

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖMÜRHAN (ELAZIĞ) TÜNELİ DESTEK
SİSTEMLERİNİN GÖRGÜL VE SAYISAL ANALİZİ

Erkut YALÇIN

Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Zülfü GÜROCAK
NİSAN-2013

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

**KÖMÜRHAN (ELAZIĞ) TÜNELİ DESTEK SİSTEMLERİ'NİN
GÖRGÜL VE SAYISAL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erkut YALÇIN**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :19.03.2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 15.04.2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zülfü GÜROCAK (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet YILMAZ (F.Ü)

ELAZIĞ, 2013

ÖNSÖZ

"Kömürhan (Elazığ) Tüneli Destek Sistemleri'nin Görgül ve Sayısal Analizi" başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji bilim dalında 2011-2013 yılları arasında yüksek lisans tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

Çalışmamın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, bu çalışmamın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan tez danışmanım Doç. Dr. Zülfü GÜROCAK'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için MF.12.23 nolu proje ile sağladığı maddi destekten ötürü Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP)'ne teşekkür ederim.

Tez çalışmasına sağladığı teknik destekten dolayı Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisi Murat KUM'a, arazi ve büro çalışmalarındaki katkılarından dolayı Jeofizik Müh. Barış ATEŞ'e; sayısal analiz çalışmalarındaki katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA'a; ince kesitlerin hazırlanmasında ve petrografik incelemelerin yapılmasındaki katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ ve Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ'a; arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Arş. Gör. Yasemin ASLAN ve Arş. Gör. Mustafa Kanık'a; teşekkür ederim, arazi çalışmaları süresince yardımcı olan stajyerlerimiz Emrah KEHYA, Aykut Caner ALMACI, Yurdaer ÜLGEY, Ramazan ÇELİK'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmalarım sırasında hep yanımda olup, manevi desteğini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Erkut YALÇIN

ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XIV
KISALTMALAR	XVIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIX
1. GİRİŞ	1
1.1. Bölgenin Tanıtımı	2
1.1.1. Ulaşım ve Yerleşim	2
1.1.2. Morfoloji	2
1.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü	2
1.1.4. Bölgenin Depremselliği	3
1.1.4.1. Deprem Durumu	3
1.1.4.2. Tarihsel Dönem Deprem Aktivitesi	4
1.1.4.2. Aletsel Dönem Deprem Aktivitesi	5
1.1.4.3. Aktif Tektonik	9
1.1.4.3.1. Doğu Anadolu Fayı (DAF)	9
1.1.4.3.2. Malatya-Ovacık Fayı	10
1.1.4.3.3. Sürgü Fayı	11
1.1.4.4. Probalistik Deprem Tehlike Analizi	11
1.1.4.5. Kömürhan ve Çevresi Magnitüd – Frekans İlişkisi	12
1.1.4.6. Poison Olasılık Dağılımı İle Deprem Risk Analizi	14
1.1.4.7. İvme Azalım İlişkileri Kullanılarak Pik Yatay Yer İvmesi (PGA) Hesabı	15
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	18
3. İNCELEME ALANININ GENEL JEOLojİSİ	25
3.1. Stratigrafi	27
3.1.1. Kömürhan Ofiyolitleri (Mkof, Üst Kretase)	28

3.1.1.1.	Tanım.....	28
3.1.1.2.	Dağılım ve Konum	29
3.1.1.3.	Litoloji	29
3.1.1.4.	Yaş	31
3.1.1.5.	Oluşum Ortamı	31
3.1.2.	Seske Formasyonu (Ts, Üst Paleosen-Alt Eosen)	31
3.1.2.1.	Tanım.....	31
3.1.2.2.	Dağılım ve Konum	32
3.1.2.3.	Litoloji	32
3.1.2.4.	Yaş	33
3.1.2.5.	Oluşum Ortamı	33
3.1.3.	Yamaç Molozu ve Alüvyonlar (Qy, Qal)	34
3.2.	Tektonik.....	35
3.2.1.	Kırıklı Yapılar.....	36
3.2.1.1.	Doğu Anadolu Fay Zonu	36
3.2.1.2.	Kömürhan Bindirmesi	38
3.2.1.3.	Eklemler.....	38
4.	MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ	40
4.1.	Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri ve Hat Etüdü Çalışmaları	40
4.1.1.	Eklem Yönelimi ve Eklem Takımı	42
4.1.2.	Eklem Ara Uzaklığı	44
4.1.3.	Süreksizlik Açıklığı	46
4.1.4.	Süreksizliklerin Devamlılığı.....	47
4.1.5.	Süreksizlik Pürüzlülüğü.....	49
4.1.6.	Dolgu Malzemesinin Özelliği.....	51
4.1.7.	Süreksizlik Yüzeyinin Bozunma Derecesi	52
4.1.8.	Süreksizlik Yüzeyinin Su Durumu	53
4.2.	Jeoteknik Amaçlı Sondajlar	54
4.2.1.	Toplam Karot Verimi (TKV, %)	54
4.2.2.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD, %).	55
4.2.3.	Bozunma Derecesi	56

4.3.	Presiyometre Deneyi ve Kaya Kütlesi Deformasyon Modülünün (E_m).....	
	Belirlenmesi.....	57
4.4.	Laboratuar Deneyleri.....	61
4.4.1.	Örnek Hazırlama.....	62
4.4.2.	Fiziksel Özellikler.....	64
4.4.2.1.	Birim Hacim Ağırlık.....	64
4.4.3.	Mekanik Özellikler.....	64
4.4.3.1.	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi.....	64
4.4.3.2.	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$).....	66
4.4.4.	Elastik Özellikler.....	67
4.4.4.1.	Statik Elastisite (Young) Modülü (E_i) ve Poisson Oranı (ν).....	67
4.5.	Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemleri.....	68
4.5.1.	Jeomekanik Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR).....	69
4.5.2.	Kaya Kütlesi İndeksi (RMi) Sınıflama Sistemi.....	76
4.5.3.	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI).....	80
5.	SAYISAL ANALİZLER	84
5.1.	Desteksiz durum için yapılan sayısal analizler.....	87
5.2.	RMR Sınıflama Sisteminden Elde Edilen Destek Sistemlerinin Uygulanması....	
	Durumu İçin Yapılan Sayısal Analizler.....	90
5.3.	RMİ Sınıflama Sisteminden Elde Edilen Destek Sistemlerinin Uygulanması.....	
	Durumu İçin Yapılan Sayısal Analizler.....	96
5.4.	Önerilen Destek Sistemlerinin Uygulanması Durumu İçin Yapılan Sayısal.....	
	Analizler.....	101
6.	JEOFİZİK ÇALIŞMALAR	104
6.1.	Sismik Kırılma Yöntemi.....	104
6.2.	Zemin Araştırmalarında Kullanılan Sismik Dalga Çeşitleri.....	107
6.2.1.	Boyuna Dalgalar(P dalgaları).....	107
6.2.2.	Enine Dalgalar (S dalgaları).....	108
6.3.	Arazi Çalışmaları.....	110
6.3.1.	P ve S Dalgalarından Hesaplanan Dinamik Elastik Parametreler.....	114
6.3.1.1.	Poisson Oranı (ν).....	114
6.3.1.2.	Young (Elastisite) Modülü (E).....	115

6.2.1.3.	Kayma (Shear) Modülü (G).....	116
6.3.1.4.	Yoğunluk (ρ).....	117
7.	TÜNEL GÜZERGAHINDAKİ KAYA KÜTLESİNİN KAZILABİLME ÖZELLİĞİ	118
8.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	134
9.	KAYNAKLAR.....	137
	EKLER	150
EK 1.	Pik Yatay Yer İvmesi Değerleri.....	150
EK 2.	Tünel Güzergahının Jeolojik Enine Kesiti.....	
EK 3.	Jeoteknik Amaçlı Sondajlara Ait Loglar.....	154
EK 4.	Laboratuvar Deney Sonuçları.....	199
EK 5.	P ve S Dalga Hızları ve Tabaka Kalınlıkları.....	203
EK 6.	Tünel Güzergahının Sismik Enine Kesiti.....	
EK 7.	Tünel Güzergahındaki Kaya Kütlelerinin Kazılabilme Özelliklerini Gösteren Enine Kesit.....	
	ÖZGEÇMİŞ	216

ÖZET

Bu çalışmada, Elazığ-Malatya karayolunun 1+458-3+869 kilometreleri arasında çift tüp olarak inşa edilmesi planlanan Kömürhan Tüneli’i güzergahındaki kaya kütlelerinin jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Tünel güzergahında Üst Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyolitleri yüzeylenmektedir. Bu ofiyolitik kayaların jeoteknik özelliklerini belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin mühendislik özellikleri hat etüdü çalışmaları ile belirlenmiş, sondaj karotları incelenerek kaya kütlelerinin Kaya Kalite Göstergesi (RQD) ve bozunma derecesi belirlenmiştir. Ayrıca, kaya kütlelerinin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla tünel güzergahı boyunca jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak tünel güzergahındaki kaya kütlesi RMR, R_{Mi}, ve GSI sistemlerine göre sınıflandırılmış ve tünel için ampirik ön destek elemanları belirlenmiştir. Optimum destek sistemlerini belirlemek amacıyla Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak RMR ve R_{Mi} sınıflama sistemlerinden elde edilen destek sistemlerinin sayısal analizleri yapılmıştır. Yapılan sayısal analizler sonucunda tünel için optimum destek sistemleri önerilmiştir. Laboratuvar deneyleri, hat etüdü ve jeofizik çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliği araştırılmış ve farklı araştırmacılar tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamalarına göre kaya kütlesi sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamalara göre tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin kazılabilirlik sınıfı “çok zor kazılabilir-patlatma gerekli” olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya kütle sınıflama sistemleri, Kazılabilirlik, Sayısal analiz, Sonlu elemanlar yöntemi

SUMMARY

Empirical and Numerical Analyses of Support Designs for Kömürhan Tunnel (Elazığ)

In this study, the geotechnical properties of rock mass in route of the Kömürhan Tunnel, planned to be constructed as a double tube between 1+458-3+869 kilometers of the Elazığ-Malatya highway, were investigated. Kömürhan Ophiolites aged Upper Cretaceous are cropped out in route of the tunnel. Field studies and laboratory tests were carried out to determine geotechnical properties of these ophiolites. Engineering properties of discontinuities in the rock mass were determined by scan-line survey method; Rock Quality Design (RQD) and weathering degree of the rock mass were determined by examining borehole cores. Also, geophysical studies along tunnel route mass were realized to determine dynamic properties of the rock. The rock mass in route of the tunnel was classified according to the RMR, RMi, and GSI classification systems by using data obtained from field and laboratory studies and thus preliminary support design of the tunnel was designated. In order to determine the optimum support systems, numerical analyses of support systems obtained from RMR and RMi classification systems were evaluated. As a result of the numerical analyses, optimum support systems were suggested for the tunnel. Excavatability property of the rock mass was investigated using results obtained from laboratory tests, scan-line survey and geophysical studies and the rock mass is classified according to the excavatability classifications proposed by different researchers. According to these classifications, excavatability class of the rock mass in tunnel route was determined as “very hard ripping-blasting required”

Key Words: Excavatability, Finite Element Method, Rock Mass Clasification Systems, Numerical Analysis

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2. İnceleme alanı deprem bölgeleri haritası	4
Şekil 1.3. Çalışma alanı çevresinde 1900-bugüne belirlenen >4 büyüklüğündeki..... depremler	5
Şekil 1.4. Çalışma alanı 100 km çevresinde meydana gelen depremler (AFAD).....	8
Şekil 1.5. Çalışma alanı ve çevresi diri kırıkları	9
Şekil 1.6. Kömürhan ve çevresi 1900 yılından günümüze kadar olmuş deprem sayısı – deprem büyüklüğü ($M_s \geq 4.5$) arasındaki ilişkiyi gösterir histogram.....	12
Şekil 1.7. Hesaplanan magnitüd – frekans ilişkisi.....	14
Şekil 3.1. Büyük Çay Havzası (Elazığ Batısı)'nın jeoloji haritası	26
Şekil 3.2. İnceleme alanının ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti.....	27
Şekil 3.3. Kömürhan Ofiyolitleri'nden bir görünüm.....	30
Şekil 3.4. Kömürhan Ofiyolitleri'nden bir görünüm	30
Şekil 3.5. Seske formasyonunun kireçtaşlarından bir görünüm.....	32
Şekil 3.6. Seske formasyonunun kireçtaşlarından bir görünüm.....	33
Şekil 3.7. Yamaç molozundan görünüm	34
Şekil 3.8. Sayısal yükselti modeli üzerinde, Malatya ve Elazığ yöresindeki genel tektonik yapılar	36
Şekil 3.9. Türkiye'nin neotektonik haritası	37
Şekil 3.10. Kömürhan Ofiyolitleri'ndeki eklem sistemlerinin görünümü.....	38
Şekil 3.11. Kömürhan Ofiyolitleri'ndeki eklem sistemlerinin görünümü.....	39
Şekil 4.1. Arazide hat etüdü yönteminin uygulanması.....	41
Şekil 4.2. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri	42
Şekil 4.3. Eklem yöneliminin pusula ile ölçümü.....	43
Şekil 4.4. Kömürhan Ofiyolitleri'nden alınan eklem yönelimi ölçülerine ait kontur..... diyagramı	43
Şekil 4.5. Eklem ara uzaklığının şerit metre ile ölçümü	45

Şekil 4.6. Kömürhan Ofiyolitleri' nden alınan süreksizlik ara uzaklığı ölçülerine ait histogram	45
Şekil 4.7. Süreksizliklerin açıklık tipleri	46
Şekil 4.8. Kömürhan Ofiyolitleri' nden alınan eklem açıklığı ölçülerine ait histogram.....	47
Şekil 4.9. İnceleme alanındaki eklem devamlılığın görünümü	48
Şekil 4.10. İnceleme alanındaki eklem devamlılığına ait histogram.....	48
Şekil 4.11. Süreksizlik yüzeylerinin dalgallığı ve pürüzlülüğü	49
Şekil 4.12. Metal telli profilometre ile süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün (a) arazide ve (b) laboratuarda ölçümü	50
Şekil 4.13. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri	51
Şekil 4.14. Kömürhan Ofiyolitlerine ait eklemlerde gözlenen kalsit dolgu.....	52
Şekil 4.15. Kömürhan Ofiyolitleri' nin toplam karot verimine ait histogram	55
Şekil 4.16. Kömürhan Ofiyolitleri'nin RQD değerlerine ait histogram.....	56
Şekil 4.17. Kömürhan Ofiyolitleri'nin bozunma derecesi değerlerine ait histogram	57
Şekil 4.18. Menard GA tipi presiyometre deney aleti ve ekipmanı	59
Şekil 4.19. Kaya kütle deformasyon modülüne ait histogram	60
Şekil 4.20 Deneyler için hazırlanmış karot örnekleri.....	63
Şekil 4.21. Nokta yükü deneyinde kullanılan karot örnekleri.....	63
Şekil 4.22. Kömürhan Ofiyolitleri' nde yapılan tek eksenli sıkışma dayanım deneyi	65
Şekil 4.23. Kömürhan Ofiyolitleri'nde nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi	67
Şekil 4.24. RMR puanını hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması.....	70
Şekil 4.25. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri	72
Şekil 4.26. Sönmez ve Ulusay (1999)'ın önerdiği niceliksel GSI Sınıflama Sistemi Abağı'nın "Sağlam ve Masif" kaya grubu da eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali	83
Şekil 5.1. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz.....	88
Şekil 5.2. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz	88

Şekil 5.3. SK-2+630 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz.....	88
Şekil 5.4. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz.....	89
Şekil 5.5. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz.....	89
Şekil 5.6. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	91
Şekil 5.7. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	91
Şekil 5.8. SK-21+630 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	91
Şekil 5.9. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	92
Şekil 5.10. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	92
Şekil 5.11. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz.....	93
Şekil 5.12. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz.....	93
Şekil 5.13. SK-21+630 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz.....	94
Şekil 5.14. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz.....	94
Şekil 5.15. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz.....	94

Şekil 5.16. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	96
Şekil 5.17. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	96
Şekil 5.18. SK-21+630 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	97
Şekil 5.19. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	97
Şekil 5.20. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	97
Şekil 5.21. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	98
Şekil 5.22. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	99
Şekil 5.23. SK-21+630 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	99
Şekil 5.24. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	99
Şekil 5.25. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	100
Şekil 5.26. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	101
Şekil 5.27. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	102
Şekil 5.28. SK-2+630 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz	102

Şekil 5.29. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz.....	102
Şekil 5.30. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz.....	103
Şekil 6.1. (a) OYO Geospacejeofon, (b) Jeofonların içerdiği temel elemanların şematik gösterimi (Sheriff, 2002), (c) Seistronix Ras24 sismik kayıtçı	104
Şekil 6.2. Arazide jeofonların kullanımı	105
Şekil 6.3. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulanışı.....	105
Şekil 6.4. Balyoz ile arazide sismik kırılma yönteminin uygulanması.	106
Şekil 6.5. Sismik kırılma yönteminde zaman(t)-uzaklık(x) grafiği ile yeraltı kesiti ilişkisi	107
Şekil 6.6. Boyuna dalga (P dalgası) yayılımı	108
Şekil 6.7. Enine dalga (Sdalgası) yayılımı.	109
Şekil 6.8. Sismik serim yerlerinin Google Earth'deki görünümü	110
Şekil 6.9. Tüfek mekanizmasına fişek yerleştirilmesi.....	111
Şekil 6.10. Tüfek mekanizmasının birleştirilmesi.....	111
Şekil 6.11. Tüfek mekanizmasının araziye yerleştirilmesi.....	112
Şekil 6.12. Tüfek mekanizmasının patlaması.....	112
Şekil 6.13. Ras24 sismik kayıtçısı ile araziden kayıt alımı	113
Şekil 7.1. Kaya dayanımı ve çatlak aralığına bağlı olarak kazılabilirlik tayini.....	119
Şekil 7.2. Jeoteknik birimlerin Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.	128
Şekil 7.3. Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi (Is(50)>3 MPa).....	132

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Çalışma alanı yakın çevresi tarihsel depremleri	4
Tablo 1.2. Çalışma alanında 1900'den günümüze Ms,Mb,Md, $M \geq 4.5$ olan depremler.....	6
Tablo 1.3. Çalışma alanı yakın çevresinde gerçekleşen büyük depremler	8
Tablo 1.4. Magnitüd aralığı, ortalama magnitüd, hesaplanan EKK değerleri ve oluşum sayıları	13
Tablo 1.5. Hesaplanan a ve b katsayıları, magnitüd-frekans ilişkisi	13
Tablo 1.6. Kömürhan ve çevresi deprem tehlikesini gösterir poison olasılık dağılımı	15
Tablo 1.7. 50 yıllık yapı ömrü içerisinde bir kere gerçekleşme olasılığı (aşılma ihtimali) % 10'u geçmeyen deprem büyüklüğü	15
Tablo 1.8. Çalışma alanı ve çevresinde belirlenen noktasal sismik kaynaklar	16
Tablo 1.9. Çalışma alanı ve çevresinde belirlenen çizgisel sismik kaynaklar	16
Tablo 4.1. İnceleme alanındaki Kömürhan Ofiyolilerine ait yönelim ölçüleri.....	44
Tablo 4.2. Kömürhan Ofiyolitlerine ait eklemlerin mühendislik özellikleri ve yüzde dağılımları.....	46
Tablo 4.3. Süreksizliklerin bozunma derecesinin tanımlanması (ISRM, 2007)	53
Tablo 4.4. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınılama ve tanımlama ölçütleri	53
Tablo 4.5. RQD ile kayanın mühendislik kalitesi arasındaki ilişki Deere (1964)	55
Tablo 4.6. Kömürhan Ofiyolitleri'nde RQD değerlerinin % dağılımı.....	56
Tablo 4.7. Kömürhan Ofiyolitleri'nde bozunma derecesinin % dağılımı	57
Tablo 4.8. Presiyometre deneyinde kullanılan prob tipi ve boyutları.....	58
Tablo 4.9. Çalışma alanında yapılan presiyometre deney verilerinden hesaplanan deformasyon modülü (E_m) değerleri.....	61
Tablo 4.10. Laboratuar deneylerine ait istatistiksel sonuçlar	62
Tablo 4.11. RMR kaya kütlesi sınıflama sistemin parametrelerin puanlama tablosu	71
Tablo 4.12. RMR Sistemi'nde süreksizliklerin durumunun puanlandırılması için kılavuz	73
Tablo 4.13. Tünelde süreksizlik eğim ve eğim yönünün etkisi	73
Tablo 4.14. Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	73
Tablo 4.15. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları	74
Tablo 4.16. RMR sistemine göre tünel kazıları ve destekleri için kılavuz	74

Tablo 4. 17. Kömürhan Tünel güzergahı için yapılan Jeomekanik Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR).....	75
Tablo 4.18. Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütlesinin düzeltilmiş RMR değerleri ve destek sistemleri.....	76
Tablo 4.19. Süreksizlik pürüzlülük faktörü – jR	77
Tablo 4.20. Süreksizlik yüzeyi bozunma faktörü – jA	78
Tablo 4.21. Süreksizlik uzunluk faktörü – jL	78
Tablo 4.22. R _{Mi} değerlerinin tanımlamaları	79
Tablo 4. 23. R _{Mi} kaya kütler sınıflama siteminde kullanılan parametreler ve bu parametrelere ait değerler	79
Tablo 4.24. Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütlesinin R _{Mi} değerleri ve destek sistemleri.....	79
Tablo 4.25. Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütlesinin GSI değerleri ve kaya gurubu.....	82
Tablo 5.1. Sayısal analizlerde kullanılan jeoteknik birimlere ait özellikler	86
Tablo 5.2. Sayısal analizlerde kullanılan destek elemanlarına ait sınır karakteristik değerleri.....	87
Tablo 5.3. Desteksiz durumlarda meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (R _{Pl}) ve maksimum yer değiştirme miktarları (U _t).....	90
Tablo 5.4. RMR tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (R _{Pl}) ve maksimum yer değiştirme miktarları (U _t).....	92
Tablo 5.5. RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme betonun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (R _{Pl}) ve maksimum yer değiştirme miktarları (U _t).....	95
Tablo 5.6. R _{Mi} tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (R _{Pl}) ve maksimum yer değiştirme miktarları (U _t).....	98
Tablo 5.7. R _{Mi} tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme betonun..... uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (R _{Pl}) ve maksimum yer değiştirme miktarları (U _t)	100
Tablo 5.8. Bu çalışmada önerilen destek sistemleri.....	101

Tablo 5.9. Bu çalışmada önerilen destek sistemlerinin uygulanmasından sonra meydana...	
gelecek olan plastik zonun yayılımı (RPI) ve maksimum yer değiştirme	
miktarları (Ut).....	103
Tablo 6.1. Sismik nokta koordinatları	110
Tablo 6.2. Çalışma alanındaki birimlere ait V_p ve V_s hızları.....	114
Tablo 6.3. Çalışma alanındaki birimlere ait poisson oranları.....	115
Tablo 6.4. Çalışma alanındaki birimlere ait Young Modülü (E) değerleri	116
Tablo 6.5. Çalışma alanındaki birimlere ait Kayma Modülü (G) değerleri	117
Tablo 6.6. Çalışma alanındaki birimlere ait yoğunluk değerleri.....	117
Tablo 7.1. Sismik Hız İle Sökülebilirlik Sınıflandırması	120
Tablo 7.2. Sismik Hız İle Sökülebilirlik Sınıflandırması	120
Tablo 7.3. Riperlenebilirlik Puanlama Abağı	121
Tablo 7.4. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Weaver (1975) riperlenebilirlik	
sınıflaması.....	122
Tablo 7.5. Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi.....	123
Tablo 7.6. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik	
sınıflaması.....	123
Tablo 7.7. Weaver'in Değiştirilmiş Riperlenebilirlik Abağı.....	124
Tablo 7.8. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Weaver (1975) riperlenebilirlik	
sınıflaması.....	124
Tablo 7.9. Riperlenebilirlik İndeksine Göre Kaya Kütle Sınıflaması.....	125
Tablo 7.10. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Singh vd. (1987).....	
riperlenebilirlik sınıflaması.....	126
Tablo 7.11. Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi.....	126
Tablo 7.12. Kazılabilirlik Sınıflandırması	126
Tablo 7.13. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Singh vd. (1987).....	
riperlenebilirlik sınıflaması.....	127
Tablo 7.14. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Pettifer ve Fookes (1994)	
kazılabilirlik sınıflaması	129
Tablo 7.15. Kazılabilirlik sınıflama sistemi.....	130

Tablo 7.16. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Ceylanoğlu vd. (2007).....	
riperlenebilirlik sınıflaması.....	131
Tablo 7.17. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan kazılabilirlik sınıflamalarına ait	
sonuçlar.....	133

KISALTMALAR

AFAD	: Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
E	: Enlem
EKK	: En Küçük Kareler Yöntemi
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
Mkof	: Kömürhan Ofiyoliti
MTA	: Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü
N	: Boylam
RMi	: Kaya kütle indeksi
RMR	: Kaya kütle puanlaması
RQD	: Kaya kalite göstergesi
SK	: Sondaj kuyusu
SCR	: Süreksizlik yüzey koşulu puanı
SR	: Yapısal özellik puanı
TKV	: Toplam karot verimi
Ts	: Seske Formasyonu
Qy	: Yamaç molozu
Qal	: Alüvyon

SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Kaya kütle sabiti
a_r	: Kaya kütle sabiti
E_m	: Kaya kütle deformasyon modülü
E_i	: Kaya malzemesinin elastisite modülü
G	: Kayma modülü
I_f	: Süreksizlik aralık indeksi
I_{s(50)}	: Düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi
I_s	: Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi
Ja	: Süreksizlik yüzeyi bozunma değeri
jA	: Süreksizlik yüzeyi bozunma faktörü
jC	: Süreksizlik faktörü
jL	: Süreksizlik uzunluk faktörü
Jn	: Eklem takımı sayısı
JP	: Eklem dayanım azaltma faktörü
Jr	: Eklem pürüzlülük değeri
jR	: Süreksizlik pürüzlülük faktörü
JRC	: Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısı
J_v	: Hacimsel eklem sayısı
m_b	: Kaya kütle sabiti
m_{br}	: Artık kaya kütle sabiti
m_i	: Kaya malzemesi sabiti
n	: İlerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı
n_j	: Eklem seti sayısı
R_f	: Dolgu puanı
R_{pl}	: Plastik zonun yarıçapı
R_r	: Pürüzlülük puanı
R_w	: Bozunma puanı
s	: Kaya kütle sabiti
S_{max}	: Bloğun en uzun kenar uzunluğu

S_{min}	: Bloğun en kısa kenar uzunluğudur
s_r	: Artık kaya kütle sabiti
U_t	: Toplam yer değiştirme miktarı
V_b	: Blok hacmi
V_p	: Elastik ses dalgasının boyuna yayılma hızı
V_s	: Elastik ses dalgasının enine yayılma hızı
ρ	: Yoğunluk
β	: Blok şekli faktörü
σ_1	: En büyük asal gerilme
σ_3	: En küçük asal gerilme
σ_{cd}	: D çapındaki bir örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı MPa
σ_{ci}	: Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
σ_{cm}	: Kaya kütesinin tek eksenli basınç dayanımı
σ_{cr}	: Artık tek eksenli basınç dayanımı
σ_h	: Örselenmemiş yatay gerilme
σ_v	: Düşey gerilme
γ	: Birim hacim ağırlık
μ	: Kesme modülü

1. GİRİŞ

Ülkemizdeki araç sayısı ve trafikteki araç kalitesi, büyüyen ve küreselleşen ekonomiye koşut olarak artmakta ve gelişmektedir. Bu gelişme beraberinde yeni, geniş ve daha konforlu yolların yapımını gündeme getirmiştir. Ülkemiz, engebeli coğrafyası da düşünüldüğünde, inşa edilen yolların geometrik standartlarının yükseltilmesi; dağlar, büyük vadiler ve akarsular gibi doğal engelleri çeşitli mühendislik yapıları aracılığı ile aşma zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Bu mühendislik yapılarından biri de, son yıllarda yol ağımızda sayısı giderek artan karayolu tünelleridir. Karayolu ve büyük demiryolu tünellerinin sayısı ve kalitesi dünyada da artmakta ve gelişmektedir. Ülkemiz dünyadaki bu gelişmelere uzak kalmamakta, bu konuda gerekli yatırımları yapmakta ve teknik personelin yetişmesi ve uygulamaların kalitesinin artması için gerekli çalışmaları gerçekleştirmektedir.

Bu çalışmanın konusu olan Kömürhan Tüneli, ülkemizin doğusunda bulunan Elazığ ve Malatya illerini birbirine bağlayan devlet kara yolu üzerinde inşa edilecektir. Tünel, çift tüp olarak planlanmıştır ve toplam 2370 m uzunluğa, 12 m genişliğe, 8 m yüksekliğe sahip olacaktır.

Bu çalışmada, tünel güzergahında yüzeyleyen kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri incelenmiş ve tünel kazısı sırasında kullanılması gereken destek sistemleri ve kaya kütlelerinin kazı sınıfı belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalar, arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak iki aşamada yürütülmüştür.

Tünel güzergahı üzerinde Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından açtırılmış olan sondajlara ait karotlar incelenerek RQD ve TKV gibi ölçümler ile kaya kütlelerinin özellikleri belirlenmiştir. Sondaj karotlarından derlenen örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak, kayaç malzemesinin fiziksel, mekanik ve elastik özellikleri belirlenmiştir. Arazide yapılan çalışmalar ile süreksizliklerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan süreksizlik ölçümleri ve laboratuvar verileri birlikte değerlendirilerek, tünelin içinden geçeceği kaya kütlelerinde RMR Kaya Kütle Sınıflaması (Bieniawski, 1989), R_Mi Kaya Kütle Sınıflaması (Palmström, 1995), Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) (Hoek vd., 1995) gibi sınıflandırmalar yapılmıştır. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) esas alan Phase² (Rocscience, 2012) bilgisayar programı kullanılarak, kaya kütle sınıflamalarından elde edilen destek sistemlerinin sayısal analizleri yapılmıştır. Bu

analizler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla tünel güzergahındaki kaya kütlesi için optimum destek sistemleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Ayrıca, tünel güzergahındaki kaya kütlesinin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla jeofizik çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler ile kaya kütlesinin kazılabilme özelliği incelenmiş ve tünel kazısı sırasında kullanılacak kazı yöntemleri belirlenmiştir.

1.1. Bölgenin Tanıtımı

1.1.1. Ulaşım ve Yerleşim

İnceleme alanı, Elazığ İli'nin batısında, Elazığ-Malatya karayolundaki Kömürhan mevki X: 486800, Y: 4256122 konumu ile X: 484329, Y: 4254821 konumu arasında yer almaktadır. Bölgeye Elazığ-Malatya karayolu ile ulaşım sağlanmaktadır (şekil 1.1).

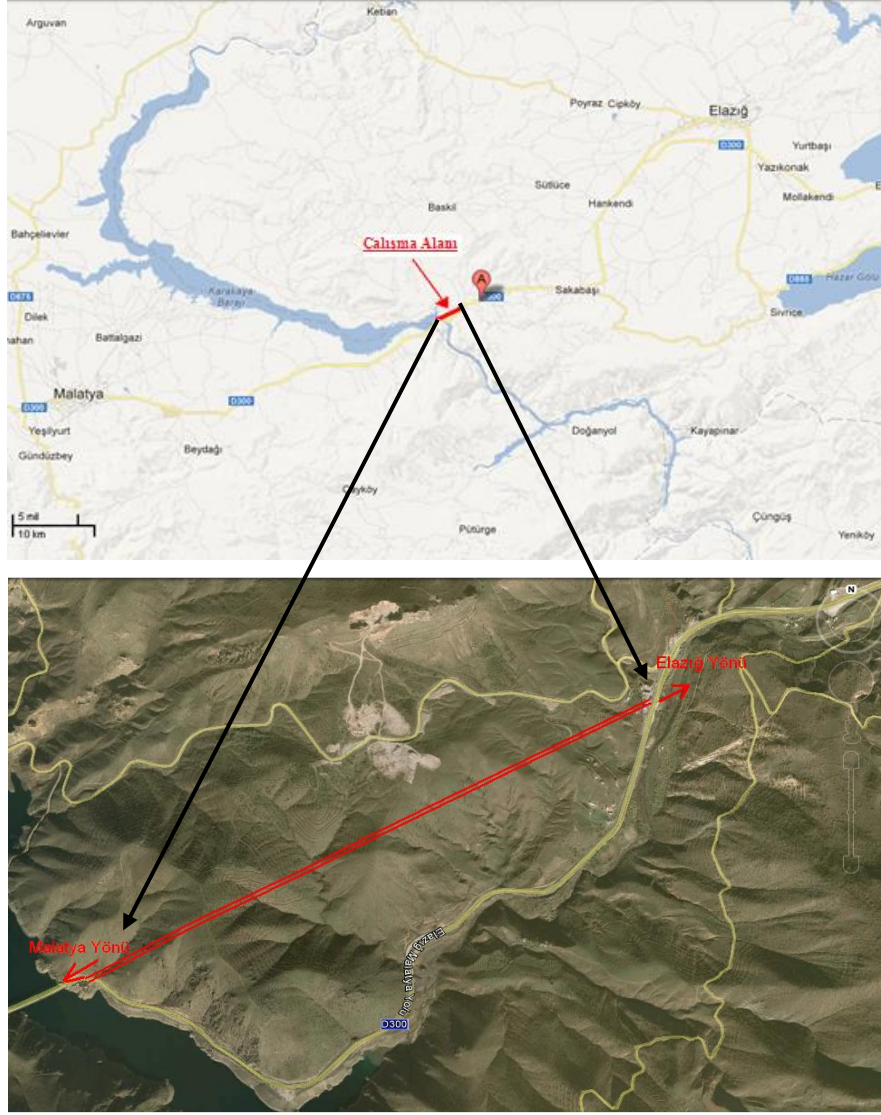
1.1.2. Morfoloji

Arazi engebeli ve kayalık alanlardan oluşmaktadır. Düzlük alışma alanının topoğrafik olarak en yüksek yerini Karataş Tepe (2037 m) oluşturmaktadır.

1.1.3. İklım ve Bitki rts

İnceleme alanında karasal iklim hüküm sürer. Ancak, yer yer Akdeniz iklimi özelliği de taşımaktadır. Bu iklim değişikliği Keban Barajı yapıldıktan sonra meydana gelmiştir. Elazığ iklimi, Akdeniz ve karasal iklim arasında bir geçiş özelliği göstermektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve sert geçer. Isı -15 °C ile +42 °C arasında, senelik yağış ortalaması ise 433 mm' dir (KGM, 2012).

İl ormanlarının % 25' i orman ve fundalık, % 25'i ekili ve dikili arazi % 42'si ayır ve meradır. Tarıma uygun olmayan arazi % 8'dir. Vadiler ve akarsu yatakları bitki örtüsü bakımından zengindir.



Şekil 1. 1. Yer bulduru haritası (Google Earth)

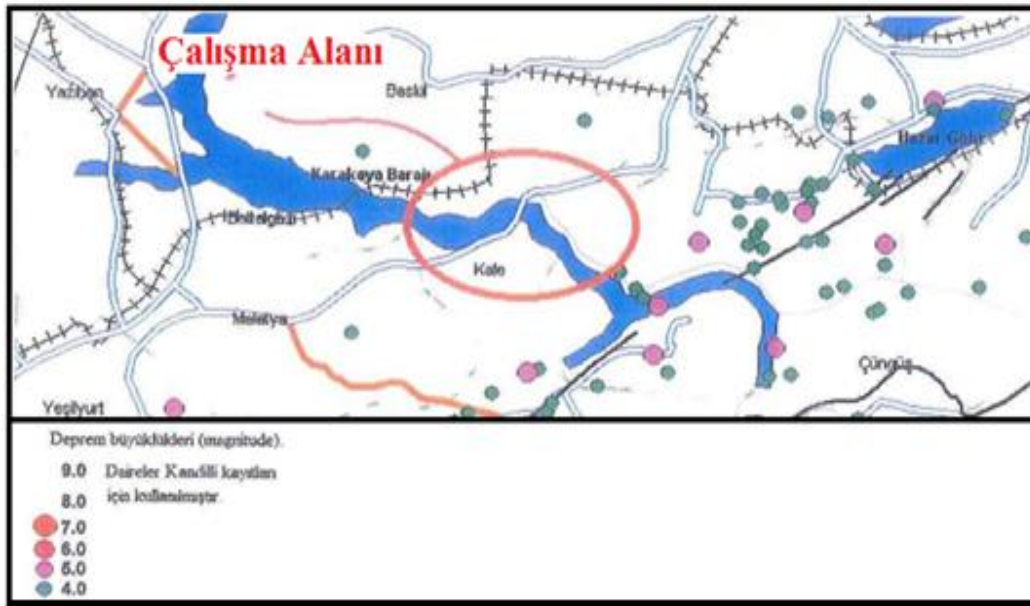
1.1.4. Bölgenin Depremselliği

1.1.4.1. Deprem Durumu

İnceleme alanı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre 1. Derece Deprem Bölgesi sınırları içerisinde kalmaktadır (Şekil 1.2).

1.1.4.2. Aletsel Dönem Deprem Aktivitesi

Aletsel dönemde; çalışma alanı merkez olmak üzere 100 km yarı çaplı alanda (37.48-39.46) enlemleri ve (37.63-40.13) boylamları arasında kalan bölgede (Şekil 1.3) büyüklüğü $M_s \geq 4.5$ olan toplam 152 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremler Tablo 1.2' de verilmiştir.



Şekil 1.3. Çalışma alanı çevresinde 1900-bugüne belirlenen >4 büyüklüğündeki depremler (KRDAE, 1900)

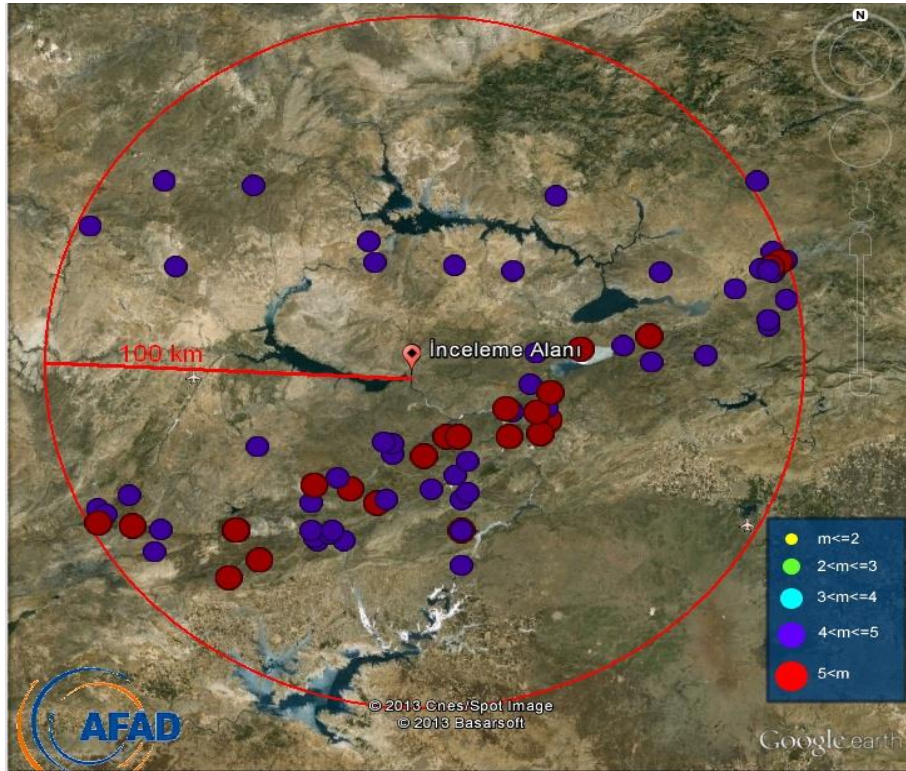
Tablo 1.2. Çalışma alanında 1900'den günümüze Ms,Mb,Md, $M \geq 4.5$ olan depremler (KRDAE)

Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Mag.	Büyüklik	İl	İlçe
10.11.1900	16:23	38.1	38.7	Ms	5.4	Malatya	Pötürge
22.12.1902	22:08	38.0	39.0	Ms	5.2	Adıyaman	Gerger
01.01.1904	22:00	38.8	38.7	Ms	5	Elazığ	Keban
06.12.1904	00:00	38.8	38.7	Ms	4.6	Elazığ	Keban
04.12.1905	07:04	38.1	38.6	Ms	6.8	Malatya	Pötürge
04.12.1905	09:40	38.0	38.3	Ms	5.5	Adıyaman	Çelikhan
04.12.1905	12:19	38.0	38.3	Ms	5.5	Adıyaman	Çelikhan
05.12.1905	17:01	38.0	38.3	Ms	5.3	Adıyaman	Çelikhan
19.12.1905	00:00	38.4	39.2	Ms	4.7	Elazığ	Sivrice
28.09.1908	06:27	38.4	39.2	Ms	6.1	Elazığ	Sivrice
18.08.1910	19:04	38.6	40.0	Ms	5	Elazığ	Arıcak
19.08.1910	03:19	38.6	40.0	Ms	4.7	Elazığ	Arıcak
26.12.1911	12:30	37.9	39.0	Ms	4.8	Şanlıurfa	Siverek
09.01.1930	07:01	38.0	38.5	Ms	4.9	Adıyaman	Sincik
08.02.1930	05:20	38.5	39.4	Ms	5.1	Elazığ	Merkez
25.01.1938	04:10	39.0	38.0	Ms	4.8	Malatya	Hekimhan
23.09.1940	19:30	39.0	39.3	Ms	4.9	Tunceli	Pertek
18.08.1948	19:06	38.5	39.3	Ms	5	Elazığ	Sivrice
25.04.1949	23:09	38.3	39.0	Ms	5.3	Malatya	Doğanyol
09.05.1950	09:20	38.2	38.3	Ms	5	Malatya	Yeşilyurt
08.11.1950	10:08	38.3	39.2	Ms	5.2	Diyarbakır	Çüngüş
18.04.1957	05:25	38.7	39.7	Ms	4.8	Elazığ	Kovancılar
24.08.1959	17:29	39.0	40.0	Ms	4.8	Elazığ	Karakoçan
09.12.1959	16:53	38.1	39.0	Ms	4.6	Malatya	Pötürge
19.06.1960	02:29	38.9	37.8	Ms	4.5	Malatya	Hekimhan
25.08.1963	06:11	39.0	38.3	Ms	4.8	Malatya	Arapgir
14.03.1964	23:02	38.5	39.8	Mb	4.5	Elazığ	Alacakaya
23.04.1964	14:23	38.1	38.8	MS	5	Malatya	Pötürge
14.06.1964	12:15	38.1	38.5	MS	6	Adıyaman	Sincik
14.06.1964	12:38	38.0	38.5	MS	4.5	Adıyaman	Sincik
16.05.1965	11:29	38.2	39.0	Mb	4.9	Malatya	Pötürge
17.10.1965	11:23	38.1	38.5	Mb	4.6	Adıyaman	Sincik
20.10.1967	06:47	38.0	38.6	Mb	4.8	Adıyaman	Sincik
30.10.1968	16:51	38.0	38.6	Mb	5	Adıyaman	Sincik
10.09.1973	03:02	38.5	39.6	Mb	4.7	Elazığ	Maden
23.06.1974	21:06	38.7	39.2	Mb	4.5	Elazığ	Merkez
25.03.1977	02:39	38.6	40.0	Mb	5	Elazığ	Arıcak
14.05.1977	21:43	38.7	40.0	Mb	4.5	Elazığ	Palu
21.03.1979	05:04	38.5	39.5	Mb	4.5	Elazığ	Maden
25.10.1980	05:16	38.0	38.6	Mb	4.5	Adıyaman	Sincik
24.07.1981	14:54	38.1	37.9	Mb	4.5	Malatya	Doğanşehir
15.07.1984	20:00	38.8	38.0	Mb	4.6	Malatya	Hekimhan

Tablo 1.2'nin devamı

Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Mag.	Büyüklik	İl	İlçe
05.05.1986	03:35	38.0	37.8	MS	5.8	Malatya	Doğanşehir
05.05.1986	07:01	38.1	37.8	Mb	4.6	Malatya	Doğanşehir
06.06.1986	10:39	38.0	37.9	Ms	5.6	Malatya	Doğanşehir
15.06.1986	09:18	38.0	37.8	Mb	4.5	Malatya	Doğanşehir
18.07.1990	15:32	38.0	38.0	Md	5	Malatya	Doğanşehir
27.01.1992	09:32	38.0	39.0	Md	5	Adıyaman	Gerger
07.05.1992	19:15	38.7	40.1	Ms	4.7	Elazığ	Palu
30.12.1994	06:56	38.2	39.0	Md	4.5	Malatya	Pötürge
17.10.1996	21:48	38.7	39.9	Md	5	Elazığ	Palu
09.05.1998	15:38	38.3	39.0	Ms	4.6	Malatya	Doğanyol
07.05.2000	23:10	38.3	38.8	Md	4.5	Malatya	Pötürge
19.11.2002	01:25	38.0	38.5	Md	4.7	Adıyaman	Sincik
02.04.2003	20:55	37.9	38.3	Md	5.2	Adıyaman	Merkez
13.07.2003	01:48	38.3	39.0	Md	5.7	Malatya	Doğanyol
20.08.2003	09:14	38.2	38.8	Md	4.5	Malatya	Pötürge
06.01.2004	10:39	38.1	38.9	Md	4.7	Malatya	Pötürge
26.02.2004	04:13	37.9	38.2	Md	5.1	Adıyaman	Merkez
11.08.2004	15:48	38.3	39.3	Ms	5.4	Elazığ	Sivrice
18.10.2005	07:17	38.8	39.0	Md	4.6	Elazığ	Merkez
26.11.2005	15:56	38.2	38.9	Md	5.2	Malatya	Pötürge
09.02.2007	02:22	38.3	39.2	ML	5	Elazığ	Sivrice
21.02.2007	11:05	38.4	39.3	Md	5.4	Elazığ	Sivrice
28.02.2007	19:55	38.3	39.3	Md	5.2	Diyarbakır	Çüngüş
28.02.2007	23:27	38.3	39.3	Ms	5.1	Diyarbakır	Çüngüş
14.04.2007	04:30	38.4	39.3	ML	4.5	Elazığ	Sivrice
07.07.2009	15:57	38.3	38.7	ML	5	Malatya	Pötürge
08.03.2010	02:32	38.8	40.1	ML	5.8	Elazığ	Kovancılar
08.03.2010	07:47	38.8	40.0	ML	5.6	Elazığ	Kovancılar
08.03.2010	09:00	38.7	40.0	ML	4.8	Elazığ	Palu
08.03.2010	10:14	38.8	40.0	ML	5	Elazığ	Kovancılar
08.03.2010	11:12	38.7	40.0	ML	5	Elazığ	Palu
08.03.2010	15:04	38.7	40.0	ML	4.8	Elazığ	Palu
24.03.2010	14:11	38.8	40.1	ML	5	Elazığ	Kovancılar
17.09.2010	10:17	38.1	39.0	ML	4.8	Malatya	Pötürge
23.06.2011	07:34	38.6	39.6	ML	5.3	Elazığ	Maden
25.05.2012	11:22	38.2	38.6	ML	4.8	Malatya	Pötürge
08.01.2013	06:05	37.9	38.0	ML	4.7	Malatya	Doğanşehir
ML: Lokal magnitüdü				Mb: Cisim dalgalarının magnitüdü			
Ms: Yüzey dalgası magnitüdü				Md : Süreden hesaplanan magnitüdü			

Çalışma alanı merkez olmak üzere 100 km çevresinde 1900 den günümüze kadar meydana gelmiş depremler ve bu depremlere ait odak noktaları Google Earth üzerine işlenerek Şekil 1.4'de, çalışma alanı merkez olmak üzere 100 km yarıçap içerisinde gerçekleşen depremlerden çalışma alanına en yakın ve büyük olan depremler ise Tablo 1.3'de verilmiştir.



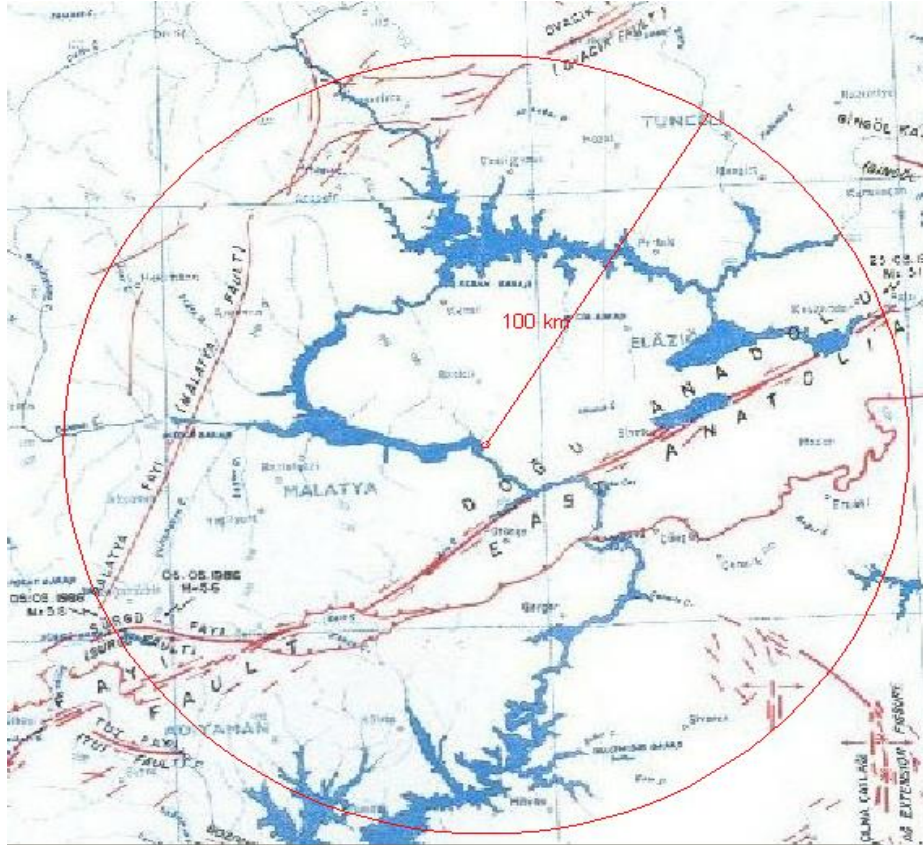
Şekil 1.4. Çalışma alanı 100 km çevresinde meydana gelen depremler (AFAD)

Tablo 1.3. Çalışma alanı yakın çevresinde gerçekleşen büyük depremler

Tarih	Zaman	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Uzaklık (km)	Ms	Açıklama
04.12.1905	07:04	38.1	38.6	30	41	6.8	Malatya- Pötürge
28.09.1908	06:27	38.4	39.2	10	30	6.1	Elazığ-Sivrice
14.06.1964	12:15	38.1	38.5	3	45	6	Adıyaman- Sincik

1.1.4.3. Aktif Tektonik

Çalışma alanı Merkez olmak üzere 100 km yarıçaplı alan içerisinde kalan diri fay haritası Şekil 1.5'de verilmiştir. İnceleme alanının güneyinde yaklaşık 16 km mesafede Doğu Anadolu Fayı Zonu, yaklaşık 67 km batısında Malatya-Ovacık Fayı, yaklaşık 80 km güney batısında ise Sürgü Fayı bulunmaktadır.



Şekil 1.5. Çalışma alanı ve çevresi diri kırıkları (MTA, 1992)

1.1.4.3.1. Doğu Anadolu Fayı (DAF)

Sol yönlü doğrultu atımlı bir fay olan DAF, Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından adlandırılmıştır. Tarihsel belgeleri inceleyerek bölgenin sismisitesini ele alan Ambraseys (1970, 1971) bu belgelere göre bölgenin zaman zaman büyük etkinlik kazandığını ileri sürmektedir (Şaroğlu vd., 1987). M.S. 11 yılından 1964 yılının sonuna kadar oluşan depremlerden elde edilen verilerle Ergin (1966) tarafından hazırlanan Türkiye ve civarının episantr haritasında DAF zonuna karşılık gelen bir deprem kuşağı yer almaktadır. DAF'ı haritalayan Arpat ve Şaroğlu (1972, 1975) fayın Karlıova'dan başlayıp Bingöl, Palu, Hazar

Gölü, Sincik, Çelikhan ve Gölbaşı'ndan geçerek Hatay Grabeni'ni belirtmişlerdir. Arpat (1977), Hazar Gölü ile Pötürge arasındaki DAF zonunun ayrıntılı bir haritalamasını yapmış ve bu zonun Türkiye'nin deprem bakımından en etkin yerlerinden biri olduğunu belirtmiştir. Karlıova-Antakya arasında uzanan DAF farklı doğrultuda ve değişik özellikte olan ve birbirlerini tamamlayan birçok faydan oluşmuş bir zondur (Şaroğlu vd., 1987). Bingöl-Palu arasında yaklaşık 60 km'lik bir alanda DAF izlenememektedir. Bu alanda sıkışmayı gösteren kıvrımlar gelişmiştir (Şaroğlu vd., 1987). DAF, KD'dan GB'ya doğru Karlıova-Bingöl, Palu-Sincik, Çelikhan-Erkenek, Gölbaşı-Türkoğlu ve Türkoğlu-Antakya arası olmak üzere beş alt bölüme ayrılabilir (Şaroğlu vd., 1987).

Sivrice-Keferdiz arasında dağlık bir alandan geçen DAF, bu alanda tek çizgi halinde ve çok doğrusaldır. Sivrice-Fırat Nehri arasında görelî derinliği 400 metreye ulaşan tipik fay vadileri gelişmiştir. Fay'a kavuşan drenajda sol yönlü ötelenmeler belirgindir (Şaroğlu vd., 1987). Keferdiz kuzeyinde Fırat Nehri Vadisi'nden geçen fayda sol yönlü doğrultu atımı ve diriliğini belirleyen birçok veriler izlenebilmiştir. Bu kısımda ayrıntılı araştırma yapan Arpat (1977)'in verileri, fayın bu bölümde diriliğini ortaya koymaktadır. Bölgede güncel morfolojideki gözlemler, fayın diriliğine ilişkin kanıtlardır (Şaroğlu vd., 1987).

DAF'ın bu bölümünde tarihsel devirlerde birçok depremin meydana geldiği eldeki deprem kataloglarından anlaşılmaktadır (Ergin, 1966; Ambraseys, 1970, 1971). 26 Mart 1977'de Palu ilçesi ve çevresini etkileyerek can ve mal kayıplarına neden olan 5.2 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir (Şaroğlu vd., 1987). Bu depremde belirgin bir yüzey kırığı izlenememiştir. DAF'nın Palu-Sincik arasındaki bölümünde yapılan mikrodrepm çalışmalarında faydan kaynaklanan ufak depremlerin oluştuğu saptanmıştır (Ercan, 1979; Şaroğlu vd., 1987).

1.1.4.3.2. Malatya-Ovacık Fayı

Çalışma alanına yaklaşık 67 km uzaklıkta bulunan Malatya-Ovacık Fayı (MOF) bölgemizdeki ikinci önemli faydır. KD-GB gidişli, sol-yanal atımlı aktif bir faydır. Fayın Erzincan üçlü birleşiminden Doğanşehir (Malatya)'e kadar olan uzunluğu 240 kilometredir. Fay, Erzincan civarında Kuzey Anadolu Fayı'ndan ayrılarak güneybatıya doğru yönelir. Daha sonra Munzur ve Yılan dağlarının Ovacık vadisini BGB yönünde kat eder. Arapgir yakınlarında tekrar GB'ya yönelir. Fayın ana izi daha GGB'da Malatya havzasının Kuvaterner sedimentleri altında kalır. Pliyosen'de oluşmuştur. Deprem kayıtları

incelendiğinde fay üzerinde magnitüdü 4'den büyük 2 deprem, magnitüdü 3'den büyük 7 deprem, magnitüdü 2'den büyük 15 deprem olduğu görülmektedir (KRDAE). Bu kayıtlara göre Malatya-Ovacık Fayı'nın halen aktif olduğu söylenebilir.

1.1.4.3.3. Sürgü Fayı

Çalışma alanımız yaklaşık 80 km uzaklıkta Doğu Anadolu fayından ayrılarak D-B doğrultusunda Sürgü'den geçen yaklaşık 50 km uzunluğa sahip sol yönlü doğrultu atımlı faydır (Demirtaş vd., 1996). Fay, aktif bir faydır ve deprem üretebilme kapasitesine sahiptir. Bu fay üzerinde meydana gelen en son deprem 5.8 magnitüdüne sahiptir ve 1986 yılında meydana gelmiştir.

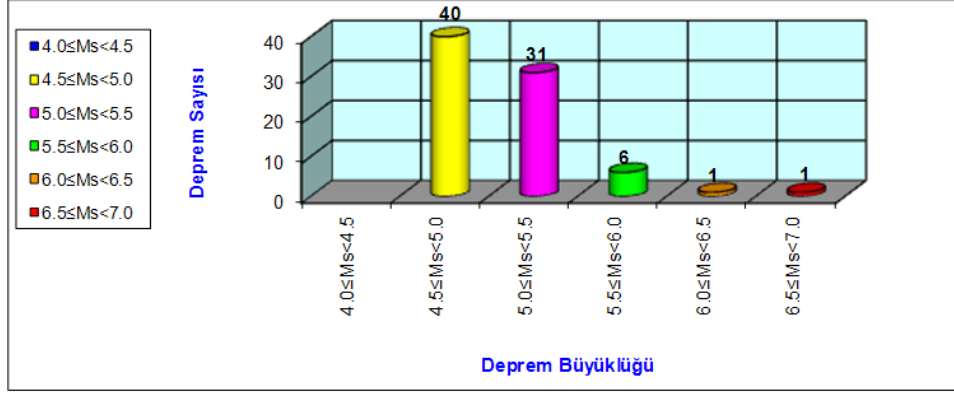
1.1.4.4. Probalistik Deprem Tehlike Analizi

Mühendislik bakımından depremselliğin saptanması olasılık-istatistik hesabına dayanmaktadır. Bu amaçla, geçmiş depremlere ilişkin bilgiler ne kadar eskiye ait ve eksiksiz olursa yapılan mühendislik yaklaşımı da o oranda güvenilir olmaktadır (Büyükaşıkoglu, 1987).

Depremsellik ve poisson olasılık dağılımı yöntemi ile çalışma alanı ve yakın çevresinin deprem tehlike analizi yapılmıştır. Bu amaçla; çalışma alanı merkez olmak üzere 100 km'lik yarıçap içinde 37.48-39.46 enlemleri (N) 37.63-40.13 boylamları (E) arasında kalan bölgede 1900–2013 tarihleri arasında meydana gelen, yüzey dalgası büyüklüğü 4.5 ($M_s \geq 4.5$) ve üzeri olan depremler, Başbakanlık Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi başkanlığı web adresinden alınarak kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan depremlerle ilgili tarih, enlem (N), boylam (E), kaynak, odak derinliği ve büyüklük değerleri Tablo 1.3'te verilmiştir.

Ülkemizdeki yıkıcı deprem eşiğinin $M_s=5.0$ olduğu kabul edildiğinde, çalışma alanı ve çevresinde orta büyüklükte deprem sayısının fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte inceleme alanında 1900-2013 tarihleri arasında $4.5 \leq M_s < 5.0$ aralığındaki deprem sayısı 40 adet, $5.0 \leq M_s < 5.5$ aralığındaki deprem sayısı 31 adet, $5.5 \leq M_s < 6.0$ aralığında 6 adet, $6.0 \leq M_s < 6.5$ aralığındaki deprem sayısı 1 adet ve $6.5 \leq M_s \leq 7.0$ aralığındaki deprem sayısı bir adettir.

Kömürhan ve çevresindeki deprem sayısı (1900-günümüze) ve deprem büyüklüğü (M) arasındaki ilişki Şekil 1.6.'te görülmektedir.



Şekil 1.6. Kömürhan ve çevresi 1900 yılından günümüze kadar olmuş deprem sayısı – deprem büyüklüğü ($M_s \geq 4.5$) arasındaki ilişkiyi gösterir histogram

Şekil 1.6 incelendiğinde aletsel dönem içerisinde $5.0 \leq M_s < 6.0$ magnitüd aralığındaki depremlerin sayısı 37 dir. Ülkemizdeki yıkıcı deprem eşiğinin $M=5.0$ olduğu varsayılırsa, çalışma alanı ve çevresinde orta büyüklükte deprem sayısının fazla olduğu görülmektedir. 1900'den günümüze kadar meydana gelmiş olan ve $6.0 \leq M_s < 7.0$ aralığındaki deprem sayısı ise 2 adettir.

1.1.4.5. Kömürhan ve Çevresi İçin Magnitüd – Frekans İlişkisi

Gutenberg ve Richter (1954), verilen bir zaman aralığında M magnitüd (büyüklük) ile N deprem sayısı arasında

$$\log N = a - bM \quad (1.1)$$

şeklinde bir ilişkinin bulunduğunu belirtmektedir.

Bu bağıntıda;

N : Birikimli deprem sayısı

M : Magnitüd

a : Çalışma alanının büyüklüğü, gözlem süresi ve gözlem süresi boyunca olan deprem etkinliği ile ilişkili parametre

b : Çalışma alanının tektonik özelliklerine bağlı olarak değişen parametredir.

Bu iki parametre aşağıda verilen eşitliklerden hesaplanmaktadır.

$$b = \frac{(\sum XiYi - (\sum Xi \sum Yi)/m)}{[(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2/m]} \quad (1.2)$$

$$a = \left[\frac{\sum Yi}{m} \right] - b \left[\frac{\sum Xi}{m} \right] \quad (1.3)$$

Elazığ İli Kömürhan bölgesi magnitüd–frekans ilişkisinin belirlenmesi amacıyla “a” ve “b” regresyon katsayılarının hesaplamasında En Küçük Kareler Yöntemi (EKK) kullanılmıştır. Bu amaçla; Özçep (2005) tarafından hazırlanan Excel tabanlı “Zemin Jeofizik Analiz©” programından faydalanılmıştır. Hesaplamalarda yüzey dalgası magnitüdü $M_s \geq 4.5$ olan depremler dikkate alınmıştır. Depremlerin magnitüd aralığı, ortalama magnitüd, hesaplanan EKK değerleri ve oluşum sayıları Tablo 1.4’de ve hesaplanan a ve b değerleri ise Tablo 1.5’de verilmiştir.

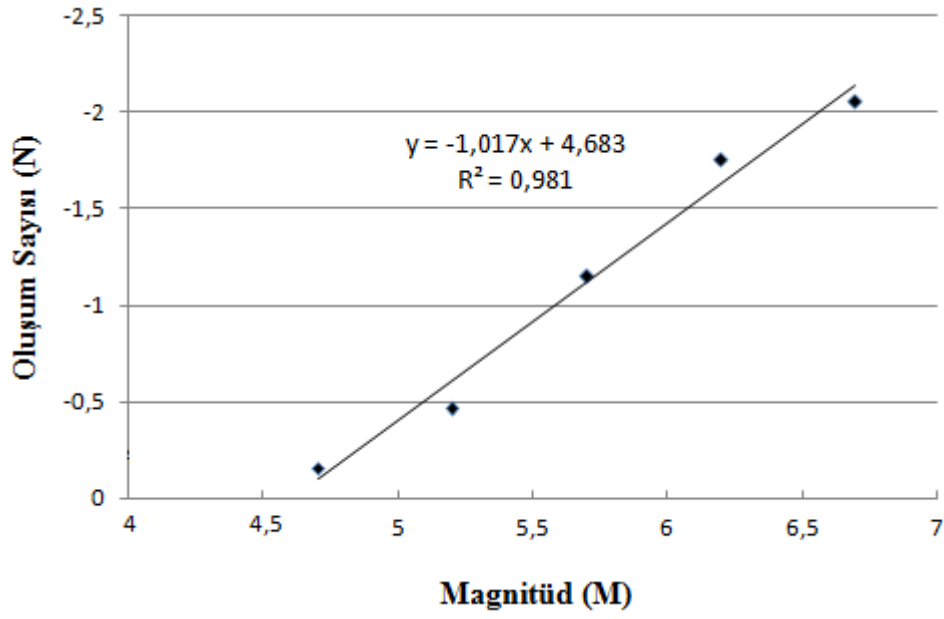
Tablo 1.4. Magnitüd aralığı, ortalama magnitüd, hesaplanan EKK değerleri ve oluşum sayıları

Magnitüd Aralıkları	$4.5 \leq M < 5.0$	$5.0 \leq M < 5.5$	$5.5 \leq M < 6.0$	$6.0 \leq M < 6.5$	$6.5 \leq M < 7.0$
Ni	40	31	6	1	1
Ort. M ya da (Xi)	4.7	5.2	5.7	6.2	6.7
$\sum Ni$	79	39	8	2	1
$\sum Ni/t$	0.699	0.3451	0.070	0.017	0.008
$\log \sum Ni/t - (Yi)$	-0.155	-0.462	-1.149	-1.752	-2.053
Ni: Oluşum sayıları					
$\sum Ni$: Kümülatif oluş sayıları					
$\sum Xi$ Ortalama magnitüdlere toplamı	28.50				
$\sum Yi$ Toplam oluş sayısı (Ni) / Zaman(t)	-5.572				
$\sum Xi^2$	164.95				
$\sum (Xi)^2$	812.25				
$\sum XiYi$	-34306				

Tablo 1.5. Hesaplanan a ve b katsayıları, magnitüd-frekans ilişkisi

a Parametresi	4.682
b Parametresi	-1.017
$\log N = 4.682 + 1.017M$	

Tablo 1.5’deki değerler kullanılarak magnitüd-frekans arasındaki ilişki elde edilmiş ve Şekil 1.7.’de gösterilmiştir



Şekil 1.7. Hesaplanan magnitüd – frekans ilişkisi

1.1.4.6. Poisson Olasılık Dağılımı ile Deprem Risk Analizi

Depremlerin oluş periyodu, herhangi bir büyüklükteki bir depremin ya da o büyüklüğe eşit ve daha büyük bir depremin kaç yılda bir olacağını ifade eder. Bu değer deprem mühendisliği açısından çok önemli bir parametredir (Büyükaşikoğlu, 1987). Deprem riski, çalışma alanında oluşmuş veya olması beklenen en yüksek magnitüdlü depremlerin yapının ekonomik ömrüne göre seçilen veya herhangi bir zaman aralığı için yinelenme olasılığıdır. Poisson modeli için araştırmacılar, büyük magnitüdlü ana şokların oluşumu için geçerli bir model olduğu ve mühendislik amaçları için yeterli kabul edilebileceğini belirtmişlerdir (Lomnitz ve Epstein, 1966; Kallberg, 1969; Lomnitz, 1973; Gürpınar, 1977; Ulutaş vd, 2003). Poisson modelinde deprem oluşumunun bir poisson dağılımı olduğu kabul edilmektedir. Tablo 1.6.'de Kömürhan ve çevresi deprem riskini gösteren poisson olasılık dağılımları, Tablo 1.7.'de ise 50 yıllık yapı ömrü içerisinde % 10 aşılma ihtimali olan deprem büyüklüğü verilmiştir.

