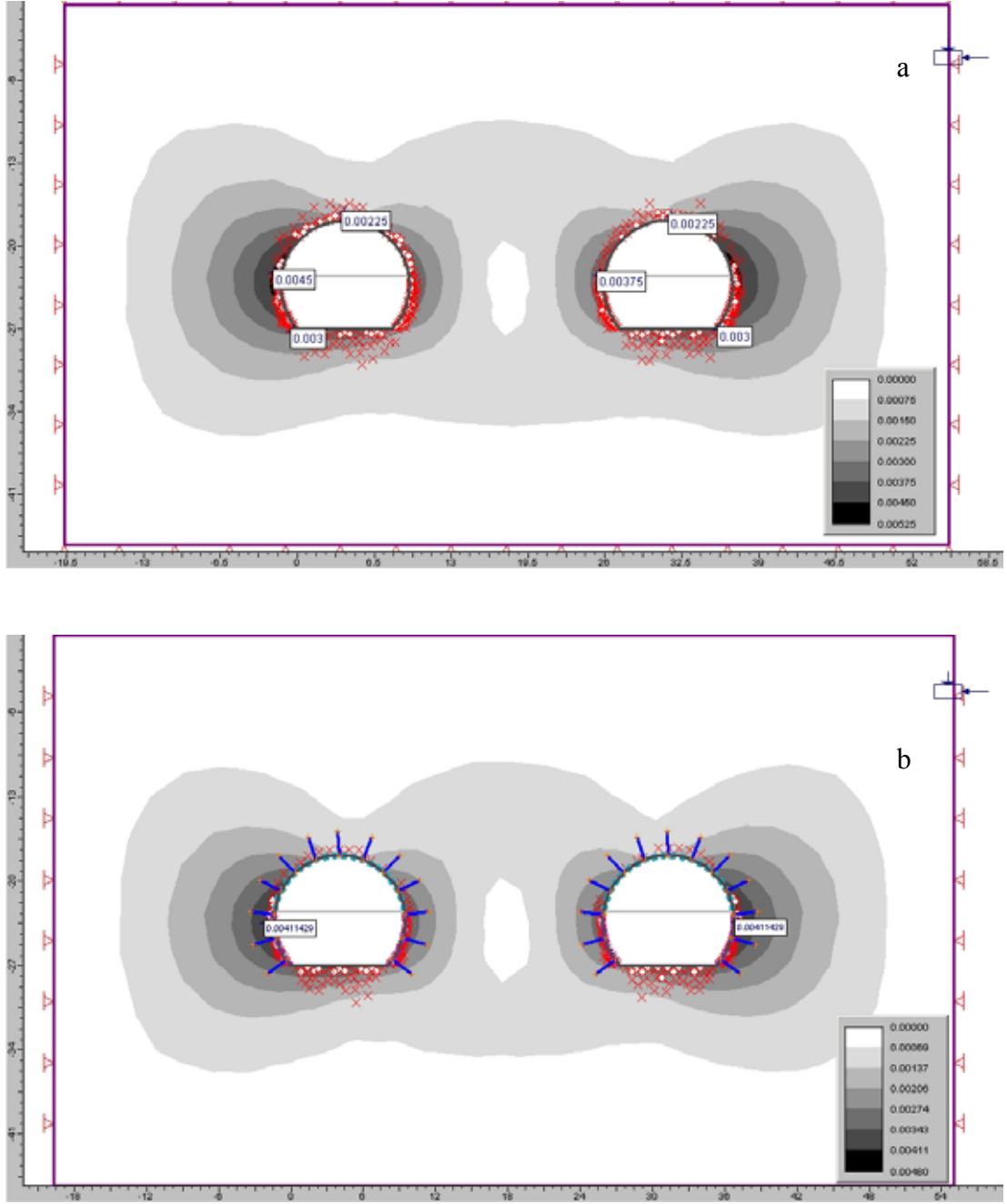


b



c

Şekil 5.39. TSK-4 bölgesinde kazı çevresinde uygulanan bulonların yeri(a), sol (b) ve sağ (c) tüpteki bulonların kazı dan uzaklığına göre etki eden düşey gerilme.



Şekil 5.40. TSK-4 bölgesinde ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı

