

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAĞITHANE PİYALEPAŞA TÜNELLERİ
MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Saffet Deniz KARAGÖZ

Anabilim Dalı : JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : UYGULAMALI JEOLojİ

OCAK 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAĞITHANE PİYALEPAŞA TÜNELLERİ
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ÇALIŞMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Saffet Deniz KARAGÖZ
(505051304)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. E. Vural YAVUZ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mahir VARDAR
Prof.Dr. Nuh BİLGİN**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Yeraltı kaya yapılarının yapım süreci öncesinde bölgenin ve güzergahın jeolojik ve mühendislik jeolojisi açısından ayrıntılı olarak incelenmesi büyük önem ve gereklilik taşımaktadır. Kaya ortamlarında imalatı gerçekleştiren yeraltı yapılarının yapım sürecinde karşılaşılabilecek sorunların tespitini mümkün kılan mühendislik jeolojisi çalışmaları bu anlamda zaman ve ekonomik kayıpları azaltarak başta ülke ekonomisine zarar verilmemesini ve şehiriçi ulaşım için büyük önem taşıyan bu tür yapıların en kısa zamanda kullanıma açılmasını mümkün kılmaktadır.

Lisans eğitimi dönemimde ve lisans tez çalışmasında kendisini tanıma ve kendisinden öğrenme fırsatı bulduğum, yüksek lisans döneminde çalışma ve bilim anlayışını örnek aldığım sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Vural YAVUZ'a teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimi boyunca ders alma fırsatı yakalamış olduğum sayın hocam ve dekanımız Prof. Dr. Mahir VARDAR ve kürsümüzün sayın hocalarına harcadıkları emek ve bizlere kazandırdıkları İTÜ Maden Fakültesi vizyonu ve çalışma disiplini için teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren babama, anneme ve her zaman yanımda olan sevgili nişanlım Melisa TABAK'a minnettarım.

Ayrıca, bana her türlü desteği sağlayan ve kendisini örnek aldığım sevgili ağabeyim ve iş arkadaşım Maden Yük. Mühendisi Bülent KOÇAK ve EMAY Uluslararası Mühendislik Müşavirlik ve Ticaret Ltd. Şti. yönetici ve çalışanlarına, ve ismini burada sayamadığım, çalışmamda emeği geçen dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2006

Saffet Deniz KARAGÖZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
1.2. Projenin Amacı	2
2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI	3
2.1. Coğrafi Konum ve Ulaşım	3
2.2. Morfolojik Yapı	3
2.3. İklim ve Bitki Örtüsü	3
3. GENEL JEOLojİ	5
3.1. Literatür Çalışmaları	5
3.2. Bölgesel Jeoloji	6
3.3. İnceleme Alanının Jeolojisi	9
3.4. Yapısal Jeoloji	9
3.5. Tektonizma	12
4. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ	14
4.1. Mekanik Sondajlar	14
4.2. Arazi Çalışmaları	22
4.3. Laboratuar Deneyleri	37
4.3.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	39
4.3.2. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	41
4.3.3. Nokta Yükleme Deneyi	43
4.3.4. Çekme Dayanımı Deneyi	43
4.3.5. Fiziksel Özelliklerin Tayini Deneyi	44
4.4. Depremsellik	51
4.5. Hidrojeoloji	51
4.6. Kaya Kalite Sınıflamaları	52

4.6.1. RQD	52
4.6.2. Q-Barton	53
4.6.3. RMR	58
4.6.4. Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri Kaya Kalite Sınıflamaları	60
4.7. Kağıthane-Piyalepaşa Tünellerinin Homojen Bölgelendirilmesi	63
4.8. Tünel Aynası Mühendislik Jeolojisi ve Tünel Düzeyi Haritası Çalışmaları	65
5. KAĞITHANE –PIYALEPAŞA TÜNELLERİNİN GEOTEKNİK DEĞERLENDİRMESİ	66
5.1. Kazı İşlemleri	66
5.2. Destek Sistemleri	67
5.2.1. Standart Tip Kesit	67
5.2.2. Geçiş Bölgesi Tip Kesiti	68
5.2.3. Portal Kesimi Tip Kesit	69
6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR	71
KAYNAKLAR	75
EKLER	78
ÖZGEÇMİŞ	114

KISALTMALAR

RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
KİSMAK	: Kiska-Makyol Adi Ortaklığı
KP-SK	: Kağıthane Piyalepaşa Sondaj Kuyusu
MJKM	: Mühendislik Jeolojisi Kaya Mekaniği
ISRM	: International Society for Rock Mechanics

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1	Güzergahtaki lokasyonlarda yapılan ölçümler..... 11
Tablo 4.1	Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları..... 40
Tablo 4.2	Üç eksenli basınç dayanımı deneylerinde elde edilen sonuçlar (* işaretli deneylerin sonuçları kayanın gerçek dayanımını yansıtmamaktadır.)..... 42
Tablo 4.3	Çekme dayanımı deneyi sonuçları 44
Tablo 4.4	Sondajlardan elde edilen numunelerin ortalama indeks özellikleri .. 47
Tablo 4.5	Deney sonuçlarından Mohr diyagramında elde edilen jeomekanik parametreler 48
Tablo 4.6	Deney sonuçlarının Rocklab Programından elde edilen in-situ değerleri 49
Tablo 4.7	RQD Sınıflamasına Göre Kaya Kalite Değerleri..... 52
Tablo 4.8	RMR Sınıflamasına Göre Kaya Kalite Değerleri..... 58
Tablo 4.9	RMR Sınıflamasında Derecelendirme 59
Tablo 4.10	RMR Sınıflamasında Eklem Yönelimine Göre Düzeltme 60
Tablo 4.11	RMR Sınıflamasında Tünelde Eklem ve Eğim Yönünün Etkisi..... 60
Tablo 4.12	Q-Barton ve RMR kaya kalite sınıflamaları 61
Tablo 4.13	RMR kaya kalite sınıflamaları 62
Tablo 4.14	Homojen bölgelerin özellikleri 64
Tablo C. 1.	Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları 106
Tablo C. 2.	Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarının devamı 107
Tablo C. 3.	Üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları 107
Tablo C. 4.	Üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarının devamı 108
Tablo C. 5.	Endirekt çekme deneyi sonuçları 108
Tablo C. 6.	Endirekt çekme deneyi sonuçlarının devamı 109
Tablo C. 7.	Karot örnekleri üzerinde yapılan çapsal nokta yükleme deneyleri sonuçları 109
Tablo C. 8.	Karot örnekleri üzerinde yapılan çapsal nokta yükleme deneyleri sonuçlarının devamı 110
Tablo C. 9.	Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahında yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri 110
Tablo C. 10.	Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahıda yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri..... 111
Tablo C. 11.	Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahında yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri..... 112
Tablo C. 12.	Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahında yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri..... 112

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : İnceleme alanına ait “Yer Bulduru” haritası (Google Earth)	4
Şekil 3.1 : Trakya Serisi’nin (Trakya Formasyonu’nun) Lito-stratigrafik dikme kesiti. Stratigrafi birimleri O.KAYA (1969–71) göre sıralanmıştır.	7
Şekil 3.2 : Piyalepaşa portal sahası KM 1+610’da, sol tüp ağzındaki eğimli antiklinal	10
Şekil 3.3 : Tünel Güzergahında Mostralardan ölçülen çatlak sistemlerinin Gül diyagramında yönelimi.	12
Şekil 4.1 : KP-SK 1 sondajının 7.50–24.50m’leri arası sondaj karotları	15
Şekil 4.2 : KP-SK 2 sondajı 2.50–23.30m’leri arası sondaj karotları.....	15
Şekil 4.3 : KP-SK 3 sondajı 17.00–22.00m’leri arası sondaj karotları.....	16
Şekil 4.4 : KP-SK 4 sondajı 25.40–29.30m’leri arası sondaj karotları.....	17
Şekil 4.5 : KP-SK 5 sondajı 51.7–56.70m’leri arası sondaj karotları.....	18
Şekil 4.6 : KP-SK 6 sondajı 15.20–19.50m’leri arası sondaj karotları.....	18
Şekil 4.7 : KP-SK 6/A sondajı 66.00–71.00m’leri arası sondaj karotları.....	19
Şekil 4.8 : KP-SK 7 sondajı 10.20–16.20m’leri arası sondaj karotları.....	20
Şekil 4.9 : KP-SK 8 sondajı 50.80–55.60 arası sondaj karotları	21
Şekil 4.10 : KP-SK 9 sondajı 10.80–18.10m’leri arası sondaj karotları.....	22
Şekil 4.11 : Lokasyon 1	23
Şekil 4.12 : Lokasyon 2	23
Şekil 4.13 : Lokasyon 3	24
Şekil 4.14 : Lokasyon 4	24
Şekil 4.15 : Lokasyon 5	25
Şekil 4.16 : Lokasyon 6	25
Şekil 4.17 : Lokasyon 7	26
Şekil 4.18 : Lokasyon 8	26
Şekil 4.19 : Lokasyon 9	27
Şekil 4.20 : Lokasyon 10	27
Şekil 4.21 : Lokasyon 11	28
Şekil 4.22 : Lokasyon 12	28
Şekil 4.23 : Km 0+300.00’da Kuvarsit Damarı (Tünel Eksenin Doğusunda).....	29
Şekil 4.24 : Km 0+300.00’da kuvarsit damarı.....	29
Şekil 4.25 : Km 0+300.00’da Ezilme Zonu ve Aşırı Ayırışma (Tünel Eksenin Doğusunda)	30
Şekil 4.26 : Lokasyon 13	30
Şekil 4.27 : Lokasyon 14	31
Şekil 4.28 : Lokasyon 15.	31
Şekil 4.29 : Lokasyon 16	32
Şekil 4.30 : Lokasyon 17	32
Şekil 4.31 : Lokasyon 18.	33

Şekil 4.32	: Lokasyon 19	33
Şekil 4.33	: Lokasyon 20	34
Şekil 4.34	: Lokasyon 21	34
Şekil 4.35	: Lokasyon 22	35
Şekil 4.36	: Lokasyon 23	35
Şekil 4.37	: Lokasyon 24.	36
Şekil 4.38	: Lokasyon 25.	36
Şekil 4.39	: Lokasyon 26	37
Şekil 4.40	: SK 3, Sn 3'te boyları ölçülmüş karotlar	38
Şekil 4.41	: Karotların kesilmesi	38
Şekil 4.42	: Karot içinden karot alımı.....	39
Şekil 4.43	: Numunelerin korun tozu ile parlatılması.....	39
Şekil 4.44	: Tek eksenli basınç dayanımı düzeneği	41
Şekil 4.45	: Üç eksenli basınç dayanımı deneyi düzeneği.....	41
Şekil 4.46	: Nokta yükleme deneyi.....	43
Şekil 4.47	: Çekme deneyi	43
Şekil 4.48	: 24 saat suda bekletilen numuneler.....	45
Şekil 4.49	: Etüve yerleştirilen numuneler	45
Şekil 4.50	: SK 3 (11-20m) RockLab Kaya Dayanım Analizi	50
Şekil 4.51	: İstanbul Deprem haritası	51
Şekil 5.1	: Kazı ilerleme kesiti.....	66
Şekil 5.2	: Tünel boy kesiti	67
Şekil 5.3	: Standart Tip Kesit.....	68
Şekil 5.4	: Geçiş Bölgesi Tip Kesit.....	69
Şekil 5.5	: Portal kesimi tip kesiti.....	70

SEMBOL LİSTESİ

σ_3	: Çevre Gerilmesi
σ_1	: Eksenel Gerilme
E	: Elastisite Modülü
ε	: Deformasyon
t	: Zaman
c	: Kohezyon
γ_k	: Kuru Birim Hacim Ağırlığı
γ_d	: Doygun Birim Hacim Ağırlığı
ν	: Birim Hacim Ağırlığı
W_k	: Kuru (katı) Kısımın Ağırlığı
W_d	: Suyu Doygun Ağırlığı
V_t	: Toplam Hacim
S_a	: Ağırlıkça Su Emme
J_r	: Çatlak Pürüzlülük Durumu
J_n	: Eklem Takımı Sayısı
J_a	: Çatlak Ayrışma Durumu
J_w	: Çatlak Suyu Durumu
SRF	: Gerilme Durumu

KAĞITHANE-PIYALEPAŞA TÜNELLERİNİN MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ ÇALIŞMASI

ÖZET

Yeraltı kaya yapılarının yapım süreci öncesinde bölgenin ve güzergahın jeolojik ve mühendislik jeolojisi açısından ayrıntılı olarak incelenmesi büyük önem ve gereklilik taşımaktadır. Kaya ortamlarında imalatı gerçekleştiren yeraltı yapılarının yapım sürecinde karşılaşılabilecek sorunların tespitini ve önlemlerinin hazırlanabilmesini önceden mümkün kılan mühendislik jeolojisi çalışmaları bu anlamda zaman ve ekonomik kayıpları azaltarak şehiriçi ulaşım için büyük önem taşıyan bu tür yapıların en kısa zamanda kullanıma açılmasını mümkün kılmaktadır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından KİSKA-MAKYOL (KİSMAK) Adi Ortaklığı'na inşa ettirilen Kağıthane-Piyalepaşa tünellerinin kullanıma açılması ile artan İstanbul trafiğini rahatlatmak ve mümkün mertebede ulaşımı yeraltına taşıyarak İstanbul'un karayolu trafiğini hafifletmek amaçlanmıştır.

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, uygulamalı jeoloji yüksek lisans programı kapsamında gerçekleştirilen bu tez çalışmasının amacı, başta tüneller olmak üzere, yeraltı kaya yapılarının projelendirilmesi sırasında büyük önem taşıyan mühendislik jeolojisi çalışmalarının irdelenmesi ve bu çalışmaların Kağıthane-Piyalepaşa tüneline uygulanmasıdır. Tez çalışmasında, yukarıda adı geçen bölge, genel jeoloji, stratigrafi ve tektonizma açısından ayrıntılı olarak incelenerek, Kağıthane-Piyalepaşa tünelleri güzergahı mühendislik jeolojisi perspektifinden ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Gerçekleştirilen tüm mühendislik jeolojisi çalışmalarının derlenmesi ile tünel güzergahı kaya kaliteleri bakımından sınıflandırılmıştır. Sahada yapılan tüm jeolojik çalışmalar, ve laboratuvar çalışmalarından sağlanan veriler derlenmiş, ilişkilendirilmiş ve Kağıthane-Piyalepaşa tünellerinin güzergahının 4 ana grupta sınıflandırılabilceği belirlenmiştir. Çalışmalar kazı aşamasında tutulan ayna mühendislik jeolojisi haritalarından hazırlanan tünel düzeyi mühendislik jeolojisi haritaları ile karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları gözlenmiştir.

THE ENGINEERING GEOLOGY STUDY OF THE KAĞITHANE- PİYALEPAŞA TUNNELS

SUMMARY

Detailed examination of the area and route prior to the construction stage from the consideration of geology and engineering geology is of paramount importance and necessity. Engineering geology studies which enable the predetermination of problem possibly to be encountered during the construction of underground structures in rock environment, while minimizing the losses in time and economy will thus make it possible for such type of structures to put into service in the shorter possible time.

The construction of Kağıthane-Piyalepaşa Tunnels within the scope of the contract awarded to KİSKA-MAKYOL(KİSMAK) unincorporated joint venture by Istanbul Greater Municipality, will relieving Istanbul traffic contribute to and alleviate Istanbul highway traffic by diversion of transportation towards the underground as much as possible.

The aim of this thesis which is within the framework of ITU Institute of Science and Technology, Applied Geology Postgraduate program the afore mentioned area has been examined in detailed with respect to general geology, stratigraphy and tectonics and Kağıthane-Piyalepaşa tunnel route has been studied from the perspective of engineering geology. Tunnel route has been classified with respect to rock quality with compiling all of engineering geology studies. Data which are supplied from area and laboratory studies, has been compiled, has been connected and has been determined that the Kağıthane-Piyalepaşa tunnels route can be classified. A comparison of the study with tunnel level engineering geology maps prepared from mirror plane engineering geology maps during tunnel excavation recorded and their harmonious has benn watched.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından KİSKA-MAKYOL (KİSMAK) Adı Ortaklığı'na inşa ettirilen Kağıthane-Piyalepaşa tünellerinin kullanıma açılması ile artan İstanbul trafiğini rahatlatmak ve mümkün mertebede ulaşımı yeraltına taşıyarak İstanbul'un karayolu trafiğini hafifletmek amaçlanmıştır.

İTÜ Fenbilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Yüksek Lisans Programı çerçevesinde gerçekleştirilen tez çalışmasında, yukarıda adı geçen bölge, genel jeoloji, stratigrafi ve tektonizma açısından ayrıntılı olarak incelenerek, Kağıthane-Piyalepaşa tünelleri güzergahı mühendislik jeolojisi perspektifinden ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Çalışmalar kapsamında, arazide, yüzeylenen mostralarda litolojik sınıflama yapılmış, tabakaların ve çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri ölçülerek, yapısal unsurlar incelenmiş ve bu veriler 1/1.000 ölçekli “Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri Genel Jeoloji” paftasında (EK D) sunulmuştur. Ayrıca tünel güzergahında yapılan 10 adet mekanik sondajın arazide ayrıntılı sondaj logları hazırlanmış, sondajlardan elde edilen karotlar, İTÜ MJKM laboratuvarlarında mekanik ve indeks özellikleri deneylerine tabi tutularak, sonuçları yorumlanmıştır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar, stabilite analizlerinde doğrudan kullanılamayacağı için bu tür çalışmalara altık oluşturabilecek yerinde (in-situ) kaya dayanımları RocLab adlı yazılım kullanılarak hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen tüm mühendislik jeolojisi çalışmalarının derlenmesi ile tünel güzergahı kaya kaliteleri bakımından sınıflandırılmıştır. Kaya kalite sınıflamaları kapsamında mekanik sondajlarda ölçülen RQD değerleri kullanılmış, Barton-Q ve Bieniawski-RMR sınıflamaları yapılmıştır. Tünel için yapılan bölgelendirme çalışmaları, mühendislik jeolojisi araştırmalarının sonuçlandırılmasını sağlamıştır. Yukarıda özetlenen mühendislik jeolojisi çalışmaları 1/1000 ölçekli Kağıthane-Piyalepaşa Tünellerinin jeolojik boy kesitlerinin altında sunulmuştur (EK

E1 ve EK E2). Ayrıca, tünel içerisinde alınan mühendislik jeolojisi ayna haritaları kullanarak Km 0+360.90-0+499.50 arası 1/100 lekli “Tünel Düzeyi Mühendislik Jeolojisi Haritası” (EK F) izilmiş, tünel güzergahı boyunca gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi n etüd alışmaları Km 0+360.90-0+499.50 arasında kontrol edilmiş ve Kağıthane-Piyalepaşa Tünellerinde uygulanan tünel kazı ve destekleme işlemleri özetlenmiştir.

1.2 Projenin Amacı

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından KİSKA-MAKYOL Adi Ortaklığı’na (KİSMAK) inşa ettirilen Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri “Yedi Tepe Yedi Tünel” Projesinin ilk ayağı olup, 9 m çaplı karayolu tünelleridir. Sağ tp (1+744.563) gidiş, sol tp (1+730.756) geliş, toplam 3475.3 m olan tüneller Kağıthane ilçesinden başlayarak Piyalepaşa Feriköy spor tesislerinde son bulmaktadır. Tünellerin derinliği Okmeydanı Kavşağı’nda (KM 1+000–1+060) 67 m ile en fazla, ztoprak Mahallesi’nde (KM 1+580–1+600) ise 14 m ile projenin en sığ yerini teşkil etmekte ve iki tp arası mesafe ise 15.5 m’yi bulmaktadır. Tüneller, İstanbul geneline bakıldığında, en yoğun yerleşim yerlerinden olan Kağıthane İlçesi ve şişli Okmeydanı mevkiinin altından geçmektedirler. Tünellerin kullanıma açılması ile İstanbul şehir içi trafiği büyük ölçüde rahatlayacak ve karayolu ulaşımı olabildiğince yeraltına taşınacaktır.

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

2.1 Coğrafi Konum ve Ulaşım

Proje alanı, Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri olup, İstanbul İli, Kağıthane İlçesi, merkezi yerleşim alanının altından geçmektedir. Tünellerin giriş portalı Kağıthane Örnektepe Mevkii'nde Kağıthane Viyadüğünün 250 m GB'sında Çamlık Sokak'ta bulunmaktadır. Çıkış Portalı ise Piyalepaşa Bulvarı üzerinde Feriköy Spor tesislerinin 5 m KB'sında dır.

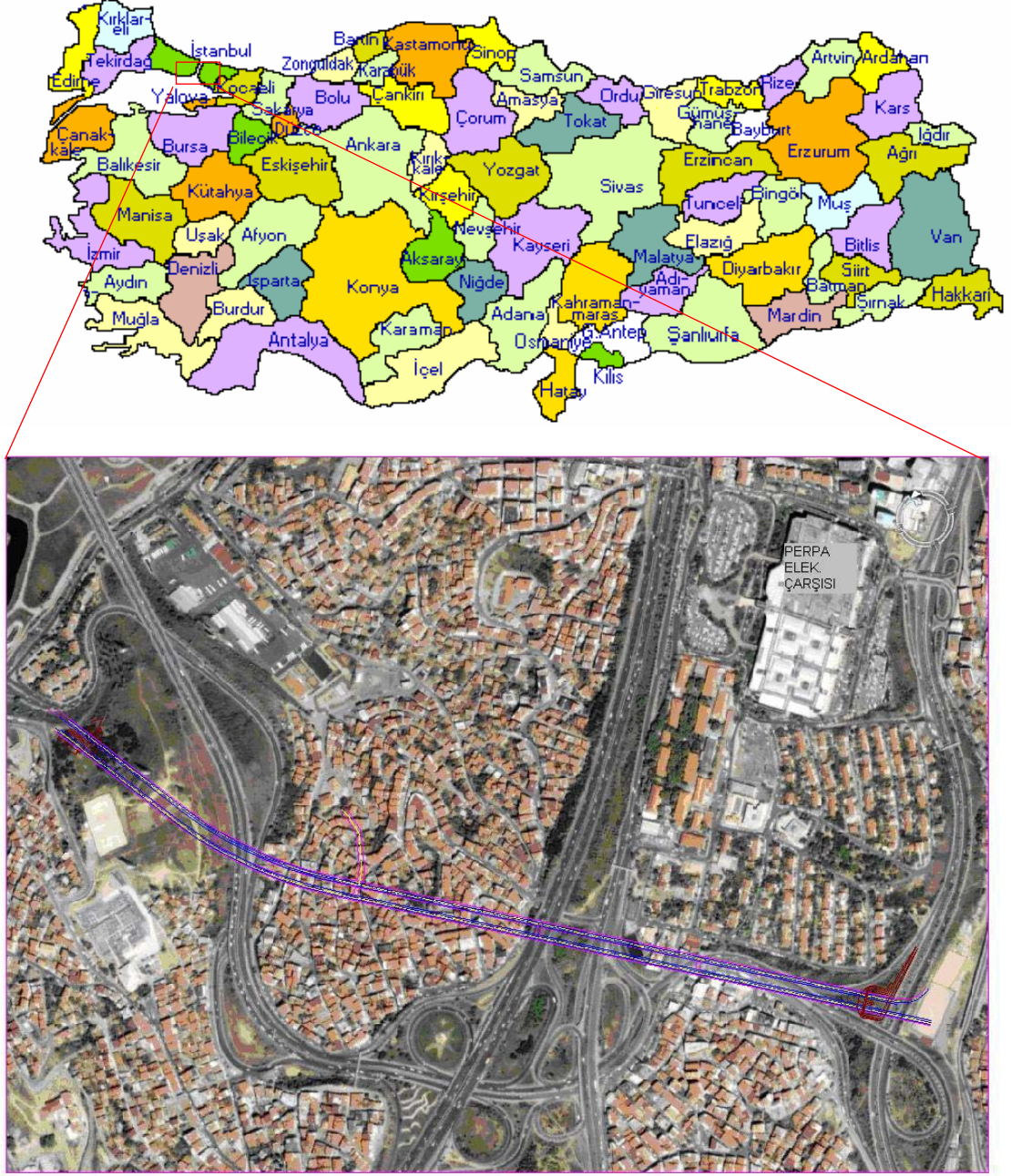
Tünel giriş ve çıkış şantiyelerine şehir içi ulaşım yolları ile ulaşılabilir.

2.2 Morfolojik Yapı

İstanbul Kağıthane İlçesinden Kasımpaşa Piyalepaşa Mevkisine uzanan sağ tüp 1+744.565 m, sol tüp 1+730.756 m uzunluğunda olan Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri morfolojik açıdan orta engebeli bir arazi profilinden geçmektedir.

2.3 İklim ve Bitki Örtüsü

İstanbul'da genel olarak Akdeniz iklim koşulları gözlenir. Bu iklim, kıyı bölgelerle iç kesimlerde biraz ayrılıklar gösterir. Bilindiği gibi, Akdeniz ikliminde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. İstanbul iklimi ise, bir yandan Karadeniz'in bir yandan Balkanlar ve Anadolu kara ikliminin etkisiyle meydana gelmiş özel bir durum arz eder. Araştırma bölgesinin iklim koşullarına genel olarak bakıldığında; en yakın istasyon olan Sarıyer'den alınan verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 13.6 °C, yıllık ortalama yağış 789 mm, hakim rüzgar yönü ve ortalama hızı, kuzeydoğu 6.6 m/s dir. Proje alanının büyük bölümü, bitki örtüsü açısından yerleşim alanı olmasından dolayı fakirdir. Yer yer az sayıda ağaç toplulukları bulunmaktadır.



Şekil 2.1: İnceleme alanına ait “Yer Bulduru” haritası (Google Earth)

3. GENEL JEOLJİ

3.1 Literatür Çalışmaları

Tchihatcheff (1864), ilk kez trakya formasyonu ile ilgili olarak fosilsiz şeyl ve kumtaşı ayırtlanması kullanmış ve birimin devoniyen yaşında olduğunu söylemiştir.

Penck (1919), “Thrazische Serie” olarak adlandırdığı birimin, Pendik ve Boğaziçi’nde görülen fosilli seviyelerin karasal karşılığı olduğunu belirterek devoniyen yaşlı olduğundan bahsetmiştir.

Paeckelmann (1938), birimin denizel kökenli ve Karadeniz kıyısındaki “Nierenkalk-Kieselschiefer Serie” nin karşılığı olduğunu vurgulayarak birimin alt-orta devoniyen ile başladığını ve üst devoniyene ait seviyelere geçtiğini belirtmektedir.