Tablo 1.6. Kömürhan ve çevresi deprem tehlikesini gösterir poisson olasılık dağılımı

N(M)	Magnitüd	D (Yıl) için Olasılık (%)	D (Yıl) için Olasılık(%)	Rm = 1- e-(N(M) *D)		Ortalama Tekrarlama Periyodu
				D (Yıl) için Olasılık(%)	D (Yıl) için Olasılık (%)	
		10	50	75	100	(Yıl)
0.395753	5	99.9	99.9	99.9	99.9	3
0.122714	5.5	94.1	99.9	99.9	99.9	8
0.038051	6	58.4	98.7	99.9	99.9	26
0.011799	6.5	23.8	74.3	87.0	93.4	85
0.003659	7	8.1	34.4	46.8	56.9	273
0.001134	7.5	2.6	12.2	17.8	23.0	881

Tablo 1.7. 50 yıllık yapı ömrü içerisinde bir kere gerçekleşme olasılığı (aşılma ihtimali) % 10'u geçmeyen deprem büyüklüğü

D (yıl)	% Aşılma Olasılığı	M (magnitüd)
50	10	7.2

Tablo 1.6 incelendiğinde, 1900 – 2013 yılları arasında büyüklüğü 5.0-7.5 arasında olan depremlerin olasılık yüzdelerini görmek mümkündür. Çalışma alanında büyüklüğü 6.0 olan bir depremin dönüş periyodu 26 yıl ve 6.5 büyüklüğündeki bir depremin ise 85 yıldır. Bununla birlikte 6.5 büyüklüğündeki bir depremin 10 yıl içerisinde olma olasılığı % 23.8 iken standart bir yapının ömrü olarak düşünülebilecek 50 yıllık bir zaman diliminde 6.5 büyüklüğündeki bir depremin olma olasılığı ise % 34.4 olarak hesaplanmıştır. Diğer deprem büyüklükleri için belirlenen olasılık değerlerini Tablo 1.6'da görmek mümkündür.

1.1.4.7. İvme Azalım İlişkileri Kullanılarak Pik Yatay Yer İvmesi (PGA) Hesabı

Depreme dayanıklı mühendislik yapılarının uygun şekilde tasarlanması için bu yapıları etkileyecek yer sarsıntısı düzeyinin hesaplanması gerekir. Bir bölgedeki deprem tehlikesini ve buna bağlı olarak da deprem riskini gösteren en önemli unsurlardan biri, yer hareketi ivmesi olarak tanımlanan deprem etkisidir. Magnitüd, bir depremin büyüklüğünü tanımlamak için geçerli bir ölçü olmakla birlikte bir bölgede deprem tehlikesinin belirlenmesinde ve o bölgede depreme dayanıklı yapıların projelendirilmesinde tek başına yeterli değildir. Bu nedenle bir depremin yeryüzünün herhangi bir noktasında yaratacağı en büyük ivme değerini veren zemin hareketi azalım ilişkilerine gerek vardır. Bu tür

çalışmalar, deprem kaynağının incelenecek alana olan uzaklığına bağlı olduğu için ivme-uzaklık azalım ilişkisi olarak adlandırılırlar (Ulutaş vd., 2003).

Bu bilgiler ışığında 113 yıllık zaman aralığında, çalışma alanı ve çevresinde oluşmuş orta ve büyük ölçekli depremler nokta kaynak (Tablo 1.8) ve yine saha çevresindeki aktif kırıklar çizgisel kaynak (Tablo 1.9) gibi düşünülerek, çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen ve dünyanın birçok yerinden alınmış kayıtlar kullanılarak geliştirilmiş olan azalım ilişkileri yardımıyla bu depremlerin çalışma alanında meydana getirebilecekleri pik ivmeler ve çalışma alanında oluşturabileceği düşünülen pik yatay yer ivmesi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Özçep (2005) tarafından hazırlanan Excel tabanlı “Zemin Jeofizik Analiz©” programından faydalanılmıştır.

Bu hesaplama yönteminde, çalışma alanını içine alan kaynak zonu içerisinde geçmişten günümüze oluşmuş en büyük magnitüdlü deprem veya saha üzerinde amaçlanan mühendislik hedefi için belirlenen tasarım deprem büyüklüğü (proje depremi) seçilir. Ardından belirlenen giriş, azalım denklemlerinde yerine konularak çalışma alanında olası pik yatay yer ivmesi değeri (a_{max}) hesaplanır (EK-1).

Tablo 1.8. Çalışma alanı ve çevresinde belirlenen noktasal sismik kaynaklar

Sismik Kaynak	Tarih	Koordinat		H (km)	Δ (km)	M	Yer	Kaynak
M1	04.12.1905	38.1	38.6	30	41	6.8	Malatya/Pötürge	AFAD
M2	28.09.1908	38.4	39.2	10	30	6.1	Elazığ/Sivrice	AFAD
M3	14.06.1964	38.1	38.5	3	45	6	Adıyaman/Sincik	AFAD

H: Odak derinliği (km) Δ : Çalışma alanına episantral uzaklık (km) M: Deprem büyüklüğü
AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

Tablo 1.9. Çalışma alanı ve çevresinde belirlenen çizgisel sismik kaynaklar

Sismik Kaynak	Fayın Adı	Fayın Türü	L (km)	d (km)	Kaynak
M4	Doğu Anadolu Fayı	-	550	16	Şaroğlu vd., 1992

L: Çizgisel kaynağın yaklaşık uzunluğu (km)
d: Çizgisel kaynağın çalışma alanına en yakın mesafesi (km)

Çalışma alanına yaklaşık 16 km mesafede bulunan yaklaşık 550 km uzunluğundaki Doğu Anadolu Fayı üzerinde meydana gelmiş 6.8 büyüklüğündeki Malatya/Pötürge ve 6 büyüklüğündeki Adıyaman/Sincik depremlerinin magnitüdleri ve odak derinliği alınmış, çalışma alanına en yakın mesafede (yaklaşık 16 km) bu büyüklük ve derinlikte başka bir depremin meydana gelebileceği varsayımına göre, bir senaryo depremleri oluşturularak

(M4 ve M5) böyle bir depremin çalışma alanında oluşturacağı ivme değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Sismik ve çizgisel kaynaklar, çalışma alanına olan mesafelerine göre iki gruba ayrılmış ve hesaplanan pik ivme değerlendirmeleri buna göre yapılmıştır.

1.Grup: $0 < \Delta \leq 16$ km arası mesafelerdeki sismik kaynaklar

Çalışma alanına $0 < \Delta \leq 16$ km arası uzaklıkta 1. grupta yer alan noktasal/çizgisel sismik kaynaklar baz alınarak hesaplanan pik ivmeler incelendiğinde 7 büyüklüğünde olabilecek depremlerde ortalama en büyük ivme $\sim 0.22g-0.40$ g aralığı olarak kestirilebilir. 5.5-6.5 arası büyüklüğe sahip bir depremde ise ortalama en büyük ivme $\sim 0.07g-0.27g$ aralığı olarak kestirilebilir.

2.Grup: $16 < \Delta \leq 50$ km arası mesafelerdeki sismik kaynaklar

Çalışma alanına $16 < \Delta \leq 50$ km arası uzaklıkta 2. grupta yer alan noktasal/çizgisel sismik kaynaklar baz alınarak hesaplanan pik ivmeler incelendiğinde 7 büyüklüğünde olabilecek depremlerde ortalama en büyük ivme $\sim 0.13g-0.21g$ aralığı olarak kestirilebilir. 5.5-6.5 arası büyüklüğe sahip bir depremde ise ortalama en büyük ivme $\sim 0.07g-0.14g$ olarak kestirilebilir.

Körmühan bölgesini episantr kabul edip 100 km'lik yarıçap içinde, çalışma alanımızı kapsayan 37.48- 39.46 enlemleri (N) 37.63-40.13 boylamları (E) ile sınırlanan bölgede sismik tehlikenin araştırılması için, bölgede 1900-2013 yılları arasında meydana gelmiş magnitüdü 4.5 ve daha büyük deprem verileri kullanılmış ve bu alan için genel bir tehlike analizi yapılmıştır.

Yapılan risk analizi sonucuna göre, aktif bir tektonik kuşakta ve Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na (1996) göre 1. derece deprem bölgesinde bulunan çalışma alanındaki beklenen efektif ivme değeri 0.40 g ve yukarısidir. Çalışma alanının yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelmiş en büyük depremler kullanılarak yapılan ivme hesaplamaları ve Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda (1996) önerilen efektif ivme değerleri göz önüne alınırsa zemin dinamiği ve deprem mühendisliği açısından yapı tasarımlarının ≥ 0.40 g için maksimum yatay yer ivme değerlerine göre projelendirilmesi gerekmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanında ve yakın çevresinde değişik araştırmacılar tarafından yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Rigo de Righi and Cortesini (1964), tarafından Doğu Toroslar ve Güneydoğu Anadolu'nun jeodinamik ve jeotektonik gelişimini konu alan bu çalışmada, araştırmacılar Arap Platformunun kuzeyinde, Jura-Alt Kretase yaşlı bir jeosenklinal düşünmüşler ve bu jeosenklinalde oluşan kayaçların, Üst Kampaniyen Alt Maestrishtiyen aralığında, çekim kaymaları ile güneydeki platform üzerine yürüdüğünü savunmuşlardır.

Ketin (1966), bir yapısal model öne sürerek Pontidler (Kuzey ve Kuzeybatı Anadolu kuşağı), Anatolidler (Anadolu kuşağı), Toridler (Genel olarak tüm Toroslar), Kenar kıvrımları (Güneydoğu Anadolu) olmak üzere Türkiye'yi dört ana tektonik üniteye ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre çalışma alanı, Doğu Toros orojenik kuşağı içerisinde yer almaktadır.

Pişkin (1972), Malatya bölgesinde yapmış olduğu çalışmasında Paleozoik yaşlı metamorfikleri Doğu Toros Kuşağı'nın çekirdeği olarak kabul eder. Bu kayaçları kesen monzodiyoritler (Pre-Lütesiyen yaşlı) ile bölgede Üst Kretase ile Alt Eosen aralıklarında spilitik bir volkanizmanın etkili olduğuna değinir.

Perinçek (1979), Elazığ bölgesinde yaptığı çalışmada, bölgenin jeolojisini açıklamaya çalışmıştır. Araştırmacı bu çalışmasında Yüksekova Karmaşığı ile Baskil magmatik kayaçlarını ayırmamıştır.

Yazgan ve Asutay (1981) ise Baskil magmatik kayaçları ile Kömürhan Metaofiyolitleri'ni kayaç tipleri ve jeodinamik anlamları açısından birbirinden ayırmıştır.

Juteau (1980), Türkiye'deki ofiyolitik masifleri kendi içinde bölgelendirerek Kuzey Anadolu Ofiyolit Kuşağı, Toros Ofiyolit Kuşağı ve Arap Kıtası Önü Ofiyolit Kuşağı olmak üzere üç farklı kuşak altında sınıflandırmıştır.

Asutay ve Poyraz (1983), Kömürhan Metaofiyolitleri'nin Baskil Magmatitleri'nden farklı bir formasyon olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Baskil Magmatitleri'nin oluşumuna Kömürhan Ofiyolitleri'nin kalıntılarının neden olduğunu vurgulamıştır.

Asutay ve Poyraz (1983), Kömürhan Ofiyolitleri'nin, Arap Levhası ile Keban Metamorfikleri arasındaki yapısal istifin, önemli tektonik dilimlerinden birini oluşturduğunu ifade ederek, Kömürhan Metaofiyolitleri içerisindeki amfibolitlerin, gabro

ve diyabaz kökenli oldukları ve metamorfizmanın arttığı daha derin bölümlerde amfibolitlerin kısmi ergimeye uğradıklarını ileri sürmektedirler.

Yazgan (1984a), Doğu toros bölgesinin jeodinamik evrimi başlıklı çalışmasında bölgede petrolojik ve tektonik özelliklerine göre ve levha tektoniği kavramı içerisinde 7 adet tektonik birlik ayırt etmiştir. Arap Platformu ve Munzur Napları arasında yer alan birimlerden oluşan bu tektonik birlikleri Kıvrımlı Arap Platformu, Pötürge Bindirme Kuşağı, Pötürge Metamorfikleri ve volkanosedimanter örtü kayaçları (Maden Karmaşığı), İspendere ve Kömürhan metaofiyolitleri, Baskil magmatik kayaçları ve onların sedimanter örtü birimleri, Keban ve Malatya napları ile Munzur Napları şeklinde gruplandırmıştır.

Hempton (1985), Kömürhan Ofiyolitleri'nin Kampaniyen-Maestrihtiyen'de Arap Kıtası'nın kuzey kenarına yerleştiğini ve bu yerleşimle ilişkili olarak Pötürge Masifi'nin metamorfizmaya uğradığını, bu olayların sonrasında da Maestrihtiyen-Paleosen'de güneye dalma batmanın geliştiğini, onun sonucu olarak da marjinal basen karakterindeki Elazığ Magmatik Kompleksi'nin ve Maden grubu volkanitlerinin oluştuğunu ifade etmiştir.

Asutay (1986), Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojisi ve Baskil Magmatikleri'nin petrolojisini incelediği çalışmasında, inceleme alanı ve yakın çevresinde temeli rejyonal ve kontakt metamorfizmaya uğramış Keban Metamorfikleri'nin teşkil ettiğini ve bunların kalkıştı ve mermerlerden oluşan bir litolojiye sahip olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, bölgedeki çökel istifin Orta Paleosen (Tanesiyen)'den başladığını Pliyo-Kuvaternere kadar izlenen ve Kuşçular konglomerası, Seske Formasyonu ve Kırkgeçit Formasyonu'ndan ibaret çökel kaya istifinin genellikle konglomera, karbonat kayası ve fliş türü oluşuklar sunduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, Baskil Magmatikleri'nin derinlik, damar ve yüzey kayaçlarından oluşmuş bir topluluk olduğunu, bu topluluk içinde Baskil graniti olarak adlandırdığı derinlik kayaçlarının diyoritik, monzonitik ve tonalitik kaya türlerini içerdiğini ve bunların bazik ve asit damar kayaçları tarafından sıkça kesildiğini belirtmiştir. Baskil Magmatikleri üzerinde jeokimyasal çalışmalar yapan araştırmacı, Baskil granitinin I tipi, kalkalkalen karakterde ve büyük bir olasılıkla Arap Platformu ve Keban Levhası arasında var olan bir okyanus kabuğunun kuzeye doğru Keban Levhası altına dalmasıyla gerçekleşen kıta kenarı magmatizmasının özelliklerini sergileyen, düzenli bir diferansiasyonun ürünü bir granit olduğunu belirtmiştir.

Akgül (1987), Baskil civarında Yüksekova Karmaşığı'nın derinlik kayaçları üzerine çalışmalar yaparak buradaki granitlerin çarpışma sonu granitleri olduğunu kabul etmiştir.

Yazgan vd. (1987a), Arap platformu ile Munzur dağları arasında yer alan Pötürge Bindirme Kuşağı, Pötürge Metamorfik Masifi, Maden Karmaşığı, İspendere ve Kömürhan ofiyolitleri ile Baskil Magmatitleri'ni inceleyerek bölgenin paleotektonik evriminin ana hatlarını yorumlamışlardır.

Asutay (1988), tarafından yapılan çalışmada, Doğu Torosların Malatya-Elazığ bölümünü Maden Karmaşığı ve karbonatlar (Keban Metamorfikleri) olmak üzere iki temel ünite ile sınırlamıştır. Araştırmacı, Kömürhan-Baskil bölgesindeki ayrıntılı çalışmasında Baskil Magmatitleri'nin I tipi granitoidler olduğunu belirlemiştir.

Poyraz (1988), İspendere-Kömürhan Ofiyolit ve Metaofiyolitleri'ni petrografik ve petrolojik incelemeler sonucunda, İspendere Üyesi ve Kömürhan Üyesi olarak gruplandırılmıştır. İspendere Üyesi'nin olivin-gabro, hornblend-gabro, troktolit, serpantinit, diyabaz ve bazaltlardan oluşurken, Kömürhan Üyesi'nin metamorfik ve metamorfik olmayan kayalar türlerinden oluştuğunu belirtmiştir.

Yazgan ve Chessex (1991), Malatya bölgesinde Güneydoğu Toridlerin jeolojisi ve tektonik evrimi ile ilgili çalışmalarında, Doğu Toros tektoniğinin Keban ve Arap mikro levhaları arasında Geç Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen arasında meydana gelen yay-kıta çarpışması ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar Toros Kuşağı'nı Arap Platformu, Pötürge ve Bitlis metamorfik masifleri, Kömürhan Suture Zonu, Baskil Batoliti ve Keban Platformu olmak üzere beş birliğe ayırmışlardır. Baskil Batoliti'nin Neotetis'in güney kolunun Keban Platformu'nun altına kuzeye doğru dalımı ile oluşan Koniasiyen-Santoniyen yaşlı bir magmatik yayı temsil eden kalkalkalen karakterde magmatik kayalardan oluştuğunu belirten çalışmacılar, radyometrik, jeokimyasal ve stratigrafik çalışmalar sonucunda ofiyolit yerleşimini 2 ana evreli evrim modeli ile açıklamışlardır. Araştırmacılar, birinci evrede ofiyolit naplarının yay-kıta çarpışması öncesi pasif kıta kenarı üzerine tektonizma ve metamorfizma eşliğinde sıcak olarak bindirdiklerini, ikinci evrede ise metamorfizmaya uğrayan pasif kıta kenarının ofiyolitik örtüsü ile birlikte eski listrik açılma fayları boyunca yükselmeye başladığını, bindirme ve yatık kıvrımların ofiyolitik örtünün soğuk çekim kaymalarıyla Arap kıtası ön çukur çökel havzası içerisinde en güney konumuna taşınmalarını sağladıklarını belirtmektedirler.

Akay ve Herece (1992), Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait birimleri Elazığ Kompleksi, Baskil Granitoidini ise Baskil Magmatik Kompleksi adları altında incelemişler ve Baskil Magmatik Kompleksi'ne ait granitik kayaların apofizlerinin Elazığ Kompleksi'nin diyabazları içerisinde gözlendiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Keban Metamorfikleri ile

Baskil Magmatik Kompleksi arasındaki dokanağın kontak metamorfik olduğunu belirten çalışmacılar, buna dayanarak granitoidlerin bir kısmının Keban Metamorfitleri'nin Elazığ Kompleksi üzerine bindirmesinden sonra sokulmuş, kabuk kalınlaşması ürünü magmatitler olduğu sonucuna varmışlardır.

Herece vd. (1992), Kömürhan Ofiyolitleri'nin altta foliasyonlu diyoritler ve üstünde de kısmi ergimeyi gösteren amfibolitlerden oluştuğunu belirtmişler ve amfibolitler içerisinde tektonik dilimler halinde yeşil şist-amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirmiş harzburgit, verlit ve piroksenitlerin varlığına işaret etmişlerdir. Araştırmacılar, yönlenmeli fabrik (directional-fabric) gösteren granodiyoritlerin ultramafik kaya topluluklarıyla sin-kinematik (syn-kinematic) olarak geliştiklerini belirtmişler ve granodiyoritlerdeki biyotitlerden 85 ± 3 m.y, pegmatitik granofirlerdeki muskovitlerden 78.5 ± 2.5 m.y K/Ar yaşı almışlardır. K/Ar yaşlarının metaofiyolitlere sokulan granitoidlerle Baskil granitoidlerinin eş zamanlı bir oluşuma sahip olduğunu ifadesi olduğunu belirtmişlerdir. Baskil magmatik kayalarının granodiyorit, tonalit, kuvars-monzonit, monzodiyorit, diyorit ve gabrodan oluştuğunu belirten yazarlar alkali eğilimli kalk-alkali karaktere sahip olduklarını ve and tipi ada yayı veya ince kıtasal kabuk vede kısmen okyanusal kabukta gelişen bir ada yayı ürünü olduklarını tespit etmişlerdir.

Asutay'ın 1996 yılında yayınlanan "Baskil (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi ve Baskil Mağmatitlerinin Petrolojisi" başlıklı çalışmada, araştırma sahasının kuzey bölümünde yer alan Baskil Ovası ve yakın çevresindeki jeolojik formasyonların özellikleri ve yayılım alanları ile bu alandaki magmatik kayaların petrografileri araştırılmıştır. Bölgedeki formasyonlar stratigrafik olarak: Keban Metamorfitleri, Baskil Magmatitleri, Kuşcular Formasyonu, Seske Formasyonu ve Kırkgeçit Formasyonu olarak belirlenmiştir.

Bingöl ve Beyarslan (1996), Elazığ çevresinde geniş yayılım sunan Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri'nin diyorit, monzodiyorit, kuvars diyorit ve tonalitlerden oluşan derinlik kayaları, bazaltik yastık lavlar, lav akıntıları, andezitler ve andezitik piroklastiklerden oluşan yüzey kayalarından oluştuğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, anılan tüm bu birimleri kesen granitik bileşimli plütonik kayalar ile dasit bileşimli volkanik kayalar ve volkano-sedimanlardan oluşan geniş kaya grubu spektrumuna sahip magmatiklerden oluştuklarını belirtmişlerdir.

Elazığ Magmatitleri'ne ait derinlik kayalarının Üst Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyolitleri'ni de kestiğini belirten çalışmacılar, birimin Üst Triyas'tan itibaren açılmaya başlayan Neotetis'in güney kolunun Üst Kretase'den itibaren kuzeye doğru dalımı ve buna

bağlı olarak üstteki levhada meydana gelen okyanus içi dalma batma zonu (Suprasubduction zone) üzerinde oluşan kalkalkalen seriye ait ada yayı ürünü olduğunu ifade etmişlerdir.

Özdemir ve Tonbul (1996) tarafından yapılan çalışmada, Kömürhan Boğazı'nın yeri, genel coğrafi özellikleri, topoğrafik özellikleri ve jeolojik yapısı ile ilgili bilgiler verildikten sonra Türkiye'nin farklı yerlerindeki bazı incelenmiş boğazların oluşum ve gelişimleriyle ilgili yapılmış araştırmalardan bahsedilmiştir. Araştırmacılar, Kömürhan Boğazı'nın oluşumu ve gelişimi üzerine farklı coğrafyacıların bakış açıları ele alarak, boğazın oluşumu üzerine arazide yapılan ayrıntılı inceleme ve değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Bu değerlendirmeler sonucunda Kömürhan boğazının bir "antes edant boğaz" olduğu belirtilmiştir.

Beyarşan ve Bingöl (2000), Kömürhan Ofiyolitleri'nin Geç Triyas'ta açılmaya başlayan Neotetis'in güney kolunun Kretase'deki yitimi sırasında kuzeye dalımlı okyanus içi dalma-batma zonu üzerinde (Suprasubduction zone) oluştuğunu belirtmektedirler. Araştırmacılar, litolojik ve jeokimyasal verilerin bu ofiyolit istifini oluşturan kayaçların zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltı (MORB) tipi magmanın kristallenmesi sonucu oluştuğunu gösterdiğini ifade etmişlerdir. Kömürhan Ofiyoliti'nin verilit, piroksenit, gabro, diyabaz daykı ve gabroları kesen dayklardan oluştuğunu ve bu birimlerin Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri tarafından kesildiklerini belirtmişlerdir. Çalışmacılar ofiyolitik istife ait volkanik bölümün yalnızca çok dar alanlarda yüzlek veren bazaltik yastık lavlarla temsil edildiklerini ve bu bazaltik yastık lavlarında diyabazik dayklar tarafından kesildiklerini, üste doğru dereceli olarak Elazığ Magmatitleri'nin volkanik ve volkanoklastik kayaçlarına geçiş gösterdiklerini ifade etmişlerdir.

Beyarşan ve Bingöl (2001), Kömürhan ve batısında yer alan İspendere Ofiyolitleri'nde gözlenen verilitik intrüzyonların kökenini araştırmaya yönelik çalışmalarında her iki ofiyolitik birimin ideal bir ofiyolitik istifin kabuk kesimini gösterdiklerini belirtmişler, ofiyolitlerin güneye doğru Orta Eosen yaşlı Maden Kompleksi üzerine tektonik olarak geldiklerini ifade etmişlerdir. Verilitik intrüzyonların ofiyolitik kompleksler içerisinde intrüzyon, dayk ve siller halinde yer aldıklarını belirten araştırmacılar, esas ofiyolitik istifi veren okyanusal büyüme fazından sonra ikinci evre erimeler neticesinde bu intrüzyonların oluştuklarını ve bu ikinci magmatik olayın, okyanus içi dilimlenmeden hemen sonra, Üst Kretase sırasındaki yerleşme öncesi meydana geldiğini ifade etmektedirler.

Parlak vd. (2004), Göksun-Afşin (Kahramanmaraş) arasında yüzeyleyen Göksun ofiyoliti ve ofiyoliti kesen çarpışmayla eş yaşlı granitlerin petrolojisi ve tektonik ortamına ilişkin çalışmalarında, Göksun Ofiyolitleri'nin Neotetis'in güney kolunda kuzeyde Malatya-Keban platformları ile güneyde Arap platformu arasında okyanus içi dalma batma zonu üzerindeki zon da (suprasubduction zone) Geç Kretase'de gelişmiş eksiksiz bir ofiyolitik seriden oluştuğunu belirtmektedirler. Araştırmacılar, Baskil magmatik yayı ile Göksun Ofiyolitleri'nden derlenen jeolojik, jeokronolojik ve petrolojik verilerin ikili dalma batma modelini desteklediğini, bunlardan birincisinin Malatya-Keban platformları arasında yer aldığını ve Baskil magmatik yayını oluşturduğunu, ikincisinin ise daha güneyde okyanusal basen içinde yer alıp Göksun, İspendere, Kömürhan ve Guleman ofiyolitlerini oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Rızaoğlu vd. (2004), Kömürhan bölgesi ve çevresinde yaptıkları çalışmada bölgede yüzeyleyen Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait kayaçları tabandan tavana doğru incelemişlerdir. Üst kısımlarını oluşturan volkanitlerin yastık lavlardan, lav breşleri, masif lav akıntıları, volkanoklastik kayaçlar ve asidik volkaniklere kadar bir değişim sunduğunu, jeokimyasal çalışmalar sonucunda toleyitik karakterde olduklarını ve kalkalkali karakterli Baskil Magmatikleri tarafından kesildiğini belirtmişlerdir.

Rızaoğlu vd. (2005), Baskil çevresinde yaptıkları çalışmada, metamorfik masifler (Keban-Malatya platformu), ofiyolitik kayaçlar (Göksun, İspendere, Kömürhan) ofiyolitle ilişkili metamorfikler (Berit Metaofiyoliti) ve granitoidler (Göksun, Doganşehir, Baskil) arasındaki ilişkileri irdelenmişlerdir. Baskil magmatik kayaçlarının peralümine özelliğinde, I-tipi kalkalkalen karakterde volkanik yay ürünü olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar, inceleme alanındaki ofiyolitlerin suprasubduction zonda oluştuğunu; ofiyolitlerle ilişkili metamorfik kayaçların ya okyanus içi dalma-batma boyunca ya da bindirme sonrasında oluştuklarını; bu birimlerin dalma-batmanın devamı neticesinde Malatya-Keban platformu tarafından üzerlendiğini ve bu bindirmeyi Neotetis'in güney kenarındaki Toros aktif kıta kenarında oluşan ve yukarıdaki diğer birimleri kesen granitoid oluşumu izlediğini belirtmişlerdir.

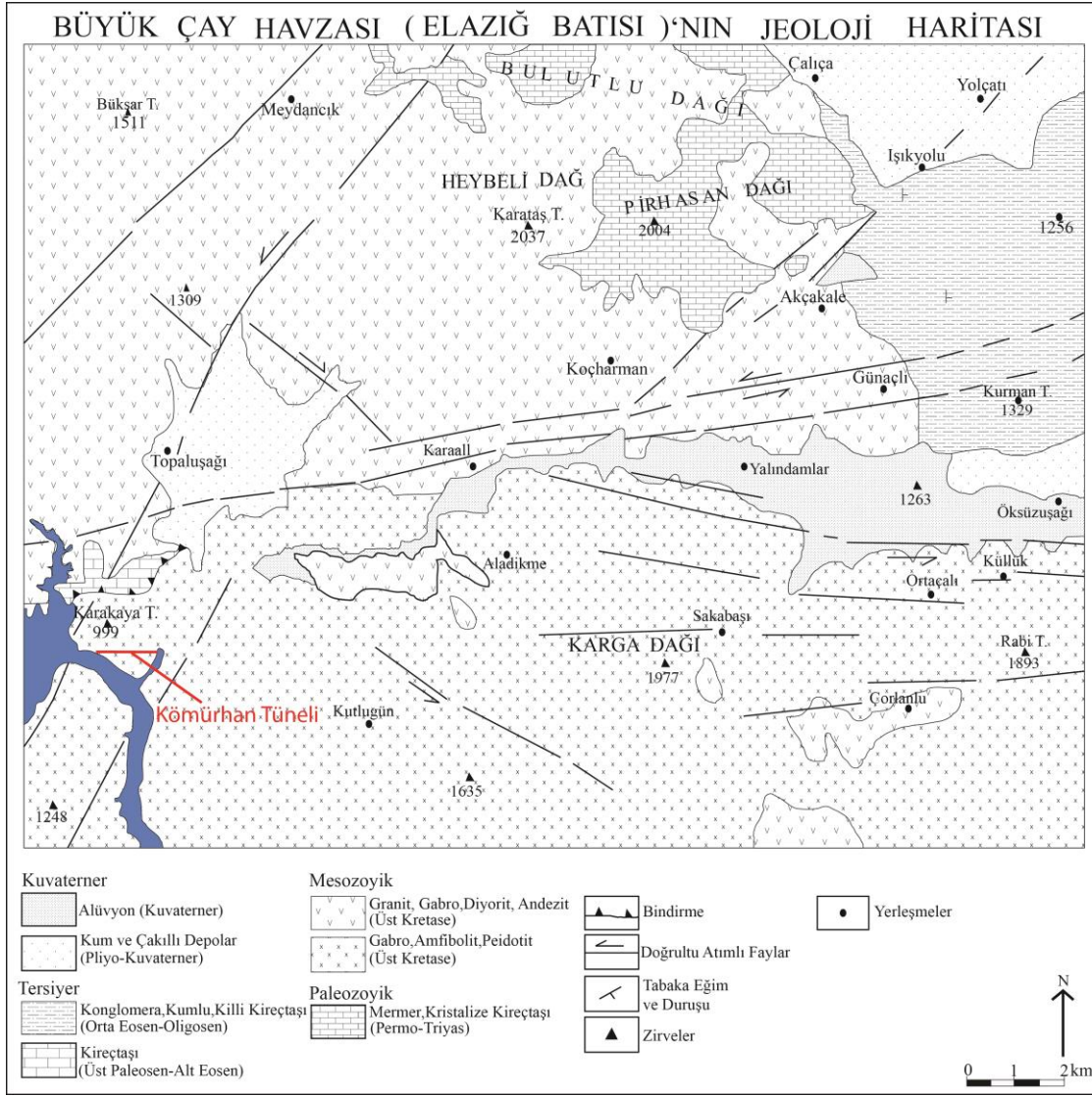
Rızaoğlu (2006), Doğu Toroslar da ofiyolitik birimlerin Geç Kretase'de kuzeyde Malatya-Keban ve güneyde Arap Platformu arasında okyanus içi dalma-batma zonu üzerinde oluştuğunu belirtmiş, ensimatik ada yayı biriminin ise oluşan okyanusal kabuğun üzerinde daha olgun bir dönemde geliştiğini ifade etmektedir. Araştırmacı, tüm bu birimlerin Malatya-Keban platformunun tabanına yerleşerek Doğu Toros aktif kıta kenarını

meydana getirdiğini ve bu tektonik ortamda Baskil granitoyidi tarafından kesildiklerini belirtmektedir.

Sunkar vd. (2008), bölgede yaptıkları çalışmalada söz konusu alanın konumu, sınırları ve genel özellikleri verildikten sonra havzanın oluşum ve gelişimini açıklanırken, sahanın bugünkü şeklini almasında neotektonik hareketlerin önemli ölçüde etkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca havzadaki akarsuların oluş ve gelişimi ayrı başlık altında incelenerek, bu oluşumda neotektonik dönemde meydana gelen kapma olaylarının etkili olduğu; böylece havzanın akaçlama sahasının doğuya doğru genişlediği açıklanmıştır. Yine bu çalışmada jeomorfolojik birimler ayırt edilmiş ve konu ile ilişkilendirilmiştir.

3. İNCELEME ALANININ GENEL JEOLJİSİ

Alpin Orojenik Kuşığı içerisinde yer alan Türkiye arazisi, Ketin (1966) tarafından kuzeyden güneye doğru Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olmak üzere dört tektonik birliğe ayrılmıştır. İnceleme alanı bu tektonik birliklerden Toridler'in doğu kısmında yer almaktadır. Bilindiği gibi Doğu Toroslar, yoğun tektonizma nedeniyle, bindirmeli ve faylı yapılar göstermektedir. Bu yapısal unsurlardan en önemlilerinden biri Doğu Anadolu Fay Zonu'dur ve inceleme alanı yakınındaki en önemli tektonik hattı oluşturmaktadır. Elazığ-Malatya arasındaki bölgede Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişen yaşlardaki birimler yüzeylemektedir (Perinçek, 1979a; Yazgan vd.1983; Bingöl, 1984; Turan ve Bingöl, 1991). Bu birimlerden Üst Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyolitleri en geniş yayılıma sahip birimdir (Şekil 3.1). İnceleme alanı ve yakın çevresindeki diğer birimler ise Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Keban Metamorfikleri, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Seske Formasyonu, Orta Eosen-Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu ve güncel yamaç molozu ile alüvyonlardır.



Şekil 3.1. Büyük Çay Havzası (Elazığ Batısı)'nın jeolojî haritası (Tekeli, O. ve Oral, A., 1986; Gerçek, 2005'den değiştirilerek hazırlanmıştır)

3.1. Stratigrafi

Kömürhan Tüneli güzergahı ve yakın çevresinde yüzeyleme sunan birimleri yaşlıdan gence doğru;

- Üst Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyolitleri
- Orta Paleosen-Alt Eosen yaşlı Seske Formasyonu
- Güncel alüvyon ve yamaç molozu

şeklinde sıralamak mümkündür (Şekil 3.2).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENEZOYİK	KUVATERNER		Yamaç molozu	Qc		
			Alüvyon	Qa		
	TERSİYER	PALEOSEN	Seske Formasyonu	Ts		Kireçtaşı
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	Kömürhan Ofiyolitleri	Mkof		Gabro, Diyabaz Amfibolit, Peridotit Serpantinit Metaofiyolit

Şekil 3.2. İnceleme alanının ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti.

3.1.1. Kömürhan Ofiyolitleri (Mkof,   st Kretase)

3.1.1.1. Tanım

  lk defa Yazgan (1981) tarafından Kömürhan Ofiyoliti olarak adlandırılan birim, Hazar G  l  'n  n batısından başlayıp, Kömürhan Köprüsü'ne kadar uzanmaktadır. Yaklaşık 40 km uzunluğunda ve 10 km genişliğinde olan ofiyolitler, kuzeyde ve güneyde bindirme fayları ve Doğu Anadolu Fay Zonu ile sınırlıdır. Bazı araştırmacılar (Yazgan, 1983; Bingöl, 1986) Kömürhan Ofiyoliti'nin, Guleman Ofiyoliti'nin batı;   spendere Ofiyoliti'nin ise doğu uzantısı olduğunu kabul etmektedirler.

Asutay ve Poyraz (1983)'a göre Kömürhan Ofiyoliti, Arap Levhası ile Keban Metamorfitleri arasındaki yapısal istifin, önemli tektonik dilimlerinden birini oluşturmaktadır. Kömürhan Metaofiyoliti içerisindeki amfibolitlerin, gabro ve diyabaz kökenli oldukları ve metamorfizmanın arttığı daha derin bölümlerde amfibolitlerin kısmi ergimeye uğradıklarını ileri sürmektedirler.

Poyraz (1988),   spendere-Kömürhan Ofiyolit ve Metaofiyolitleri'ni petrografik ve petrolojik incelemeler sonucunda,   spendere   yesi ve Kömürhan   yesi olarak gruplandırmıştır.   spendere üyesinin, olivin-gabro, hornblend-gabro, troktolit, serpantinit, diyabaz ve bazaltlardan oluşurken, Kömürhan   yesinin metamorfit ve metamorfit olmayan kayaa   türlerinden oluştuğunu belirtmiştir.

Beyarslan (1996), Kömürhan Ofiyoliti'nin esas olarak az miktarda verlit-piroksenit, çoğunlukla gabrolar ve levha dayk karmaşığından oluştuğunu ve bunların Elazığ Magmatitleri adı verilen ve ada yayı malzemesi olan granitik intruzyonlar tarafından kesildiğinden bahsetmiştir.

Rızaoğlu (2006), Kömürhan Ofiyolitinin tam bir okyanusal litosfer kesiti sunduğunu ve tabandan tavana doğru tektonitler, kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi ve volkanitlerden oluştuğunu belirtmiş, ofiyolitik birimin toleyitik karakterli bir magmadan türediğini ve okyanus i i dalma-batma zonu üzerinde oluştuğunu söylemiştir.

3.1.1.2. Dağılım ve Konum

İnceleme alanının bulunduğu bölge yakın çevresindeki alanlarda yüzeyleme sunan bu ofiyolitik kayaçlar, daha doğudan başlayıp Kömürhan Boğazı'na kadar devam etmektedir.

Kömürhan Ofiyolitleri kuzeyde Malatya-Keban metamorfik kayaçları tarafından tektonik dokanakla üzerlenmekte olup tüm bu birimler inceleme alanının kuzey-kuzeybatısında Baskil granitoyidi tarafından kesilmektedir. Güneyde ise Kömürhan Ofiyolitleri Orta Eosen yaşlı Maden Kompleksi'ne bindirmektedir.

3.1.1.3. Litoloji

Kömürhan Tüneli'nin de içerisinde geçeceği Kömürhan Ofiyolitleri'nde yapılan çalışmalarda, bu ofiyolitlerin farklı türdeki kayaçlardan oluştuğu belirtilmektedir. Poyraz (1988), İspendere-Kömürhan ofiyolitlerinin metamorfik ve metamorfik olmayan kayaç türlerinden oluştuğunu, Beyarslan (1996), ise çoğunlukla, farklı özelliklere sahip gabrolardan oluştuğundan, bunların dışında ise diyabaz daykları ve dayk komplekslerinin varlığından bahsetmiştir. Ayrıca yer yer piroksenit ve dünit ile gabroları keser konumda verlit ve plajiyoklaslı verlit intruzyonlarının görüldüğünü belirtmiştir.

İnceleme alanında birim tektonik dilimler şeklinde yanal yönde inceliyor kaybolan ofiyolitler, tektonizmanın da etkisiyle hakim litolojisi serpantinleşmişlerdir. Bunun dışında serpantinize harzburjit-dünit, bantlı gabro, izotrop gabrolar (olivinli ve klinopiroksenli gabro, diyorit) ve tekil diyabaz daykları yüzeyleme vermektedir (Şekil 3.3, 3.4). Ofiyolitlere karşılık gelen bu kayaçlar düzenli bir ofiyolitik dizi göstermemektedir.

Bazen belirgin bir metamorfizma sunan Kömürhan Ofiyolitleri'nden derlenen örneklerin petrografik incelemesinden, gabroların içerdiği labrodorların öz-yarı öz şekilli orta-iri taneli, hem albit hem de polisitetik ikizlenmeler gösterdiği, minerallerde metamorfizma etkisiyle gelişmiş deformasyonlar gösterdikleri, kısmen serizitleşme ve killeşme gösterdikleri belirlenmiştir. Gabrolardaki iri taneli poikilitik doku gösteren hornblend mineralleri yer yer aktinolit-tremolite dönüşmüştür. Kayaç ikincil mineral olarak kalsit, silis ve kloritler içermektedir. Diyoritler ise plajiyoklas, kuvars, hornblend ve opak minerallerden oluşmaktadır. Plajiyoklaslar orta-iri taneli, zonlu yapıları kısmen ayrışımı ve serizitleşmiştir. Az oranda gözlenen kuvarslar yer yer dalgalı sönme göstermektedirler.

Hornbledler ise en çok gözlenen mafik mineral olup, iri, yarı özşekilli mineraller halindedir ve yönlenme göstermektedirler. Kayaçta ikincil mineral olarak kalsit, silis ve klorit gözlenmektedir.



Şekil 3.3. Kömürhan Ofiyolitleri'nden bir görünüm, bakış yönü G'den K'ye (E:38.44, B:38.84)



Şekil 3.4. Kömürhan Ofiyolitleri'nden bir görünüm, bakış yönü G'den K'ye (E:38.445, B:38.840)

3.1.1.4. Yaş

Beyarslan (1996), Kömürhan Ofiyolitleri'nin, Neotetis'in güney kolunun, Üst Kretase'de kuzeye doğru dalmasıyla, dalan kabuk üzerindeki okyanusal kabukta meydana gelen açılmaya bağlı olarak gelişen yeni okyanus kabuğu ürünleri olduğunu belirlemiş ve dolayısıyla da yaşının Üst Kretase olması gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada da Kömürhan Ofiyolitleri için Üst Kretase yaşı benimsenmiştir.

3.1.1.5. Oluşum Ortamı

Yazgan (1987) Kömürhan birimini, okyanusal kabuğun üst bölümünü oluşturan İspendere birimine nazaran, yay-önü (fore-arc) tipi bir kuşakta oluşan, okyanusal ve kıtasal malzemelerin karışımı ve bulunduğu P-T (basınç-sıcaklık) koşullarında başkalaşmaya uğrayan yitim zonu metamorfik karmaşığı olarak yorumlamıştır.

Bingöl ve Beyarslan (1996), Kömürhan Ofiyolitini'ni, Üst Kretase'den itibaren kuzeye dalımlı, okyanus içi yitim zonu üzerinde gelişen “ supra-subduction” zonu ofiyolitleri olarak belirlemişlerdir.

Beyarslan ve Bingöl (1996,2000), Kömürhan Ofiyolitleri'nin petrolojisi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında Kömürhan Ofiyolitleri'nin Geç Triyas'ta yayılmaya başlayan Neotetis'in güney kolunun Kretase'de yitimi sırasında kuzeye dalımlı okyanus içi dalma batma zonu üzerinde (Suprasubduction zone) oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Rızaoğlu (2006), Kömürhan Ofiyoliti'nin aynı kökensel magmadan itibaren Geç Kretase'de Neotetis'in güney kolu içerisinde okyanus içi dalma-batma zonu (suprasubduction zone) üzerinde oluştuğuna işaret etmektedir.

3.1.2. Seske Formasyonu (Ts, Üst Paleosen-Alt Eosen)

3.1.2.1. Tanım

Birimin ilk kez Erdoğan (1975) tarafından Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesi yakınlarında Seske köyü civarlarında tanımlanmıştır. Ayrıca, Perinçek (1979 a, b); Naz (1979); Yazgan (1983); Yazgan vd. (1983); Bingöl (1984); Asutay vd. (1986); Yılmaz vd.

(1992) tarafından Malatya-Elazığ dolayında yapılmış olan çalışmalarda da aynı isim benimsenmiş ve kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Seske formasyonunun kireçtaşlarından bir görünüm, bakış yönü KB (E:38.449, B:38.839)

3.1.2.2. Dağılım ve Konum

İnceleme sahasıda Karakaya Tepesi kuzeyinde çok dar bir alanda yüzeyleyen kireçtaşları Seske Formasyonu'nu oluşturmaktadır. Kömürhan Köprüsü kuzeyinde Hırsıztaşı Tepe ve Harabekayış Köyü yakınlarında yüzleklerine rastlanan birim Baskil granitoyidi üzerine uyumsuz olarak gelmekte olup, tavan dokanağında ise Kırkgeçit Formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenmektedir.

3.1.2.3. Litoloji

Turan (1984), Baskil-Aydınlar yöresinde yapılan çalışmalarda Seske Formasyonu'nun tabanında konglomera, tavanında ise kireçtaşı olmak üzere iki ayrı litoloji ile temsil edildiğini belirterek, konglomeraları Seske Formasyonu'nun taban konglomerası olarak kabul edilmiştir. Düzensiz boylanmalı bu konglomeraların yük enerjili sığ ortamların karakteristikleri olduğunu ve ortamın daha sonra sakinleşerek yerini kumlu kireçtaşlarının çökeldiği ortama bıraktığını ileri süren araştırmacı, kireçtaşlarının ise fazla derin olmayan resif gerisi lagün ortamında çökeldiğini belirtmektedir. Asutay (1985) ve Özkul (1988)'a

göre Seske Formasyonu'na ait kireçtaşları başlıca alg ve bentonik foraminiferlerden oluşan resifal karbonat yığılması şeklindedir.

Seske Formasyonu inceleme alanında genellikle orta kalın tabakalı, açık gri, sarımsı boz renklerde masif, eklemler içeren kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Şekil 3.6).

3.1.2.4. Yaş

Yazgan (1984a) birimi bölgede yer alan Harami Formasyonu ile birlikte değerlendirerek Üst Kretase-Paleosen yaşını vermiş olup Özkul (1988) ve Turan ve Bingöl (1991) birimin yaşı için Üst Paleosen-Alt Eosen yaşını öngörmüşlerdir. Özgen vd. (1993) ise Harami, Kuşçular ve Seske formasyonlarını birlikte değerlendirerek Üst Maastrichtiyen- Tanesiyen yaşlı Harabekayış Formasyonu adı altında incelemiştir. Bu çalışmada birimin yaşı için Üst Paleosen-Alt Eosen yaşı kabul edilmiştir.



Şekil 3.6. Seske formasyonunun kireçtaşlarından bir görünüm, bakış yönü KB (E:38.449, B:38.839)

3.1.2.5. Oluşum Ortamı

Bölgede çalışma yapan araştırmacılardan Turan (1984) ise düzensiz boyplanmalı bu konglomeraların yük enerjili sığ ortamların karakteristikleri olduğunu ve ortamın daha

sonra sakinleşerek yerini kumlu kireçtaşlarının çökeldiği ortama bıraktığını ve kireçtaşlarının fazla derin olmayan resif gerisi lagün ortamında çökeldiğini belirtmektedir.

Turan ve Bingöl (1989), formasyonun içerdiği fauna topluluklarına bakarak resif gerisi sığ ve berrak bir ortamda çökeldiğini ifade etmektedirler.

Asutay (1985) ve Özkul (1988)'a göre Seske Formasyonu'na ait kireçtaşları resifal ortamda biriken başlıca resifal karbonat yığışımıdır.

3.1.3. Yamaç Molozu ve Alüvyonlar (Qy, Qal)

Yamaç molozu, inceleme alanındaki yamaçlarda yüzeyleyen, değişen kalınlıklara sahip, daha üst kotlardaki kayalardan koparak yamaçlarda birikmiş Kuvaterner yaşlı birimdir. Birim, tutturulmamış, az yuvarlaklaklaşmış,-köşeli, kil boyutundan blok boyutuna kadar değişen elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Yamaç molozundan görünüm, bakış yönü GB'den KD'ye (E:38.451, B:38.848)

Bölgede alüvyonları ise dere ve akarsuların oluşturduğu Kuvaterner yaşlı birim oluşturmaktadır. Gevşek haldeki, gri renkli kil, silt, kum, çakıl karışımlarından meydana gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmaları ve tünel güzergahında Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından açtırılmış olan araştırma sondajlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen tünel güzergahının jeolojik enine kesiti EK-2'de verilmiştir. Bu

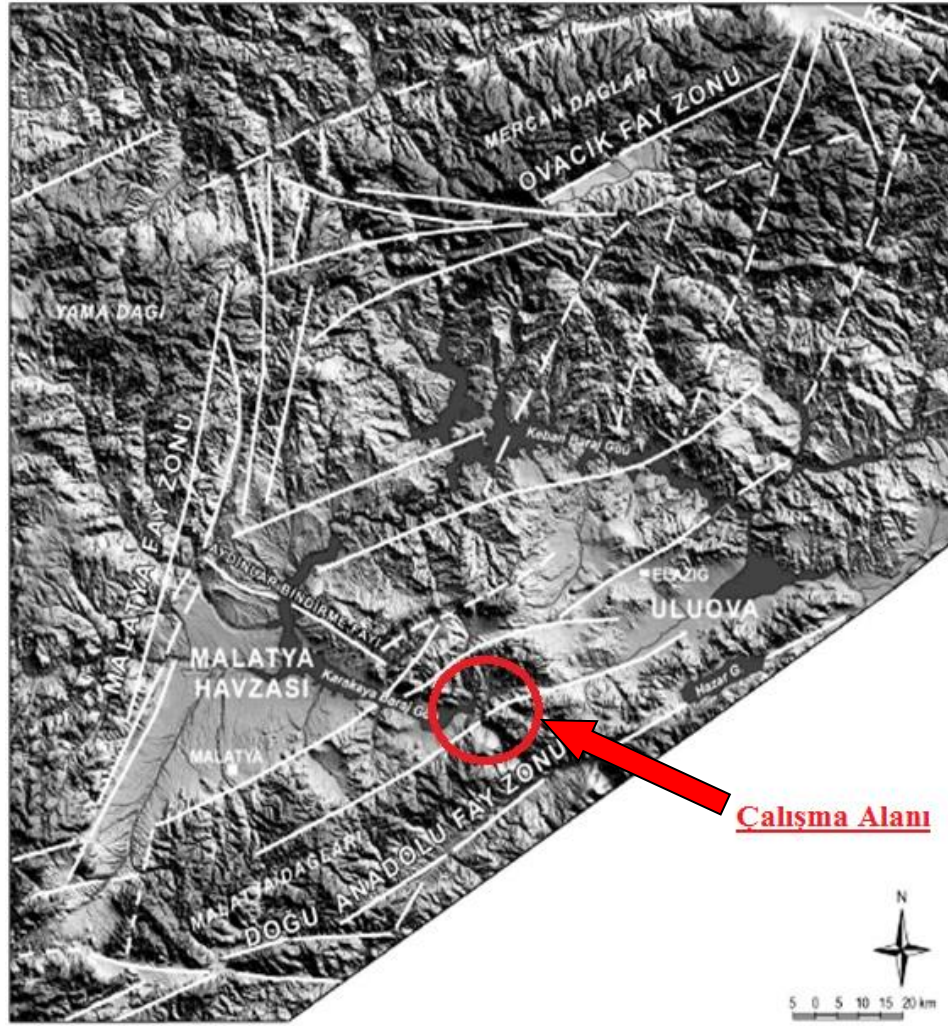
jeolojik enine kesite göre, Kömürhan Tüneli Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait kayalar içerisinde açılacaktır.

3.2. Tektonik

Arabistan ve Anadolu levhalarının Orta Miyosen'deki çarpışması Şengör (1980) tarafından Türkiye'de neotektonik dönemin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Westaway, 2003). Bu nedenle Orta Miyosen'e kadar olan yapılar paleotektonik, Orta Miyosen'den sonra gelişen yapılar ise neotektonik yapılarını oluşturmaktadır. İnceleme alanında hem Paleotektonik hem de Neotektonik yapıları bulunmaktadır.

İnceleme alanındaki Paleotektonik yapılardan en önemlisi inceleme alanının güneyinde izlenen Kömürhan Bindirmesi'dir. Bu bindirme ilk defa Tatar (1987) tarafından adlandırılmıştır. Daha sonra Turan (1992) Karga Dağı kuzeyinden geçen bu bindirmeyi Kargadağ Bindirme Fayı olarak yeniden tanımlamış, bu faylanmadan etkilenen en genç birim Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı olduğu için faylanma yaşını Orta Eosen olarak vermiştir.

Neotektonik dönemde ise kuzey-güney doğrultulu sıkışma etkisinde doğrultu atımlı tektonik rejim etkili olmuştur. Yörenin şekillenmesinde doğrultu atımlı rejim etkisinde gelişen geniş alanlı tektonik yapılar etkilidir (Şekil 3.8). İnceleme alanını yakınındaki en önemli Neotektonik yapısal unsur ise Doğu Anadolu Fay Zonu'dur.



Şekil 3.8. Sayısal yükselti modeli üzerinde, Malatya ve Elazığ yöresindeki genel tektonik yapılar (Kaymakçı vd., 2005)

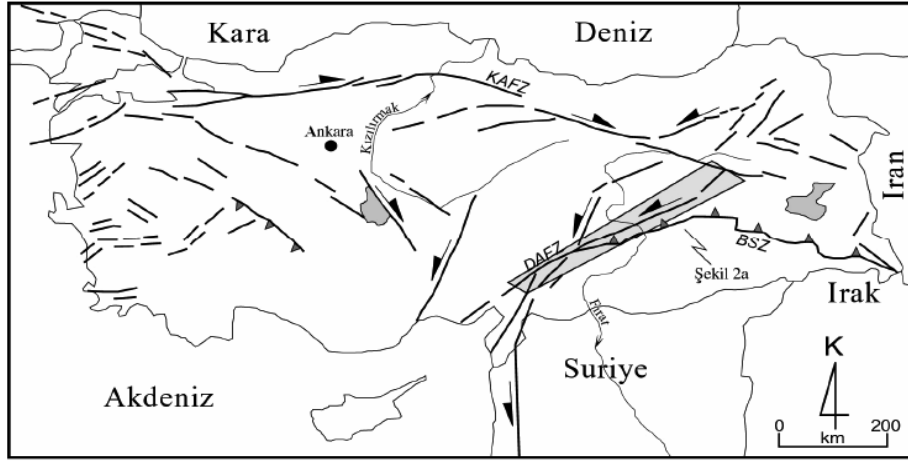
3.2.1. Kırıklı Yapılar

İnceleme alanındaki en önemli kırıklı yapılar; Doğu Anadolu Fay Zonu ve Kömürhan Bindirmesi'dir.

3.2.1.1. Doğu Anadolu Fay Zonu

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) Türkiye'nin doğusunda Karlıova ile İskenderun Körfezi arasında KD-GB doğrultusunda uzanan sol yanal bir doğrultu atımlı fay zonudur (Şekil 3.9). Faya ilk kez Allen (1969) dikkat çekmiş, Arpat ve Saroğlu (1972) tarafından ilk olarak "Doğu Anadolu Fay Kuşağı" adı kullanılmış ve bu isim izleyen yerbilimciler

tarafından benimsenmiştir. Yaklaşık 550 km'lik uzunluğa sahip olan ve Türkiye'nin en önemli neotektonik yapılarından birisini oluşturan DAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu ile kesiştiği Karlıova'dan güneybatıya doğru Göynük Vadisi, Bingöl Ovası, Palu, Hazar Gölü, Sivrice, Fırat Nehri vadisi, Doğanyol, Şiro Çayı vadisi, Çelikhan, Kurucaova ve Erkenek ovası, Gölbaşı çukurluğu, Pazarcık üzerinden Türkoğlu'na ulaşmaktadır (Şekil 3.9). Ölü Deniz Fayı ile kesiştiği Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçe merkezinden sonraki devamı tartışmalıdır. Fay bu noktadan itibaren iki kola ayrılmaktadır. Faylardan kuzeydeki kol Osmaniye-Karataş fayı, oradan da Kıbrıs'a doğru, güneydeki kol ise Antakya fayı ile güneye doğru devam etmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Türkiye'nin neotektonik haritası (Sengör ve Yılmaz, 1981'den sadeleştirilerek alınmıştır) BSZ: Bitlis Sütur Zonu, KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu

DAFZ sol yanal atımının yanında, yerel olarak normal eğim atımına da sahip, birbirine paralel kayma düzlemleri boyunca hareket eden, birkaç m ile 10 km ulaşan zon içinde izlenebilen aktif bir faydır. Fay sistemi farklı doğrultularda, yer yer kademeli yön değiştiren çok sayıda bölümden (segment) oluşmakta ve genç morfolojisi ile arazide açık olarak izlenmektedir. Barka ve Kadinsky-Cade (1988) DAFZ'nu Karlıova ile Türkoğlu (Maraş) arasında 14 segmente ayırmış ve tanıtmış, fayın Akdeniz'e doğru devam ettiğini belirtmiştir.

Doğu Anadolu Fayı'nın oluşum yaşı fay hattının değişik kesimlerinde inceleme yapan araştırmacılar (Seymen ve Aydın, 1972; Perinçek vd., 1987) fayın oluşum yaşının Üst Miyosen'den sonra olduğu kabul edilmektedir.

3.2.1.2. Kömürhan Bindirmesi

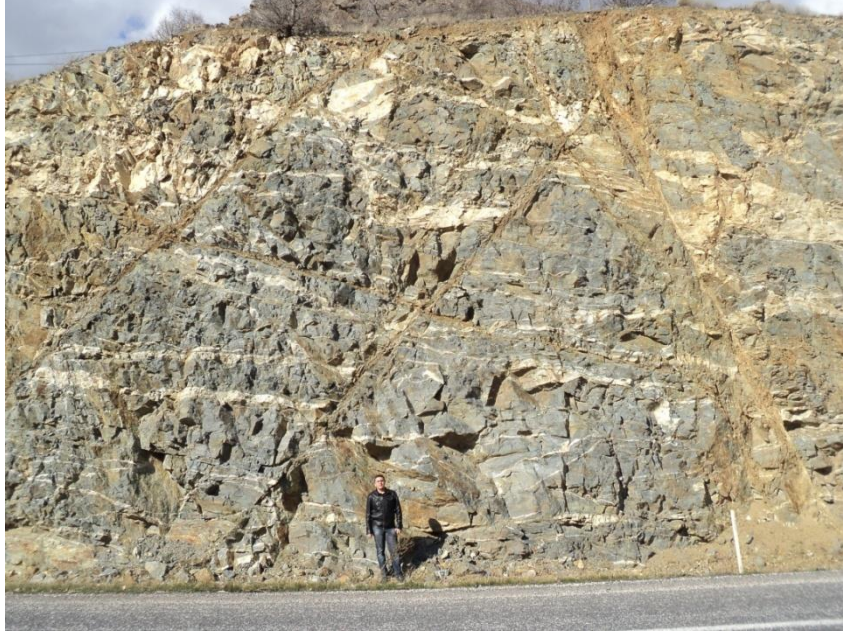
  lk defa Tatar (1987) tarafından adlandırılmış olan bu yapı Elazığ Magmatitleri ile Kömürhan Ofiyolitleri arasındaki bindirme fayıdır. Fay, Malatya doğusunda çiftlik k  y   civarında başlayıp, doğuya doğru Hazar Gölü'ne kadar uzanmaktadır. Ancak bu iki alan arasında fay, yer yer genç çökellerle örtülmektedir. Malatya-Kömürhan Köprüsü ile Sivrice arasındaki kesimde, Elazığ Magmatitleri, Kömürhan Ofiyolitleri   zerine tektonik olarak gelmektedir. Turan (1992), bu bindirme fayının Orta Eosen yaşlı olduğunu kabul etmektedir.

3.2.1.3. Eklemler

Çalışma alanının aktif tektonik yapıya sahip bir bölgede yer alması nedeniyle, Kömürhan Ofiyolitleri iyi gelişmiş eklem setleri içermektedir (şekil 3.10, 3.11). Kömürhan Ofiyolitleri'nin içerdiği eklem setlerinin eğim yönü açısı 10  -359   arasında eğim açısı ise 10  -88   derece arasında değişmektedir. Birimlerin içerdikleri eklemlerin yönelim açıları geniş bir aralıkta değişim göstermektedir.



şekil 3.10. Kömürhan Ofiyolitleri'ndeki eklem sistemlerinin görünümü, bakış yönü G'den K'ye (E:38.442, B:38.836)



Şekil 3.11. Kömürhan Ofiyolitleri'ndeki eklem sistemlerinin görünümü, bakış yönü G'den K'ye , bakış yönü KB (E:38.443, B:38.838)

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Karayolları Genel Müdürlüğü'nce yapımı planlanan Kömürhan Tüneli, Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü Elazığ-Malatya arasındaki bölünmüş yol projesi içerisinde yer almakta olup, tünel 2370 m uzunluğunda, at nalı kesitli, 12 m genişlikte, 8 m yükseklikte ve çift tüplü olarak planlanmıştır (KGM, 2012).

Elazığ ili Kömürhan bölgesi civarında yüzeyleyen ve Kömürhan Tüneli'nin içerisinde geçeceği Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait kayaçların mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi çalışmaları; süreksizliklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, jeoteknik amaçlı sondajlara ait karotların incelenmesi, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Süreksizliklerin mühendislik özellikleri hat etüdü yöntemi kullanılarak belirlenmiş, araştırma sondajlarından elde edilen karot örneklerinde RQD (Kaya Kalite Göstergesi), Toplam Karot Verimi (TKV) ve bozunma derecesi (W) belirlenmiş ve laboratuvarda kaya malzemesinin fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla toplam 800 m uzunluğunda jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir

Kömürhan Tüneli güzergahında yüzeyleyen kayaçların kaya kütle özelliklerini özelliklerinin belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak, RMR, R_{Mi} ve GSI kaya kütle sınıflamaları yapılmış ve kaya kütleleri için destek tipleri belirlenmiş, destek tiplerinin kullanım uygunluğu sayısal analizler yapılarak kontrol edilmiştir.

Bu çalışmada, Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından yaptırılan laboratuvar deneylerine ek olarak F.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Kaya ve Zemin Mekaniği Laboratuvarları'nda kayaçların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır.

4.1. Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri ve Hat Etüdü Çalışmaları

Süreksizliklerin, dolayısıyla kaya kütlelerinin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında istatistiksel anlamda en tatmin edici sonuçların alındığı yöntem, hat etüdü yöntemidir. Jennings (1970) tarafından önerilen yöntem, daha sonra Piteau (1970) tarafından

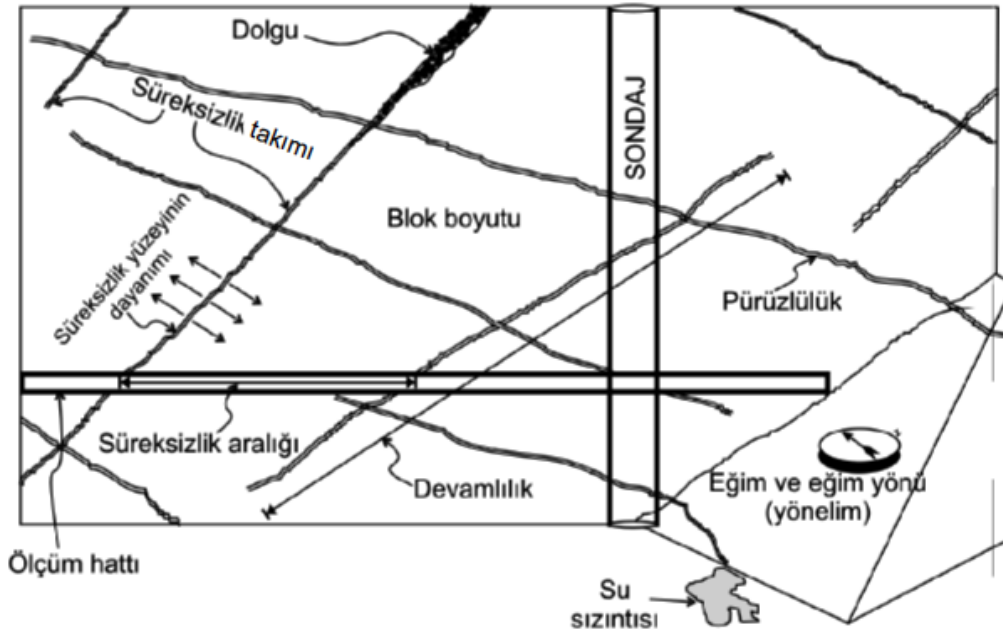
güncellenmiş, Fookes ve Denness (1969), Attewel ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1981) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından geliştirilmiş ve sonraki yıllarda ISRM (2007) tarafından yapılan önerilerle bugünkü halini almıştır.

Geniş bir alanda kaya kütlesinin incelenmesine ve süresizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bu yöntem ile ilk olarak süresizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak uygun uzunlukta mostra yüzeyleri seçilmiş, ölçümler bir birine dik, bir çok farklı hatlarda yapılmıştır (Şekil 4.1). Mostranın seçiminde, süresizliklerin en az % 50'sinin ucu görünecek şekilde olmasına dikkat edilmiş ve ölçümler 2 ve 5 m lik hatlar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümün yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş notları işaretlenmiştir. Şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süresizliklerin mühendislik özellikleri ölçülmüş ve tanımlanmıştır.