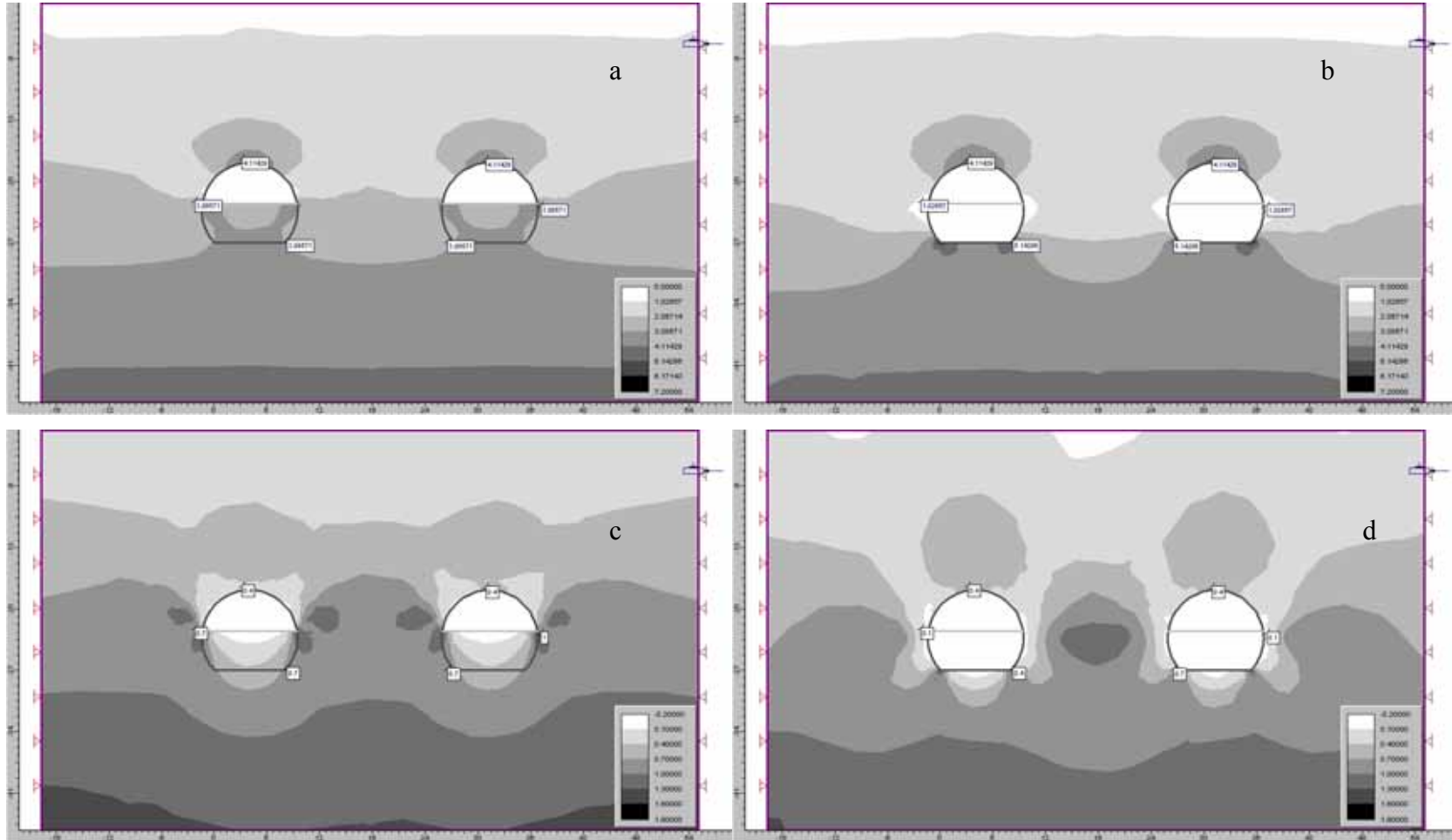
5.7.4. Çıkış Ağızı Km: 104+000 TSK -3 gerilme-deformasyon analizleri

Çıkış ağzında TSK-3 sondajının bulunduğu kesimde kazı Permiyen yaşlı Yığıltepe Formasyonu içerisinde yapılacaktır. Bu kesimde tünel üzerinde örtü yüksekliği 27.54 m. dir. Bu kesim için yapılacak olan gerilme-deformasyon analizlerinde, yüzeye yakın olması nedeni ile k faktörü 3 olarak kullanılacaktır. Analizlerde kullanılacak olan parametreler Çizelge 5.24 de özet olarak verilmiştir. Bu değerlerden poisson oranı ve Birim hacim ağırlık değerleri deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Diğer değerler kütle sınıflamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 5.24. Km: 103+300 de gerilme-deformasyon analizlerinde kullanılacak parametreler.

Kazı Yönetimi		2 Aşamalı kazı
Malzeme Özellikleri	σ_c	82.28
	mb	1.10732
	s	0.0028322
	Hacim Kütle	0.0269 MN/m ³
	Örtü Yüksekliği	27.54
	E Modülü (MPa)	26040
	Poison oranı	0.34

Bu kesim için kaya kütesinin özellikleri yukarıdaki parametreler kullanıldıktan sonra kazının birinci aşamasında σ_1 yönündeki en büyük gerilmeler tavanlarda 4.11 MPa (Şekil 5.41a), ikinci aşamasında ise tavanda 4.11 Mpa, duvarlarda 1.028 ve köşelerde ise 5.14 MPa olarak izlenmektedir (Şekil 5.41c). σ_3 yönünde ise birinci aşama sonrası, tavanda 0.4 MPa (Şekil 5.41b) ve ikinci aşama sonrasında ise tavanda 0.4 Mpa, alt köşelerde ise 0.7 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 5.41d). Gerilme dağılımlarının büyük olması k faktörünün 3 gibi yüksek bir değer seçilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.41. TSK-3 Sondajı kazının 1. aşaması sonrası σ_1 (a), σ_3 (b) ve kazının 2. aşaması sonrası σ_1 (c), σ_3 (d) gerilme dağılımları