Altınlı (1951), sözü edilen çökelleri “Mutavassıt Fasiyes” adı altında alt devoniyenin en üst seviyelerine dahil edilmiştir.

Yalçınlar (1951), Cebeciköy kireçtaşının vizeen yaşında olduğunu belirterek trakya serisinin karbonifer yaşında olabileceğini önermiş ve daha sonraki çalışmada birimin karasal birikme sonucu olduğunu öne sürmüştür.

Baykal ve Kaya (1963) ve Abdüsselamoğlu (1963), yapmış oldukları çalışmada birimin vizeen - karbonifer yaşında olduğunu belirtmişlerdir.

Kaya ve Baykal (1966), Eski literatürde devonien’e konulan “Trakya Serisi” ve radyolarit birimi, bu çalışmada karbonifere ithal edilmiştir.

Kaya (1971), Trakya formasyonu acıbadem üyesi, heybeliada kireçtaşı, küçükköy üyesi, çamurluhan üyesi, cebeciköy kireçtaşı birimlerini ayırtlayan yazar, kendi bulduğu lepidostropus brownii schimper., eleutherophyllum mirable stur., lepidodendron losseni weiss., suplepidodendron fasciatum jong., stigmariacf.

abnormis gibi fosiller, dictyodora gibi fosil izleri ve Mamet (1971) tarafından bulunan fosillere de dayanarak birimin vizeen yaşımda olduğunu belirtmiştir.

Önalın (1981), yapmış olduğu çalışmada kendisinden önceki araştırmacıların bulguları ışığında birimin alt karbonifer (Vizeen) yaşımda olduğunun ispatlandığını belirtmiştir.

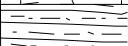
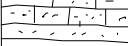
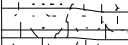
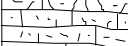
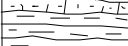
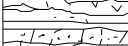
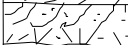
Ketin ve Güner (1989), İstanbul paleozoyik arazisinin üst birimini oluşturan karbonifer yaşlı trakya formasyonu genellikle kumtaşı, grovak, silttaşı, kiltarı ve şeylerden oluşmakta ve bu kırıntılı sediment istifine yer yer andezit veya diyabaz türünden damarlar veya siler sokulmuş olduğunu belirtmişlerdir. Yaklaşık 2000 m kalınlıktaki bu tortul istifin, ileri derecede tektonik deformasyona uğramış şiddetle kıvrılmış, devrilmiş, ezilmiş ve çok sayıdaki çatlak yüzeyleri ve kayma düzlemleri ile kırılmış, parçalanmış, dilim dilim olmuş, formasyonda çok yönlü bir kırılma ve kayma sisteminin gelişmiş olduğunu belirtmişlerdir.

Seymen (1995), Trakya formasyonu, bol serisit pulcukları içeren grovak-şeyl ardalanmasından oluştuğunu belirtmiştir.

3.2 Bölgesel Jeoloji

Bu bölümde, bölgede yayılım gösteren birimlerin litolojileri, dokanak ilişkileri, stratigrafik ve petrografik özellikleri anlatılmıştır. Birimlere ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit şekil 3.1.'de sunulmuştur.

Trakya formasyonu, İstanbul Paleozoyiğinin üst birimini oluşturmakta ve genellikle İstanbul boğazının batı yakasında (Trakya'da) yer almaktadır. Fliş ve Molas niteliğindeki Trakya formasyonu önce Hersiniyen orojenez döneminde ve daha sonra Alpin dönemde yoğun deformasyona uğramış, kıvrılmış, kırılmış, farklı doğrultularda çatlak sistemleri ve kayma düzlemleri ile parçalanmıştır (Kaya, 1971).

YAŞ	LİTOLOJİ	O.KAYA 1969-1971'e göre Formasyon ayrımı	
TRAKYA FORMASYONU (YAKLAŞIK 2500m) (+2000m)		Diyabaz 125m	GÜMÜŞDERE FORMASYONU
		Şeyl, komur, grovak, Konglomera, Kumtaşı, çört, _	Kartaltepe Tabakaları
		Radio larit	
		Kireçtaşı Dolomit Çört	CEBECİKÖY KIREÇTAŞI
		Kireçli şeyl	
		Kiltası-Çamurtaşı	ÇAMURLUHAN TABAKALARI
		Şeyl	
		Diyabaz	
		Türbidit Kumtaşı	
		Kuvarslı Konglomera	
TRAKYA FORMASYONU		Grovak iri kumtaşı	KÜÇÜKKÖY TABAKALARI
		Kiltası Çamurtaşı	
		Şeyl, Andezit	
		Silttaşı	
		Kumtaşı	ACIBADEM TABAKALARI
		Türbidit	
		Kireçli Grovak	
		Andezit	
		Kiltası Çamutasi	
		Kireçli şeyl	
ÜST DEVONİYEN		Fosfat yu mrulu	BALTALIMANI FORMASYONU
		Çört-Radiolarit	
		Bademli-yu mrulu Kireçtaşı	BÜYÜKADA FORMASYONU

Şekil 3.1: Trakya Serisi'nin (Trakya Formasyonu'nun) Lito-stratigrafik dikme kesiti. Stratigrafi birimleri O.KAYA (1969–71) göre sıralanmıştır.

Dikme kesitte (Şekil 3.1) görüldüğü gibi, Trakya serisinin Alt Karbonifer yaşlı kesimi fosfat yumruları içeren çört (radyolarit) tabakaları ile başlamakta, bunun üzerine ardalanmalı olarak sıralanmış şeyl, kıltaşı, kumtaşı, grovak, türbiditik kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı gibi klastik bir istif gelmekte ve bu istif dar anlamda asıl “Trakya Formasyonu”nu oluşturmaktadır. Yaklaşık 2000 m kalınlığındaki bu klastik seri üzerinde, yer yer onunla yanal geçişli olarak, “Cebeciköy Kireçtaşı” birimi yer almakta, bunun da üzerine çört-radyolarit, kumtaşı, şeyl, grovak ve diyabaz yatağından oluşan “Gümüşdere Formasyonu” gelmektedir (Şekil 3.1). Trakya formasyonunu meydana getiren çeşitli tortul kayaç tabakalarının kalınlıkları genel olarak 5 cm ile 50 cm arasında değişmekte, bazı kısımlarında ise özellikle kumtaşlarında tabaka kalınlığı 50-100 cm yi bulmaktadır. Ayrıca, bu tortul istif üzerine yer yer andezit ve diyabaz damarları ve silleri de sokulmuştur (**Ketin ve Güner, 1989**).

Trakya formasyonu, bol serizit pulcukları içeren grovak-şeyl ardalanmasından oluşur. Ortama kırıntılı getirimin artması, Trakya formasyonunun türbiditik, karışık kumtaşı-şeyl çökelimine neden olmuştur. Kırıntı gelişimin durduğu dönemlerde liditli aradüzeyler, yada lidit çökelimine eşlik eden karbonatlı kırıntı getirimiyle de çörtlü kireçtaşı aradüzeyi oluşmuştur (**Abdüsselamoğlu, 1977 ve Ketin, 1983**). Kalınlığı bir-iki bin metreden daha fazla olduğu sanılan Trakya formasyonunun yaşı Vizeen’dir (**Ketin, 1983**). Bu özelliklerinden formasyonun, kıta yamacı ve eteğinde çökeldiği ve Paleozoyik sedimantasyonunun bu formasyon ile sona ermesinden de regresif geliştiği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, Ordovisiyen-erken Vizeen zaman aralığında transgresif gelişen sedimantasyonun erken Karbonifer’de Trakya formasyonu çökmesi sürecinde regresif olarak sona erdiği görülmektedir. **Öztunalı ve Satır (1975)** ve **Yılmaz (1977)**, Trakya formasyonunun ve diğer paleozoyik birimlerin Triyas yaşlı konglomeralar tarafından açılı uyumsuzluk ile örtülmesi ve bir magmatik yay gelişimini belgeleyen kalk-alkali bileşimli derinlik ve sığ sokulum kayaçları tarafından kesilmesinin, Trakya formasyonunun fliş fasiyesinde geliştiğinin göstergeleri olduğunu savunmaktadırlar (**Seymen, 1995**).

3.3 İnceleme Alanının Jeolojisi

Tünel güzergahı; Şişli İli, Kağıthane İlçesi'nde olup, büyük bölümünün yerleşim alanı olması, az sayıdaki mostranın da ayrıışmış olmalarına rağmen, tünel güzergahındaki mostraların, mekanik sondajların ve tünel portal aynalarındaki incelemelerin ışığında, proje sahasında Trakya Formasyonu Küçükköy tabakaları'nın hakim olduğu tespit edilmiştir. Trakya Formasyonu-Küçükköy tabakaları (Şekil 3.1) alttan üste doğru türbidit, kumtaşı, silttaşı, şeyl, kiltası çamurtaşı, grovak, iri kumtaşı tabakalarından oluşmaktadır. Güzergahta incelenen Grovak, kumtaşı-silttaşı ardalanması ve silttaşı birimleri, boy kesitlerde, mekanik sondajlardan elde edilen veriler ile korele edilmiştir (EK E1, EK E2). Güzergahta gözlenen Grovak tabakaları genelde masif görünümlü, yüzeyde ayrışma nedeni ile yeşilimsi gri renkli, taze yüzeylerinde ise açık gri renklidirler. Çatlak aralıkları nadiren 6 mm'yi geçen grovak tabakaları yer yer çok çatlaklı ve kırıklı yapılar sergilemektedirler. Çatlak yüzeyleri düz-düzlemsel olan grovak biriminin çatlak dolgusu kalsit, yer yer killi dolgu ve nadiren kuvarsittir. Benzer özellikleri yansıtan kumtaşı-silttaşı ardalanmasında laminalı bir yapı gözlenmektedir. Silttaşı biriminin ayrıışmış rengi yeşilimsi gri, taze rengi ise koyu gri dir. Laminalı ve az çatlaklı-kırıklı bir yapı sergileyen silttaşlarının, çatlak aralıkları 6mm'den küçük, kalsit dolgulu, çatlak yüzeyleri düz-düzlemsel ve yer yer sürtünme izli-düzlemsel dir. Birimlerin tabaka kalınlıkları genel olarak 1-50 cm arasında değişmekte ve Grovak tabakalarının kalınlığı yer yer 50-100 cm arasında değişmektedir. Birimlerin tabakaları, bölgenin tektonizmasının etkisinde aşırı kırıklı-çatlaklı, faylı ve kıvrımlı bir yapı sergilemektedir. Ayrıca bu tabakaları diyabaz sokulumları ile kesilmiştir.

3.4 Yapısal Jeoloji

Çalışma alanının büyük kısmının yerleşim alanı olması sonucunda yüzeyde bölgenin yapısal jeolojisini sergileyecek oranda fay ve kırık gözlenememiştir. Ancak mekanik sondajlar, portal sahaları ve güzergahtaki arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler ışığında jeolojik boy kesitlerde bölgenin aşırı faylı-kırıklı bir yapıya sahip olduğu tespit edilebilmiştir. Bölge, Hersiniyen orojenez döneminde (300–250 milyon yıl öncesinde), yaklaşık doğu-batı yönlerinden etkili olan basınç sistemleri sonucu kıvrılan birimler, alpin orojenez döneminde (yaklaşık 100 milyon yıl öncesinde) bu

kez yaklaşık kuzey-güney yönlü basınçların etkisi ile farklı doğrultularda yeniden kırılmış, falyanmış, bindirmeli-naplı bir yapı kazanmıştır. Bu orojenez dönemlerinde, farklı doğrultularda kuvvetlerin etkisi sonucunda kuzey-güney yönünde çekme kuvvetlerine maruz kalmış ve normal faylar ile dilimlenmiştir. Jeolojik boy kesitlerde, arazi çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin korelasyonu ile, 5 adet normal fay (0+210, 0+570, 1+220, 1+310, 1+670'de) tespit edilmiştir. Bu faylar, Grovak ve Silttaş birimlerinin sınırlarını da oluşturmaktadır. Ayrıca, Kağıthane portal sahasında tespit edilen KD-GB yönelimli yanal atımlı fay, sağ ve sol tüpleri (EK E1, EK E2) 0+200–0+250 kilometreleri arasında kesmektedir. Tünel güzergahında, saha çalışmalarında elde edilen tabaka doğrultu ve eğim açılarının çalışılması sonucunda 7 adet kıvrım tespit edilmiştir. Bu kıvrımlar, KM 0+560'ta kıvrım eksen düzlemi eğimli antiklinal, KM 0+810'da kıvrım eksen düzlemi eğimli, dalımlı senklinal, KM 0+910'da kıvrım eksen düzlemi eğimli, dalımlı antiklinal, KM 0+960'ta kıvrım eksen düzlemi eğimli, dalımlı senklinal, KM 1+470'te kıvrım eksen düzlemi eğimli, dalımlı antkilinal, KM 1+570'te kıvrım eksen düzlemi eğimli, az dalımlı senklinal ve KM 1+610'da kıvrım eksen düzlemi eğimli, az dalımlı antiklinal dir.



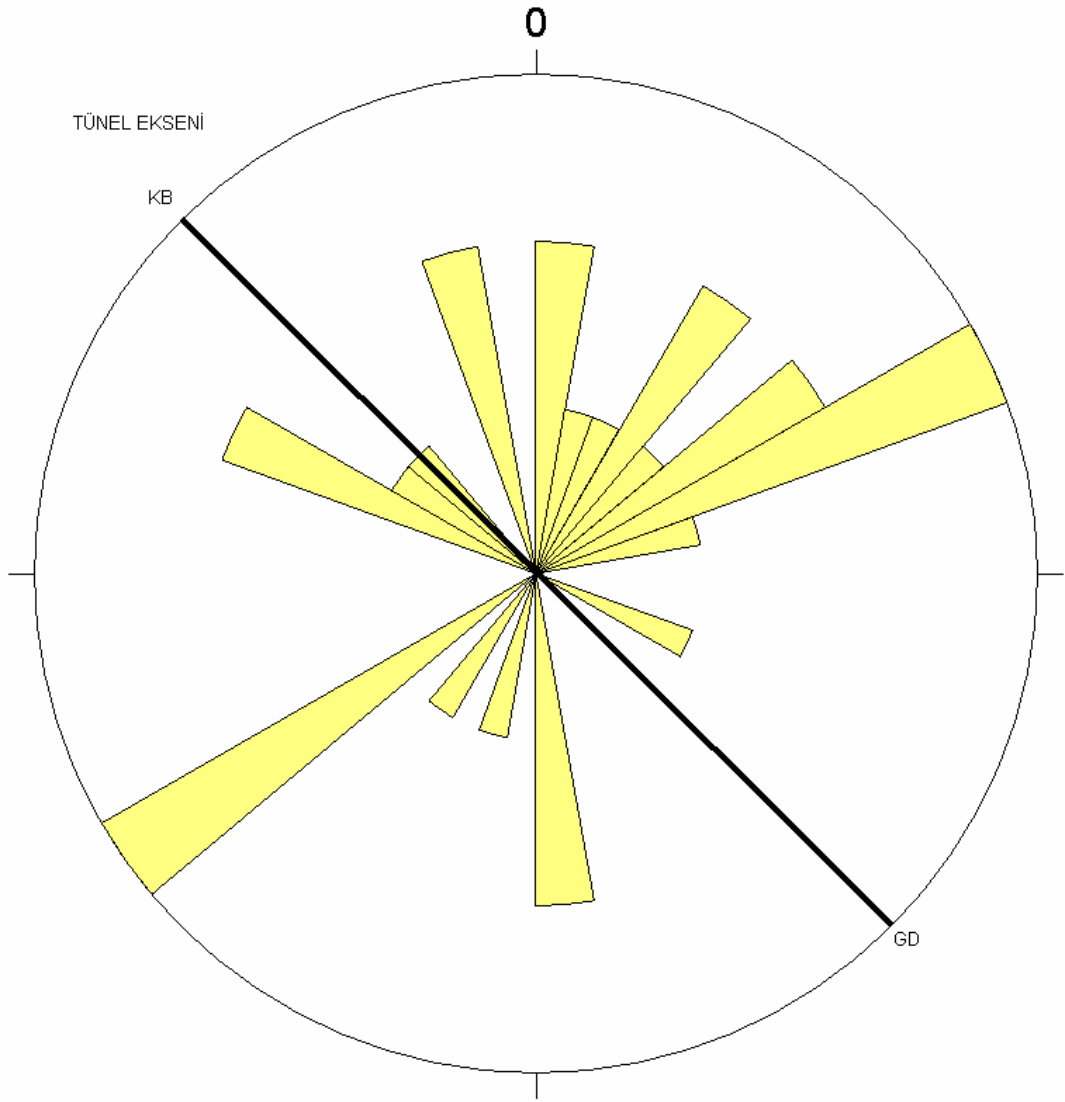
Şekil 3.2: Piyalepaşa portal sahası KM 1+610'da, sol tüp ağzındaki eğimli antiklinal

Çalışma sahasının yerleşim yeri olmasından dolayı tünel güzergahını temsil edecek sayıda mostra bulunamamış ve istenilen oranda çatlak ölçümü yapılamamıştır. Arazi çalışmalarında gerçekleştirilen çatlak ölçümleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Güzergahtaki lokasyonlarda yapılan ölçümler

Lokasyon No	Çatlak Sistemleri		Tabaka (Doğrultu/Eğim Açısı)
L. 1	K40B, 60KD	DB, 25K	K70D, 43GD
L. 2			K35B, 30GB
L. 3			K50D, 70KB
L. 4	K55B, 85KD	K28D, 55KB	K40D, 52GD
L. 5	K21B, 71KD	K66B, 79KD	K52D, 39KB
L. 6			K72D, 64GD
L. 7	K85D, 80GD		K73D, 45GD
L. 8			K50D, 66GD
L. 9	K25B, 49KD	K72B, 87GB	K48D, 60KB
L.10	K55B, 41GB	K20B, 68KD	K54D, 53KB
L.11			K50D, 68KB
L.12	K29B, 21KD	K30D, 37KB	K48D, 77KB
L.13	K25D, 66GD	K60B, 70KD	K30D, 45KB
L.14	K83B, 45KD		K20B, 65GB
L.15	K40B, 80GB		K40D, 82GD
L.16			K60D, 85KB
L.17			K10D, 43KB
L.18	K75D, 38KD	K37B, 88GB	K57D, 56GD
L.19	K35B, 82KD	K22D, 61KB	K45D, 45GD
L.20	K80B, 70GD	K40D, 76KB	K80D, 52GD
L.21			K70B, 45KD
L.22	K40B, 65GB	K70D, 35KB	K32D, 80GD
L.23			
L.24			K67D,75GD
L.25			K30D, 80GD
L.26	K80D, 72GD	K50B, 45KD	K4D, 51GD

Şekil 3.3'te çatlak sistemlerinin gül diyagramında tünel eksenine ile olan ilişkisi gösterilmiştir. Burada çatlak sistemleri yönelimlerinin KB ve KD, eğim yönlerinin ise KD-GB yönlerinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 3.3: Tünel Güzergahında mostralardan ölçülen çatlak sistemlerinin Gül diyagramında yönelimi.

3.5 Tektonizma

Fliş ve molas niteliğindeki Trakya Formasyonu önce Hersiniyen orojenez döneminde ve daha sonra Alpin dönemde şiddetle deforme olmuş, kıvrılmış, kırılmış, farklı doğrultularda çatlak sistemleri ve kayma düzlemleri ile parçalanmıştır (**Ketin ve Güner, 1989**).

Farklı doğrultularda iki kez tektonik deformasyon geçirmiş bulunması, bunlardan Hersiniyen orojenez döneminde (300–250 milyon yıl öncesinde), yaklaşık doğu-batı yönlü sıkışma etkisi ile kıvrılmış, devrilmiş, çok sayıda çatlak yüzeyleri ve kayma

düzlemleri ile kırılmış, parçalanmış ve dilimlenmiş olması; Alpin orojenez döneminde ise (yaklaşık 100 milyon yıl öncesinde) bu kez yaklaşık kuzey-güney yönlü basınçların etkisi ile farklı doğrultularda yeniden kırılmış, falyanmış, bindirmeli-naplı bir yapı kazanmıştır. Böylece formasyonu oluşturan kayaç topluluğunda çok yönlü bir kırılma ve kayma sistemi gelişmesidir. Böyle bir sistemin meydana gelmesinde etken olabilecek diğer bir faktör ise belki de **Şengör (1984)**'ün belirttiği gibi, Trakya formasyonu'nun İstanbul napının bir parçası olarak allokton bir kütle durumunda bulunmasıdır (**Ketin ve Güner, 1989**).

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Mühendislik Jeolojisi çalışmaları kapsamında arazide 10 adet mekanik sondaj yapılmış ve loglanmıştır. Ayrıca güzergahta 26 ayrı lokasyonda yüzeyleyen mostralarda mühendislik jeolojisi çalışması gerçekleştirilmiştir. Sondajlardan elde edilen karotlar üzerinde İTÜ MJKM laboratuvarlarında mekanik ve indeks özellikleri deneyleri yapılarak birimlerin jeomekanik parametreleri tespit edilmiştir. Hesaplanan jeomekanik parametreler RockLab 1.0 programı ile araziye uyarlanmıştır. Mühendislik jeolojisi çalışmalarının derlenmesi ile tünel güzergahı kaya kaliteleri bakımından sınıflandırılmıştır. Kaya kalite sınıflamaları kapsamında mekanik sondajlarda ölçülen RQD değerleri kullanılmış, Barton-Q ve Bieniawski-RMR sınıflamaları yapılmıştır. Tünel için yapılan bölgeleme çalışmaları, mühendislik jeolojisi araştırmaları sonuçlandırılmıştır.

4.1 Mekanik Sondajlar

KP-SK 1, Piyalepaşa portal sahasının 120 m GD'sunda Feriköy Spor Kulübü toprak sahasının yanında yapılmıştır. Ağız kotu 42.08 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 12 m seviyesindedir. Yaklaşık olarak 15 m bitkisel toprak, kaya, tuğla ve beton parçacıklarından oluşan dolgu ile başlayan sondajda, takiben kahverengi, yeşilimsi gri renkli, aşırı kırıklı-çatlaklı, orta derecede ayrılmış, Grovak birimi kesilmiştir. Çatlak dolgusu kalsit ve kil olan bu sondajda, killi çatlak aralığı 1–5 cm aralığında iken, kalsit dolgulu süreksizliklerin aralığı 1–3 mm arasında değişmektedir. Çatlak yüzeyleri düz-düzlemsel olan sondajda, karot eksenine 45-50° açılar yapan çatlaklarla birlikte karot eksenine paralel çatlaklarda görünmektedir.



Şekil 4.1: KP-SK 1 sondajının 7.50–24.50 m’leri arası sondaj karotları

KP-SK 2, Piyalepaşa Bulvarı yol yarmasının altında, Km 1+695’de sağ tüp ekseninde yapılmıştır. Ağız kotu 48.00 m olan bu sondajda yeraltı su seviyesi 7.80 m’de dir.Yaklaşık olarak 50 cm bitkisel toprak ile başlayan ve takibinde 4.00 m’ye kadar düzensiz dolgu ile devam eden sondajda, 4.00-23.30 m’leri arasında yeşilimsi gri renkte, aşırı kırıklı ve çatlaklı, orta derecede ayrılmış, Grovak birimi kesilmiştir. Çatlak dolgusu kalsit olan sondajda, çatlak aralığı 1-3 mm arasındadır. Çatlak yüzeyleri düz-düzlemsel ve karot eksenine paralel, yer yer karot eksenine ile 45-50° açılar yapan çatlaklar gözlenmiştir.



Şekil 4.2: KP-SK 2 sondajı 2.50–23.30 m’leri arası sondaj karotları

KP-SK 3, Piyalepaşa portal sahası içerisinde, Km 0+628’de, sağ tüp ekseninden yapılmıştır. Ağız kotu 55 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 13 m seviyesindedir. 1.50 m siltli kumu takiben, 1.50–18.00 m’leri arası kahverengi-yeşilimsi, gri renkte, çok çatlaklı ve kırıklı, az ayrıışmış, Grovak birimi kesilmiştir. 18.00–23.00 m’leri arasında yeşilimsi renkte, dayanımlı, az çatlaklı ve kırıklı, ayrıışmış diyabaz sokulmu geçilmiş ve takiben 23.00–26.10 m’leri arasında yeşilimsi gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, az ayrıışmış, Grovak birimi kesilmiştir. 26.10–30.00 m’leri arasında siyah-ımsı gri renkli, çok çatlaklı ve kırıklı, az ayrıışmış Silttaşı birimi kesilmiştir. Sondaj genelinde çatlak dolgusu kalsit olan birimde çatlak aralığı 1-3 mm arasındadır. Çatlak yüzeyleri düz-düzlemseldir. Karot eksenine paralel olan bu süreksizlikler zaman zaman karot eksenine ile 45-50° açılar yapmaktadırlar.



Şekil 4.3: KP-SK 3 sondajı 17.00–22.00 m’leri arası sondaj karotları

KP-SK 4, Polat Sokak’ta, Km 1+426’da, sağ tüp ekseninde yapılmıştır. Ağız kotu 68.20 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 11.00m’de dir. İlk 4.5 m’de bitkisel toprak ve dolgu geçilen sondajda, 4.50–31.00 m arasında koyu gri renkli (açık gri renkli kıltaşı bantlı), az kırıklı ve çatlaklı, az ayrıışmış Silttaşı birimi kesilmiştir. Çatlak dolgusu kalsit olan birimde, çatlak aralıkları 1–3 mm arasında olup, çatlak yüzeyleri düz-kaygan-düzlemseldir. Çatlaklar karot eksenine ile 45-50° açılar yapmaktadırlar.



Şekil 4.4: KP-SK 4 sondajı 25.40–29.30 m’leri arası sondaj karotları

KP-SK 5, Mahmut Şevket Paşa Mahallesinde, Km 1+198’de sağ ve sol tüplerinin arasından yapılmıştır. Ağız kotu 90.30 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 14.00 m seviyesindedir. 7.50 m derinliğine kadar yeşilimsi gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, ayrışmamış, silttaşı tabakaları kesilmiştir. 7.50–65.00 m arası kahverengi gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, ayrışmamış, Grovak, 45.50–54.00 m’leri arası koyu gri renkli, az ayrışmış, kırıklı ve çatlaklı, ayrışmamış kumtaşı-silttaşı ardalı kesilmiştir. 14.00–15.00 m, 22.70–23.50 m, 28.50–29.50 m, 54.00–56.50 m’leri arası aşırı kırıklı, ezilme zonları geçilmiştir. 65.00–73.00 m’leri arası siyahımsı gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, az ayrışmış Silttaşı birimi kesilmiştir. Çatlak dolgusu sondaj genelinde kalsit olup, çatlak aralığı 1–3 mm arasındadır. Çatlak yüzeyleri düz-düzlemsel ve yer yer kaygan-düzlemseldir. Karot eksenine paralel olan bu çatlaklar zaman zaman karot eksenine 45-75° açılar yapmaktadırlar.