Şekil 4.1. Arazide hat etüdü yönteminin uygulanması, bakış yönü KB (E:38.446, B:38.834)

Hat etütleri ile kaya kütlelerinin içerdiği süresizliklerin yönelimi, ara uzaklığı, açıklığı, devamlılığı, pürüzlülüğü, dolgu malzemesinin özelliği, bozunma derecesi ve su durumu belirlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Ulusay ve Sönmez, 2007)

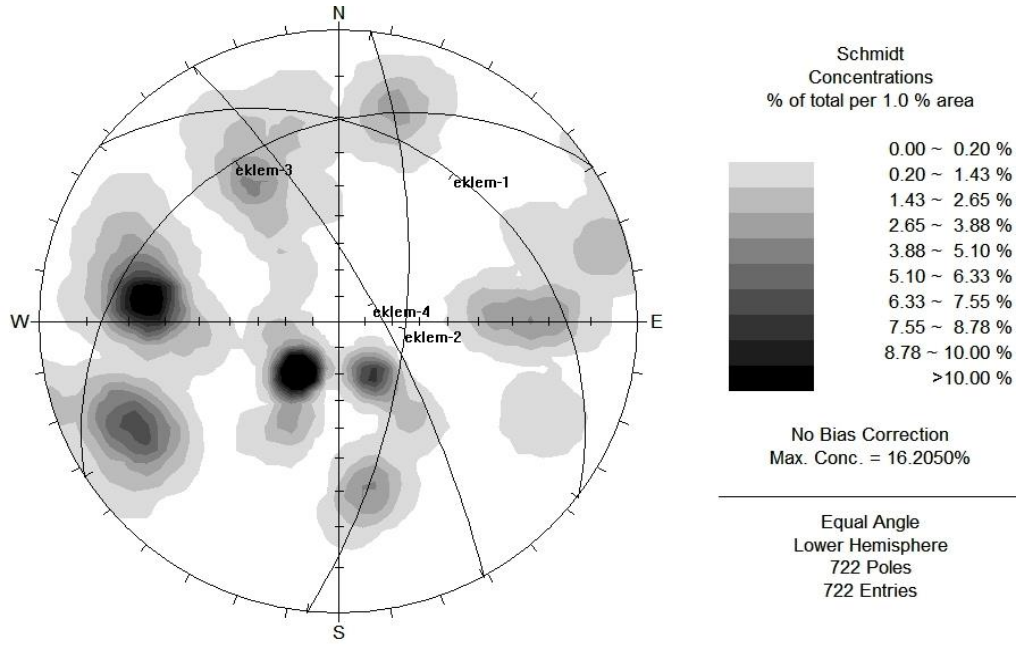
4.1.1. Eklem Yönelimi ve Eklem Takımı

Süreksizliklerin uzaydaki konumları genellikle eğim ve doğrultuları veya eğim ve eğim yönü ile tanımlanır. Özellikle genel jeoloji çalışmalarında esas alınan bu iki parametre, jeolog pusulası ile ölçülmektedir. Buna karşın daha hızlı ölçüm alınmasını sağlaması ve veri işlemeyi kolaylaştırması nedeniyle, jeoteknik uygulamalarda doğrultu yerine eğim yönünün ölçülmesi tercih edilmektedir. Eğim, bir süreksizlik düzleminin yatay düzlemle yaptığı açıdır. Kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülen ve kuzey yönü ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açı ise, eğim yönü açısı olarak tanımlanır. Bu ili değer, eğim yönü/eğim veya eğim/eğim yönü şeklinde kaydedilir. Yönelimleri hemen hemen birbirleriyle aynı olan tekil süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa ise "süreksizlik takımı" adı verilir. Süreksizlik yönelimi verileri, grafiksel olarak "gül diyagramları ve histogramlar" veya "stereografik izdüşüm" teknikleriyle değerlendirilir.

Bu çalışmada eklem düzlemlerinden alınan yönelim ölçümlerinin (Şekil 4.3) DIPS 5.0 (Rocscience, 1998) bilgisayar programında değerlendirilmesi sonucunda Kömürhan Ofiyolitleri'nin baskın olarak 4 eklem seti içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Eklem yöneliminin pusula ile ölçümü



Şekil 4.4. Kömürhan Ofiyolitleri'nden alınan eklem yönelimi ölçülerine ait kontur diyagramı

Kömürhan Ofiyolitleri'nin içerdği eklem düzlemlerine ait ana yönelimler Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. İnceleme alanındaki Kömürhan Ofiyolitlerine ait yönelim ölçüleri

Birim	Süreksizlik Tipi	Süreksizliklerin Eğim Açısı/Eğim Yönü
Kömürhan Ofiyolitleri	Eklem	25/143 (Eklem takımı 1)
		65/96 (Eklem takımı 2)
		24/330 (Eklem takımı 3)
		75/61 (Eklem takımı 4)

4.1.2. Eklem Ara Uzaklığı

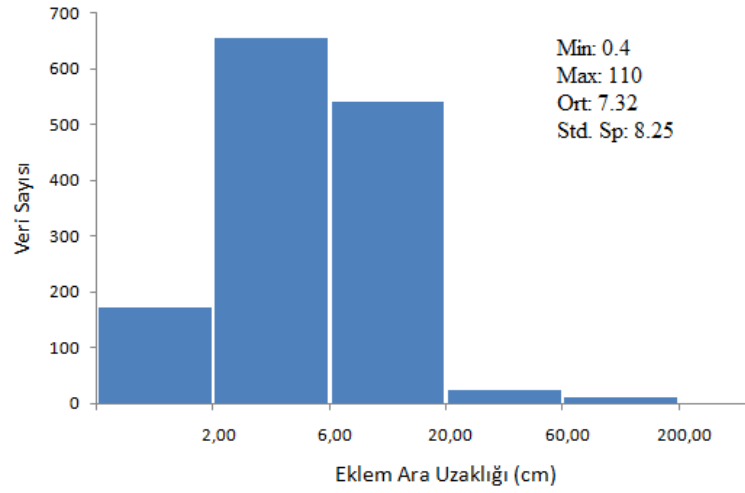
Süreksizlik ara uzaklığı veya süreksizlik aralığı kaya kütlelerinde birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizlik arasındaki dik mesafedir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kaya kütlelerinin geçirgenliği ve kaya kütlelerinde oluşan blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olması nedeniyle kaya kütlelerinin en önemli özelliklerinden biridir. Süreksizlik ara uzaklığı, mostra yüzeyinde süreksizlik doğrultusuna dik yönde serilen bir şerit metre boyunca gözlenen süreksizliklerin sayılması ile belirleneceği gibi, sondaj karotlarından da belirlenmektedir. Ölçüm hattı ve sondaj eksenini boyunca iki süreksizlik arasında ölçülen uzaklık görünür ara uzaklık olarak bilinir. Bir süreksizlik setindeki süreksizliklerin bir birine paralel olduğu çok ender görüldüğü için gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle süreksizlik sıklığının değerlendirilmesinde görünür aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Bu çalışmada eklem ara uzaklığı arazide hat etüdü yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Tüm bu parametreler dikkate alınarak kaya kütleleri için süreksizlik ara uzaklığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır.

Kömürhan Ofiyolitleri'nden alınan eklem ara uzaklık ölçüleri (Şekil 4.5) ISRM (2007)'ye göre değerlendirildiğinde (Şekil 4.6) eklemlerin ortalama aralığı 7.32 cm dir (Şekil 4.6) ve eklemler genel olarak dar-yakın aralıklı özelliktedir. (Tablo 4.2).



Şekil 4.5. Eklem ara uzaklığının şerit metre ile ölçümü



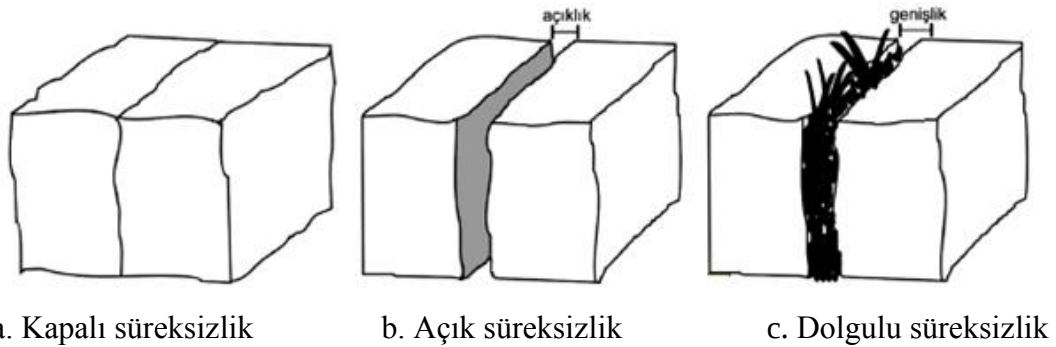
Şekil 4.6. Kömürhan Ofiyolitleri' nden alınan süreksizlik ara uzaklığı ölçülerine ait histogram

Tablo 4.2. Kömürhan Ofiyolitlerine ait eklemlerin mühendislik özellikleri ve yüzde dağılımları

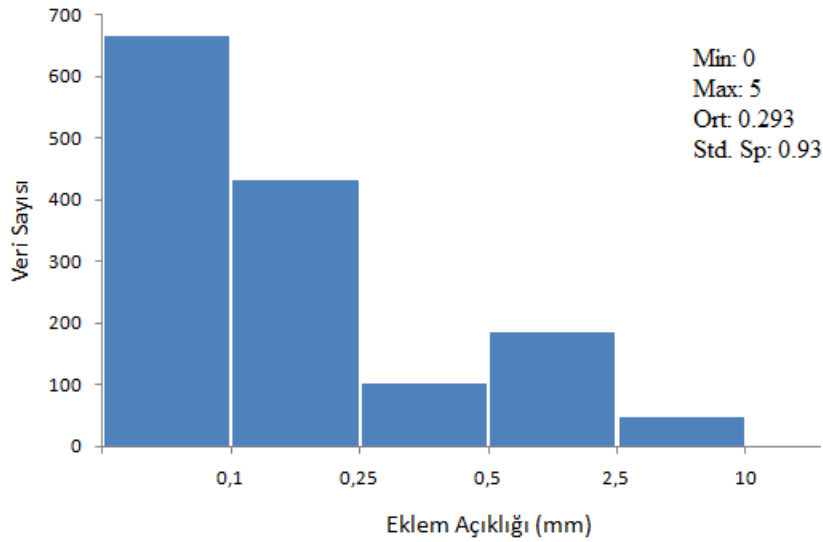
Özellikler	Sınır Değerleri	Tanımlama	Dağılım (%)
Ara Uzaklığı (cm)	<2	Çok dar aralıklı	12.30
	2-6	Dar aralıklı	46.62
	6-20	Yakın aralıklı	38.52
	20-60	Orta derecede aralıklı	1.78
	60-200	Geniş aralıklı	0.71
Açıklık (mm)	< 0.1	Çok sıkı	46.51
	0.1-0.25	Sıkı	30.10
	0.25-0.5	Kısmen açık	7.19
	0.5-2.5	Açık	12.92
	2.5-10	Orta derecede geniş	3.28
	> 10	Geniş	0.00
Devamlılık (m)	< 1	Çok düşük devamlılık	23.40
	1-3	Düşük derecede devamlılık	40.30
	3-10	Orta derecede devamlılık	36.30
	10-20	Yüksek devamlılık	0
	> 20	Çok yüksek devamlılık	0
Pürüzlülük	Düzlemsel Pürüzlü (VII)		
Dolgu Durumu	Genel olarak dolgusuz, yer yer kalsit ve kil dolgu		
Bozunma Derecesi (W)	Az bozunmuş (II)		
Su Durumu	Kuru		

4.1.3. Süreksizlik Açıklığı

Açıklık, bir süreksizlik yüzeyinin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik mesafe olarak tanımlanır (ISRM, 2007). Süreksizlik yüzeyleri kapalı olabileceği gibi su veya dolgu malzemesiyle doldurulmuş olabilir (Şekil 4.7). Eğer süreksizlik yüzeyi temiz ve kapalı ise diğer süreksizlik parametreleri jeoteknik tanımlama için yeterli olacaktır. Ancak süreksizlik yüzeyi açık ise bu açıklığın ölçülmesi gerekmektedir. Açıklığın ölçümünde milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanılacağı gibi, daha hassas mikrometrelerden de yararlanılabilir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

**Şekil 4.7.** Süreksizliklerin açıklık tipleri (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Bu çalışmada milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanarak, süreksizliklerin açıklıkları ölçülmüş ve ortalama açıklık değerleri belirlenmiştir. Çalışmada süreksizliklerin açıklığı ISRM (2007) tarafından önerilen süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (Tablo 4.2) kullanılarak değerlendirilmiştir. Kömürhan Ofiyolitleri'nden alınan eklem açıklık değerlerine ait histograma (Şekil 4.8) göre eklemlerin ortalama açıklığı 0.293 mm dir ve eklemler çok sıkı-sıkı özelliktedir (Tablo 4.2).



Şekil 4.8. Kömürhan Ofiyolitleri'nden alınan eklem açıklığı ölçülerine ait histogram

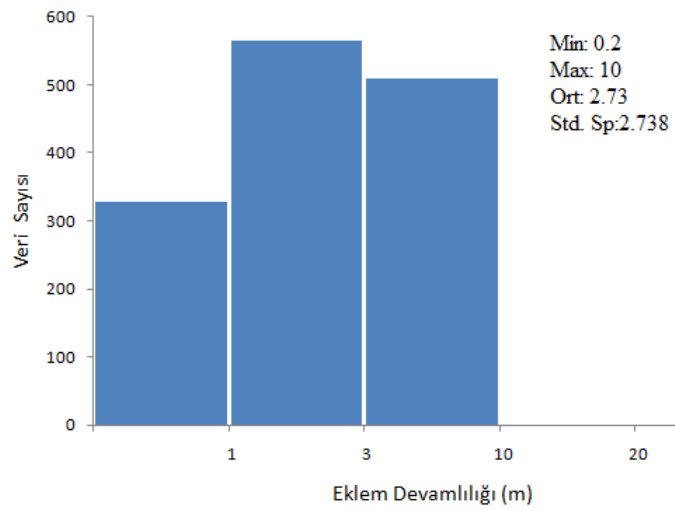
4.1.4. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı, süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olup, duraylılığı etkileyen önemli bir parametredir. Devamlılık alansal oran olarak tanımlanmasına karşın, alansal ölçümün zor olması nedeniyle genellikle mostradaki süreksizlik izinin ölçülmesiyle bulunmaktadır (ISRM, 2007). Bu durumda devamlılık, süreksizlik izi olarak ele alınmaktadır. Süreksizlik ara uzaklığı için yapılan değerlendirmelere benzer biçimde geliştirilen istatistiksel analizler, aralık parametresinin aksine, devamlılık parametresine ait verilen tek bir dağılım modeline uymadığı görülmektedir (Ulusay, 1991; Gökçeoğlu, 1997). Bu nedenle bu çalışmada devamlılık parametresi, ISRM (2007)'deki tanımlar esas alınarak doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. ISRM (2007) tarafından önerilen sınır değerler ve tanımlamalar Tablo 4.2' de verilmiştir.

İnceleme alanında alınan devamlılık ölçümleri ISRM (2007) tarafından önerilen sınıflamaya göre değerlendirilmiştir (Tablo 4.2). Kömürhan Ofiyolitleri'nden alınan devamlılık ölçülerinin yüzde dağılımına göre (Şekil 4.10) eklemlerin ortalama devamlılığı 2.73 m dir ve düşük derecede devamlılık göstermektedir (Tablo 4.2).



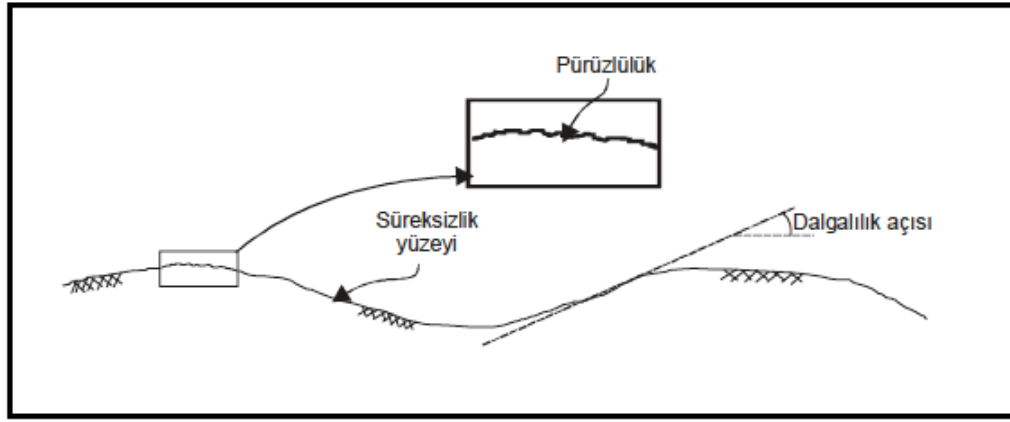
Şekil 4.9. İnceleme alanındaki eklem devamlılığın görünümü , bakış yönü K'den G'ye (E:38.452, B:38.848)



Şekil 4.10. İnceleme alanındaki eklem devamlılığına ait histogram

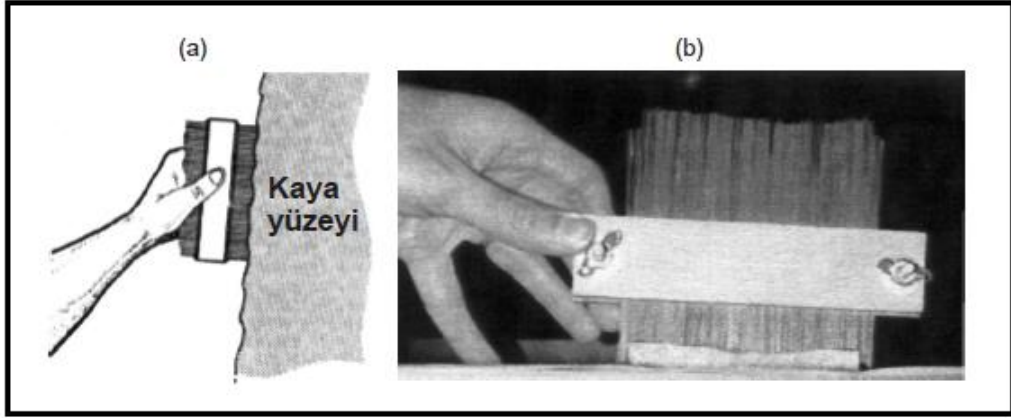
4.1.5. Süreksizlik Pürüzlülüğü

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda), dalgalılık ise büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçütü olarak tanımlanabilir (Şekil 4.11) (ISRM, 2007) . Her iki özellik de süreksizlik yüzeylerine ait makaslama dayanımının önemli bir bileşeni olarak rol oynar. Ancak süreksizlik açıklığı veya dolgu malzemesinin kalınlığının artmasıyla, pürüzlülüğün süreksizlik makaslama dayanım üzerine etkisi de azalmaktadır.



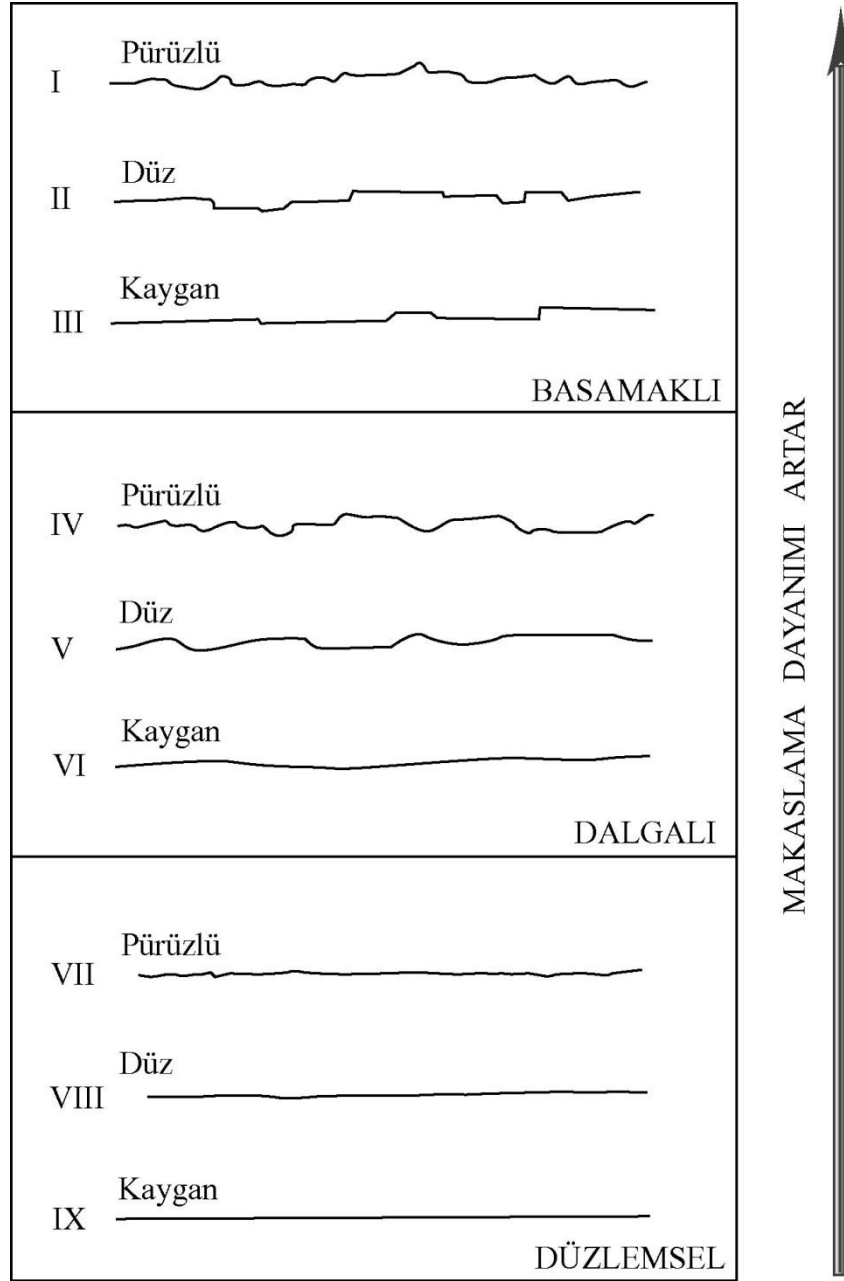
Şekil 4.11. Süreksizlik yüzeylerinin dalgalığı ve pürüzlülüğü

Süreksizlik pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik değişik yöntemler önerilmiştir (ISRM, 2007). Bunlar doğrusal profil alma yöntemi, pusula ve disk şeklindeki klinometre ile yapılan ölçümler ve pürüzlülük tıraşı (Şekil 4.12) gibi mekanik profilometreler ile yapılan ölçümler şeklinde sıralanabilir. Profilometreler, arazide veya laboratuvar ölçeğinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan mekanik gereçlerdir (Wissbach, 1978; Swan, 1981; Aydan vd., 1995).



Şekil 4.12. Metal telli profilometre ile süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün (a) arazide ve (b) laboratuarda ölçümü

Bu çalışmada pürüzlülük ölçümünde, ISRM (2007) tarafından önerilen süreksizlik yüzeyi üzerinde pürüzlülük tırağı kullanılarak belirlenen profillerin standart pürüzlülük profilleri (Şekil 4.11) ile karşılaştırılması sonucunda süreksizliklerin pürüzlülük özellikleri belirlenmiştir. Kömürhan Ofiyolitleri'nin içerdiği eklem yüzeylerinden alınan pürüzlülük profillerinin ISRM (2007) tarafından verilen standart pürüzlülük profilleri ile karşılaştırılması sonucunda, eklem yüzeylerinin genel olarak Düzlemsel-Pürüzlü özellikte olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.2).



Şekil 4.13. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM, 2007)

4.1.6. Dolgu Malzemesinin Özelliği

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kaya malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Kum, silt, kil, breş ve milonit tipik dolgu malzemeleridir. Dolgulu bir süreksizlikte süreksizliğin iki yüzeyi arasındaki uzaklık dolgunun kalınlığı olarak tanımlanır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kalsit, kuvars ve pirit gibi yüksek dayanıma sahip mineraller hariç tutulursa, dolgu içeren süreksizlikler dolgusuz veya pürüzlü yüzeylere oranla daha düşük makaslama dayanımına sahiptirler ve bu

nedenle kaya kütlelerinin dayanımı üzerinde daha etkin bir rol oynamaları beklenir. Çalışma alanındaki kaya kütlesinde süreksizliklerdeki dolgu kalınlığı milimetre bölmeli şerit metreyle ölçülmüştür. Dolgu özelliklerinin belirlenmesinde ISRM (2007) tanımlama ölçütlerinden faydalanılmıştır.

İnceleme alanındaki eklemler genel olarak dolgusuzdur. Ancak çok az olmakla birlikte bazı seviyelerde yer yer kalsit ve kil dolgu gözlenmiştir.



Şekil 4.14. Kömürhan Ofiyolitlerine ait eklemlerde gözlenen kalsit dolgu , bakış yönü KB (E:38.440, B:38.824)

4.1.7. Süreksizlik Yüzeyinin Bozunma Derecesi

Kaya kütleleri yüzeye yakın kesimlerde genellikle bozunmuş, daha derinlerde ise hidrotermal süreçlere bağlı olarak alterasyona uğramış olabilir. Bozunma derecesinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın sınıflama, ISRM (2007) tarafından önerilen ve arazi çalışması sırasında kolaylıkla kullanılabilen görsel bir sınıflamadır (Tablo 4.3).

Bu sınıflamaya göre çalışma alanındaki kayaçların içerdiği eklem yüzeylerinin bozunma derecesinin az bozunmuş (II) özellikte olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Süreksizliklerin bozunma derecesinin tanımlanması (ISRM, 2007)

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma Derecesi
Taze	Kayaçlarda bozunma gözlenmiyor, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi olabilir.	I
Az Bozunmuş	Kaya malzemesi ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeni ile tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	II
Orta Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	III
İleri Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup ya bir süreksiz kütle yada çekirdek taşı halindedir.	IV
Tamamen Bozunmuş	Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	V
Artık Zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla birlikte zemin taşınmamıştır.	VI

4.1.8. Süreksizlik Yüzeyinin Su Durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbiriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca (ikincil geçirgenlik) meydana gelen akışla gerçekleşir. Sızma hızı, kabaca yerli hidrolik eğime ve yönsel geçirgenliğe bağlıdır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Bu çalışmada, süreksizliklerdeki su durumunun sondajlar, kazı ve yarmalar ile takip edilebilmesindeki güçlükler nedeniyle, ISRM (2007) tarafından önerilen kayaç mostralarında yapılacak gözlemleri esas alan su sızıntılarıyla ilgili tanımlamalardan yararlanılmıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

Sızıntı Sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

Çalışma alanında yapılan incelemeler sonucunda Kömürhan Ofiyolitleri'nde süreksizlik düzlemlerinde herhangi bir nem, su sızması veya damlamasına rastlanmamıştır. ISRM (2007) tanımlama ölçülerine göre süreksizlik yüzeyleri kuru özelliktedir.

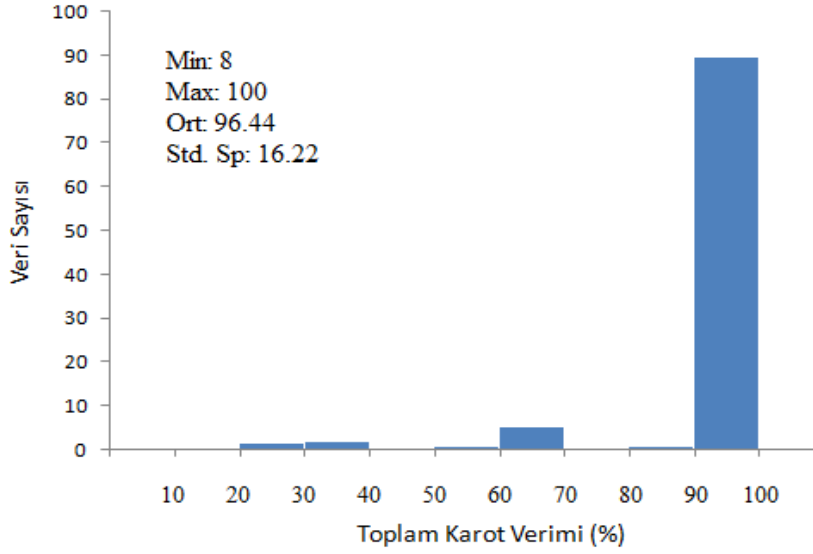
4.2. Jeoteknik Amaçlı Sondajlar

Sondaj çalışmaları, yüzeydeki birimlerin jeolojik ve mühendislik özelliklerinin derinlikle nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla uygulanan en iyi yöntemdir. Bu çalışmalar birimlerin jeolojik ve mühendislik özelliklerinin derinlikle değişiminin belirlenebilmesi ile birlikte laboratuvar çalışmaları için örnek derlenebilmesi ve yerinde deneylere imkan sağlaması açısından da jeoteknik incelemelerde oldukça önemli bir yere sahiptir.

Kömürhan Tüneli güzergahında Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından 7 adet toplam 617 m uzunluğunda jeoteknik amaçlı karotlu sondaj açtırılmıştır (EK-3). Bu çalışmada, bu araştırma sondajlarına ait karotlar incelenmiş, kaya kütlelerinin litolojik özellikleri, bozunma dereceleri (W), Toplam Karot Verimi (TKV) ve Kaya Kalite Göstergesi (RQD) değerlerinin yanal ve düşey yöndeki değişimleri belirlenmiştir. Ayrıca, laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere karot örnekler derlenmiştir.

4.2.1. Toplam Karot Verimi (TKV, %)

Bu parametre, bir ilerleme aralığındaki karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzde olarak ifadesidir. Karotların çok parçalı olması durumunda, parçalar yan yana getirilerek bunların uzunluğu ölçülür. Toplam karot verimi % 100' ü geçemez. Karot veriminin azaldığı ilerleme aralıkları, jeoteknik anlamda kaya kütleindeki zayıf veya oldukça kırıklı zonların varlığına işaret eder. Toplam karot verimi belirlenirken, kaya kütlesi içinde bozunma nedeniyle zemine dönüşmüş seviyeler ile kil vb. zemin türü malzemeler de değerlendirmeye alınır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kömürhan Ofiyolitleri'nde yapılan jeoteknik amaçlı sondajdan elde edilen karot örnekleri incelendiğinde, toplam karot veriminin % 90 ile %100 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Kömürhan Ofiyolitleri' nin toplam karot verimine ait histogram

4.2.2. Kaya Kalite Göstergesi (RQD, %)

RQD, bir ilerleme aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış, boyu 10 cm ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranını yüzde olarak ifade eden kantitatif bir indekstir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Sondaj sırasında yapılan zorlama veya karotların karotiyerden çıkartılırken, ya da sandığa yerleştirirken kırılması sonucu oluşan doğal olmayan mekanik kırıklar, RQD'nin tayininde dikkate alınmazlar. Mekanik kırıklar birleştirildiklerinde karotun boyu 10 cm ve daha büyükse, bu tür karotlar da RQD' ye dahil edilirler. Kömürhan Ofiyolitleri'nin RQD değerinin belirlenmesinde Deere (1964) tarafından önerilen RQD sınıflaması (Tablo 4.5) dikkate alınmıştır.

Tablo 4.5. RQD ile kayanın mühendislik kalitesi arasındaki ilişki Deere (1964)

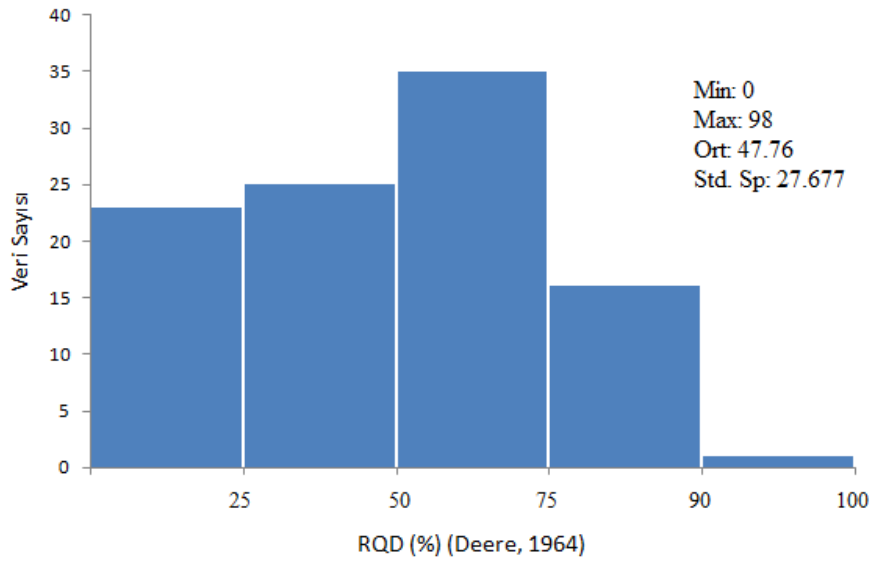
RQD (%)	Kaya Kalitesi
< 25	Çok zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi

Açılan temel sondaj kuyularında derlenen karot örneklerinin incelenmesi sonucunda Deere (1964)'e göre RQD değerlerinin dağılımı belirlenmiş (Tablo 4.6) ve istatistiksel

olarak değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Jeoteknik amaçlı sondaj verilerinden derlenen örneklerde yapılan incelemeler sonucunda; RQD' ye göre kaya kütlelerinin % 23' u Çok Düşük, % 25' i Düşük, % 35' i Orta Kaya, % 16' sı İyi ve %1' i ise Çok İyi Kaya kalitesinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.6. Kömürhan Ofiyolitleri'nde RQD değerlerinin % dağılımı

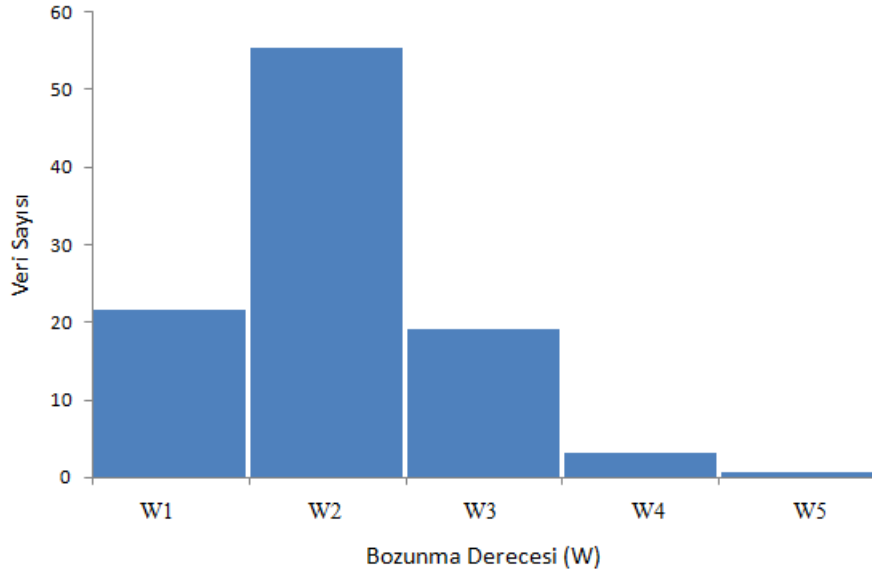
Özellik	Sınır Değerleri	Kaya Kalitesi	Dağılım (%)
RQD	0-25	Çok düşük	23
	25-50	Düşük	25
	50-75	Orta	35
	75-90	İyi	16
	90-100	Çok iyi	1



Şekil 4.16. Kömürhan Ofiyolitleri'nin RQD değerlerine ait histogram

4.2.3. Bozunma Derecesi (W)

Bozunma derecesi; kaya malzemesindeki renk ve dokusal özellikler göz önünde bulundurularak görsel olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalarda ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama kriterleri kullanılmış ve elde edilen veriler yardımıyla dağılım histogramı çizilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Kömürhan Ofiyolitleri'nin bozunma derecesi değerlerine ait histogram

Yapılan incelemeler sonucunda, bozunma derecesine göre Kömürhan Ofiyolitleri'nin, % 21.6'sı Taze, % 55.4 ü Az Bozunmuş, %19.20'si Orta Derecede Bozunmuş, % 3.2'si ise Çok Bozunmuş özelliktedir. (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Kömürhan Ofiyolitleri'nde bozunma derecesinin % dağılımı

Özellik	Sınır Değerleri	Kaya Kalitesi	Dağılım (%)
Bozunma Derecesi	W1	Taze	21.6
	W2	Az bozunmuş	55.4
	W3	Orta bozunmuş	19.2
	W4	Çok bozunmuş	3.2
	W5	Tamamen	0.6

4.3. Presiyometre Deneyleri ve Kaya Kütlesi Deformasyon Modülünün (E_m) Belirlenmesi

Doğrudan yöntemler olarak isimlendirilen yerinde deneylerin (presiyometre, dilatometre, plaka yükleme deneyi ve jeofiziksel yöntemler) tamamı alet kullanılarak yerinde yapılan deneylerdir. Bunlar arasından dilatometre ve presiyometre deneyleri kaya kütle deformasyon modülünü yerinde belirlemede en uygun yöntemlerdir (Galera, at al., 2005). Kuyu içi yanal yükleme deneylerinin bir türü olan presiyometre deneyi, geniş uygulama alanıyla birçok jeoteknik problemin çözümünde kullanılır. Bu deney ile kaya

kütle deformasyon modülü, taşıma gücü, zeminlerde meydana gelen oturmalar ve zeminin dayanım parametreleri belirlenebilmektedir.

Yerinde deney yöntemleri arasında yaygın bir kullanıma sahip olan presiyometre deneyi ilk defa Menard (1956) tarafından geliştirilmiştir. 1950' li yılların ortalarında Louis Menard adlı bir araştırmacı, presiyometreyi bularak İllionis (ABD) Üniversitesi'ndeki çalışmalarında kullanılmıştır. Daha sonra Menard (1961) sonsuz uzunluktaki silindirik boşlukların genişlemesi teorisini kullanarak kesme modülünün hesaplanmasını önermiştir. Ülkemizde ise ilk presiyometre deneyleri 1969 yıllarında DSİ tarafından Menard firmasından alınan G tipi presiyometre ile başlamıştır. Presiyometre deneyi kullanım potansiyeli, dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi, ülkemizde de gittikçe artmakta ve ağırlık kazanmaktadır. Günümüzde, zemine en fazla basınç uygulayabilen presiyometre cihazları GB ve GA tipi olup zemine 10000 kPa - 20000 kPa' a kadar basınç uygulayabilmektedir.

Presiyometre deneyi yerinde (in-situ) yapılan bir deney olup açılan bir sondaj kuyusu içerisindeki radyal basınç uygulanması ve uygulanan basıncın sondaj çeperinde oluşturduğu deformasyonların ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Pratikte bu testin yapılacağı seviyeye kadar sondaj kuyusu açılır. Bu kuyu silindirik bir boşluk oluşturur. Radyal genişlemeye elverişli presiyometre probu istenilen test seviyesine indirilir ve boşluğu genişletmek için şişirilir. Uygulanan her basınç kademesinde oluşan hacim artışları kaydedilir. Prob öyle tasarlanmış ki, boşluğun boyu değişmez ve hacim artışı sadece kuyunun radyal olarak genişlemesiyle mümkün olur. Böylece presiyometre deneyi arazide sondaj kuyuları içinde uygulanabilen bir çeşit "statik yükleme deneyi" olarak tarif edilebilir. Deneye başlamadan önce, cihazlardan kaynaklanan basınç ve hacim kayıplar testlerle belirlenmeye çalışılıp, deneyde elde edilen ham veriler düzeltilir. Deney esnasında kullanılacak olan standard prob tipi ve boyutları Tablo 4.8' da verilmiştir.

Tablo 4.8. Presiyometre deneyinde kullanılan prob tipi ve boyutları

Tipi	Kuyu Çapı (mm)		Prob Çapı (mm)	Ölçüm Hücresi Hacmi V_0 (cm ³)	Aktif Prob Boy (cm)	Toplam Prob Boy (cm)
	Min.	Max.				
BX	60	66	58	535	40	42
NX	76	82	74	790	43	45



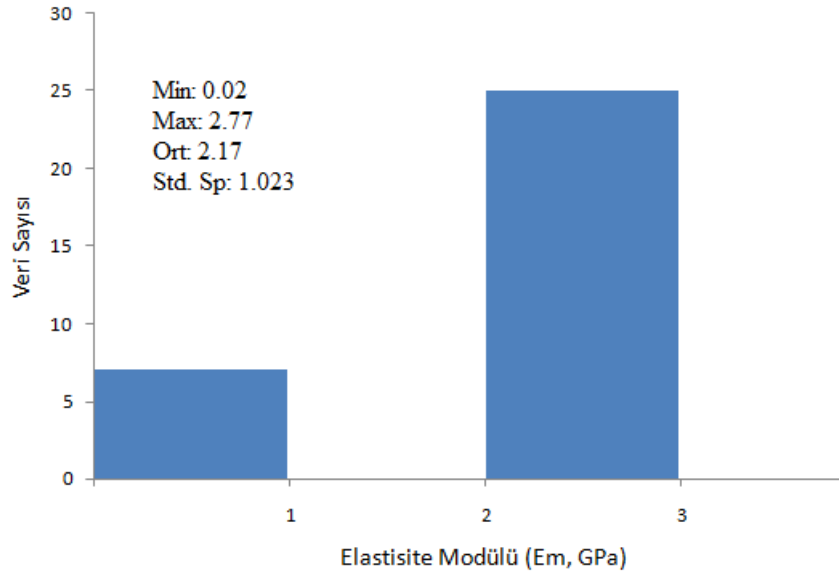
Şekil 4.18. Menard GA tipi presiyometre deney aleti ve ekipmanı

Presiyometre deformasyon modülü (E_m);

$$E_m = 2(1 + \mu)(V_0 + V_m) \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (4.4)$$

Eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte Poisson oranı (ν) Menard tarafından 0.33 olarak seçilmiş olup, Centre D'Etudes Menard (1975) ve ASTM (2000) tarafından kaya ve zeminler için kullanılabilirliği Poisson oranı (ν) 0.33 olarak kabul edilmiştir.

Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından, Kömürhan Tünel güzergahı ve Kömürhan Köprüsü projesi kapsamında Menard GA tipi Presiyometre kullanılarak toplam 32 adet presiyometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait sonuçlar kullanılarak kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_m) Eşitlik 4.4 yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.9'de verilmiştir. Hesaplanan E_m değerlerine göre çizilen histogramda (Şekil 4.19) Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait E_m değerleri 0.02-2.77 GPa arasında değişmekte olup, ortalama 2.17 GPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.19. Kaya kütle deformasyon modülü (E_m) değerlerine ait histogram

Tablo 4.9. Çalışma alanında yapılan presiometre deney verilerinden hesaplanan deformasyon modülü (E_m) değerleri

Sondaj No	Deney No	Derinlik (m)	E_m (GPa)
KSK-1	P-1	3.90	0.080
KSK-1	P-2	6.90	0.020
KSK-1	P-3	11.40	2.695
KSK-1	P-4	14.40	2.710
KSK-1	P-5	17.40	2.692
KSK-1	P-6	19.40	0.810
KSK-2	P-1	11.40	0.490
KSK-2	P-2	14.40	2.680
KSK-2	P-3	17.40	2.692
KSK-2	P-4	19.40	0.150
KSK-3	P-1	2.40	2.710
KSK-3	P-2	6.90	0.060
KSK-3	P-3	10.40	0.360
KSK-3	P-4	12.90	2.673
KSK-3	P-5	20.40	2.674
KSK-3	P-6	23.40	2.660
KSK-3	P-7	26.40	2.668
KSK-3	P-8	29.40	2.640
KSK-4	P-1	2.40	2.710
KSK-4	P-2	5.40	2.708
KSK-4	P-3	8.40	2.712
KSK-4	P-4	11.40	2.705
KSK-4	P-5	14.40	2.700
KSK-5	P-1	14.40	2.704
KSK-5	P-2	17.40	2.650
KSK-5	P-3	20.40	2.680
KSK-5	P-4	24.40	2.685
KSK-6	P-1	2.40	2.730
KSK-6	P-2	5.40	2.770
KSK-6	P-3	8.40	2.750
KSK-6	P-4	11.40	2.740
KSK-6	P-5	14.40	2.740

4.4. Laboratuvar Deneyleri

Kaya malzemesinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması kaya mekaniği biliminin ve bununla ilgili tasarım uygulamalarının önemli bir parçasıdır. Kaya malzemesini mühendislik açıdan tanımlamaya yönelik özellikler indeks özellikleridir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Bununla birlikte, bu tür indeks deneylerden elde edilen veriler mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılmaktadır. Kayaçların tek eksenli ve üç eksenli sıkışma koşulları, çekilme kuvvetleri altındaki davranışları, elastisite modülü ve bunlarla ilgili parametreler mühendislik tasarımlarında dikkate alınan önemli girdi parametreleridir.

Bu çalışmada, Kömürhan Tüneli güzergahında yüzeyleme veren kayaçların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen deneylere ek olarak, araştırma sondajlarından derlenen örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, kaya malzemesinin birim hacim ağırlığı (γ), tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c), nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$), elastisite modülü (E_i) ve Poisson oranları (ν) belirlenmiştir (EK-4). Laboratuvar deney sonuçlarına ait istatistiksel değerlendirme Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Laboratuvar deneylerine ait istatistiksel sonuçlar

	Örnek Sayısı	En Az	En Çok	Ortalama	Standart Sapma
Birim Hacim Ağırlığı (γ , kN/m ³)	74	25.41	29.60	27.43	1.347
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (σ_c , MPa)	74	18.05	113.55	67.55	20.604
Düzeltilmiş Nokta Yükü Dayanım İndeksi, ($I_{s(50)}$, MPa)	24	1.24	6.45	3.98	12.214
Elastisite Modülü (E_i , GPa)	43	8,92	26,32	16,19	4.092
Poisson Oranı (ν)	43	0.208	0.329	0.269	0.037

4.4.1. Örnek Hazırlama

Kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlanması, deneylerden önceki ilk ve en önemli aşamadır. Laboratuvar boyutunda silindirik karot örneklerinin alınması, bunların kesilmesi ve yüzeylerinin düzeltilmesi amacıyla delici, kesici, düzleyici ve parlatıcı gereçler kullanılarak yapılan işlemlerin tümü, örnek hazırlama olarak tanımlanır. Örnek hazırlama ile ilgili olarak aşağıda belirtilen hususlar, özellikle ISRM (2007) ve ASTM (1994) tarafından önerilmektedir. Standartlarca kabul edilmiş karot boyu/karot çapı oranı 2.5-3.0 olduğu için, sondajdan alınan karotlar bu standartlara uygun şekilde kesilmiş ve yüzeyleri düzeltilmiştir.



Şekil 4.20 Deneyler için hazırlanmış karot örnekleri



Şekil 4.21. Nokta yükü deneyinde kullanılan karot örnekleri

4.4.2. Fiziksel Özellikler

4.4.2.1. Birim Hacim Ağırlık (γ) Deneyi

Düzenli bir geometriye sahip karot veya prizmatik kayaç örneklerinin birim hacim ağırlığı (γ) ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınarak belirlenmiştir. Düzgün bir geometrik şekle sahip biçimde hazırlanmış silindirik deney örneklerinin çapı (D) ve boyu (L), kompasla birbirine dik iki ayrı yönde, 0.1 mm duyarlılıkta ölçülür ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınır. Silindirik karot örnekleri için boy ve çap değerleri kullanılarak örneklerin hacimleri hesaplanır (V). Daha sonra doğal ağırlıkları tartıldıktan sonra örnekler 105 °C' ye ayarlanmış fırında ve en az 24 saat kurutulduktan sonra soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilir ve hassas terazi kullanılarak örneklerin kuru ağırlıkları belirlenir. Belirlenen ağırlık değerlerinin hacim değerlerine bölünmesiyle karotların birim hacim ağırlıkları belirlenir. Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü ve bu çalışma kapsamında F.Ü. Jeoloji Mühendisliği Kaya-Zemin Mekaniği Laboratuvar'ında gerçekleştirilen deneyler sonucunda, kaya malzemesinin birim hacim ağırlığı değerlerinin 25.41-29.60 kN/m³ arasında değiştiği, ortalama birim hacim ağırlık değerinin ise 27.43 kN/m³ olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.18).

4.4.3. Mekanik Özellikler

4.4.3.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi

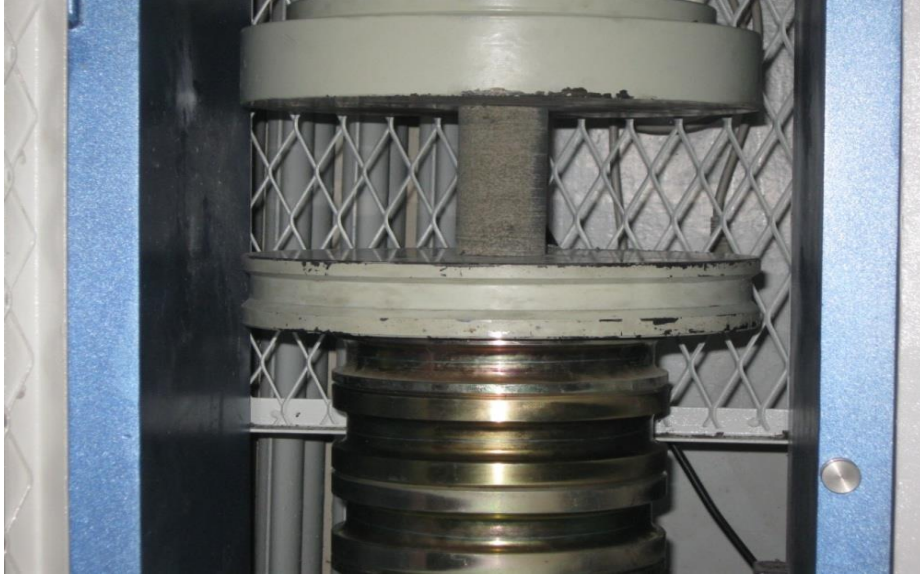
Deney silindirik bir şekilde sahip kayaç örneklerinin tek eksenli sıkışma gerilmesi altındaki dayanımını belirlemek amacıyla yapılır. Bu özellik kaya kütlesi sınıflamalarında ve jeoteknik tasarımlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (2007) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (4.5)$$

Burada,

F: Yenilme anında kaydedilen yük,

A: Silindirik örneğin kesit alanı = $\pi(D/2)^2$



Şekil 4.22. Kömürhan Ofiyolitleri' nde yapılan tek eksenli sıkışma dayanım deneyi

Çalışmada 47.00-63.00 mm çaplı karotlar üzerinde deneyler yapılmış (Şekil 4.20), deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak referans çapa (50 mm) göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown, 1980).

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{cd}}{\left(\frac{50}{D}\right)^{0.18}} \quad (4.6)$$

Bu eşitlikte;

σ_c : 50 mm çapında bir karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

σ_{cd} : D çapındaki bir örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

D: Örnek çapıdır (mm)

Laboratuar çalışmalarına göre kaya malzemesinin ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı 67.55 MPa'dır (Tablo 4.18).

4.4.3.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (Is₍₅₀₎) Deneyi

Kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımının tahmininde ve bazı kaya kütle sınıflamalarında girdi parametresi olarak kullanılan nokta yük dayanım indeksi (Is) deneyleri, ISRM (1985) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Deneyler, araştırma sondajlarından derlenen karot örnekler üzerinde uygulanmıştır (Şekil 4.23). Deneylerde kullanılan örneklerin 50±35 mm boyutunda, kalınlık/genişlik oranının ise 0.3-1.0 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Karot örneklerde ise uzunluğunun (L) çapına (D) oranı L/D=1.0-1.4 alınmıştır. Çapı ve boyu kompas ile ölçülen örnekler konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilmiş, yükleme örneklerin 10-60 s içinde kırılacak şekilde yapılmıştır. Nokta yükü dayanım indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Kaya, 2010).

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (4.7)$$

Bu eşitlikte;

Is: Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi

De: Çapsal deneyde karot çapı

P: Yenilme anındaki yüküdür.

(4.7) nolu formülle hesaplanan nokta yük dayanım indeksini referans çapa göre düzeltmek için ISRM (1985) tarafından önerilen (4.8) ve (4.9) nolu formüller kullanılmıştır. Is değeri, çapsal deneylerde D'nin diğer deneylerde ise De'nin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi;

$$Is_{(50)} = F \cdot I_s \quad (4.8)$$

eşitliğinden, boyut düzeltme faktörü (F) ise

$$F = (D_e/50)^{0.45} \quad (4.9)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F: Boyut düzeltme faktörüdür.



Şekil 4.23. Kömürhan Ofiyilitler'inde nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi

Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda kaya malzemesinin Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($Is_{(50)}$) değerlerinin 12.68 kg/cm^2 ile 65.82 kg/cm^2 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4.18).

4.4.4. Elastik Özellikler

4.4.4.1. Statik Elastisite Modülü (E_i) ve Poisson Oranı (ν)

Bu deney, silindirik şekilli sağlam kayaç karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda "gerilme-birim deformasyon" eğrilerinin çizilmesi ve Young modülü ile Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Deneyde ISRM (2007)'nin önerileri dikkate alınmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyindeki gibi, boy/çap oranı 2.5-3.0 arasında olacak şekilde, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz, düz ve herhangi bir kırık-çatlak içermeyen karot örnekleri hazırlanır. Birim deformasyon ölçerler (strain gauges), uygulamada genellikle deneye tabi tutulacak örneğin silindirik yüzeylerin orta noktasına biri yatay, diğeri düşey yönde olacak şekilde yapıştırılır. Bununla birlikte, karşılıklı iki tanesinin ortalamasını alabilmek ve daha doğru sonuç elde edebilmek için, ISRM (2007) eşit aralıklarla yerleştirilmiş en az ikişer birim deformasyon ölçerin (ikisi

çevresel, ikisi de eksenel) kullanılmasını önermektedir. Örneğin aşırı derecede nemli olması halinde, deformasyon ölçerlerin örnek yüzeyine yapıştırılması sırasında sorun çıkabileceği de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle örnek önce havada kurutulmalıdır. Deney örneği prese yerleştirildikten sonra, birim deformasyon ölçerlerin uçları bağlantı kabloları aracılığıyla birim deformasyon göstergesinin iki ayrı kanalına bağlanır. Birim deformasyon göstergesinin her iki kanalı da sıfırlanır ve yükleme yapılmadan önce ilk değerler okunur. Örneğin 5 ile 10 dakika arasında yenilmesini sağlayacak bir yükleme hızı seçilerek, bu hız preste ayarlanır veya alternatif olarak 0.5-1 MPa/s' lik bir gerilme hızı uygulanır. Sabit yükleme altında, belirli yük düzeylerinde düşey ve yatay birim deformasyonlar, birim deformasyon ölçerlerin bağlı olduğu kanallardan; bu değerlere karşılık gelen eksenel (düşey) yük değerleri ise, presin üzerindeki göstergeden birlikte okunarak kaydedilir. Deneyde en az 10 adet okuma yapılmalıdır. Belirli yükleme aşamalarında yapılacak okumalar için izlenebilecek bir yol da, ilk okumaların deney örneğinin tahmin edilen tek eksenli sıkışma dayanımının %5' ine karşılık gelen yük değerinde alınması, daha sonraki okumaların da dayanımın %10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 ve 60'ına karşılık gelen yük seviyelerinde yapılmasıdır. İstenirse, kayaç örneği yenilene değin deneye devam edilerek daha çok sayıda okuma alınabilir.

Bu çalışmada, Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından yaptırılan Elastisite Modülü (Em) ve Poison Oranı (v) deneylerine ait sonuçlar kullanılmıştır. Bu deneylere ait istatistiksel sonuçlar ise Tablo 4.18'de verilmiştir.

4.5. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri

Kaya kütlelerinde yapılan jeoteknik esaslı çalışmalarda uygulanan tasarım yöntemleri genel anlamda, analitik-sayısal, gözleme dayalı ve görgül (ampirik) olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir. Kaya mekaniği uygulamalarında kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli sınıflandırma sistemlerine gereksinim duyulmuştur. Mühendislik jeolojisi çalışmalarında tasarımın ayrılmaz bir parçası olan bu sistemler, uzun yıllar süren gözlemlere bağlı olarak geliştirilen ve istatistiksel değerlendirmeler esas alınarak önerilmiş yöntemlerdir. Bu çalışmada, Kömürhan Ofiyolitleri Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflama Sistemi (RMR), Kaya Kütle İndeksi Sınıflama Sistemi (RMi) ve Jeolojik Dayanım İndeksi Sınıflama Sistemi'ne (GSI) göre sınıflandırılmıştır.

4.5.1. Jeomekanik Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR)

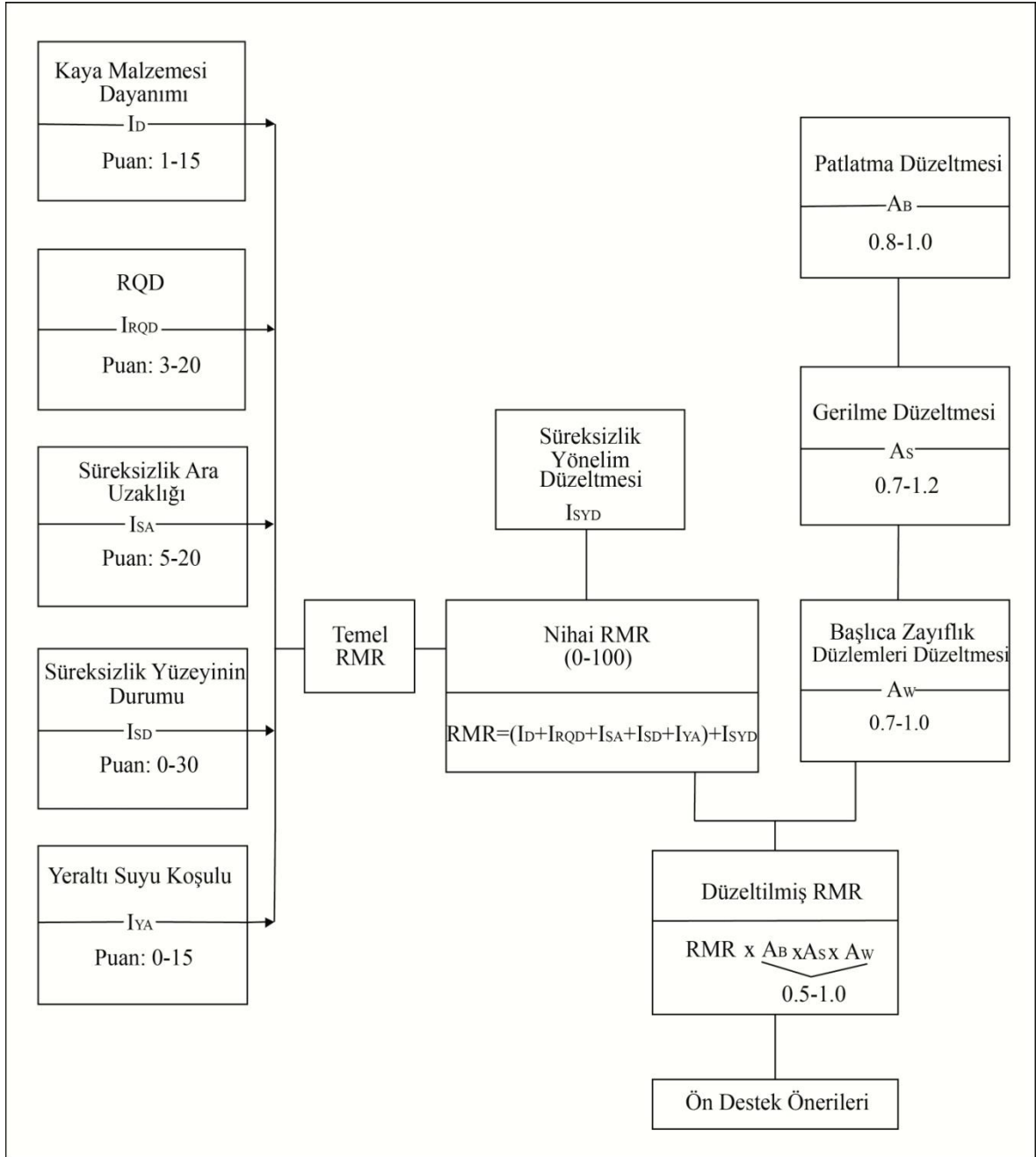
Görgül bir kaya kütle sınıflama sistemi olan RMR Sınıflama Sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda yöntem, eldeki bir çok mevcut durum ve karşılaşılan mühendislik probleminin amacına yönelik olarak modifiye edilmiş (Laubscher, 1977 ve 1984; Weaver, 1975; Olivier, 1979 ve Ghose ; Nakao vd., 1983; Kendorski vd., 1983; Ünal, 1983; Serafim, 1983; Gonzalez, 1983; Romana,1985) ve son halini 1989 yılında yapılan değişikliklerle almıştır (Bieniawski, 1989).

RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır;

- Kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı veya nokta yük dayanım indeksi,
- Kaya kalitesi göstergesi (% RQD)
- Süreksizlik ara uzaklığı
- Süreksizliklerin durumu (devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma)
- Yeraltı suyu durumu

Sistemde bu parametrelerle beraber parametrelere ait puan değerleri yer almakta, hat etütlerinden ve bir dizi laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlara göre parametrelere verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılmaktadır. Tablo 4.11’da RMR kaya sınıflama sisteminin 1989’daki son versiyonu ve bu sisteme göre verilen puanlar görülmektedir.

Hat etütlerinden ve bir dizi laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlara göre parametrelere verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri RMR sistemine göre sınıflandırılmaktadır. Çalışmada, RMR sistemi kullanılarak düzeltilmiş RMR sınıf puanının tayin edilmesinde izlenmiş olan akış şeması Şekil 4.24’de verilmiştir.

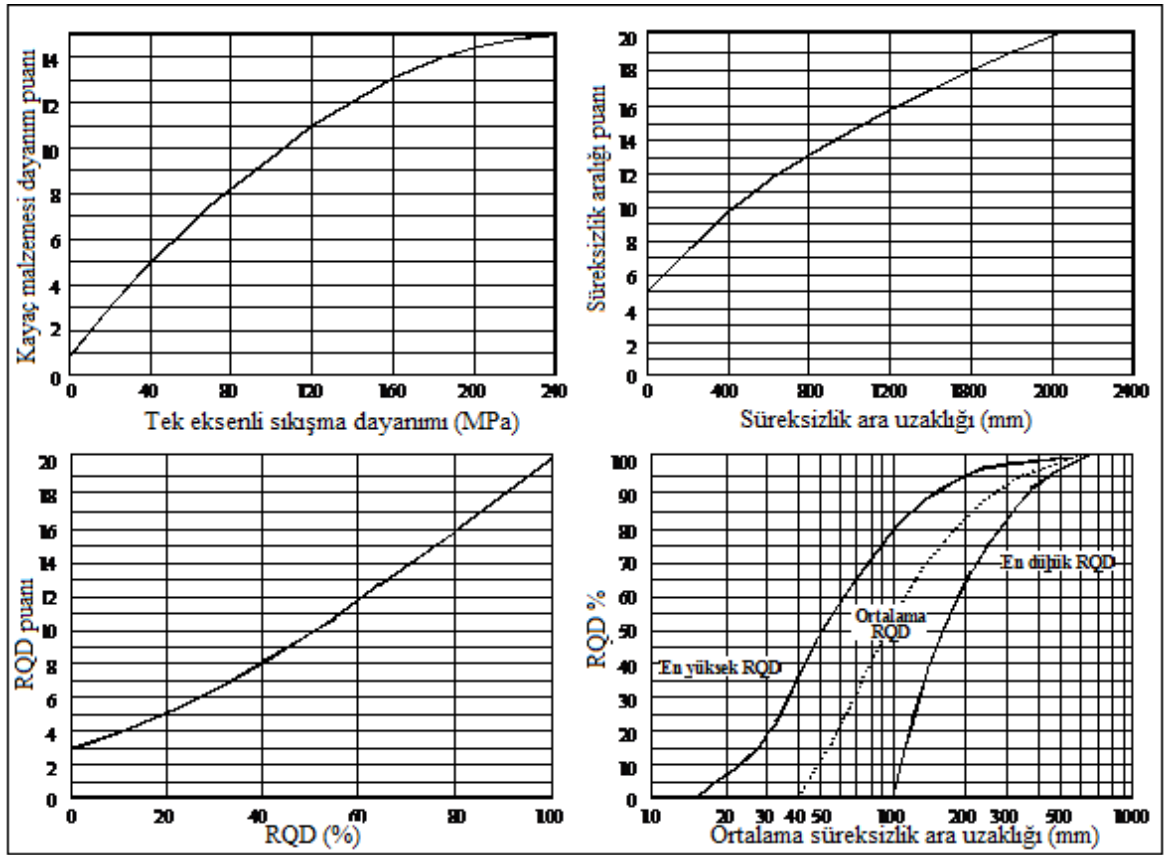


Şekil 4.24. RMR puanını hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması (Bieniawski, 1989)

Tablo 4.11. RMR kaya kütlesi sınıflama sistemin parametlerin puanlama tablosu(Bieniawski, 1989)

1	Kaya Malzemesinin Dayanımı (MPa)	Nokta yük dayanım indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
		Puan	15	12	7	4	2	1	0
2	Kaya Kalite Göstergesi, RQD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik Ara Uzaklığı (cm)		>200	60-200	20-60	20-6	<6		
	Puan		20	15	10	8	5		
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20		
		Puan	6	4	2	1	0		
		Açıklık (mm)	Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5		
		Puan	6	5	4	1	0		
		Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan		
		Puan	6	5	3	1	0		
		Dolgu	Yok	<5 mm (sert)	>5 mm (sert)	<5 mm (yumuşak)	>5 mm (yumuşak)		
		Puan	6	4	2	2	0		
		Bozunma	Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş		
		Puan	6	5	3	1	0		
5	Yeraltısuyu (lt/dk)	10 m'lik kısımdan gelen su	Yok	10	25	25-125	>125		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		

RMR sınıflama sisteminin 1989'daki son versiyonuna kadar, sistemin ilk üç parametresi olan dayanım, RQD ve süreksizlik aralığı için yapılan değerlendirilmelerde belli aralıklardaki parametrelere ilişkin puanlar, aralıkların sınır değerlerini de kapsamaktaydı ve uygulamada ise bu durum çeşitli hatalara neden olmaktaydı. Bu üç parametre için daha hassas bir puanlamanın yapılabilmesi amacıyla Bieniawski (1989), ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri esas alarak, çeşitli grafikler geliştirmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri (Bieniawski,1989)

Tablo 4.12. RMR Sistemi'nde süreksizliklerin durumunun puanlandırılması için kılavuz (Bieniawski, 1989)

Parametre	Puanlar				
Devamlılık	< 1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)
Açıklık	Yok (6)	< 0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu	Yok (6)	Sert dolgu < 5 mm (4)	> 5 mm (2)	Yumuşak dolgu	
				<5 mm (2)	> 5 mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az bozunmuş (5)	Orta derecede bozunmuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok bozunmuş (0)

Kaya kütlesinin temel RMR değerleri Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Şekil 4.25 kullanılarak hesaplanır. Bu aşamadan sonra tünel güzergahındaki kaya kütlesinin içerdiği süreksizliklerin yönelimlerine (Tablo 4.1) göre düzeltmeler yapılır. Süreksizlik yönelimine göre yapılan düzeltmelerde Tablo 4.13 ve Tablo 4.14 kullanılır.