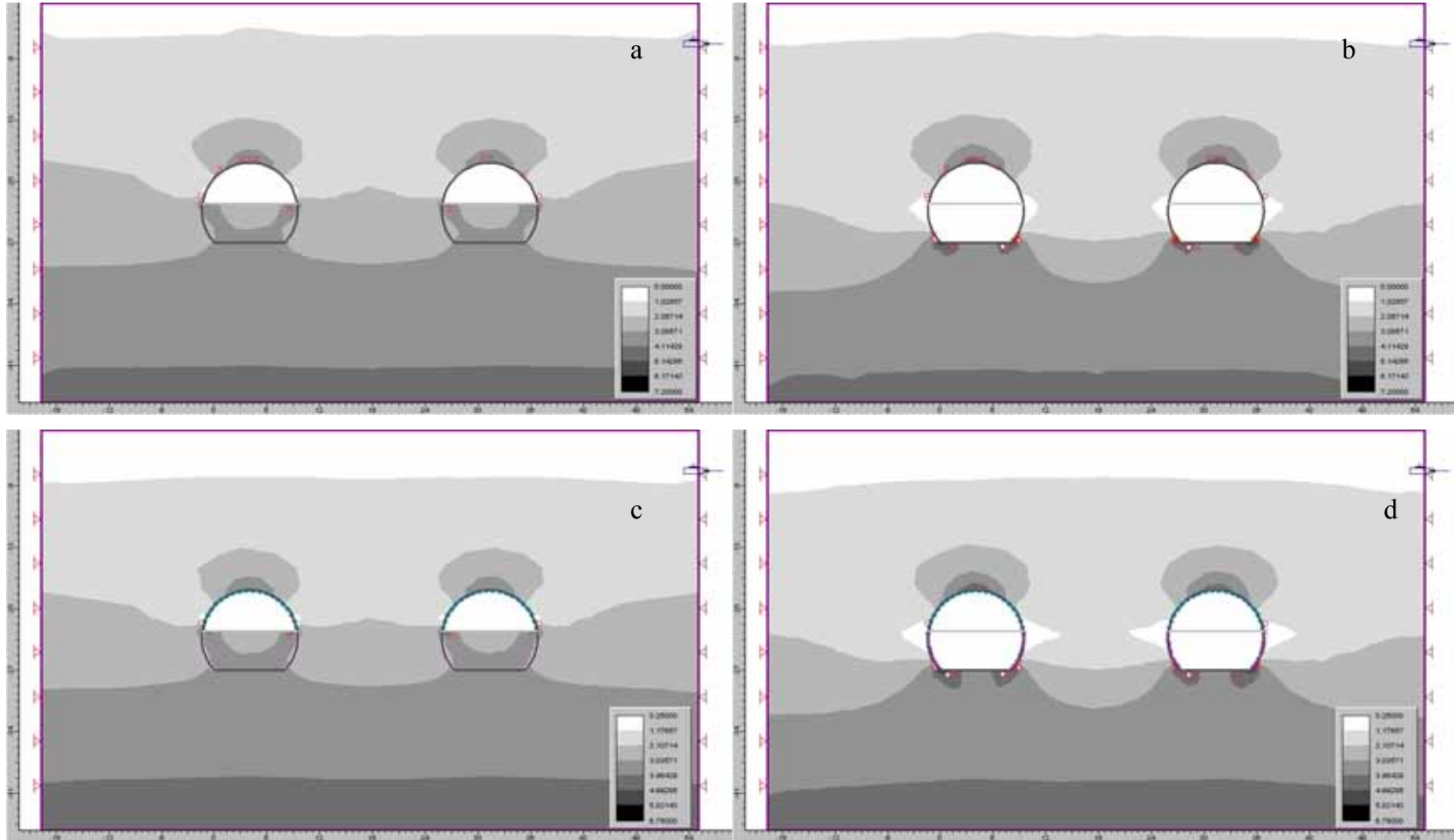
Kazı sonrasında gerilme dağılımına göre yenilmeler birinci aşama sonrasında tavanda lokal bir alanda makaslama yan duvarların üst taraflarında ise çekme yenilmeleri görülmektedir (Şekil 5.42a). Kazının ikinci aşaması sonrasında ise yenilmelerin tavanda fazla değişmemekle birlikte 1. tüp sol üst ve 2. tüp sağ üst taraflarda çekme yenilmelerinin arttığı gözlenmektedir (Şekil 5.42 b)

Tavan ve yan duvarlardaki gerilme dağılımının küçük olması nedeni ile destek sistemi olarak tavan ve yan duvarlarda RMR sınıflama sisteminde önerilen püskürtme beton kullanılmıştır. Tavanda 15 cm kalınlığında püskürtme beton uygulaması kazının birinci aşamasından hemen sonra uygulanmıştır. Yan duvarlardaki püskürtme beton uygulaması ise kazının ikinci aşamasından hemen sonra 10 cm kalınlığında uygulanmıştır. Püskürtme betonun özellikleri tavan ve yan duvarlar için aynı olmak üzere, E modülü=30 GPa, Poisson oranı=0.3, basınç dayanımı 30 MPa ve çekme dayanımı 10 MPa olarak seçilmiştir