Şekil 4.5: KP-SK 5 sondajı 51.7–56.70 m’leri arası sondaj karotları

KP-SK 6, Okmeydanı Yeşiltepe Sokak’ta, Km 0+918’de sol tüp yanında yapılmıştır. Ağız kotu 95.26 m olan sondajda, yeraltı su seviyesi 13.80 m seviyesindedir. 0.50 m bitkisel toprağı takiben 50.40 m derinliğe kadar kahverengimsi gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, az ayrılmış, kumtaşı-silttaşı ardalanması kesilmiştir. 9.60–14.60 m, 21.50–28.00 m, 30.50–32.70 m, 37.30–42.00 m, 49.50–50.40 m’leri arasında ezilme zonları gözlenmektedir. Çatlak dolgusu kalsit olan sondajda çatlak aralığı 1–3 mm arasındadır. Çatlak yüzeyleri düz-düzlemseldir. Karot eksenine paralel olan bu çatlaklar zaman zaman karot eksenini ile 45-80° açılar yapmaktadırlar.



Şekil 4.6: KP-SK 6 sondajı 15.20–19.50 m’leri arası sondaj karotları

KP-SK 6/A, Okmeydanı'nda, E-5 Karayolu'nun KB'sında, Semavi Sokak'ta Km 1+018'da sağ tüp eksenini üzerinde yapılmıştır. Ağız kotu 98.70 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 14.30 m seviyesindedir. 0.00–1.00 m'leri arası bitkisel toprak ve dolguyu takiben, 1.00–43.00 m'leri arasında açık gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, ayrışmamış kumtaşı-silttaşı ardalanması kesilmiştir. 43.00–83.00 m'leri arası açık-koyu gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, ayrışmamış, kumtaşı-silttaşı ardalanması kesilmiştir. Sondaj genelinde, çatlak dolgusu kalsit, çatlak aralıkları 1–3 mm arasında olan sondajda çatlak yüzeyleri düz-kaygan-düzlemseldir. Karot eksenine 45-50° açılar yapan çatlaklarla birlikte karot eksenine paralel çatlaklarda görünmektedir.



Şekil 4.7: KP-SK 6/A sondajı 66.00–71.00 m'leri arası sondaj karotları

KP-SK 7, Öztoprak Sokak'ta Km 0+586'da sol tüp eksenini üzerinde yapılmıştır. Ağız kotu 35.50 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 10.20 m'de dir. İlk 2.50 m asfalt ve düzensiz dolgu ile geçilen sondajda 2.50–4.50 m'leri arası sarı renkli çok parçalı ve kırıklı, ayrışmış Grovak birimi kesilmiş, 22.50 m'ye kadar yeşilimsi gri renkli, çok kırık ve çatlaklı, ayrışmamış, kumtaşı-silttaşı ardalanması kesilmiştir. 11.00–21.10 m leri arası aşırı kırıklı bir yapı sergilemektedir. 22.50–28.00 m'leri arası açık gri renkli, kırıklı ve çatlaklı, az ayrışmış Grovak birimi kesilmiştir. Grovak birimini takiben 28.00–34.00 m'leri arası siyahımsı gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, ayrışmamış Silttaşı birimi kesilmiştir.

Sondaj genelinde çatlak dolgusu kalsit olup, çatlak aralıkları 1–5 mm arasındadır. Çatlak yüzeyleri sondaj genelinde düz-kaygan-düzlemsel iken 28.20–30.00 m'leri

arası pürüzlü-düzlemseldir. Karot eksenine paralel olan çatlaklar zaman zaman karot eksenine ile 45-60° açılar yapmaktadırlar.



Şekil 4.8: KP-SK 7 sondajı 10.20–16.20 m’leri arası sondaj karotları

KP-SK 8, Örnektepe Spor tesislerinin yanında, Km 0+307’de sağ tüp eksenine üzerinde yapılmıştır. Ağız kotu 72.85 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 9.60 m’de dir. İlk 3.00 m bitiksel toprak ve dolguyu takiben 29.50 m’ye kadar kahverengimsi gri renkli, çok kırık ve çatlaklı, ayrılmış, Grovak birimi kesilmiştir. Çatlak dolgusu kalsit olan bu metreler arasında kalsit dolgusunun yer yer erimiş olduğu gözlemlenmiştir. Çatlak aralığı 0.5–1 cm arasında değişmekle birlikte çatlak yüzeyleri düz-lekeli-düzlemseldir. Çatlak sistemleri karot eksenine paralel yer yer karot eksenine ile 30-45° açılar yapmaktadır. 29.50–70.20 m arası siyahımsı gri renkli, az kırıklı ve çatlaklı, ayrılmamış Silttaş birimidir. Silttaş birimi, masif görümlü ve dayanımlıdır. Çatlak dolgusu kalsit olan 29.50–70.20 m’leri arası süreksizlikler 0.5-1.cm arasındadır. Çatlak yüzeyleri düz, yer yer kaygan, sondaj genelinde düzlemseldir. Karot eksenine paralel olan çatlaklar yanı sıra karot eksenine ile 30-45° açılar yapan çatlak sistemleri vardır.



Şekil 4.9: KP-SK 8 sondajı 50.80–55.60 arası sondaj karotları

KP-SK 9, Km 0+177’de, sol tüpün 16.00 m kuzeyinde yapılmıştır. Ağız kotu 35.00 m olan sondajda yeraltı su seviyesi 14.50 m’de dir. İlk 1.50 m tamamen ayrıışmış, bitkisel topraktan oluşan sondajda, 1.50–18.00 m’leri arası kahverengimsi yeşilimsi gri renkli, çok çatlaklı ve kırıklı, orta derecede ayrıışmış Grovak kesilmiştir. Çatlak dolgusu sondaj genelinde kalsit olmasına rağmen yer yer killi çatlak dolguları gözlenmiştir. Çatlak aralıkları 1–3 mm çatlak yüzeyleri ise düz-düzlemseldir. Karot eksenine paralel olan çatlaklar yer yer karot eksenine ile 45-50° açılar yapmaktadırlar. 18.00–30.00 m’leri arasında, yeşilimsi gri renkli, çok çatlaklı ve kırıklı, az ayrıışmış, kumtaşı-silttaşı ardalanması kesilmiştir. 30.00–32.00 m’leri arası siyahımsı gri renkli çatlaklı ve kırıklı, az ayrıışmış, Silttaşı birimi kesilmiştir. Çatlak aralıkları 6mm’den küçük, çatlak yüzeyleri kaygan ve düzlemsel, karot eksenine ile 35 °-40° yapan çatlak sistemleri gözlenmiştir.



Şekil 4.10: KP-SK 9 sondajı 10.80–18.10 m’leri arası sondaj karotları

4.2 Arazi Çalışmaları

Tünel güzergahı ve çevresinde yapılan arazi çalışmalarında 26 adet lokasyon belirlenmiş ve bu lokasyonlarda jeolojik incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, mostralarda yerinde litolojik sınıflama, birimlerin tabakalarının doğrultu ve eğimleri, çatlakların doğrultu ve eğimleri ölçülmüştür. Ancak çalışma alanının büyük bir kısmının yerleşim yeri olması ve doğal jeolojik yapının gözlenememesinden dolayı yüzeyde fay ve kırık sistemleri saptanamamıştır.

Piyalepaşa portal sahası içinde bulunan Lokasyon 1’de, ince taneli kahverengi renkte aşırı kırıklı ve çatlaklı, ayrışmamış, kumtaşı-silttaşı ardalanmansı yüzeylemiştir. Tabakların doğrultu ve eğimi K70D, 43GD, çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri K40B, 60KD, DB, 25K dir.



Şekil 4.11: Lokasyon 1

Sol tünel Km 1+172.5’de, sol tünel eksenini üzerinde, KP-SK 5 sondajının bulunduğu Mahmut Şevket Paşa Mahalle’sinde yüzeylenen Lokasyon 2, ince taneli altere rengi yeşilimsi gri, çok ayrılmış Grovak birimidir Tabaka doğrultu ve eğimi K35B, 30GB’dır. Aşırı altere olmuş bu mostrada çatlak sistemleri ölçülememiştir.



Şekil 4.12: Lokasyon 2

Sağ tüp Km 0+980’de, Okmeydanı-Oktay Sokağın sonunda, yol yarmasında, bulunan Lokasyon 3’te, ince taneli, yeşilimsi gri renkli, kumtaşı-silttaşı ardalanması K50D, 70KB doğrultu ve eğim ile gözlenmektedir. Yüzeyi ayrılmış, altere olmuş bu mostrada K20B, 45GD doğrultu ve eğimli ana çatlak sistemi görülmektedir.



Şekil 4.13: Lokasyon 3

Okmeydanı-Oktay Sokak'ta iki bina arasında bulunan Lokasyon 4'te, ince taneli, altere rengi yeşilimsi kahverengi renkli, taze rengi yeşilimsi gri renkli, aşırı kırıklı, çatlaklı, kumtaşı-silttaşı ardalanması gözlenmiş ve yapılan ölçümlerde tabaka doğrultu ve eğiminin K40D, 52GD olduğu belirlenmiştir. Ölçülen çatlak sistemlerinin yönelimi K55B, 85KD, K28D, 55KB dır.



Şekil 4.14: Lokasyon 4

Okmeydanı Talatpaşa Mahallesi Şahin Sokak'ta bulunan Lokasyon 5'te ince taneli, altere rengi yeşilimsi kahve renkli, aşırı kırıklı, çatlaklı, kumtaşı-silttaşı ardalanması

gözlenmiştir. Yapılan ölçümlerde tabaka doğrultu ve eğimi K52D, 39KB olduğu tespit edilen Lokasyon 5’te ölçülen çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri K21B, 71KD ve K66B, 79KD dur.



Şekil 4.15: Lokasyon 5

Okmeydanı Talatpaşa Mahallesi, Savaş Sokak’ta bulunan Lokasyon 6’da ince taneli, yeşilimsi gri renkli, kırıklı, çatlaklı, ayrıışmış, kumtaşı-silttaşı ardalanması gözlenmiş ve ölçümlerde tabakaların doğrultu ve eğimi K72D, 64GD olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.16: Lokasyon 6

Okmeydanı Talatpaşa Mahallesi, G-13 ve G-14 Sokakları’nın birleştiği yerde bulunan Lokasyon 7’de yeşilimsi gri renkli, kumtaşı-silttaşı ardalanması gözlenmektedir. Silttaşı tabakaları kumtaşı tabakalarının arasında bulunmaktadır.

Silttaşı tabakaları, kumtaşı tabakalarına göre aşırı kırıklı ve çatlaklı bir yapı sergilemektedir. Tabakaların doğrultu ve eğimleri K73D, 45GD'dur. Lokasyonda gözlenen çatlak sisteminin doğrultu ve eğimleri K85D, 80GD dur.



Şekil 4.17: Lokasyon 7

Okmeydanı Talatpaşa Mahallesi, Ersoy Sokağın sonunda bulunan Lokasyon 8'de aşırı derecede ayrılmış, kahve renkli, çok çatlaklı ve kırıklı, mika pulcukları içeren Grovak birimi gözlenmektedir. Tabakaların doğrultu ve eğimleri K50D, 66GD dur.



Şekil 4.18: Lokasyon 8

Günebakan İlköğretim Okulu'nun arka bahçesinde bulunan Lokasyon 9'da, yeşilimsi gri renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, Silttaşı birimi yüzeylenmiştir. Lokasyon 9, bağlantı tüneli için düşünülen kazı sahası içerisinde kalan bu birimlerin, tabaka doğrultu ve

eğimleri K48D, 60KB dır. Lokasyonda ölçülen çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri; K25B, 49KD ve K72B, 87GB dır.



Şekil 4.19: Lokasyon 9

Örnektepe Mahallesinde, Kağıthane Viyadükü'nün sağ omzunda yer alan yol yarmalarında yüzeylenmiş Lokasyon 10'da, yeşilimsi gri renkli Silttaşı birimi gözlenmektedir. Birim kırıklı ve çatlaklı bir yapı sergilemektedir. Tabaka doğrultu ve eğimi K54D, 53KB dır.



Şekil 4.20: Lokasyon 10

Lokasyonda gözlenen iki ana çatlak sisteminin doğrultu ve eğimi K55B, 41GB ve K20B, 68KD dur. Lokasyon 10'ile birbirlerine çok yakın olan Lokasyon 11'de ince taneli, altere rengi yeşilimsi gri, çok çatlaklı ve kırıklı, Silttaşı birimi gözlenmektedir.

Yapılan ölçümlerde tabakaların doğrultu ve eğimlerinin K50D, 68KB yöneliminde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.21: Lokasyon 11

Örnektepe Spor tesislerinde bulunan Lokasyon 12’de masif, altere rengi yeşilimsi-kahverengi, Grovak birimi gözlenmektedir. Tabakaların doğrultu ve eğimleri K48D, 77KB’dır. Lokasyonda gözlenen çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri K29B, 21KD ve K30D, 37KB dır.



Şekil 4.22: Lokasyon 12

Km 0+300.00’de Lokasyon 12’de Örnektepe Spor tesisleri ile Çamlık Sokak arasında bulunan ve yol şevi aynasında yüzeylenen Grovaklar ezilmiş ve ayrılmıştır. Şekil

4.23'te görünen ezilme zonu, doğuya doğru devam etmekte, ezilme zonu içerisinde kuvarsit damarı mostra vermektedir.



Şekil 4.23: Km 0+300.00'da Kuvarsit Damarı (Tünel Eksenin Doğusunda)

Şekil 3.24'te çatlakların arasına girmiş kuvarsit damarı görülmektedir.



Şekil 4.24: Km 0+300.00'da kuvarsit damarı



Şekil 4.25: Km 0+300.00’da Ezilme Zonu ve Aşırı Ayrışma (Tünel Eksenin Doğusunda)

Kağıthane Portal sahası içinde bulunan Lokasyon 13’te, kahve renkli kumtaşı-silttaşı ardalanması gözlenmektedir. Bu birim K30D, 45KB doğrultu ve eğimi ile kırıklı ve çatlaklı bir yapı sergilemektedir. Çatlak Sistemlerinin doğrultu ve eğimleri K25D, 66GD ve K60B, 70KD’dur.



Şekil 4.26: Lokasyon 13

Tünel güzergahının dışında, Kasımpaşa yolunun sağ yol yarmasında bulunan Lokasyon 14’te çok altere olmuş, yeşilimsi kahve renkli, Grovak birimi

bulunmaktadır. Birim K20B, 65GB doğrultu ve eğim ile gözlenmiştir. Çatlak sisteminin doğrultu ve eğimi K83B, 45KD'dur.



Şekil 4.27: Lokasyon 14

Piyalepaşa Portalinden GB'sında, Kasımpaşa Yolu'nun sağ yamacında bulunan Lokasyon 15'te, yeşilimsi gri renkli, lamine, kumtaşı-silttaşı ardalanması gözlenmektedir. Silttaşı tabakaları, kumtaşı tabakalarına göre daha belirgin gri tonlu ve ince tabakalıdır. Tabakaların doğrultu ve eğimi K40D, 82GD'dur. Hakim çatlak sisteminin doğrultu ve eğimi K40B, 80GB dır.



Şekil 4.28: Lokasyon 15.

Mahmut Şevket Paşa Mahallesi'nde Hafik Caddesi'nde bulunan Lokasyon 16'da, yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı, ince taneli Grovak birimi, K60D, 85KB doğrultu ve eğimiyle gözlenmektedir. Dike yakın tabakalar, aşırı kırıklı ve çatlaklıdır.



Şekil 4.29: Lokasyon 16

Lokasyon 17 (Lokasyon 16'nın 20 m KB'sı)'de, ince taneli, koyu kahve renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, çatlaklarının arasında yer yer kuvarsit dolgulu, tabakaları ortalama 10 cm kalınlıkta olan, Grovak biriminin tabakalarının doğrultu ve eğimi K10D, 43KB'dır.



Şekil 4.30: Lokasyon 17

Mahmut Şevket Paşa Mahallesi, Hafik Caddesi, Yayla Sokak'ta bulunan Lokasyon 18'de, yeşilimsi gri renkte, lamine, çok kırıklı ve çatlaklı, Silttaş birimi gözlenmektedir. Silttaş tabakalarının doğrultu ve eğimleri K57D, 56GD'dur. Çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri K75D, 38KD ve K37B, 88GB'dır.



Şekil 4.31: Lokasyon 18.

Mahmut Şevket Paşa Mahallesi, Hafik Caddesi, Yayla Sokak'ta bulunan Lokasyon 19'da, yeşilimsi kahve renkli, Grovak birimi, K45D, 45GD doğrultu ve eğim ile gözlenmektedir. Çok çatlaklı ve kırıklı bir yapı sergileyen mostrada tespit edilen ana çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri K35B, 82KD ve K22D, 61KB'dır.



Şekil 4.32: Lokasyon 19

Mahmut Şevket Paşa Mahallesi, Keskin Sokak'ta bulunan Lokasyon 20'de, aşırı kırıklı ve çatlaklı, yeşilimsi gri renkli Grovak biriminin, tabakalarının doğrultu ve eğimi; K80D, 50GD'dur. Mostrada gözlenen ana çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri K80B, 70GD ve K40D, 76KB'dır.



Şekil 4.33: Lokasyon 20

Mahmut Şevket Paşa Mahallesi, Yayla Sokak'ta bulunan Lokasyon 21'de, aşırı kırıklı ve çatlaklı, kuvarsit damarlı, Grovak biriminin, tabakalarının doğrultu ve eğimi K70B, 45KD'dur. Mostranın aşırı ayrışmasından dolayı çatlak sistemleri gözlenememektedir.



Şekil 4.34: Lokasyon 21

Mahmut Şevket Paşa Mahallesi, Yayla Sokak'ta bulunan Lokasyon 22'de aşırı çatlaklı ve kırıklı, kumtaşı-silttaşı ardalanmasının tabaka doğrultu ve eğimi K32D, 80GD'dur. Çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri; K40B, 65GB ve K70D, 35KB dır.



Şekil 4.35: Lokasyon 22

Piyalepaşa Portali'nin KD'sunda Kağıthane-Çağlayan yolunun yarmasında yüzeylenen Lokasyon 23'te, aşırı kırıklı, yeşilimsi gri renkli, Silttaşı birimi bulunmaktadır. Silttaşı tabakalarının aşırı alterasyonu sonucu tabaka doğrultu ve eğim açıları ölçülememiştir.



Şekil 4.36: Lokasyon 23

Halil Rıfat Paşa Mahallesi'nde, Erkmen Caddesinin altındaki yol yamacında yüzeylenen Lokasyon 24'te, aşırı kırıklı ve çatlaklı, yeşilimsi, kahve renkli, ayrıışmış, Silttaşı birimi gözlenmektedir. Silttaşı biriminin tabaka doğrultu ve eğimi K67D, 75GD'dur. Silttaşı tabakaları laminalı bir yapı sergilemektedir.



Şekil 4.37: Lokasyon 24.

Halil Rıfat Paşa Mahallesi'nde, Erdemli Sokak'ta yüzeylenen Lokasyon 25'te, açık kahve renkli, çok kırıklı ve çatlaklı, Grovak, K30D, 80GD doğrultu ve eğimi ile gözlenmektedir.



Şekil 4.38: Lokasyon 25.

Halil Rıfat Paşa Mahallesi, Yüzerhavuz Sokakta, temel kazısında yüzeylenen Lokasyon 26'da, kahve renkli-yeşilimsi kumtaşı-silttaşı ardalanmasının tabakalarının

doğrultu ve eğimi K4D, 51GD'dur. Çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğim açıları K80D, 72GD ve K50B, 45KD'dur.



Şekil 4.39: Lokasyon 26

4.3 Laboratuvar Deneyleri

Sondaj lokasyonlarından alınan karot sandıkları İTÜ MJKM laboratuvarında uygulanacak deneylere uygun boyutlarda hazırlanmıştır. İlgili sondaj kuyusundan üzerlerinde deney yapılabilecek karotlar tünel kırmızı kotu, 1. ve 2. etkilenme zonlarının (EK E1, EK E2'de gösterilmektedir.) kesildiği noktalardan alınmıştır. Deney sonuçları EK C'de bulunmaktadır. Ayrıca hesaplamalarda kullanılacak ortalama değerler rapor içerisinde ilgili başlıklar altında sunulmaktadır.



Şekil 4.40: SK 3, Sn.3'te boyları ölçülmüş karotlar

Daha sonra tespit edilen numuneler belirlenen deney boyutlarında kesilmiştir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41: Karotların kesilmesi

Üç eksenli deney için 3 cm çapında numune gerekli olduğundan dolayı sondaj karotlarından 3 cm'lik karotlar alınmıştır (Şekil 4.42).



Şekil 4.42: Karot içinden karot alımı

Kesilen ve karot alınan numunelerin baş kısımları pürüzlerinin giderilmesi için korund tozu ile parlatılmıştır ve pürüzlülükleri en aza indirilmiştir (Şekil 4.43).



Şekil 4.43: Numunelerin korund tozu ile parlatılması

4.3.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deney, boy/çap oranı 2/1 olan silindirik kayaç örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında, ayrıca tasarımda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deney sırasında eksenel deformasyon

da ölçülerek, kayaç malzemesinin deformasyon ve yenilme karakteristikleri de değerlendirilebilir. Bu çalışmada yapılan deneylerde **ISRM (1981)** tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Tablo 4.1: Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Litoloji
KP-SK 3	11–20	221	34205	Kumtaşı
	23–26	104.4	28477	
KP-SK 4	25–27	143	31500	Silttaşı
	29–31	484	36600	
KP-SK 5	46–51	131.5	25468	Silttaşı
	29–34	39	20546	Kumtaşı
	55–61	150	23884	
	65–70	282.5	54008	
KP-SK 6/A	50–51.2	193	42671	Silttaşı
	58–60	96	19563	Kumtaşı
	68–70	393	100259	Kumtaşı-Silttaşı
KP-SK 7	13–15	331	45856	Kumtaşı
	23–25	465	67127	
	26–28	282	91278	Silttaşı
KP-SK 8	36–38.5	491.6	57863	Silttaşı
	45–47	243.2	70917	
	53.6–55.8	489.6	72727.8	
	63–68	308.5	73876	
KP-SK 9	7.5–10.5	128	45695	Silttaşı
	17–21.5	266.5	43877	Kumtaşı-Silttaşı
	27–32	257	80352	Silttaşı



Şekil 4.44: Tek eksenli basınç dayanımı düzeneği

4.3.2 Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deneyde, üç eksenli sıkışmaya maruz kalan boy/çap oranı 2/1 olan silindirik kayaç örneklerinin makaslanma dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deney verileri kullanılarak yenilme zarfı çizilir ve bu zarftan kayaç malzemesinin içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) belirlenir. Bu çalışmada yapılan deneyler de **ISRM (1981)** tarafından önerilen hususlar esas alınmıştır.



Şekil 4.45: Üç eksenli basınç dayanımı deneyi düzeneği

Tablo 4.2: Üç eksenli basınç dayanımı deneylerinde elde edilen sonuçlar (* işaretli deneylerin sonuçları kaynın gerçek dayanımını yansıtmamaktadır.)

Sondaj No	Derinlik(m)	Boy(cm)	Çap(cm)	σ_3 (kg/cm ²)	σ_1 (kg/cm ²)	Litoloji
KP-SK 3	11–20	6.41	3	20	439	Diyabaz
		6.33	3	30	460	Diyabaz
		6.85	3	10	587	Kumtaşı
		6.88	3	20*	410	Kumtaşı
	23–26	6.87	3	10	679	Kumtaşı
KP-SK 4	25–27	6.19	3	10	446	Silttaşı
		6.21	3	20	580	Silttaşı
	29–31	6.22	3	10	878	Silttaşı
		6.24	3	20	1012	Silttaşı
KP-SK 5	29–34	6.79	3	10	340	Kumtaşı
		6.77	3	20	396	Kumtaşı
	46–51	6.76	3	10	531	Silttaşı
		6.85	3	20*	410	Silttaşı
	55–61	6.69	3	10	842	Kumtaşı
		6.77	3	20*	694	Kumtaşı
	65–70	6.79	3	10	885	Kumtaşı
KP-SK 6/A	58–60	6.24	3	10	410	Silttaşı
		6.20	3	20	517	Silttaşı
	68–70	6.18	3	10	517	Kumtaşı+Silttaşı
		6.20	3	20	538	Kumtaşı+Silttaşı
	50–51.2	6.24	3	10	552	Kumtaşı
		6.22	3	20	594	Kumtaşı
KP-SK 7	23–25	6.19	3	10	722	Kumtaşı
		6.18	3	20	899	Kumtaşı
	26–28	6.21	3	10	594	Kumtaşı
		6.21	3	20	828	Kumtaşı
KP-SK 8	36–38	6.55	3	10	807	Silttaşı
		6.5	3	20	821	Silttaşı
		6.55	3	30	934	Silttaşı
		6.5	3	40	1019	Silttaşı
		6.55	3	50	1132	Silttaşı
	45–47	6.55	3	10	835	Silttaşı
		6.6	3	20	1005	Silttaşı
		5.65	3	30*	750	Silttaşı
		6.65	3	40	1118	Silttaşı
		6.6	3	50	1189	Silttaşı
	53.6–55.8	6.45	3	10	686	Silttaşı
		6.1	3	20	800	Silttaşı
		6.5	3	30	870	Silttaşı
		6.4	3	40	1040	Silttaşı
		6.55	3	50	1069	Silttaşı
	63–68	5.2	3	10	708	Silttaşı
		6.38	3	20	1040	Silttaşı
		6.55	3	30*	616	Silttaşı

4.3.3 Nokta Yükleme Deneyi

Kaya numunesinin gerilme durumundaki dayanımını tayin etmek için yapılır. Deney sonuçları EK C’de dir.



Şekil 4.46: Nokta yükleme deneyi

4.3.4 Çekme Dayanımı Deneyi

Kaya numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ile karşılaştırmak için çekme dayanımlarının tayini nokta yükleme deneyi ile yapılır. Çekme dayanımı deneylerinin sonuçları Tablo 4.3’te dir.