Tablo 4.13. Tünelde süreksizlik eğim ve eğim yönünün etkisi (Bieniawski, 1989)

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Eğim 0-20° arasında (doğrultuya bakılmaksızın)
Eğim yönünde ilerleme	Eğime karşı ilerleme	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-90°	Eğim 45°-90°	Eğim 45°-90°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta
0	-2	-5	-10	-10	-12	-5

Tablo 4.14. Süreksizlik yönelimine göre düzeltme (Bieniawski, 1989)

Doğrultu, eğim	Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç değil	uygun
Tünel	0	-2	-5	-10	-12	
Puan	0	-2	-7	-15	-25	
Şev	0	-5	-25	-50	-60	

Kaya kütlesi sınıfı, yukarıda belirtilen işlemlerin yapılmasıyla elde edilen düzeltilmiş RMR puanına göre Tablo 4.15'den, destek sistemi ise Tablo 4.16'den belirlenir.

Tablo 4.15. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski,1989)

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

Tablo 4.16. RMR sistemine göre tünel kazıları ve destekleri için kılavuz (Bieniawski, 1989)

BİRİNCİL DESTEK				
Kaya Kütle Sınıfı	Kazı	Kaya sapmaları * (10 m genişlikteki tünel için uzunluk)	Püskürtme beton	Çelik destek
I	Tam kesit, 3 m ilerleme.	Bir miktar kaya saplaması haricinde genellikle destek gerektirmez.		
II	Tam kesit, 1.0-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 m' sinde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-2.5 m aralıklı.	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm.	Gerekmez
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek. Aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli.	3-4 m uzunlukta sistematik saplamalar, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2 m aralıklı.	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 30 mm.	Gerekmez
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.0-1.5 m ilerleme. Kazıya uygun şekilde aynaya 10 m mesafeye kadar, gerekli destek.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik saplama.	Tavan kemerinde 100-150 mm ve yan duvarlarda 100 mm.	Gereken yerde 1.5 m aralıklı yer yer hafif traversler.
V	Tavan ve tabanda birlikte ilerleme. Tavandan 0.5-1 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlamadan hemen sonra püskürtme beton uygulanmalı.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik saplama.	Tavan kemerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm, aynada 50 mm.	Çelik iksalı, 0.75 m aralıklı orta-ağır traversler.

*20 mm çaplı tamamen reçine bağlantılı

Kömürhan Tüneli güzergahında yüzeyleyen kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerden alınan süreksizlik ölçümleri, laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ve Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından açtırılmış olan araştırma sondajlarından derlenen veriler kullanılarak SK-1+550, SK-2+050, SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 nolu araştırma sondajlarının bulunduğu yerler için RMR kaya kütle sınıflamaları yapılarak destek sistemleri belirlenmiştir (Tablo 4.17 ve Tablo 4.18).

Tablo 4. 17. Kömürhan Tünel güzergahı için yapılan Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Araştırma Sondajı No	SK-1+550		SK-2+050		SK-2+630		SK-2+960		SK-3+200	
	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan
RQD (%)	69	14	48	10	55	11	44	9	54	10
σ_c (MPa)	66.32	7	74.05	8	74.43	8	58.97	6	67.08	7
Aralık (cm)	7.32	6	7.32	6	7.32	6	7.32	6	7.32	6
Açıklık (mm)	0.293	4	0.293	4	0.293	4	0.293	4	0.293	4
Devamlılık (m)	2.73	4	2.73	4	2.73	4	2.73	4	2.73	4
Pürüzlülük	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Dolgu	Yok	6	Yok	6	Yok	6	Yok	6	Yok	6
Bozunma	Az	5	Az	5	Az	5	Az	5	Az	5
Su durumu	Kuru	15	Kuru	15	Kuru	15	Kuru	15	Kuru	15
Temel RMR Puanı	66		63		64		60		62	

Tablo 4.18. Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütesinin düzeltilmiş RMR değerleri ve destek sistemleri

	SK-1+550	SK-2+050	SK-2+630	SK-2+960	SK-3+200
Temel RMR değerleri	66	63	64	60	62
Süreksizlik yönelimine göre düzeltme puanları	-5	-5	-5	-5	-5
Düzeltilmiş RMR değerleri	61	58	59	55	57
Kaya Kütle Sınıfı	Orta Kaya	Orta Kaya	Orta Kaya	Orta Kaya	Orta Kaya
Destek sistemleri	Tavan kimeri ve tabandan ilerleme Kemer ve duvarlarda 1.5-2 m aralıklı, 3-4 m uzunlukta tel kafesli sistematik kaya bulonu Tavan kimerinde 50-100mm, yan duvarlarda ise 30 mm kalınlıkta püskürtme beton				

Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütesi için yapılan RMR kaya kütle sınıflamalarına göre (Tablo 4.18) kaya kütesinin sınıfı “Orta” dır.

4.5.2. Kaya Kütle İndeksi (R_{Mi}) Sınıflama Sistemi

Kaya Kütle İndeksi Sınıflama Sistemi (R_{Mi}) ilk defa Palmström (1995) tarafından önerilmiştir. Eklemlili ve masif kaya kütlelerinin; tasarımı, kaya kütle dayanımı, kaya kütle deformasyon modülü, Hoek-Brown kaya kütle sabitlerinin (s , m_b) belirlenmesi, yeraltı açıklıklarının kaya destek tasarımında, duraylılığında ve tünel açmada kullanılan tünel delme makinesinin (TBM) performans değerlendirmesinde, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu’nun sayısal olarak tanımlanmasında kullanmıştır (Palmström 1995 ve 1996). Beş yıllık pratik uygulamalardan sonra kaya kütle destek sisteminde önemli gelişmeler ve değişikliklerle, tünel çapı ve blok hacmini girdi parametresi olarak kullanmış ve kaya kütlelerinin ön destek tahmini geliştirilmiştir.

Kaya Kütle İndeksi (R_{Mi}) eklemlili kaya kütlelerinde aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır;

$$RMR = \sigma_c jP = \sigma_c 0.2 \sqrt{jC} V_b^D \quad (D = 0.37jC^{-0.2}) \quad (4.10)$$

Burada;

σ_c = Sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

Eklem Faktörü (JC); Eklem uzunluğu jL , (m), Eklem pürüzlülüğü (jR), ve Eklem alterasyonu (jA) kullanılarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$JC = jL \frac{jR}{jA} \quad (4.11)$$

V_b = Blok hacmi (m^3),

JP = Eklem parametresi,

$$JP = 0.2\sqrt{j}\bar{C}V_b^D \quad (4.12)$$

Blok hacmi aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Palmström, 2000);

$$V_b = \beta J_v^{-3} \quad (4.13)$$

Burada, β blok şekli faktörü, J_v ise hacimsel eklem sayısıdır. J_v 'nin hesaplanmasında RQD kullanılarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Palmström, 2000);

$$J_v = 35 - \frac{RQD}{3.3} \quad (4.14)$$

Blok şekli faktörü (β) ise (Palmström, (2000) tarafından önerilen

$$\beta = 20 + 7 \times (S_{\max}/S_{\min}) \quad (4.15)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Burada;

$S_{\max}$: Bloğun en uzun kenar uzunluğu

$S_{\min}$: Bloğun en kısa kenar uzunluğudur.

RMi kaya kütle sınıflama sistemindeki süreksizlik faktörünün (jC) belirlenmesinde kullanılan jR değeri Tablo 4.19'den, jL değeri Tablo 4.20'den, jA değeri ise Tablo 4.21'den belirlenmektedir.

Tablo 4.19. Süreksizlik pürüzlülük faktörü – jR (Palmström, 2000)

Pürüzlülük	Dalgalılık				Basamaklı yada iç içe girmiş
	Düzlemsel	Az dalgalı	Dalgalı	Çok dalgalı	
Düzensiz yada basamaklı	3	4.5	6	9	12
Çok pürüzlü	2	3	4	6	8
Pürüzlü	1.5	2	3	4.5	6
Düzlemsel	1	1.5	2	3	4
Sürtünme izli, kaygan	0.5-1	1	1.5	2	3
Dolgulu süreksizlikler için $J_R = 1$ alınır					

Tablo 4.20. Süreksizlik yüzeyi bozunma faktörü – jA (Palmström, 2000)

a) Süreksizlik yüzeyleri temasta			
Süreksizlik yüzeyi özelliği		Tanımlama	JA
	Kapalı süreksizlikler	Yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars ve epidot)	0.75
Süreksizlik yüzeyi temiz	Bozunmamış süreksizlik yüzeyleri	Bozunmamış süreksizlik yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme (demir boyaması)	1
	Bozunmuş süreksizlik yüzeyleri	Taze kaya yüzeyinden bir derece yüksek bozunma	2
		Taze kaya yüzeyinden iki derece yüksek bozunma	4
Sıvama yada ince dolgu	Birikinti malzemesi	Kil haricinde silt, kum veya kalsit dolgu	3
	Kohezif malzeme	Kil, klorit veya talk dolgu	4
b) Süreksizlik yüzeylerinde temas yok yada yer yer dolgulu süreksizlikler			
		Süreksizlik yüzeylerinde yer yer temas var	Süreksizlik yüzeylerinde temas yok
Dolgu türü	Tanımlama	İnce dolgu (ortalama 5 mm)	Kalın dolgu
Birikinti malzemesi	Kil haricinde silt, kum veya kalsit dolgu	4	8
Sert kohezif malzeme	Sıkıca bağlanmış kil, klorit veya talk dolgu	6	10
Yumuşak kohezif malzeme	Orta ve az konsolide olmuş kil, klorit veya talk dolgu	8	12
Şişen kil malzeme	Şişen dolgular	8-12	12-20

Tablo 4.21. Süreksizlik uzunluk faktörü – jL (Palmström, 2000)

Süreksizlik Uzunluğu (m)	Süreksizlik türü		
		Sürekli*	Süreksiz
<0.5	Kırık	4	8
<1	Foliasyon	3	6
0.1-1	Kısa süreksizlik	2	4
1-10	Orta uzunlukta süreksizlik	1	2
10-30	Uzun ve geniş süreksizlik	0.75	1.5
>30	Dolgulu, demir boyamalı yada makaslanmış süreksizlikler	0.5	1
*Sürekli süreksizlikler masif bir kayada son bulur			

Yukarıda belirtilen işlemlerin yapılmasıyla kaya kütleleri için belirlenen R_{Mi} değerlerinin değerlendirilmesi Tablo 4.22'a göre yapılmaktadır.

Tablo 4.22. R_{Mi} değerlerinin tanımlamaları (Palmström, 2000)

R _{Mi} değeri	Sınıf
100-40	Çok yüksek
40-10	Yüksek
10-1	Orta
1-0.4	Düşük
0.4-0.1	Çok düşük
0.1-0.01	Oldukça düşük

Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütlesi R_{Mi} kaya kütle sınıflama sitemine göre değerlendirilmiş (Tablo 4.23) ve destek tipleri belirlenmiştir (Tablo 4. 24). Yapılan sınıflamalara göre tünel güzergahındaki kaya kütlesi “Orta” kaya sınıfındadır.

Tablo 4. 23. R_{Mi} kaya kütler sınıflama siteminde kullanılan parametreler ve bu parametrelere ait değerler

	SK-1+550	SK-2+050	SK-2+630	SK-2+960	SK-3+200
Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c , MPa)	66.32	74.05	74.43	58.97	67.08
Hoek-Brown kaya malzemesi sabiti, (m_i)	27	27	27	27	27
Eklem pürüzlülüğü (J_R)	2	2	2	2	2
Eklem alterasyonu (J_A)	1	1	1	1	1
Eklem uzunluğu (J_L)	1	1	1	1	1
Eklem devamlılık durumu	1	1	1	1	1
Blok hacmi (V_b , m ³)	0.00426	0.00193	0,00246	0,00170	0,00237
RQD (%)	69	48	55	44	54
Hacimsel eklem sayısı (J_v)	14.09	20.46	18.33	21.67	18.64
Ortalama eklem aralığı (S_A , m)	0.0732	0.0732	0.0732	0.0732	0.0732
Blok şekli faktörü (β)	40	40	40	40	40
Eklem seti sayısı (n_j)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
R_{Mi} Puanı	3.23	2.80	3.04	2.14	2.71

Tablo 4.24. Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin R_{Mi} değerleri ve destek sistemleri

	SK-1+550	SK-2+050	SK-2+630	SK-2+960	SK-3+200
R _{Mi} değerleri	3.23	2.80	3.04	2.14	2.71
Kaya Kütle Sınıfı	Orta				
Destek sistemleri	Tavanda 1 m aralıklı 1 m uzunluğunda çelik hasırlı kaya bulonu ve 150-250 mm kalınlığında püskürtme beton				

4.5.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)

İlk kez Hoek vd. (1995) tarafından önerilen Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) 1995 yılında RMR'nin yerine Hoek-Brown Yenilme Ölçütüne dahil edilerek kaya kütlesi sabitlerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta, RMR ve Q sınıflaması puanlarıyla ilişkilendirilen GSI, daha sonraki yıllarda yapılan değişikliklerle tek başına bir sınıflama sistemi olarak ölçütteki yerini korumuştur. GSI, sağlam kaya için alınan 85 çok düşük kaliteli kaya kütleleri için alınan 10 arasında değişmektedir. Hoek vd. (1995), önerdikleri son değişikliklerde GSI'yi kullanarak kaya kütle sabitlerini (mb, s ve a) belirlemişlerdir.

Hoek vd. (1995) GSI'nin RMR ve Q kaya kütlesi sınıflama sistemleriyle ilişkisini incelemişler ve aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir. GSI'nın tahmini için RMR'nin 1976 versiyonunun kullanılması durumunda; $RMR_{76} > 18$ olması koşuluyla,

$$GSI = RMR_{76} \quad (4.16)$$

eşitliği alınabilir. GSI'nın tahmini için RMR nin 1989 versiyonunun kullanılması durumunda ise $RMR_{89} > 23$ olması koşuluyla,

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (4.17)$$

eşitliği kullanılır.

GSI'nın tahmini için modifiye edilmiş Q değeri (Q') aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$Q = \frac{RQD * j_r}{J_n * J_a} \quad (4.18)$$

Modifiye edilmiş Q değeri (Q') GSI'nın tahmini için aşağıdaki eşitlikte kullanılır (Hoek vd., 1995).

$$GSI = 9 \log_e Q' + 44 \quad (4.19)$$

Jeolojik Dayanım İndeksi'nde 1997 yılında değişiklikler yapılarak RMR ve Q sistemlerinden bağımsız bir sistem haline getirilmiştir (Hoek ve Brown, 1997). Bir abak haline dönüştürülen GSI sınıflama sistemi; bloklu, çok bloklu, bloklu/örselenmiş ve parçalanmış olmak üzere dört kaya grubundan oluşmaktadır. Burada sisteme bir puanlama kavramıda dahil edilmiştir. GSI'nın bir sınıflama sistemi olarak önerilmesinden sonra Hoek vd., (1998) ve Hoek (1999) GSI sınıflamasına foliasyonlu veya laminalanma düzlemleri içeren, sağlam veya masif kaya grubunda ekleyerek GSI sınıflama sistemindeki kaya grubunu altıya çıkarmıştır. Ölçütün gerek 1995, gerekse 1997'deki değişikliklerinde yer alan kaya kütle sabitlerinin hesaplanmasında kullanılan GSI küçük bir değişime uğradığında kaya kütlesi sabitlerini doğrudan etkilemektedir. Bu hususu göz

önünde bulunduran araştırmacılar (Sönmez ve Ulusay, 1999; Ulusay ve Sönmez, 2000) süreksizlik yüzeyi koşulunun ve kaya kütlesi yapısının doğru ve duyarlı bir şekilde tayini amacıyla ölçülebilen veya tanımlanabilen bir puanlama sistemine geçilmesini ve bu amaçla Yapısal Özellik Puanı (SR) ve Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR) olarak tanımlanan iki özelliğin sisteme dahil edilmesi önerilmiştir. Süreksizlik Yüzey Koşulu puanı

$$SCR = R_r + R_w + R_f \quad (4.20)$$

ifadesinden hesaplanmaktadır. Burada, R_r , R_w ve R_f sırasıyla; süreksizliklerin pürüzlülük, bozunma ve dolgu puanları olup, burada Bieniawski (1989) tarafından bu değişkenlere verilen puanlar kullanılmıştır. Sönmez ve Ulusay (1999) Yapısal Özellik Puanı'nın (SR) belirlenmesi amacıyla

$$J_v = (N/L)^3 \quad (4.21)$$

$$J_v = (1/S)^3 \quad (4.22)$$

eşitliklerini önermişlerdir.

Burada;

N: eklem sayısı,

L: ölçüm hattının uzunluğu

S: ortalama süreksizlik aralığıdır.

J_v için ISRM (1981) tarafından önerilen aralıklar esas alınmış ve ayrıntısı Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından verilen bir yaklaşımla Yapısal Özellik Puanı (SR) GSI sistemine uyarlanmıştır. Bu düzenlemeye göre SR ve SCR puanları esas alınarak Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen abakda ki kesim noktasından GSI belirlenir.

Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen sayısal GSI abağı, orijinal GSI abağına Hoek (1999a) tarafından eklenen "sağlam veya masif kaya" sınıfı dikkate alınarak modifiye edilmiştir (Sönmez ve Ulusay, 2002). Hoek-Brown yenilme ölçütü en az üç eklem takımına sahip, homojen ve izotrop kaya kütleleri ile kaya malzemelerinin dayanımlarının belirlenmesi amacıyla önerilmiştir. Laminalı-foliasyonlu kaya kütlelerinde dayanım farklılığının (anizotropiye göre) daha da önem kazanması, ölçütün bu tür kaya kütlelerinde uygulanmasına olanak sağlamamaktadır. Bu nedenle, Sönmez ve Ulusay (2002) sayısal GSI abağıyla ilgili değişiklikleri yaparlarken laminasyonlu - foliasyonlu kaya kütlelerini dikkate almamışlardır. Ayrıca sayısal GSI abağında yer alan J_v -SR ilişkisi "sağlam veya masif kaya grubunu da içerecek şekilde ve ISRM (1982) tarafından $J_v < 1$ eklem/m³ olan kaya kütleleri için yapılan "çok geniş bloklar" tamını da dikkate alınarak yeniden düzenlemişlerdir. Sayısal GSI sisteminin bu son şekli Şekil 4.26'de verilmiştir.

Sayısal GSI abağında kullanılan J_v için Sönmez ve Ulusay (2002) bazı yeni önerilerde bulunmuşlardır. Bir kaya kütleğinde süreksizlik takımı sayısı,

$$D_n = N/2 \quad (4.23)$$

ifadesinden tahmin edilebilir. Burada D_n tahmini süreksizlik seti sayısı, N ise kaya bloğunun yüzey sayısıdır. Sık eklemli kaya kütleğinde J_v ; kaya kütleğinin homojen ve izotrop olduğı kabul edilerek ve ortalama süreksizlik aralığı (S) esas alınarak belirlenmiştir Sönmez ve Ulusay (2002).

$$J_v = D_n \left(\frac{1}{S} \right) \quad (4.24)$$

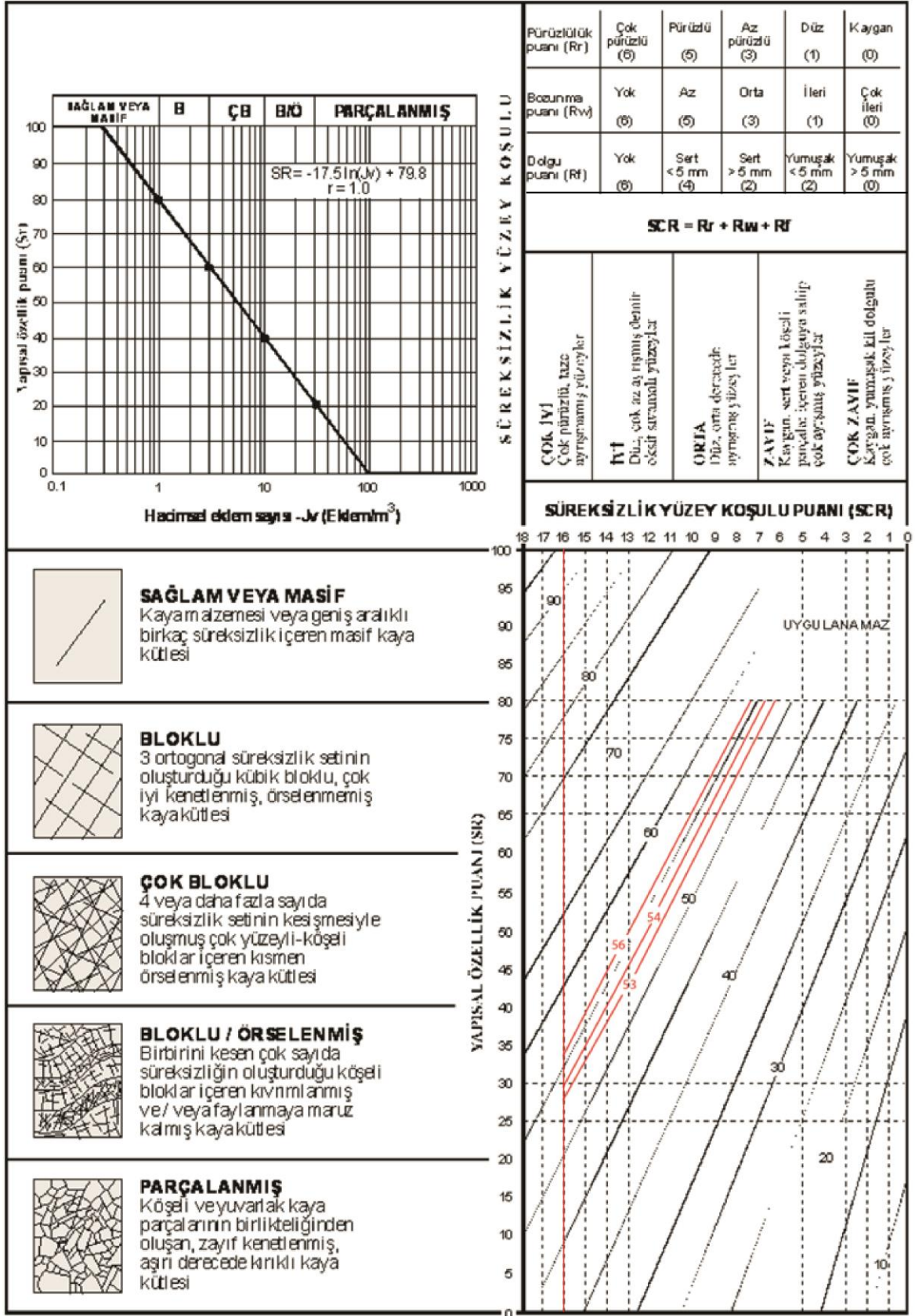
Bu çalışmada silttaşları için GSI'nın hesaplanmasında Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen niceliksel GSI Sınıflama Sistemi kullanılmıştır. Ancak bu sınıflamada Yapısal Özellik Puanının (SR) belirlenmesinde kullanılan hacimsel eklem sayısı (J_v), Palmström (2000) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$J_v = 35 - \frac{RQD}{3.3} \quad (4.25)$$

Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütleği, GSI kaya kütle sınıflama sitemine göre kaya grubu “Bloklu-Örselenmiş” olarak belirlenmiştir (Tablo 4.25).

Tablo 4.25. Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütleğinin GSI değeri ve kaya grubu

	SK-1+550	SK-2+050	SK-2+630	SK-2+960	SK-3+200
SCR			16		
SR	33.5	26.98	28.9	25.97	28.61
GSI Puanı	56	53	54	52	54
Kaya Grubu (Sönmez ve Ulusay, 2002)	Bloklu/Örselenmiş birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren kıvrımlanmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleğisi				



Şekil 4.26. Sönmez ve Ulusay (1999)’ın önerdiği niceliksel GSI Sınıflama Sistemi Abağı’nın “Sağlam ve Masif” kaya grubu da eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali (Sönmez ve Ulusay, 2002).

5. SAYISAL ANALİZLER

Bu bölümde, jeoteknik birimlere ait jeoteknik ve jeomekanik parametreler kullanılarak tünel kazısı esnasında oluşan ikincil gerilmelerin dağılımları, kazı etrafındaki deformasyonlar ve kaya kütleleri ile örtüşen uygun destek sistemleri Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile incelenmiştir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM)'nde herhangi bir ortam, sonlu eleman denilen parçacıklara bölünmektedir. Elemanlar birbirine düğüm noktaları denilen köşe noktalarında bağlanmaktadır. Eleman içindeki gerçek deplasman değişimi bazı basit fonksiyonlar (genellikle polinomlar) seçilerek düğüm noktalarındaki değerler cinsinden yaklaşık olarak ifade edilir. Düğüm noktalarındaki ve sonradan bulunması gereken deplasman bileşenlerine ise serbestlik derecesi adı verilmektedir. Yöntemde, önce bir eleman için davranış denklemleri kullanılarak düğüm noktalarının deplasmanları hesaplanır. Tüm yapının davranış denklemleri ise yapıyı oluşturan elemanların denge denklemlerinin, elemanlar arasındaki deplasman sürekliliği sağlayacak şekilde toplanması ile bulunur. Elde edilen bu denklemler, bilinen deplasman sınır şartlarını sağlayacak şekilde değiştirildikten sonra ortaya bilinmeyen değişkenleri deplasmanlar olan bir lineer cebirsel denklem takımı çıkar. Denklem takımının çözümü ile de düğüm noktalarındaki deplasmanlar hesaplanmış olur. Yapıda oluşan şekil değiştirme ve gerilme bileşenleri ise hesaplanan deplasman değerlerinden, sonradan türev almak suretiyle elde edilirler.

Bu çalışmada, Rocscience (2008) tarafından geliştirilen “Phase2 v7.0” (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Phase2 programı, “Hibrit elemanlar yöntemi” (Sınır elemanlar ve sonlu elemanlar yönteminin karmasından oluşan sayısal yöntem) ile modellenen tünel-zemin sisteminde, kazı ve destekleme yöntemine uygun olarak değişen ardışık gerilme dağılımlarının incelenmesine olanak sağlamaktadır. Modellemeler ve analizler, tünel kazı aşaması ve destek sistemi uygulaması sırasında meydana gelebilecek en elverişsiz durumlarla karşı karşıya kalınacağı hesaba katılarak yapılmıştır. Kömürhan tüneli 12 m genişliğinde, 8 m yüksekliğinde, 19 m mesafeli çift tüp kazı kesitleri oluşturulmuştur. Jeoteknik birimler için yapılan modellemde detay analiz için kazı etrafında hassas zonlama yapılmış ve üç düğüm noktalı üçgen sonlu elemanlar kullanılmıştır.

Sayısal analizler için oluşturulan modellerin üst kısımları, örtü yüksekliği göz önüne alınarak sınırlandırılmıştır. Kazı etrafında oluşacak plastik zonun genişliğini ve yenilen

sonlu elemanları belirlemek için yapılan analizlerde, Hoek vd. (2002) tarafından önerilen yenilme kriterinden yararlanılmıştır.

Tünelin açılacağı derinlikte oluşacak düşey gerilme (σ_v) miktarı, örtü yüküne bağlı olarak derinlikle birlikte arttığı kabulünden yola çıkarak Fenner (1938) tarafından aşağıda önerilen eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma = \gamma \cdot H \quad (5.1)$$

Burada; γ : birim hacim ağırlık (MN/m³) ve H: örtü yükü kalınlığıdır (m).

Örselenmemiş yatay gerilme (σ_h) miktarını ölçmek oldukça zordur. Yatay gerilme, sığ derinliklerde oldukça değişkendir ve derinlere inildikçe hidrostatik olarak artma eğilimindedir. Bu çalışmada, tünelin açılacağı derinlikte oluşacak yatay gerilme miktarını belirlemek için Sheorey vd. (2001) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_h = \frac{\nu}{\nu-1} \sigma_v + \frac{\beta E_m G}{1-\nu} (H + 1000) \quad (5.2)$$

Burada; β : lineer ısı genleşme katsayısı ($8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), G: jeotermik gradyan (0.024 $^{\circ}\text{C}/\text{m}$), ν : kaya kütlelerinin poisson oranı, H: örtü yükü kalınlığı (m) ve E_m ise kaya kütlelerinin deformasyon modülüdür (GPa).

Kömürhan Tünel Projesi'nin bulunduğu bölge yıkıcı özellikte deprem oluşturacak özeliğe sahip Doğu Anadolu Fay Zonu'na (DAF) oldukça yakındır ve meydana gelen güçlü depremler bölgede hissedilmektedir. Çalışma alanı, 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır ve bölgede beklenen ivme değeri ise 0.40-0.50 g arasındadır. Bölgenin depremselliğinin incelendiği Bölüm 1.1.4'te yapılan deprem risk analizlerinden Kömürhan Bölgesi'nde etkin olan yatay yer ivmesi 0.40 g olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle, analiz modellerine yatay yer ivmesi 0.40 g olacak şekilde ek sismik yük eklenerek deprem etkisi de dikkate alınmıştır.

Phase2 programı ile tünel modellemesi üç aşamada yapılmıştır. İlk aşamada kazı yapıldıktan sonra tünel etrafında gelişen ikincil gerilme dağılımları, yenilme noktaları ve yer değiştirmeler belirlenmiştir. İkinci aşamada, jeoteknik birimler için RMR ve R_{Mi} kaya kütle sınıflama sistemlerine göre önerilmiş ön destek tasarımı kazı modeline uygulanmıştır. Bu destek elemanlarının deformasyonları ne ölçüde azalttıkları belirlenerek destek

elemanlarının uygulanabilirlikleri araştırılmıştır. Son aşamada ise, bu çalışmada belirlenen destek sistemleri uygulanarak bu destek sistemlerinin uygulanmasından sonra meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir.

Modellerde kullanılan destek elemanlarının özellikleri Tablo 4.26 ve 4.32’de, analizlerde kullanılan kaya kütlelerine ait özellikler Tablo 5.1’de, destek elemanı olarak kullanılan püskürtme beton, kaya bulunu ve çelik hasıra ait KGM (2006) teknik şartnamesinde verilen sınır karakteristik değerler ise Tablo 5.2’de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 5.1. Sayısal analizlerde kullanılan jeoteknik birimlere ait özellikler

	SK-1+550	SK-2+050	SK-2+630	SK-2+960	SK-3+200
ν	0.269	0.249	0.312	0.29	0.232
E_m , MPa	2170	2170	2170	2170	2170
σ_{ci} , MPa	66.32	74.05	74.43	58.97	67.08
GSI	56	53	54	52	54
σ_{cm} , MPa	21.12	22.21	22.77	17.33	20.52
E_i , MPa	16700	17670	12120	11080	19680
MR	450	450	450	450	450
γ , kN/m ³	26.08	26.49	26.78	25.95	26.45
m_i	27	27	27	27	27
m_b	5.609	5.039	5.223	4.862	5.223
s	0.0075	0.0054	0.0060	0.0048	0.0060
a	0.504	0.505	0.504	0.505	0.504
m_{br}	2.805	2.520	2.612	2.431	2.612
s_r	0.00375	0.0027	0.0030	0.0024	0.0030
a_r	0.252	0.253	0.252	0.253	0.252
D	0	0	0	0	0
σ_v , MPa	0.313	0,504	3,062	1,799	2,964
σ_h , MPa	0.103	0.166	1.011	0.594	0.978

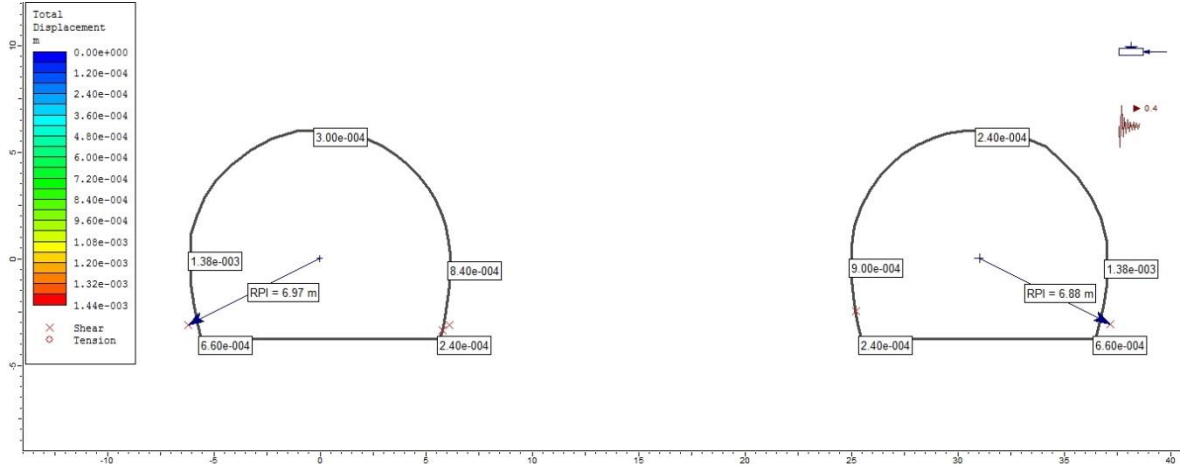
Tablo 5.2. Sayısal analizlerde kullanılan destek elemanlarına ait sınır karakteristik değerleri (KGM, 2006)

Özellikler	Püskürtme beton	Kaya bulonu	Çelik hasır
Elastisite modülü, E_i (GPa)	20	200	200
Poison oranı, ν	0.20	-	0.35
Tek eksenli basınç dayanımı, (MPa)	20	-	500
Artık eksenli basınç dayanımı, (MPa)	3.5	-	-
Çekme dayanımı, (MPa)	3.1	-	500
Artık dayanımı, (MPa)	0	-	-
Çekme kapasitesi (MN)	-	0.25	-
Artık Çekme kapasitesi (MN)	-	0.025	-
Tür	-	Ø28 mm, SN bulonu	Ø6.5 mm, 150x150 mm

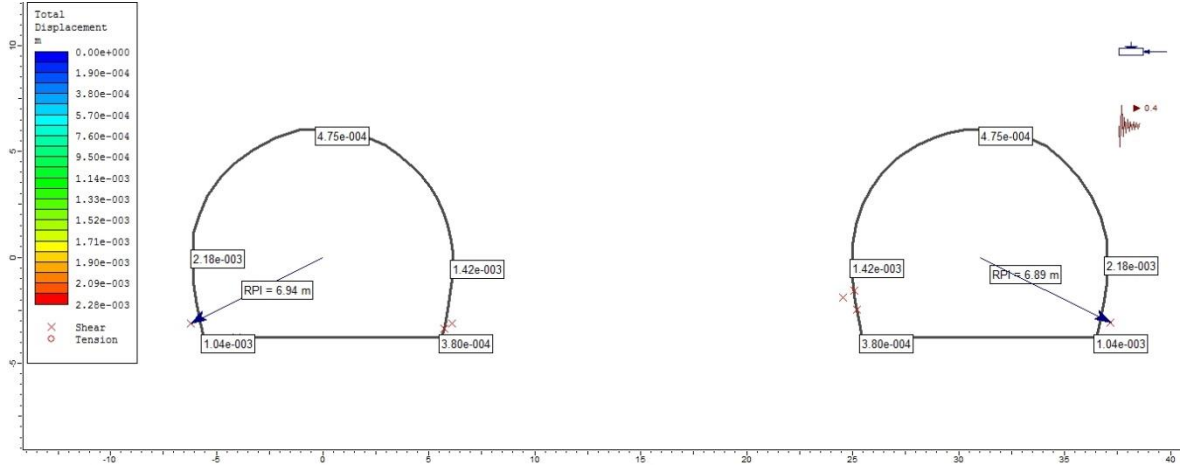
Sayısal analizlerle desteksiz durumlar için kazı kesiti etrafında oluşacak plastik zonun genişliği belirlenmiş ve ampirik sistemlere göre belirlenen ön destek elemanlarının bu zonun ne ölçüde azalttığı araştırılmıştır.

5.1. Desteksiz Durum İçin Yapılan Sayısal Analizler

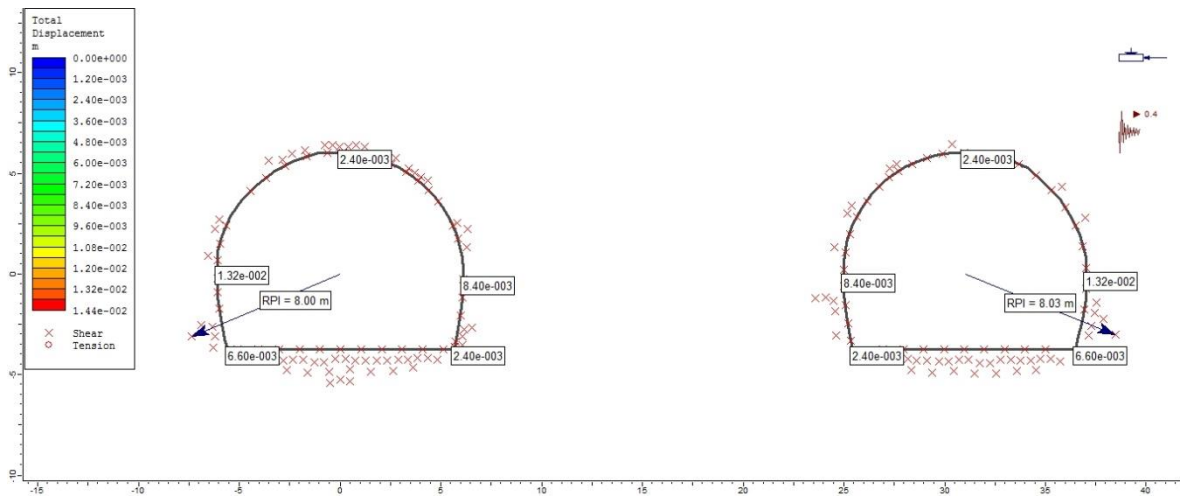
Yapılan sayısal analizlerin ilk aşamasında, SK-1+550, SK-2+050, SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 araştırma sondajlarının bulunduğu noktalarda, desteksiz durumlar için sayısal analizler yapılmıştır (Şekil 5.1-5.5). Bu analizlerde desteksiz durumda tünel civarında meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı ve maksimum yer değiştirme miktarları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'te verilmiştir.



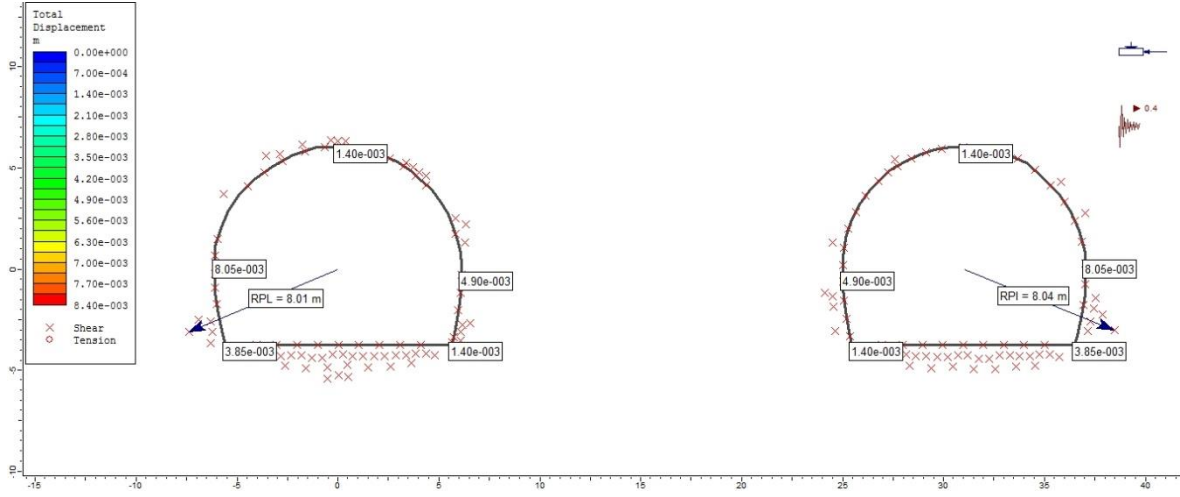
Şekil 5.1. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz



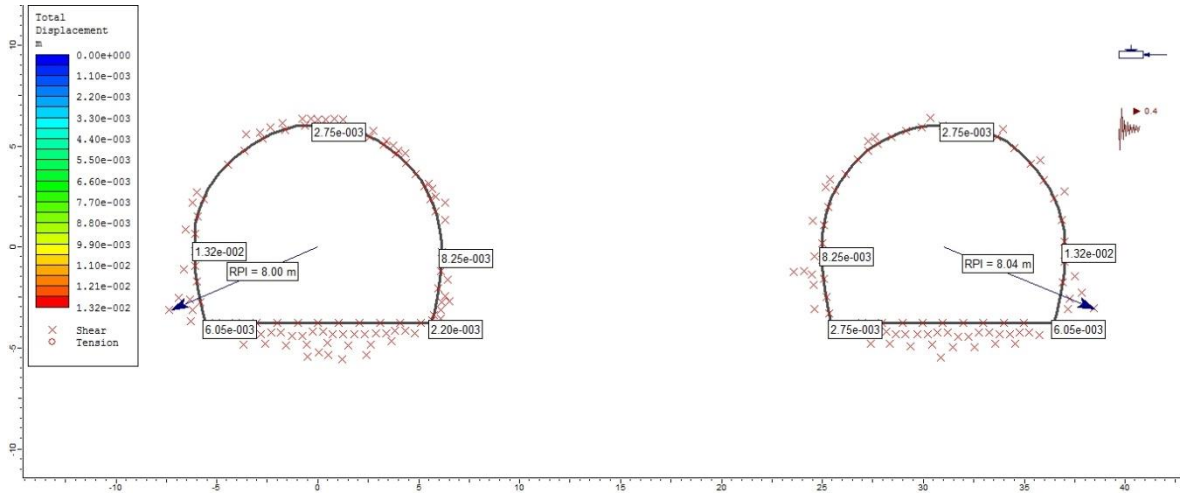
Şekil 5.2. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz



Şekil 5.3. SK-2+630 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz



Şekil 5.4. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz



Şekil 5.5. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde desteksiz durum için yapılan sayısal analiz

Tablo 5.3. Desteksiz durumlarda meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (RPl) ve maksimum yer değiştirme miktarları (Ut)

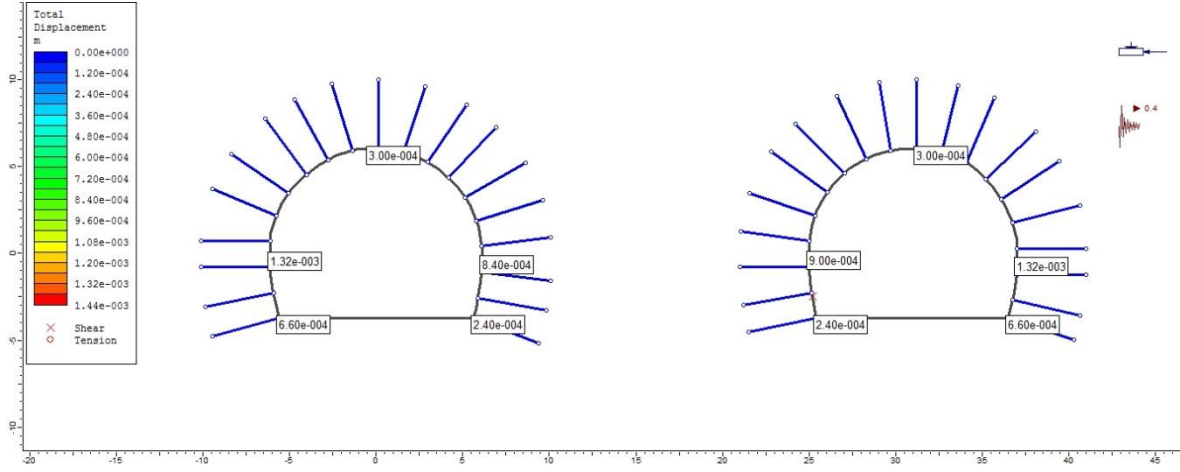
		Maksimum yer değiştirme (Ut, m)				Plastik zonun yayılımı (RPl,m)
		Tavan	Taban	Sol duvar	Sağ duvar	
SK-1+550	Sol Tüp	3.00e-004	6.60e-004	1.38e-003	8.40e-004	6.97
	Sağ Tüp	2.40e-004	6.60e-004	9.00e-004	1.38e-003	6.88
SK-2+050	Sol Tüp	4.75e-004	1.04e-003	2.18e-003	1.42e-003	6.94
	Sağ Tüp	4.75e-004	1.04e-003	1.42e-003	2.18e-003	6.89
SK-2+630	Sol Tüp	2.40e-003	6.60e-003	1.32e-002	8.40e-003	8.00
	Sağ Tüp	2.40e-003	6.60e-003	8.40e-003	1.32e-002	8.03
SK-2+960	Sol Tüp	1.40e-003	3.85e-003	8.05e-003	4.90e-003	8.01
	Sağ Tüp	1.40e-003	3.85e-003	4.90e-003	8.05e-003	8.04
SK-3+200	Sol Tüp	2.75e-003	6.05e-003	1.32e-002	8.25e-003	8.00
	Sağ Tüp	2.75e-003	6.05e-003	8.25e-003	1.32e-002	8.04

Desteksiz durumlar için yapılan sayısal analizler sonucunda, SK-1+550 ve SK-2+050 nolu sondaj yerlerinde plastik zon yan duvarlarda gelişmektedir. Bu sondaj yerleri için maksimum yer değiştirme miktarları (Ut) ise 1.20e-004 m ile 2.18e-003 m arasında değişim göstermektedir. Bu sondaj yerlerindeki plastik zonun yayılımı ise maksimum 6.94 m'ye ulaşmaktadır.

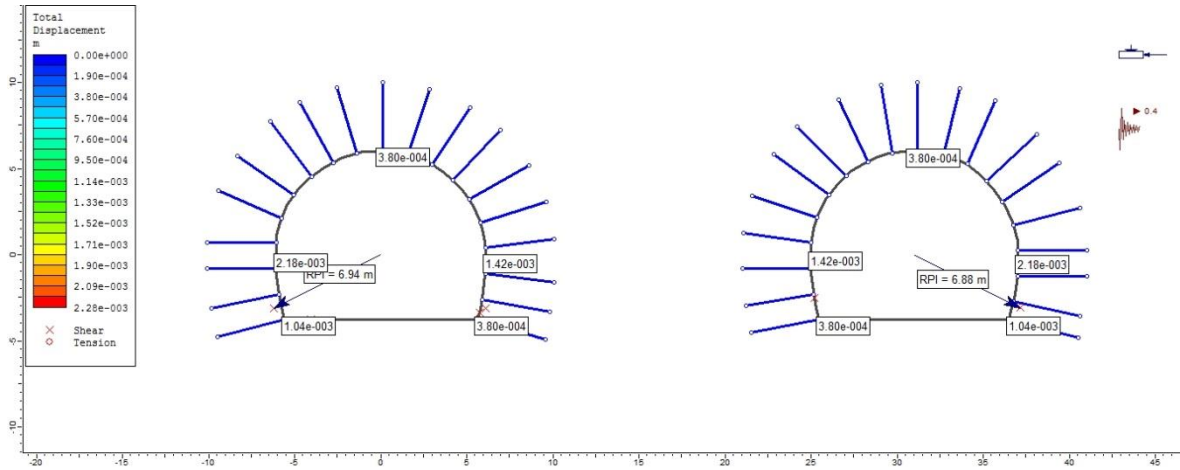
SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerlerinde ise tünelin tavan, taban ve yan duvarlarında yenilmeler oluşmaktadır. Bu araştırma sondajları için yer değiştirme miktarları 7.00e-004 m ile 1.08e-002 m arasındadır. Plastik zonun yayılımı ise maksimum 8.04 m'ye ulaşmaktadır. Desteksiz durumlar için yapılan analizlerin sonucunda, SK-1+550 ve SK-2+050 sondaj yerlerinde sadece yan duvarlarda duraysızlıkların geliştiği, diğer sondaj yerlerinde ise hem yan duvarlar hem de tavanda duraysızlıkların geliştiği belirlenmiştir.

5.2. RMR Sınıflama Sisteminden Elde Edilen Destek Sistemlerinin Uygulanması Durumu İçin Yapılan Sayısal Analizler

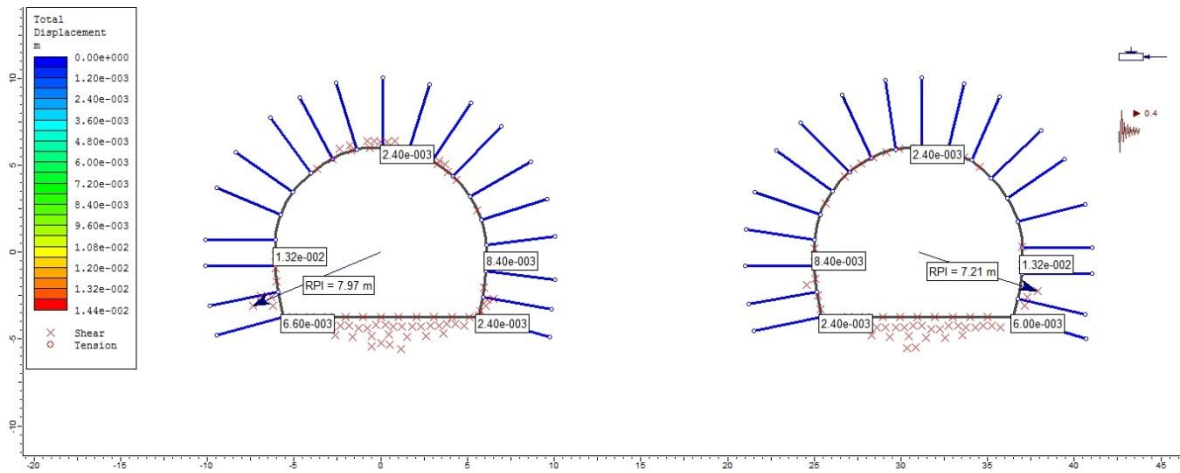
SK-1+550, SK-2+050, SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 araştırma sondaj yerlerinde, RMR tarafından önerilen destekler uygulanarak için sayısal analizler yapılmıştır. (Şekil 5.6-5.10). Bu analizlerde, sadece kaya bulonunun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı ve maksimum yer değiştirme miktarları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'te verilmiştir.



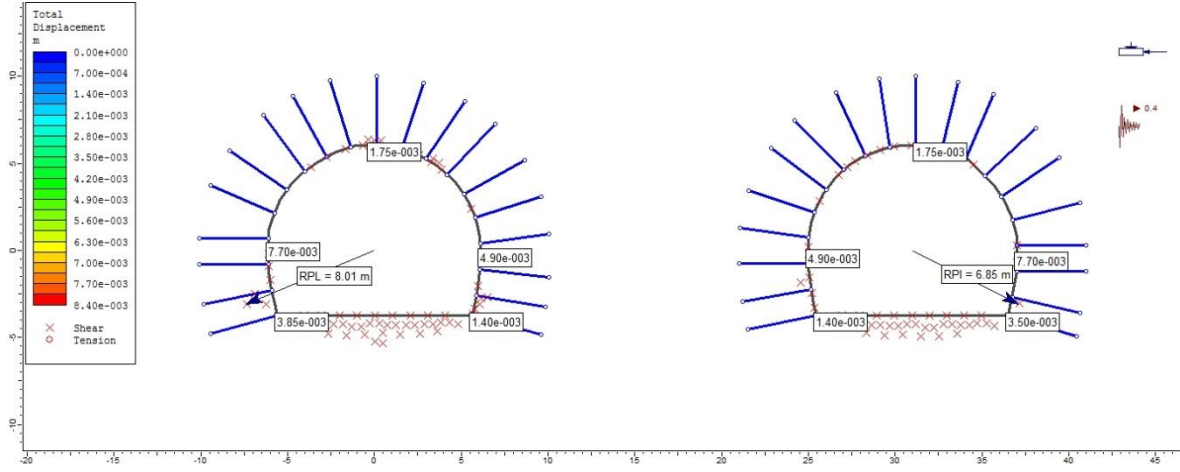
Şekil 5.6. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



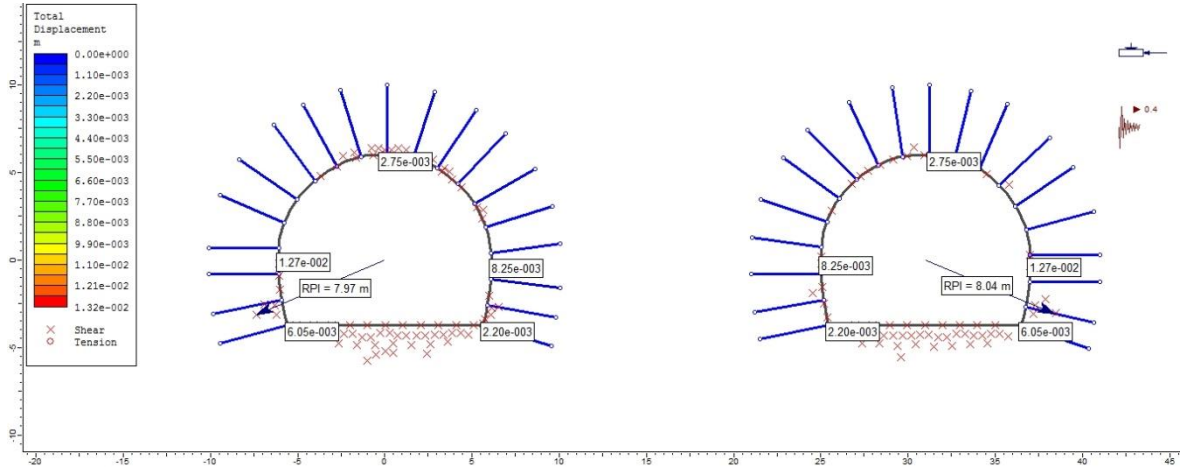
Şekil 5.7. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.8. SK-2+630 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.9. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



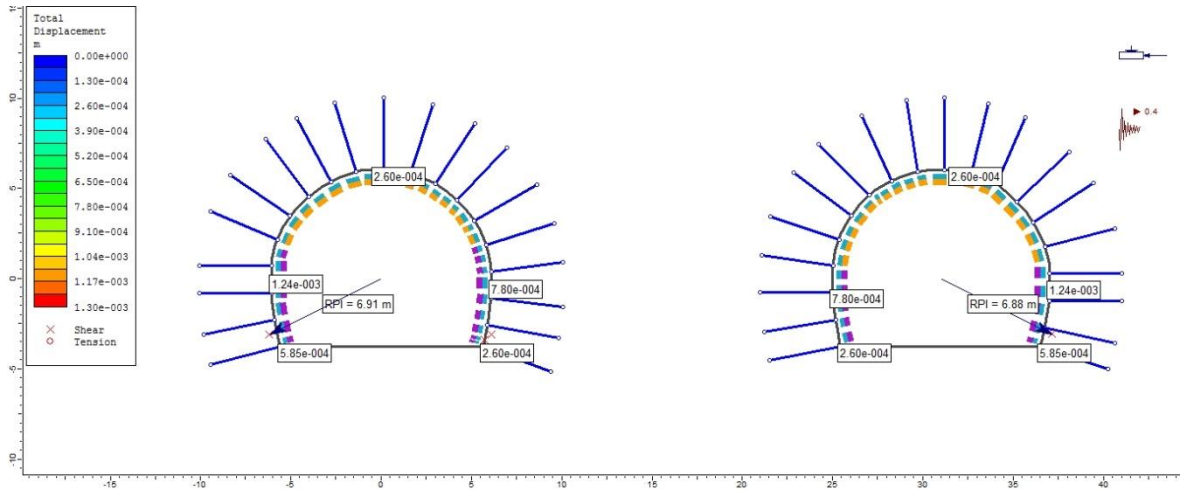
Şekil 5.10. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz

Tablo 5.4. RMR tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (RPI) ve maksimum yer değiştirme miktarları (Ut)

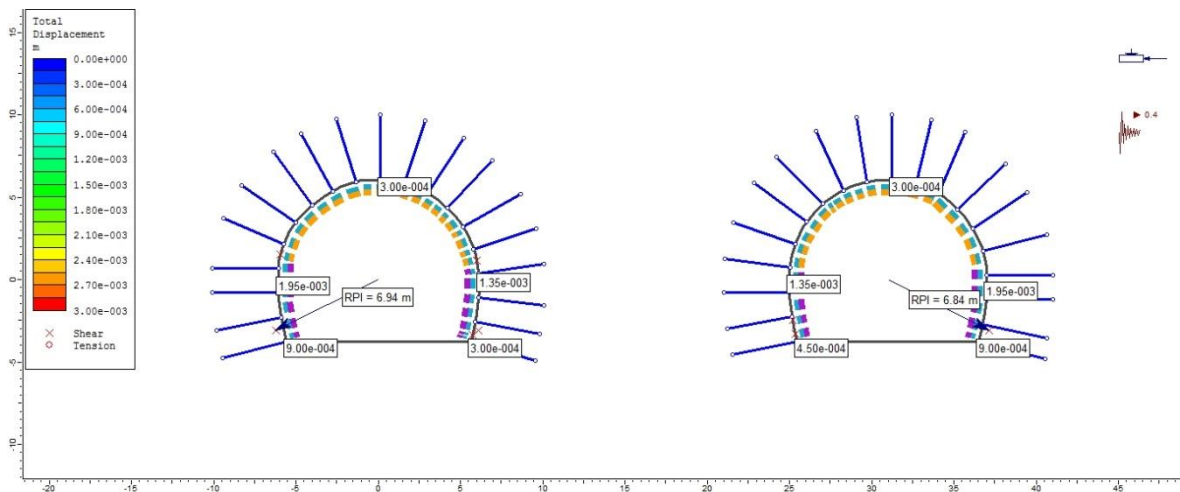
		Maksimum yer değiştirme (Ut, m)				Plastik zonun yayılımı (RPI,m)
		Tavan	Taban	Sol duvar	Sağ duvar	
SK-1+550	Sol Tüp	3.00e-004	6.60e-004	1.32e-003	8.40e-004	0
	Sağ Tüp	3.00e-004	6.60e-004	9.00e-004	1.32e-003	0
SK-2+050	Sol Tüp	3.80e-004	1.04e-003	2.18e-003	1.42e-003	6.94
	Sağ Tüp	3.80e-004	1.04e-003	1.42e-003	2.18e-003	6.88
SK-2+630	Sol Tüp	2.40e-003	6.60e-003	1.32e-002	8.40e-003	7.97
	Sağ Tüp	2.40e-003	6.60e-003	8.40e-003	1.32e-003	7.21
SK-2+960	Sol Tüp	1.75e-003	3.85e-003	7.70e-003	4.90e-003	8.01
	Sağ Tüp	1.75e-003	3.50e-003	4.90e-003	7.70e-003	6.85
SK-3+200	Sol Tüp	2.75e-003	6.05e-003	1.27e-002	8.25e-003	7.97
	Sağ Tüp	2.75e-003	6.05e-003	8.25e-003	1.27e-003	8.04

SK-1+550, SK-2+050, SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerlerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanması durumunda SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerlerinde tünelin tavan, taban ve yan duvarlarında yenilmeler oluşmaktadır. Bu araştırma sondajları için yer değiştirme miktarları $1.27\text{e-}003$ m ile $1.27\text{e-}002$ m arasındadır. Plastik zonun yayılımı ise maksimum 8.04 m'ye ulaşmaktadır.

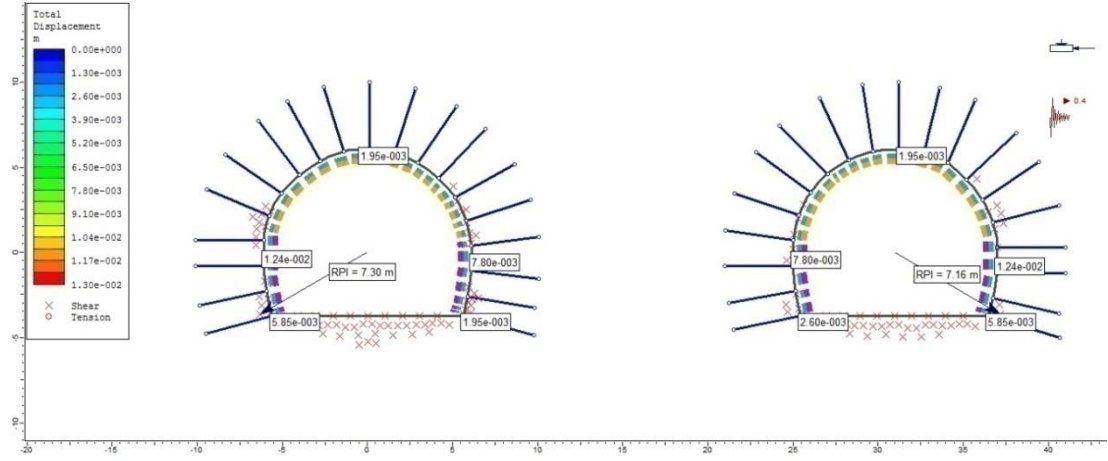
RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton desteklerinin uygulanması sonucunda tünelde meydana gelebilecek yenilme ve yer değiştirme miktarlarını belirlemek amacıyla yapılan sayısal analizler Şekil 5.11-5.15'te, plastik zonun yayılımı ve toplam yer değiştirme miktarları ise Tablo 5.5'de verilmiştir.



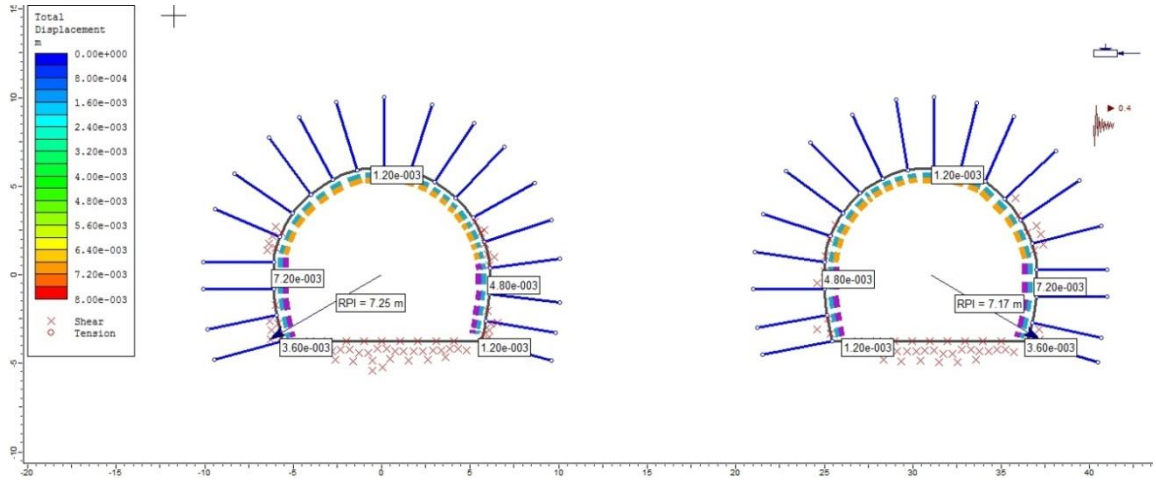
Şekil 5.11. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



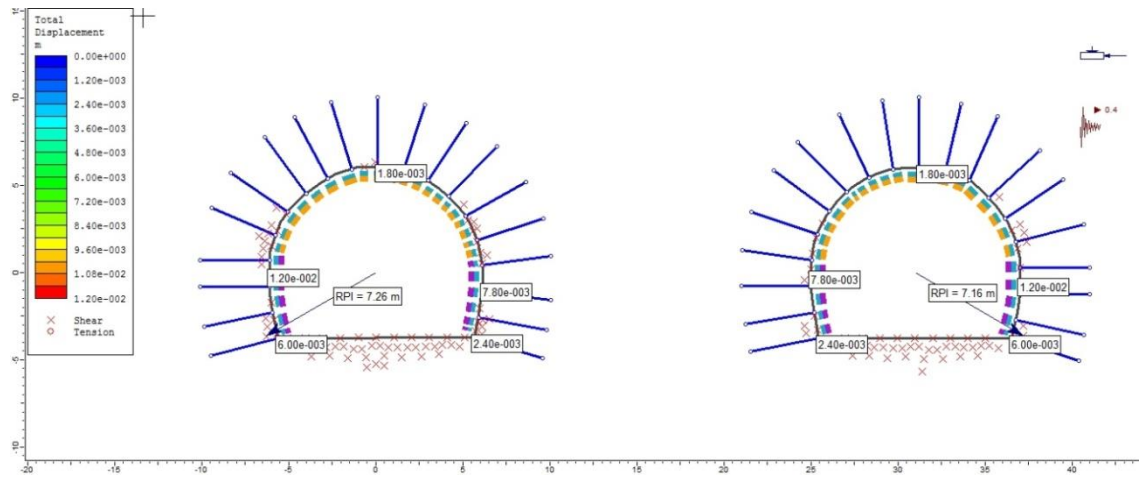
Şekil 5.12. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.13. SK-2+630 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.14. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.15. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz

Tablo 5.5. RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme betonun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (RPl) ve maksimum yer değiştirme miktarları (Ut)

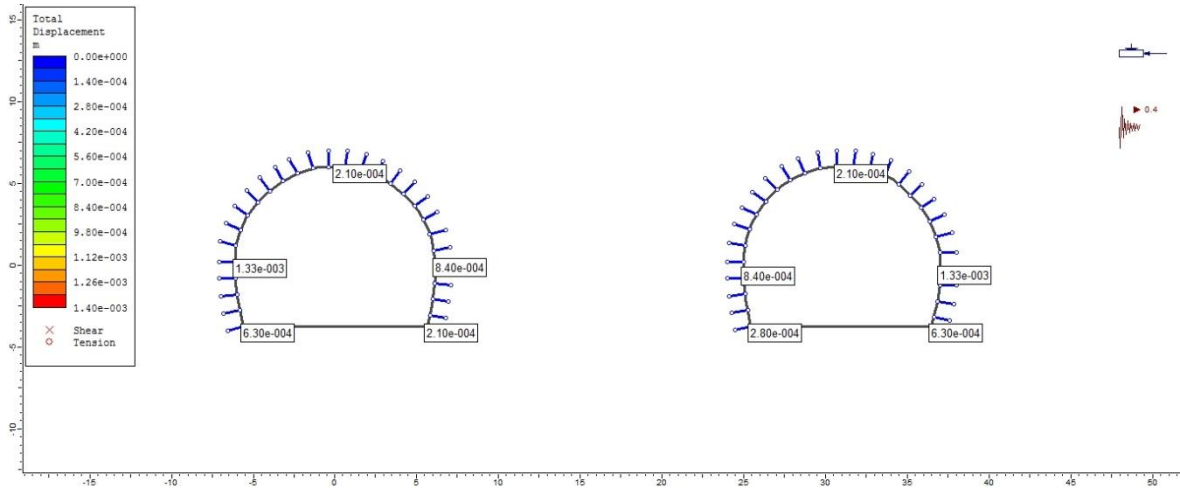
		Maksimum yer değiştirme (Ut, m)				Plastik zonun yayılımı (RPl,m)
		Tavan	Taban	Sol duvar	Sağ duvar	
SK-1+550	Sol Tüp	2.60e-004	5.85e-004	1.24e-003	7.80e-004	6.91
	Sağ Tüp	2.60e-004	5.83e-004	7.80e-004	1.24e-003	6.88
SK-2+050	Sol Tüp	3.00e-004	9.00e-004	1.95e-003	1.35e-003	6.94
	Sağ Tüp	3.00e-004	9.00e-004	1.35e-003	1.95e-003	6.84
SK-2+630	Sol Tüp	1.95e-003	5.85e-003	1.24e-002	7.80e-003	7.30
	Sağ Tüp	1.95e-003	5.85e-003	7.80e-003	1.24e-003	7.16
SK-2+960	Sol Tüp	1.20e-003	3.60e-003	7.20e-003	4.80e-003	7.25
	Sağ Tüp	1.20e-003	3.60e-003	4.80e-003	7.20e-003	7.17
SK-3+200	Sol Tüp	1.80e-003	6.00e-003	1.20e-002	7.80e-003	7.26
	Sağ Tüp	1.80e-003	6.00e-003	7.80e-003	1.20e-002	7.16

SK-1+550, SK-2+050, SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerlerinde RMR tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme betonun uygulanması durumunda SK-1+550 ve SK-2+050 sondaj yerlerinde yan duvarlarda çok küçük yenilmeler gözlenmiştir. SK-2+630 ve SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerlerinde tavandaki yenilmeler ortadan kalkmasına rağmen yan duvarlarda hala yenilmelerin olduğu belirlenmiştir. SK-3+200 nolu sondaj yerinde ise sol tüpte hem tavan hem de yan duvarlarda, sağ tüpte ise sadece yan duvarlarda yenilmeler oluşmaktadır. Tünelde meydana gelen yer değiştirme miktarları 7.80e-004 m ile 1.20e-002 m arasındadır. Plastik zonun yayılımı ise maksimum 7.26 m'dir.