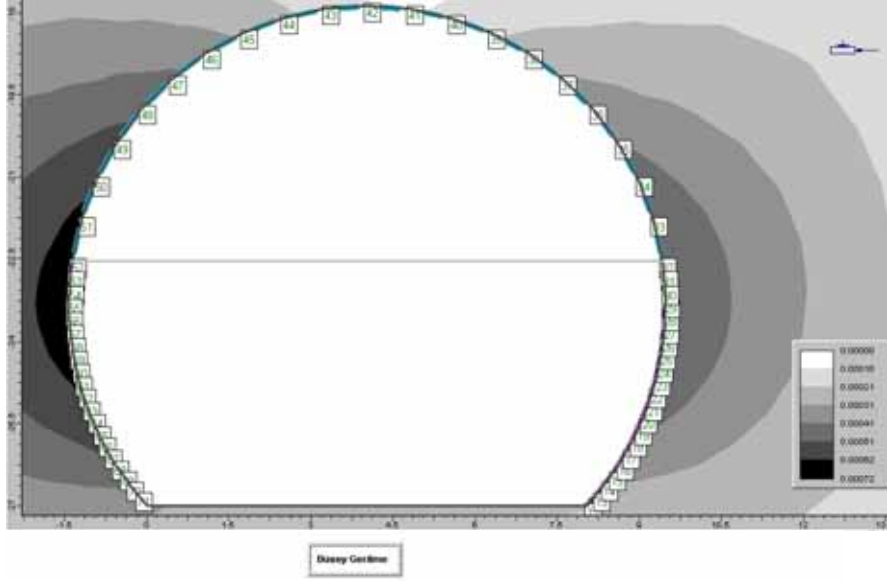
Destek sistemi uygulamasından sonra kazı çevresindeki yenilmeleri dağılımı Şekil 5.42 c ve d de sunulmuştur. Kazının 1. ve 2. aşaması sonrası yenilmelerin çok büyük oranda ortadan kalktığı sadece yan duvarların üst kısımlarında küçük çekme yenilmelerinin oluşacağı görülmektedir (Şekil 5.42 c ve d). Bu tip çekme yenilmeleri kazı sırasında yapılacak lokal bulonlama ile çözülebilir. En çok gerilme dağılımı etkisinde kalan tavandaki püskürtme betonun tünel içindeki konumlarına göre etkileyen yüklerin dağılımı Şekil 5.43 a,b ve c de sunulmuştur. Şekilde de görüleceği gibi en tepedeki bölgede en büyük düşey kuvvet etki ederken yan duvarlara doğru gidildikçe makaslama kuvveti etkisi artmaktadır..

Çıkış ağzında kazı sonrası en büyük yer değiştirmeler yan duvarda olmaktadır (Şekil 5.44 a). En büyük toplam yer değiştirme miktarı 0.678273 mm dir. Destek sistemi sonrasında yer değiştirmeler 0.666424 mm seviyelerine düşmüştür (Şekil 5.44 b).

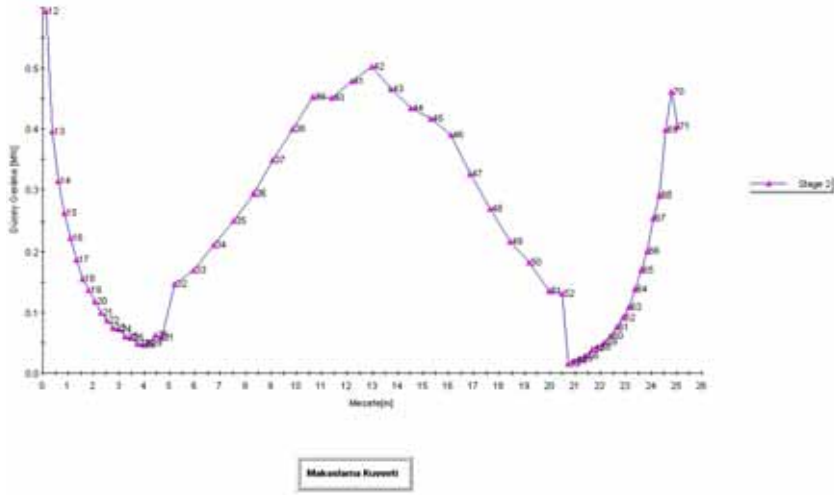
Bu kesim için destek sistemi olarak tavan da 15 cm ve yan duvarlarda 10 cm lik püskürtme beton uygulaması yeterli olacaktır. Püskürtme betonun yanı sıra lokal olarak bulonlamada gerekebilir. Ancak bu tip analitik çözümlerden elde edilen destek sistemleri yerinde yapılan ölçümler ile karşılaştırılmadan kullanılmamalı, kazı sırasında detaylı ölçümler yapılarak korele edilmelidir.



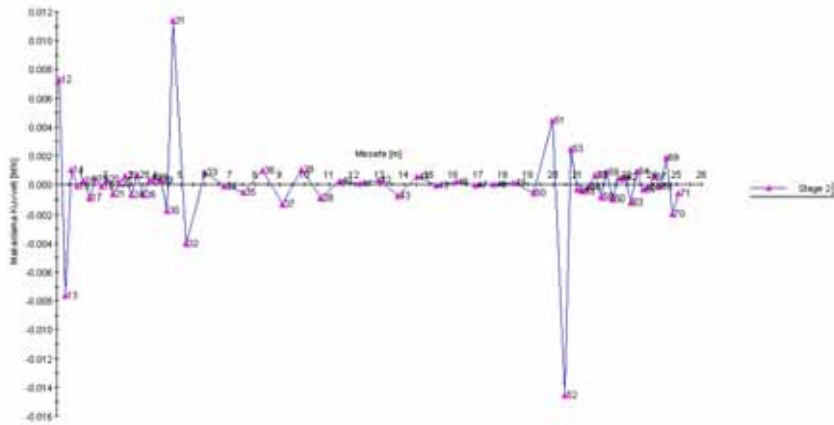
Şekil 5.42. TSK-3 bölgesinde kazının destek sistemi kullanılmadan 1. (a) ve 2. aşaması (b) ile destek sistemi sonrası 1. (c) ve 2. aşamada yenilme dağılımı.