Şekil 4.47: Çekme deneyi

Tablo 4.3: Çekme dayanımı deneyi sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m)	Endirekt Çekme Direnci (kg/cm ²)	Litoloji
KP-SK 3	11.0–20.0	25	Diyabaz
		28	
		30	Kumtaşı
		49	
		31	
	23.0–26.0	86	
		52	
KP-SK 5	29.0–34.0	66	Kumtaşı
		26	
	46.0–51.0	29	Silttaşı
		57	
	55.0–61.0	57	Kumtaşı
		79	
	65.0–70.0	53	Kumtaşı
		34	
KP-SK 8	23.5–28.0	27	Kumtaşı
	36.0–38.5	48	Silttaşı
		77	
	45.0–47.0	81	Silttaşı
		74	
	53.6–55.8	72	Silttaşı
		107	
	63.0–68.0	71	Silttaşı
		79	
KP-SK 9	7.5–10.5	38	Silttaşı
	17.0–21.5	31	Silttaşı
		70	Silttaşı
		21	
	27.0–32.0	102	Kumtaşı

4.3.5 Fiziksel Özelliklerin Tayini Deneyi

Fiziksel deneyler mekanik sondajlardan alınan değişik boyuttaki karot parçacıkları üzerinde **ISRM (1981)** tanımlamalarında ön görülen koşullar altında yapılmıştır. Birim hacim ağırlığı, porozite ve ağırlıkça su emme değerlerinin saptanmasına yönelik 66 karot parçası üzerinde uygulanan deneyler, her derinlik aralığına karşılık birden fazla örnek üzerinde tekrarlanmıştır.

Deney karotlarından her litoloji için birden fazla alınan numuneler 24 saat saf suda bekletilerek suya doymun hale getirilmiş, hacim ve ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 4.48).



Şekil 4.48: 24 saat suda bekletilen numuneler.

Bu işlemler sonrasında numuneler 105° derecedeki etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutma işlemlerinden sonra tartılarak fiziksel özellikleri biri bazında tayin edilmiştir (Şekil 4. 49).



Şekil 4.49: Etüve yerleştirilen numuneler

İndeks Özellikleri

Birim hacim ağırlığı (ν); birim hacimdeki kütlenin toplam ağırlığı olarak tanımlanmaktadır. Birimi gr/cm^3 tür.

Birim hacim ağırlığı mühendislik çalışmalarında;

Doğal birim hacim ağırlığı,

Katı (tane) birim hacim ağırlığı,

Doygun birim hacim ağırlığı olarak sınıflandırılmaktadır.

Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k); katı kısmın birim hacim ağırlığıdır.

$$\gamma_k = (W_k / V_t) \quad (4.1)$$

W_k : Kuru (katı) kısmın ağırlığı

V_t : toplam hacim

Suya doymuş birim hacim ağırlığı (γ_d); bütün boşlukların su ile dolduğundaki ağırlığıdır.

$$\gamma_d = (W_d / V_t) \quad (4.2)$$

W_d ; suya doymuş ağırlığı

V_t : toplam hacim

Porozite (n); birim hacimdeki boşluk hacmidir.

$$n = (W_d - W_k / V_t) \times 100 \quad (4.3)$$

W_k : Kuru (katı) kısmın ağırlığı

W_d ; suya doymuş ağırlığı

V_t ; toplam hacim

Ağılıkça su emme (S_a); boşluk hacminin, katı kısmın hacmine oranıdır.

$$S_a = (W_d - W_k / W_k) \times 100 \quad (4.4)$$

İTÜ MJKM laboratuvarlarında yapılan indeks özellikleri deneyleri sonuçları EK C’de gösterilmektedir. Tablo 4.4’te indeks özellikleri deneyleri sonuçları ortalamaları alınarak sunulmuştur.

Tablo 4.4: Sondajlardan elde edilen numunelerin ortalama indeks özellikleri

Sondaj No	γ_k (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	n(%)	S_a (%)	Litoloji
KP-SK 1	2.65	2.67	2.04	2.08	Kumtaşı
KP-SK 2	2.58	2.61	2.65	2.72	Kumtaşı
KP-SK 3	2.64	2.67	2.38	0.90	Kumtaşı
	2.72	2.74	2.03	0.74	Silttaşı
KP-SK 4	2.67	2.72	4.09	4.27	Silttaşı
KP-SK 5	2.63	2.67	3.98	1.51	Kumtaşı
	2.66	2.7	3.47	1.30	Silttaşı
	2.67	2.69	1.41	0.46	Kumtaşı
KP-SK 6/A	2.67	2.70	2.88	2.97	Kumtaşı
KP-SK 7	2.24	2.26	1.03	1.04	Kumtaşı
KP-SK 8	2.64	2.66	2.31	0.87	Kumtaşı
	2.75	2.77	1.34	0.48	Silttaşı
KP-SK 9	2.62	2.68	5.22	1.99	Silttaşı
	2.66	2.67	1.81	0.68	Kumtaşı

Güzergahta yapılan sondajlardan alınan karotların üzerinde laboratuarda yapılan deneylerin Mohr diyagramlarında yorumlanarak bulunan mekanik parametreleri Tablo 4.5’de gösterilmiştir. Ayrıca Mohr diyagramları EK A’da gösterilmiştir. Ancak bu değerlerin tünel güzergahındaki kayaların yerinde jeomekanik özelliklerini, girişimin boyutu, sistemin çatlaklı ve kırıklı yapısı göz önüne alındığında yansıtmamaktadır. Kaya mekaniğinde polilit olarak adlandırılan çok parçalı ortamların süreksizlikleri arasında herhangi bir dolgu maddesi yok ise, parçadan parçaya aktarılan kuvvet homojen olduğu düşünülse bile belirli noktalarda yoğunlaşarak gerilme yığılmalarına sebep olmakta ve bu durum monolit adını verdiğimiz tek parçalı sistemlere göre polilit sistemlerin daha düşük direnç göstermesi ve daha kolay şekil değiştirerek plastikleşmesine sebep olmaktadır.

Tablo 4.5: Deney sonuçlarından Mohr diyagramında elde edilen jeomekanik parametreler

Sondaj No	Derinlik (m)	$\phi(o)$	c (kg/cm ²)	Litoloji
KP-SK 3	11.0–20.00	51–54	43.45-76.81	Kumtaşı
	23–26	11–49	52.2-114	Kumtaşı
KP-SK 4	25–27	67	17.93	Silttaşı
	29–31	72	35.3	Silttaşı
KP-SK 5	29–34	40–54	40-71.5	Kumtaşı
	46–51	27–52	32.2-82	Silttaşı
	56–61	28–54	50-121.5	Kumtaşı
	65–70	52–65	49.5-98.8	Kumtaşı
KP-SK 6/A	50–51.2	64–71	16.2-23	Kumtaşı
	58–60	66–69	7.9-8.9	Silttaşı
	68–70	50–58	55.9-69.4	Kumtaşı/Silttaşı
KP-SK 7	23–25	76	4.1	Kumtaşı
	26–28	69	25.5	Kumtaşı
KP-SK 8	36–38.5	40–60	51–116.6	Silttaşı
	45–47	18–55	50–128.3	Silttaşı
	53.6–55.8	44–54	109.6–142	Silttaşı
	63–68	45–57	109.7–140.1	Silttaşı
KP-SK 9	7.5–10.5	33	34.8	Silttaşı
	17–21.5	41–56	29.5–76.1	Silttaşı
	27–32	26	80.4	Kumtaşı

Ayrıca süreksizlerdeki pürüzlülüğün türü ve bunların parçacık boyutlarına oranı sistemin kesme gerilmelerinin aktarımında belirleyici olmaktadır. Parçacık boyutunun küçülmesi süreksizliklerin pürüzlülüklerinin neden olduğu çentik etkisini arttırmakta ve kırık odaklarını geliştirerek, parçacığı zaman içinde kırarak şekilde ilerlemektedir. Süreksizliklerin ayrışma durumu ve parçacık sayısının artması sonucunda artan ayrışmış süreksizlik yüzeyleri kayacın dayanım parametrelerinin laboratuarda sistem içinden alınan taş örneklerinden bulunan değerlerden düşük olmaktadır. Sonuç olarak **Vardar (1999–2000)**, laboratuvar deneyleri sonuçlarının tek başına kayaya aktarılamayacağı ve kayanın her yeni ortam ve koşullarda her yeni teknik girişim için ayrı mekanik parametreler göstereceğidir. Bu amaçla Rocklab 1.0 programı ile laboratuvar deneyleri ve arazideki gözlemler sonucunda elde edilen bilgiler yorumlanarak laboratuvar değerlerini in-situ değerlerine uyarlanmıştır. RockLab 1.0 programı kaya kütle dayanım parametrelerini Hoek-Brown yenilme

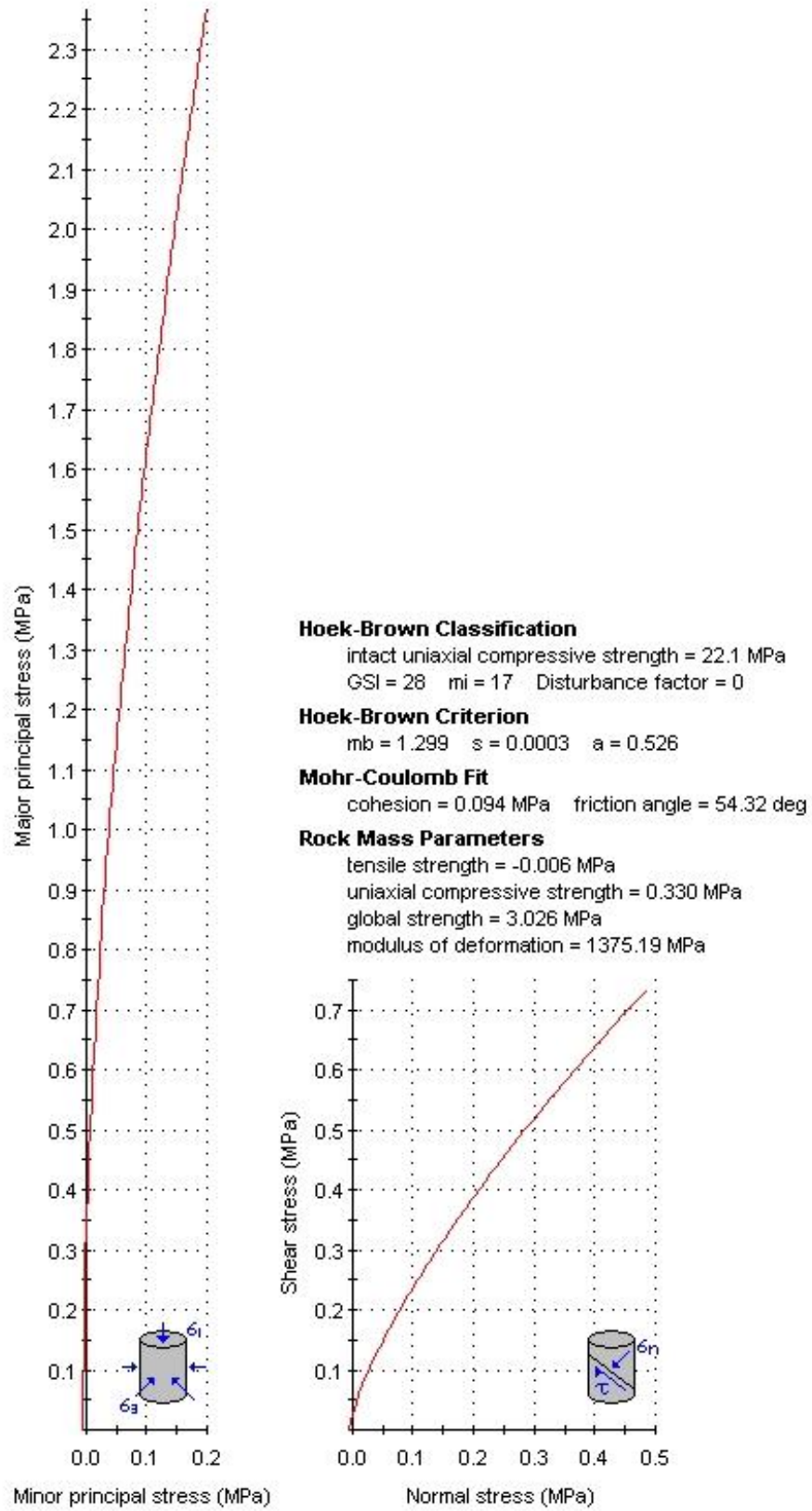
kriterlerini temel alarak hesaplamaktadır. Rocklab 1.0 ile çok zayıf kaya kütleleri için Hoek-Brown yenilme kriterlerini uygulayabilir ve Hoek-Brown yenilme zarfından eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri hesaplanabilmektedir (**Hoek ve Brown, 2000**). Tablo 4.6’da RockLab 1.0 programı ile araziye uyarlanmış değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Deney sonuçlarının Rocklab Programından elde edilen in-situ değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	γ_d (gr/cm ³)	Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Litoloji	$\phi(^{\circ})$	c (kg/cm ²)
KP-SK 3	11–20	2.67	221	13751.9	Kumtaşı	55	0.9
	23–26	2.67	104.4	16448.9	Kumtaşı	50	0.7
KP-SK 4	25–27	2.72	143	15041	Silttaşı	40	1.0
	29–31	2.72	484	15041	Silttaşı	48	1.8
KP-SK 5	29–34	2.67	39	9599.8	Kumtaşı	31	1.1
	46–51	2.7	131.5	11492	Silttaşı	33	1.3
	56–61	2.69	150	11492	Kumtaşı	42	1.8
	65–70	2.69	282.5	11492	Kumtaşı	46	2.3
KP-SK 6/A	50–51.2	2.7	193	15041	Kumtaşı	42	2.5
	58–60	2.72	96	17986.2	Silttaşı	30	1.5
	68–70	2.72	393	9599.8	Kumtaşı	38	2.2
KP-SK 7	23–25	2.26	465	15041	Kumtaşı	60	1.4
	26–28	2.26	282	15041	Kumtaşı	56	1.1
KP-SK 8	36–38.5	2.77	491.6	25671.6	Silttaşı	45	3.0
	45–47	2.77	243.2	19664.3	Silttaşı	39	2.0
	53.6–55.8	2.77	489.6	30633.6	Silttaşı	46	3.2
	63–68	2.77	308.5	13751.9	Silttaşı	40	2.0
KP-SK 9	7.5–10.5	2.68	128	6692.9	Silttaşı	34	0.8
	17–21.5	2.68	266.5	8016.7	Silttaşı	40	1.1
	27–32	2.67	257	8772.9	Kumtaşı	48	1.4

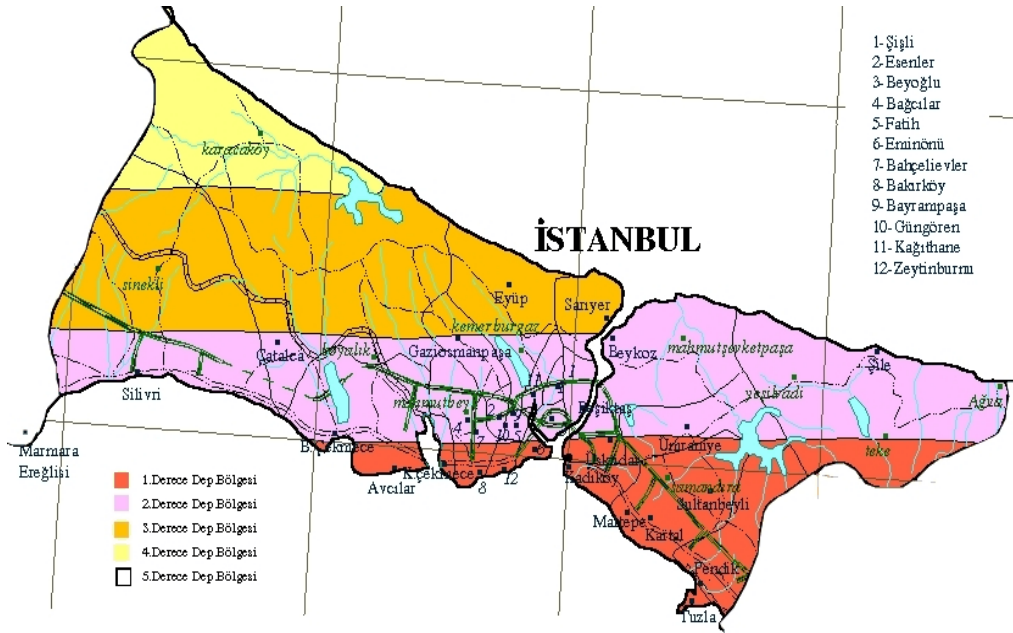
Tablo 4.6’da sarı dolgu rengi ile gösterilen bölümler işaretlediği sondajın tünel derinliğindeki değerlerini göstermektedir. Şekil 4.50’de KP-SK3 11-20 m’leri arasında Grovak birimi için RockLab 1.0 programında yapılan Kaya Dayanım Analizi gösterilmiştir. Güzergahtaki diğer sondajlar ve derinlikleri için yapılan Kaya Dayanım Analizleri EK B’de gösterilmiştir.

Analysis of Rock Strength using RocLab



Şekil 4.50: SK 3 (11-20 m) RockLab Kaya Dayanım Analizi

4.4 Depremsellik



Şekil 4.51: İstanbul Deprem haritası

Çalışma alanı 1. dereceden deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır. Şekil 4.51’de İstanbul deprem bölgeleri haritasını göstermektedir. Kağıthane-Piyalepaşa Tüneli güzergahı İstanbul içerisinde 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

4.5 Hidrojeoloji

Yeraltı su seviyesi güzergahta sondajlardaki yeraltı su seviyelerinin boy kesitlerde yerleştirilmesi ile korele edilmiştir (EK E1, EK E2). Ancak, sondajlarda tespit edilen su seviyelerinin, yeraltı suyu seviyesi ya da çatlak sistemlerinde kapanan yüzey sular olduğunu tespit etmek mümkün olmamaktadır. Tünel içine sızan sular, tünel kazısı sırasında değişen basınç durumu ile formasyon içindeki çatlaklar, faylar ve ezik zonlardan sızan sulardır. Bu sular kazı sonrasında tünel yüzeyindeki kayaları etkilemekte ve sökülmeleere neden olmaktadır. Bunun sebebi, süreksizliklerin yer yer kil, çoğunlukla kalsit dolgulu olmasıdır. Bu dolgular su ile yıkanmakta ve süreksizliklerin ayrılmasına sebep olmaktadır.

4.6 Kaya Kalite Sınıflamaları

4.6.1 RQD

Kaya mekaniği çalışmalarında birçok ampirik kaya sınıflaması bulunmasına rağmen çoğu sınıflamanın temelinde kayanın sahip olduğu süreksizliklerin özellikleri, kaya dayanımı, su durumu, ayrışma durumu ve teknik girişimden etkilendiği alanın gerilme durumu dikkate alınmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan kaya kalite sınıflamaları Q-Barton, RMR-Bieniawski ve RQD-Deere sınıflamaları tünel inşaatları sırasında tercih edilmektedir. Kaya dayanımı, su durumu, ayrışma durumu ve teknik girişimden etkilendiği alanın gerilme durumu dikkate alınarak verilen puanlamaların toplamı veya ayrı ayrı değerlendirilmeleri sonucunda verilen puan onun bir mühendislik girişimi için ne kadar uygun ve güvenilir olduğu hakkında bilgi vermektedir.

Deere tarafından 1989 yılında geliştirilen RQD (Rock Quality Designation), kullanım kolaylığı bakımından kaya kalite sınıflamaları arasında en çok bilinendir. Mekanik sondaj sonrasında alınan karot parçalarının 10cm'den büyük olan parçalarının toplamının, toplam uzunluğa bölünmesi ile bulunan RQD değeri aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir (Arioğlu, 1995);

$$RQD = \frac{\sum 10 \text{ cm'den uzun karot parçalarının uzunluğu}}{\text{Toplam Karot Uzunluğu}} \times 100 \quad (4.5)$$

Tablo 4.7'de RQD büyüklüklerine göre kaya kalitesi gösterilmiştir;

Tablo 4.7: RQD Sınıflamasına Göre Kaya Kalite Değerleri

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

4.6.2 Q-Barton

Barton tarafından (1974, 1975, 1976, 1988) Norveç Geoteknik Enstitüsünde geliştirilen Q sınıflama sistemi, kaya kalite sınıflamasında RQD, çatlak (eklem) takım sayısı (J_n), çatlak pürüzlülük durumu (J_r), çatlak ayrışma durumu (J_a), çatlak suyu durumu (J_w) ve sistemdeki gerilme durumunun (SRF) inceler ve bu başlıklar altında verilen puanların toplamını kaya kalite sınıflamasında ortamın uygunluğu ve sağlamlığı ile ilgili yorumlara dönüştürmektedir. Q değeri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilmektedir (**Barton, 1978**);

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (4.6)$$

Q sınıflamasında süreksizlik elemanlarına ait puanlama aşağıdaki gibidir [14];

- RQD

$0 \leq RQD \leq 10$ ise Q sınıflamasında $RQD = 10$ alınmalıdır. Daha hassas sonuç için RQD değeri 5 ve 5'in katları şeklinde seçilmelidir.

• <u>Eklem Takımı Sayısı</u>	<u>(J_n)</u>
A. Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5-1.0
B. Bir eklem takımı	2
C. Bir eklem takımı ve düzensiz eklemler	3
D. İki eklem takımı	4
E. İki eklem takımı ve düzensiz eklemler	6
F. Üç eklem takımı	9
G. Üç eklem takımı ve düzensiz eklemler	12
H. Dört ya da daha fazla eklem takımı, düzensiz eklemler, çok sayıda ve küp şeker görünümlü	15
J. Çok parçalı kaya, toprak görünümlü	20

Not: Kesişen tünellerde $J_n \times 3$, portallerde ise $J_n \times 2$ alınmalıdır.

• Eklemler Pürüzlülük Sayısı (Jr)

(a) Süreksizlik yüzeyleri temasta ve (b) 10 cm'den küçük kayma sonucu temas sağlanmakta ise;

A. Süreksiz eklemler	4
B. Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	3
C. Düz, dalgalı	2
D. Sürtünme izli, dalgalı	1.5
E. Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F. Düz, düzlemsel	1.0
G. Sürtünme izli, düzlemsel	0.5

Not: Tanımlamalar küçük veya orta ölçekli süreksizlikler içindir

(c) Kayma sonucu süreksizlik yüzeyleri birbirlerine değmiyorsa

H. Kil minerali içeren zonlar süreksizlik yüzeyleri arasını dolduruyor	1.0
J. Kumlu, çakıllı veya parçalanmış zon süreksizlik yüzeylerinin temasını engellemekte	1.0

Not: Süreksizlik aralığı 3 m'den büyükse sonuca 1 eklenmelidir. Minimum dirence göre yönlenmesi koşuluyla, lineasyonlara sahip düzlemsel sürtünme yüzü eklemler için Jr = 0.5 alınabilir

• Eklemler Ayırışma Durumu (Ja) $\sim \phi^\circ$

(a) Süreksizlik Yüzeyleri Temasta ise

A. Sıkı kaynaşmış, sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu örnek kuvars, epidot	0.75	----
B. Ayırışmamış eklemler yüzeyleri, sadece lekeli yüzey	1	25-35
C. Az ayırışmış eklemler yüzeyleri, yumuşamayan yüzey mineralleri ile kaplanmış, kum tanecikleri, kil içermeyen parçalı kaya	2	25-30

• <u>Ekleme Ayrışma Durumu</u>	(Ja)	$\sim \varphi^0$
D. Siltli, veya kumlu killi kaplama, yumuşak olmayan kil parçaları 3		20-25
E. Yumuşayan, düşük sürtmeli kil mineralleriyle kaplı, az miktarda akıcı kil. Örnek örneğin kaolinit veya mika, klorit, talk, jips, grafit, ve az miktarda akıcı kil	4	8-16
(b) 10 cm'lik kayma öncesi eklem yüzeylerinin teması sağlanabiliyor ise		
F. Kum tanecikleri, kil içermeyen parçalanmış kaya	4	25-30
G. Aşırı derecede konsolide olmuş, yumuşayan kil dolgulu (< 5 mm'den az kalınlıkta ve sürekli)	6	16-24
H. Orta derecede veya az miktarda konsolide olmuş, yumuşayan kil dolgulu (< 5 mm'den az kalınlıkta ve sürekli)	8	12-16
J. Akıcı kil dolgulu, örneğin montmorillonit, sürekli ve < 5 mm'den az kalınlıkta), Ja değeri akıcı kil minerallerinin oranına ve su içeriğine bağlıdır	8-12	6-12
(c) Kayma sonucunda eklem yüzeylerinin teması sağlanamıyorsa;		
K-L-M. Parçalanmış, kırılmış kayada zon veya bantlar ve kil içeriği (kilin tanımlamaları için G-H ve J maddelerine bakın)	6-12	6-24
N. Siltli veya kumlu killi, yumuşamayan az kil sürtünmeli zon veya bantlar	5.0	----
O. Kalın, sürekli zonlar veya kil bantları (bkn G-H-J)	10-13	
	veya	13-24 6-24
• <u>Ekleme Su Azaltma Faktörü</u>	(Jw)	$\sim \text{Su Basıncı (kg/cm}^2\text{)}$
A. Kuru kazılar ya da az su geliri. Örnek olarak lokal su geliri < 5lt/dk	1	< 1
B. Orta derecede su geliri ya da basıncı, eklem dolgusunun yıkanması	0.66	1-2.5
C. Yüksek su geliri veya basınç	0.5	2.5-10

D. Yüksek su geliri veya basınç, dolgunun tamamen yıkanması	0.33	2.5-10
E. Patlatma sonrası aşırı su geliri, zamanla azalıyor	0.2-0.1	> 10
F. Patlatma sonrası aşırı su geliri, zamanla azalmıyor	0.1-0.05	> 10

Not: C ile F arasındaki faktörler kaba tahminlerdir, eğer drenaj ölçümleri yapılıyorsa Jw değeri arttırılmalıdır. Buzlanmadan kaynaklanan özel durumlar dikkate alınmamıştır

• Gerilme Azaltım Faktörü (SRF)

(a) Kazıyı kesen zayıflık zonları tünel kazısı sonrası gevşemelere neden olabilirse;

A. Birden çok zayıflık zonu, kil veya kimyasal ayrışma sonucu ayrışmış kaya içerir, herhangi bir derinlikte çok gevşek kaya	10
B. Tekil zayıflık zonu, kil veya kimyasal olarak ayrışmış kaya içermektedir (kazı derinliği < 50 m)	5
C. Tekil zayıflık zonu, kil veya kimyasal olarak ayrışmış kaya içermektedir (kazı derinliği > 50 m)	2.5
D. Birden çok zayıflık zonu, kil içermeyen kaya, herhangi derinlikte gevşek çevre kayacı	7.5
E. Tekil zayıflık zonu, kil içermiyor, kazı derinliği < 50 m	5
F. Tekil zayıflık zonu, kil içermiyor, kazı derinliği > 50 m	2.5
G. Gevşek, açık eklemler, aşırı çatlaklı, küp şeker görünümü	5

Not: belirgin zayıflık zonlarında eğer bölgeler kazı alanına etki ediyor fakat alanı kesmiyorsa SRF değerini %25–50 oranında azaltılır.