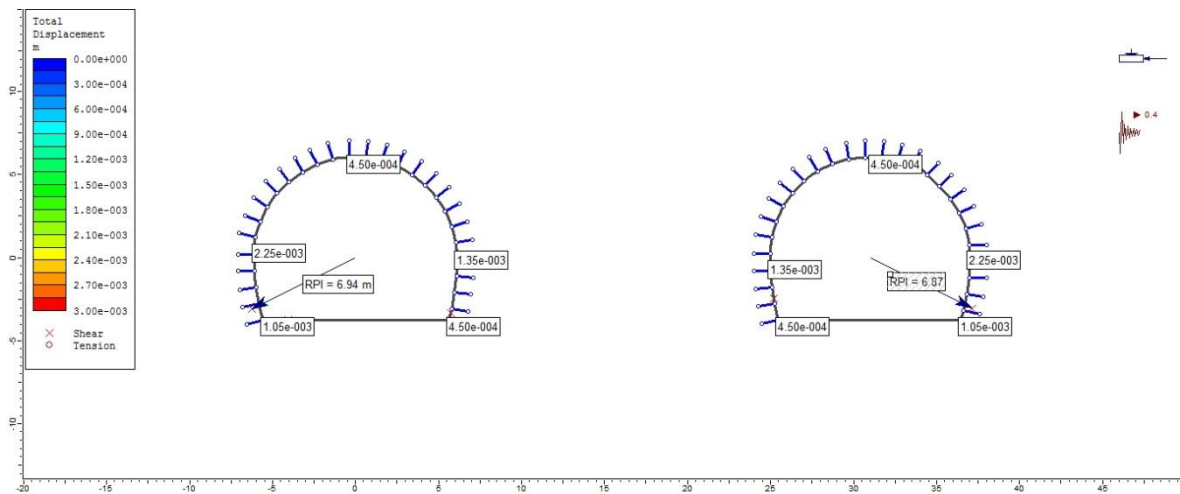
RMR tarafından önerilen destek sistemlerinin uygulanmasından sonra yapılan sayısal analizlerde, SK-1+550 ve SK-2+050 nolu sondaj yerlerinde görülen duraysızlıkların hemen hemen ortadan kalktığı ancak diğer sondaj yerlerinde az da olsa tavanda ve yan duvarlarda hala duraysızlık problemlerinin yaşanacağı belirlenmiştir.

5.3. RMi Sınıflama Sisteminden Elde Edilen Destek Sistemlerinin Uygulanması Durumu İçin Yapılan Sayısal Analizler

RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanması durumu için yapılan sayısal analizlerde (Şekil 5.16-5.20), SK-1+550 nolu sondaj yerinde tünelde herhangi bir yenilmenin olmadığı, SK-2+050 nolu sondaj yerinde ise sadece yan duvarlarda çok küçük yenilmelerin olduğu belirlenmiştir. SK-2+630, SK-2+960 ve SK-3+200 nolu sondaj yerleri için yapılan sayısal analizlerde ise tünelin sadece yan duvarlarında yenilmeler ortaya çıkmıştır. Tünelde meydana gelen yer değiştirme miktarları $6.20\text{e-}004$ m ile $1.30\text{e-}002$ m arasındadır. Plastik zonun yayılımı ise maksimum 8.03 m'dir (Tablo 5.6).



Şekil 5.16. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz

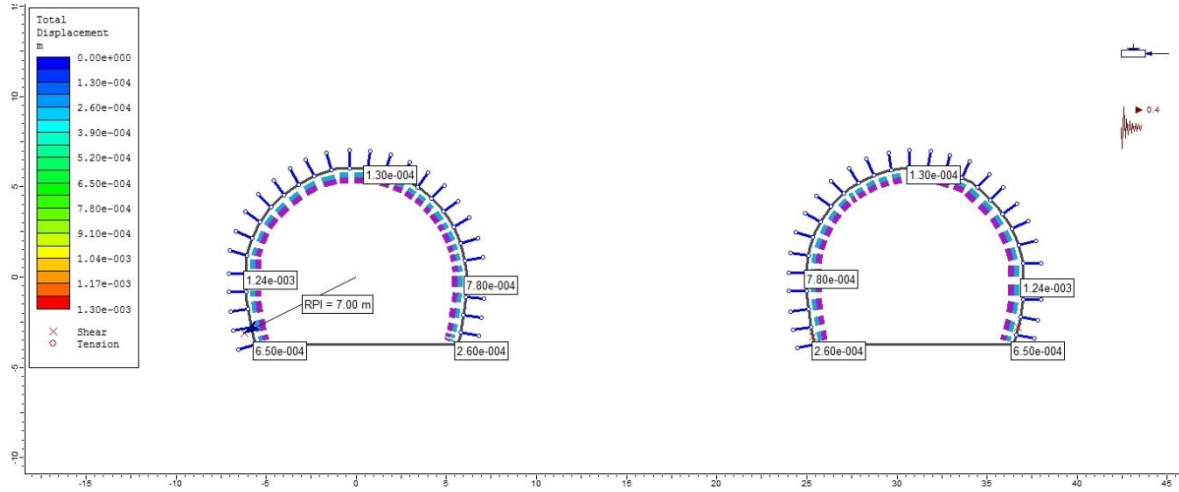


Şekil 5.17. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz

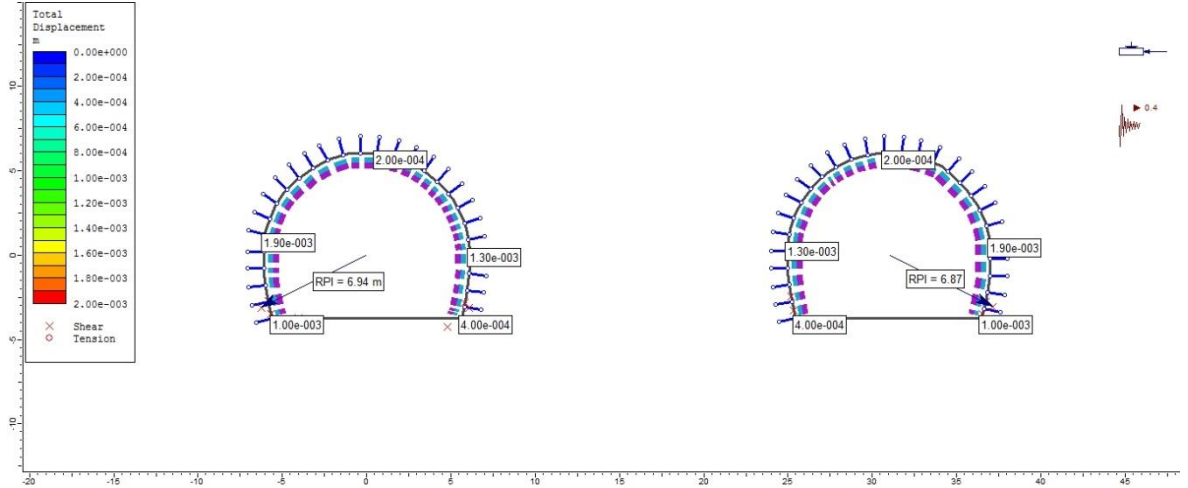
Tablo 5.6. RMi tarafından önerilen kaya bulonunun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (RPL) ve maksimum yer değiştirme miktarları (Ut)

		Maksimum yer değiştirme (Ut, m)				Plastik zonun yayılımı (RPL,m)
		Tavan	Taban	Sol duvar	Sağ duvar	
SK-1+550	Sol Tüp	2.10e-004	6.30e-004	1.33e-003	8.40e-003	0
	Sağ Tüp	2.10e-004	6.30e-004	8.40e-003	1.33e-003	0
SK-2+050	Sol Tüp	4.50e-004	1.05e-003	2.25e-003	1.35e-003	6.94
	Sağ Tüp	4.50e-004	1.05e-003	1.35e-003	2.25e-003	6.87
SK-2+630	Sol Tüp	2.10e-003	6.30e-003	1.33e-002	8.40e-003	8.00
	Sağ Tüp	2.10e-003	6.30e-003	8.40e-003	1.33e-002	8.03
SK-2+960	Sol Tüp	1.20e-003	3.60e-003	8.00e-003	4.80e-003	8.00
	Sağ Tüp	1.20e-003	3.60e-003	4.80e-003	8.00e-003	7.20
SK-3+200	Sol Tüp	2.60e-003	6.50e-003	1.30e-002	8.45e-003	8.00
	Sağ Tüp	2.60e-003	5.85e-003	8.45e-003	1.30e-002	8.03

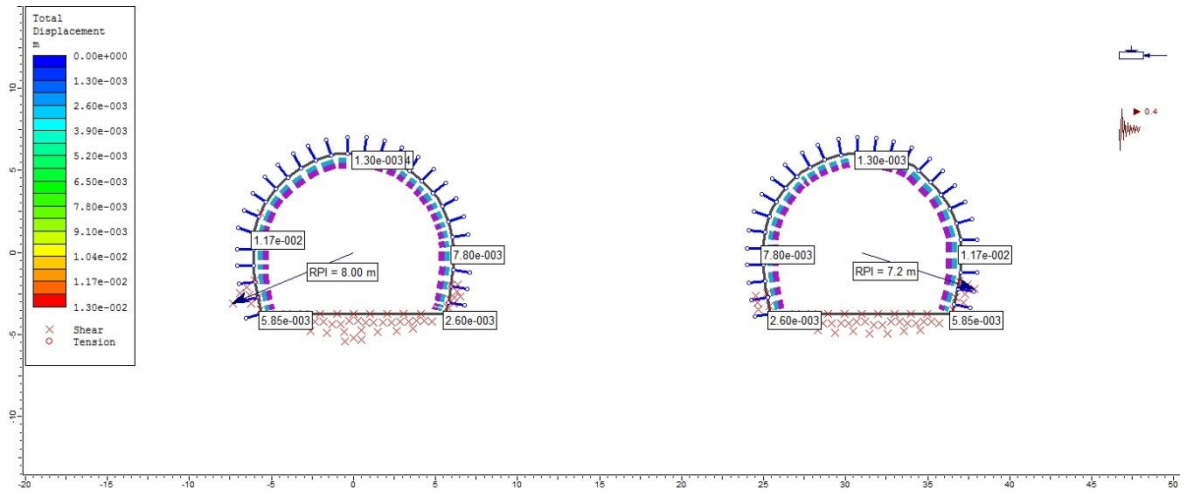
RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton desteklerinin uygulanması durumu için yapılan sayısal analizlerde (Şekil 5.21-5.25), tüm sondaj yerleri için tavanda yenilme olmadığı ancak yan duvarlarda yenilmelerin geliştiği belirlenmiştir. Tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı ve maksimum yer değiştirme miktarları Tablo 5.7’de verilmiştir. Bu değerlere göre tünelde meydana gelecek plastik zonun maksimum yayılımı 8.00 m, maksimum yer değiştirme miktarı ise 7.80e-004-1.14e-002 m değerleri arasındadır.



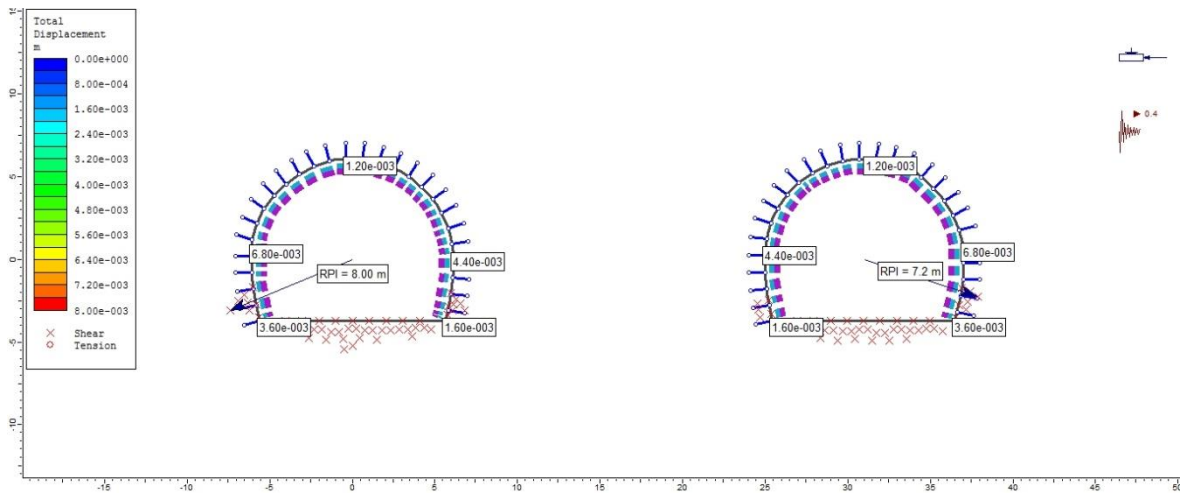
Şekil 5.21. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



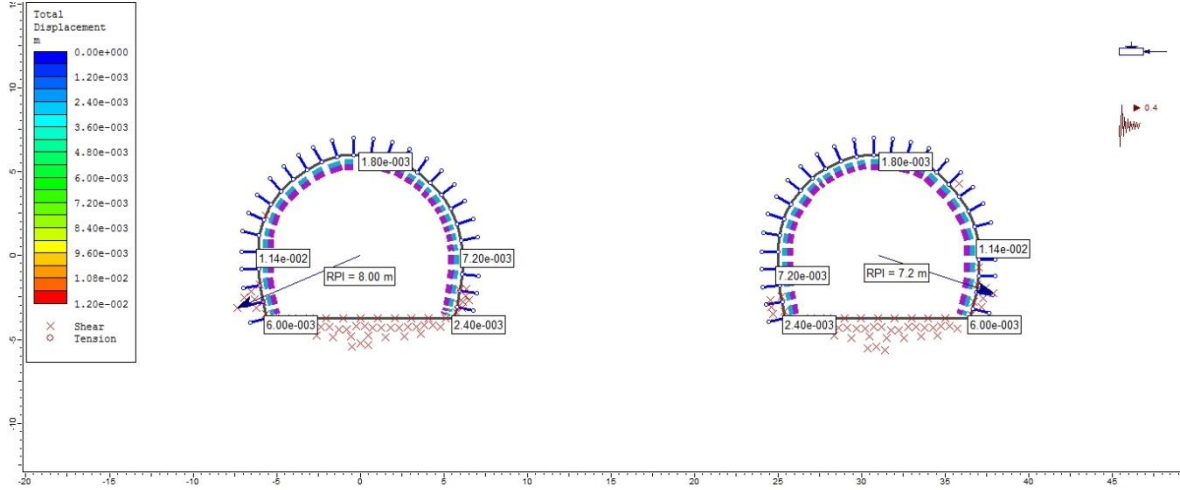
Şekil 5.22. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.23. SK-2+630 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.24. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.25. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yerinde RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz

Tablo 5.7. RMi tarafından önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme betonun uygulanması durumunda tünelde meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (RPI) ve maksimum yer değiştirme miktarları (Ut)

		Maksimum yer değiştirme (Ut, m)				Plastik zonun yayılımı (RPI,m)
		Tavan	Taban	Sol duvar	Sağ duvar	
SK-1+550	Sol Tüp	1.30e-003	6.50e-004	1.24e-003	7.80e-004	7.00
	Sağ Tüp	1.30e-003	6.50e-004	7.80e-004	1.24e-003	0
SK-2+050	Sol Tüp	2.00e-004	1.00e-003	1.90e-003	1.30e-003	6.94
	Sağ Tüp	2.00e-004	1.00e-003	1.30e-003	1.90e-003	6.87
SK-2+630	Sol Tüp	1.30e-003	5.85e-003	1.17e-002	7.80e-003	8.00
	Sağ Tüp	1.30e-003	5.85e-003	7.80e-003	1.17e-002	7.20
SK-2+960	Sol Tüp	1.20e-003	3.60e-003	6.80e-003	4.40e-003	8.00
	Sağ Tüp	1.20e-003	3.60e-003	4.40e-003	6.80e-003	7.20
SK-3+200	Sol Tüp	1.80e-003	6.00e-003	1.14e-002	7.20e-003	8.00
	Sağ Tüp	1.80e-003	6.00e-003	7.20e-003	1.14e-002	7.20

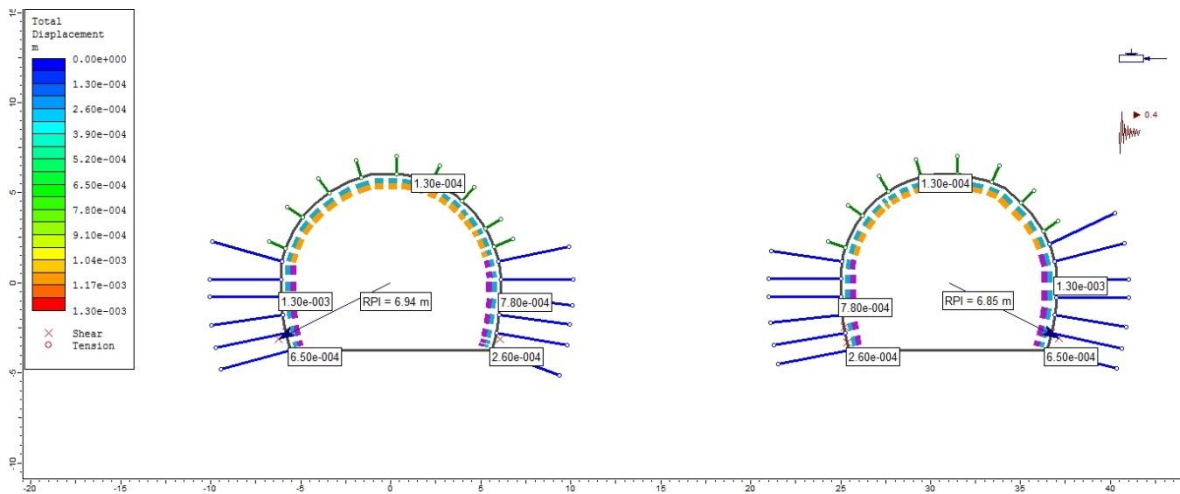
RMi sınıflama sistemi tarafından önerilen destek sistemlerinin uygulanmasından sonra yapılan sayısal analizlerde, SK-1+550 ve SK-2+050 nolu sondaj yerlerinde görülen duraysızlıkların hemen hemen ortadan kalktığı ancak diğer sondaj yerlerinde az da olsa tavanda ve yan duvarlarda hala duraysızlık problemlerinin yaşanacağı belirlenmiştir.

5.4. Önerilen Destek Sistemlerinin Uygulanması Durumu İçin Yapılan Sayısal Analizler

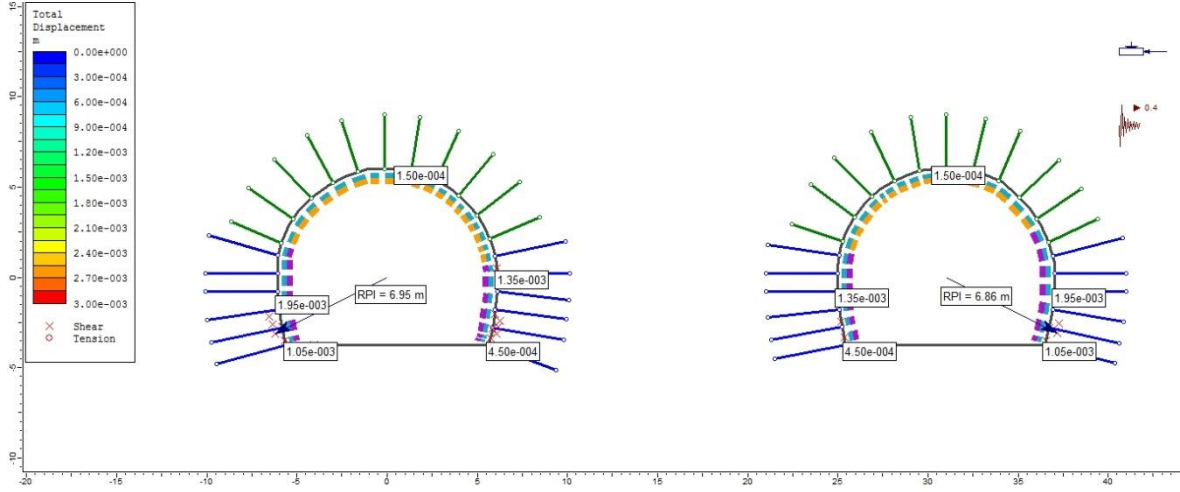
Kömürhan tünel güzergahı için yapılan RMR ve RMI kaya kütle sınıflamalarından elde edilen destek sistemlerinin uygulanmasından sonra yapılan sayısal analizler, bu iki sınıflama sisteminin önerdiği destek sistemlerinin tünel güzergahında meydana gelebilecek duraysızlıkları tamamen ortadan kaldırmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, hem RMR hem de RMI sınıflama sistemlerinin önerdiği destek sistemleri göz önüne alınarak bu çalışmada yeni destek sistemleri önerilmiş (Tablo 5.8) ve bu destek sistemlerinin uygulanması durumları için sayısal analizler yapılmıştır (Şekil 5.26-30).

Tablo 5.8. Bu çalışmada önerilen destek sistemleri

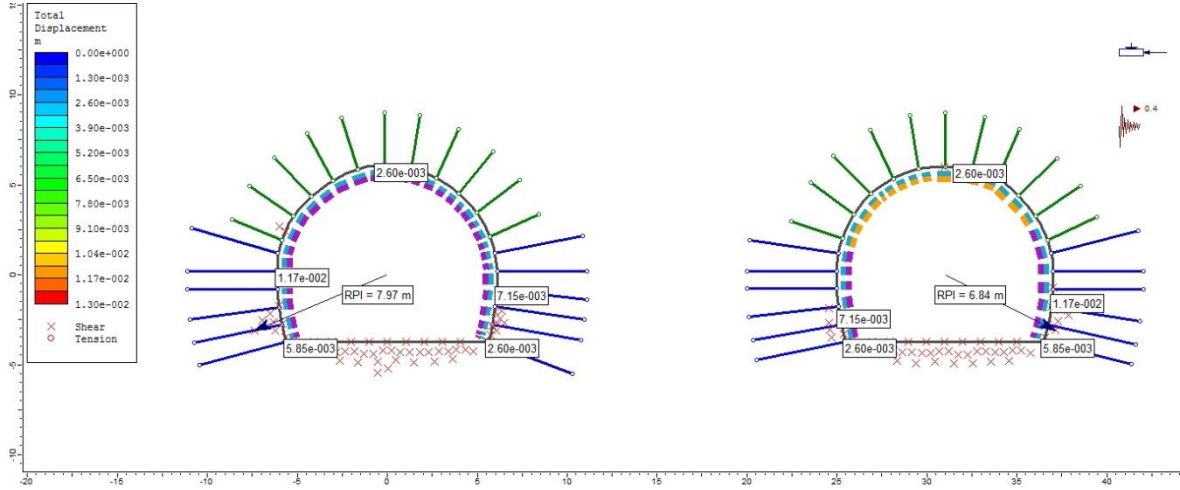
Sondaj No	Tavan		Duvar	
	Bulon uzunluğu-bulon aralığı (m)	Püskürtme beton kalınlığı (mm)	Bulon uzunluğu-bulon aralığı (m)	Püskürtme beton kalınlığı (mm)
SK-1+550	1 m – 2 m	50	4 m – 1 m	200
SK-2+050	2 m- 1.5 m	50	4 m – 1 m	200
SK-2+630	3 m - 1.5 m	Sağ tüp 100 Sol tüp 200	4 m – 1 m	200
SK-2+960	4 m - 1.5 m	200	4 m – 1.5 m	200
SK-3+200	4 m - 1.5 m	200	4 m – 1.5 m	200



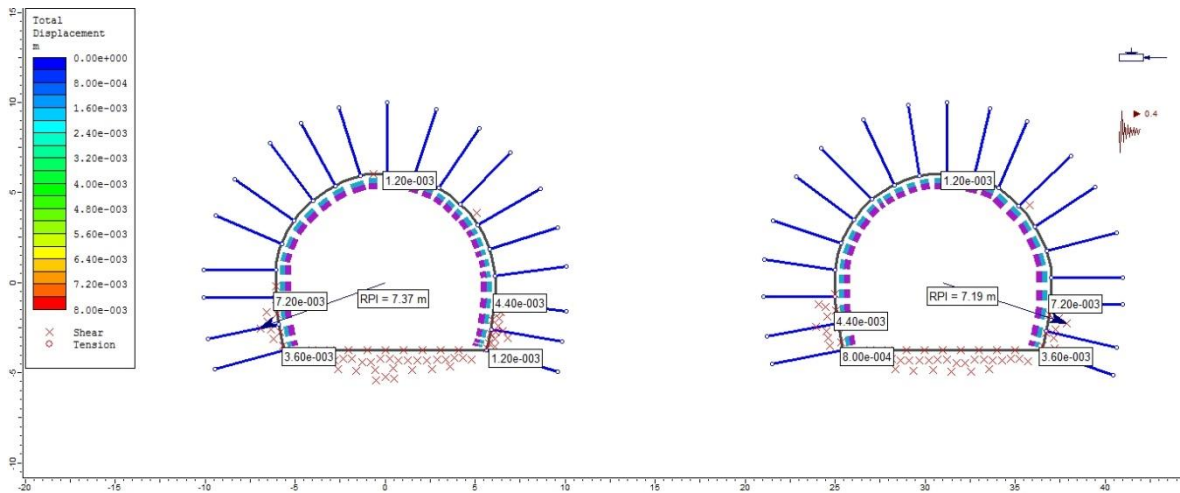
Şekil 5.26. SK-1+550 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



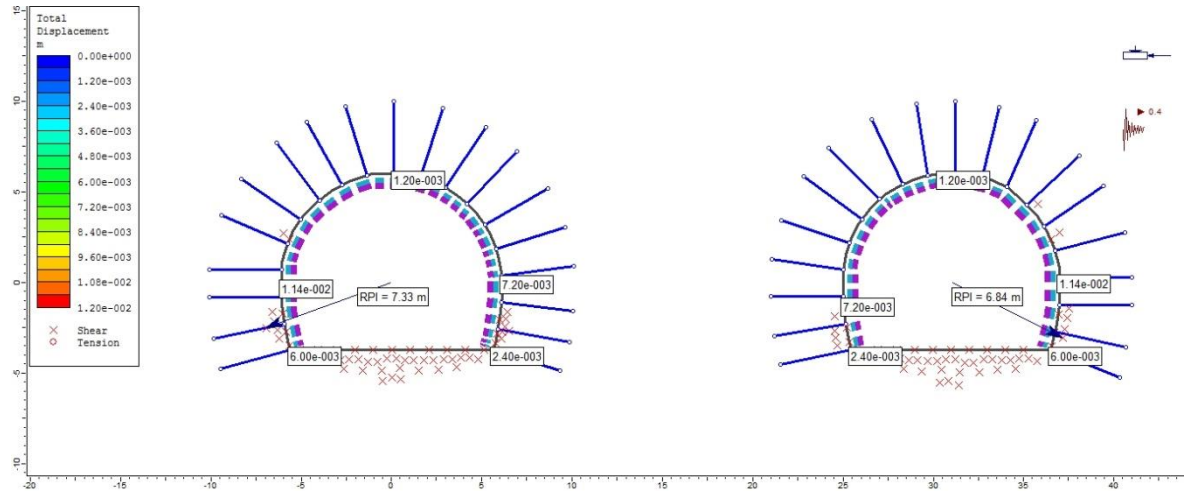
Şekil 5.27. SK-2+050 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.28. SK-2+630 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.29. SK-2+960 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz



Şekil 5.30. SK-3+200 nolu araştırma sondaj yeri için önerilen kaya bulonu+çelik hasır+püskürtme beton uygulanmasından sonra yapılan sayısal analiz

Bu çalışmada önerilen destek sistemlerini uygulanmasından sonra yapılan sayısal analizler sonucunda maksimum toplam yer değiştirme miktarlarının (Tablo 5.9) 6.50×10^{-4} m'ye gerilediği, tünelde meydana gelebilecek duraysızlıkların ise sadece yan duvarların alt kısımları ile sınırlı kaldığı belirlenmiştir.

Tablo 5.9. Bu çalışmada önerilen destek sistemlerinin uygulanmasından sonra meydana gelecek olan plastik zonun yayılımı (RPI) ve maksimum yer değiştirme miktarları (Ut)

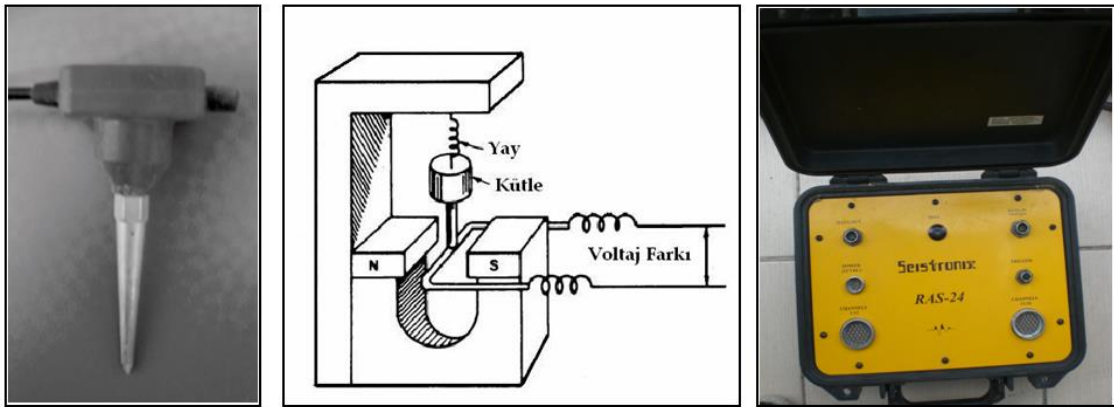
		Maksimum yer değiştirme (Ut, m)				Plastik zonun yayılımı (RPI,m)
		Tavan	Taban	Sol duvar	Sağ duvar	
SK-1+550	Sol Tüp	1.30e-004	6.50e-004	1.30e-003	7.80e-003	6.94
	Sağ Tüp	1.30e-004	6.50e-004	7.80e-003	1.30e-003	6.85
SK-2+050	Sol Tüp	1.50e-004	1.05e-003	1.95e-003	1.35e-003	6.95
	Sağ Tüp	1.50e-004	1.05e-003	1.35e-003	1.95e-003	6.86
SK-2+630	Sol Tüp	2.60e-003	5.85e-003	1.17e-002	7.15e-003	7.97
	Sağ Tüp	2.60e-003	5.85e-003	7.15e-003	1.17e-002	6.84
SK-2+960	Sol Tüp	1.20e-003	3.60e-003	7.20e-003	4.40e-003	7.37
	Sağ Tüp	1.20e-003	3.60e-003	4.40e-003	7.20e-003	7.19
SK-3+200	Sol Tüp	1.20e-003	6.00e-003	1.14e-002	7.20e-003	7.33
	Sağ Tüp	1.20e-003	6.00e-003	7.20e-003	1.14e-002	6.84

6. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla toplam 800 m uzunluğundaki 4 hat boyunca sismik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

6.1.Sismik Kırılma Yöntemi

Sismik yöntemler, yapay bir kaynak kullanılarak oluşturulan titreşimlerle yeraltının incelenmesidir. Yapay olarak oluşturulan bu sismik dalgalar, farklı yapıdaki ortamların ara yüzeylerinden kırılarak ve yansıyarak, yayıldıkları ortamların çeşitli fiziksel özellik bilgilerini yeryüzüne taşımaktadır. Yeryüzünde bir doğrultuda göre yerleştirilen alıcılar (jeofonlar) (Şekil 6.1 a, b-6.2) ile algılanan ve kayıtçı (Şekil 6.1c) tarafından kaydedilen sinyaller değerlendirilerek ortama ait çeşitli parametreler saptanır. Bu saptanan parametreler, ortamın geometrisini ve ortamı oluşturan jeolojik birimlerin yapısal ve mekanik özelliklerini yansıtır. P ve S sismik dalga hızlarından yararlanılarak ortamı oluşturan tabakaların başta elastik parametreleri olmak üzere, kalınlık, yoğunluk vb. parametreleri saptanabilmektedir. Ayrıca, düz ve ters atışlar yapılarak ortamın eğimli olup olmadığı da anlaşılabilmektedir.

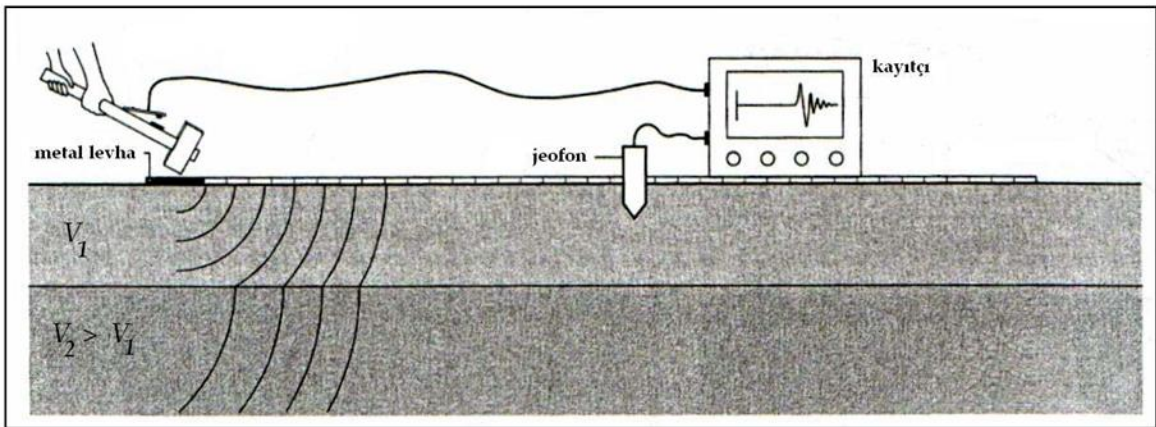


Şekil 6.1. (a) OYO Geospacejeofon, (b) Jeofonların içerdiği temel elemanların şematik gösterimi (Sheriff, 2002), (c) Seistronix Ras24 sismik kayıtçı



Şekil 6.2. Arazide jeofonların kullanımı

Sismik kırılma yöntemi, veri toplama ve değerlendirme açısından oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Dalga yayılım hızının derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların sismik hızlarının ve kalınlıklarının bulunmasını sağlar. Yöntem, mühendislik amaçlı sığ zemin araştırmalarında, petrol ve doğalgaz araştırmalarında, tabakaların dinamik özelliklerinin incelenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır.

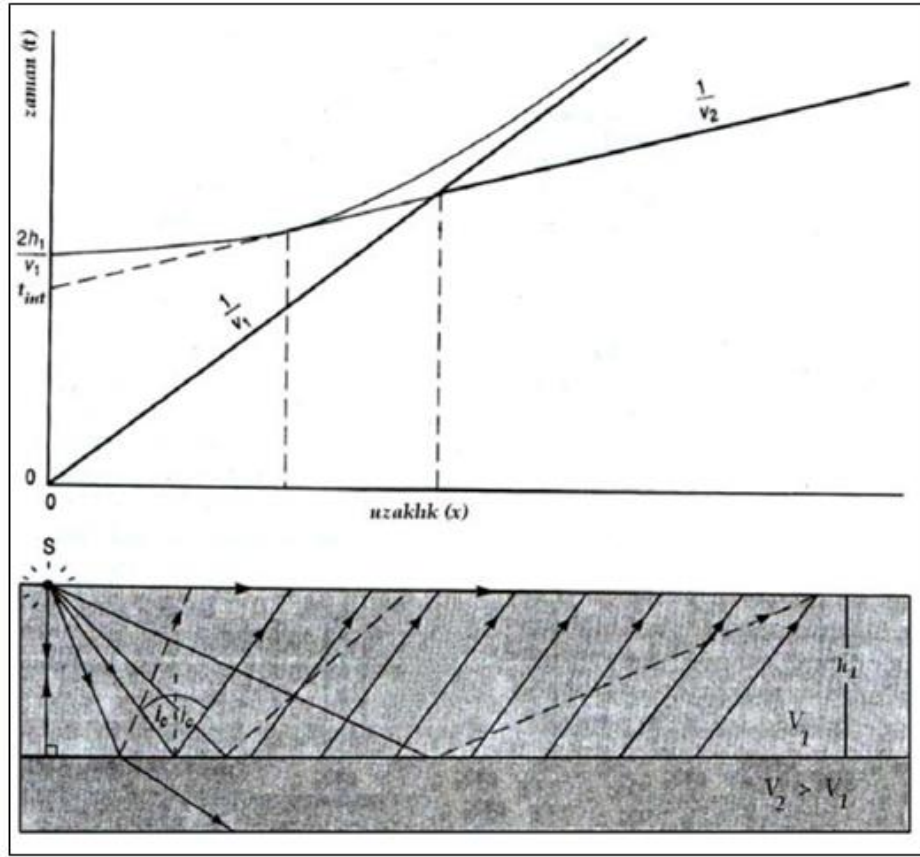


Şekil 6.3. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulandığı (Mussett ve Khan, 2000).



Şekil 6.4. Balyoz ile arazide sismik kırılma yönteminin uygulanması.

Sismik Kırılma Yöntemi'nde bir kaynaktan (Şekil 6.4) oluşturulan elastik dalgaların yerin farklı özelliklerdeki katmanları içinde kırılarak (ve tam yansımaya uğrayarak) yayılmalarına ilişkin yol alış (seyahat) zamanları ölçülür (Şekil 6.3). Bu zaman-uzaklık kayıtları daha sonra belirli yöntemler ile işlenerek tabakaların kalınlıklarını ve sismik dalga hızlarını veren yeraltı kesitleri oluşturulur (Şekil 6.5).Yapıların projelendirilmesi açısından önemli olan elastik parametreler (Poisson oranı, Young modülü, vb.) ölçülen V_p ve V_s dalga hızlarından hesaplanabilmektedir.

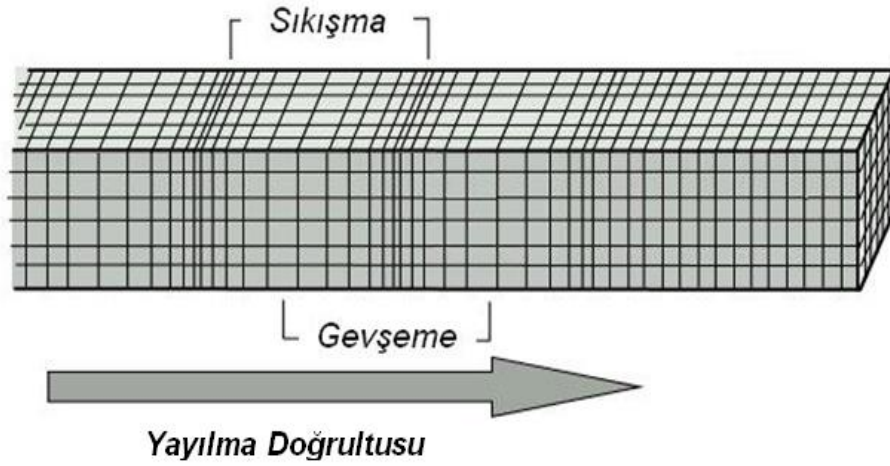


Şekil 6.5. Sismik kırılma yönteminde zaman(t)-uzaklık(x) grafiği ile yeraltı kesiti ilişkisi (Mussett ve Khan,2000).

6.2. Zemin Araştırmalarında Kullanılan Sismik Dalga Çeşitleri

6.2.1. Boyuna dalgalar (P dalgaları)

Dalganın yayılma doğrultusuna dik bir düzlem içindeki hareketi sabit kalıyorsa böyle bir dalgaya düzlem dalga denir. Dalgaların düzlem dalga olması halinde dilatasyon dalgası bir boyuna dalgadır. Yani, titreşim hareketi dalganın yayılma doğrultusundadır (Şekil 6.6). Cisim dalgaları sınıflandırmasında bu tip dalgaya P dalgası (Primer dalga)adı verilir.



Şekil 6.6. Boyuna dalga (P dalgası) yayılımı (Mussett ve Khan, 2000).

Elastik parametreler ve P dalga hızları (V_p) arasındaki bağıntılar,

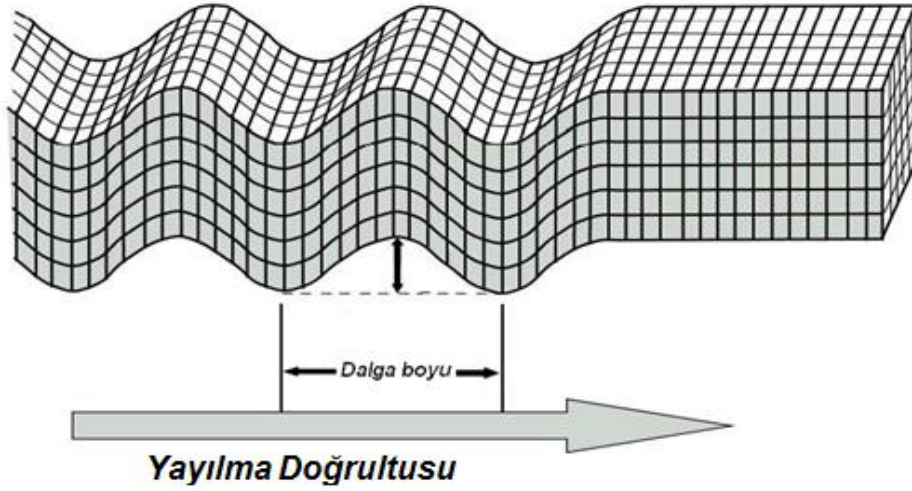
$$V_p = \frac{k+4/3\mu}{\rho} \quad (6.1)$$

$$V_p = \frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)} \quad (6.2)$$

şeklinde verilmektedir (Sheriff, 2002). Burada, k , Bulk modülü (kg/cm^2); ρ , yoğunluk (g/cm^3); μ , Kesme modülü (kg/cm^2), E , Young modülü (kg/cm^2) ve ν , Poisson oranıdır.

6.2.2. Enine dalgalar (S dalgaları)

Dalga'nın düzlem dalga olması halinde rotasyon dalgası bir enine dalgadır. Yani, titreşim yayılma doğrultusuna diktir (Şekil. 6.7). Cisim dalgalarının sınıflandırmasında bu tip dalgalara S dalgası (Sekonder dalga) adı verilir.



Şekil 6.7. Enine dalga (Sdalgası) yayılımı (Mussett ve Khan, 2000).

S dalga hızı (V_s), elastik parametreler kullanılarak,

$$V_s = \frac{\mu}{\rho} \quad (6.3)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho 2(1+\sigma)}} \quad (6.4)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Sheriff, 2002). V_p ve V_s 'ten yararlanılarak ortamı oluşturan malzemelerin elastik parametrelerini elde etmek için kullanılan ifadeler ise,

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} = \sqrt{\frac{3k+E}{E}} = \sqrt{\frac{4\mu-E}{3\mu-E}} \quad (6.5)$$

şeklindedir (Sheriff, 2002). Tahtam (1982), V_p/V_s oranının, kayaçların mineral bileşimine, dokuyu teşkil eden tanelerin büyüklüğüne ve dağılımına, gözenekliliğe, gözenek suyunun cinsine ve miktarına, sıkışabilirliğine, çimentolaşma derecesine, ortam hacmine ve sonuç olarak jeolojik geçmişi ile kayacın yaşına önemli bir şekilde bağlı olduğunu belirtmektedir.

6.3. Arazi Çalışmaları

Çalışma sahasında tünel kotu ve bu kot üzerinde bulunan birimlerin; sismik dalga hızlarını (V_p ve V_s) ve dinamik elastik parametrelerini (Poisson oranı, Kayma modülü, Elastisite modülü, Bulk modülü), belirlemek için tünel güzergahı üzerinde 4 farklı noktada Sismik kırılma çalışmaları yapılmıştır. Sismik kırılma çalışmalarında Seistronix Marka Ras24 model 24 kanallı mühendislik Sismografi (kayıtçı), 14 Hz frekansa sahip algılayıcılar (jeofonlar), güç kaynağı, 30 fişek kapasiteli Gan (tüfek mekanizması) ve 8 kg lık balyoz kullanılarak kayıtlar alınmıştır. Arazi çalışmalarında tünel kotundan bilgi alabilmek için iki noktada (Sis-3, Sis-4) jeofonlar arası mesafe 10 m ofset (atış mesafesi) 20 m, toplam serim boyu 270 m alınmış, diğer iki noktada (Sis-1, Sis-2) ise jeofonlar arası mesafe 5 m, ofset 10 m, toplam serim boyu 130 m olacak şekilde serim geometrileri seçilmiştir. Çalışma sahasında alınan sismik serimlerin yerlerini gösteren uydu fotoğrafı Şekil 6.8’de, arazi çalışmalarına ait fotoğraflar Şekil 6.9-13’de, ölçüm noktalarının kot ve koordinatları Tablo 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Sismik serim yerlerinin Google Earth’deki görünümü

Tablo 6.1. Sismik Nokta koordinatları

Nokta No	X	Y
Sis-1	486387.0	4255868.0
Sis-2	486200.8	4255775.3
Sis-3	485963.6	4255673.2
Sis-4	485723.4	4255558.0



Şekil 6.9. Tüfek mekanizmasına fişek yerleştirilmesi



Şekil 6.10. Tüfek mekanizmasının birleştirilmesi



Şekil 6.11. Tüfek mekanizmasının araziye yerleştirilmesi



Şekil 6.12. Tüfek mekanizmasının patlaması



Şekil 6.13. Ras24 sismik kayıtçısı ile araziden kayıt alımı

Çalışma sahasında 4 farklı noktada alınan sismik kayıtlar (Şekil 6.9-13) Geometrics firmasının üretmiş olduğu Seisimager yazılımında değerlendirilmiş, P dalgası, S dalgası hızlar ve tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Jeofizik çalışmalara ait 2 boyutlu P ve S tabakası hız kesitleri EK- 7 de verilmiştir. Çalışma alanına ait V_p ve V_s hızları ve tabaka kalınlıkları EK- 6'da ve Tablo 6.2 de verilmiştir.

Tablo 6.2. Çalışma alanındaki birimlere ait V_p ve V_s hızları

Nokta No	V_p (m/sn)	V_s (m/sn)	H (m)
Sis-1	1148	695	0-8
	2851	1751	8-25
	5469	3363	>25
Sis-2	1024	558	0-8
	3100	1901	8-25
	6057	3786	>25
Sis-3	2222	1279	0-20
	5760	3381	20-45
	7653	4515	>45
Sis-4	1615	933	0-15
	6332	3480	15-40
	7106	4517	>40

6.3.1. P ve S Dalgalarından Hesaplanan Dinamik Elastik Parametreler

6.3.1.1. Poison oranı (ν)

Boyuna ve enine sismik dalga hızlarının birbirine oranı kullanılarak hesaplanan Poison oranı, enine kırılmanın boyuna uzamaya olan oranını vermektedir. Çoğu elastik katılar için ortalama değeri 0,25 civarındadır ve farklı ortamlar için aldığı değerler 0-0.5 arasında değişmektedir. Poison oranı, kayaçların yoğunlukları dikkate alınmadan hesaplanır.

Kayaçlar içerisindeki boşluk ve çatlaklar Poison oranını etkilediklerinden dolayı kayacın kırıklı olup olmadığı, ayrıca kayacın gözeneklerinde su taşıyıp taşımadığı poison oranı incelenerek belirlenebilir. Gözeneklilik ile ters orantılıdır. Sulu ortamlarda V_s değeri düşeceğinden oran artar ve 0.5 değerine yaklaşır. Poison oranının sismik hızların oranı cinsinden ifadesi,

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (6.6)$$

şeklindedir (Bowles, 1988) ve Poison oranı boyutsuzdur.

Çalışma alanındaki birimler için hesaplanan poison oranı değerleri Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3. Çalışma alanındaki birimlere ait poisson oranları

Nokta No	ν	H (m)
Sis-1	0.21	0-8
	0.19	8-25
	0.20	>25
Sis-2	0.29	0-8
	0.20	8-25
	0.18	>25
Sis-3	0.25	0-20
	0.24	20-45
	0.23	>45
Sis-4	0.25	0-15
	0.28	15-40
	0.16	>40

6.3.1.2. Young (Elastisite) modülü (E)

Sıkışma veya genişleme kuvvetleri altında enine daralmanın boyuna uzamaya oranıdır. Yani, basınç veya genişleme gerilmesi ile lineer deformasyon arasındaki doğru orantıdır. Bu parametre, jeolojik birimlerin sertliğinin ve sağlamlığının ölçülerinden biridir. Eğer, Young Modülü yüzeyden derine doğru değişik değerler alıyorsa, zeminin farklı derinliklerde farklı sıkılıkta olduğu anlaşılır. V_p ve V_s değerleri kullanılarak,

$$E = G \left[\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \right] \quad (6.7)$$

ifadesi ile hesaplanabilir (Bowles, 1988). Young Modülü'nün birimi kg/cm^2 'dir.

Tablo 6.4. Çalışma alanındaki birimlere ait Young Modülü değerleri

Nokta No	E (GPa)	H (m)
Sis-1	2.07	0-8
	16.22	8-25
	70.62	>25
Sis-2	1.38	0-8
	19.62	8-25
	90.54	>25
Sis-3	8.54	0-20
	74.80	20-45
	142.73	>45
Sis-4	41.86	0-15
	84.18	15-40
	132.02	>40

6.2.1.3. Kayma (Shear) modülü (G)

Kesme-makaslama güçleri altında yerin esnemesini belirten esnek burulma direncidir. Kesme gerilmesi yerdeğiştiren yüzeye teğettir ve kesme deformasyonu hacimsel bir değişme olmadan meydana gelen yer değiştirmedir. Sıvıların makaslamaya karşı direnci olmadığından sıvılar için bu değer sıfırdır. Kesme modülü, V_s ile yoğunluğa bağlı olarak,

$$G = \frac{1}{98.07} \rho \cdot V_s^2 \quad (6.8)$$

şeklinde ifade edilir (Bowles,1988). Elastik dalgaları denetleyen önemli bir parametredir. Birimi kg/cm^2 'dir.

Tablo 6.5. Çalışma alanındaki birimlere ait Kayma Modülü (G) değerleri

Nokta No	G (GPa)	H (m)
Sis-1	0.85	0-8
	6.80	8-25
	29.52	>25
Sis-2	0.53	0-8
	8.19	8-25
	38.38	>25
Sis-3	3.41	0-20
	30.23	20-45
	57.87	>45
Sis-4	1.68	0-15
	32.79	15-40
	56.86	>40

6.3.1.4.Yoğunluk (ρ)

Yoğunluk, birim hacimdeki kütle miktarıdır ve birimi kN/m^3 'tür. Sismik kırılma yöntemi sonucu elde edilen P dalgası hızından (V_p) yararlanılarak,

$$\rho = 0,2 \cdot V_p + 1.6 \quad (6.9)$$

yoğunluk hesaplaması yapılabilmektedir. (Türker, 1988; Büyüksaraç, 2004). Bu bağıntı kullanılırken P dalga hızları km/sn cinsinden değerlere sahip olmalıdır.

Tablo 6.6. Çalışma alanındaki birimlere ait yoğunluk değerleri

Nokta No	ρ (kN/m^3)	H (m)
Sis-1	17.65	0-8
	22.56	8-25
	26.48	>25
Sis-2	17.65	0-8
	22.57	8-25
	26.48	>25
Sis-3	20.59	0-20
	26.48	20-45
	28.44	>45
Sis-4	19.61	0-15
	27.46	15-40
	27.46	>40

7. TÜNEL GÜZERGAHINDAKİ KAYA KÜTLESİNİN KAZILABİLME ÖZELLİĞİ

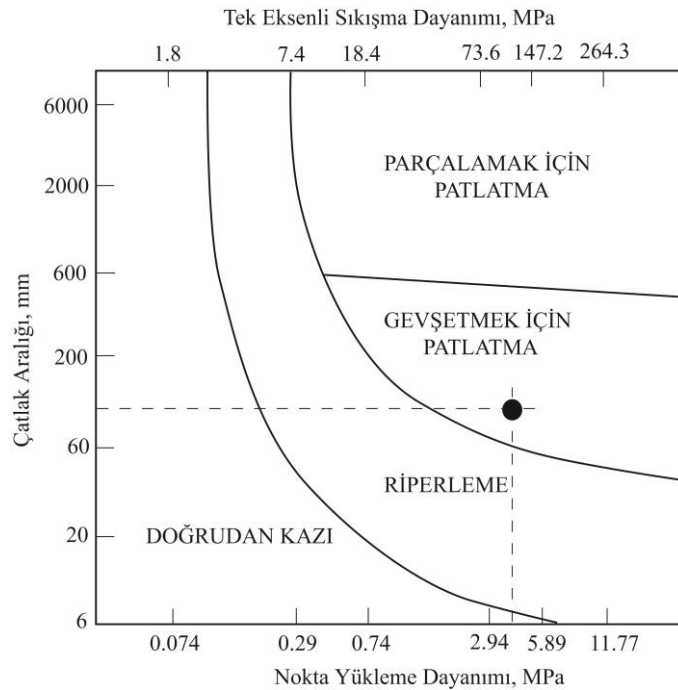
Kazılabilirlik, kayaçların bulundukları yerden kazı ekipmanları ile ne ölçüde koparılabilirdiklerinin, sökülebilirlik ise ripperli dozer ile ne ölçüde sökülerek parçalanabileceğinin göreceli ifadesidir (Ceylanoğlu vd., 2007). Yeraltı ve yerüstü kazılarında doğru kazı yönteminin ve ekipmanın seçilmesi kayaların kazılabilirlik özelliklerine bağlıdır. Kayaların kazılabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılacak doğru çalışmalar, mühendislik projelerinin uygulanabilirliğine katkı sağlayacaktır. Kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerinin iyi bir şekilde değerlendirilmesi ve buna uygun kazı yönteminin belirlenmesi, kazı sırasında karşılaşılabilecek problemleri ve kazı maliyetini en aza indirecektir. Bu nedenle birçok araştırmacı, kayaların malzeme ve kütle özelliklerinden yola çıkarak kazılabilirliği belirlemeye yönelik ön tasarım amaçlı birçok ampirik kazılabilirlik ve sökülebilirlik sınıflama sistemi geliştirmiştir (Franklin vd., 1971; Atkinson, 1971; Bailey, 1974; Weaver, 1975; Kirsten, 1982; Abdullatif ve Cruden, 1983; Scoble ve Müftüoğlu, 1983; Singh vd., 1986; Smith, 1986; Bozdağ, 1988; Paşamehmetoğlu vd., 1988; Karpuz, 1990; Pettifer ve Fookes, 1994; Hoek ve Karzulovic, 2000; Ceylanoğlu vd., 2007; Tsiambaos ve Saroglou, 2009). Geliştirilen bu sistemlerin çoğu arazi gözlemlerinden, laboratuvar deneylerinden ve yerinde yapılan deneme kazılarından elde edilen verilere dayanmaktadır. Kaya ortamında yüzeyden derine doğru gidildikçe bozunma etkisinin azalmasına bağlı olarak kazılmaya karşı gösterilen direnç artmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemlerinin birçoğunda süreksizlik yüzeyinin bozunma derecesi, pürüzlülüğü, su durumu, dolgu durumu ve açıklığı gibi yüzeysel şartlardan kolaylıkla etkilenen girdi parametreleri kullanılmaktadır. Yeraltı kazıları için bu parametreleri kullanarak kazı yöntemini belirlemeye çalışmak çoğu zaman uygulama aşamasında soruna yol açmaktadır.

Kaya vd. (2011) yüzey kazıları için uygulamada yaygın olarak kullanılan Franklin vd. (1971), Kirsten (1982), Abdullatif ve Cruden (1983), Pettifer ve Fookes (1994), Hoek ve Karzulovic (2000), Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemlerinin yeraltı kazılarında uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla yerinde yapılan kazı yöntemleri ile kazılabilirlik sınıflama sistemlerine göre belirlenen kazı yöntemlerini karşılaştırmış ve Pettifer ve Fookes (1994) ile Tsiambaos ve Saroglou (2009)

tarafından önerilen kazı yöntemlerinin, yerinde uygulanan kazı yöntemleriyle birebir uyduğu belirlenmiştir. Yeraltı kazılarında kaya kütlesinin kazılabilirlik özelliği blok boyutu ve kaya malzemesinin dayanımı tarafından kontrol edilmektedir. Bu parametrelerin kullanıldığı kazılabilirlik sınıflama sistemlerine göre kazı yöntemini belirlemek uygulama aşamasında daha iyi sonuçlar vermekte ve projenin uygulanabilirliğine katkıda bulunmaktadır. Bu iki kazılabilirlik sistemi de GSI, $I_{S(50)}$ ve I_f değişkenlerini etkin olarak kullandığından yüzey kazılarının yanı sıra yeraltı kazıları için de uygulanabilir özelliktedir (Kaya vd., 2011).

Bu çalışmada, Kömürhan Tünel güzergahındaki kaya kütlesinin kazılabilirlik özelliklerini belirlemek için Franklin vd. (1971), Bailey (1974), Church (1981), Weaver (1975), Müftüoğlu (1984), Smith (1986), Singh vd. (1987), Paşamehmetoğlu vd. (1988), Pettifer ve Fookes (1994), Ceylanoğlu vd. (2007) ve Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemlerinden yararlanılmıştır.

Franklin vd., (1971) karotlar üzerinde geliştirdikleri kazılabilirlik sınıflamasında, nokta yükü dayanımı ve çatlaklar arası uzaklık gibi iki temel parametreyi kullanmışlardır (Şekil 7.1). Ancak bu sistemin kazı aracının tipi ve kapasitesi dikkate alınmadan doğrudan kullanımı yanlış seçimlere neden olabilmektedir. Bu nedenle, bu yaklaşım yalnızca kazılabilirlik sınıflamalarına örnek bir uygulama olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 7.1. Kaya dayanımı ve çatlak aralığına bağlı olarak kazılabilirlik tayini (Franklin vd., 1971)

Franklin vd., (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması Kömürhan tüneli güzergahındaki kaya kütlesi için uygulanmıştır. Süreksizlik ölçümlerinden ortalama eklem aralığı 73.2 mm (Şekil 4.6) , laboratuvar deneylerinden elde edilen ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı ise 67.55 MPa'dır (Tablo 4.18). Bu verilere göre tünel güzergahındaki kaya kütlesi "**Gevşetmek İçin Patlatma**" kazılabilirlik sınıfına girmektedir.

Bailey (1974) ve Church (1981) tarafından yalnızca sismik hız göz önüne alınarak riperebilirlik sınıflaması geliştirilmiştir (Tablo 7.1 ve Tablo 7.2). Ancak bu tür sınıflamalarda tek bir parametrenin (sismik hız) esas alınmış olması yapılan değerlendirmenin güvenilirliği konusunda bazı endişeleri beraberinde getirmektedir. Ayrıca içerisinde boşluklar bulunan bir formasyonda ölçülecek sismik hız değerinin ortamda su bulunup bulunmamasına göre farklılık göstereceği de unutulmamalıdır (Akın, 2006).

Tablo 7.1. Sismik Hız İle Sökülebilirlik Sınıflandırması (Bailey, 1974)

P-Dalga Hızları		Sökülebilirlik Derecesi	
ft/sn	m/sn	Tanımı	Numarası
1000-2000	300-600	Çok Kolay	1-3
2000-3000	600-900	Kolay	3-4
3000-4000	900-1500	Orta	4-6
5000-7000	1500-2100	Zor	6-8
7000-8000	2100-2400	Çok Zor	8-9
8000-9000	2400-2700	Son Derece Zor	9-10

Tablo 7.2. Sismik Hız İle Sökülebilirlik Sınıflandırması (Church, 1981)

Sökülebilirlik Derecesi	Sismik Hız	
	m/sn	ft/sn
Doğrudan kazı	< 458	< 1500
Kolay	458 - 1220	1500 - 4000
Orta zor	1220 - 1525	4000 - 5000
Zor	1525 - 1830	5000 - 6000
Çok zor	1830 - 2135	6000 - 7000
Patlatma	> 2135	> 7000

Kömürhan tünel güzergahında yapılan jeofizik çalışmalar sonucunda, tünel kotunun bulunduğu seviyedeki P dalga hızlarının (Vp) 2851 m/sn ile 7106 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir (EK-6). Bu verilere göre tünel güzergahındaki kaya kütlesi Bailey (1974)

sınıflamasında "**Son Derece Zor**" sökülebilirlik sınıfında; Church (1981) sınıflamasına göre ise "**Patlatma**" sınıfındadır.

Weaver (1975) geliştirdiği ripirlenebilirlik abağında bazı kaya özelliklerinin ağırlıklı puanlamasını kullanmıştır (Tablo 7.3). Bu sınıflamada; sismik hız, kaya sertliği, ayrışma derecesi, eklemler arası mesafe, eklem sürekliliği, eklem açıklığı, doğrultu ve yatım yönü parametreleri puanlama usulü değerlendirilerek ripirlenebilirliğin tanımı yapılmış ve uygun buldozer-riper tipi önerilmiştir. Weaver' ın bu yaklaşımı birden çok parametreyi dikkate alması nedeniyle daha güvenilir bir sınıflama olmakla beraber eklem sürekliliği, açıklığı, doğrultu ve yatım yönü gibi parametrelerin işletmenin planlama safhasında (kazı öncesi) tespit edilmesi önemli zorlukları beraberinde getirmektedir.

Tablo 7.3. Ripirlenebilirlik Puanlama Abağı (Weaver, 1975)

Kaya Sınıfı	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Sismik Hız Puanı	>2150 26	2150-1850 24	1850-1500 20	1500-1200 12	1200-450 5
Kaya Sertliği Puanı	Aşırı sert kaya 10	Çok sert kaya 5	Sert kaya 2	Yumuşak kaya 1	Çok yumuşak kaya 0
Eklem Ayrışması Puanı	Ayrışmamış 9	Hafifçe ayrışmış 7	Ayrışmış 5	İleri derecede ayrışmış 3	Tümüyle ayrışmış 1
Eklem Aralığı Puanı	>3000 30	3000-1000 25	1000-300 20	300-50 10	<50 5
Eklem Sürekliliği Puanı	Sürekli değil 5	Az sürekli 5	Sürekli- dolgunuz 3	Sürekli-az dolgulu 0	Sürekli dolgulu 0
Eklem Dolgusu Puanı	Eklem yüzeyleri bitişik 5	Eklem yüzeyleri az açık 5	Açıklık <1 mm 4	Dolgu < 5 mm 3	Dolgu > 5 mm 1
Doğrultu ve Yatım Yönü Puan	Hiç uygun değil 15	Uygun değil 13	Az uygun 10	Uygun 5	Çok uygun 3
Toplam Puan	100-90	90-70 (*)	70-50	50-25	<25
Ripirlenebilirlik	Patlatma Gerekli	Riperleme Çok Zor Patlatma Gerekli	Çok Zor Riperleme	Zor Riperleme	Kolay Riperleme
Riper Seçimi	-	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7
Güç (HP)	-	770/385	385/270	270/180	180
Kilowatt	-	575/290	290/200	200/135	135

(*) Toplam puan 75'den fazla olursa patlatma yapmaksızın riperleme düşünülmemelidir.