a

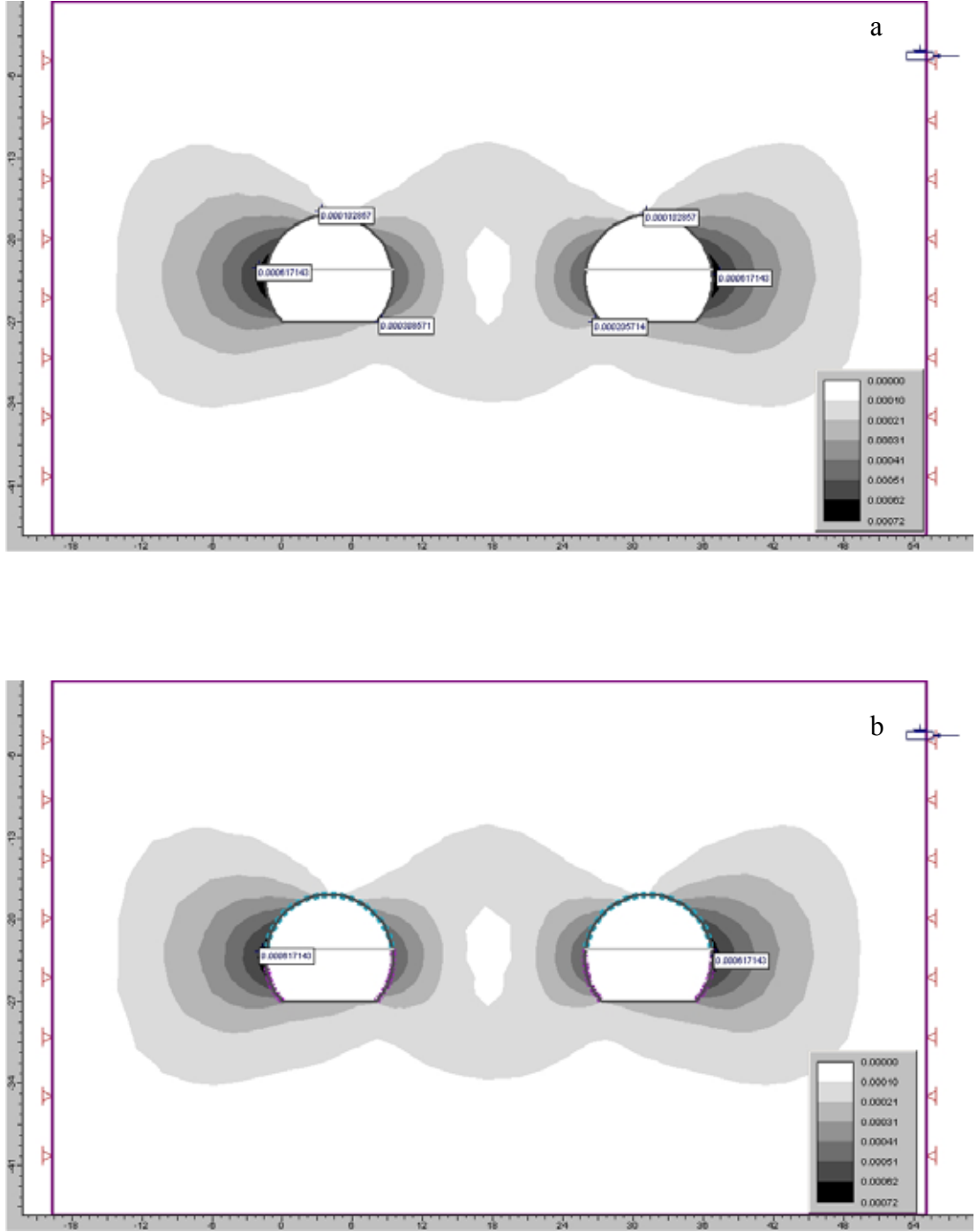


b



c

Şekil 5.43. TSK -3 de uygulanan pükürtme beton (a) üzerine gelen normal (b) ve makaslama gerilmeleri (c)



Şekil 5.44. TSK-3 bölgesinde ikinci aşama kazı sonrası desteklemeden önce (a) ve destek sisteminden sonra (b) en büyük yer değiştirmelerin dağılımı

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Taşucu- Ovacık yolunda bulunan Boğsak Tünelleri güzergahının mühendislik jeolojisi incelemesi ve jeoteknik tasarımı yapılmıştır.

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki birimlerin tanınması ve jeolojik modelin oluşturulabilmesi amacı ile 1/25000 ölçekli jeolojik haritası hazırlanmıştır.

Çalışma alanındaki birimler Toroslardaki birliklerden otokton Geyikdağı birliği içerisinde yer almaktadır.

Geyikdağı birliğinin Toroslardaki diğer kesimlerinde bulunan formasyonların kaya türleri, fosil içerikleri ve petrografik özellikleri ile deneştirilerek, çalışma alanındaki birimlerin formasyon tanımlaması ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

İnceleme alanındaki birimler yaşlıdan gence doğru; Gümüşali Formasyonu (Üst Devoniyen), Ziyarettepe Formasyonu (Alt Karbonifer), Yığıltepe Formasyonu (Üst Permian), Katarası Formasyonu (Alt Triyas), Keçilidağ Formasyonu (Orta Triyas), Köroğlu Formasyonu (Jura-Alt Kretase), Yanıktepe Formasyonu (Senoniyen), Akdere Formasyonu (Paleosen) ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar olarak sıralanmaktadır.