(b) Sağlam kayada kaya gerilme problemleri

	σ_c / σ_1	σ_t / σ_1	(SRF)
H. Düşük gerilme, yüzeye yakın	> 200	> 13	2.5

J. Orta derecede gerilme	200–10	13–0.66	1.0
K. Yüksek gerilme, sıkı yapı (stabilite sağlanabilmekte, genelde duvarlarda gevşemeler olmakta)	10-5	0.66-0.33	0.5-2
L. Kavlaklanma (masif kaya)	5-2.5	0.33-0.16	5-10
M. Aşırı kaya patlaması (masif kaya)	< 2.5	< 0.16	10-20

Not: Aşırı anizotropik gerilme koşullarında (eğer ölçüldüyse), $5 \leq \sigma_3 / \sigma_1 \leq 10$ ise σ_c ve σ_t değerlerinin 0.8 katını alın. Eğer ölçülen değer 10'dan büyükse bu durumda 0.6 katını alın. (σ_c basınç dayanımı, σ_t çekme dayanımı, σ_3 ve σ_1 ise üç eksenli gerilme durumunda majör ve minör gerilme değerleridir).

eğer tünel derinliği, genişliğinden de az ise SRF değerini 2.5'den 5'e kadar arttırılır.

(c) Yüksek gerilme koşulları altında sıkışan kayada plastikleşmeye bağlı akma varsa

N. Yumuşak kayada kaya basıncı	5-10
O. Yüksek oranda sıkışma	10-20
P. Yumuşak kayada akma	5-10
R. Yüksek oranda akma	10-15

Ek Notlar: Q sınıflamasına ait puanlama yaparken aşağıdaki konulara da dikkat edilmelidir.

1. Eğer sondaj yapılamamışsa, RQD değeri $RQD = 115 - 3.3 J_v$ değerinden de hesaplanabilir. J_v birim metreküp kayada toplam eklem sayısıdır. $J_v < 4.5$ için $RQD = 100$ 'dür.
2. J_n değeri foliasyon, şistozite, klivaj gibi etkenlerden değişecektir. Birbirine paralel olarak gelişmiş bu tarz yapılar tek bir yapı gibi değerlendirilmelidir. Eğer sadece birkaç eklem varsa veya karotta bu yapılardan ötürü kırılmalar var ise bunları düzensiz eklemler olarak değerlendirmek daha uygun olacaktır.

3. Jr ve Ja değerleri (kesme dayanımını temsilen) en zayıf eklem bölgesi için veya kil içeren süreksizlikte değerlendirilmelidir.
4. Eğer bir kaya kil içeriyorsa, SRF değeri gevşeyen kesimler için değerlendirilmelidir.

4.6.3 RMR

RMR (Rock Mass Rating) Güney Afrika'da 1973 yılında Bieniawski tarafından geliştirilip 1973, 1974, 1976, 1979, 1988 ve 1989 yıllarında yenilenerek günümüzde kullanılan şeklini almıştır.

Tablo 4.8'de RMR değerlerine karşılık gelen kaya kaliteleri gösterilmiştir.

Tablo 4.8: RMR Sınıflamasına Göre Kaya Kalite Değerleri

RMR	Kaya Kalitesi
< 20	Çok zayıf kaya
21 - 40	Zayıf kaya
41 - 60	Orta kalitede kaya
61 - 80	İyi kaya
81 - 100	Çok iyi kaya

RMR için kaya kalitesinin hesaplanması tek eksenli basınç dayanımı, RQD, eklem sıklığı, eklem durumu, yeraltı suyu gibi özellikler kullanılmaktadır. Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11'de RMR sınıflaması için kullanılabilecek abaklar gösterilmiştir.

Hesaplanan Q değerine karşılık RMR değeri de aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilmektedir (**Bieniawski, 1984**).

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (4.7)$$

Tablo 4.9: RMR Sınıflamasında Derecelendirme

1	Sağlam kayanın mukavemeti	Uç-yük mukavemet indeksi	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Tek eksenli basınç dayanımı deneyine göre		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	1-3 Mpa
	Derecelendirme		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		%90-100	%75-90	%50-75	%25-50	<%25		
	Derecelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklem sıklığı		>3m	1-3m	0.3-1m	50-300m	<50mm		
	Derecelendirme		30	25	20	10	5		
4	Eklem durumu		Çok kaba yüzey, sürekli değil ayrılma yok eklemli sert kaya	Az kaba yüzeyler <1mm açıklıklı Eklemli sert kaya	Az kaba yüzeyler <1 mm açıklıklı Eklemli yumuşak kaya	Sürtünme izli yüzey veya fay kili<5mm veya 1-5mm açık eklemli sürekli eklemli	Yumuşak fay kili>5mm kalın veya açık eklemli >5mm sürekli eklemli		
	Derecelendirme		25	20	12	6	0		
5	Yeraltı suyu	Tünelin 10m'lik kısmından gelen su		Yok	<25 litre/dak.	25-125 litre/dak	>125 litre/dak		
		Oran	Eklemdeki su basıncı	0	0.0-0.2	0.2-0.5	>0.5		
			Ana asal gerilme						
		Genel koşullar		Tamamen kuru	Yalnızca nemli (kırıklardaki su)	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri		
	Derecelendirme		10		7	4	0		

Tablo 4.10: RMR Sınıflamasında Eklem Yönelimine Göre Düzeltme

Eklemelerin Doğrultu ve Eğim Yönleri		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun değil
Dereceleme	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

Tablo 4.11: RMR Sınıflamasında Tünelde Eklem ve Eğim Yönünün Etkisi

Doğrultu Tünel Eksenine Dik				Doğrultu Tünel Eksenine		Doğrultuya Bakılmaksızın
Eğim Yönünde İlerleme		Eğime dik Yönde İlerleme				
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 0°-20°
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil	Orta	Orta

4.6.4 Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri Kaya Kalite Sınıflamaları

Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri güzergahında gerçekleştirilen saha çalışmaları, mekanik sondaj çalışmaları ve İTÜ MJKM laboratuvarlarında sahadan alınan karotlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında Q-Barton ve RMR kaya kalite sınıflamaları yapılmıştır. Bu çalışmalar mühendislik jeolojisi kapsamında olup, kaya kalite sınıflamalarıyla tünellerde kullanılacak destek sistemleri belirlenebilmektedir. Q-Barton ve RMR kaya kalite sınıflamaları Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'te gösterilmiştir. Ayrıca mühendislik jeolojisi çalışmaları EK E1 ve EK E2'de sağ-sol tünel boy kesitlerinin altında yer alan mühendislik jeolojisi tablolarında gösterilmiştir. Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'te sarı dolgu rengi ile gösterilen bölümler işaretlediği ettiği sondajın tünel derinliğindeki özelliklerini göstermektedir.

Tablo 4.12: Q-Barton ve RMR kaya kalite sınıflamaları

Sondaj No	Derinlik	Litoloji	RQD %	Q-Barton						RMR	
				Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q		
KP-SK 3	11–20	Kumtaşı	25	6	1	0.75	1	5	1.11	42	Orta Kalite
	23–26	Kumtaşı	35	2	1	0.75	1	5	4.67	42	Orta Kalite
KP-SK 4	25–27	Silttaşı	50	2	1	0.75	1	2.5	13.33	47	Orta Kalite
	29–31	Silttaşı	50	2	0.5	0.75	1	2.5	6.67	46	Orta Kalite
KP-SK 5	29–34	Kumtaşı	20	9	0.5	1	1	5	0.22	23	Zayıf Kalite
	46–51	Silttaşı	25	4	0.5	0.75	1	2.5	1.67	27	Zayıf Kalite
	56–61	Kumtaşı	20	9	1	0.75	1	2.5	1.19	37	Zayıf Kalite
	65–70	Kumtaşı	15	9	0.5	0.75	1	2.5	0.44	25	Zayıf Kalite
KP-SK 6/A	50–51.2	Kumtaşı	30	4	0.5	0.75	1	5	1.00	28	Zayıf Kalite
	58–60	Silttaşı	55	4	1	0.75	1	2.5	7.33	46	Orta Kalite
	68–70	Kmt-Siltş	20	4	0.5	0.75	1	5	0.67	25	Zayıf Kalite
KP-SK 7	23–25	Kumtaşı	75	9	1	0.75	1	5	2.22	53	Orta Kalite
	26–28	Kumtaşı	75	4	0.5	0.75	1	5	2.50	53	Orta Kalite
KP-SK 8	36–38.5	Silttaşı	65	4	0.5	0.75	1	2.5	4.33	54	Orta Kalite
	45–47	Silttaşı	80	4	0.5	0.75	1	2.5	5.33	56	Orta Kalite
	53.6–55.8	Silttaşı	95	4	1	0.75	1	2.5	12.67	61	İyi Kalite
	63–68	Silttaşı	35	9	1	0.75	1	2.5	2.07	49	Orta Kalite
KP-SK 9	7.5–10	Silttaşı	45	9	1	1	0.66	5	0.66	42	Orta Kalite
	17–21.5	Silttaşı	40	9	1	1	0.66	5	0.59	44	Orta Kalite
	27–32	Kumtaşı	25	4	1	1	1	5	1.25	44	Orta Kalite

Tablo 4.13: RMR kaya kalite sınıflamaları

Sondaj No	Derinlik	Litoloji	Kayacın Dayanımı (MPa)	Derece.	RQD %	Derece.	Eklem Sıklığı Derecesi	Eklem Durumu Derecesi	Yeraltı Suyu Derecesi	Toplam	Kaya Kalitesi
KP-SK 3	11–20	Kumtaşı	22.1	2	25	8	5	20	7	42	Orta Kalite
	23–26	Kumtaşı	10.44	2	35	8	5	20	7	42	Orta Kalite
KP-SK 4	25–27	Silttaşı	14.3	2	50	13	5	20	7	47	Orta Kalite
	29–31	Silttaşı	48.4	4	50	13	5	20	7	49	Orta Kalite
KP-SK 5	29–34	Kumtaşı	13.15	2	20	3	5	6	7	23	Zayıf Kalite
	46–51	Silttaşı	3.9	1	25	8	5	6	7	27	Zayıf Kalite
	56–61	Kumtaşı	15	2	20	3	5	20	7	37	Zayıf Kalite
	65–70	Kumtaşı	28.25	4	15	3	5	6	7	25	Zayıf Kalite
KP-SK 6/A	50–51.2	Kumtaşı	19.3	2	30	8	5	6	7	28	Zayıf Kalite
	58–60	Silttaşı	9.6	1	55	13	5	20	7	46	Orta Kalite
	68–70	Kmt-Siltş	39.3	4	20	3	5	6	7	25	Zayıf Kalite
KP-SK 7	23–25	Kumtaşı	46.5	4	75	17	5	20	7	53	Orta Kalite
	26–28	Kumtaşı	28.2	4	75	17	5	20	7	53	Orta Kalite
KP-SK 8	36–38.5	Silttaşı	49.16	4	65	13	10	20	7	54	Orta Kalite
	45–47	Silttaşı	24.32	2	80	17	10	20	7	56	Orta Kalite
	53.6–55.8	Silttaşı	48.96	4	95	20	10	20	7	61	İyi Kalite
	63–68	Silttaşı	30.85	4	35	8	10	20	7	49	Orta Kalite
KP-SK 9	7.5–10	Silttaşı	12.8	2	45	8	5	20	7	42	Orta Kalite
	17–21.5	Silttaşı	26.65	4	40	8	5	20	7	44	Orta Kalite
	27–32	Kumtaşı	25.7	4	25	8	5	20	7	44	Orta Kalite

4.7 Kağıthane-Piyalepaşa Tünellerinin Homojen Bölgelendirilmesi

Tünel güzergahı jeoloji veya mühendislik jeolojisi ve jeomorfolojisi açısından kendi içerisinde benzer davranışlar ve özellikler gösteren bölgelere ayrılabilir. Homojen bölgelendirme olarak tanımlanan bu çalışma ile yapım sırasında alınması gereken önlemler kazı çalışmaları öncesinde hazırlanan ayrıntılı mühendislik jeolojisi ön etüdü ile tariflenebilmektedir. Bu bölgeler kazı ve destekleme işlemleri açısından önemli değişimler gerektirmeyen ve risk açısından benzerlik gösteren kesimlerdir. Homojen bölgelendirme yapılırken kesimler; zemin-kaya kökeni, türü, dokanak sınırları, yeraltı su seviyesi, zemin kayaç özellikleri, niteliği, niceliği, süreksizlikler, ayrışma durumu, kaya kalitesi, porozite-geçirimsizlik durumu, kayacın erime-kabarma-şişme özellikleri, jeomekanik özellikler, kazılabilirlik, delinebilirlik, patlatılabilirlik özellikleri, güzergah morfolojisi ile yeraltı kaya yapısı ilişkisi (sığ-derin-çok derin tünel, portal bölgesi, yamaç tüneli, vadi-akarsu altında yer alan tünel, heyelan sahası vb) gibi özellikler dikkate alınarak ayrılırlar. EK E1, EK E2’de ve Tablo 4.14’de güzergahtaki homojen bölgeler ve jeomekanik, jeolojik, jeomorfolojik özellikleri gösterilmiştir. P bölgesi sığ örtü kalınlığı, ayrışmanın tünel güzergahına göre biraz daha etkin olduğu, RMR’a göre orta kalitede Grovak, kumtaşı-silttaşı ardalananması ve az oranda silttaşı tabakalarının gözlemlendiği homojen bölgedir. A, B ve C homojen bölgeleri sırasıyla RMR kaya kalite sınıflamasına göre iyi kalite, orta kalite ve zayıf kalite kayaları temsil etmektedir. Yapılan bu sınıflamadan yola çıkarak istenildiğinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (YAY-NATM) için yapılan kaya destekleme sınıflarına da (Önorm B 2203) geçiş yapılması ve şartnamelerde tariflenmiş destekleme elemanlarının tespiti de mümkün olabilmektedir.

Tablo 4.14:Homojen bölgelerin özellikleri

Homojen Bölgeler	RQD %	Q-Barton	RMR	Litoloji	E (kg/cm²)	γ_k (gr/cm³)	γ_d (gr/cm³)	n(%)	S_a(%)	$\phi(^{\circ})$	c (kg/cm²)	Örtü Kalınlığı
P(Portal)	25–40	0.63–1.1	Orta Kalite	Grovak Kumtaşı Silttaşı Ardalanması Silttaşı	7354–13751	2.62–2.66	2.67–2.68	1.81–2.65	0.68–0.9	37–55	0.9–0.95	Sığ
A	80–95	12.67	İyi Kalite	Grovak Silttaşı	3063.6	2.64–2.75	2.77	1.34	0.48	46	3.2	Derin
B	18–75	2.36–10	Orta Kalite	Grovak Kumtaşı Silttaşı Ardalanması Silttaşı	15041	2.24–2.67	2.66–2.77	1.03–4.09	1.04–4.27	44–58	1.25–1.4	Sığ-Orta Derinlik
C	20–25	0.67–1.43	Zayıf Kalite	Grovak Kumtaşı Silttaşı Ardalanması Silttaşı	9599.8–11492	2.63–2.67	2.69–2.72	1.41–3.98	1.51–2.97	38	1.55–2,2	Derin

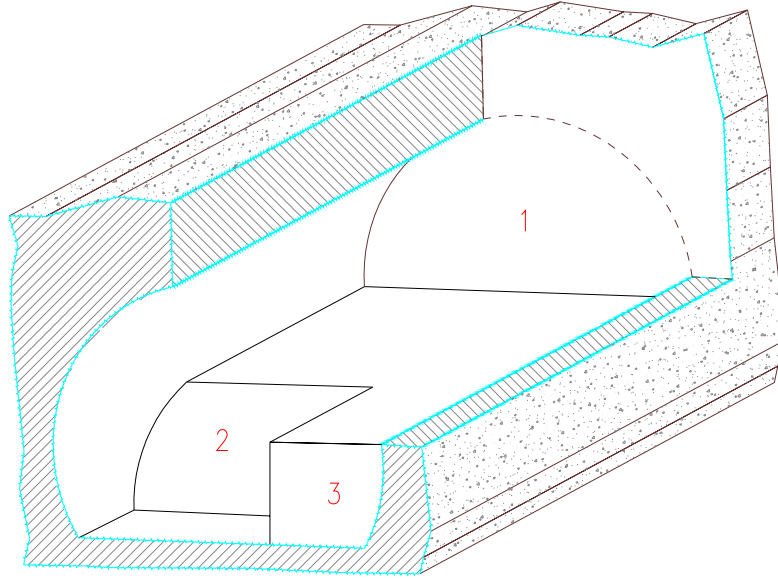
4.8 Tünel Aynası Mühendislik Jeolojisi ve Tünel Düzeyi Haritası Çalışmaları

Kağıthane-Piyalepaşa Tünellerinin sol tüpte, aynada gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında Km 0+360.9–0+499.5 arasında 28 adet ayna jeolojisi haritası alınmıştır. Bu ayna jeolojisi haritaları ile 1/100 ölçekli Tünel Düzeyi Haritası(EK-F) çizilmiştir. Tünel düzeyi haritasında 15 adet fay ve bir adet senklinal tespit edilmiştir. Bölgenin aşırı kırıklı, falı ve kıvrımlı olduğu bölgenin genel jeolojisi ve mühendislik jeolojisi çalışmalarında özetlenmiştir. Ayrıca sol tüp KM 0+475.4'te sol tabanda aynada gözlenen iki adet K70D, 65KB ve BD, 65K doğrultu ve yönelimli fay nedeni ile oluşan ezik ve kırıklı zon kazı sırasında sökülüştür. Ayrıca Sol tüp KM 0+486.2'de aynada gözlenen doğrultu ve eğimleri K10B, 70GB ve K5B, 60KD olan iki adet fayın oluşturduğu zayıf ve aşırı kırıklı bölgenin üst yarı kazısı gerçekleştirilirken tavanda aşırı sökülme sebepleri olduğu gözlenmiştir. Litolojik olarak mühendislik jeolojisi boy kesitleri hazırlanırken (EK-E1 ve EK-E2) boy kesitlerde Km 0+360.9–0+499.5 arasında silttaşı tabakalarının hakim olduğu gözlenirken Tünel Düzeyi Haritası'nda bölgede Silttaşı birimi ile birlikte kumtaşı-silttaşı aralanması da gözlenmiştir. Tünel güzergahının büyük bir bölümünün yerleşim yeri olması sonucunda bölgede yüzeylenen mostra sayısının az olmasından dolayı yer yer eksik kalan litolojik veriler nedeniyle ile tünel düzeyi haritası ile farklılıklar gösterebilmektedir. Ayrıca tünel düzeyi haritasında gözlenen tabaka doğrultu ve eğimlerinin yapısal unsurların etkisi ile değişimi yüzeyde gözlenemeyebilmektedir. Yüzeydeki ayrışma, derinliğe göre değişen deformasyon etkileri gibi nedenlerden dolayı tünel güzergahındaki jeolojik yapı ile yüzey ve sondaj çalışmalarından elde edilen veriler ile hazırlanan boy kesitler farklılıklar gösterebilmektedir. Ancak Km 0+360.9–0+499.5 için hazırlanan tünel düzeyi haritası ve Mühendislik Jeolojisi Boy Kesitleri mühendislik jeolojisi açısından benzer özellikler sergilemektedirler. Bu ise mühendislik jeolojisi araştırmalarının kazı sırasında tünel ilerleme yönü hakkında önemli ipuçları sağlayabildiğini kanıtlamaktadır.

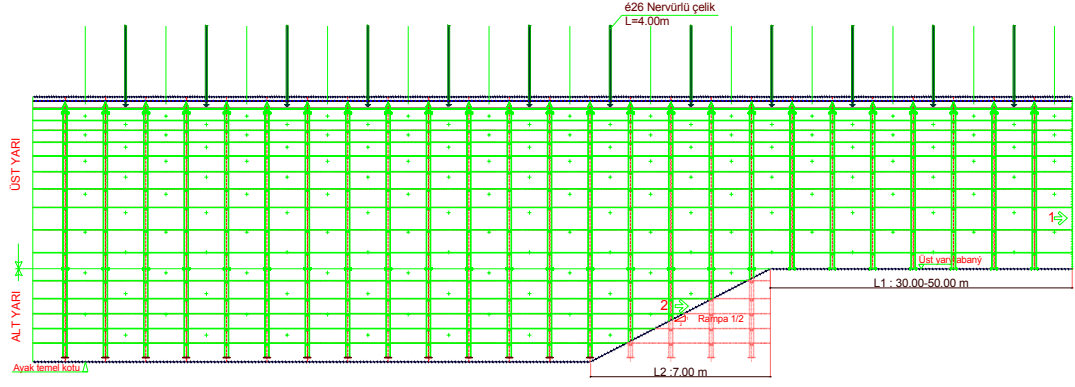
5. KAĞITHANE –PİYALEPAŞA TÜNELLERİNİN GEOTEKNİK DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Kazı İşlemleri

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından KİSKA-MAKYOL Adi Ortaklığı'na (KİSMAK) inşa ettirilen Kağıthane-Piyalepaşa tünellerinin kazı işlemleri iki yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden ilki kırıcı iş makineleri ile aynayı istenilen ilerleme boyu kadar taramaktır. İkinci metot ise delme-patlatma metodudur. Jumbo ve buna benzer delici iş makineleri ile ayna yüzeyinde açılan deliklerin patlayıcı lokum ve elektrik kapsülleri ile doldurulması ve magnezo ile değişik ateşleme aralıkları ile patlatılması işlemidir.



Şekil 5.1: Kazı ilerleme kesiti



Şekil 5.2: Tünel boy kesiti

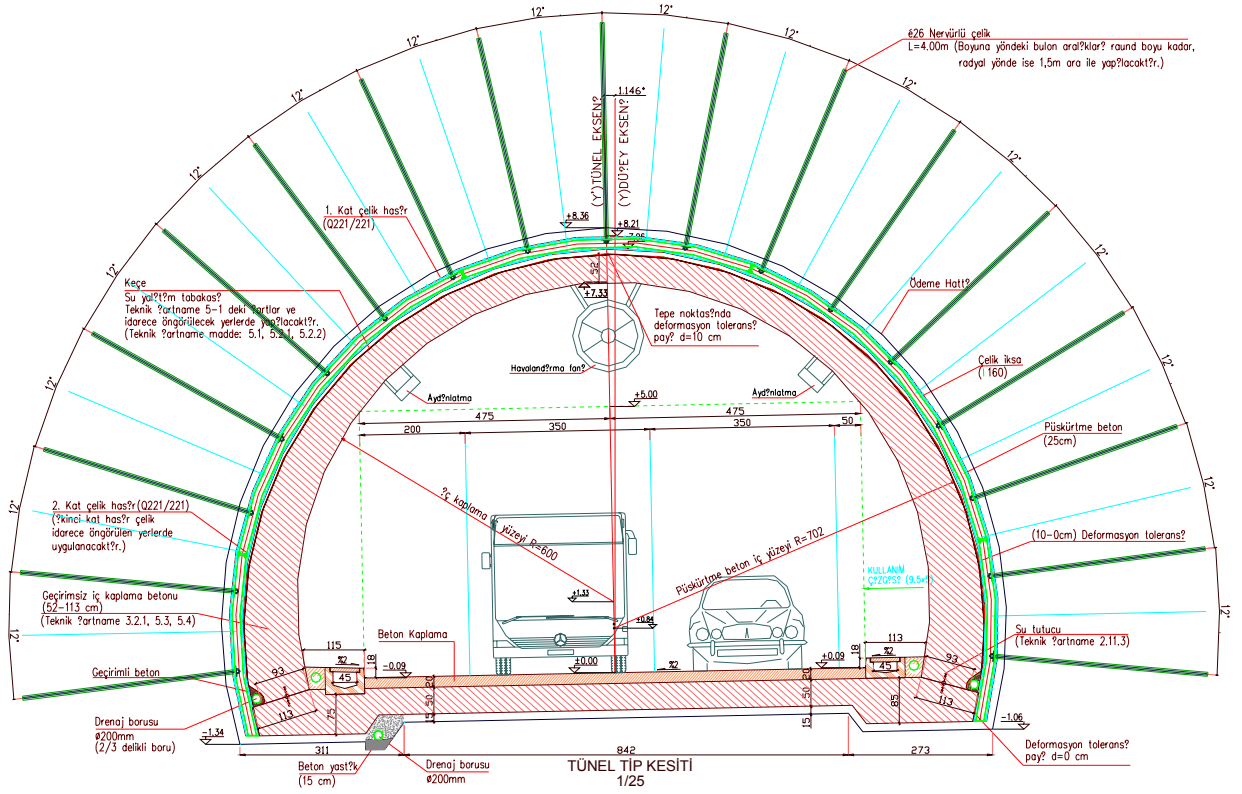
İki kazı metodunda da ilerleme 3 aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada üst yarı kazısı, ikinci aşamada altyarının yarısı ve son aşamada da alt yarıda kalan kısmın kazısı gerçekleştirilmektedir.

5.2 Destek Sistemleri

Kağıthane-Piyalepaşa tünellerinde 3 ayrı destek sistemi kullanılmaktadır. Bunlar standart tip kesit, geçiş bölgesi tip kesiti, portal kesimi tip kesiti dir.

5.2.1 Standart Tip Kesit

Kağıthane-Piyalepaşa Tünellerinin desteklenmesinde portal ve geçiş bölgeleri dışında en çok kullanılacak destek sistemi standart tip kesit Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Kazı işlemi üst ve alt yarı kazıları olmak üzere iki aşamalı gerçekleştirilmektedir. Üst yarı kazısı sonrasında temas kesme püskürtme betonu atılmakta ve Q221/221 39.30 m çelik hasır monte edilmektedir. 19.20 m uzunluğunda kafes iksa yerleştirildikten sonra 10 cm kalınlığında püskürtme beton atılıp ikinci kat çelik hasır monte edilir ve 13 adet 4 m boyunda, 13° aralıklarla, ϕ 26 nalvürlü çelikten bulon uygulanır. Bu işlemler alt yarı kazısı tamamlandıktan sonra aynı sırada alt yarıya uygulanmaktadır. Standart tip kesitte toplamda 17 adet bulon uygulanmaktadır. 6.81 m³ temel betonu atılarak halka tamamlanır. Bu işlemler sonrasında drenaj ve yalıtım kaplamaları monte edildikten sonra iç kaplama betonu uygulanır.