Bu inceleme kapsamında gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler (EK-4, Tablo 4.2, Tablo 4.26) yardımıyla tünel güzergahındaki kaya kütlesi Weaver (1975) tarafından önerilen sınıflamaya göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmaya ait parametreler ve bu parametrelere ait puanlar Tablo 7.4'te verilmiştir. Yapılan sınıflamaya göre tünel güzergahındaki kaya kütlesi **"Riperleme Çok Zor-Patlatma Gerekli"** kazılabilirlik sınıfındadır.

Tablo 7.4. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Weaver (1975) riperebilirlik sınıflaması

Parametreler	Değerler	Puanlar
Sismik Hız	>2150	26
Kaya Sertliği	Aşırı sert kaya	10
Eklem Ayrışması	Hafifçe ayrılmış	7
Eklem Aralığı	300-50	10
Eklem Sürekliliği	Az sürekli	5
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri az açık	5
Doğrultu ve Yatım Yönü	Az uygun	10
Toplam Puan	73	
Kaya Sınıfı	Çok İyi Kaya	
Riperebilirlik	Riperleme Çok Zor Patlatma Gerekli	

Müftüoğlu, (1983) İngiltere'deki birçok açık ocak işletmesinde kazılabilirliğin belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada; ayrışma derecesi, tek eksenli sıkışma dayanımı, eklemler arası mesafe ve katmanlaşma kalınlığı gibi jeoteknik parametreleri sistematik bir şekilde kullanmıştır. Bu parametrelerin puanlanmasından elde edilen yedi ayrı sınıf oluşturularak bir kazılabilirlik sınıflaması yapılmıştır (Scoble ve Müftüoğlu, 1984). Söz konusu puanlama sistemi ve kazılabilirlik sınıflaması Tablo 7.5 ve Tablo 7.6'da sunulmuştur. Kömürhan tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan sınıflamaya göre, kaya kütlesi **"Çok Zor"** kazılabilir özelliktedir (Tablo 7.6).

Tablo 7.5. Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi (Müftüoğlu, 1983)

Sınıf Parametre	I		II		III		IV		V		
Ayrışma Derecesi Puanlama (AD)	Tümüyle		Oldukça		Orta Derecede		Hafifçe		Ayrışmamış		
	0		5		15		20		25		
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	< 20		20-40		40-60		60-100		> 100		
Nokta Yük. İndeksi Puanlama (BDn)	< 0.5		0.5-1.5		1.5-2		1-3.5		> 3.5		
	0		10		15		20		25		
Çatlaklar Arası Mesafe Puanlama (Ç)	< 0.3		0.3-0.6		0.6-1.5		1.5-2		> 2		
	5		15		30		45		50		
Katmanlaşma Kalınlığı Puanlama (K)	< 0.1		0.1-0.3		0.3-0.6		0.6-1.5		> 1.5		
	0		5		10		20		30		
Toplam Kazılabilirlik Puanı (AD+BDn+Ç+K)	<40	40-50	50-60	60-70	70-95	95-100	>100				
Kazı Tanımı	Çok Kolay	Kolay	Biraz Zor	Zor	Çok Zor	Çok Zor	GevşetilmeOlmaksızın Pek Zor				

Tablo 7.6. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflaması

Sınıf Parametre	Değerler	Puanlar
Ayrışma Derecesi Puanlama (AD)	Hafifçe ayrılmış	20
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama 67.55 MPa	20
Çatlaklar Arası (BDn) Mesafe Puanlama (Ç)	Ortalama 7.32 cm	5
Katmanlaşma Kalınlığı Puanlama (K)	> 1.5	30
Toplam Puan (AD+BDn+Ç+K)		75
Kazı Tanımı		Çok Zor

Smith, (1986), ripirlenebilirlik abasında bazı değışiklikler yaparak Weaver (1975) sınıflama sistemini Tablo 7.7'de verildiğı gibi yeniden düzenlemiştir. Bu sınıflamaya göre yapılan puanlamada tünel güzergahındaki kaya kütlesinin sınıfı orta kaya, kazılabilme sınıfı ise "**Çok Zor Riperleme**" olarak belirlenmiştir (Tablo 7.8).

Tablo 7.7. Weaver'in Değiştirilmiş Riperlenebilirlik Abağı (Smith, 1986)

Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	> 75	60-75	44-60	22-44	10-22
Kaya sertliği*	Çok sert kaya ≥ 70 Mpa	Sert kaya 70 - 25 Mpa	Orta sert kaya 25 - 10 Mpa	Yumuşak kaya 10 - 3 Mpa	Çok yumuşak kaya < 3 Mpa
Puanlama	≥ 10	5	2	1	0
Kaya ayrışması	Ayrışmamış	Hafifçe ayrışmış	İleri derecede ayrışmış	Tümüyle ayrışmış	Tümüyle ayrışmış
Puan	10	7	5	3	1
Eklem aralığı (mm)	> 3000	3000 - 1000	1000 - 300	300 - 50	< 50
Puan	30	25	20	10	5
Eklem sürekliliği	Sürekli değil	Az sürekli	Sürekli dolgusuz	Sürekli az dolgulu	Sürekli dolgulu
Puan	5	5	3	0	0
Eklem dolgusu	Ekl. yüzeyleri bitişik	Ekl.yüzeyleri az açık	Açıklık < 1mm	Dolgu < 5 mm	Dolgu > 5 mm
Puan	5	5	4	3	1
Doğrultu ve eğim yönü	Hiç uygun değil	Uygun değil	Az uygun	Uygun	Çok uygun
Puan	15	13	10	5	3

* Tek eksenli basınç dayanımı karşılığı

Tablo 7.8. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Weaver (1975) riperlenebilirlik sınıflaması

Parametreler	Sınır değerler	Puanlar
Kaya Sertliği	Aşırı sert kaya	10
Eklem Ayrışması	Hafifçe ayrışmış	7
Eklem Aralığı	Ortalama 73.2 mm	10
Eklem Sürekliliği	Az sürekli	5
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri az açık	5
Doğrultu ve Eğim Yönü	Az uygun	10
Toplam Puan		47
Kaya Sınıfı		Orta Kaya
Riperlenebilirlik		Çok Zor Riperleme

Singh vd., (1987) beş değişik parametreyi kullanarak bir riperleme sınıflaması geliştirmişlerdir. Tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma derecesi, sismik hız, süreksizlikler arası mesafe ve kayanın aşındırma özelliği parametreleri ağırlıklı puanlandırılmıştır (Tablo 7.9). Bu sınıflamaya kayanın aşındırma derecesinin dahil edilmesi önem taşımaktadır. Kömürhan tünel güzergahındaki kaya kütlesi için uygulanan bu sınıflama sonucunda, kaya kütlesinin kazılabilme sınıfı "**Marjinal**" olarak belirlenmiştir (Tablo 7.10).

Tablo 7.9. Riperlenebilirlik İndeksine Göre Kaya Kütle Sınıflaması (Singh vd., 1987)

Parametreler	Kaya Sınıfı				
	1	2	3	4	5
Tek Eks. Basınç Dayanımı (MPa)	< 2	2-6	6-10	10-15	> 15
Puanlama	0-3	3-7	7-11	11-14	14-17
Ayrışma Derecesi Puanlama	Tümüyle Ayrışmış 0-2	İleri derecede ayrılmış 2-6	Orta derecede ayrılmış 6-10	Az derecede ayrılmış 10-14	Ayrışmamış 14-18
Sismik Hız (m/sn)	400-1100	1100-1600	1600-1900	1900-2500	>2500
Puanlama	0-6	6-10	10-14	14-18	18-25
Aşınabilirlik Puanlama	Çok Az 0-5	Az 5-9	Orta 9-13	İleri derecede 13-18	Oldukça 18-22
Süreksizlikler Arası Mesafe (m)	< 0.06 0-7	0.06-0.3 7-15	0.3-1 15-22	1-2 22-28	> 2 28-33
Puanlama					
Toplam Puan	< 30	30-50	50-70	70-90	> 90
Riperlenebilirlik	Kolay	Orta	Zor	Marjinal	Patlatma
Dozer Sınıfı	1.sınıf Hafif iş	2.sınıf Orta iş	3.sınıf Ağır iş	4.sınıf Çok ağır iş	---
Güç (kw)	< 150	150-250	250-350	> 350	---
Ağırlık (kg)	< 25000	25000-35000	35000-55000	> 55000	---

Tablo 7.10. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Singh vd. (1987) riparlenebilirlik sınıflaması

Parametreler	Sınır değerler	Puanlar
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	67.55	17
Ayrışma Derecesi	Az ayrıışmış	14
Sismik Hız (m/s)	> 2500	25
Aşınabilirlik	İleri derecede	18
Süreksizlik Ara Mesafesi (m)	0.0732	10
Toplam Puan	84	
Kaya Sınıfı	4. Sınıf	
Riparlenebilirlik	Marinal	

Paşamehmetoğlu vd., (1988) çok sayıda ölçümü içeren oldukça geniş çaplı bir arazi çalışması yapmışlar ve bu ölçümlerin ışığında puanlama düzenine dayalı bir sınıflama sistemi geliştirmişlerdir (Tablo 7.11 ve Tablo 7.12). Bu sınıflama sisteminde farklı ocakları kapsayan önemli sayıda ölçümün kullanılmış olması, bu sınıflamayı diğerlerine göre etkin kılmaktadır. Bu sınıflamaya göre Kömürhan tünel güzergahındaki kaya kütlesinin kazılabilirlik özelliği "Zor-Patlatma Gerekli" olarak belirlenmiştir (Tablo 7.13).

Tablo 7.11. Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi (Paşamehmetoğlu vd., 1988)

Kazı Sınıfı Parametreler	1	2	3	4	5
σ_c , MPa ($I_s(50)$)	< 5 (0.2)	5-20 (0.2-0.8)	20-40 (0.8-1.6)	40-110 (1.6-4.4)	> 110 (4.4)
Puan	2	5	10	20	25
Ortalama Eklem Aralığı, cm	<30	30-60	60-120	120-200	> 200
Puan	5	10	15	20	25
Sismik Hız, m/sn	< 1600	1600-2000	2000-2500	2500-3000	> 3000
Puan	5	10	15	20	25
Ayrışma Durumu	Tamamen	İleri derecede	Orta derecede	Taze-az	Ayrıışmış
Puan	0	3	6	10	
Sertlik, (SHV)	< 20	20-30	30-45	45-55	> 55
Puan	3	5	8	12	15

* Tablo, tabakalanma +2 eklem takımının varlığı için önerilmiştir.

Tabakalanma + 1 eklem takımı varsa +5

Tabakalanmadan başka eklem takımı yoksa +10

Süreksizlik belirgin değilse +15 puan toplama ilave edilmelidir.

** Taze birimlerin içinde yer yer makaslama zonları bulunabileceği ihtimali ve az ayrıışmış sınıfta fazla dayanım kaybı olamayacağı nedenleriyle taze ve az ayrıışmış birimler birlikte değerlendirilmiştir.

Tablo 7.12. Kazılabilirlik Sınıflandırması (Paşamehmetoğlu vd., 1988)

Kazı Sınıfı	Kazı Tanımı	Kazılabilirlik Puanı	Kazı Türü ve Aracı			Patlatılacaksa	
			Elektrikli Kazıcı*	Hidrolik Kazıcı**	Riperlenebilir	Ort. Delme Hızı m/dk.	Özgül Şarj gr/m ³
1	Kolay	0-25	Doğrudan Kazabilir	Doğrudan Kazabilir	D7 Dozer Riperleyebilir	-	-
2	Orta	25-45	Patlatma Gerekli	Doğrudan Kazabilir	D8 Marjinal veya D9 Dozeri Riperleyebilir	1.48	130-200
3	Orta zor	45-65	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	D9 Dozeri Marjinal veya D11 Riperleyebilir	1.28	200-280
4	Zor	65-85	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli D11Dozeri Verimsiz Riperleyebilir	0.57	280-350
5	Çok zor	85-100	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	< 0.42	> 350

* 10-25 yd³ kapasite için geçerlidir** Hidrolik ekskavatör, 7 yd³ ve altı için geçerlidir.**Tablo 7.13.** Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Singh vd. (1987) riperlenebilirlik sınıflaması

Parametreler	Sınır değerler	Puanlar
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	67.55	20
Ayrışma Durumu	Az ayrıışmış	10
Sismik Hız (m/s)	> 3000	25
Sertlik	> 55	15
Ortalama Eklem Aralığı (cm)	7.32	5
Toplam Puan	65	
Kaya Sınıfı	4. Sınıf	
Riperlenebilirlik	Zor-Patlatma Gerekli	

Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde girdi parametresi olarak süreksizlik aralık indeksi (If) ve nokta yükü dayanım indeksi (I_s(50)) değerleri kullanılmaktadır. Süreksizlik aralık indeksi (If), hacimsel eklem sayısından (J_v) yararlanılarak üç süreksizlik takımı içeren kaya kütleleri için ISRM (1981) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmektedir.

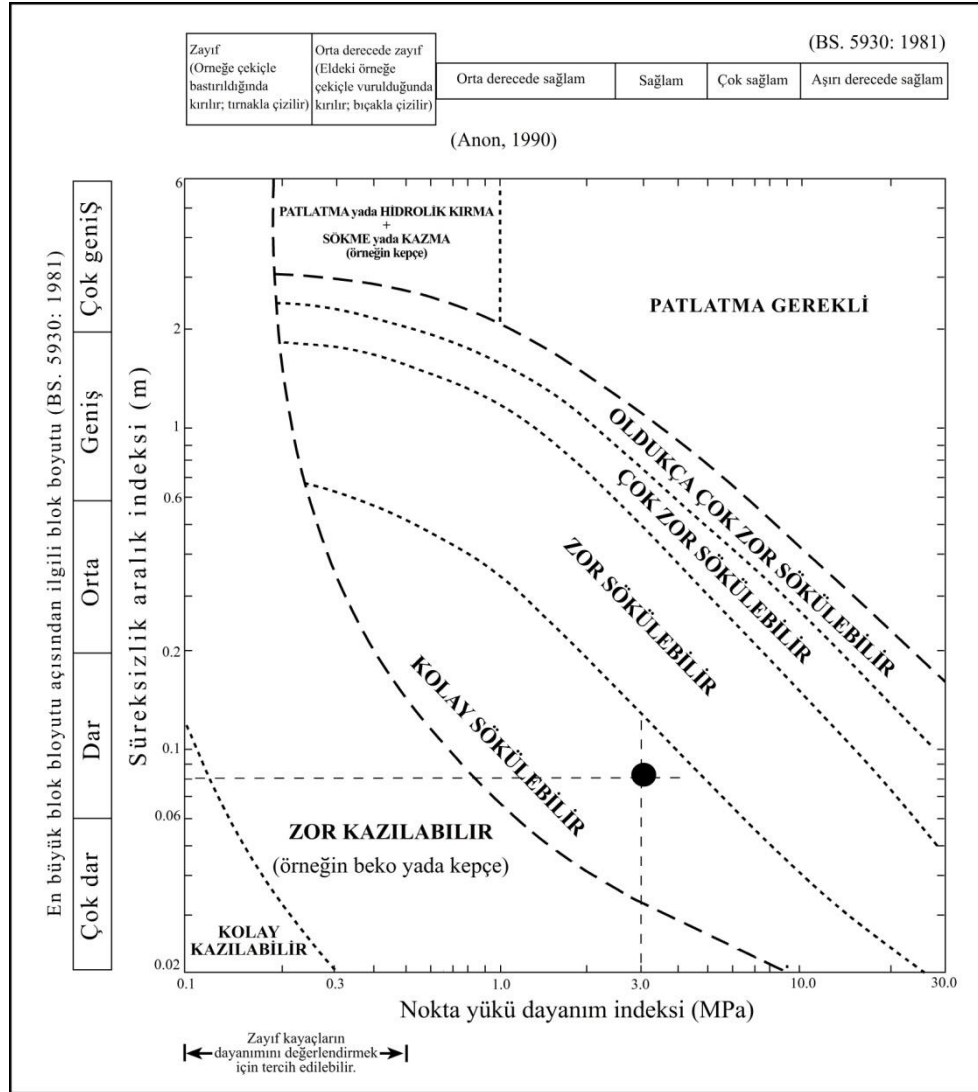
Süreksizlik Aralık İndeksi (I_f);

$$I_f = \frac{3}{J_v} \quad (7.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikteki Hacimsel Eklem Sayısı ise ISRM (1981) tarafından önerilen;

$$J_v = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} \quad (7.2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 7.2. Jeoteknik birimlerin Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.

Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamasının uygulandığı Kömürhan tünel güzergahındaki kaya kütlelerine ait parametreler ve kazı sınıfı Tablo 7.14'de verilmiştir. Bu sınıflamaya göre tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin kazı sınıfı "**Kolay Sökülebilir**" kazı sınıfı ile "**Zor Sökülebilir**" kazı sınıfı sınırındadır.

Tablo 7.14. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Pettifer ve Fookes (1994) kazılabilirlik sınıflaması

Parametreler	1. Eklem Seti	2. Eklem Seti	3. Eklem Seti	4. Eklem Seti
Ortalama Eklem Ara Uzaklığı (m)	0.0595	0.0836	0.0594	0.0458
Hacimsel Eklem Sayısı (J_v, m^{-3})		52.33		
Süreksizlik Aralık İndeksi (I_f, m)		0.08		
Kazı Sınıfı	"Kolay veya Zor Sökülebilir"			

Ceylanoglu vd., (2007) mevcut sınıflama sistemlerinde kullanılan parametrelerin sıklığı ve ağırlıkları, değişik kaya birimlerine ait elde edilen kütle ve malzeme özellikleri ve bu kaya birimlerinin mevcut sınıflama sistemlerine göre değerlendirme sonuçları dikkate alınarak yeni bir sınıflama sistemi geliştirilmiştir. Bu sınıflama sisteminde sismik hız, çatlak aralığı, tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma derecesi ve sertlik olmak üzere beş parametre önerilmiştir (Tablo 7.15). Bu sınıflamada kaya birimleri toplam 100 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Önerilen sınıflama sisteminde kullanılan beş parametrenin puanları ve değer aralıkları mevcut sınıflama sistemleri ve değişik kaya birimlerine ait kazılabilirlik değerlendirme sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 7.15. Kazılabilirlik sınıflama sistemi (Ceylanoğlu vd., 2007)

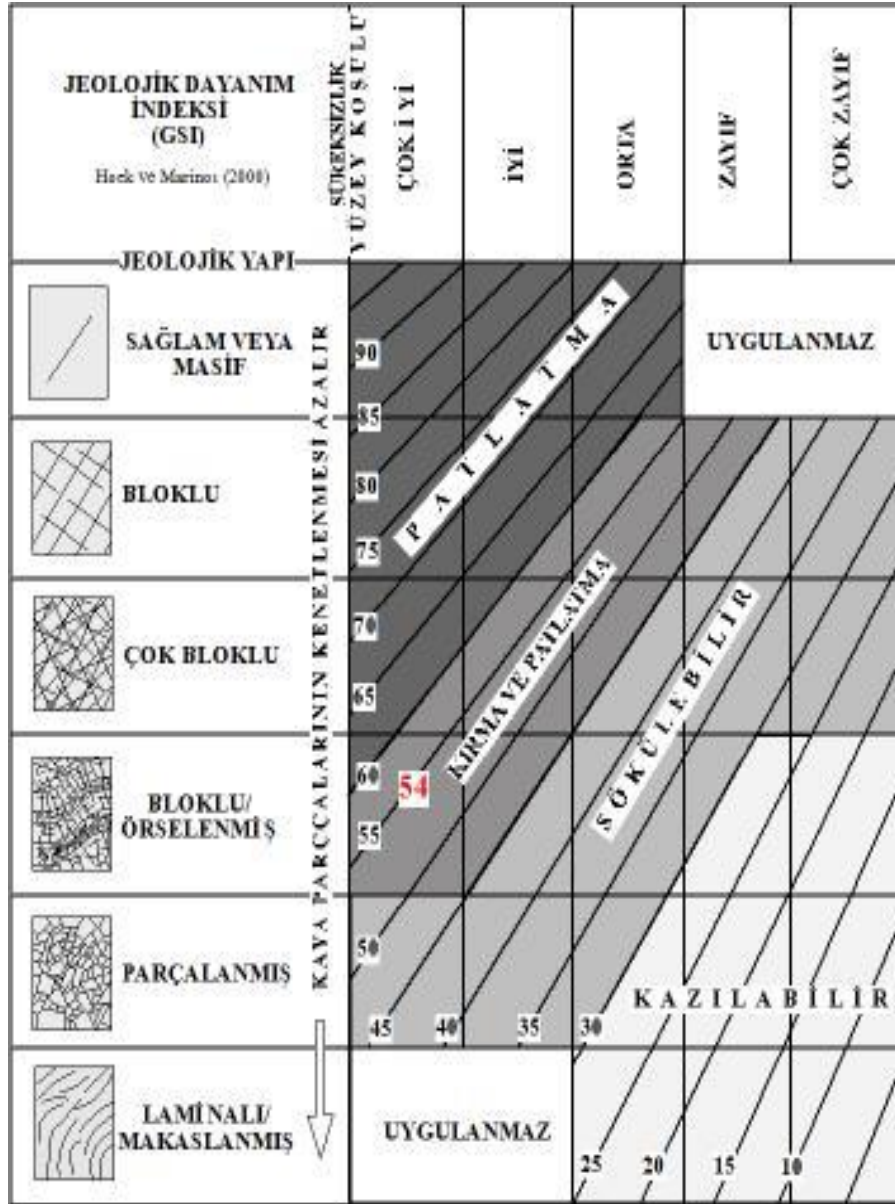
Kazı Zorluğu Sınıfı					
Parametreler	Kolay	Orta	Orta/Zor	Zor	Çok Zor
Sismik Hız (m/sn)	< 1000	1001-2000	2001-2600	2601-3000	> 3000
Puan	0-12	13-22	23-37	38-39	40
Çatlak Aralığı mm	< 170	171-600	601-1200	1201-2250	> 2250
Puan	2-4	5-14	15-19	20-23	24-25
Tek Eksenli Basınç	< 7	8-20	21-40	41-70	> 70
Dayanımı (MPa)	0-5	6-9	10-13	14-18	19-20
Puan					
Ayrışma Derecesi	Tümüyle Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış	Orta Derecede Ayrışmış	Hafif Ayrışmış	Ayrışmamış
Puan	0	1-3	4-6	7-9	10
Sertlik	Çok Yumuşak	Yumuşak	Az Sert	Çok Sert	Aşırı Sert
Puan	0	1	3	4	5
Toplam	≤ 25	26-53	54-80	81-94	95-100

Bu inceleme kapsamında gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler (EK-4, Tablo 4.2, Tablo 4.26) yardımıyla tünel güzergahındaki kaya kütlesi Ceylanoğlu vd. (2007) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemi göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmaya ait parametreler ve bu parametrelere ait puanlar Tablo 7.16'da verilmiştir. Yapılan sınıflamaya göre tünel güzergahındaki kaya kütlesi "**Orta-Zor**" kazılabilirlik sınıfındadır.

Tablo 7.16. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan Ceylanoğlu vd. (2007) ripirlenebilirlik sınıflaması

Parametreler	Sınır değerler	Puanlar
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	67.55	20
Ayrışma Derecesi	Az ayrıışmış	9
Sismik Hız (m/s)	> 3000	40
Sertlik	Aşırı Sert	5
Ortalama Eklem Aralığı (mm)	73.2	4
Toplam Puan	78	
Kazı Zorluğu Sınıfı	Orta-Zor	

Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde girdi parametresi olarak GSI ve $I_s(50)$ parametleri kullanılmaktadır. $I_s(50) \geq 3$ MPa ve $I_s(50) < 3$ MPa koşuluna göre kaya kütlelerini kazılabilirlik açısından değerlendirmek için iki farklı GSI abağı önerilmiştir. Tünel güzergahındaki kaya kütlesinin kazı sınıfını belirlemek için $I_s(50) > 3$ MPa koşuluna göre önerilmiş GSI abağı kullanılmıştır (Şekil 7.3). Bu sınıflamaya göre tünel güzergahındaki kaya sınıfı "**Kırma ve Patlatma**" olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.3. Tünel güzergahındaki kaya kütleinin Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi ($I_s(50) > 3$ MPa)

Tünel güzergahı boyunca yapılan bütün kazılabilirlik ve sökülebilirlik sınıflamalarına ait sonuçlar Tablo 7. 17'de verilmiştir. Yapılan kazılabilirlik sınıflamalarından elde edilen sonuçlar kaya kütleinin zor kazılabilir özellikte olduğunu ve patlatma gerektiğini göstermektedir (EK- 8).

Tablo 7.17. Tünel güzergahındaki kaya kütlesi için yapılan kazılabilirlik sınıflamalarına ait sonuçlar

Sınıflama Sistemi	Kazı Sınıfı
Franklin vd., 1971	Gevşetmek için patlatma
Bailey, 1974	Son derece zor sökülebilir
Church, 1981	Patlatma
Weawer, 1975	Riperleme çok zor-Patlatma
Müftüoğlu, 1983	Çok zor kazılabilir
Smith, 1986	Çok zor riperleme
Singh vd., 1987	Marjinal
Paşamehmetoğlu vd., 1988	Zor-Patlatma
Pettifer ve Fookes, 1994	Kolay-Zor sökülebilir
Ceylanoğlu vd., 2007	Orta-Zor
Tsiambaos ve Saroglou, 2009	Kırma ve Patlatma

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Elazığ-Malatya karayolunun 1+458-3+869 kilometreleri arasında çift tüp olarak inşa edilmesi planlanan Kömürhan Tüneli'nin proje güzergahındaki kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri incelenmiştir. Yapılan jeoteknik çalışmalar ile elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

1. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki birimlerin tanınması ve jeolojik modelin oluşturulması amacı ile önceki çalışmalardan yararlanarak jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve yaşlıdan gence doğru aşağıdaki birimler ayırtlanmıştır;

- Tabanda ve tavanda gabro, diyorit, meta-gabrodan oluşan Üst Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyoliti,
- Tabandan tavana kadar kireç taşlarından oluşan Orta Paleosen-Alt Eosen yaşlı Seske Formasyonu,
- Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları.

2. İnceleme alanındaki Kömürhan Ofiyoliti mostralarda seçilen alanlar boyunca yapılan hat etüdü çalışmalarıyla, süreksizliklerin mühendislik özellikleri belirlenmiş olup, buna göre Kömürhan Ofiyolitleri 4 süreksizlik seti içermektedir. Bu eklem setlerinin yönelimleri 25/143, 65/96, 24/330 ve 75/61 olarak belirlenmiştir. Eklemler, dar-yakın derecede aralıklı, çok sık-sık açıklıklı, düşük derecede devamlılıkta, az bozunmuş, düzlemsel pürüzlü ve nadiren kalsit - kil dolguludur.

3. Kömürhan tünel güzergahında Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından açtırılan araştırma sondajlarına ait karot örnekleri incelenmiş ve kaya kütlelerinin ortalama toplam karot verimi (TKV) %90-100 ve kaya kalite göstergesi (RQD) ise ortalama % 47.76 olduğu belirlenmiştir.

4. Kaya malzemesinin fiziksel mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek amacıyla derlenen karot örneklerde yapılan deney sonuçlarına göre; ortalama doğal birim hacim ağırlık 27.43 kN/m³, tek eksenli sıkışma dayanımı 67.55 MPa, nokta yükü dayanım indeksi 3.98 MPa, elastisite modülü 16.19 GPa ve poison oranı 0.269 olarak belirlenmiştir.

5. Kömürhan Tüneli projesi kapsamında Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından yaptırılan presiyometre deneylerine ait sonuçlara göre ofiyolitlerin kaya kütle deformasyon

modülü değerlerinin 0.08-2.77 GPa arasında değiştiği ve ortalama 2.17 GPa değerinde olduğu belirlenmiştir.

6. Kömürhan Tünel güzergahında ve çevresinde yer alan kaya kütleleri RMR, RMi, ve GSI kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Kaya kütlelerinin RMR değerleri 55-61 arasında değişmekte olup, bu değerlere göre kaya sınıfı "orta" kayadır. RMi değerleri 2.14-3.23 arasında değişmekte olup, bu değerlere göre kaya sınıfı "orta" kayadır. GSI değerleri ise 52-56 arasında değişmekte olup, bu değerlere göre kaya sınıfı “bloklı/örselenmiş” olarak belirlenmiştir.

7. Kömürhan Tüneli’nde uygulanacak ön destekleme elemanları RMR ve RMi sistemlerine göre belirlenmiş ve bu destek elemanlarının deformasyonları ne ölçüde azalttıkları sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılarak destek elemanlarının uygulanabilirlikleri incelenmiştir. Yapılan sayısal analizler sonucunda tünel kazı kesitinde kayma ve çekme gerilmelerinin en çok duvarda ve tabanda yoğunlaştığı saptanmıştır.

8. RMR ve RMi kaya kütle sınıflama sistemlerinden elde edilen desteklerin uygulanmasından sonra, bu destek sistemlerinin tünelde meydana gelecek olan yenilmeleri tamamen ortadan kaldırmadığı belirlenmiştir. Özellikle duvarlarda duraylılık problemlerinin meydana gelme olasılığı yüksektir. Bu nedenle duraylılık sorunu beklenen bu bölümler, doğru destek elemanlarının belirlenmesi açısından yeniden değerlendirilmiş ve uygun destek elemanları belirlenmiştir.

9. RMR sınıflamasının tavan için önerdiği kaya bulonlarının uzunluğunun gereğinden fazla olduğu, RMi sınıflamasının önerdiği kaya bulonlarının aralığının ise gereğinden daha dar aralıklı olduğu sonucuna varılmıştır. RMR sınıflamasının duvarlar için önerdiği kaya bulonlarının daha gerçekçi iken, tünel için RMi tarafından önerilen tavan ve yan duvarlarda uygulanacak püskürtme beton kalınlığının daha gerçekçi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tespitlerden yola çıkılarak tünel için yeni bir destek sistemi önerilmiştir.

10. Bu çalışmada önerilen destek sistemlerinin uygulanmasından sonra yapılan sayısal analizlerde, tünelde meydana gelecek olan yenilme ve duraysızlıklar minimum seviyeye inmiştir. Yapılan sayısal analizler sonucunda, sadece ampirik sınıflamalardan elde edilen ön destek tasarımının yeterli olmadığı ve bu destek sistemlerinin sayısal analizlerle desteklenmesi gerektiği saptanmıştır.

11. Bu çalışma kapsamında Kömürhan Tüneli'nin yeraltı morfolojisi hakkında bilgi vermek ve sismik hızları bulmak amacıyla 4 sismik kırılma çalışması gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin sonucunda elde edilen tabakaların sismik hız ve kalınlık değerleri kullanılarak

yapılan değerlendirmede tabakaların hangi jeolojik birimleri temsil ettiği ve sismik hızları belirlenmiştir.

12. Tünel güzergahı boyunca yapılan sismik çalışmalarda P dalga hızının (V_p) 1024-7653 m/sn, S dalga hızının (V_s) 558-4517 m/sn, Poison Oranı'nın (ν) 0.16-0.28, Young Modülü'nün (E) 2.07-142.73 GPa, Kayma Modülü'nün (G) 0.85-57.87 GPa ve Yoğunluğun (ρ) ise 17.65-28.44 kN/m³ değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

13. Çalışma kapsamında, öncelikle literatür araştırması yapılarak bazı önemli kaya malzeme sınıflamaları ve kazılabilirlik/riperlenebilirlik sınıflama sistemleri ortaya konulmuş ve incelenmiştir. İnceleme kapsamında gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler yardımıyla tünel güzergahındaki kaya kütlesi değişik kaya birimleri mevcut kazılabilirlik ve riperlenebilirlik sınıflama sistemlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yapılan bu sınıflamalar sonucunda tünel güzergahındaki kaya kütlesinin kazılabilime sınıfının "**ok Zor-Patlatma**" olduğu belirlenmiştir.

9. KAYNAKLAR

- Abdullatif, O.M. ve Cruden, D.M.**, 1983. The relationship between rock mass quality and ease of excavation. Bull. Intl. Assoc. Eng. Geol. No. 28. 183-187.
- Akgul, M.**, 1987. Baskil (Elazığ) Granitoidinin Petrografik ve Petrolojik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, K.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yayınlanmamış).
- Akay, E., ve Herece, E.**, 1992. Orta Doğu Toroslar'da Volkanitsiz Eosen ile Volkanitli Eosen Çökellerinin İlişkileri ve Olası Bir Transform Fay. 9. Türkiye Petrol Kongresi, Ankara.
- Allen, C.R.**, 1969, Active faulting in northern Turkey. Contr. 1577. Div. Geol. Sciences, Calif. Inst. Tech., 32 pp.
- Ambraseys, N.**, 1970 Some characteristic features of the Anatolian fault zone Tectonophysics, 9, 143-65.
- Ambraseys, N.**, 1971 Value of historical records of earthquakes Nature, 232, 375 9.
- Arpat, E., Şaroğlu, F.**, 1972, Doğu Anadolu Fayı ile ilgili gözlemler ve düşünceler: MTA Enst. Dergisi, 78, 44-50, Ankara.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F.**, 1975. Türkiye'de bazı önemli genç tektonik olaylar. Türkiye Jeoloji Bülteni, 18, 1, 91-101.
- Arpat, E.**, 1977, Karakaya barajı çok büyük depremlerle sınanacaktır. Yeryuvarı ve İnsan, 59 - 62.
- Asutay, H. J. ve Poyraz, N.**, 1983. Kömürhan ofiyolitlerinin iç yapısı ve Doğu Toros kusagının evrimdeki yeri. International Symposium on the Geology of The Taurus Belt. Abstracts, p. 58-59.
- Asutay, H. J.**, 1985. Baskil (Elazığ) Çevresinin Jeolojik ve Petrografik İncelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara, (yayınlanmamış).
- Asutay, H. J.**, 1986. Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojisi ve Baskil magmatitlerinin petrolojisi. MTA Bull., 107, 49-72, Ankara.
- Asutay, H. J., Turan, M., Poyraz, N., Orhan, H., Tarı, E. ve Yazgan, E.**, 1986. Doğu Toroslar Keban-Baskil (Elazığ) Dolaylarının Jeolojisi. MTA Derleme Rapor No: 8007, Ankara (yayınlanmamış).
- Asutay, H. J.**, 1988. The Geology of Baskil (Elazığ) Vicinity and Petrology of Baskil Magmatics. Bulletin of Mineral Research And Exploration, 107:46-72.

- ASTM (American Society for Testing and Materials)**, 1994. Annual Book of ASTM Standards Construction: Soil and Rock. ASTM Publication, V.04.08,978pp.
- ASTM**, 2000. Standart Test Method for Pressuremeter Testing in Soils: Annual Book of ASTM Standards. ASTM Publications, Philadelphia.
- Atkinson, T., 1971;** “Selection of Open-pit Excavating and Loading Equipment”, Trans. Ins. of Mining and Metallurgy, Vol.80, p.A101-129.
- Attewell, P.B., Farmer, I.W., 1976.** Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall, London, 1045.
- Ayberk, K., 2012.** Cankurtaran (hopa-artvin) tünel güzergahının ve çevresinin jeoteknik açıdan incelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitusu., Sivas, Doktora Tezi, 121-126, 161-170s.
- Ayda, A., 2006.** Kazılabilirlik ve riparlenebilirlik sınıflama sistemlerinin araştırılması ve değerlendirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitusu., Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 12-20s.
- Aydan, ., Shimizu, Y. ve Kavvamoto, T., 1995.** A Portable System for In-situ Characterization of Surface Morphology and Frictional Properties of Rock Discontinuities. Proc 4th Intl. Symp. Field Measurements in Geomechanics, Bergamo, Italy, 463-470.
- Bailey, A.D., 1975;** “Rock Types and Seismic Velocitie versus Rippability”, Highway Geol.Symp.Proc., No.26, pp. 135-142.
- Barka, A., Kandinsky-Cade, K., 1988.** Strike±slip fault geome- try in Turkey and its in¯uence on earthquake activity. Tec- tonics 7 (3), 663±684.
- Barton, N. ve Bannis, S., 1982.** Effect of Block Size on the Shear Behavior of Jointed Rock, Issiue in Rock Mechanic, 23 rd U.S. Symposium on Rock Mechanic, Berkeley, California, Society of Mining Engineers of AIME.
- Barton, N. ve Bannis, S., 1990.** Review of Predictive Capabilities of JRC-JCS Model In Engineering Practice, Rock Joints, Leon, Norway. Balkema, Rotterdam, 603-610.
- Beyarslan, M., ve Bingöl, A. F., 1996.** Kömürhan Ofiyolit Biriminin Petrografik ve Petrolojik İncelenmesi. F. . Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 8(2): 1-16.
- Beyarslan, M., 1996.** Komurhan ofiyolit biriminin petrografik ve petrolojik incelenmesi. Fırat Universitesi Fen Bilimleri Enstitusu., Elazığ Doktora Tezi, 103s.

- Beyarslan, M., ve Bingöl, A. F.,** 2000. Petrology of a Supra-Subduction Zone Ophiolite (Elazığ, Turkey). *Can. J. Earth Sci.*, 37:1411-1424.
- Beyarslan, M., ve Bingöl, A. F.,** 2001. Origin of Wehrlitic Intrusions in the İspendere (Malatya) and Kömürhan (Elazığ) Ophiolitic Complex (Eastern Taurus – Turkey). *Geosound*, 38: 39-47.
- Bieniawski, Z., T.,** 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses, *Transactions of South African Institution of Civil Engineering*, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T.,** 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley and Sons, 237 p.
- Bingöl, A. F.,** 1984. Geology of the Elazığ Area in the Eastern Taurus Region: *Proceedings of the Int. Symposium on the Geology of the Taurus Belt* (edited by Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C.), 26–29 September 1983, Ankara-Turkey, 209-216.
- Bingöl, A. F.,** 1986. Petrographic and Petrologique Characteristic of the Guleman Ophiolite (Eastern Taurus-Turkey). *Geosound*, 13/14: 41-57.
- Bowles, J.E.,** 1988. *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Büyükaşkoğlu, S.,** 1987, *Sismoloji Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Büyüksaraç, A.,** 2004. Kayalarda Mekanik Özelliklerin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi: Antakya-Suriye Sınır Yolu Çalışması. *KAYAMEK-2004*, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, 223-232.
- Ceylanoğlu, A., Gül, Y. ve Akin, A.,** 2007. Investigation of Diggability and Rippability Classification Systems and Proposition of a New Classification System (in Turkish), *Mining Journal*, 46, 2, 13-26.
- Church, H.K.,** 1981; “Excavation Handbook”, McGraw-Hill, USA.
- Çapan, U. Z.,** 1977. Ofiyolit Olgusu. *T.J.K. Yerbilimleri Konferans Dizisi*, Kış Dönemi, 1-3, 16s.
- Deere, D., U.,** 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposed, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1, 17-22.
- Demirtaş, R., Yılmaz, R.,** 1996, Seismotectonic map of Türkiye showing Ms ³ 4.0 for 1900-1993 (ERD), *International Symposium, Earthquake Research in Türkiye*, State of Art, 30 October-5 September, Ankara-Türkiye.

- Ercan, A., 1979.** Doğu Anadolu Fayı Üzerinde Küçük Deprem Çalışmaları, Yeryuvarı ve İnsan, 4/1, 21-30 .
- Erdoğan, T., 1975.** Gölbaşı Yöresinin Jeolojisi. TPAO Raporu, No: 229 (Yayınlanmamış).
- Ergin, K., 1966.** Türkiye ve civarının episantr haritası hakkında. T.J.K. Bült., cilt X, sayı 1-2, s. 122-125, Ankara.
- Franklin, J., A., Broch, E. ve Walton, G., 1971.** Logging the Mechanical Character of Rock, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80, A, 1-9.
- Fenner, R., 1938.** Untersuchungen zur Erkenntnis des Gebirgsdrucks, Glückauf, 74, 32, 681-695.
- Fookes P., G. ve Denness, B., 1969,** Observational Studies on Fissure Patterns Cretaceous Sediments of South-East England. Geotechnique, 19, 4, 453-477.
- Galera, J.M., Alvarez, M., Bieniawski, Z.T., 2005.** Evaluation of the deformation modulus of rock masses: comparison of pressuremeter and dilatometer tests with RMR prediction. Proceedings of the ISP5-PRESSIO. Paris, pp. 1-25.
- Gerçek, E., 2005,** Yolçatı-Baskil-Kömürhan (Elazığ) Arası Elazığ Mağmatitlerinden Kaynaklanan Suların Hidrojeokimyasal Prospeksiyon Parametreleri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Elazığ.
- Ghose, A., K. ve Raju, N., M., 1981.** Characterization of Rock Mass Vis-A-Vis Application of Rock Bolting in Indian Coal Measures, 22nd U.S. Symposium of Rock Mechanics, MIT, June, Cambridge, MA, Proceedings book: 422-427.
- Gonzalez De Vallejo, L., 1983.** A New Rock Classification System for Underground Assessment Using Surface Data, International Symposium on Engineering Geology, Underground Constructions, LNEC, September, Lisbon, Proceedings book: 1, 85-94.
- Gökçeoğlu, C. 1997.** Killi, yoğun süreksizlik içeren zayıf kaya kütlelerinin mühendislik Sınıflamalarında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar. Doktora Tezi, H. Ü. Fen. Bil. fenst., 214s (yayımlanmamış).
- Gutenberg, B., and C.F. Richter, 1954.** Seismicity of the Earth, second ed., Princeton Press.
- Gürpınar, A., 1977,** Deprem Mühendisliğine Giriş, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Yay. Ankara.

- Hempton, M. R.,** 1985. Structure and deformation history of Bitlis suture near lake Hazar, southeastern Turkey, *Geol. Soc. Ame. Bull.*, 96, 233-243.
- Herece, E., Akay, E., Küçümen, Ö., ve Sarıaslan, M.,** 1992. Elazığ- Sivrice- Palu Dolayının Jeolojisi. M.T.A. Raporu, Rapor No: 9634, (yayınlanmamış).
- Hoek, E. ve Brown, E., T.,** 1980. *Underground Excavations in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 527 s.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.H.,** 1995. *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Rotterdam, Balkema.
- Hoek, E. ve Brown, E., T.,** 1997. Practical Estimates of Rock Mass Strength, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, *Geomechanics Abstract*, 27, 3, 227-229.
- Hoek, E., Marinos, P., and Benissi, M.,** 1998. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: the case of the Athens schist formation. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 57, 151-60.
- Hoek, E.,** 1999. Support For very Weak Rock Associated with Faults and Zones, *Rock Support and Reinforcement Practice in Mining*, Villascusa, Winsdor&Thompson(Eds), Bakema, Rotterdam, pp. 19-32.
- Hoek, E.,** 1999a. Putting numbers to geology-an engineer's viewport. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 32, 1-19.
- Hoek, E and Karzulovic, A.,** 2000. Rock mass properties for surface mines, in *Slope Stability in Surface Mining*, (Edited by W.A. Hustralid, M.K. McCarter and D.J.A. van Zyl), Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgical and Exploration (SME), 2000, pages 59-70.
- Hoek, E., Carranza –Torres, C. T., and Corkum, B.,** 2002. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. *Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium*, Toronto, Canada, Vol 1, pp. 267-273.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics),** 1978. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests: Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts*, 15, 319-68.
- ISRM,** 1981. *ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring*, Pergamon Press, London, 211 s.

- ISRM**, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts, 2, 22, 53-60.
- ISRM**, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay R., J.A. Hudson, Kazan Offset Pres, Ankara, 628 s.
- Jenning, J., E.**, 1970. A Mathematical Theory for the Calculation of the Stability of Slopes in Open Cast Mines, Symposium on Planning Open Pit Mines, Balkema, August, Cape Town, Proceedings book: 87-112.
- Juteau, T.**, 1980. Ophiolites of Turkey. Ophioliti, 2: 199-205.
- Kallberg, K. T.**, 1969. Seismic Risk of Southern California, M.I.T., Department of Civil Engineering, Research Report, R69-31.
- Karpuz, C.**, 1990; "A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures", Mining Science and Technology, Vol.11, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 157-163.
- Kaymakçı, N., İnceöz, M. ve Ertepinar, P.**, 2006, 3D-Architecture and Neogene Evolution of the Malatya Basin: Inferences for the Kinematics of the Malatya and Ovacık Fault Zones, TÜBİTAK Turkish Journal of Earth Sciences, Vol. 15, pp. 123-154.
- Kendorski, F., S., Cummings, R., A., Bieniawski, Z., T. ve Sinner, E., H.**, 1983. Rock Mass Classification for Block Caving Mine Drift Support, 5th International Congress on Rock Mechanics, ISRM, October, Melbourne, Proceedings book: B, 51-63.
- Ketin, İ.**, 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri., MTA Derg., 66: 20-34.
- KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü)**, 2006. Karayolları Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 753 s.
- KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü)**, 2012. Elazığ-Malatya Yolu Kömürhan Tünel Geçiş ve Bağlantı Yolları'nın Jeolojik ve Jeoteknik Raporu, Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü, Elazığ, 67-69, 99-143.
- Kristen, H.A.D.**, 1982; "Specifications and Application Handbook", Komatsu Ltd; 6th Edition, Alaska, Minato-ku, Tokyo, Japan.

- Laubscher, D., H.,** 1977. Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-Mining Applications, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 86, A, 1-8.
- Laubscher, D., H.,** 1984. Design Aspects and Effectiveness of Support Systems in Different Mining Conditions, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 93, A, 70-81.
- Lomnitz, C. ve Epstein, B.,** 1966. A Model for Occurrences of Large Earthquakes, Nature, 211.
- Lomnitz, C.,** 1973. Poisson Processes in Earthquake Studies, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 63. No.2.
- Menard, L.,** 1956. An apparatus for measuring the strength of soils in place. MSc Thesis, University of Illinois, Urbana.
- Menard, L.,** 1961. Influence de amplitude et de histoire d'un champ de contraintes sur le tassement d'un sol de fondation proceed 5th ICSMFE, Paris.
- Menard, L.,** 1975. "Interpretation and Application of Pressuremeter Results" Sols Soils, No. 26, Centre D' Etudes Menard, Paris, France: pp34-41.
- Mussett, A.E. and Khan, M.A.,** 2000. Look into the Earth: An Introduction to Geological Geophysics. Cambridge University Press.
- Müftüoğlu, Y.V.,** 1983; A Study of Factors Affecting Diggability in British Surface Coal Mines”, Ph.D.Thesis, University of Nottingham, England.
- Nakao, K., Lihoshi, S. ve Koyama, S.,** 1983. Statistical Reconsiderations on the Parameters for Geomechanics Classification, 5th International Congress on Rock Mechanics, ISRM, October, Melbourne, Proceedings book: 1, 13-16.
- Naz, H.,** 1979. Elazığ-Palu dolayının jeolojisi. TPAO rapor no: 1360.
- Olivier, H., J.,** 1979. Applicability of Geomechanics Classification to the Orange-Fish Tunnel Rock Masses, Civil Engineering in South Africa, 21, 179-185.
- Özçep F.,** 2005, Statik ve Dinamik (Deprem) Etkiler Altında Zemin Davranışı ve Mühendislik Uygulamaları, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Meslek içi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları, No: 3,237 sayfa, ISBN No: 975-395-974-5, Ankara.
- Özdemir, M.A., ve Tonbul, S.,** 1996/b, “Komurhan Boğazı (Malatya-Elazığ)”, Fırat Univ. Sosyal Bilimler Derg. C: 8, S: 1, s. 239-261, Elazığ.

- Özgen-Erdem, N., İnan, N., Akyazı, M.,** 1993. Harabeykayış, Formasyonu'nun (Elazığ) tanımlaması. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 8, 135–147.
- Özkul, M.,** 1988. Elazığ Batısında Kırkeçit Formasyonu Üzerinde Sedimentolojik İncelemeler. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 186s (Yayımlanmamış).
- Palmström, A.,** 1995. Rmi-a rock mass characterization system for rock engineering purposes. Ph.D. thesis, Univ. Of Oslo, Norway, 400 pp.
- Palmström, A.,** 1996. Rmi-A System for Rock Mass Strength for Use in Rock Engineering, Journal of Rock Mechanics and Tunnelling, 2, L, 69-108.
- Palmström, A.,** 2000. Recent Developments in Rock Support Estimates by the Rmi, Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology, 6, 1, 1-19.
- Palmström, A.,** 2005. Measurements of and correlations between block size and Rock Quality Designation (RQD), Tunnels and Underground Space Technology, 20, 362-377.
- Parlak, O., Höck, V., Kozlu, H., and Delaloye, M.,** 2004. Oceanic Crust Generation in an Island Arc Tectonic Setting, SE Anatolian Orogenic Belt (Turkey). Geological Magazine, 141, 583-603.
- Paşamehmetoğlu, A.G., et al.,** 1988; “ Jeoteknik ve Performans Verilerinin Değerlendirilmesi, Kazılabilirlik Sınıflama Sisteminin Önerilmesi”, Nihai Rapor, ODTÜ, Ankara, 150 s.
- Perincek, D.,** 1979. The Geology of Hazro-Korudağ-Cungus-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ- Malatya Area: Guide Book, Tur. Jeol. Kur. Bull., 33s.
- Perincek, D.,** 1979 a. Geological Investigation of The Çelikhan-Sincik Koçali Area (Adıyaman Province). İst. Üni. Fen Fak. Mecmuası, Seri B 44: 127-147, İstanbul.
- Perincek, D.,** 1979 b. İnterrelations of the Arabian and Anatolian Plates. Guide Book For Excursion ‘B’ First Geological Congress On Middle East, the Geological Society of Turkey, 17 p., Ankara.
- Perincek, D., Günay, Y. ve Kozlu, H.,**1987, Dogu ve Güneydogu Anadolu Bölgesi’ndeki yanal atımlı faylar ile İlgili yeni gözlemler. Türkiye 7. Petrol Kongresi, Bildirileri.

- Pettifer, G., S. ve Fookes, P., G.,** 1994. A Revision of the Graphical Method for Assessing the Excavatability of Rock, Quarterly Journal of Engineering Geology, 27, 145-164.
- Piskin, O.,** 1972. Etude mineralogique de la region situee a L'Est de Celikhan (Taurus ori-Adıyaman –Turkiye). Geol.Soc.Turkey, Bull. V.21/2, pp.107-111.
- Piteau, D., R.,** 1970. Geological Factors Significant to the Stability of Slopes Cut in Rock, International Symposium on Planning Open Pit Mines, South African Institute of Mining and Metallurgy, October, Johannesburg, Proceedings book: 33-53.
- Poyraz, N.,** 1988. Đsendere-Komurhan (Malatya) Ofiyolitlerinin jeolojisi ve petrografisi. Doktora Tezi, G.U. Fen Bilimleri Enst., 151 s. (unpublished), Ankara.
- Priest, S.D. ve Hudson, J.A.,** 1981. Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 18, 183.
- Rızaoğlu, T., Parlak, O. and İşler, F.,** 2004. Geochemistry and Tectonic Setting of the Kömürhan Ophiolite in Southeast Anatolia. Proceedings of the 5th International Eastern Mediterranean Geology Symposium, 14-20 April 2004, Thessaloniki, Greece, p285.
- Rızaoglu, T., Parlak, O. and İşler, F.,** 2005. Geochemistry of the Esence Granitoid (Göksun-Kahramanmaraş) SE Turkey, Yerbilimleri, 26 :1-13.
- Rızaoğlu, T.,** 2006. Baskil-Sivrice (Elazığ) Arasında Yuzeyleyen Tektonomagmatik Birimlerin Petrografisi ve Jeokimyası. Doktora Tezi, C.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, 218s.
- Rigo de Righi, M and Cortesini.,** 1964. Gravity tectonicsin foothills Structure belt of southeast Turkey. Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol., v.48, pp.1911-1937.
- Rocscience, 1998.** Dips v5.0 Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience, 2002.** Roclab v1.0 Rock Mass Strength Analysis Using the Generalized Hoek-Brown Failure Criterion, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience, 2006.** Swedge v5.0 Surface Wedge Analysis for Slopes, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience, 2008.** Phase2 v7.0 Finite Element Analysis for Excavations and Slopes, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.

- Romana, M.,** 1985. New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes, International Symposium on the Role of Rock Mechanics, ISRM, Zacatecas, 49-53.
- Alemdağ, S.,** 2010. Simaki Formasyonu'nun kaya kütle deformasyon özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Elazığ Doktora Tezi, 29-80s.
- Scoble, M.J. and Müftüoğlu, Y.V.,** 1984; “Derivation of A Diggability Index for Surface Mine Equipment Selection”, Mining Science and Technology, Elsevier, 1, pp. 305-322.
- Serafim, J., L. ve Pereira, J., P.,** 1983. Considerations of the Geomechanics Classification of Bieniawski, International Symposium Engineering Geology and Underground Construction, Balkema, September, Rotterdam, Proceedings book: 1, 1133-1142.
- Seymen, İ. ve Aydın, A.,** 1972, Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu fayı ile ilişkisi; MTA Bülteni 79.
- Sheorey, P., R., Murali, M., G. ve Sinha, A.,** 2001. Influence of Elastic Constants on the Horizontal in situ Stress, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 38, 1, 1211-1216.
- Sheriff, R.E.,** 2002. Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, 4th Edition, Geophysical References Series, No:13, Tulsa.
- Singh, R.N., Denby, B., Eğretli, İ., Pathan, A.G.,** 1986; Assessment of Ground Rippability in Opencast Mining Operations”, Mining Department Magazine, University of Nottingham, Vol.38, pp.21-34.
- Smith, H., J.,** 1986. Estimating Rippability of Rock Mass Classification, 27th U.S. Symposium on Rock Mechanics, University of Alabama, June, Alabama, Proceedings book: 443-448.
- Sönmez, H., and Ulusay, R.,** 1999. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36 (6), 743-60.
- Sönmez, H. And Ulusay, R.,** 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. Yerbilimleri, 26, 77-9.

- Sunkar, M., Siler, M. and Tonbul, S.,** 2008. “Buyuk Çay Havzası'nda (Elazığ'ın Batısı) Neotektonik Hareketler İle Kapma Olayları Arasındaki İlişkiler”, Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu (20-23 Ekim 2008) (Prof. Dr. M. ARDOS Anısına), Bildiri Kitabı, s. 233-235, Canakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Swan, G.,** 1981. Tribology and Characterization of Rock Joints. 22nd U. S. Symp. on Rock Mechanics, Cambridge, Massachusetts, MIT, 402-407
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A.,** 1987 Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA Derleme No:8174, 394.
- Sengör, A.M.C.,** 1980, Türkiye'nin neotektonigin esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi,2,40.
- Şengör, A. M. C., and Yılmaz Y.,** 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. Tectonophysics, 75:181-241.
- Tatar, Y.,** 1987, Elazığ Bölgesinin genel tektonik yapıları ve Landsat fotoğrafları üzerinde yapılan bazı gözlemler. H.Ü. Yerbilimleri Ens. Derg. 14, 295-308.
- Tatham, R.H.,** 1982. Vp / Vs and lithology. Geophysics, 47, 336-344.
- Tekeli, O. ve Oral, A.,** 1986, Malatya İ 27 Paftası Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Tsiambaos, G. ve Saroglou, H.,** 2009. Excavatability Assessment of Rock Masses Using the Geological Strength Index (GSI), Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 69, 1, 13-27.
- Turan, M.,** 1984. Baskil-Aydınlar (Elazığ) yoresinin stratigrafisi ve tektoniği: Doktora Tezi. FU Fen Bil. Enst., 180 s. (yayımlanmamış).
- Turan, M.,** 1992. Elazığ yakın civarındaki bazı önemli tektonik yapılar ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yeri, Suat Erk Sempozyumu, Ankara Üniversitesi Fen Fak. Jeol. Müh. Böl., 194-204.
- Turan, M., ve Bingol, A. F.,** 1989.Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektonostratigrafik özellikleri: Ahmet Acar sempozyonu, Ç.Ü. Müh. Fak. Jeol. Müh., Adana.
- Turan, M., ve Bingol, A. F.,** 1991. Kovancılar-Baskil (Elazığ) Arası Bölgenin Tektonostratigrafik Özellikleri. Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Bildiriler, Cukurova Üniversitesi, Adana, 213-227.
- Türker, A.E.,** 1988. Zemin Taşıma Gücünün Sismik Yöntemlerle Saptanması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 205 sf (yayınlanmamış).

- Türkmen, İ., İnceöz, M., Aksoy, E., ve Kaya, M.,** 2001. Elazığ Yöresinin Eosen Stratigrafisi ve Paleocoğrafyası ile İlgili Yeni Bulgular. *Yerbilimleri*, 24: 81-95.
- Ulusay, R.,** 1991. Geotechnical evaluations and deterministic design considerations for pitwall slopes at Eskihisar (Yatağan-Muğla) strip coal mine. PhD Thesis, Middle East Technical University, Geological Engineering Department, Ankara, Turkey, 340 p (yayımlanmamış).
- Ulusay, R. ve Sönmez, H.,** 2000. Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne ilişkin değişiklik önerileri ve bunların uygulanabilirliği. *Jeoloji Mühendisliği*, 23/24 (1), 1-21.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H.,** 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası, 292s., Ankara.
- Ulutaş G, E., Güven G. T., Irmak T. S., Sertçelik, F., Tunç, B., Çetinel, T., Çaka, D., Özer, M. F., Kenar, Ö.,** 2003, Doğu Marmara Bölgesi için Deneysel En Büyük Yatay İvme Uzaklık Azalım İlişkisi ve Kocaeli'nin Probabilistik Deprem Tehlikesi, Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu, S: 14-26. Kocaeli.
- URL-1,** <http://www.afad.gov.tr/TR/Index.aspx>, Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi (AFAD). 12.03.2013.
- URL-2,** <http://www.koeri.boun.edu.tr/>, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE). 12.03.2013.
- URL-3,** http://www.mta.gov.tr/v2.0/deprem/index.php?id=dirifay_son, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü. 12.03.2013.
- Ünal, E.,** 1983. Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs. Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University, University Park, 355.
- Weaver, J., M.,** 1975. Geological Factors Significant in the Assessment of Rippability, *The Civil Engineering in South Africa*, 17, 12, 313-316.
- Westaway, R.,** 2003. Kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean updated, *TÜBİTAK Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 5-46
- Wissbach, C.,** 1978. A New Method for The Determination of The Roughness of Rock Joints in Laboratory, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 16, 303-307.

- Yazgan, E. and Asutay, H.J.,** 1981. Definition of structural units located between Arabian platform and Munzur Mountains and their significance in the geodynamic evolution of the area 35th Congr. Geol. Soc. Turkey, abstracts, p. 44-45.
- Yazgan, E.,** 1981. Doğu Toroslarda etkin bir Paleo-kıta kenarı etudu (Ust Kretase-Orta Eosen): H.U Yerbilimleri, 7, 83-104.
- Yazgan, E.,** 1983. A geotraverse between the Arabian Platform and the Munzur Nappes: Int. Symp. Geol. Taurus Belt, 26-29 Sept-, Ankara, Guide Book for Excursion V.
- Yazgan, E., Michard, A., Whitechurch, H., and Montigny, R.,** 1983. Le taurus de Malatya (Turquie orientale) element de la suture sud-tethysienne. Bull. Soc. Geol. Fr., 25.
- Yazgan, E.,** 1984a. Geodynamic Evolution of the Eastern Taurus Region (Malatya- Elazığ area, Turkey), Proceedings of International Symposium, Geology of Taurus Belt, MTA, Ankara, 199-208.
- Yazgan, 1987.,** “Malatya güneydoğusunun jeolojisi ve Doğu Torosların jeodinamik evrimi.”, MTA Rap. No: 2268, 178s.
- Yazgan, E., Asutay, H.J., Gültekin, M.C., Poyraz, N., Sirel, E. ve Yıldırım, H.,** 1987. Malatya güneydogusunun jeolojisi ve Dogu Torosların jeodinamik evrimi M.T.A. raporu, No: 2268.
- Yazgan, E. and Chessex, R.,** 1991. Geology and Tectonic Evolution of the Southeastern Taurides in the Region of Malatya, Turk. Assoc. Petrol. Geol., 3:1-42.
- Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, Ş. ve Aydın, N.,** 1992. Doğu Toroslar’da Uzunyayla ile Berit Dağı Arasının Jeolojik Yapısı. MTA Derleme Rapor No: 9453, Ankara.

PİK YATAY YER İVMESİ DEĞERLERİ

EK 1.

EK-1 İvme azalım ilişkileri kullanılarak hesaplanan pik yatay yer ivmesi değerleri

Sismik Kaynak	M (Magnitüd)	Δ , Episentral Uzaklık (km)	H, odak Derinliği (km)	Katıya (1970)	Davenport (1972)	Deneyan (1973a)	Katıya ve Villaverde (1973)	Deneyan (1973b)	Deneyan (1973c)	McGee (1974)	Orpail ve Lohend (1974)	Shah ve diğ. (1973)	Ohvicca (1974)	Katıya	Katıya ve diğ.	Jeyner ve Boore (1981)	Campbell (1981a)	Campbell (1981b)	Neumann ve Roschbluth (1971)	Kanai (1966)	Katıya ve Roschbluth (1964)	Fukushima ve diğ. (1988)	Abramson ve Litchner (1989)	Campbell (1997)	Ortalama
M1	5.0	41	30	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.07	0.03	0.03
	5.5	41	30	0.02	0.04	0.05	0.06	0.04	0.06	0.06	0.07	0.05	0.02	0.03	0.02	0.08	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.04	0.08	0.05	0.04
	6.0	41	30	0.03	0.05	0.07	0.08	0.06	0.07	0.08	0.11	0.08	0.03	0.05	0.04	0.10	0.04	0.03	0.04	0.02	0.05	0.07	0.10	0.08	0.06
	6.5	41	30	0.04	0.08	0.10	0.13	0.08	0.09	0.11	0.17	0.11	0.04	0.07	0.05	0.14	0.06	0.05	0.06	0.05	0.07	0.10	0.12	0.13	0.09
	6.8	41	30	0.05	0.10	0.12	0.16	0.09	0.11	0.13	0.22	0.14	0.05	0.10	0.07	0.16	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09	0.12	0.14	0.16	0.11
	7.0	41	30	0.06	0.12	0.14	0.19	0.10	0.12	0.15	0.27	0.17	0.06	0.12	0.08	0.18	0.08	0.07	0.08	0.09	0.11	0.14	0.15	0.20	0.13
	5.0	41	30	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.07	0.03	0.03
M2	5.0	30	10	0.02	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.06	0.08	0.05	0.02	0.03	0.03	0.08	0.03	0.02	0.03	0.01	0.04	0.05	0.10	0.05	0.05
	5.5	30	10	0.03	0.08	0.08	0.09	0.07	0.08	0.09	0.12	0.08	0.03	0.04	0.04	0.11	0.04	0.03	0.05	0.02	0.06	0.08	0.12	0.08	0.07
	6.0	30	10	0.05	0.12	0.12	0.14	0.09	0.11	0.12	0.20	0.12	0.05	0.07	0.06	0.15	0.06	0.05	0.08	0.04	0.09	0.11	0.15	0.12	0.10
	6.5	30	10	0.07	0.18	0.16	0.20	0.12	0.14	0.16	0.31	0.18	0.07	0.11	0.09	0.20	0.09	0.08	0.11	0.08	0.14	0.16	0.18	0.19	0.14
	6.8	30	10	0.09	0.22	0.20	0.26	0.14	0.16	0.20	0.41	0.23	0.09	0.15	0.11	0.23	0.11	0.11	0.15	0.13	0.18	0.19	0.20	0.24	0.18
	7.0	30	10	0.11	0.26	0.23	0.30	0.16	0.18	0.22	0.49	0.27	0.11	0.18	0.13	0.26	0.12	0.12	0.17	0.17	0.21	0.21	0.21	0.29	0.21
	5.0	45	3	0.01	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0.08	0.04	0.03
M3	5.5	45	3	0.02	0.04	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06	0.02	0.03	0.02	0.07	0.03	0.02	0.03	0.01	0.04	0.05	0.09	0.06	0.05
	6.0	45	3	0.03	0.07	0.08	0.10	0.06	0.08	0.09	0.12	0.09	0.03	0.05	0.03	0.09	0.04	0.03	0.05	0.03	0.06	0.08	0.11	0.09	0.07
	6.5	45	3	0.05	0.10	0.12	0.14	0.09	0.10	0.12	0.20	0.13	0.05	0.08	0.05	0.12	0.06	0.06	0.07	0.05	0.09	0.11	0.14	0.14	0.10
	6.8	45	3	0.06	0.12	0.14	0.18	0.10	0.12	0.15	0.26	0.16	0.06	0.11	0.06	0.14	0.08	0.07	0.09	0.08	0.11	0.14	0.15	0.18	0.12
	7.0	45	3	0.07	0.15	0.16	0.21	0.11	0.13	0.17	0.31	0.19	0.07	0.13	0.07	0.16	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.22	0.14
	5.0	16	30	0.02	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.02	0.03	0.07	0.16	0.02	0.02	0.03	0.01	0.04	0.05	0.10	0.05	0.05
M4	5.5	16	30	0.03	0.07	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.11	0.08	0.03	0.04	0.11	0.21	0.04	0.03	0.05	0.02	0.06	0.07	0.12	0.07	0.07
	6.0	16	30	0.04	0.10	0.11	0.13	0.08	0.10	0.11	0.18	0.11	0.04	0.07	0.16	0.28	0.06	0.05	0.07	0.04	0.09	0.10	0.14	0.11	0.10
	6.5	16	30	0.07	0.16	0.15	0.19	0.11	0.13	0.15	0.28	0.17	0.06	0.11	0.24	0.37	0.08	0.08	0.10	0.08	0.13	0.15	0.17	0.18	0.15
	6.8	16	30	0.08	0.20	0.19	0.24	0.13	0.15	0.19	0.37	0.21	0.08	0.14	0.30	0.44	0.10	0.10	0.13	0.12	0.16	0.18	0.19	0.23	0.19
	7.0	16	30	0.10	0.23	0.21	0.28	0.15	0.17	0.21	0.45	0.25	0.10	0.17	0.36	0.49	0.12	0.12	0.15	0.16	0.19	0.20	0.20	0.27	0.22
	5.0	16	3	0.04	0.16	0.10	0.10	0.08	0.10	0.09	0.19	0.09	0.04	0.04	0.07	0.16	0.05	0.05	0.08	0.02	0.08	0.10	0.17	0.09	0.09
M5	5.5	16	3	0.06	0.23	0.14	0.15	0.11	0.13	0.13	0.30	0.13	0.06	0.07	0.11	0.21	0.08	0.08	0.12	0.04	0.13	0.15	0.20	0.14	0.13
	6.0	16	3	0.09	0.35	0.19	0.22	0.14	0.16	0.18	0.47	0.20	0.09	0.11	0.16	0.28	0.11	0.12	0.18	0.09	0.19	0.20	0.24	0.21	0.19
	6.5	16	3	0.13	0.52	0.27	0.33	0.19	0.21	0.24	0.74	0.29	0.13	0.18	0.24	0.37	0.15	0.16	0.27	0.18	0.28	0.27	0.28	0.32	0.27
	6.8	16	3	0.17	0.66	0.33	0.42	0.23	0.24	0.30	0.98	0.37	0.17	0.24	0.30	0.44	0.19	0.20	0.34	0.27	0.36	0.31	0.31	0.40	0.34
	7.0	16	3	0.20	0.78	0.38	0.49	0.25	0.27	0.34	1.17	0.44	0.20	0.29	0.36	0.49	0.21	0.22	0.40	0.36	0.42	0.33	0.34	0.47	0.40

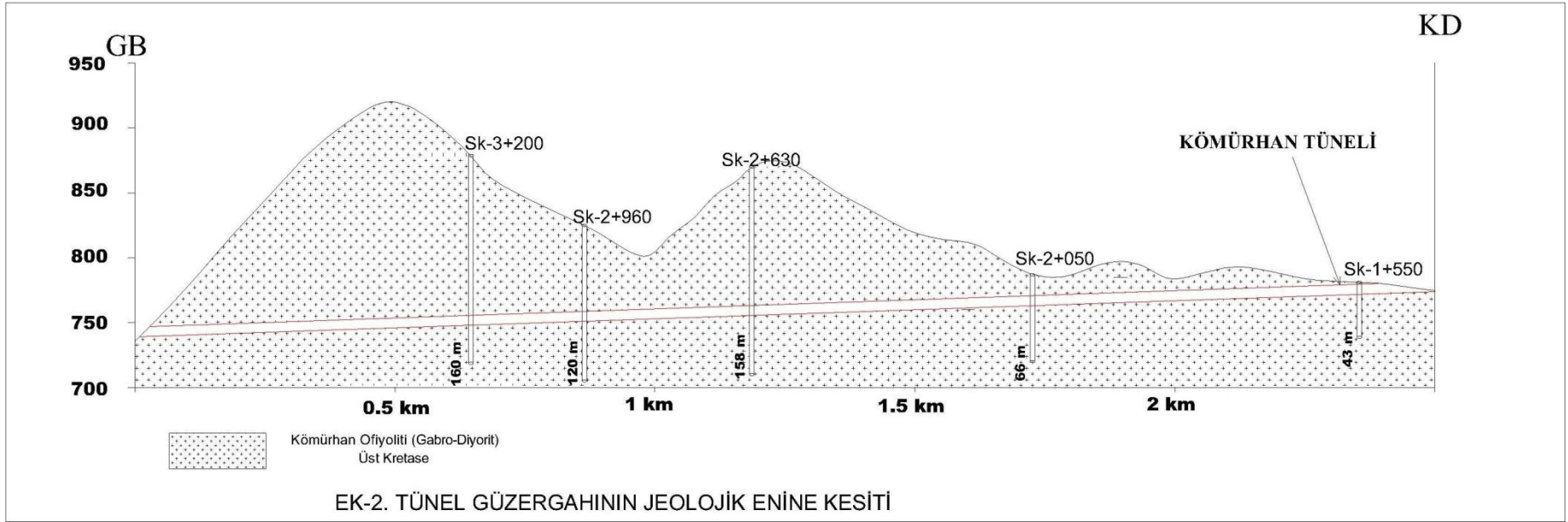
PROJE (Tasarım) deprem büyüklüğü

Çarşisel kaynağı (Fay) boyu & Magnitüd ilişkisine göre üretilen deprem büyüklüğü

Nokta kaynağına daha önce olmuş deprem büyüklüğü

TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLJİK ENİNE KESİTİ

EK 2.