Tünel güzergahı boyunca sol tüp; Km:102+810-102+860, 102+936-103+107 ve 103+343-104+000 arasında Permian yaşlı Yığıltepe Formasyonu, Km:102+860-102+936 ve Km: 103+107-103+343 arası Alt Triyas yaşlı Katarası Formasyonu içerisinde açılacaktır. Sağ tüp ise ilk 16 m. si ve Km:102+882- 103+075, 103+267-104+000 arası Yığıltepe formasyonu, Km:102+825-102+882 ve 102+936-103+107 arası Katarası Formasyonu içerisinde açılacaktır.

Tünel güzergahı boyunca, Km: 102+810' da (TSK-1) 60.30 m, Km: 103+618' de (TSK-2) 175.00 m, Km: 104+000' de 60.00 m (TSK-3) ve Km: 103+300' de 180.00 m (TSK-2) olmak üzere 4 adet tam karotlu sondaj yapılmıştır.

RQD değerine göre değerlendirildiğinde giriş ve çıkış ağzında bulunan TSK-1 ve 3 sondajlarında orta kalite, orta bölgedeki TSK-2 ve 4 sondajlarında ise iyi kalite kaya kütlesi olarak belirlenmiştir.

Sondaj karotlarından RQD yanında TCR, SCR ve Jv ölçüm ve hesaplamaları da yapılmış, karotlardaki süreksizlikler loglanarak yüzey ölçümleri ile deneştirilmiştir.

Tünel güzergahı, giriş bölgesi, giriş ağızı, orta bölge, çıkış ağızı ve çıkış bölgesi olmak üzere 5 yapısal bölgeye ayrılarak süreksizlik ölçümleri yapılmıştır.

Açık kazı ile geçilecek olan giriş ve çıkış bölgelerinde kinematik analiz ile sol, sağ şev ve tünel alın şevi dizaynları yapılmış, giriş ağızı, orta bölge ve çıkış ağızı bölgelerinde kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden RMR, Q, ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü ve GSI sınıfları ve önerilen destek sistemleri belirlenmiştir. Ayrıca örtü yüksekliğinin az olduğu giriş ve çıkış ağızında süreksizlik kontrollü olarak gelişecek olan kama tipi kayma analizleri yapılmıştır. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden elde edilen parametreler kullanılarak giriş ve çıkış ağızı ve orta bölgede sondajların bulunduğu kesimlerde gerilme - deformasyon analizleri ve destek uygulamaları denenerak plastik yenilmeler araştırılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeden elde edilen sonuçlar yapısal bölgelere göre aşağıda özetlenmektedir.

Giriş bölgesinde yapılan kinematik incelemeler sonucu sol şevin 1/4, sağ şevin ise 1/3 değerlerinde güvenli olduğu belirlenmiştir. Ancak sağ tarafta bulunan ve mevsimsel olarak akış gösteren Zindan Deresi' nin kazı sonrası yol kotundan yukarıda kalacak olması sebebi ile buradan sızacak sular şev stabilitesinin bozulmasına neden olabilir. Zindan Deresinde yapım aşamasında derivasyon vb. önlemler alınması gerekmektedir. Tünel alın şevinin ise 1/3 değerinde yapılması gerekmektedir.

Giriş ağızında farklı süreksizlik takımları ile yapılan kama tipi kayma analizlerinde tavan kısmında kayma beklenmekte, ancak 5 cm lik püskürtme betonu uygulaması ile bu hareket engellenebilmektedir.

Giriş ağızında yapılan kaya kütle sınıflama sistemlerine göre en iyi, en kötü ve normal koşullara göre, sırasıyla RMR değerleri; 69,27 ve 50, Q değerleri; 0.540, 0.050 ve 0.167, GSI değerleri ise 74, 32 ve 55 olarak bulunmuştur. Giriş ağızında 2 aşamalı kazı koşullarında yapılan gerilme-deformasyon analizleri sonucunda uygulanacak destek sistemleri; tavanda 15, yan duvarlarda 10 cm kalınlığında püskürtme beton olarak belirlenmiştir.

Orta bölgede TSK -2 ve TSK-4 bölgeleri için ayrı ayrı yapılan değerlendirmelerde, TSK-2 de kütle sınıflamaları değerleri, RMR için, 66, 31 ve 48,

Q için 2.533, 0.067 ve 0.440 ve GSI değerleri 71,36 ve 53 olarak bulunmuştur. TSK-4 için ise bu değerlerin dağılımı, RMR 61, 34 ve 45, Q 0.520,0.200 ve 0.433 ve GSI 66, 34 ve 50 dir. İki aşamalı kazı için her iki kesimde de yapılan gerilme-deformasyon analizleri sonucunda TSK-2 için tavan ve yan duvarda 20 cm püskürtme beton ve 4m uzunluğunda 2 şer m. aralıklı sistematiik bulonlama kullanılarak yapılacak destek sisteminin yeterli olduğu saptanmıştır. TSK-4 sondajı için ise destek sistemi olarak, tavanda 40 cm yan duvarlarda 20 cm püskürtme beton ile birlikte 2 m uzunluğunda 2 şer m. aralıklarla yapılacak olan bulonlamanın yeterli olacağı belirlenmiştir.

Çıkış ağzında yapılan kama tipi kayma analizi sonucunda süreksizliklerin bu kesimde kama tipi kayma yapmayacağı belirlenmiştir. Gerilme-deformasyon analizleri sonrasında ise destek olarak, tavanda 15 cm, yan duvarlarda ise 10 cm lik püskürtme beton uygulamasının yeterli olacağı belirlenmiştir.