Şekil 5.4: Geçiş Bölgesi Tip Kesit

5.2.3 Portal Kesimi Tip Kesit

Kağıthane T1 Sol Kuzey: 0+105.00 – 0+139.65, Kağıthane T2 Sağ Güney: 0+105.00–0+125.00, Piyalepaşa T1 Sol Kuzey: 1+611.50–1+581.00, Piyalepaşa T2 Sağ Güney: 1+622.00–1+602.00 portal kesimlerinde kullanılan Şekil 5.5'teki kesit Kağıthane-Piyalepaşa Tüneli giriş-çıkış portallerinin sorunsuz bir şekilde imalatı için tasarlanmıştır. Standart Tip kesite göre daha geniş çaplı bir kazı sınırı olan bu kesitte üst yarının kazısını takiben temas kesme püskürtme betonu atılmakta ve Q221/221 çelik hasır monte edilmektedir. I160 çelik iksa yerleştirildikten sonra 30cm kalınlığında püskürtme beton atılıp ikinci kat çelik hasır monte edilir ve 13 adet 4 m boyunda, 12° aralıklarla, ϕ 26 naltvürlü çelikten bulon uygulanır. Bu işlemler alt yarı kazısı tamamlandıktan sonra aynı sırada alt yarıya uygulanmaktadır. Portal kesimi tip kesitte toplamda 17 adet bulon uygulanmaktadır. temel betonu atılarak halka tamamlanır. Bu işlemler sonrasında drenaj ve yalıtım kaplamaları monte edildikten sonra iç kaplama betonu uygulanır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

İTÜ Fen Bilimlerin Enstitüsü, uygulamalı jeoloji yüksek lisans programı kapsamında gerçekleştirilen bu tez çalışmasının amacı, başta tüneller olmak üzere, yeraltı kaya yapılarının projelendirilmesi sırasında büyük önem taşıyan mühendislik jeolojisi çalışmalarının irdelenmesi ve bu çalışmaların Kağıthane-Piyalepaşa tüneline uygulanmasıdır.

Bir tünelin yapımına başlamadan önce gerçekleştirilen jeolojik ve mühendislik jeolojisi araştırmaları en genelden özele doğru sıralandığında, çalışmalar bölgenin jeolojik, stratigrafik, morfolojik ve tektonik olarak incelenmesi ile başlamaktadır. Güzergah boyunca yapılan saha jeolojisi, mekanik sondajlar, araştırma çukurları, jeofizik çalışmalar, hidrojeolojik araştırmalar, yerinde deney-ölçüm ve gözlemler gibi arazi çalışmaları ile sağlanan veriler bir arada değerlendirilmekte ve ilişkilendirilmektedir. Güzergahtan sağlanan kaya ve zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları ile kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri sayısal olarak tariflenmekte, yerinde (in-situ) dayanımları kestirilmektedir. Son aşamada ise tünel güzergahı kendi içerisinde kazı, destekleme, ortam davranışı ve risk yönünden benzer görülen kesimlere ayrılmaktadır. Tünel güzergahında bölgelendirme olarak da bilinen bu çalışma, projelendirme sırasında yapılacak olan geoteknik çalışmalara altlık oluşturacağı gibi, yapım sırasında saha mühendisine karşılaşacağı olası ortam ve kaya davranışı hakkında önceden fikir vereceği için yeraltı kaya yapısının denetimini de kolaylaştırmaktadır. Mühendislik jeolojisi çalışmaları bu ayrıntıda ve titizlikte yürütülmediği zamanlarda kaya yapısı çevresi ile ilişkilendirilememekte, davranışı anlaşılamamakta ve kazı sırasında ilerleme yönü yapımcı mühendis için her zaman bir sürpriz niteliğinde kalmaktadır. Tünel yönetimini olumsuz yönde etkileyecek bu eksiklik ise yetersiz önlemlerin alınmasına neden olmakta, sonucunda ise aşırı deplasmanlar ve göçükler ile karşılaşabilmektedir.

- Kağıthane-Piyalepaşa tünelleri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından inşa ettirilmekte olan çift tüplü karayolu tünelleridir. Toplam uzunluğu yaklaşık 3475 m olan tüneller 9 m çapında olup, tünellerin sahip olduğu en yüksek derinlik 67 m ile Okmeydanı kavşağında, en sığ derinlik ise 14 m ile Öztoprak mahallesindedir. Küçükköy tabakaları'nın hakim olduğu Trakya Formasyonu içerisinde yer alan tünel güzergahında alttan üste doğru türbidit, kumtaşı, silttaşı, şeyl, kiltası çamurtaşı, grovak, iri kumtaşı tabakaları bulunmaktadır. Grovak tabakaları genelde masif görünümlü, yüzeysel ayrışmaya uğramış, genellikle kalsit dolguludur. Benzer şekilde kumtaşı-silttaşı ardalanması da laminalı bir yapıdadır. Az çatlaklı bu birimde de çatlaklar kalsit dolguludur. Fayların etkili olduğu kesimlerde ise birimler aşırı kırıklı ve çatlaklı bir yapı kazanmış ve kıvrımlanmışlardır. Kimi yerlerde tabakalar diyabaz sokulumları ile kesilmiştir. Tünellerin kent içinde olması nedeni ile yoğun olan yapılaşma, yüzeyde mostra incelemesini sınırlamıştır. 26 noktada yakalanabilen mostralar incelenmiş, birimlerin doğrultu ve eğimleri ölçülmüştür. Çatlak ve kırıkların aralıklarının ve sürekliliklerinin ölçülmesine imkan tanıyan bu mostralar fotoğraflanmış, kimi noktalarda ezilme zonları tespit edilebilmiştir.
- Güzergah boyunca yer alan birimlerin türlerinin ve sınırlarının belirlenmesi amacıyla 10 adet mekanik sondaj yapılmıştır. Tez çalışmasının hassasiyeti için tüm sondajların delinmesi sırasında ilgili operatör ile birlikte çalışılmış, sağlanan karotlar yerinde loglanmış ve sandıklar fotoğraflanmıştır. Tünel güzergahından sağlanan boykesit üzerine işlenen bu sondajlar, mühendislik jeolojisi haritalarının oluşturulması sırasında en önemli veriyi sağlamıştır.
- Sondajlardan elde edilen karot örnekleri üzerinde İTÜ Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği laboratuvarında yapılan mekanik ve fiziksel deneyler tez çalışmasının diğer önemli bir aşamasını oluşturmuştur. Örnekler üzerinde yapılan 52 adet tek eksenli basınç dayanımı deneyi, 44 adet üç eksenli basınç dayanımı deneyi, yirmi dokuz adet çekme dayanımı deneyi ve fiziksel özelliklerin tayini deneyleri ile kayaçların türlerine, derinliklerine ve kilometrelerine bağlı olarak değişimi sınıflandırılabilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile Mohr zarfları çizilmiş ve içsel sürtünme açısı değerleri ile

kohezyonları hesaplanmıştır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar, stabilite analizlerinde doğrudan kullanılamayacağı için bu tür çalışmalara altık oluşturabilecek yerinde (in-situ) kaya dayanımları RocLab adlı yazılım kullanılarak hesaplanmıştır.

- Gerçekleştirilen tüm mühendislik jeolojisi çalışmalarının derlenmesi ile tünel güzergahı kaya kaliteleri bakımından sınıflandırılmıştır. Kaya kalite sınıflamaları kapsamında mekanik sondajlarda ölçülen RQD değerleri kullanılmış, Barton-Q ve Bieniawski-RMR sınıflamaları yapılmıştır. Tünel için yapılan bölgelendirme çalışmaları, mühendislik jeolojisi araştırmalarının sonuçlandırılmasını sağlamıştır. Gerek sahada yapılan tüm jeolojik çalışmalar, gerekse laboratuvar çalışmalarından sağlanan veriler derlenmiş, ilişkilendirilmiş ve Kağıthane-Piyalepaşa tünelinin 4 ana grupta sınıflandırılabilceğı belirlenmiştir. A, B, C ve P (Portal kesimleri) olarak adlandırılan bu kesimler, morfolojik özellikler bakımından, tünel açım yöntemi bakımından, kayaçların davranışları ve özellikleri açısından, yapım riski ve hızı açısından kendi içerisinde homojen kabul edilebilecek kesimlerdir. Yapılan bu sınıflamadan yola çıkarak istenildiğinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (YAY-NATM) için yapılan kaya destekleme sınıflarına da (Önorm B 2203) geçiş yapılması ve şartnamelerde tariflenmiş destekleme elemanlarının tespiti de mümkün olabilmektedir.
- Kağıthane-Piyalepaşa tünelinin mühendislik jeolojisi etüdünün yapım sırasında karşılaşılan koşullarla uyumunun irdelenmesi amacıyla tünelin bir bölümünden sağlanabilen tünel ayna kesitlerinin tünel düzeyi haritası da tez çalışması kapsamına alınmıştır. Mühendislik jeolojisi etüt çalışmaları tamamlandığında tünel imalatı yeni başlamış olduğı için tünel aynası verileri kısıtlı kalmıştır. Hazırlanan tünel düzeyi haritası, yapım öncesinde hazırlanan mühendislik jeolojisi haritaları ile karşılaştırıldığında, bunların birbirleri ile uyumlu oldukları görülebilmektedir. Bu ise mühendislik jeolojisi araştırmalarının kazı sırasında tünel ilerleme yönü hakkında önemli ipuçları sağlayabildiğini kanıtlamaktadır.
- Yapımı gerçekleştirilmiş olan kesimde herhangi bir deplasman sorunu ile karşılaşılmadığı ve deplasmanlar milimetre mertebelerinde kaldığı için

konverjans ölçümleri tez çalışmasına dahil edilmemiştir. Konverjans ölçümleri, tünelde beklenmeyen aşırı deplasmanlarla karşılaşılması durumunda alınacak önlemlerin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yönlendirme çalışmaları olarak bilinen bu çalışmalar sırasında tünel aynasından sağlanan tünel aynası verileri ile projelendirme sırasında yapılan mühendislik jeolojisi araştırmaları ilişkilendirilmekte, buradan sağlanan verilerden yola çıkarak sorunların nedenleri belirlenmektedir. Tez çalışması kapsamında hazırlanan mühendislik jeolojisi haritaları, yapım sırasında gelecekte karşılaşılabilecek olası bir sorunda önemli yönlendirmeler yapacaktır.

Sonuç olarak, yeraltı kaya yapılarının projelendirilmesi sırasında gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi araştırmaları, yapılacak olan yapının güvenliği, ekonomikliği ve hızlı bir şekilde tamamlanabilmesi için en önemli adım niteliğindedir. Tez çalışması, böyle bir araştırmada yapılması gerekenleri sırasıyla örneklendirmektedir. Ülkemizde gerçekleştirilen projelerde bilinen ve kullanılan bu çalışmaları derleyen tez çalışması, gelecekte yapılacak araştırmalar için bir kaynak niteliğindedir. “Projelendirme sırasında gerçekleştirilen geoteknik araştırmalar” ile “mühendislik jeolojisi ve geoteknik çalışmaların tünelden sağlanan veriler (ayna kesitleri, jeoteknik ölçümler vs) ile karşılaştırılması” konularında gelecekte yapılacak başka çalışmalar hazırlanan bu tezi tamamlayacak özellikte olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdüsselamoğlu, S.**,1963. İstanbul Boğazı Doğusunda Mostra Veren Paleozoyik Arazide Stratigrafik ve Paleontolojik Yeni Müşahedeler, *MTA Dergisi* **60**, 1-5.
- Abdüsselamoğlu, S.**, 1977. Geologic Map of Gebze Area(Kocaeli Peninsula), Turkey, *Sixth Colloquim on Geology of Agean region excursion guide*, Western Anatolian and Thrace, Üniv. Ege, İzmir, 25.
- Altınlı, İ. E.**, 1951. Kayışdağı Bölgesinin Jeolojisi, *İÜ Fen Fakültesi Mecmuası Seri : B*, Cilt :XVI, Sayı :2, İstanbul
- Arioğlu, E.**,1995. Kaya Mekaniği Ders Notları, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*, 1-3
- Barton, N.**, Oslo 1978. Recent Experiences with the Q-System of Tunnel Support Design, The Shear Strength of Rock and Rock Joints, The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practise, *Norwegian Geotechnical Institute*, 1-11
- Bieniawski, Z.T.**, 1984. Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling, *Balkema Publications*, 112-120
- Baykal, A. F. ve Kaya, O.**, 1963. İstanbul Bölgesinde Bulunan Karboniferin Genel Stratigrafisi, *MTA Dergisi* **41**, Ankara
- Girgin, C., Yüksel, A. ve Arioğlu, E.**, 1998. Tünellerde Püskürtme Betonun Mekanik Büyüklükleri ve Kalite-Kontrol İlkeleri, *4. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, s:135-146
- Hoek, E. and Brown E.T.** 1988. The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update. *Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp.* (ed. J.H. Curran), 31-38. Toronto: Civil Engineering Dept., University of Toronto.
- ISRM** 1981. International Society for Rock Mechanics

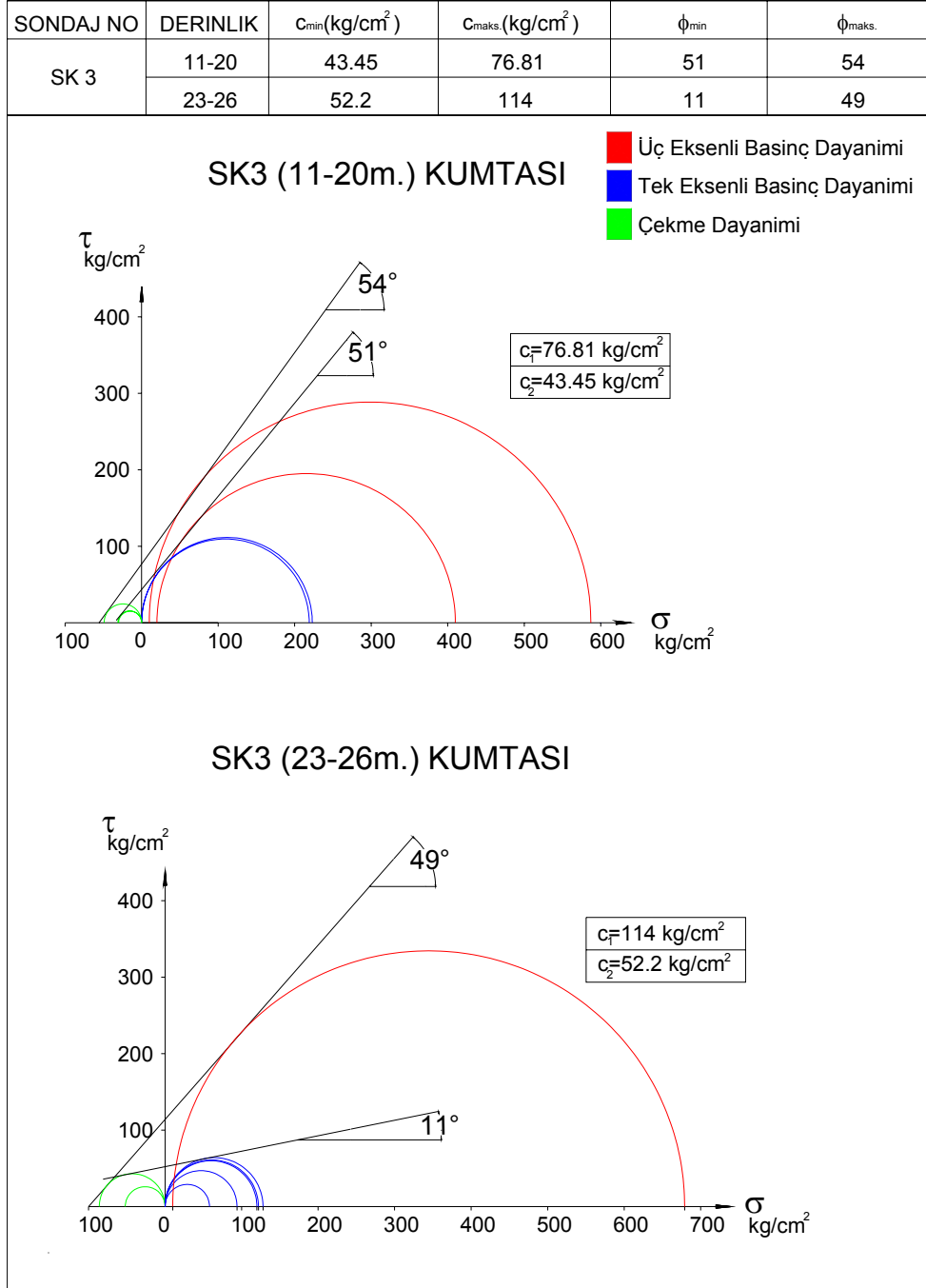
- Kaya, O ve Baykal, F.,** 1966. İstanbul Boğazı Kuzey Kesiminin Jeolojisi, *TJK Bült.* c.X, n.1-2, s.31-43
- Kaya, O.,** 1971. İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi, *Ege Üniversitesi, Doktora Tezi* Fen Fakültesi Jeoloji Kürsüsü, İzmir.
- Ketin, İ.,** 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Ketin, İ ve Güner, G.,**1989. İstanbul Bölgesinde Karbonifer Yaşlı Trakya Formasyonu'nun Yapısal Özelliği, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, **11**, 13-18
- Önal, M.,**1981. Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimenter Özellikleri, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Yer Bilimleri Fakültesi Jeoloji Bölümü, İstanbul
- Öztunalı, Ö. ve Satır, M.,** 1975. Çavuşpaşa kristalin karmaşığının petrografisi ve petrolojisi, *İÜ Fen Fak. Mecm.*, **40**, 12-19
- Peackelmenn, W.,** 1938. Neue Beitrage zur Kenntnis der Geologie, Palaeontologie und Petrographie der Umgegend von Konstantinopel, *Abh.d.Preuss Geol. Lands.* **186**, 1-202
- Penck, W.,** 1919. Grundzüge der Geologie des Bosporus Veröff. Ins.f.Meeresk, N.F.A.4, Berlin
- Seymen, İ.,** 1995. İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi.İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi(ed. Engin Meriç), s.1-21
- Şengör, A.M.C.,** 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia.*Geol.Soc.Am., Special Paper*, **195**, 1-82.
- Tchihatcheff, P, DE. ,**1864. Le Bosphore et Constantinople, P:442, Paris
- Vardar, M.,** 1982. Tünel Projelerinde Kaya Mekaniği Çalışmaları, *Kaya Mekaniği Bülteni* 1, Arkın Kitabevi, İstanbul.
- Vardar, M.,** 1999-2000. Kaya Yapıları Mekaniği Yüksek Lisans Ders Notları
- Yalçınlar, İ.,** 1951. İstanbul Civarının Paleozoik Arazisine Dair Yeni Müşahedeler, *T. Jeol. K.Bült. V. III*, **1**, 125–129, Ankara

Yavuz, V.,1983. Başlıca Tünel Açma Yöntemleri ve Kınık Tünelindeki Uygulamalar, *Lisans Tezi*, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Yılmaz, İ., 1977. Sancaktepe granitinin (Kocaeli Yarımadası) mutlak yaşı ve Jenezi, *TJK Bült.*, **10**, 17-21.

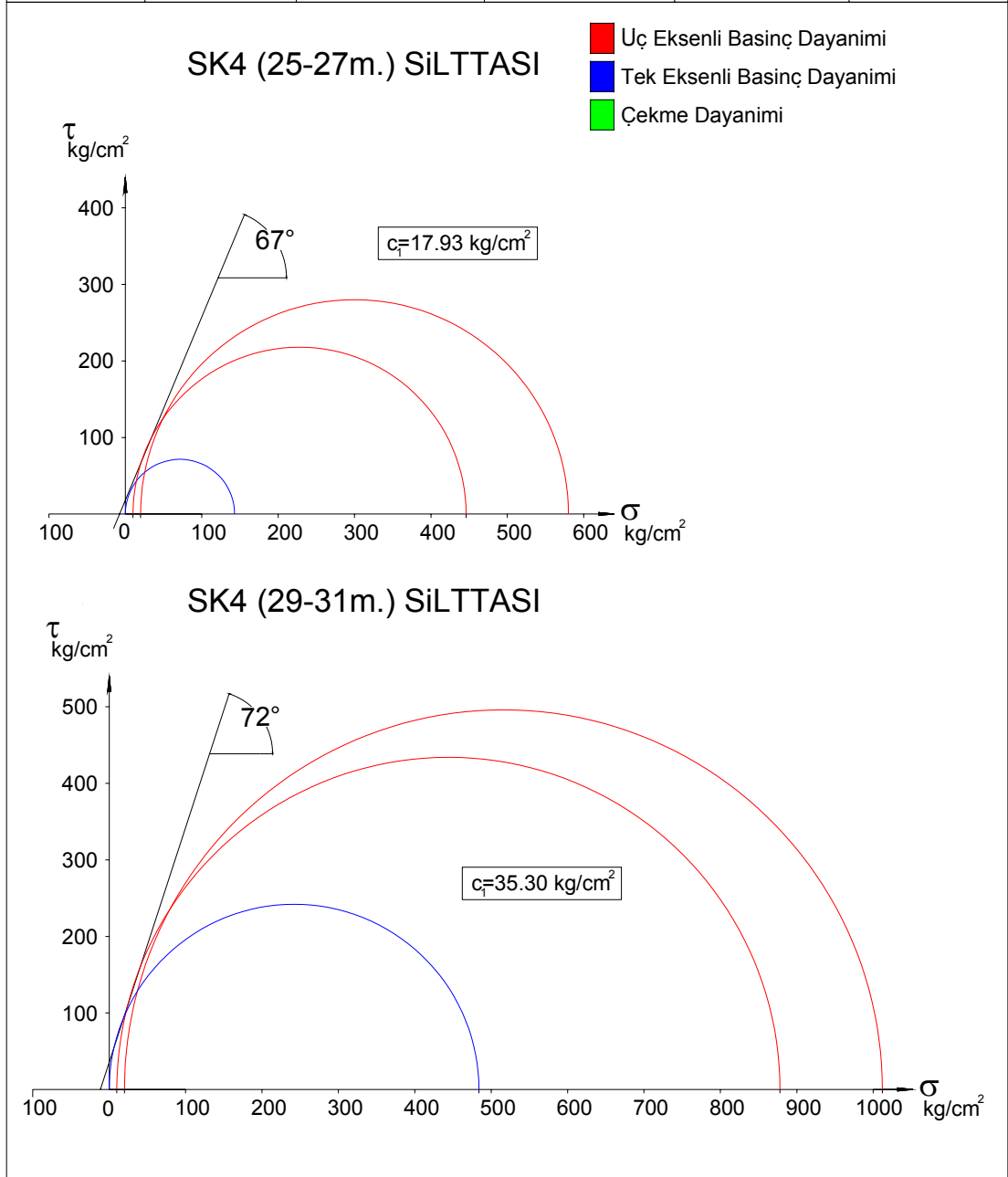
EKLER

EK A: Mohr Diyagramları



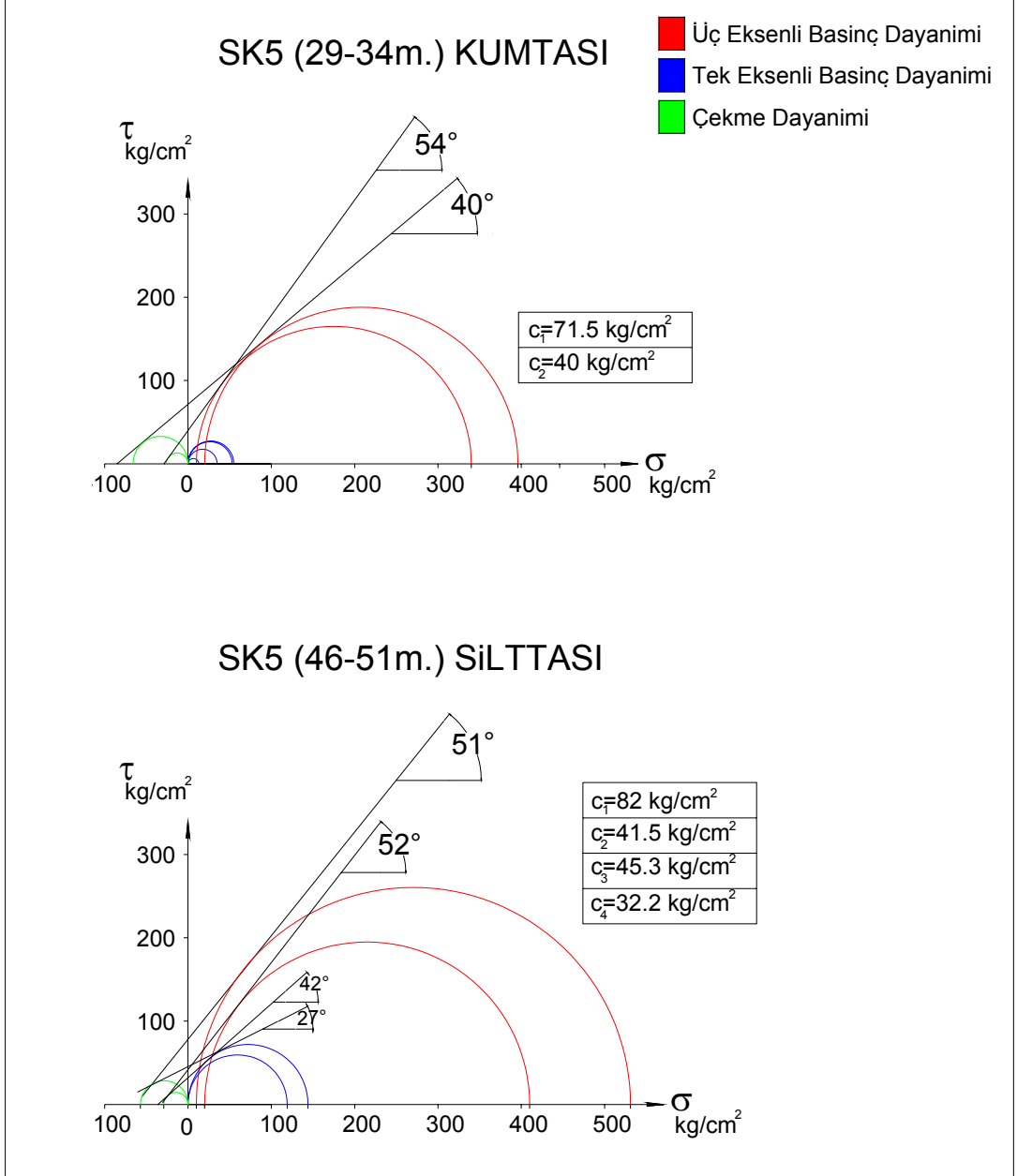
Şekil A.1: SK 3 sondajına ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