JEOTEKNİK AMAÇLI SONDAJLARA AİT LOGLAR

EK 3.

Müh. Müş. ve İnş. Ltd. Şti. SONDAL LOGU / BORING LOG		SONDAL NO : SK-11500 Borehole No :	SKYTA Page : 1 / 3
PROJE ADI/Project Name : Çiçekliçay Yolu Köprüden Tünel Geçiş ve Sağlama İşleri		DELİK ÇAP/Hole Diameter : 89 mm	
SONDAL YERİ/Boring Location : TUNEL GİRİŞİ PORTALI		YERİALTI SUYU/Groundwater : 4.00 m	
KLOMETRE/Chainage : 1+503		MÜH BÖL. DER./Chain Depth : -	
SONDAL DER./Boring Depth : 40.00 m		BAŞ-BİT. TARİHİ/Start-Finish Date : 20.02.2012 - 23.03.2012	
SONDAL KOTU/Elevation : 782.0 m		KOORDİNAT/Coordinate (Northing) : 4257650	
BÖLGE HAKSİYÖNTÜ RİG & İNŞ. : GSM-500 Rotary		KOORDİNAT/Coordinate (Easting) : 458548	
DATAMERLİ/Stratigraphy 1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik		ATYEMERLİ/Stratigraphy 1. TİNE/1. Tine 2. TİNE/2. Tine 3. TİNE/3. Tine 4. TİNE/4. Tine 5. TİNE/5. Tine 6. TİNE/6. Tine 7. TİNE/7. Tine 8. TİNE/8. Tine 9. TİNE/9. Tine 10. TİNE/10. Tine	
KAYA KALİTESİ TANIMLARI 1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik		DRAPLAR/Drifts 1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	
STANDART PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration Test 1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description 1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	
PROFİL Profile 1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik		DRAPLAR/Drifts 1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	

0.0

1.0

2.0

3.0

4.0

5.0

6.0

7.0

8.0

9.0

10.0

1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik	1. SİLİNDİR/1. Silindirik 2. SİLİNDİR/2. Silindirik 3. SİLİNDİR/3. Silindirik 4. SİLİNDİR/4. Silindirik 5. SİLİNDİR/5. Silindirik 6. SİLİNDİR/6. Silindirik 7. SİLİNDİR/7. Silindirik 8. SİLİNDİR/8. Silindirik 9. SİLİNDİR/9. Silindirik 10. SİLİNDİR/10. Silindirik
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

SONDOR / Çiller : Hacı Dağdelen

SONDAL MÜHENDİSİ / Boring Engineer : Murat Doğan

TARİH / Date : 02.03.2012

İMZA / Sign :

[Signature]

157

158

159

Window width and enable scrolling

Muh. Muş. ve İnş. Ltd. Şti.

BONDAJ NO : SK-1+550
Borehole No :

SAYFA
Page
3 / 4

SONDAJ LOGU / BORING LOG

PROJE ADI/Project Name :	Elaşık-Malatya Yolu Köprüden Tünel Geçiş	YERİ/Location :	39.00 m
SONDAJ YERİ/Boring Location :	TÜNEL GİRİŞ PORTALI	YERİ ALTI SUYU/Groundwater :	7.45 m
KILOMETRE/Chainage :	1+550	MUH. BORDER /Coasting Depth :	-
SONDAJ DER./Boring Depth :	43.00 m	BAŞ.-SİY. TARİHİ/Start-Finish Date :	30.11.2011 - 05.12.2011
SONDAJ KOTU/Elevation :	792.0 m	KODORDINAT/Coordinate(Northing) :	4257568
SON. MAK. SİYONT. D. Rg. & Met. :	GSN-583 Rotary	KODORDINAT/Coordinate(Easting) :	485516

DAYANIRILAR/Underlying		AYRISIMAN/Weathering		SİCE DANELİ/Size Grained		İRİ DANELİ/Coarse Grained	
1. ÇOK KUYUMLU 2. ÇOK KUYUMLU 3. ÇOK KUYUMLU 4. ÇOK KUYUMLU	5. SİYON 6. SİYON 7. SİYON 8. SİYON	1. TAZE 2. AZ TAZE 3. ORTA TAZE 4. ÇOK TAZE 5. TAZE (LH)	1. TAZE 2. AZ TAZE 3. ORTA TAZE 4. ÇOK TAZE 5. TAZE (LH)	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ
İYAT KALİTESİ/Standard		FİZİKSEL/Physical		SİCE DANELİ/Size Grained		İRİ DANELİ/Coarse Grained	
1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ	1. SİYON 2. SİYON 3. SİYON 4. SİYON 5. SİYON	1. TAZE 2. AZ TAZE 3. ORTA TAZE 4. ÇOK TAZE 5. TAZE (LH)	1. TAZE 2. AZ TAZE 3. ORTA TAZE 4. ÇOK TAZE 5. TAZE (LH)	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ	1. Sİ 2. Sİ 3. Sİ 4. Sİ 5. Sİ

SPT	STANDARD PENETRATION TEST	SD	STANDARD PENETRATION TEST	P	PROFİLOMETRE/DEPTH
0	STANDARD PENETRATION TEST	K	STANDARD PENETRATION TEST	05	PROFİLOMETRE/DEPTH

STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST	
STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST	

STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST	
STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST		STANDARD PENETRATION TEST	

Antibit, Yönlendirici, girilmez,
kırılmaz, baskı-azıyır.

SONDAJCI / Diller	SONDAJ MÜHENDİSİ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign
Hasan Dağdelen	Hasan Dağdelen	06.12.2011	

161

 Müh. Müş. ve İnş. Ltd. Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG		SONDAJ NO : SK-2-050 Sonda No :	SAYFA : Page : 1 / 5
PROJE ADI/Project Name : Başakdağı Yolu Kilitlenmiş Yolu Geçirgenliği Projesi		DELİK ÇAP/Well Diameter : 60 mm	
SONDAJ YERİ/Boring Location : TÜMEL		YEREL TİPİ/Type of Boring : 2.10 m	
KILOMETRE/Distance : 2+550		MÜHÜR/Seal/Depth :	
SONDAJ DERİNLİĞİ/Boring Depth : 66.00 m		BAŞ. BİT. TARİHİ/Start-Finish Date : 11.05.2012 - 16.05.2012	
SONDAJ NOTU/Elevation : 700.0 m		KOORDİNAT/Coordinate(Northing) : 425734	
SON. MAK. AYDIN. J. R. İ. & Met. : GSM-900 Rotary		KOORDİNAT/Coordinate(Easting) : 428075	
DAVANIL/LOGGING 1. ÇOK DENEYİMİ : Zengin 2. DENEYİMİ : Zengin 3. DENEYİMİ : Zengin 4. DENEYİMİ : Zengin 5. DENEYİMİ : Zengin		ATKİ/ATKİ 1. TAY : Zengin 2. TAY : Zengin 3. TAY : Zengin 4. TAY : Zengin 5. TAY : Zengin	
KAYIT/RECORD 1. ÇOK DENEYİMİ : Zengin 2. DENEYİMİ : Zengin 3. DENEYİMİ : Zengin 4. DENEYİMİ : Zengin 5. DENEYİMİ : Zengin		SONDAJ/LOGGING 1. ÇOK DENEYİMİ : Zengin 2. DENEYİMİ : Zengin 3. DENEYİMİ : Zengin 4. DENEYİMİ : Zengin 5. DENEYİMİ : Zengin	
STANDART PENETRASYON DENEYİ/STANDARD PENETRATION TEST 1. ÇOK DENEYİMİ : Zengin 2. DENEYİMİ : Zengin 3. DENEYİMİ : Zengin 4. DENEYİMİ : Zengin 5. DENEYİMİ : Zengin		PROFİL/PROFILE 1. ÇOK DENEYİMİ : Zengin 2. DENEYİMİ : Zengin 3. DENEYİMİ : Zengin 4. DENEYİMİ : Zengin 5. DENEYİMİ : Zengin	
JEOTEKNİK TANIMLAMA/GEOTECHNICAL DESCRIPTION 1. ÇOK DENEYİMİ : Zengin 2. DENEYİMİ : Zengin 3. DENEYİMİ : Zengin 4. DENEYİMİ : Zengin 5. DENEYİMİ : Zengin		PROFİL/PROFILE 1. ÇOK DENEYİMİ : Zengin 2. DENEYİMİ : Zengin 3. DENEYİMİ : Zengin 4. DENEYİMİ : Zengin 5. DENEYİMİ : Zengin	

0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0	RD-1 RD-2 RD-3 RD-4 RD-5	Amfibolit: Yeşilimsi gri renkli, genelde parçalanmış, orta derecede aşınmış.		RD-1 RD-2 RD-3 RD-4 RD-5	RD-1 RD-2 RD-3 RD-4 RD-5	RD-1 RD-2 RD-3 RD-4 RD-5	RD-1 RD-2 RD-3 RD-4 RD-5
--	--------------------------------------	--	---	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

SONDÖR / Driller	SONDAJ MÜHENDİSİ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign
Hasan Dalgıç	Mustafa Dalgıç	16.05.2012	

 Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAR Borehole SK-2-450		SAYFA Page 2 / 5																																																																																																																																	
				SONDÖR Order : Hali Doğelik																																																																																																																																			
Sonda Tipi Borehole Type : Hali Doğelik	Sonda Derinliği Borehole Depth : 28.00 m	STANDARD PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Sonda Derinliği (m) Borehole Depth (m)	PROFİL Profile	Sonda Tipi Borehole Type : Hali Doğelik																																																																																																																																
		ÇAKIL SAYISI No. of Blows	GRAFİK Graph					Sonda Tipi Borehole Type : Hali Doğelik																																																																																																																															
		0-15 cm 15-30 cm 30-45 cm N 10 20 30 40 50 60																																																																																																																																					
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">NO 6</td> <td style="width: 15%;">11.0</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td>NO 7</td> <td>12.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO 8</td> <td>13.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO 9</td> <td>14.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO 10</td> <td>15.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO 11</td> <td>16.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO 12</td> <td>17.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO 13</td> <td>18.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>19.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>21.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>22.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>23.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>24.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>25.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>26.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>								NO 6	11.0							NO 7	12.0							NO 8	13.0							NO 9	14.0							NO 10	15.0							NO 11	16.0							NO 12	17.0							NO 13	18.0								19.0								20.0								21.0								22.0								23.0								24.0								25.0								26.0						
NO 6	11.0																																																																																																																																						
NO 7	12.0																																																																																																																																						
NO 8	13.0																																																																																																																																						
NO 9	14.0																																																																																																																																						
NO 10	15.0																																																																																																																																						
NO 11	16.0																																																																																																																																						
NO 12	17.0																																																																																																																																						
NO 13	18.0																																																																																																																																						
	19.0																																																																																																																																						
	20.0																																																																																																																																						
	21.0																																																																																																																																						
	22.0																																																																																																																																						
	23.0																																																																																																																																						
	24.0																																																																																																																																						
	25.0																																																																																																																																						
	26.0																																																																																																																																						
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">SONDÖR / Order</td> <td style="width: 20%;">SONDAR MÜHENDİSİ / Drilling Engineer</td> <td style="width: 20%;">TARİH / Date</td> <td style="width: 20%;">İMZA / Sign</td> </tr> <tr> <td>Hali Doğelik</td> <td>Murat Doğan</td> <td>18.03.2012</td> <td></td> </tr> </table>								SONDÖR / Order	SONDAR MÜHENDİSİ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign	Hali Doğelik	Murat Doğan	18.03.2012																																																																																																																									
SONDÖR / Order	SONDAR MÜHENDİSİ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign																																																																																																																																				
Hali Doğelik	Murat Doğan	18.03.2012																																																																																																																																					

164

 MÜH.MÜŞ.ve İNŞ.LTD.ŞTİ. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAJ Borehole: S1-2-250		SAYFA Page: 4 / 5		
				SONDÖR Driller: Hadi Doğukan				
Boring Depth in SONDÖR / BORING LOG Borehole Code Borehole Type Borehole Depth Meter	STANDARD POKETTING ÇİZİMİ Standard Penetration Test		JEOTEKNIK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAVANMA / Settlement ANTIPOZ / Anti-poz SİSİ / Sis (mm) KANIT / KANIT (T / C) / Data (T) R2D2 % KANIT / KANIT (T / C) / Data (T) Çizim / Çizim (mm)	DİP / Depth (m)		
	DİREK SAYISI No. of Stave	GÖRÜŞ View						
	0-18.04 15-45.01 30-45.01 N 10-23 30-40 50-60							
42.0	RC-23		42.00		34	01	108	70
43.0			Amfibolit; Yeşilimsi gri renkli, kırıklı, taze-az ayrışmış.		141	01	108	70
44.0	RC-23				141	01	108	70
45.0					141	01	108	70
46.0	RC-24		46.00		146	01	108	70
47.0			47.00		146	01	108	70
48.0			48.00		146	01	108	70
49.0	RC-25		49.00		146	01	108	70
50.0			50.00		146	01	108	70
51.0	RC-26		51.00		146	01	108	70
52.0			52.00		146	01	108	70
53.0	RC-27		53.00		146	01	108	70
54.0			54.00		146	01	108	70
55.0	RC-28		55.00		146	01	108	70
56.0			56.00		146	01	108	70
57.0	RC-29		57.00		146	01	108	70
SONDÖR / Driller		SONDAJ MÜHENDİSİ / Boring Engineer		TARİH / Date		İMZA / Sign		
Hadi Doğukan		Murat Doğan		10.08.2019				

Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti.										SONDAJ Seri No: SK-S-032		SAYFA Page 5 / 5	
SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDÖR Driller : Hadi Çelikkale			
Borehole Depth (m) Sondaj Derinliği (m)	Borehole Type Sondaj Türü	STANDARD PENETRATION TEST Standard Penetration Test			JEOLOJİK TANIMLAMA Geotechnical Description	SONDAJ KONTROLÜ Borehole Control	PROFİL Profile	DİNAMİK SİZİMLER Dynamic Sizing	KURU ZEMİN Dry Soil	% CİSİT % Clay	KURU ZEMİN DENEYİ Dry Soil Test		
		NUMBER OF BLOWS N	15-30 cm 15-30 cm	30-45 cm 30-45 cm									
58.0					Amfibolit; Yeşilimsi gri renkli, kırıklı, taze-az ayrışmış.								
59.0	RC-01				Amfibolit; Yeşilimsi gri renkli, genelde çarpalanmış, orta derecede ayrışmış.								
60.0					Amfibolit; Yeşilimsi gri renkli, kırıklı, taze-az ayrışmış.								
61.0	RC-02												
62.0					Amfibolit; Yeşilimsi gri renkli, kırıklı, taze-az ayrışmış.								
63.0	RC-03												
64.0													
65.0	RC-04				Amfibolit; Yeşilimsi gri renkli, kırıklı, taze-az ayrışmış.								
66.0	RC-05				Amfibolit; Yeşilimsi gri renkli, kırıklı, taze-az ayrışmış.								
67.0					Kuyu Sonu								

SONDÖR / Driller	SONDAJ MÜHÜRÜSÜ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign
Hadi Çelikkale	Murat Doğan	18.03.2013	

167

168

 Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAJ Boru No: 91-2-433		SAYFA Page: 3/11		
				SONDOR Döner: 1 Hacı Dağdelen				
SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°) SONDOR Döneri (°)	SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°) SONDOR Döneri (°)	STANDART PENETRASYON DÖNERİ Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)	PROFİL Profile	SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)	
		DÖNER SAYISI Number of Turns						DÖNER Turns
		0-15 cm 15-30 cm 30-45 cm N 10 20 30 40 50 60						10 20 30 40 50 60
26.0 27.0 28.0 29.0 30.0 31.0 32.0 33.0 34.0 35.0 36.0 37.0 38.0 39.0 40.0 Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-az ayrışmış, çok gırtlaklı-kırıktır. Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-az ayrışmış, çok gırtlaklı-kırıktır. Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-az ayrışmış, çok gırtlaklı-kırıktır. 3.8 4.3 4.2 4.4 3.1 3.5 3.3 3.2 3.1 3.0 2.9 2.8 2.7 2.6 2.5 2.4 2.3 2.2 2.1 2.0 1.9 1.8 1.7 1.6 1.5 1.4 1.3 1.2 1.1 1.0 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.0								
SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		
SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		SONDOR Döneri SONDOR Döneri (°)		

170

171

 Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAJ Sondaj No: SK-2-620		SAYFA Page: 8 / 11	
				SONDÖR Deler: Hacı Dağıkılıç			
Borj Değerleri Sondaj Derinliği Kuyunun Çapı Kuyunun Yarıçapı	Kuyunun Çapı Kuyunun Yarıçapı	STANDARD PENETRATION TEST Standard Penetration Test		JEOLOJİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Sondajın İç Çapı (mm)	PROFİL Profile	DAVANMA UZUNLUĞU Sondajın Uzunluğu
		DARBE KAYISI Blow Count					
		0-15 cm	15-30 cm				
		N					
		10 35 20 40 50 60					
72.0				Ambioli: Yeşimsi-gri renkli, genelde parçalanmış, orta derecede sıkılaşmış.	71.50		
73.0	RC-01						
74.0							
75.0	RC-01			Ambioli: Yeşimsi-gri renkli, taze-orta derecede sıkılaşmış, çok çalkaleli-kırılgan.	74.50		
76.0							
77.0	RC-02						
78.0							
79.0	RC-03			Ambioli: Yeşimsi-gri renkli, taze-orta derecede sıkılaşmış, genelde kırıklı.	78.50		
80.0				Ambioli: Yeşimsi-gri renkli, taze-orta derecede sıkılaşmış, çok çalkaleli-kırılgan.	79.50		
81.0	RC-04						
82.0							
83.0	RC-05			Ambioli: Yeşimsi-gri renkli, taze-orta derecede sıkılaşmış, genelde kırıklı.	82.50		
84.0							
85.0	RC-06						
86.0							

SONDÖR / Deler	SONDAJ UZMANI / Boring Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign
Hacı Dağıkılıç	Murat Doğan	03.01.2012	

 Müh. Müş. ve İnş. Ltd. Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAJ Borehole: SK-2-430		Sayfa / Page: 7 / 11	
				SONDOR Driller: Hacı Dağdelen			
Borehole No / Sonda No SK-2-430	Kuyu Derinliği / Depth (m) 4.41	STANDARD PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Sonda / Borehole No	PROFİL Profile	Sonda / Borehole No
		DENEYİ No / No.	DENEYİ No / No.				
87.0	RC 97	1-15 cm	N	Amilbolit, Yeşilimsi gri renkl, taze-az aşınmış, az çabuklaşmış. Amilbolit, Yeşilimsi gri renkl, taze-orta derecede aşınmış, genelde kırıklı. Amilbolit, Yeşilimsi gri renkl, taze-az aşınmış, çok çabuklaşmış.	88.50		1
88.0	RC 98	15-30 cm			89.50		2
89.0	RC 99	30-45 cm			90.50		3
90.0	RC 100				91.50		4
91.0	RC 101						
92.0	RC 102						
93.0	RC 103						
94.0	RC 104						
95.0	RC 105						
96.0	RC 106						
97.0	RC 107						
98.0	RC 108						
99.0	RC 109						
100.0	RC 110						
101.0	RC 111						

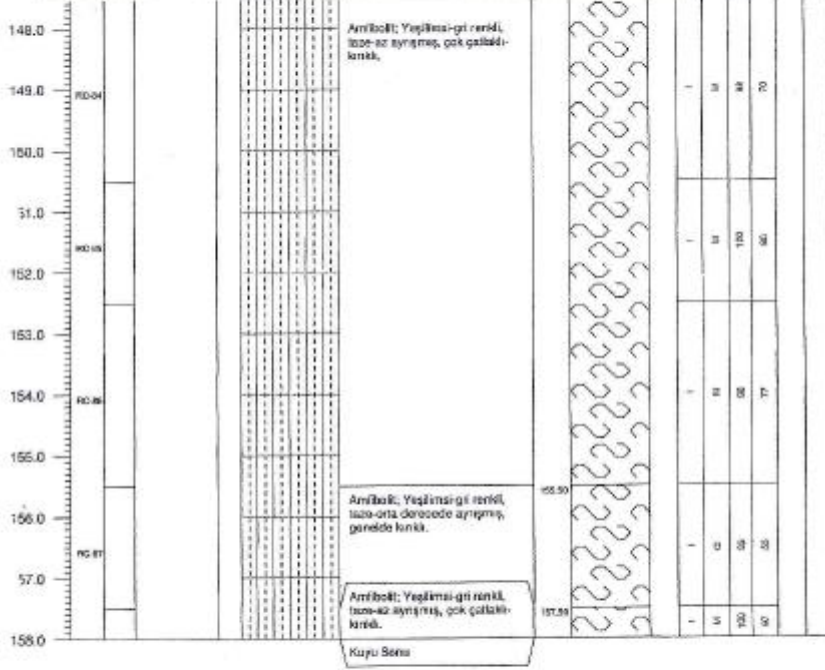
SONDOR / Driller Hacı Dağdelen	SONDAJ MÜHÜRÜ / Drilling Engineer Mehmet Doğan	TARİH / Date 02.01.2015	İMZA / Sign 
-----------------------------------	---	----------------------------	--

 Müh. Müş. ve İnş. Ltd. Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDaj Derside: SKI 2-403		SAYFA Page: 8 / 11										
				SONDÖR Driller: Hacı Dağdelen												
SONDaj Logu / Boring Log SONDaj Derside SONDaj No SONDaj Yeri SONDajın BOMU (m)	STANDARD PENETRATION TEST Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description		SONDajın Çapı (cm) Borehole Diameter (cm)	PROFİL Profile	DRY UNIT WEIGHT Kuru Birim Ağırlık (kN/m³)	WET UNIT WEIGHT Nemli Birim Ağırlık (kN/m³)	SATURATED UNIT WEIGHT Doymuş Birim Ağırlık (kN/m³)	PORE WATER PRESSURE Su Basıncı (kN/m²)	VOID RATIO Boşluk Oranı	PERCENTAGE SOLIDS Katı İçerik (%)	PERCENTAGE LIQUIDS Sıvı İçerik (%)	PERCENTAGE GASES Gaz İçerik (%)		
	DEPTH Derinlik (m)														GRAIN SIZE Tanecik Boyu (mm)	
	N 10 20 30 40 50 60														N 10 20 30 40 50 60	
102.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-orta derecede ayrışmış, genelde kırıklı.	102.50											
103.0	RC-45					103.50										
104.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-az ayrışmış, çok çatlaklı- kırıklı.												
105.0	RC-46															
106.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-orta derecede ayrışmış, genelde kırıklı.	106.50											
107.0	RC-47					107.50										
108.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-az ayrışmış, çok çatlaklı- kırıklı.												
109.0	RC-48															
110.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-az ayrışmış, çok çatlaklı- kırıklı.	110.50											
111.0	RC-49															
112.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-orta derecede ayrışmış, genelde kırıklı.	112.50											
113.0	RC-50															
114.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-orta derecede ayrışmış, genelde kırıklı.	114.50											
115.0	RC-51															
116.0				Amfibolit; Yeşilimsi-grî renklî, taze-orta derecede ayrışmış, genelde kırıklı.	116.50											
117.0	RC-52															
SONDÖR / Driller				SONDAJ MÜHENDİSİ / Drilling Engineer		TARİH / Date		İMZA / Sign								
Hacı Dağdelen				Murat Döğen		03.01.2012										

175

Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti.						Borular 10 / 11	
SONDAJ LOGU / BORING LOG						Sondaj Derinliği : Has Dağdelen	
Borular No / 11	NUMARASI No / 11	Borular No / 11	STANDART PENETRASYON DEĞERİ Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Sondaj Derinliği (m)	PROFİL Profile
			DARBE SAYISI Blows	GRAFIK Graph			
			0-15 cm 15-30 cm 30-45 cm	N 10 20 30 40 50 60			
133.0 134.0 135.0 136.0 137.0 138.0 139.0 140.0 141.0 142.0 143.0 144.0 145.0 146.0 147.0 RC 70 RC 70 RC 80 RC 81 RC 80 RC 85 <!-- Empty grid for data --> Amfibolit; Yeşilimsi-gr renkli, taze-orta derecede süşmiş, genelde kırıklı. Amfibolit; Yeşilimsi-gr renkli, taze-az süşmiş, çok gabbro-kirıklı. <!-- Empty grid for data --> <!-- Empty grid for data --> <!-- Empty grid for data --> <!-- Empty grid for data -->							
SONDÖR / Driller		SONDAJ MÜHENDİSİ / Drilling Engineer		TARİH / Date		İMZA / Sign	
Has Dağdelen		Murat Başaran		03.01.2013			

		SONDAJ / Borehole		SK-2-690	SAYFA / Page	11 / 11
		SONDÖR / Driller				
Sonda Derinliği / Borehole Depth	Kuyu Çapı / Borehole Diameter	STANDART PENETRASYON DENEYİ / Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA / Geotechnical Description	PROFİL / Profile	SAYI / No
		ÇAKIL SAYISI / Number of Blows				
		Sonda / Graph				
0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10 22 30 40 50 60		



SONDÖR / Driller	SONDAJ MÜHENDİSİ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign
İ. Hacı Dağdelen	Aliurat Roğan	03.01.2012	

178

 Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDaj Borehole SK-2-050		SAYFA Page 2/7	
				SONDajın Driller : Hacı Dağdelen			
Sondaj Derinliği (m) Borehole Depth (m)	Havadan Ölçülen Derinlik (m) Sample Type Uzmanın Gözle Plan	STANDART PERMEASYON DEĞERİ Standard Permeation Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	SONDajın Çapı (m) Borehole Diameter (m)	PROFİL Profile	
		ÇAKIL SAYISI Number of Blows	ÇAKIL ÇAP Gravel Size				
		0-15 cm 15-30 cm 30-45 cm 45-60 cm 60-75 cm 75-90 cm 90-105 cm 105-120 cm 120-135 cm 135-150 cm 150-165 cm 165-180 cm 180-195 cm 195-210 cm 210-225 cm 225-240 cm 240-255 cm 255-270 cm 270-285 cm 285-300 cm 300-315 cm 315-330 cm 330-345 cm 345-360 cm 360-375 cm 375-390 cm 390-405 cm 405-420 cm 420-435 cm 435-450 cm 450-465 cm 465-480 cm 480-495 cm 495-510 cm 510-525 cm 525-540 cm 540-555 cm 555-570 cm 570-585 cm 585-600 cm 600-615 cm 615-630 cm 630-645 cm 645-660 cm 660-675 cm 675-690 cm 690-705 cm 705-720 cm 720-735 cm 735-750 cm 750-765 cm 765-780 cm 780-795 cm 795-810 cm 810-825 cm 825-840 cm 840-855 cm 855-870 cm 870-885 cm 885-900 cm 900-915 cm 915-930 cm 930-945 cm 945-960 cm 960-975 cm 975-990 cm 990-1005 cm 1005-1020 cm 1020-1035 cm 1035-1050 cm 1050-1065 cm 1065-1080 cm 1080-1095 cm 1095-1110 cm 1110-1125 cm 1125-1140 cm 1140-1155 cm 1155-1170 cm 1170-1185 cm 1185-1200 cm 1200-1215 cm 1215-1230 cm 1230-1245 cm 1245-1260 cm 1260-1275 cm 1275-1290 cm 1290-1305 cm 1305-1320 cm 1320-1335 cm 1335-1350 cm 1350-1365 cm 1365-1380 cm 1380-1395 cm 1395-1410 cm 1410-1425 cm 1425-1440 cm 1440-1455 cm 1455-1470 cm 1470-1485 cm 1485-1500 cm 1500-1515 cm 1515-1530 cm 1530-1545 cm 1545-1560 cm 1560-1575 cm 1575-1590 cm 1590-1605 cm 1605-1620 cm 1620-1635 cm 1635-1650 cm 1650-1665 cm 1665-1680 cm 1680-1695 cm 1695-1710 cm 1710-1725 cm 1725-1740 cm 1740-1755 cm 1755-1770 cm 1770-1785 cm 1785-1800 cm 1800-1815 cm 1815-1830 cm 1830-1845 cm 1845-1860 cm 1860-1875 cm 1875-1890 cm 1890-1905 cm 1905-1920 cm 1920-1935 cm 1935-1950 cm 1950-1965 cm 1965-1980 cm 1980-1995 cm 1995-2010 cm 2010-2025 cm 2025-2040 cm 2040-2055 cm 2055-2070 cm 2070-2085 cm 2085-2100 cm 2100-2115 cm 2115-2130 cm 2130-2145 cm 2145-2160 cm 2160-2175 cm 2175-2190 cm 2190-2205 cm 2205-2220 cm 2220-2235 cm 2235-2250 cm 2250-2265 cm 2265-2280 cm 2280-2295 cm 2295-2310 cm 2310-2325 cm 2325-2340 cm 2340-2355 cm 2355-2370 cm 2370-2385 cm 2385-2400 cm 2400-2415 cm 2415-2430 cm 2430-2445 cm 2445-2460 cm 2460-2475 cm 2475-2490 cm 2490-2505 cm 2505-2520 cm 2520-2535 cm 2535-2550 cm 2550-2565 cm 2565-2580 cm 2580-2595 cm 2595-2610 cm 2610-2625 cm 2625-2640 cm 2640-2655 cm 2655-2670 cm 2670-2685 cm 2685-2700 cm 2700-2715 cm 2715-2730 cm 2730-2745 cm 2745-2760 cm 2760-2775 cm 2775-2790 cm 2790-2805 cm 2805-2820 cm 2820-2835 cm 2835-2850 cm 2850-2865 cm 2865-2880 cm 2880-2895 cm 2895-2910 cm 2910-2925 cm 2925-2940 cm 2940-2955 cm 2955-2970 cm 2970-2985 cm 2985-3000 cm 3000-3015 cm 3015-3030 cm 3030-3045 cm 3045-3060 cm 3060-3075 cm 3075-3090 cm 3090-3105 cm 3105-3120 cm 3120-3135 cm 3135-3150 cm 3150-3165 cm 3165-3180 cm 3180-3195 cm 3195-3210 cm 3210-3225 cm 3225-3240 cm 3240-3255 cm 3255-3270 cm 3270-3285 cm 3285-3300 cm 3300-3315 cm 3315-3330 cm 3330-3345 cm 3345-3360 cm 3360-3375 cm 3375-3390 cm 3390-3405 cm 3405-3420 cm 3420-3435 cm 3435-3450 cm 3450-3465 cm 3465-3480 cm 3480-3495 cm 3495-3510 cm 3510-3525 cm 3525-3540 cm 3540-3555 cm 3555-3570 cm 3570-3585 cm 3585-3600 cm 3600-3615 cm 3615-3630 cm 3630-3645 cm 3645-3660 cm 3660-3675 cm 3675-3690 cm 3690-3705 cm 3705-3720 cm 3720-3735 cm 3735-3750 cm 3750-3765 cm 3765-3780 cm 3780-3795 cm 3795-3810 cm 3810-3825 cm 3825-3840 cm 3840-3855 cm 3855-3870 cm 3870-3885 cm 3885-3900 cm 3900-3915 cm 3915-3930 cm 3930-3945 cm 3945-3960 cm 3960-3975 cm 3975-3990 cm 3990-4005 cm 4005-4020 cm 4020-4035 cm 4035-4050 cm 4050-4065 cm 4065-4080 cm 4080-4095 cm 4095-4110 cm 4110-4125 cm 4125-4140 cm 4140-4155 cm 4155-4170 cm 4170-4185 cm 4185-4200 cm 4200-4215 cm 4215-4230 cm 4230-4245 cm 4245-4260 cm 4260-4275 cm 4275-4290 cm 4290-4305 cm 4305-4320 cm 4320-4335 cm 4335-4350 cm 4350-4365 cm 4365-4380 cm 4380-4395 cm 4395-4410 cm 4410-4425 cm 4425-4440 cm 4440-4455 cm 4455-4470 cm 4470-4485 cm 4485-4500 cm 4500-4515 cm 4515-4530 cm 4530-4545 cm 4545-4560 cm 4560-4575 cm 4575-4590 cm 4590-4605 cm 4605-4620 cm 4620-4635 cm 4635-4650 cm 4650-4665 cm 4665-4680 cm 4680-4695 cm 4695-4710 cm 4710-4725 cm 4725-4740 cm 4740-4755 cm 4755-4770 cm 4770-4785 cm 4785-4800 cm 4800-4815 cm 4815-4830 cm 4830-4845 cm 4845-4860 cm 4860-4875 cm 4875-4890 cm 4890-4905 cm 4905-4920 cm 4920-4935 cm 4935-4950 cm 4950-4965 cm 4965-4980 cm 4980-4995 cm 4995-5010 cm 5010-5025 cm 5025-5040 cm 5040-5055 cm 5055-5070 cm 5070-5085 cm 5085-5100 cm 5100-5115 cm 5115-5130 cm 5130-5145 cm 5145-5160 cm 5160-5175 cm 5175-5190 cm 5190-5205 cm 5205-5220 cm 5220-5235 cm 5235-5250 cm 5250-5265 cm 5265-5280 cm 5280-5295 cm 5295-5310 cm 5310-5325 cm 5325-5340 cm 5340-5355 cm 5355-5370 cm 5370-5385 cm 5385-5400 cm 5400-5415 cm 5415-5430 cm 5430-5445 cm 5445-5460 cm 5460-5475 cm 5475-5490 cm 5490-5505 cm 5505-5520 cm 5520-5535 cm 5535-5550 cm 5550-5565 cm 5565-5580 cm 5580-5595 cm 5595-5610 cm 5610-5625 cm 5625-5640 cm 5640-5655 cm 5655-5670 cm 5670-5685 cm 5685-5700 cm 5700-5715 cm 5715-5730 cm 5730-5745 cm 5745-5760 cm 5760-5775 cm 5775-5790 cm 5790-5805 cm 5805-5820 cm 5820-5835 cm 5835-5850 cm 5850-5865 cm 5865-5880 cm 5880-5895 cm 5895-5910 cm 5910-5925 cm 5925-5940 cm 5940-5955 cm 5955-5970 cm 5970-5985 cm 5985-6000 cm 6000-6015 cm 6015-6030 cm 6030-6045 cm 6045-6060 cm 6060-6075 cm 6075-6090 cm 6090-6105 cm 6105-6120 cm 6120-6135 cm 6135-6150 cm 6150-6165 cm 6165-6180 cm 6180-6195 cm 6195-6210 cm 6210-6225 cm 6225-6240 cm 6240-6255 cm 6255-6270 cm 6270-6285 cm 6285-6300 cm 6300-6315 cm 6315-6330 cm 6330-6345 cm 6345-6360 cm 6360-6375 cm 6375-6390 cm 6390-6405 cm 6405-6420 cm 6420-6435 cm 6435-6450 cm 6450-6465 cm 6465-6480 cm 6480-6495 cm 6495-6510 cm 6510-6525 cm 6525-6540 cm 6540-6555 cm 6555-6570 cm 6570-6585 cm 6585-6600 cm 6600-6615 cm 6615-6630 cm 6630-6645 cm 6645-6660 cm 6660-6675 cm 6675-6690 cm 6690-6705 cm 6705-6720 cm 6720-6735 cm 6735-6750 cm 6750-6765 cm 6765-6780 cm 6780-6795 cm 6795-6810 cm 6810-6825 cm 6825-6840 cm 6840-6855 cm 6855-6870 cm 6870-6885 cm 6885-6900 cm 6900-6915 cm 6915-6930 cm 6930-6945 cm 6945-6960 cm 6960-6975 cm 6975-6990 cm 6990-7005 cm 7005-7020 cm 7020-7035 cm 7035-7050 cm 7050-7065 cm 7065-7080 cm 7080-7095 cm 7095-7110 cm 7110-7125 cm 7125-7140 cm 7140-7155 cm 7155-7170 cm 7170-7185 cm 7185-7200 cm 7200-7215 cm 7215-7230 cm 7230-7245 cm 7245-7260 cm 7260-7275 cm 7275-7290 cm 7290-7305 cm 7305-7320 cm 7320-7335 cm 7335-7350 cm 7350-7365 cm 7365-7380 cm 7380-7395 cm 7395-7410 cm 7410-7425 cm 7425-7440 cm 7440-7455 cm 7455-7470 cm 7470-7485 cm 7485-7500 cm 7500-7515 cm 7515-7530 cm 7530-7545 cm 7545-7560 cm 7560-7575 cm 7575-7590 cm 7590-7605 cm 7605-7620 cm 7620-7635 cm 7635-7650 cm 7650-7665 cm 7665-7680 cm 7680-7695 cm 7695-7710 cm 7710-7725 cm 7725-7740 cm 7740-7755 cm 7755-7770 cm 7770-7785 cm 7785-7800 cm 7800-7815 cm 7815-7830 cm 7830-7845 cm 7845-7860 cm 7860-7875 cm 7875-7890 cm 7890-7905 cm 7905-7920 cm 7920-7935 cm 7935-7950 cm 7950-7965 cm 7965-7980 cm 7980-7995 cm 7995-8010 cm 8010-8025 cm 8025-8040 cm 8040-8055 cm 8055-8070 cm 8070-8085 cm 8085-8100 cm 8100-8115 cm 8115-8130 cm 8130-8145 cm 8145-8160 cm 8160-8175 cm 8175-8190 cm 8190-8205 cm 8205-8220 cm 8220-8235 cm 8235-8250 cm 8250-8265 cm 8265-8280 cm 8280-8295 cm 8295-8310 cm 8310-8325 cm 8325-8340 cm 8340-8355 cm 8355-8370 cm 8370-8385 cm 8385-8400 cm 8400-8415 cm 8415-8430 cm 8430-8445 cm 8445-8460 cm 8460-8475 cm 8475-8490 cm 8490-8505 cm 8505-8520 cm 8520-8535 cm 8535-8550 cm 8550-8565 cm 8565-8580 cm 8580-8595 cm 8595-8610 cm 8610-8625 cm 8625-8640 cm 8640-8655 cm 8655-8670 cm 8670-8685 cm 8685-8700 cm 8700-8715 cm 8715-8730 cm 8730-8745 cm 8745-8760 cm 8760-8775 cm 8775-8790 cm 8790-8805 cm 8805-8820 cm 8820-8835 cm 8835-8850 cm 8850-8865 cm 8865-8880 cm 8880-8895 cm 8895-8910 cm 8910-8925 cm 8925-8940 cm 8940-8955 cm 8955-8970 cm 8970-8985 cm 8985-9000 cm 9000-9015 cm 9015-9030 cm 9030-9045 cm 9045-9060 cm 9060-9075 cm 9075-9090 cm 9090-9105 cm 9105-9120 cm 9120-9135 cm 9135-9150 cm 9150-9165 cm 9165-9180 cm 9180-9195 cm 9195-9210 cm 9210-9225 cm 9225-9240 cm 9240-9255 cm 9255-9270 cm 9270-9285 cm 9285-9300 cm 9300-9315 cm 9315-9330 cm 9330-9345 cm 9345-9360 cm 9360-9375 cm 9375-9390 cm 9390-9405 cm 9405-9420 cm 9420-9435 cm 9435-9450 cm 9450-9465 cm 9465-9480 cm 9480-9495 cm 9495-9510 cm 9510-9525 cm 9525-9540 cm 9540-9555 cm 9555-9570 cm 9570-9585 cm 9585-9600 cm 9600-9615 cm 9615-9630 cm 9630-9645 cm 9645-9660 cm 9660-9675 cm 9675-9690 cm 9690-9705 cm 9705-9720 cm 9720-9735 cm 9735-9750 cm 9750-9765 cm 9765-9780 cm 9780-9795 cm 9795-9810 cm 9810-9825 cm 9825-9840 cm 9840-9855 cm 9855-9870 cm 9870-9885 cm 9885-9900 cm 9900-9915 cm 9915-9930 cm 9930-9945 cm 9945-9960 cm 9960-9975 cm 9975-9990 cm 9990-10005 cm 10005-10020 cm 10020-10035 cm 10035-10050 cm 10050-10065 cm 10065-10080 cm 10080-10095 cm 10095-10110 cm 10110-10125 cm 10125-10140 cm 10140-10155 cm 10155-10170 cm 10170-10185 cm 10185-10200 cm 10200-10215 cm 10215-10230 cm 10230-10245 cm 10245-10260 cm 10260-10275 cm 10275-10290 cm 10290-10305 cm 10305-10320 cm 10320-10335 cm 10335-10350 cm 10350-10365 cm 10365-10380 cm 10380-10395 cm 10395-10410 cm 10410-10425 cm 10425-10440 cm 10440-10455 cm 10455-10470 cm 10470-10485 cm 10485-10500 cm 10500-10515 cm 10515-10530 cm 10530-10545 cm 10545-10560 cm 10560-10575 cm 10575-10590 cm 10590-10605 cm 10605-10620 cm 10620-10635 cm 10635-10650 cm 10650-10665 cm 10665-10680 cm 10680-10695 cm 10695-10710 cm 10710-10725 cm 10725-10740 cm 10740-10755 cm 10755-10770 cm 10770-10785 cm 10785-10800 cm 10800-10815 cm 10815-10830 cm 10830-10845 cm 10845-10860 cm 10860-10875 cm 10875-10890 cm 10890-10905 cm 10905-10920 cm 10920-10935 cm 10935-10950 cm 10950-10965 cm 10965-10980 cm 10980-10995 cm 10995-11010 cm 11010-11025 cm 11025-11040 cm 11040-11055 cm 11055-11070 cm 11070-11085 cm 11085-11100 cm 11100-11115 cm 11115-11130 cm 11130-11145 cm 11145-11160 cm 11160-11175 cm 11175-11190 cm 11190-11205 cm 11205-11220 cm 11220-11235 cm 11235-11250 cm 11250-11265 cm 11265-11280 cm 11280-11295 cm 11295-11310 cm 11310-11325 cm 11325-11340 cm 11340-11355 cm 11355-11370 cm 11370-11385 cm 11385-11400 cm 11400-11415 cm 11415-11430 cm 11430-11445 cm 11445-11460 cm 11460-11475 cm 11475-11490 cm 11490-11505 cm 11505-11520 cm 11520-11535 cm 11535-11550 cm 11550-11565 cm 11565-11580 cm 11580-11595 cm 11595-11610 cm 11610-11625 cm 11625-11640 cm 11640-11655 cm 11655-11670 cm 11670-11685 cm 11685-11700 cm 11700-11715 cm 11715-11730 cm 11730-11745 cm 11745-11760 cm 11760-11775 cm 11775-11790 cm 11790-11805 cm 11805-11820 cm 11820-11835 cm 11835-11850 cm 11850-11865 cm 11865-11880 cm 11880-11895 cm 11895-11910 cm 11910-11925 cm 11925-11940 cm 11940-11955 cm 11955-11970 cm 11970-11985 cm 11985-12000 cm 12000-12015 cm 12015-12030 cm 12030-12045 cm 12045-12060 cm 12060-12075 cm 12075-12090 cm 12090-12105 cm 12105-12120 cm 12120-12135 cm 12135-12150 cm 12150-12165 cm 12165-12180 cm 12180-12195 cm 12195-12210 cm 12210-12225 cm 12225-12240 cm 12240-12255 cm 12255-12270 cm 12270-12285 cm 12285-12300 cm 12300-12315 cm 12315-12330 cm 12330-12345 cm 12345-12360 cm 12360-12375 cm 12375-12390 cm 12390-12405 cm 12405-12420 cm 12420-12435 cm 12435-12450 cm 12450-12465 cm 12465-12480 cm 12480-12495 cm 12495-12510 cm 12510-12525 cm 12525-12540 cm 12540-12555 cm 12555-12570 cm 12570-12585 cm 12585-12600 cm 12600-12615 cm 12615-12630 cm 12630-12645 cm 12645-12660 cm 12660-12675 cm 12675-12690 cm 12690-12705 cm 12705-12720 cm 12720-12735 cm 12735-12750 cm 12750-12765 cm 12765-12780 cm 12780-12795 cm 12795-12810 cm 12810-12825 cm 12825-12840 cm 12840-12855 cm 12855-12870 cm 12870-12885 cm 12885-12900 cm 12900-12915 cm 12915-12930 cm 12930-12945 cm 12945-12960 cm 12960-12975 cm 12975-12990 cm 12990-13005 cm 13005-13020 cm 13020-13035 cm 13035-13050 cm 13050-13065 cm 13065-13080 cm 13080-13095 cm 13095-13110 cm 13110-13125 cm 13125-13140 cm 13140-13155 cm 13155-13170 cm 13170-13185 cm 13185-13200 cm 13200-13215 cm 13215-13230 cm 13230-13245 cm 13245-13260 cm 13260-13275 cm 13275-13290 cm 13290-13305 cm 13305-13320 cm 13320-13335 cm 13335-13350 cm 13350-13365 cm 13365-13380 cm 13380-13395 cm 13395-13410 cm 13410-13425 cm 13425-13440 cm 13440-13455 cm 13455-13470 cm 13470-13485 cm 13485-13500 cm 13500-13515 cm 13515-13530 cm 13530-13545 cm 13545-13560 cm 13560-13575 cm 13575-13590 cm 13590-13605 cm 13605-13620 cm 13620-13635 cm 13635-13650 cm 13650-13665 cm 13665-13680 cm 13680-13695 cm 13695-13710 cm 13710-13725 cm 13725-13740 cm 13740-13755 cm 13755-13770 cm 13770-13785 cm 13785-13800 cm 13800-13815 cm 13815-13830 cm 13830-13845 cm 13845-13860 cm 13860-13875 cm 13875-13890 cm 13890-13905 cm 13905-13920 cm 13920-13935 cm 13935-13950 cm 13950-13965 cm 13965-13980 cm 13980-13995 cm 13995-14010 cm 14010-14025 cm 14025-14040 cm 14040-14055 cm 14055-14070 cm 14070-14085 cm 14085-14100 cm 14100-14115 cm 14115-14130 cm 14130-14145 cm 14145-14160 cm 14160-14175 cm 14175-14190 cm 14190-14205 cm 14205-14220 cm 14220-14235 cm 14235-14250 cm 14250-14265 cm 14					

180

181

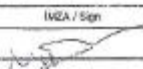
182

12/12/2019

185

Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti.										SONDAJ Borehole		SAVFA Page	
SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDOR Driller			
STANDART PERMETRASYON ÇEKİR Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description		PROFİL Profile		SONDOR Driller		SAVFA Page					
DATE Tarih	TIME Saat	DEPTH Derinlik	SOIL TYPE Toprak Tipi	TEST TYPE Deney Tipi	TEST RESULT Deney Sonucu	TEST TYPE Deney Tipi	TEST RESULT Deney Sonucu	TEST TYPE Deney Tipi	TEST RESULT Deney Sonucu				
10	25	30	40	50	60								
11.0													
12.0													
13.0													
14.0													
15.0													
16.0													
17.0													
18.0													
19.0													
20.0													
21.0													
22.0													
23.0													
24.0													
25.0													
SONDOR / Driller		SONDAJ MÜHENDİSİ / Drilling Engineer		TARİH / Date		MZA / Sign							
Has Çiğdem		Mehmet Doğan		15.03.2012									

Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti.										SONDAJ / BOREHOLE		DATE / TARİH	
SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ / BOREHOLE		DATE / TARİH	
STANDARD PENETRATION TEST / Standard Penetration Test										SONDAJ / BOREHOLE		DATE / TARİH	
CHISEL POINT / Çivili Nokta										SONDAJ / BOREHOLE		DATE / TARİH	
N										SONDAJ / BOREHOLE		DATE / TARİH	
10 20 30 40 50 60										SONDAJ / BOREHOLE		DATE / TARİH	
JEOLOJİK TANIMLAMA / Geotechnical Description										PROFİL / Profile		DATE / TARİH	
genelde kırık.										28.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu derecede ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										28.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu derecede ayrışmış, genelde kırık.										29.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										30.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										31.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										32.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										33.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										34.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										35.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										36.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										37.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										38.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										39.00		1.0	
Amfibolit; Yeşilimsi-gri renkli, taze-ortu ayrışmış, çok çatlaklı-kırıktır.										40.00		1.0	

SONDÖR / Date	SONDAJ MÜHÜRÜ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign
İsmail Dağdelen	İsmail Dağdelen	15.03.2012	

188

PSD

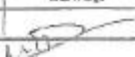
190

12

Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti.										SONDAJ Sondajda SK-3.200		SAYFA Page 8 / 11		
SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDÖR Driller : Hadi Doğukan				
Boruların Derinliği (m) Sondaj Derinliği (m) Kullanılan Çiğir Çiğir Tipi	MANİFESTASYON Planı	STANDARD PENETRASYON ÇİĞİRİ Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	DERİNLİK (m) Depth (m)	PROFİL Profile	SOLUNMULU ÇİĞİR Suctioned Core	YATIRILAN ÇİĞİR Inserted Core	SOLUNMULU ÇİĞİRİN Suctioned Core Length	YATIRILAN ÇİĞİRİN Inserted Core Length	SOLUNMULU ÇİĞİRİN Suctioned Core Diameter	YATIRILAN ÇİĞİRİN Inserted Core Diameter
		ÇİĞİRİN Çiğir	ÇİĞİRİN Çiğir	ÇİĞİRİN Çiğir	ÇİĞİRİN Çiğir									
102.0														
103.0														
104.0														
105.0														
106.0														
107.0														
108.0														
109.0														
110.0														
111.0														
112.0														
113.0														
114.0														
115.0														
116.0														
117.0														
SONDÖR / Driller		SONDAJ MÜHÜRÜSÜ / Boring Engineer				TARİH / Date		İMZA / Sign						
Hadi Doğukan		Hadi Doğukan				16.01.2012								

193

 Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAJ Borehole		SK-3-230 Sayfa Page	
				SONDÖR Driller		: Hadi Doğan	
Borehole Depth (m) SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	Borehole Type SONDAJ TİPİ	STANDARD PENETRATION TEST Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	SONDÖR Driller	PROFİL Profile	SONDÖR Driller
		DİAPHRAGM Diaphragm	GRAFİK Graph				
		0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950 960 970 980 990 1000					
133.0	RC-07			Anıtköy; Yeşilimsi-gri renkli, taze-az ayırmış, çok çabuk kırılgan.			
134.0							
135.0	RC-08			Anıtköy; Yeşilimsi-gri renkli, taze-az ayırmış, genelde parçalanmış.			
136.0							
137.0	RC-09			Anıtköy; Yeşilimsi-gri renkli, taze-az ayırmış, çok çabuk kırılgan.			
138.0							
139.0	RC-10			Anıtköy; Yeşilimsi-gri renkli, taze-az ayırmış, az çabuk kırılgan.			
140.0							
141.0	RC-11			Anıtköy; Yeşilimsi-gri renkli, taze-orta derecede ayırmış, genelde kırılmı.			
142.0							
143.0	RC-12			Anıtköy; Yeşilimsi-gri renkli, taze-orta derecede ayırmış, genelde kırılmı.			
144.0							
145.0	RC-13			Anıtköy; Yeşilimsi-gri renkli, taze-orta derecede ayırmış, genelde kırılmı.			
146.0							
147.0							

SONDÖR / Driller	SONDAJ MÜHENDİSİ / Drilling Engineer	TARİH / Date	İMZA / Sign
Hadi Doğan	İbrahim Doğan	16.02.2012	

 Müh.Müş.ve İnş.Ltd.Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAJ Borehole	SK-0-000	SAYFA Page 11 / 11
				SONDÖR Driller		
STANDART PERİMETRASYON DENEYİ Standard Perimeter Test		JEOLOJİK TANIMLAMA Geotechnical Description		PROFİL Profile		
ÇUKURLUK Hole Depth 0-15 cm 15-30 cm 30-45 cm 45-60 cm 60-75 cm 75-90 cm 90-105 cm 105-120 cm 120-135 cm 135-150 cm 150-165 cm 165-180 cm 180-195 cm 195-210 cm 210-225 cm 225-240 cm 240-255 cm 255-270 cm 270-285 cm 285-300 cm 300-315 cm 315-330 cm 330-345 cm 345-360 cm 360-375 cm 375-390 cm 390-405 cm 405-420 cm 420-435 cm 435-450 cm 450-465 cm 465-480 cm 480-495 cm 495-510 cm 510-525 cm 525-540 cm 540-555 cm 555-570 cm 570-585 cm 585-600 cm 600-615 cm 615-630 cm 630-645 cm 645-660 cm 660-675 cm 675-690 cm 690-705 cm 705-720 cm 720-735 cm 735-750 cm 750-765 cm 765-780 cm 780-795 cm 795-810 cm 810-825 cm 825-840 cm 840-855 cm 855-870 cm 870-885 cm 885-900 cm 900-915 cm 915-930 cm 930-945 cm 945-960 cm 960-975 cm 975-990 cm 990-1005 cm 1005-1020 cm 1020-1035 cm 1035-1050 cm 1050-1065 cm 1065-1080 cm 1080-1095 cm 1095-1110 cm 1110-1125 cm 1125-1140 cm 1140-1155 cm 1155-1170 cm 1170-1185 cm 1185-1200 cm 1200-1215 cm 1215-1230 cm 1230-1245 cm 1245-1260 cm 1260-1275 cm 1275-1290 cm 1290-1305 cm 1305-1320 cm 1320-1335 cm 1335-1350 cm 1350-1365 cm 1365-1380 cm 1380-1395 cm 1395-1410 cm 1410-1425 cm 1425-1440 cm 1440-1455 cm 1455-1470 cm 1470-1485 cm 1485-1500 cm 1500-1515 cm 1515-1530 cm 1530-1545 cm 1545-1560 cm 1560-1575 cm 1575-1590 cm 1590-1605 cm 1605-1620 cm 1620-1635 cm 1635-1650 cm 1650-1665 cm 1665-1680 cm 1680-1695 cm 1695-1710 cm 1710-1725 cm 1725-1740 cm 1740-1755 cm 1755-1770 cm 1770-1785 cm 1785-1800 cm 1800-1815 cm 1815-1830 cm 1830-1845 cm 1845-1860 cm 1860-1875 cm 1875-1890 cm 1890-1905 cm 1905-1920 cm 1920-1935 cm 1935-1950 cm 1950-1965 cm 1965-1980 cm 1980-1995 cm 1995-2010 cm 2010-2025 cm 2025-2040 cm 2040-2055 cm 2055-2070 cm 2070-2085 cm 2085-2100 cm 2100-2115 cm 2115-2130 cm 2130-2145 cm 2145-2160 cm 2160-2175 cm 2175-2190 cm 2190-2205 cm 2205-2220 cm 2220-2235 cm 2235-2250 cm 2250-2265 cm 2265-2280 cm 2280-2295 cm 2295-2310 cm 2310-2325 cm 2325-2340 cm 2340-2355 cm 2355-2370 cm 2370-2385 cm 2385-2400 cm 2400-2415 cm 2415-2430 cm 2430-2445 cm 2445-2460 cm 2460-2475 cm 2475-2490 cm 2490-2505 cm 2505-2520 cm 2520-2535 cm 2535-2550 cm 2550-2565 cm 2565-2580 cm 2580-2595 cm 2595-2610 cm 2610-2625 cm 2625-2640 cm 2640-2655 cm 2655-2670 cm 2670-2685 cm 2685-2700 cm 2700-2715 cm 2715-2730 cm 2730-2745 cm 2745-2760 cm 2760-2775 cm 2775-2790 cm 2790-2805 cm 2805-2820 cm 2820-2835 cm 2835-2850 cm 2850-2865 cm 2865-2880 cm 2880-2895 cm 2895-2910 cm 2910-2925 cm 2925-2940 cm 2940-2955 cm 2955-2970 cm 2970-2985 cm 2985-3000 cm 3000-3015 cm 3015-3030 cm 3030-3045 cm 3045-3060 cm 3060-3075 cm 3075-3090 cm 3090-3105 cm 3105-3120 cm 3120-3135 cm 3135-3150 cm 3150-3165 cm 3165-3180 cm 3180-3195 cm 3195-3210 cm 3210-3225 cm 3225-3240 cm 3240-3255 cm 3255-3270 cm 3270-3285 cm 3285-3300 cm 3300-3315 cm 3315-3330 cm 3330-3345 cm 3345-3360 cm 3360-3375 cm 3375-3390 cm 3390-3405 cm 3405-3420 cm 3420-3435 cm 3435-3450 cm 3450-3465 cm 3465-3480 cm 3480-3495 cm 3495-3510 cm 3510-3525 cm 3525-3540 cm 3540-3555 cm 3555-3570 cm 3570-3585 cm 3585-3600 cm 3600-3615 cm 3615-3630 cm 3630-3645 cm 3645-3660 cm 3660-3675 cm 3675-3690 cm 3690-3705 cm 3705-3720 cm 3720-3735 cm 3735-3750 cm 3750-3765 cm 3765-3780 cm 3780-3795 cm 3795-3810 cm 3810-3825 cm 3825-3840 cm 3840-3855 cm 3855-3870 cm 3870-3885 cm 3885-3900 cm 3900-3915 cm 3915-3930 cm 3930-3945 cm 3945-3960 cm 3960-3975 cm 3975-3990 cm 3990-4005 cm 4005-4020 cm 4020-4035 cm 4035-4050 cm 4050-4065 cm 4065-4080 cm 4080-4095 cm 4095-4110 cm 4110-4125 cm 4125-4140 cm 4140-4155 cm 4155-4170 cm 4170-4185 cm 4185-4200 cm 4200-4215 cm 4215-4230 cm 4230-4245 cm 4245-4260 cm 4260-4275 cm 4275-4290 cm 4290-4305 cm 4305-4320 cm 4320-4335 cm 4335-4350 cm 4350-4365 cm 4365-4380 cm 4380-4395 cm 4395-4410 cm 4410-4425 cm 4425-4440 cm 4440-4455 cm 4455-4470 cm 4470-4485 cm 4485-4500 cm 4500-4515 cm 4515-4530 cm 4530-4545 cm 4545-4560 cm 4560-4575 cm 4575-4590 cm 4590-4605 cm 4605-4620 cm 4620-4635 cm 4635-4650 cm 4650-4665 cm 4665-4680 cm 4680-4695 cm 4695-4710 cm 4710-4725 cm 4725-4740 cm 4740-4755 cm 4755-4770 cm 4770-4785 cm 4785-4800 cm 4800-4815 cm 4815-4830 cm 4830-4845 cm 4845-4860 cm 4860-4875 cm 4875-4890 cm 4890-4905 cm 4905-4920 cm 4920-4935 cm 4935-4950 cm 4950-4965 cm 4965-4980 cm 4980-4995 cm 4995-5010 cm 5010-5025 cm 5025-5040 cm 5040-5055 cm 5055-5070 cm 5070-5085 cm 5085-5100 cm 5100-5115 cm 5115-5130 cm 5130-5145 cm 5145-5160 cm 5160-5175 cm 5175-5190 cm 5190-5205 cm 5205-5220 cm 5220-5235 cm 5235-5250 cm 5250-5265 cm 5265-5280 cm 5280-5295 cm 5295-5310 cm 5310-5325 cm 5325-5340 cm 5340-5355 cm 5355-5370 cm 5370-5385 cm 5385-5400 cm 5400-5415 cm 5415-5430 cm 5430-5445 cm 5445-5460 cm 5460-5475 cm 5475-5490 cm 5490-5505 cm 5505-5520 cm 5520-5535 cm 5535-5550 cm 5550-5565 cm 5565-5580 cm 5580-5595 cm 5595-5610 cm 5610-5625 cm 5625-5640 cm 5640-5655 cm 5655-5670 cm 5670-5685 cm 5685-5700 cm 5700-5715 cm 5715-5730 cm 5730-5745 cm 5745-5760 cm 5760-5775 cm 5775-5790 cm 5790-5805 cm 5805-5820 cm 5820-5835 cm 5835-5850 cm 5850-5865 cm 5865-5880 cm 5880-5895 cm 5895-5910 cm 5910-5925 cm 5925-5940 cm 5940-5955 cm 5955-5970 cm 5970-5985 cm 5985-6000 cm 6000-6015 cm 6015-6030 cm 6030-6045 cm 6045-6060 cm 6060-6075 cm 6075-6090 cm 6090-6105 cm 6105-6120 cm 6120-6135 cm 6135-6150 cm 6150-6165 cm 6165-6180 cm 6180-6195 cm 6195-6210 cm 6210-6225 cm 6225-6240 cm 6240-6255 cm 6255-6270 cm 6270-6285 cm 6285-6300 cm 6300-6315 cm 6315-6330 cm 6330-6345 cm 6345-6360 cm 6360-6375 cm 6375-6390 cm 6390-6405 cm 6405-6420 cm 6420-6435 cm 6435-6450 cm 6450-6465 cm 6465-6480 cm 6480-6495 cm 6495-6510 cm 6510-6525 cm 6525-6540 cm 6540-6555 cm 6555-6570 cm 6570-6585 cm 6585-6600 cm 6600-6615 cm 6615-6630 cm 6630-6645 cm 6645-6660 cm 6660-6675 cm 6675-6690 cm 6690-6705 cm 6705-6720 cm 6720-6735 cm 6735-6750 cm 6750-6765 cm 6765-6780 cm 6780-6795 cm 6795-6810 cm 6810-6825 cm 6825-6840 cm 6840-6855 cm 6855-6870 cm 6870-6885 cm 6885-6900 cm 6900-6915 cm 6915-6930 cm 6930-6945 cm 6945-6960 cm 6960-6975 cm 6975-6990 cm 6990-7005 cm 7005-7020 cm 7020-7035 cm 7035-7050 cm 7050-7065 cm 7065-7080 cm 7080-7095 cm 7095-7110 cm 7110-7125 cm 7125-7140 cm 7140-7155 cm 7155-7170 cm 7170-7185 cm 7185-7200 cm 7200-7215 cm 7215-7230 cm 7230-7245 cm 7245-7260 cm 7260-7275 cm 7275-7290 cm 7290-7305 cm 7305-7320 cm 7320-7335 cm 7335-7350 cm 7350-7365 cm 7365-7380 cm 7380-7395 cm 7395-7410 cm 7410-7425 cm 7425-7440 cm 7440-7455 cm 7455-7470 cm 7470-7485 cm 7485-7500 cm 7500-7515 cm 7515-7530 cm 7530-7545 cm 7545-7560 cm 7560-7575 cm 7575-7590 cm 7590-7605 cm 7605-7620 cm 7620-7635 cm 7635-7650 cm 7650-7665 cm 7665-7680 cm 7680-7695 cm 7695-7710 cm 7710-7725 cm 7725-7740 cm 7740-7755 cm 7755-7770 cm 7770-7785 cm 7785-7800 cm 7800-7815 cm 7815-7830 cm 7830-7845 cm 7845-7860 cm 7860-7875 cm 7875-7890 cm 7890-7905 cm 7905-7920 cm 7920-7935 cm 7935-7950 cm 7950-7965 cm 7965-7980 cm 7980-7995 cm 7995-8010 cm 8010-8025 cm 8025-8040 cm 8040-8055 cm 8055-8070 cm 8070-8085 cm 8085-8100 cm 8100-8115 cm 8115-8130 cm 8130-8145 cm 8145-8160 cm 8160-8175 cm 8175-8190 cm 8190-8205 cm 8205-8220 cm 8220-8235 cm 8235-8250 cm 8250-8265 cm 8265-8280 cm 8280-8295 cm 8295-8310 cm 8310-8325 cm 8325-8340 cm 8340-8355 cm 8355-8370 cm 8370-8385 cm 8385-8400 cm 8400-8415 cm 8415-8430 cm 8430-8445 cm 8445-8460 cm 8460-8475 cm 8475-8490 cm 8490-8505 cm 8505-8520 cm 8520-8535 cm 8535-8550 cm 8550-8565 cm 8565-8580 cm 8580-8595 cm 8595-8610 cm 8610-8625 cm 8625-8640 cm 8640-8655 cm 8655-8670 cm 8670-8685 cm 8685-8700 cm 8700-8715 cm 8715-8730 cm 8730-8745 cm 8745-8760 cm 8760-8775 cm 8775-8790 cm 8790-8805 cm 8805-8820 cm 8820-8835 cm 8835-8850 cm 8850-8865 cm 8865-8880 cm 8880-8895 cm 8895-8910 cm 8910-8925 cm 8925-8940 cm 8940-8955 cm 8955-8970 cm 8970-8985 cm 8985-9000 cm 9000-9015 cm 9015-9030 cm 9030-9045 cm 9045-9060 cm 9060-9075 cm 9075-9090 cm 9090-9105 cm 9105-9120 cm 9120-9135 cm 9135-9150 cm 9150-9165 cm 9165-9180 cm 9180-9195 cm 9195-9210 cm 9210-9225 cm 9225-9240 cm 9240-9255 cm 9255-9270 cm 9270-9285 cm 9285-9300 cm 9300-9315 cm 9315-9330 cm 9330-9345 cm 9345-9360 cm 9360-9375 cm 9375-9390 cm 9390-9405 cm 9405-9420 cm 9420-9435 cm 9435-9450 cm 9450-9465 cm 9465-9480 cm 9480-9495 cm 9495-9510 cm 9510-9525 cm 9525-9540 cm 9540-9555 cm 9555-9570 cm 9570-9585 cm 9585-9600 cm 9600-9615 cm 9615-9630 cm 9630-9645 cm 9645-9660 cm 9660-9675 cm 9675-9690 cm 9690-9705 cm 9705-9720 cm 9720-9735 cm 9735-9750 cm 9750-9765 cm 9765-9780 cm 9780-9795 cm 9795-9810 cm 9810-9825 cm 9825-9840 cm 9840-9855 cm 9855-9870 cm 9870-9885 cm 9885-9900 cm 9900-9915 cm 9915-9930 cm 9930-9945 cm 9945-9960 cm 9960-9975 cm 9975-9990 cm 9990-10005 cm 10005-10020 cm 10020-10035 cm 10035-10050 cm 10050-10065 cm 10065-10080 cm 10080-10095 cm 10095-10110 cm 10110-10125 cm 10125-10140 cm 10140-10155 cm 10155-10170 cm 10170-10185 cm 10185-10200 cm 10200-10215 cm 10215-10230 cm 10230-10245 cm 10245-10260 cm 10260-10275 cm 10275-10290 cm 10290-10305 cm 10305-10320 cm 10320-10335 cm 10335-10350 cm 10350-10365 cm 10365-10380 cm 10380-10395 cm 10395-10410 cm 10410-10425 cm 10425-10440 cm 10440-10455 cm 10455-10470 cm 10470-10485 cm 10485-10500 cm 10500-10515 cm 10515-10530 cm 10530-10545 cm 10545-10560 cm 10560-10575 cm 10575-10590 cm 10590-10605 cm 10605-10620 cm 10620-10635 cm 10635-10650 cm 10650-10665 cm 10665-10680 cm 10680-10695 cm 10695-10710 cm 10710-10725 cm 10725-10740 cm 10740-10755 cm 10755-10770 cm 10770-10785 cm 10785-10800 cm 10800-10815 cm 10815-10830 cm 10830-10845 cm 10845-10860 cm 10860-10875 cm 10875-10890 cm 10890-10905 cm 10905-10920 cm 10920-10935 cm 10935-10950 cm 10950-10965 cm 10965-10980 cm 10980-10995 cm 10995-11010 cm 11010-11025 cm 11025-11040 cm 11040-11055 cm 11055-11070 cm 11070-11085 cm 11085-11100 cm 11100-11115 cm 11115-11130 cm 11130-11145 cm 11145-11160 cm 11160-11175 cm 11175-11190 cm 11190-11205 cm 11205-11220 cm 11220-11235 cm 11235-11250 cm 11250-11265 cm 11265-11280 cm 11280-11295 cm 11295-11310 cm 11310-11325 cm 11325-11340 cm 11340-11355 cm 11355-11370 cm 11370-11385 cm 11385-11400 cm 11400-11415 cm 11415-11430 cm 11430-11445 cm 11445-11460 cm 11460-11475 cm 11475-11490 cm 11490-11505 cm 11505-11520 cm 11520-11535 cm 11535-11550 cm 11550-11565 cm 11565-11580 cm 11580-11595 cm 11595-11610 cm 11610-11625 cm 11625-11640 cm 11640-11655 cm 11655-11670 cm 11670-11685 cm 11685-11700 cm 11700-11715 cm 11715-11730 cm 11730-11745 cm 11745-11760 cm 11760-11775 cm 11775-11790 cm 11790-11805 cm 11805-11820 cm 11820-11835 cm 11835-11850 cm 11850-11865 cm 1186						