Çıkış bölgesinde yapılan kinematik analizler sonucu sağ ve sol taraftaki şevlerin değeri 1/4, tünelin alın şevinin değeri ise 1/3 olarak belirlenmiştir.

Yapılan gerilme deformasyon analizlerinde giriş ve çıkış ağzı için k değeri 3 olarak, orta bölge için ise 2 olarak kullanılmıştır.

Tünel aşamasında karşlaşmanın yoğun olarak görüldüğu Katarası Formasyonu boyunca geçilecek kesimlerde büyük karştik boşluklara rastlama olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu tip analitik yaklaşımlarla yapılan analizler uygulama sırasında yapılan ölçümlerle deneştirilmelidir.

7. KAYNAKÇA

- Akarsu, İ. 1960. Mut Bölgesinin Jeolojisi, MTA Enst. Dergisi, No. 54, S. 36-45, Ankara
- Akay, E., ve Uysal, Ş.,1988, Orta Torosların post Eosen tektoniği. MTA dergisi Sayı: 108, s 57-68, Ankara
- AİGM, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, yerleşim birimleri ve deprem bölgeleri. AİGM Yay. Ankara.
- Aziz,A., Meşhur.M., Serdar,H.S.,1979, Sarız-Pınarbaşı-Kaynar Dolayının Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları : TPAO Rapor no : 1357, Ankara
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rockmasses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.
- Barton, N., 2002. Some new Q – value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. Int. Journal of Rock Mechanics Mining Sciences 39, pp 185-216.
- Brady B.H.G. and Brown E.T.,1999, Rock mechanics for underground mining. (Second Edition) Kluwer Academic Publisher Chapman & Hall, London. 571 p.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Trans.South African Inst. Civil Engineering, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1974. Geomechanics classification of rock mases and its application in tunnelling. Proc. 3rd Cong. Of Int. Society for Rock Mechanics, Denver, Vol. 2, 27-32.
- Bieniawski, Z.T., 1976. Rock mass classification in rock engineering. Proc. Sym. on Exploration for Rock Engineering, Cape Town, Balkema, 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1978. Determining rock mass deformability - experiences fromcase histories. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15,237-247.
- Bieniawski, Z.T., 1979. The Geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. 4 th Cong. Rock Mechanics, ISRM, Montreux, Vol. 2, 4-48.

- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and Sons, 237 pp.
- Blumenthal, M. M. 1955, Cenubi Anadolu Toroslarının Sahil Sıradağlarında Silifke - Anamur Arasındaki Jeolojik İncelemeler, MTA Rapor No. 2823, (Yayımlanmamış).
- Deere, D. U., 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1, 17-22.
- Demirtaşlı, E. 1973, İran-Pakistan ve Türkiye'deki Alt Paleozoik Yaşlı Kayaların Stratigrafik Korelasyonu, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, s. 204-222, Ankara.
- Demirtaşlı, E.,1967, Pınarbaşı-Sarız-Mağara Civarının Jeoloji Raporu : MTA Rapor no: 1935, ANKARA.
- Demirtaşlı, E., 1978, Guidebook of the Field Excursions on the Carboniferous Stratigraphy in Turkey, (Excursion C-Carboniferous of the Silifke Area), pp. 31-37, Ankara.
- Demirtaşlı, E. 1981, Summary of the Paleozoic Stratigraphy and Variscan Events in the Taurus Belt, IGCP No. 5, Newsletter, V.3, pp. 44-57, Ankara
- Demirtaşlı, E. 1983, Mersin'in Gülnar ilçesinde Akkuyu mevkiinde kurulacak olan nükleer santral yeri ile ilgili yerel jeolojik araştırma raporu:TEK Rap.,MTA Jeoloji Dairesi Rap., 149 (yayımlanmamış)
- Demirtaşlı, E.,1984, Stratigraphy and Tectonics of the Area Between Silifke and Anamur; Tekeli,O., and Göncüoğlu, M.C., ed: Geology of the Taurus Belt, 1983, Ankara-Turkey; MTA matbaası, s. 101-141.
- Dowding, C.H., and Rozen, A., 1978. Damage to Rock Tunnels from Earthquake Shaking. J. Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 104 GT2.
- Gedik, A., Birgili, Ş.-Yılmaz, H.,Yoldaş, R. 1976, Mut-Ermenek - Silifke Yöresinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TJK Bülteni, C.22, S. 1,s.7-26, Ankara.
- Gökten, E. 1975. Silifke Çevresi Jeolojisi ve Neojen Stratigrafisi (DoktoraTezi), A. Ü. Fen Fak. Genel Jeoloji - Stratigrafi Kürsüsü, 169 s..Ankara.