SONDAJ NO	DERINLIK	$c_{min} (kg/cm^2)$	$c_{maks.} (kg/cm^2)$	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 4	25-27	17.93	-	-	67
	29-31	35.30	-	-	72



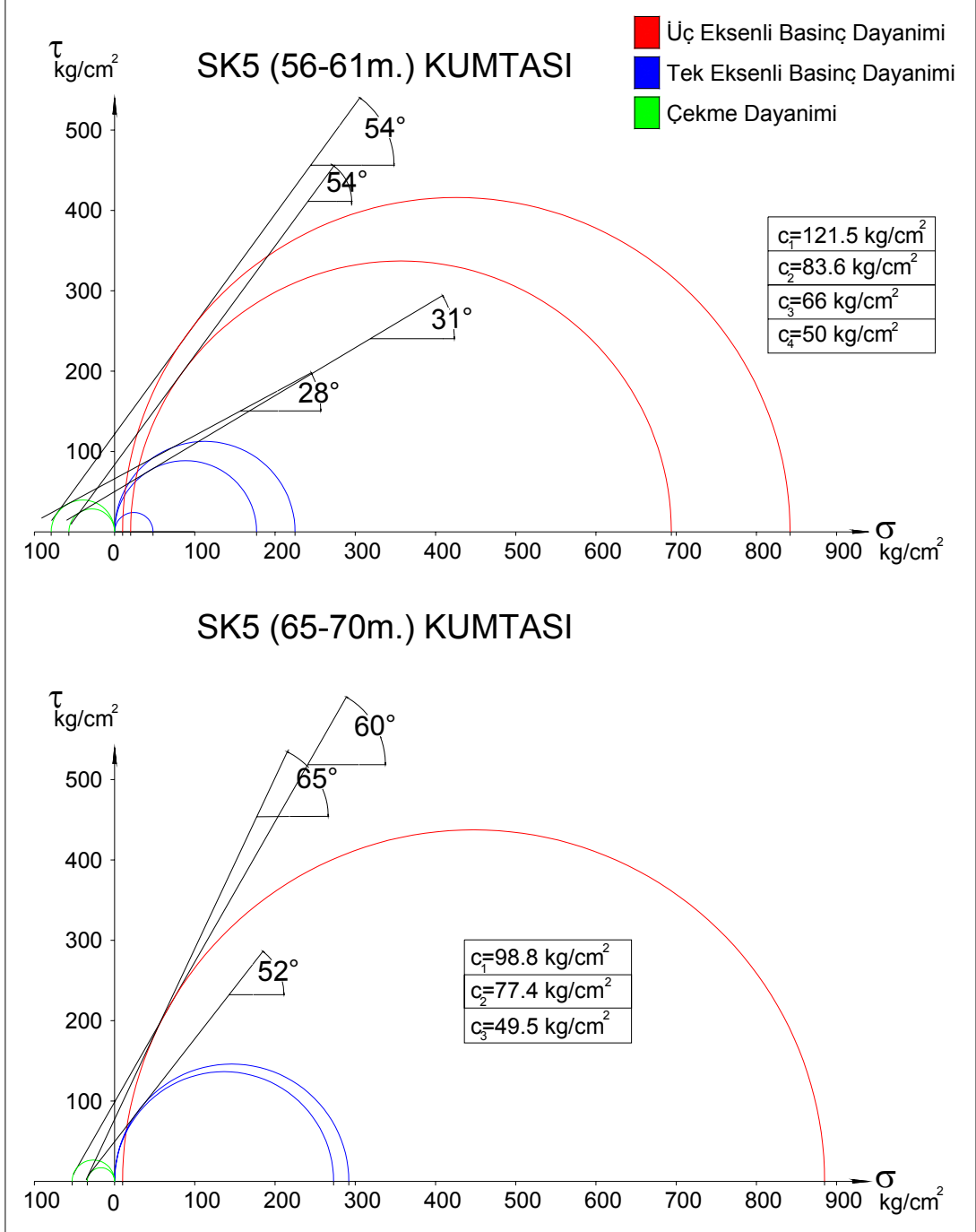
Şekil A.2: SK 4 sondajına ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

SONDAJ NO	DERINLIK	$c_{min}(kg/cm^2)$	$c_{maks.}(kg/cm^2)$	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 5	29-34	40	71.5	40	54
	46-51	32.2	82	27	52



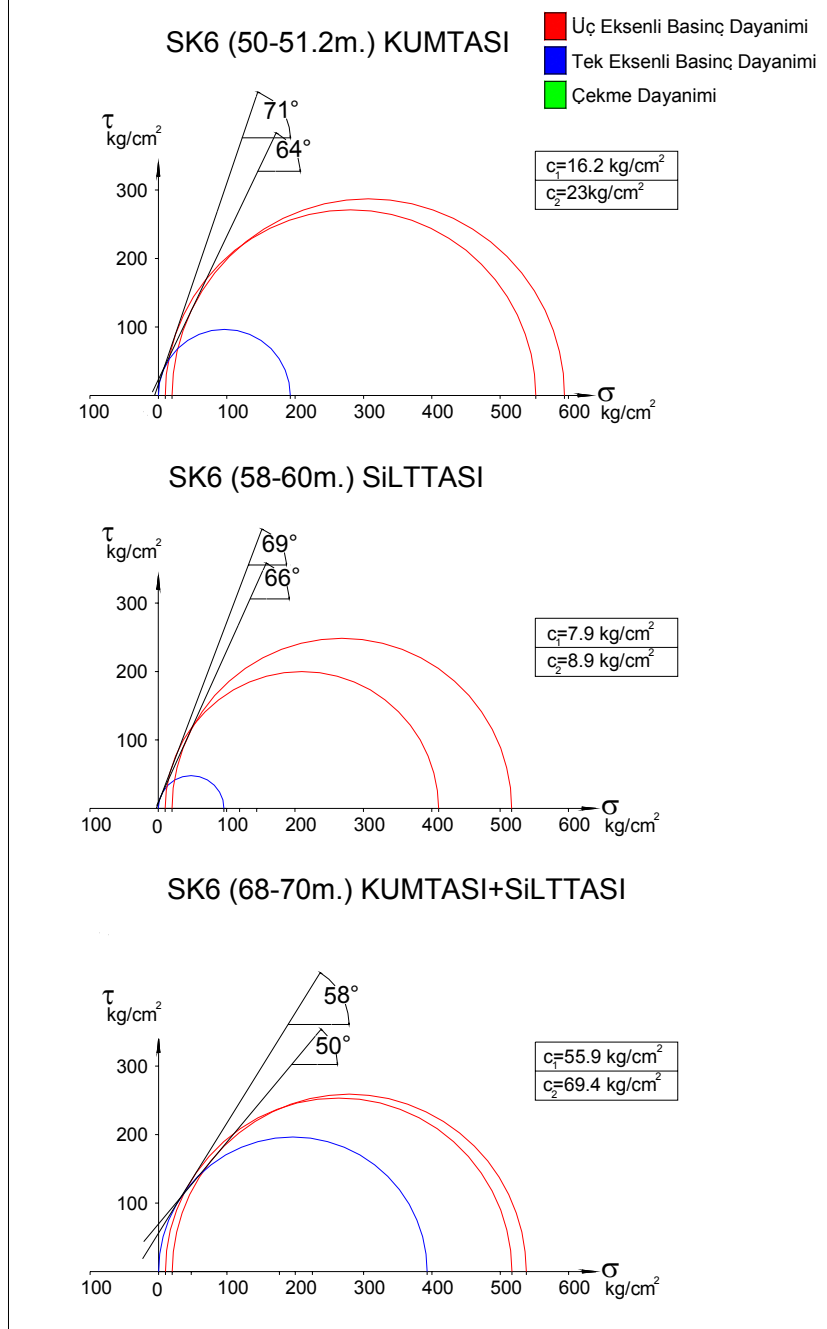
Şekil A.3: SK 5 sondajına (29-34 m, 46-51 m) ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

SONDAJ NO	DERINLIK	$c_{min}(kg/cm^2)$	$c_{maks.}(kg/cm^2)$	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 5	56-61	50	121.5	28	54
	65-70	49.50	98.8	52	65



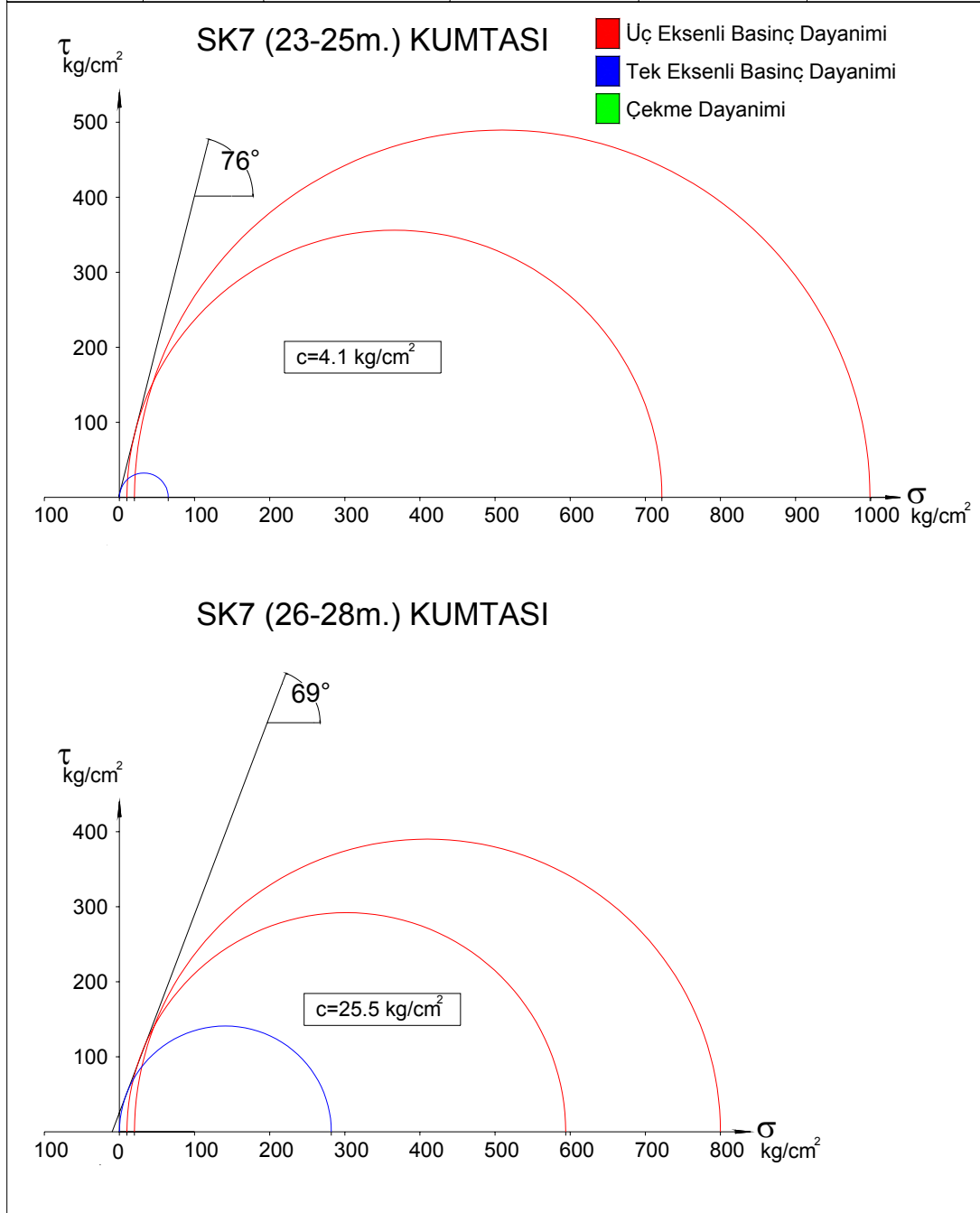
Şekil A.4: SK 5 sondajına (56-61 m, 65-70 m) ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

SONDAJ NO	DERINLIK	$c_{min}(kg/cm^2)$	$c_{maks.}(kg/cm^2)$	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 6	50-51.2	16.2	23	64	71
	58-60	7.9	8.9	66	69
	68-70	55.9	69.4	50	58



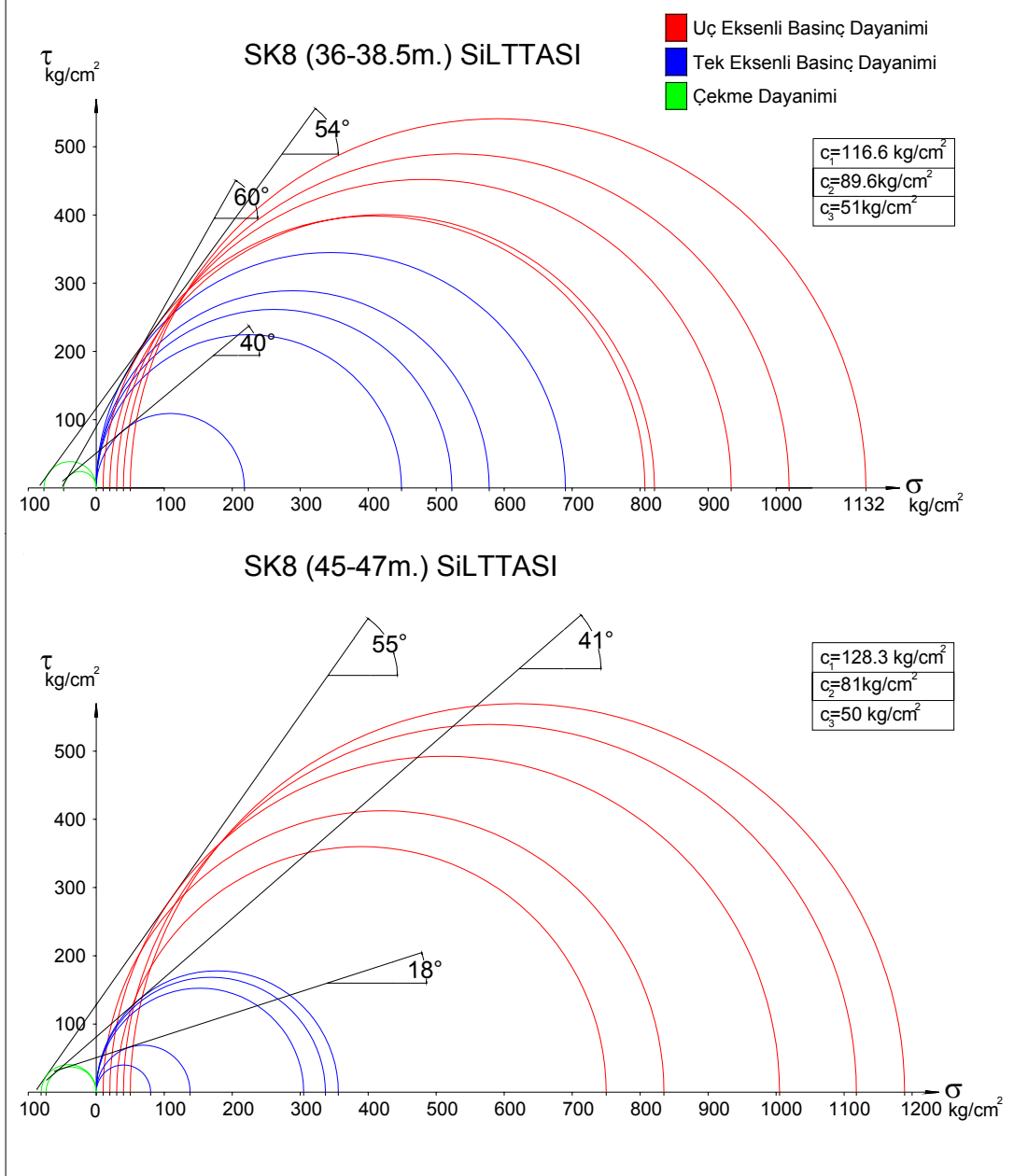
Şekil A.5: SK 6 sondajına ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

SONDAJ NO	DERINLIK	$c_{min}(kg/cm^2)$	$c_{maks.}(kg/cm^2)$	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 7	23-25	4.1	-	-	76
	26-28	25.5	-	-	69



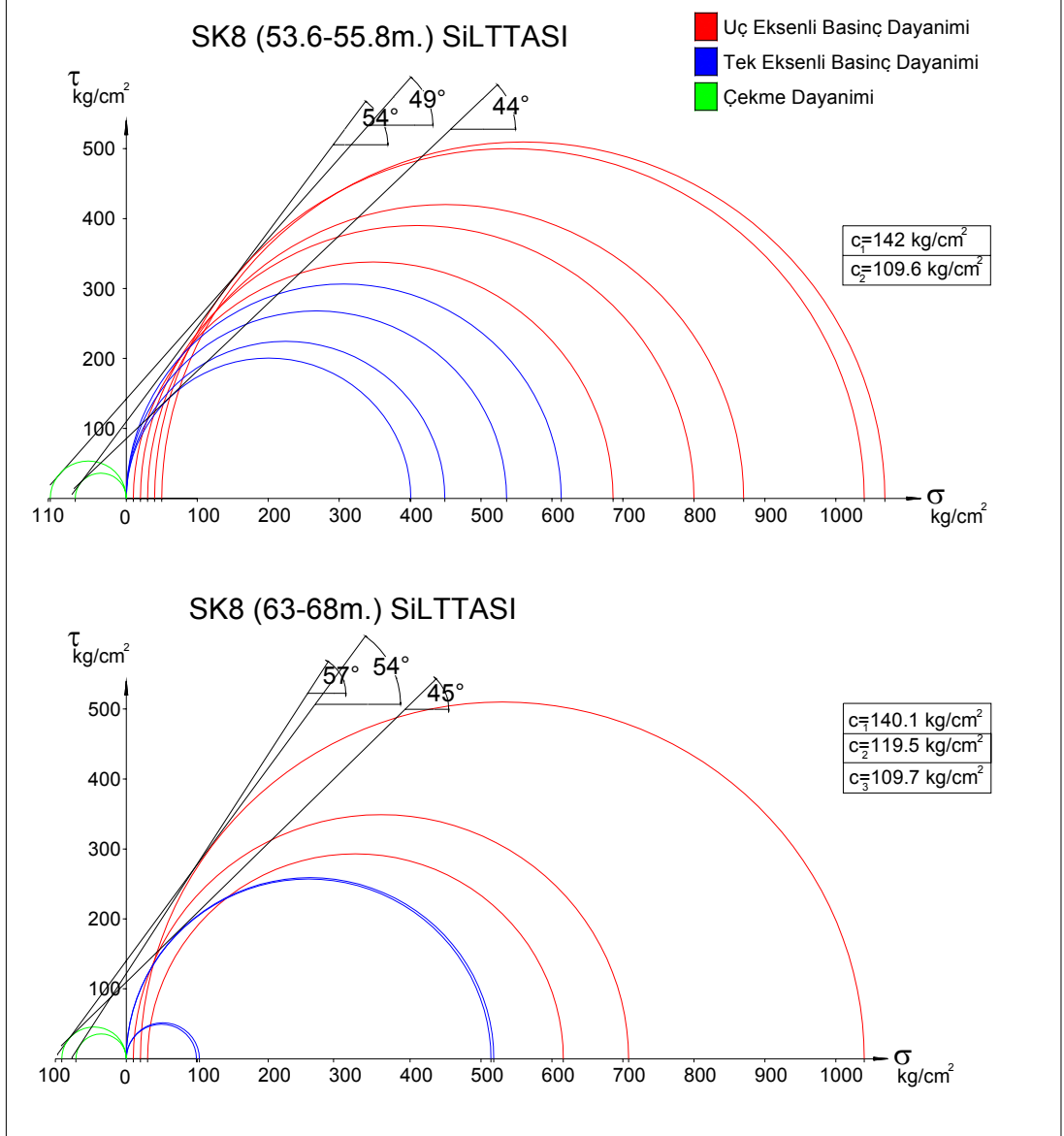
Şekil A.6: SK 7 sondajına ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

SONDAJ NO	DERINLIK	$c_{min}(kg/cm^2)$	$c_{maks}(kg/cm^2)$	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 8	36-38.5	51	116.6	40	60
	45-47	50	128.3	18	55



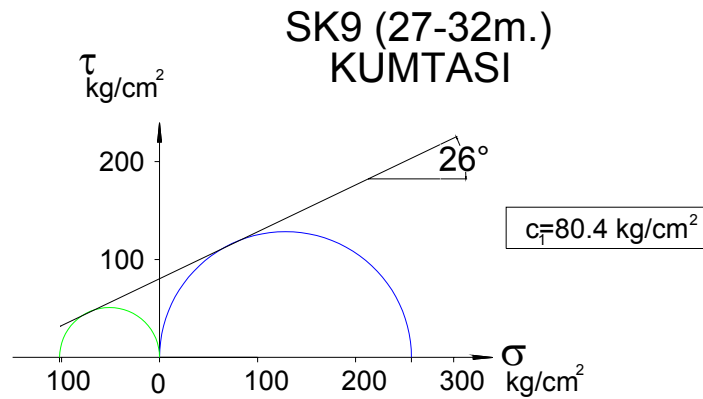
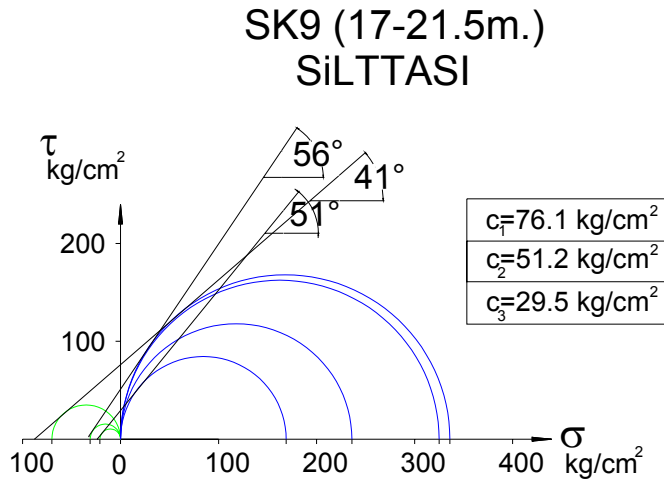
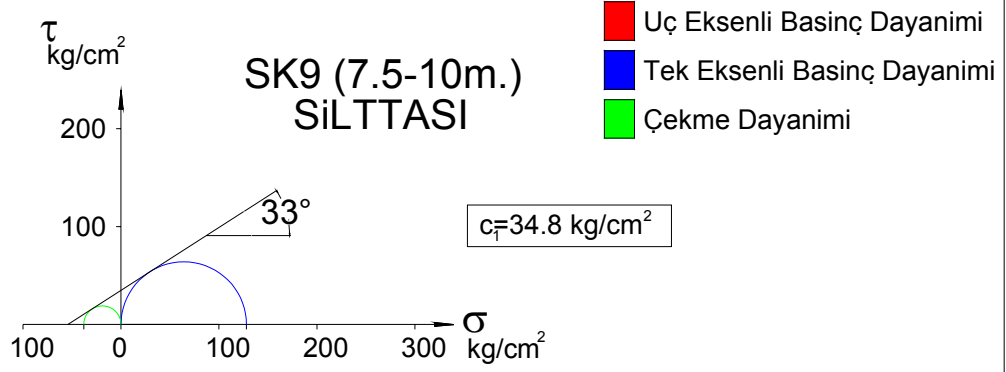
Şekil A.7: SK 8 sondajına (36-38 m, 45-47 m) ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

SONDAJ NO	DERINLIK	$c_{min}(kg/cm^2)$	$c_{maks}(kg/cm^2)$	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 8	53.6-55.8	109.6	142	44	54
	63-68	109.7	140.1	45	57



Şekil A.8: SK 8 sondajına (53.6-55.8 m, 63-68 m) ait Mohr Diagramı,
 $\phi(^{\circ})$, $c(kg/cm^2)$ değerleri

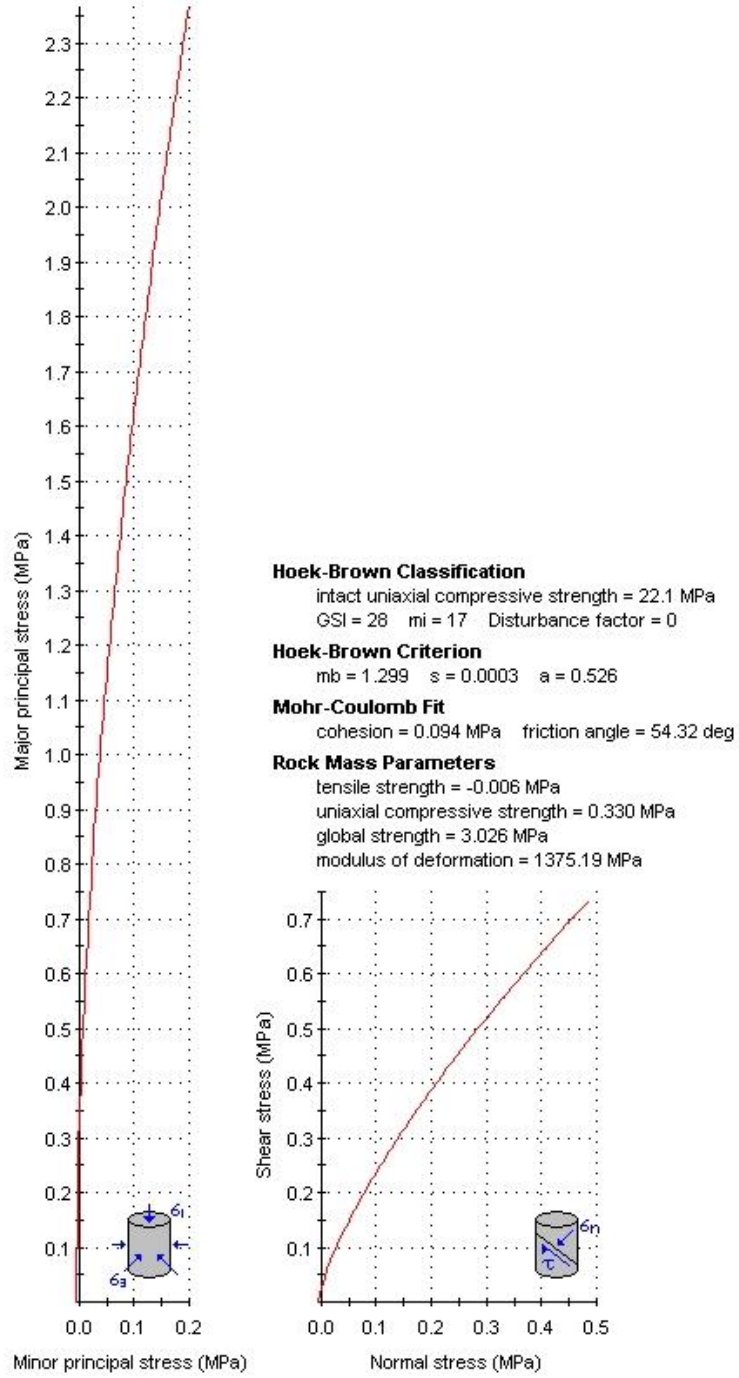
SONDAJ NO	DERINLIK	c_{min} (kg/cm ²)	$c_{maks.}$ (kg/cm ²)	ϕ_{min}	$\phi_{maks.}$
SK 9	7.5-10	-	34.8	33	-
	17-21.5	29.5	76.1	41	56
	27-32	-	80.4	26	-