Müh. Müş. ve İnş. Ltd. Şti. SONDAJ LOGU / BORING LOG				SONDAJ NO : SK-3+300 Boru No :		SAYFA Page 1 / 3	
PROJE ADI/Project Name : Elazığ-Malatya Yolu Köprüsü Tüneli Geçidi							
SONDAJ YERİ/Boring Location : T.C.İSİS PORTALI (YATAY SONDAJ)				YERALTI SUYU/Groundwater : -			
KİLOMETRE/Chainage : 3+202				MÜH. BORDER/Casing Depth : -			
SONDAJ DERİNLİĞİ/Boring Depth : 30.0 m				BAŞ-BİT TARİHİ/Start-Finish Date : -			
SONDAJ KOTU/Elevation : 706.5 m				KOORDİNAT/Coordinate/Referring : 4286530			
SON. MAK. SİYONT./D.Rig & Mt. : GSM-500 Rotary				KOORDİNAT/Coordinate/Referring : 4284410			
DAYANIMLIK/Strength I : ÇOK ZAYIF II : ZAYIF III : ORTA IV : GÜÇLÜ V : ÇOK GÜÇLÜ		AYRISMA/Weathering I : TAZE II : AZ AYRISMI III : ORTA AYRISMA IV : GÜÇLÜ AYRISMA V : ÇOK GÜÇLÜ AYRISMA		İÇİ DANELİ/Phy. Grained I : 0-0.2 ÇOK YUMUŞAK II : 0.2-0.4 YUMUŞAK III : 0.4-0.6 ORTA IV : 0.6-1.0 GÜÇLÜ V : 1.0-2.0 ÇOK GÜÇLÜ		İÇİ DANELİ/Phy. Grained I : 0-0.4 ÇOK YUMUŞAK II : 0.4-0.6 YUMUŞAK III : 0.6-1.0 ORTA IV : 1.0-2.0 GÜÇLÜ V : 2.0-4.0 ÇOK GÜÇLÜ	
KAPALI/TYPE TANE/PGD I : 0-0.2 ÇOK ZAYIF II : 0.2-0.4 ZAYIF III : 0.4-0.6 ORTA IV : 0.6-1.0 GÜÇLÜ V : 1.0-2.0 ÇOK GÜÇLÜ		KIRILAN/30 mm/PGD I : 0-0.2 ÇOK ZAYIF II : 0.2-0.4 ZAYIF III : 0.4-0.6 ORTA IV : 0.6-1.0 GÜÇLÜ V : 1.0-2.0 ÇOK GÜÇLÜ		GRAM./GPR/PGD I : 0-0.2 ÇOK ZAYIF II : 0.2-0.4 ZAYIF III : 0.4-0.6 ORTA IV : 0.6-1.0 GÜÇLÜ V : 1.0-2.0 ÇOK GÜÇLÜ		GRAM./GPR/PGD I : 0-0.2 ÇOK ZAYIF II : 0.2-0.4 ZAYIF III : 0.4-0.6 ORTA IV : 0.6-1.0 GÜÇLÜ V : 1.0-2.0 ÇOK GÜÇLÜ	
SPT : STANDART PENETRASYON TESTİ O : 0-10 cm 1 : 10-30 cm 2 : 30-45 cm 3 : 45-60 cm 4 : 60-75 cm 5 : 75-90 cm 6 : 90-105 cm 7 : 105-120 cm 8 : 120-135 cm 9 : 135-150 cm 10 : 150-165 cm 11 : 165-180 cm 12 : 180-195 cm 13 : 195-210 cm 14 : 210-225 cm 15 : 225-240 cm 16 : 240-255 cm 17 : 255-270 cm 18 : 270-285 cm 19 : 285-300 cm 20 : 300-315 cm 21 : 315-330 cm 22 : 330-345 cm 23 : 345-360 cm 24 : 360-375 cm 25 : 375-390 cm 26 : 390-405 cm 27 : 405-420 cm 28 : 420-435 cm 29 : 435-450 cm 30 : 450-465 cm 31 : 465-480 cm 32 : 480-495 cm 33 : 495-510 cm 34 : 510-525 cm 35 : 525-540 cm 36 : 540-555 cm 37 : 555-570 cm 38 : 570-585 cm 39 : 585-600 cm 40 : 600-615 cm 41 : 615-630 cm 42 : 630-645 cm 43 : 645-660 cm 44 : 660-675 cm 45 : 675-690 cm 46 : 690-705 cm 47 : 705-720 cm 48 : 720-735 cm 49 : 735-750 cm 50 : 750-765 cm 51 : 765-780 cm 52 : 780-795 cm 53 : 795-810 cm 54 : 810-825 cm 55 : 825-840 cm 56 : 840-855 cm 57 : 855-870 cm 58 : 870-885 cm 59 : 885-900 cm 60 : 900-915 cm 61 : 915-930 cm 62 : 930-945 cm 63 : 945-960 cm 64 : 960-975 cm 65 : 975-990 cm 66 : 990-1005 cm 67 : 1005-1020 cm 68 : 1020-1035 cm 69 : 1035-1050 cm 70 : 1050-1065 cm 71 : 1065-1080 cm 72 : 1080-1095 cm 73 : 1095-1110 cm 74 : 1110-1125 cm 75 : 1125-1140 cm 76 : 1140-1155 cm 77 : 1155-1170 cm 78 : 1170-1185 cm 79 : 1185-1200 cm 80 : 1200-1215 cm 81 : 1215-1230 cm 82 : 1230-1245 cm 83 : 1245-1260 cm 84 : 1260-1275 cm 85 : 1275-1290 cm 86 : 1290-1305 cm 87 : 1305-1320 cm 88 : 1320-1335 cm 89 : 1335-1350 cm 90 : 1350-1365 cm 91 : 1365-1380 cm 92 : 1380-1395 cm 93 : 1395-1410 cm 94 : 1410-1425 cm 95 : 1425-1440 cm 96 : 1440-1455 cm 97 : 1455-1470 cm 98 : 1470-1485 cm 99 : 1485-1500 cm 100 : 1500-1515 cm 101 : 1515-1530 cm 102 : 1530-1545 cm 103 : 1545-1560 cm 104 : 1560-1575 cm 105 : 1575-1590 cm 106 : 1590-1605 cm 107 : 1605-1620 cm 108 : 1620-1635 cm 109 : 1635-1650 cm 110 : 1650-1665 cm 111 : 1665-1680 cm 112 : 1680-1695 cm 113 : 1695-1710 cm 114 : 1710-1725 cm 115 : 1725-1740 cm 116 : 1740-1755 cm 117 : 1755-1770 cm 118 : 1770-1785 cm 119 : 1785-1800 cm 120 : 1800-1815 cm 121 : 1815-1830 cm 122 : 1830-1845 cm 123 : 1845-1860 cm 124 : 1860-1875 cm 125 : 1875-1890 cm 126 : 1890-1905 cm 127 : 1905-1920 cm 128 : 1920-1935 cm 129 : 1935-1950 cm 130 : 1950-1965 cm 131 : 1965-1980 cm 132 : 1980-1995 cm 133 : 1995-2010 cm 134 : 2010-2025 cm 135 : 2025-2040 cm 136 : 2040-2055 cm 137 : 2055-2070 cm 138 : 2070-2085 cm 139 : 2085-2100 cm 140 : 2100-2115 cm 141 : 2115-2130 cm 142 : 2130-2145 cm 143 : 2145-2160 cm 144 : 2160-2175 cm 145 : 2175-2190 cm 146 : 2190-2205 cm 147 : 2205-2220 cm 148 : 2220-2235 cm 149 : 2235-2250 cm 150 : 2250-2265 cm 151 : 2265-2280 cm 152 : 2280-2295 cm 153 : 2295-2310 cm 154 : 2310-2325 cm 155 : 2325-2340 cm 156 : 2340-2355 cm 157 : 2355-2370 cm 158 : 2370-2385 cm 159 : 2385-2400 cm 160 : 2400-2415 cm 161 : 2415-2430 cm 162 : 2430-2445 cm 163 : 2445-2460 cm 164 : 2460-2475 cm 165 : 2475-2490 cm 166 : 2490-2505 cm 167 : 2505-2520 cm 168 : 2520-2535 cm 169 : 2535-2550 cm 170 : 2550-2565 cm 171 : 2565-2580 cm 172 : 2580-2595 cm 173 : 2595-2610 cm 174 : 2610-2625 cm 175 : 2625-2640 cm 176 : 2640-2655 cm 177 : 2655-2670 cm 178 : 2670-2685 cm 179 : 2685-2700 cm 180 : 2700-2715 cm 181 : 2715-2730 cm 182 : 2730-2745 cm 183 : 2745-2760 cm 184 : 2760-2775 cm 185 : 2775-2790 cm 186 : 2790-2805 cm 187 : 2805-2820 cm 188 : 2820-2835 cm 189 : 2835-2850 cm 190 : 2850-2865 cm 191 : 2865-2880 cm 192 : 2880-2895 cm 193 : 2895-2910 cm 194 : 2910-2925 cm 195 : 2925-2940 cm 196 : 2940-2955 cm 197 : 2955-2970 cm 198 : 2970-2985 cm 199 : 2985-3000 cm 200 : 3000-3015 cm 201 : 3015-3030 cm 202 : 3030-3045 cm 203 : 3045-3060 cm 204 : 3060-3075 cm 205 : 3075-3090 cm 206 : 3090-3105 cm 207 : 3105-3120 cm 208 : 3120-3135 cm 209 : 3135-3150 cm 210 : 3150-3165 cm 211 : 3165-3180 cm 212 : 3180-3195 cm 213 : 3195-3210 cm 214 : 3210-3225 cm 215 : 3225-3240 cm 216 : 3240-3255 cm 217 : 3255-3270 cm 218 : 3270-3285 cm 219 : 3285-3300 cm 220 : 3300-3315 cm 221 : 3315-3330 cm 222 : 3330-3345 cm 223 : 3345-3360 cm 224 : 3360-3375 cm 225 : 3375-3390 cm 226 : 3390-3405 cm 227 : 3405-3420 cm 228 : 3420-3435 cm 229 : 3435-3450 cm 230 : 3450-3465 cm 231 : 3465-3480 cm 232 : 3480-3495 cm 233 : 3495-3510 cm 234 : 3510-3525 cm 235 : 3525-3540 cm 236 : 3540-3555 cm 237 : 3555-3570 cm 238 : 3570-3585 cm 239 : 3585-3600 cm 240 : 3600-3615 cm 241 : 3615-3630 cm 242 : 3630-3645 cm 243 : 3645-3660 cm 244 : 3660-3675 cm 245 : 3675-3690 cm 246 : 3690-3705 cm 247 : 3705-3720 cm 248 : 3720-3735 cm 249 : 3735-3750 cm 250 : 3750-3765 cm 251 : 3765-3780 cm 252 : 3780-3795 cm 253 : 3795-3810 cm 254 : 3810-3825 cm 255 : 3825-3840 cm 256 : 3840-3855 cm 257 : 3855-3870 cm 258 : 3870-3885 cm 259 : 3885-3900 cm 260 : 3900-3915 cm 261 : 3915-3930 cm 262 : 3930-3945 cm 263 : 3945-3960 cm 264 : 3960-3975 cm 265 : 3975-3990 cm 266 : 3990-4005 cm 267 : 4005-4020 cm 268 : 4020-4035 cm 269 : 4035-4050 cm 270 : 4050-4065 cm 271 : 4065-4080 cm 272 : 4080-4095 cm 273 : 4095-4110 cm 274 : 4110-4125 cm 275 : 4125-4140 cm 276 : 4140-4155 cm 277 : 4155-4170 cm 278 : 4170-4185 cm 279 : 4185-4200 cm 280 : 4200-4215 cm 281 : 4215-4230 cm 282 : 4230-4245 cm 283 : 4245-4260 cm 284 : 4260-4275 cm 285 : 4275-4290 cm 286 : 4290-4305 cm 287 : 4305-4320 cm 288 : 4320-4335 cm 289 : 4335-4350 cm 290 : 4350-4365 cm 291 : 4365-4380 cm 292 : 4380-4395 cm 293 : 4395-4410 cm 294 : 4410-4425 cm 295 : 4425-4440 cm 296 : 4440-4455 cm 297 : 4455-4470 cm 298 : 4470-4485 cm 299 : 4485-4500 cm 300 : 4500-4515 cm 301 : 4515-4530 cm 302 : 4530-4545 cm 303 : 4545-4560 cm 304 : 4560-4575 cm 305 : 4575-4590 cm 306 : 4590-4605 cm 307 : 4605-4620 cm 308 : 4620-4635 cm 309 : 4635-4650 cm 310 : 4650-4665 cm 311 : 4665-4680 cm 312 : 4680-4695 cm 313 : 4695-4710 cm 314 : 4710-4725 cm 315 : 4725-4740 cm 316 : 4740-4755 cm 317 : 4755-4770 cm 318 : 4770-4785 cm 319 : 4785-4800 cm 320 : 4800-4815 cm 321 : 4815-4830 cm 322 : 4830-4845 cm 323 : 4845-4860 cm 324 : 4860-4875 cm 325 : 4875-4890 cm 326 : 4890-4905 cm 327 : 4905-4920 cm 328 : 4920-4935 cm 329 : 4935-4950 cm 330 : 4950-4965 cm 331 : 4965-4980 cm 332 : 4980-4995 cm 333 : 4995-5010 cm 334 : 5010-5025 cm 335 : 5025-5040 cm 336 : 5040-5055 cm 337 : 5055-5070 cm 338 : 5070-5085 cm 339 : 5085-5100 cm 340 : 5100-5115 cm 341 : 5115-5130 cm 342 : 5130-5145 cm 343 : 5145-5160 cm 344 : 5160-5175 cm 345 : 5175-5190 cm 346 : 5190-5205 cm 347 : 5205-5220 cm 348 : 5220-5235 cm 349 : 5235-5250 cm 350 : 5250-5265 cm 351 : 5265-5280 cm 352 : 5280-5295 cm 353 : 5295-5310 cm 354 : 5310-5325 cm 355 : 5325-5340 cm 356 : 5340-5355 cm 357 : 5355-5370 cm 358 : 5370-5385 cm 359 : 5385-5400 cm 360 : 5400-5415 cm 361 : 5415-5430 cm 362 : 5430-5445 cm 363 : 5445-5460 cm 364 : 5460-5475 cm 365 : 5475-5490 cm 366 : 5490-5505 cm 367 : 5505-5520 cm 368 : 5520-5535 cm 369 : 5535-5550 cm 370 : 5550-5565 cm 371 : 5565-5580 cm 372 : 5580-5595 cm 373 : 5595-5610 cm 374 : 5610-5625 cm 375 : 5625-5640 cm 376 : 5640-5655 cm 377 : 5655-5670 cm 378 : 5670-5685 cm 379 : 5685-5700 cm 380 : 5700-5715 cm 381 : 5715-5730 cm 382 : 5730-5745 cm 383 : 5745-5760 cm 384 : 5760-5775 cm 385 : 5775-5790 cm 386 : 5790-5805 cm 387 : 5805-5820 cm 388 : 5820-5835 cm 389 : 5835-5850 cm 390 : 5850-5865 cm 391 : 5865-5880 cm 392 : 5880-5895 cm 393 : 5895-5910 cm 394 : 5910-5925 cm 395 : 5925-5940 cm 396 : 5940-5955 cm 397 : 5955-5970 cm 398 : 5970-5985 cm 399 : 5985-6000 cm 400 : 6000-6015 cm 401 : 6015-6030 cm 402 : 6030-6045 cm 403 : 6045-6060 cm 404 : 6060-6075 cm 405 : 6075-6090 cm 406 : 6090-6105 cm 407 : 6105-6120 cm 408 : 6120-6135 cm 409 : 6135-6150 cm 410 : 6150-6165 cm 411 : 6165-6180 cm 412 : 6180-6195 cm 413 : 6195-6210 cm 414 : 6210-6225 cm 415 : 6225-6240 cm 416 : 6240-6255 cm 417 : 6255-6270 cm 418 : 6270-6285 cm 419 : 6285-6300 cm 420 : 6300-6315 cm 421 : 6315-6330 cm 422 : 6330-6345 cm 423 : 6345-6360 cm 424 : 6360-6375 cm 425 : 6375-6390 cm 426 : 6390-6405 cm 427 : 6405-6420 cm 428 : 6420-6435 cm 429 : 6435-6450 cm 430 : 6450-6465 cm 431 : 6465-6480 cm 432 : 6480-6495 cm 433 : 6495-6510 cm 434 : 6510-6525 cm 435 : 6525-6540 cm 436 : 6540-6555 cm 437 : 6555-6570 cm 438 : 6570-6585 cm 439 : 6585-6600 cm 440 : 6600-6615 cm 441 : 6615-6630 cm 442 : 6630-6645 cm 443 : 6645-6660 cm 444 : 6660-6675 cm 445 : 6675-6690 cm 446 : 6690-6705 cm 447 : 6705-6720 cm 448 : 6720-6735 cm 449 : 6735-6750 cm 450 : 6750-6765 cm 451 : 6765-6780 cm 452 : 6780-6795 cm 453 : 6795-6810 cm 454 : 6810-6825 cm 455 : 6825-6840 cm 456 : 6840-6855 cm 457 : 6855-6870 cm 458 : 6870-6885 cm 459 : 6885-6900 cm 460 : 6900-6915 cm 461 : 6915-6930 cm 462 : 6930-6945 cm 463 : 6945-6960 cm 464 : 6960-6975 cm 465 : 6975-6990 cm 466 : 6990-7005 cm 467 : 7005-7020 cm 468 : 7020-7035 cm 469 : 7035-7050 cm 470 : 7050-7065 cm 471 : 7065-7080 cm 472 : 7080-7095 cm 473 : 7095-7110 cm 474 : 7110-7125 cm 475 : 7125-7140 cm 476 : 7140-7155 cm 477 : 7155-7170 cm 478 : 7170-7185 cm 479 : 7185-7200 cm 480 : 7200-7215 cm 481 : 7215-7230 cm 482 : 7230-7245 cm 483 : 7245-7260 cm 484 : 7260-7275 cm 485 : 7275-7290 cm 486 : 7290-7305 cm 487 : 7305-7320 cm 488 : 7320-7335 cm 489 : 7335-7350 cm 490 : 7350-7365 cm 491 : 7365-7380 cm 492 : 7380-7395 cm 493 : 7395-7410 cm 494 : 7410-7425 cm 495 : 7425-7440 cm 496 : 7440-7455 cm 497 : 7455-7470 cm 498 : 7470-7485 cm 499 : 7485-7500 cm 500 : 7500-7515 cm 501 : 7515-7530 cm 502 : 7530-7545 cm 503 : 7545-7560 cm 504 : 7560-7575 cm 505 : 7575-7590 cm 506 : 7590-7605 cm 507 : 7605-7620 cm 508 : 7620-7635 cm 509 : 7635-7650 cm 510 : 7650-7665 cm 511 : 7665-7680 cm 512 : 7680-7695 cm 513 : 7695-7710 cm 514 : 7710-7725 cm 515 : 7725-7740 cm 516 : 7740-7755 cm 517 : 7755-7770 cm 518 : 7770-7785 cm 519 : 7785-7800 cm 520 : 7800-7815 cm 521 : 7815-7830 cm 522 : 7830-7845 cm 523 : 7845-7860 cm 524 : 7860-7875 cm 525 : 7875-7890 cm 526 : 7890-7905 cm 527 : 7905-7920 cm 528 : 7920-7935 cm 529 : 7935-7950 cm 530 : 7950-7965 cm 531 : 7965-7980 cm 532 : 7980-7995 cm 533 : 7995-8010 cm 534 : 8010-8025 cm 535 : 8025-8040 cm 536 : 8040-8055 cm 537 : 8055-8070 cm 538 : 8070-8085 cm 539 : 8085-8100 cm 540 : 8100-8115 cm 541 : 8115-8130 cm 542 : 8130-8145 cm 543 : 8145-8160 cm 544 : 8160-8175 cm 545 : 8175-8190 cm 546 : 8190-8205 cm 547 : 8205-8220 cm 548 : 8220-8235 cm 549 : 8235-8250 cm 550 : 8250-8265 cm 551 : 8265-8280 cm 552 : 8280-8295 cm 553 : 8295-8310 cm 554 : 8310-8325 cm 555 : 8325-8340							

197

198

LABORATUAR
DENEY SONUÇLARI

EK 4.

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü Ei (GPa)	Poison Oranı ν	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Nokta yükü dayanım indeksi, I _{s(50)} (MPa)	Tek Eksenli Basınç Deneyi (MPa)
Sk-1+500	1	8.35-8.50	8.98	0.329	25.41	-	33.24
"	2	13.00-13.50	17.64	0.284	25.90	-	62.72
"	3	16.40-16.80	18.86	0.271	26.49	-	70.54
"	4	20.00-20.15	17.42	0.262	26.19	-	73.18
"	5	21.75-21.90	18.26	0.278	25.51	-	66.48
Sk-1+550	1	5.60-6.00	19.32	0.229	26.88	-	76.54
"	2	9.65-9.90	14.31	0.291	25.60	-	60.28
"	3	12.35-12.50	17.97	0.269	26.29	-	69.12
"	4	13.15-13.50	14.94	0.297	25.41	-	55.59
"	5	18.50-18.90	15.30	0.276	25.90	-	64.85
"	6	22.35-22.50	18.36	0.249	26.39	-	71.56
Sk-2+050	1	16.75-17.00	15.24	0.241	26.49	-	70.44
"	2	23.40-23.80	20.83	0.229	27.27	-	82.64
"	3	27.00-27.30	20.09	0.237	26.88	-	78.98
"	4	32.00-32.30	16.58	0.288	25.70	5.78	64.45
"	5	36.50-36.80	15.67	0.275	26.00	2.94	67.69
"	6	43.40-43.65	17.58	0.221	26.59	2.86	80.10
"	7	47.35-47.70	21.39	0.214	26.78	1.75	83.07
Sk-2+630	1	113.50-113.75	11.97	0.303	27.57	6.13	84.76
"	2	117.80-118.10	13.12	0.316	27.17	4.10	75.84
"	3	122.20-122.35	11.91	0.311	26.68	3.95	71.77
"	4	125.60-125.85	9.75	0.321	25.70	6.45	59.45
"	5	127.10-127.50	13.97	0.313	26.59	3.06	73.70
"	6	131.35-131.50	11.97	0.309	26.98	1.24	81.08
"	7	135.50-136.00	15.83	0.304	27.47	-	83.60
"	8	140.10-140.50	13.36	0.324	26.68	-	76.91
Sk-2+960	1	57.70	-	-	28.68	-	39.47
"	2	58.50	-	-	28.78	-	108.28

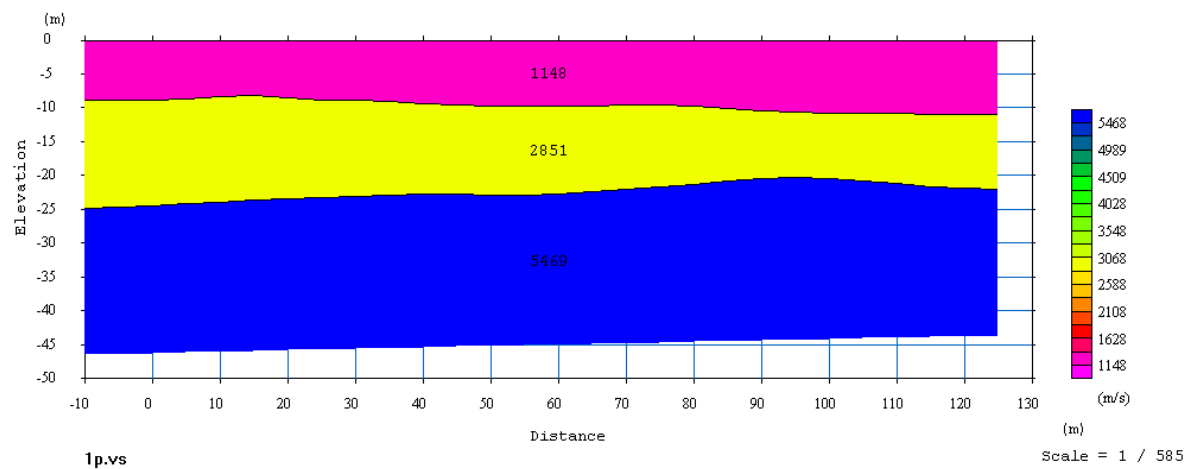
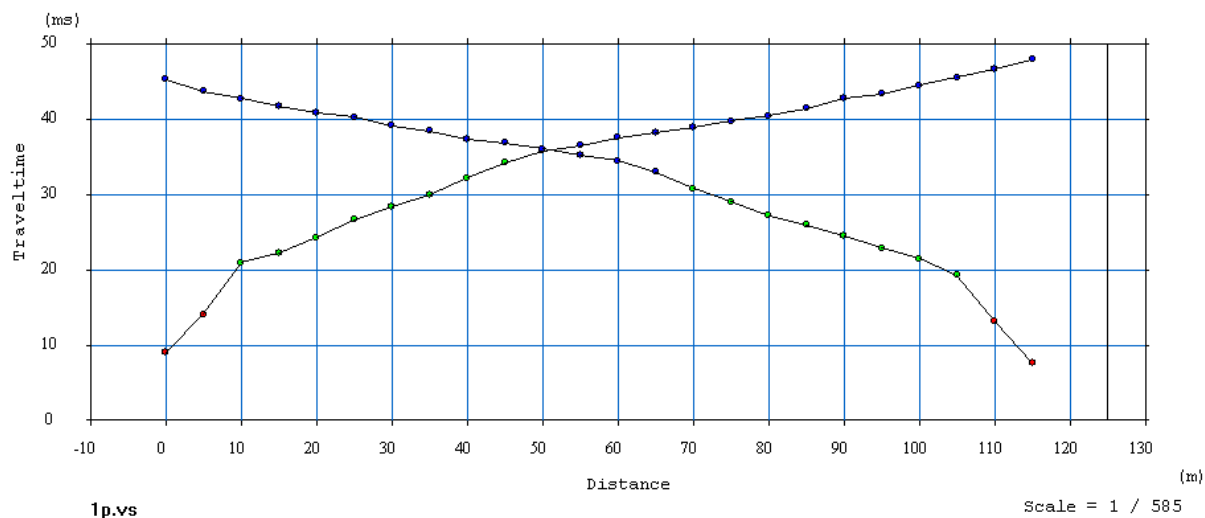
Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü Ei (GPa)	Poison Oranı ν	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Nokta yükü dayanım indeksi, I _{s(50)} (MPa)	Tek Eksenli Basınç Deneyi (MPa)
Sk-2+960	3	59.20	-	-	28.62		69.54
"	4	51.70	-	-	29.38	3.09	58.69
"	5	54.50	-	-	28.30	4.42	26.34
"	6	65.50	-	-	29.37	2.37	40.27
"	7	62.40	-	-	29.09	2.35	18.05
"	8	64.30	-	-	29.37	3.03	76.83
"	1	65.00-65.30	8.92	0.329	26.31	-	52.18
"	2	72.00-72.40	10.55	0.301	25.62	-	61.58
"	3	79.30-79.60	15.20	0.249	25.86	-	84.18
"	4	88.40-88.60	12.29	0.260	25.97	-	71.87
"	5	94.60-94.80	9.78	0.314	26.07	-	55.38
"	6	95.70-96.00	9.75	0.287	25.89	-	62.85
Sk-3+200	9	90.50	-	-	29.17	-	110.28
"	10	91.30	-	-	28.68	-	58.94
"	11	92.60	-	-	28.98	-	25.99
"	12	93.60	-	-	28.92	-	35.94
"	12 (a)	93.72	-	-	28.58	-	60.91
"	13	94.30	-	-	28.94	5.46	27.11
"	14	95.00	-	-	29.24	3.96	33.32
"	15	96.80	-	-	28.61	5.31	76.64
"	16	97.30	-	-	28.44	5.24	97.71
"	17	98.40	-	-	28.70	1.80	88.30
"	18	99.00	-	-	28.69	-	75.35
"	19	99.50	-	-	28.26	-	74.88
"	20	100.30	-	-	28.45	-	31.87
"	20 (a)	100.42	-	-	28.71	-	54.23
"	21	101.10	-	-	28.62	-	40.54
"	21 (a)	101.22	-	-	28.38	-	74.39

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü Ei (GPa)	Poison Oranı ν	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Nokta yükü dayanım indeksi, I _{s(50)} (MPa)	Tek Eksenli Basınç Deneyi (MPa)
Sk-3+200	22	102.50	-	-	28.76	-	32.62
"	23	104.30	-	-	29.33	-	45.09
"	24	103.00	-	-	28.98	-	113.55
"	25	106.60	-	-	29.52	-	104.61
"	26	108.10	-	-	29.60	-	65.57
"	27	108.70	-	-	28.96	-	101.13
"	28	109.00	-	-	29.33	-	68.99
"	1	110.20-110.50	20.55	0.215	27.17	-	82.81
"	2	116.75-117.00	23.78	0.212	26.49	-	85.57
"	3	120.60-121.00	19.44	0.233	26.29	-	71.46
"	4	126.60-127.00	16.88	0.254	26.09	-	66.86
"	5	130.50-130.85	19.44	0.218	26.78	-	75.76
"	6	134.25-134.50	17.96	0.262	25.90	-	64.82
Sk-3+900	1	2.90-3.05	15.33	0.294	25.80	4.44	60.58
"	2	12.50-12.75	20.43	0.238	26.49	3.26	79.84
"	3	14.65-15.00	19.72	0.219	27.08	6.18	82.30
"	4	21.75-22.00	26.32	0.208	27.66	6.32	94.67
"	5	22.55-23.00	19.27	0.254	26.29	-	71.87

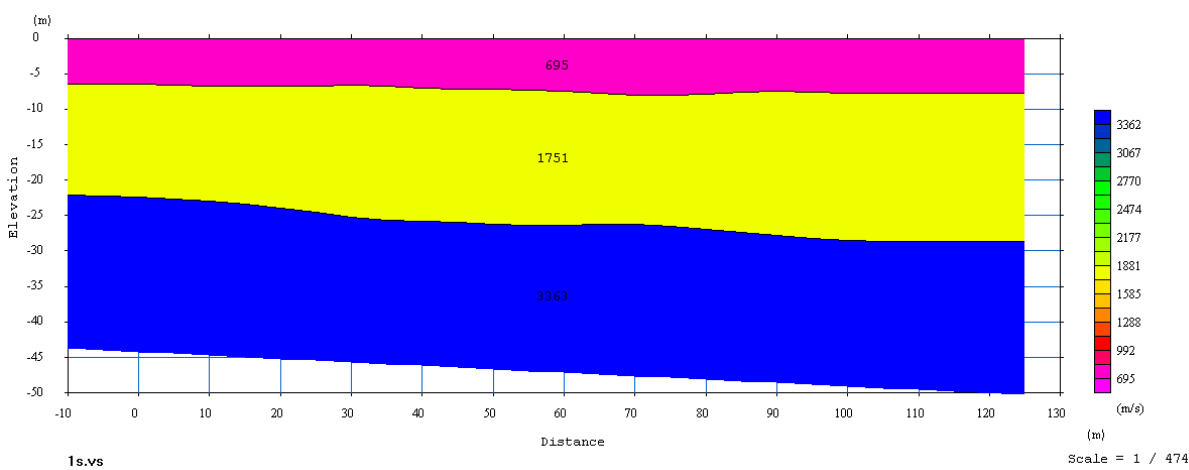
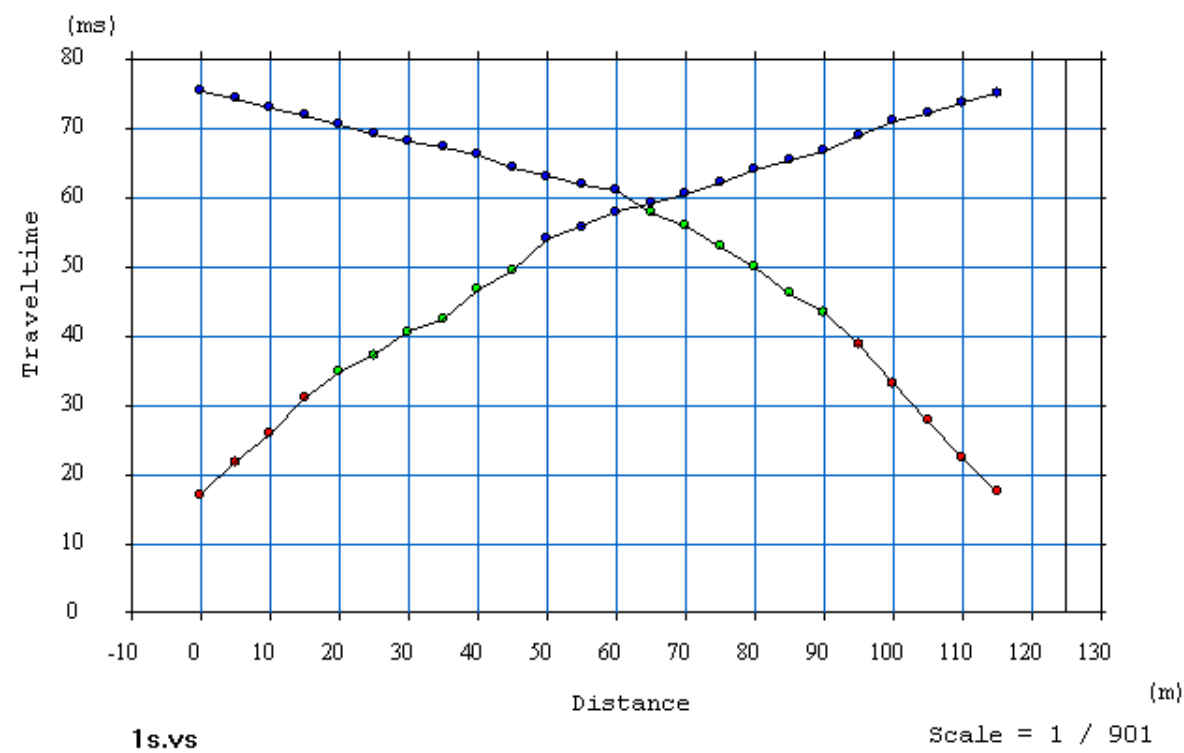
P VE S DALGA HIZLARI VE TABAKA KALINLIKLARI

EK 5.

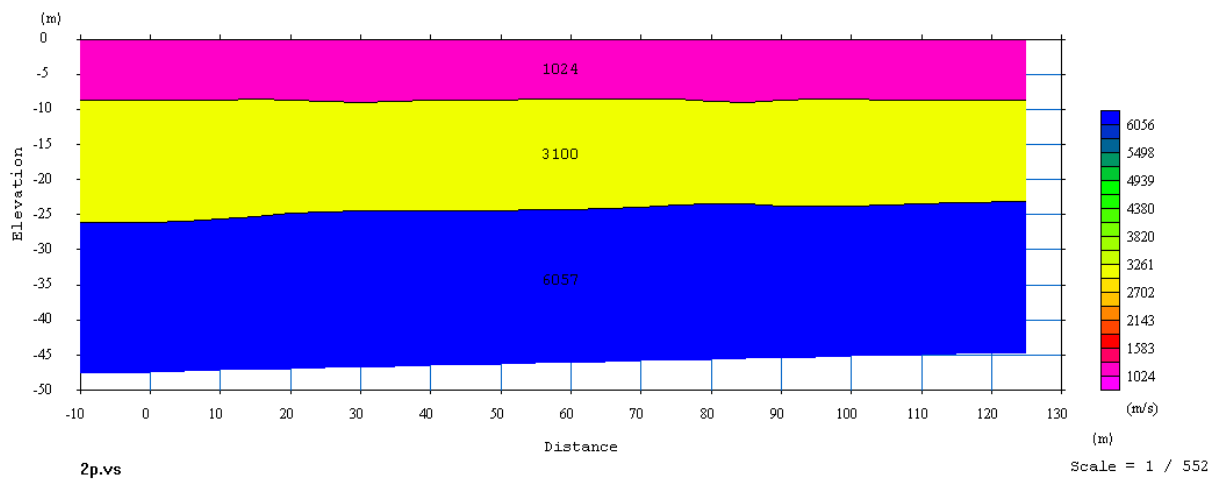
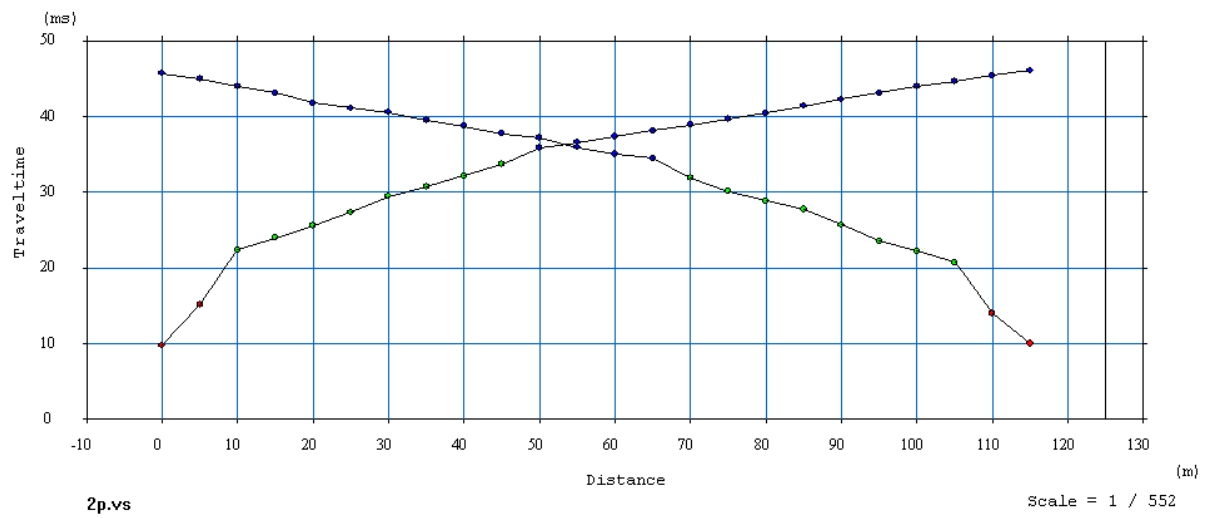
1p



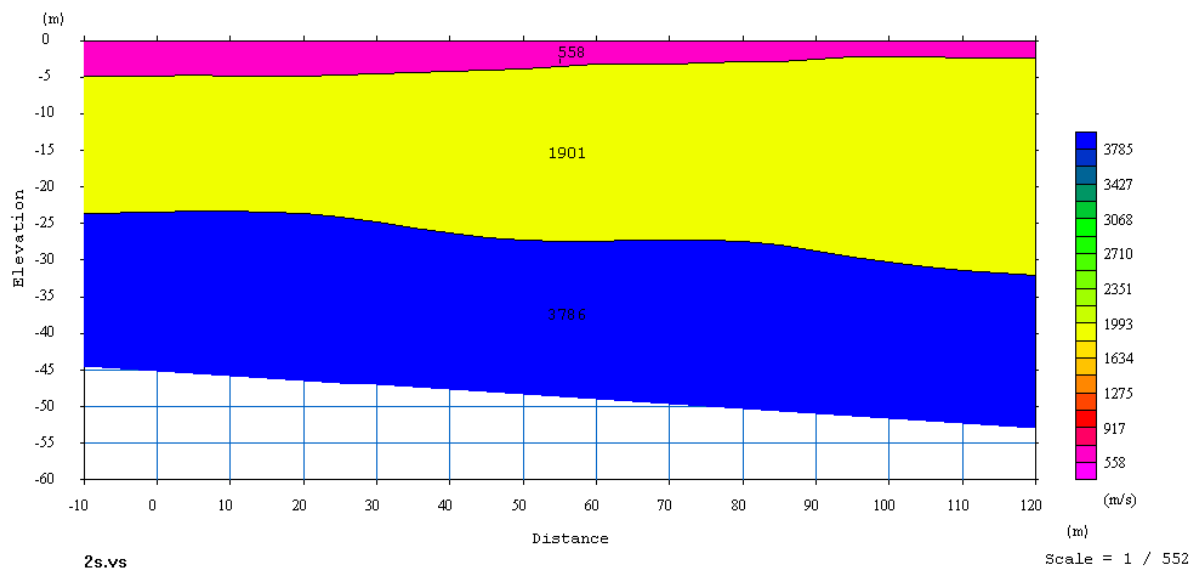
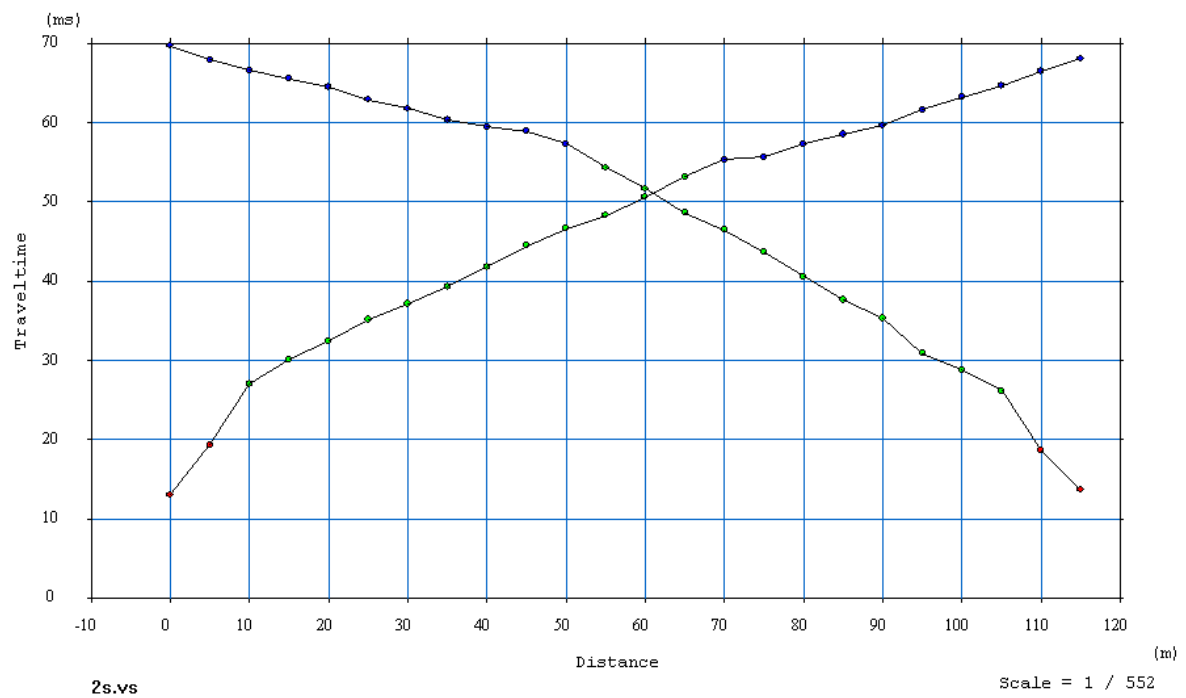
1s



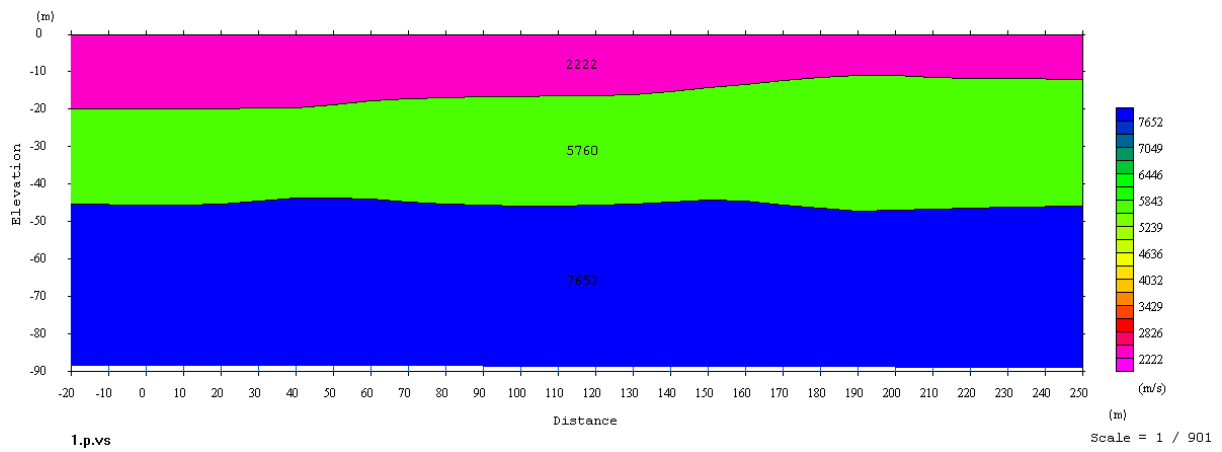
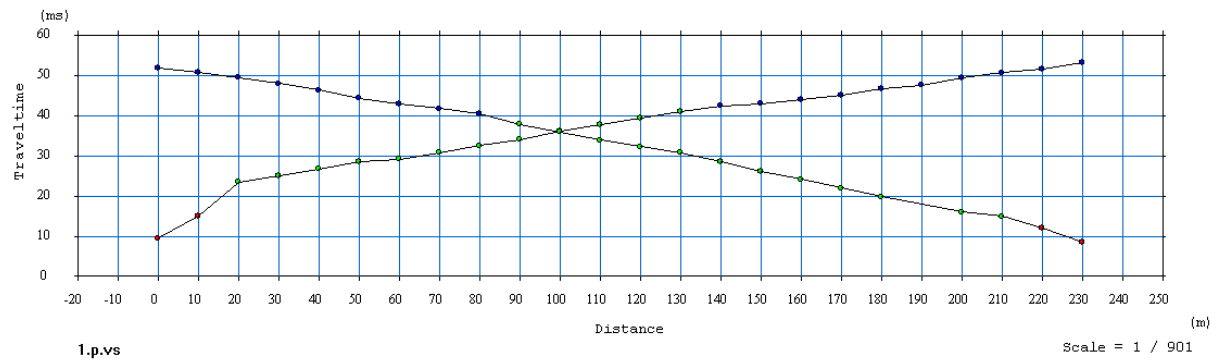
2p



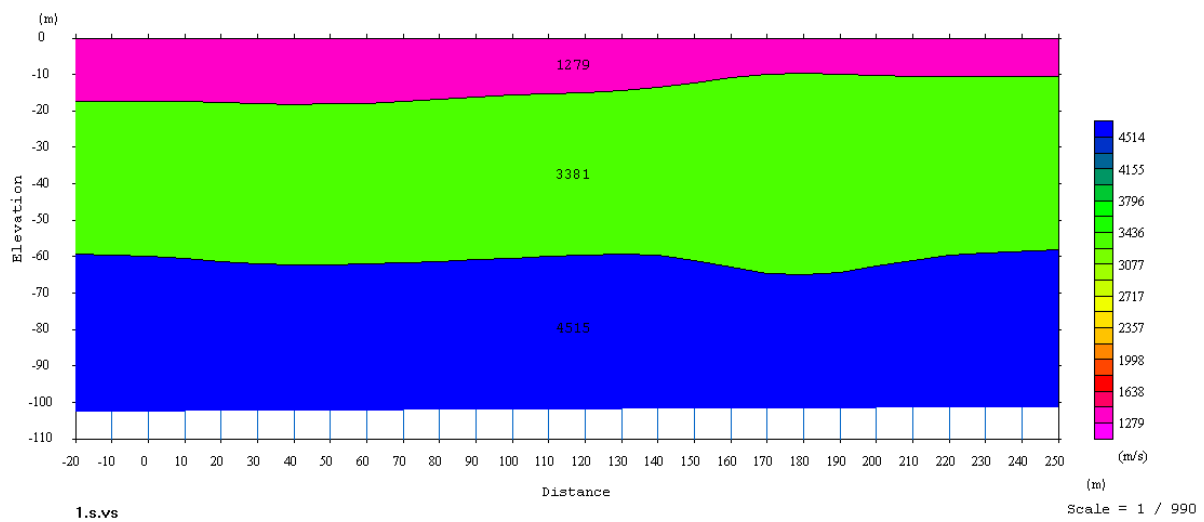
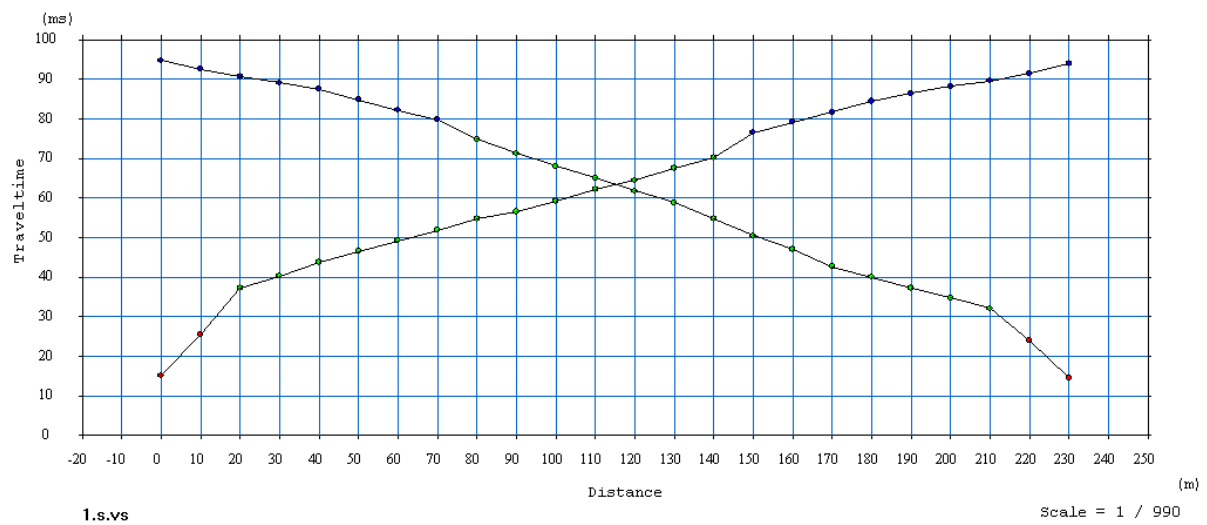
2s



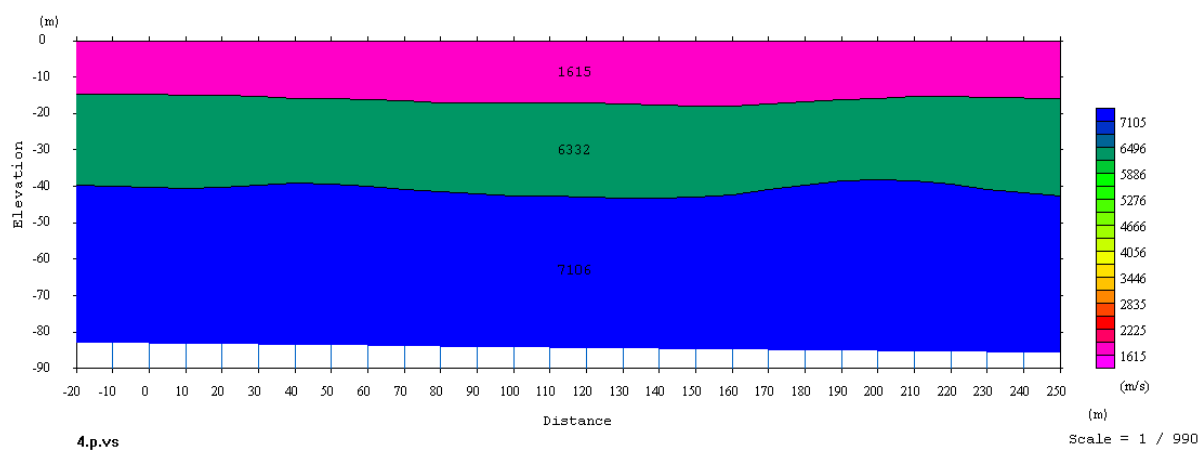
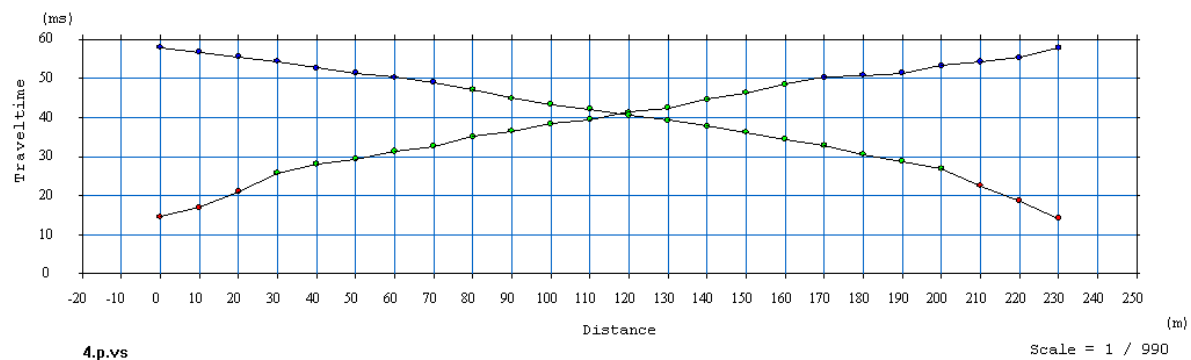
3p



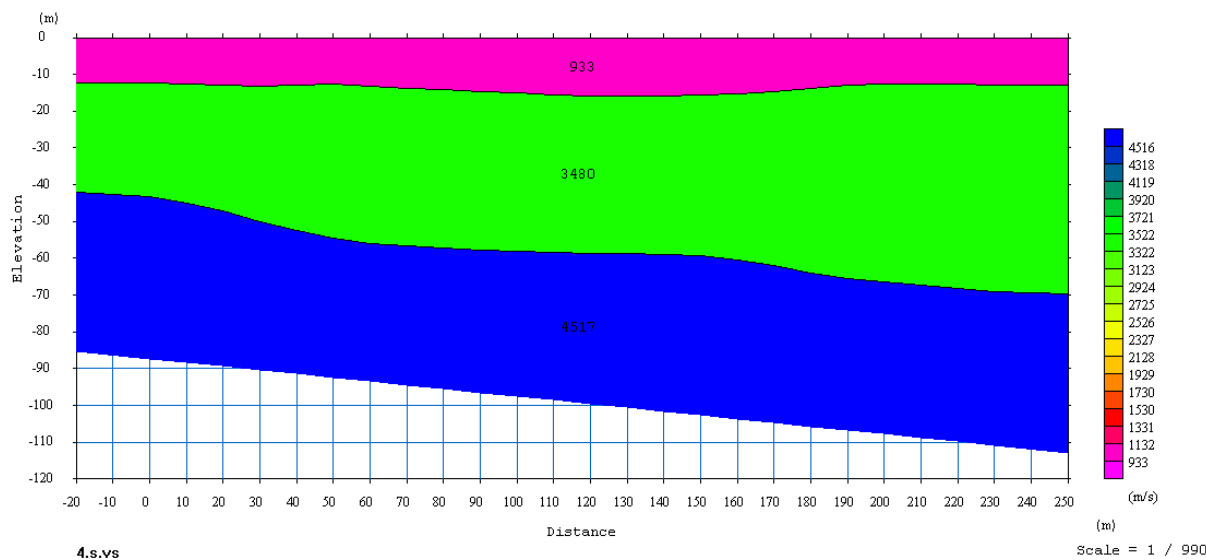
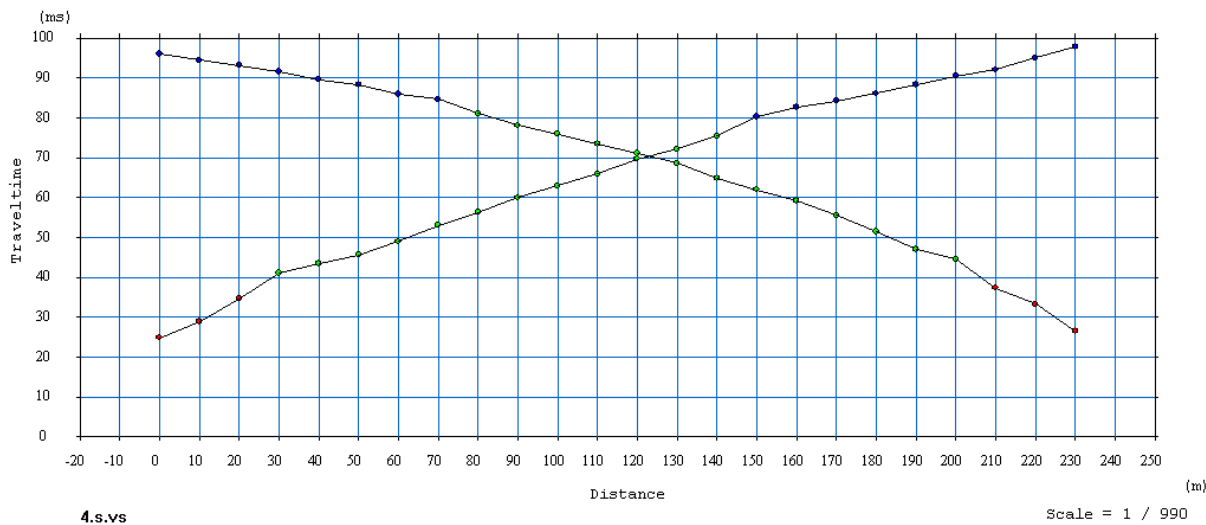
3s



4p



4s

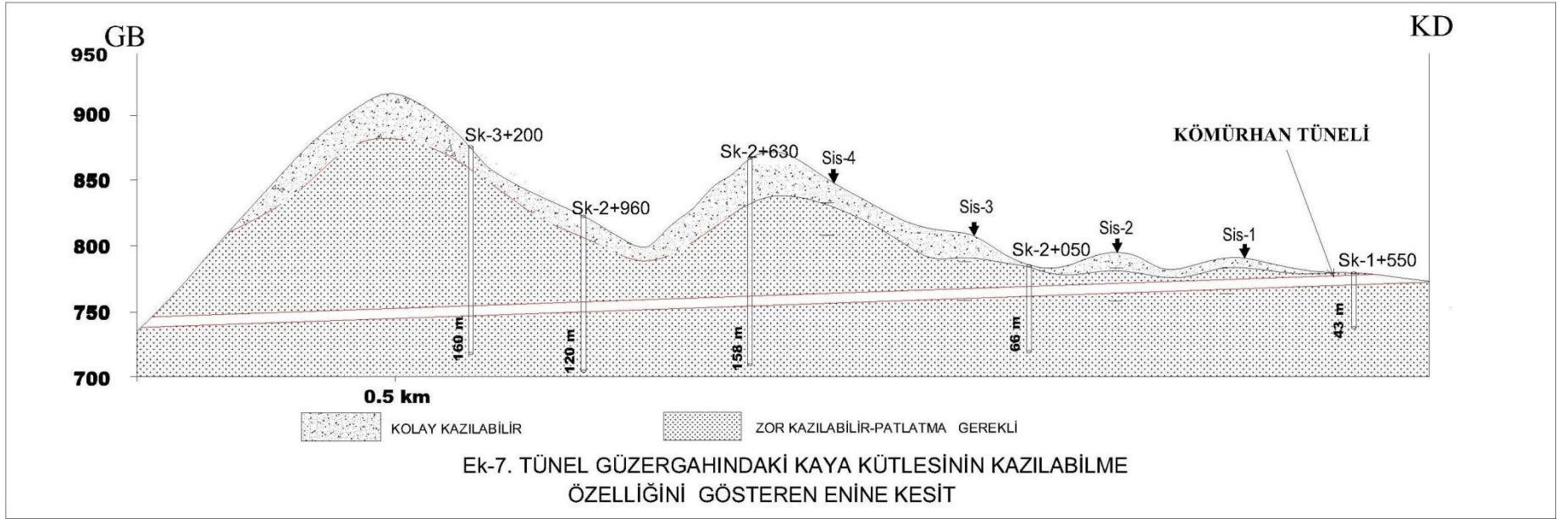


TÜNEL GÜZERGAHININ SİSMİK ENİNE KESİTİ

EK 6.

TÜNEL GÜZERGAHINDAKİ KAYA
KÜTLESİNİN KAZILABİLME
ÖZELLİĞİNİ GÖSTEREN ENİNE
KESİT

EK 7.



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2007 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nü 2011 yılında, 2009 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü de 2012 yılında tamamladı. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında ve 2012 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, Ulaştırma Bilim Dalında yüksek lisansına başladı ve halen devam etmektedir.