- Grimstad, E. and Barton, N. 1993. Updating the Q-System for NMT. Proc.int. symp. on sprayed concrete - modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, Fagernes, (eds Kompen, Opsahl and Berg). Oslo:Norwegian Concrete Assn.
- Herget, G. 1988. Stresses in rock. Rotterdam/Balkema/Brookfield 179p.
- Herget, G., 1986. Changes of ground stresses with depth in the Canadian shield. Proc. Int. Symposium on Rock Stress and Rock Stress Measurements, Stockholm, 61-68.
- Hoek E, Brown E.T., 1980a. Underground excavation in rock. London: Institution of Mining and Metallurgy 527 pp.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980b. Empirical strength criterion for rock masses. J.Geotech. Engng Div., ASCE 106(GT9), 1013-1035.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 2001. Rock Slope Engineering . Spom Pres, New York 358 pp
- Hoek E, Brown ET., 1988. The Hoek–Brown failure criterion—a 1988 update. In: Curan JC, editor. Rock engineering for underground excavations. Proceedings of the 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada,. p. 31–8.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., ve Bawden, W.F., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Balkema, roterdam, 214 pp.
- Hoek, E., 2000. Rock Engineering, Course notes by Evert Hoek, Hoek's Corner. www.rocscience.com., 313p
- Hoek, E., 1983. Strength of jointed rock masses, 23rd. Rankine Lecture.Geotechnique 33(3), 187-223.
- Hoek, E., Wood, D. and Shah, S. 1992. A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. Proc. rock characterization, symp. Int. Soc. Rock Mech.: Eurock '92, (ed. J.A. Hudson), 209-214. London: Brit. Geol. Soc.
- Hoek, E. Ve Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Intrnl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts*. 34 (8), 1165-1186.
- Hoek E, Carranza-Torres CT, Corkum B., 2002. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. In: Proceedings of the Fifth North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, Vol. 1, 2002. p. 267–73.

- ISRM, 1978. Commission on Standardisation of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 15, 319-368.
- ISRM, 1981. *ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring*. E.T. Brown (ve diğ.), Pergamon Pres, London, 211 pp.
- Ketin, İ., 1966., *Anadolunun tektonik birlikleri*. MTA dergisi Sayı: 66, s 20-35.
- Kozlu, H., 1990, *Tufanbeyli-Sarız-Gürün Dolaylarının Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları: TPAO Rapor no. 2851, Ankara.*
- Metin, S., Papak, İ., Keskin, H. Özsoy, İ., Polat, N., Altun, İ., İnanç, A., Hazinadar, H., Konuk, O. Ve Karabalık, N.N., 1982, *Tufanbeyli-Sarız ve Göksun-Saimbeyli arasının jeolojisi*. MTA Rap., 7129 (yayımlanmamış), Ankara
- Metin, S., 1984, *Doğu Toroslarda Derebaşı (Develi)-Armutalanı ve Gedikli (Saimbeyli) Köyleri Arasının Jeolojisi: İstanbul Üni. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi C-4 s. 1-2, 45-66.*
- Otlu, N., 1992, *Yaylacı-Karapınar (Sarız – Kayseri) Üst Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı tortulların sedimentolojik ve stratigrafik özellikleri*. C.Ü. Fen Bil. Enst. Yüksek lisans tezi. 112 s. (yayımlanmamış)
- Özgül, N., Metin, S., Göger, E., Bingöl, İ., Baydar, O. ve Erdoğan, B., 1973, *Tufanbeyli Dolayının (Doğu Toroslar-Adana), Kambriyen-Tersiyer Kayaları : TJK Bülteni, 16, 82-100*
- Özgül, N. 1976. *Toroslar'ın Bazı Temel Jeoloji Özellikleri*, TJK Bülteni, C. 19, S. 1, s. 65-78, Ankara.
- Özgül, N., ve Kozlu, H., 2002, *Kozan-Feke (Doğu Toroslar) yöresinin stratigrafisi ve konumu ile ilgili bulgular*. TPJD Bülteni C:14-1, S:1-36.
- Öztaş, T., 1989 *Mersin-Taşucu-Boğsak karst kaynağı ve dolayının karst hidrojeolojisi*. İTÜ Fen Bil. Enst. Doktora tezi, 140s, İstanbul (yayımlanmamış)
- Palmström, A., 1996. RMI-a system for characterising rock mass strength for use in Rock engineering. *J. Of Rock Mech. And Tunneling Tech., İndia, 1 (2), 69-108.*

- Serafim., J.L. ve Pereira, J.P. 1983. Consideration of the geomechanical classification of Bieniawski. Proc. int. symp. on engineering geology and underground construction, Lisbon 1(11), p.33-44.
- Sheorey, P.R. 1994. A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 31(1), p.23-34.
- Tchihatcheff, P. 1869. Asie Mineur, Tome III - Geologic, pp. 51 - 59, France.
- TSE 690, Doğal yapı taşları için deney metodları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Ulusay, R., ve Sönmez, 2002. H., Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. Jeoloji Mühendisleri Odası Odası Yayınları:60, 243 s.
- Varol,B., Kazancı,N. ve Altınar,D.,1986, Doğu Toroslar Otokton Geyik Dağı Birliğinde Orta-Üst Triyas'ın Varlığı (Sarız-Tufanbeyli Yöresi, Kayseri): MTA Dergisi 107, s. 169-170
- Varol,B.,Altınar,D. ve Yavuz, O.,1988, Sarız-Tufanbeyli Otokton Mesozoyik Karbonat Fasiyeslerinin Önemli Dasıklad Algleri (Kayseri, GD Türkiye): MTA Dergisi 108, s. 110-117.
- Yalçınlar,I., 1973. Observations sur la Fauna du Primarie Ancien dans la Region Mediterraneanne de la Turquie, TJK Bülteni, C. 16, s. 101-109, Ankara
- Ziegler, K.G.J. 1939. Garbi Toros Mıntıkasında Yapılmış Olan Maden ve Jeoloji Tetkikatı 1.Kısım, MTA Rapor No.953, (Yayınlanmamış).