Şekil A.9: SK 9 sondajına (53.6-55.8 m., 63-68 m.) ait Mohr Diagramı, $\phi(^{\circ})$, c (kg/cm²) değerleri

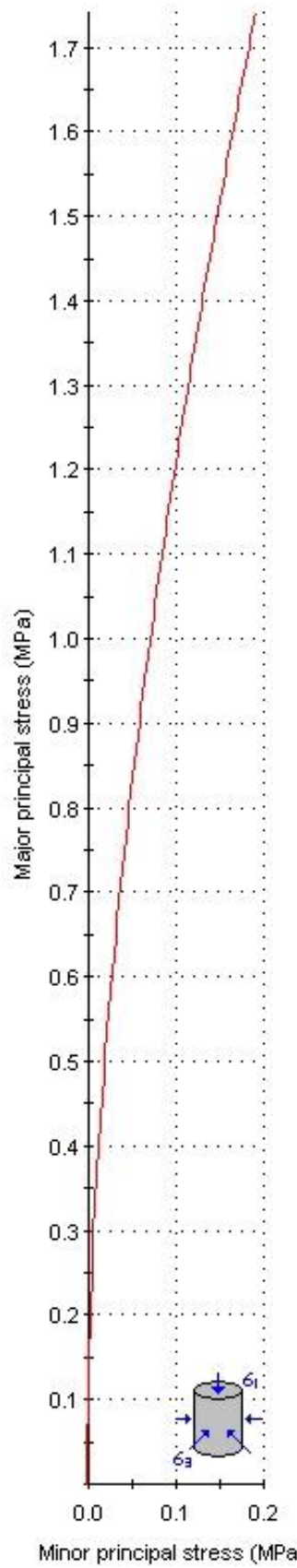
EK B: RockLab Analizleri

Analysis of Rock Strength using RocLab



Şekil B.1: SK-3 (11-20 m) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 10.44 MPa
 GSI = 30 $m_i = 17$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

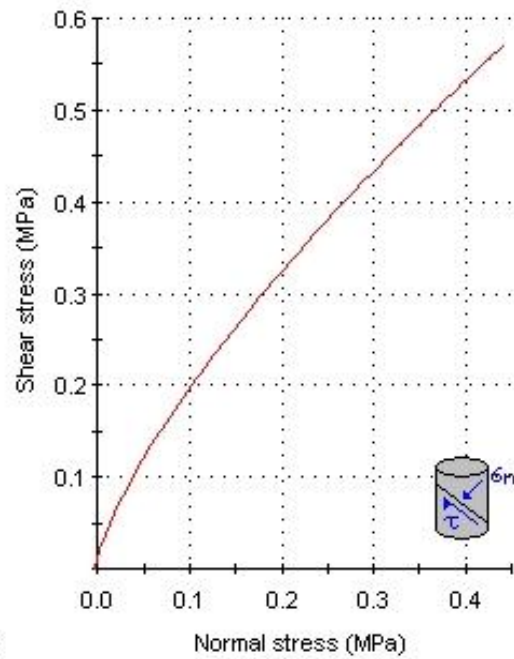
$m_b = 1.395$ $s = 0.0004$ $a = 0.522$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.074 MPa friction angle = 49.92 deg

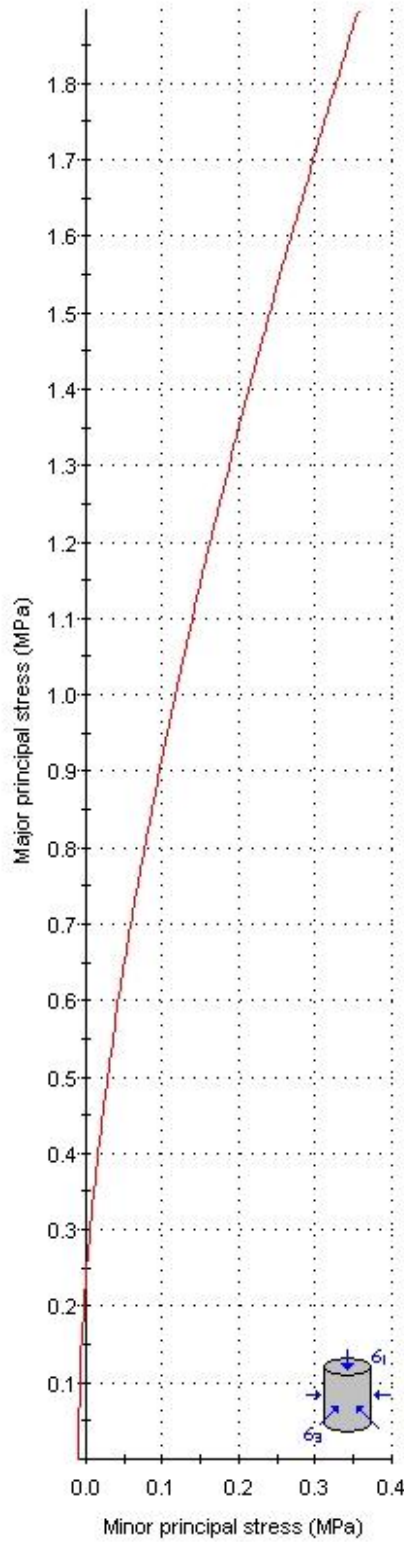
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.180 MPa
 global strength = 1.505 MPa
 modulus of deformation = 1644.89 MPa



Şekil B.2: SK-3 (23-26 m) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 14.3 MPa
GSI = 29 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

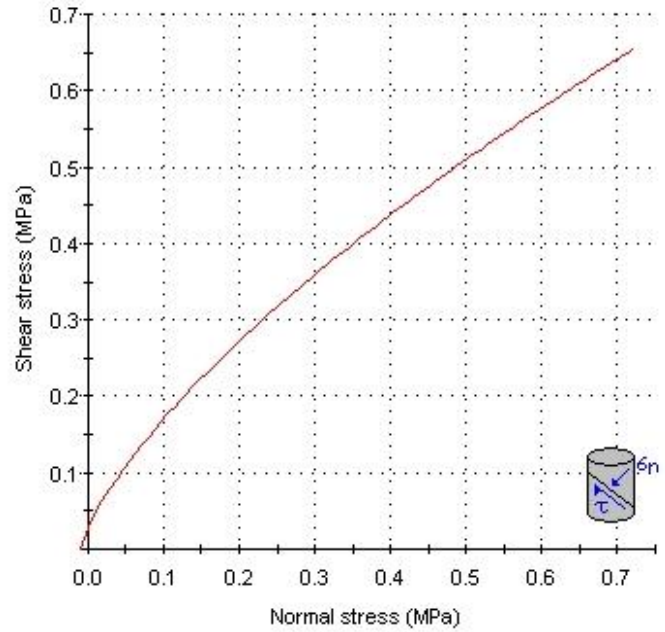
$m_b = 0.554$ $s = 0.0004$ $a = 0.524$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.098 MPa friction angle = 39.20 deg

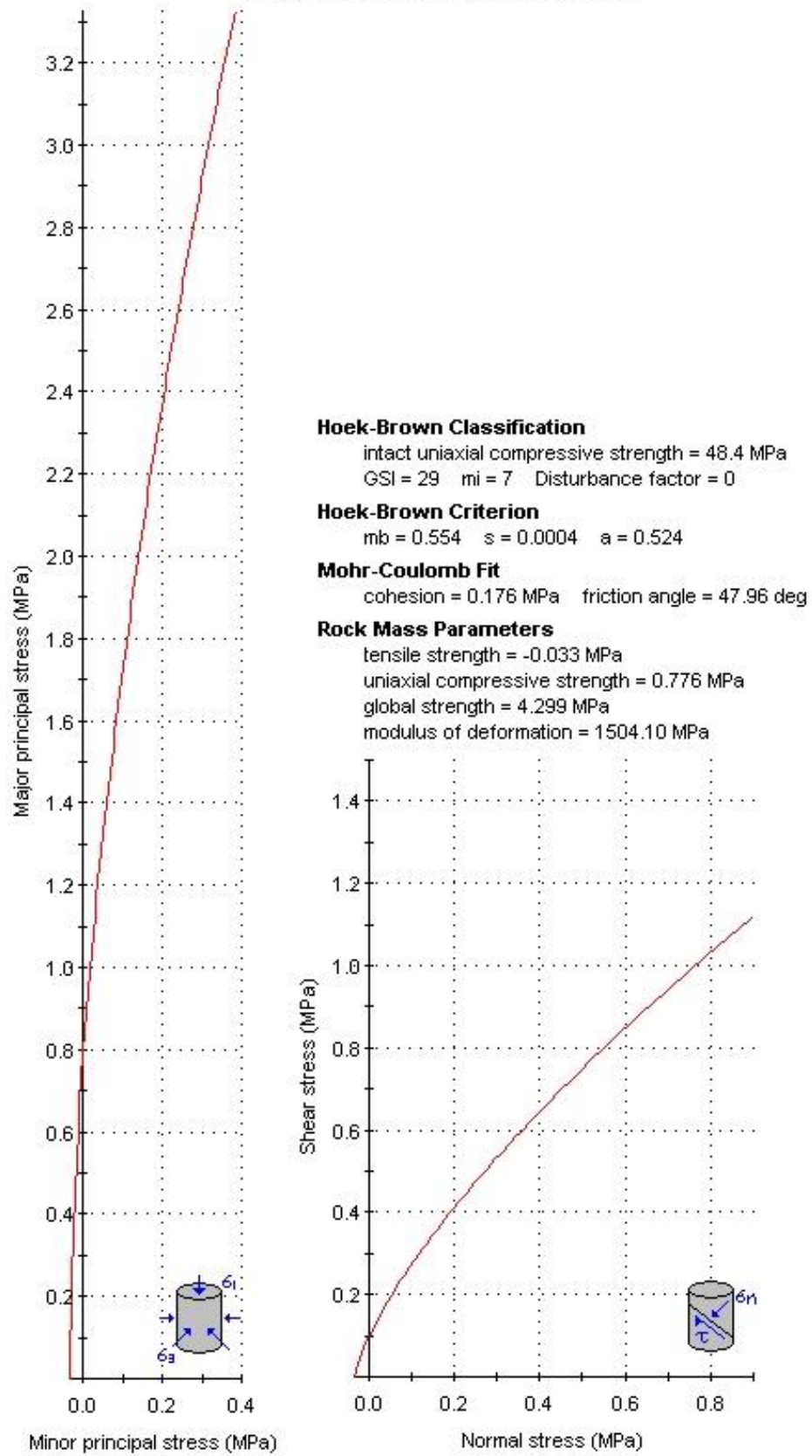
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.010 MPa
uniaxial compressive strength = 0.229 MPa
global strength = 1.270 MPa
modulus of deformation = 1504.10 MPa



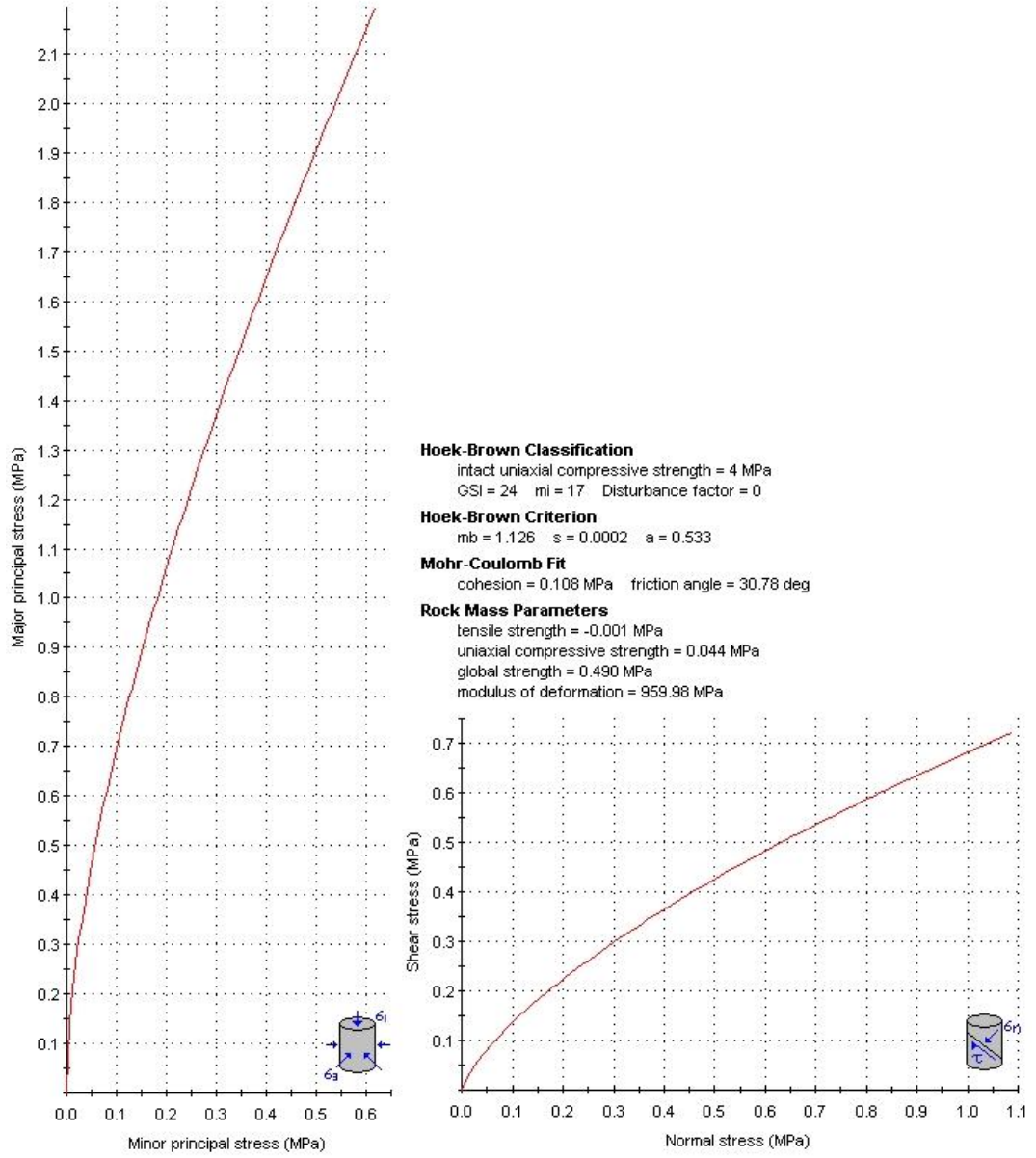
Şekil B.3: SK-4 (25-27 m.) Silttaş Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



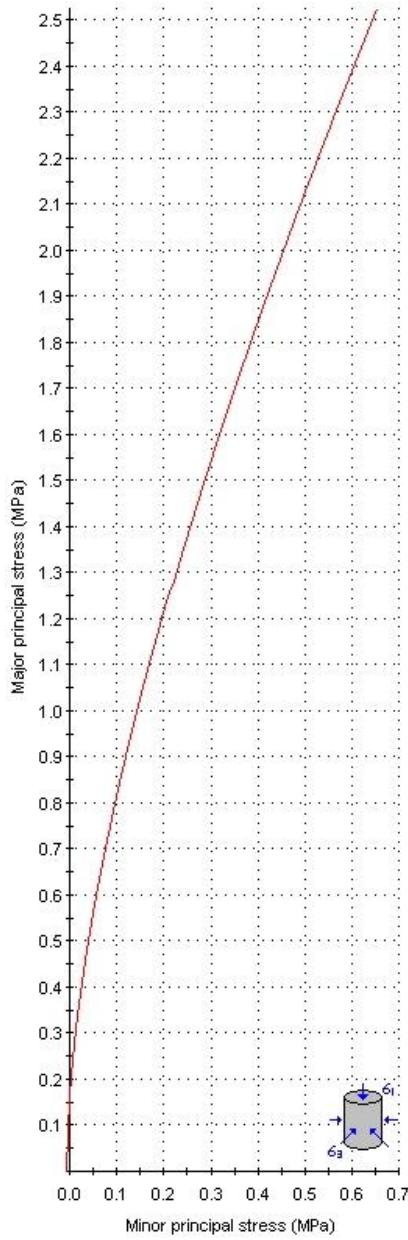
Şekil B.4: SK-4 (29-31 m.) Silttaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Şekil B.5: SK-5 (29-34 m.) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 13.15 MPa
GSI = 26 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

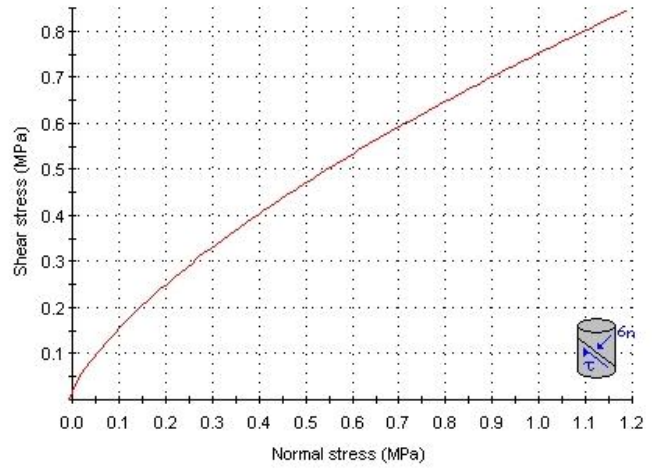
$m_b = 0.498$ $s = 0.0003$ $a = 0.529$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.129 MPa friction angle = 32.47 deg

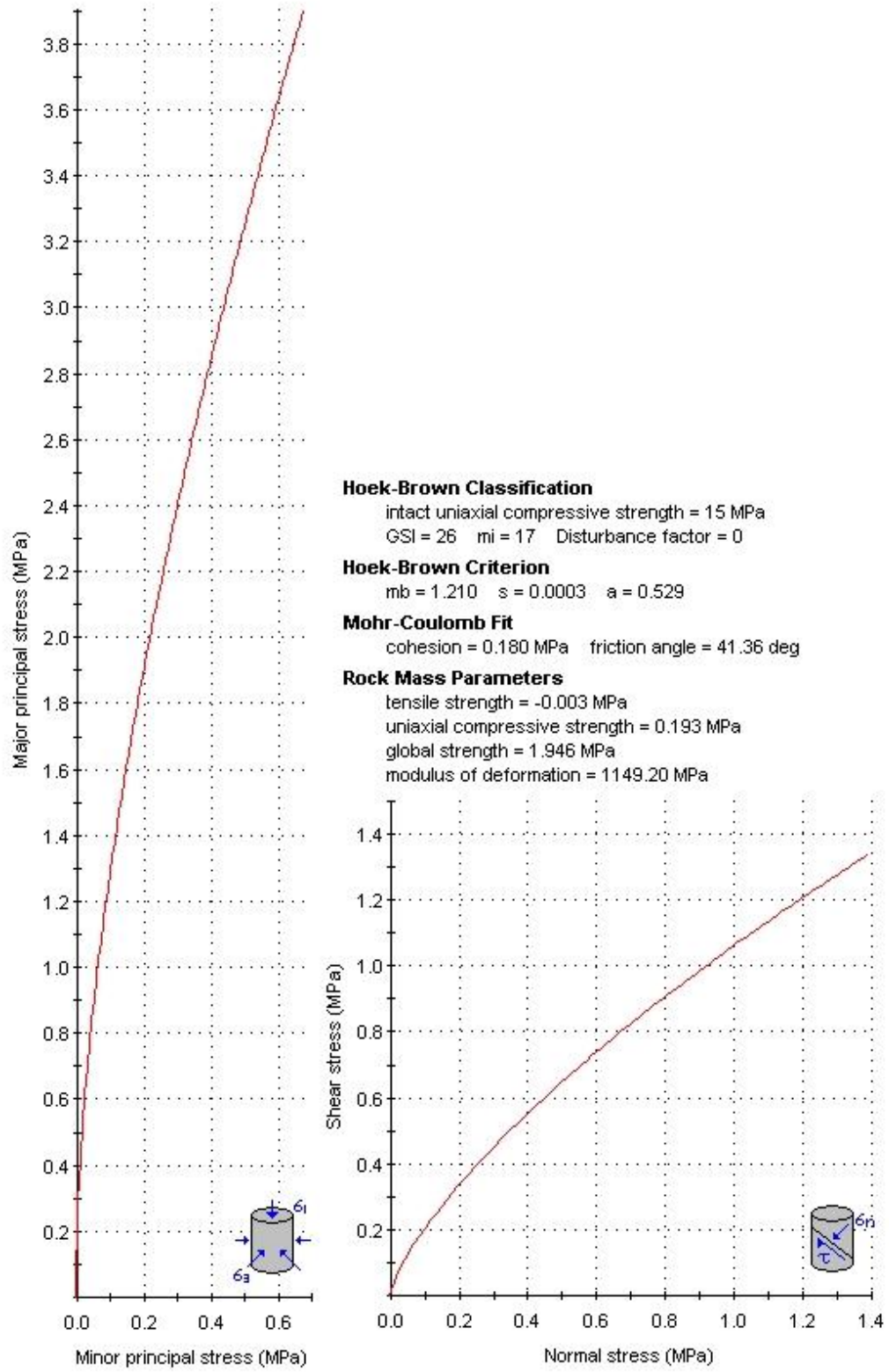
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.007 MPa
uniaxial compressive strength = 0.169 MPa
global strength = 1.072 MPa
modulus of deformation = 1149.20 MPa



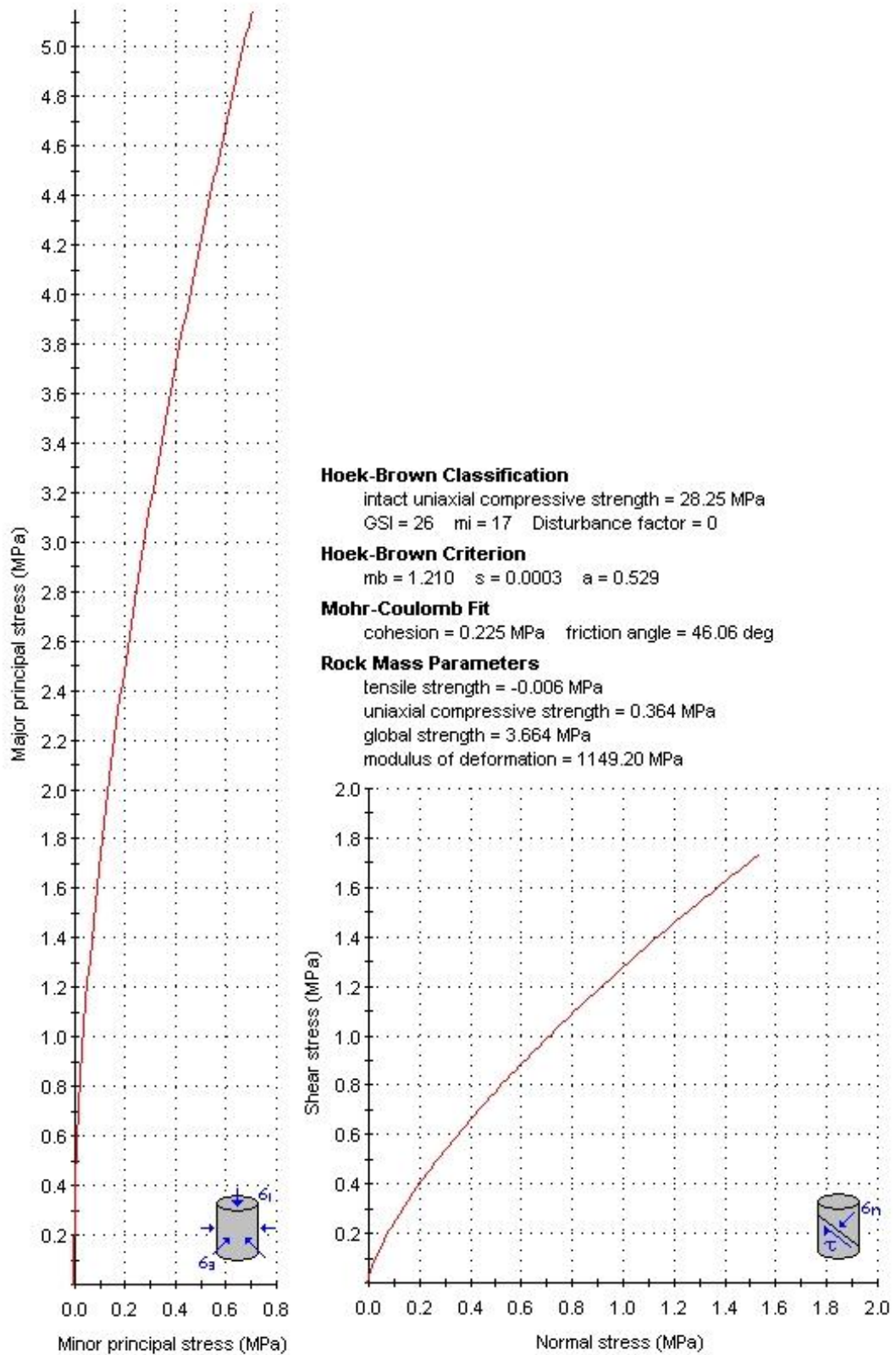
Şekil B.6: SK-5 (46-51 m.) Siltaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



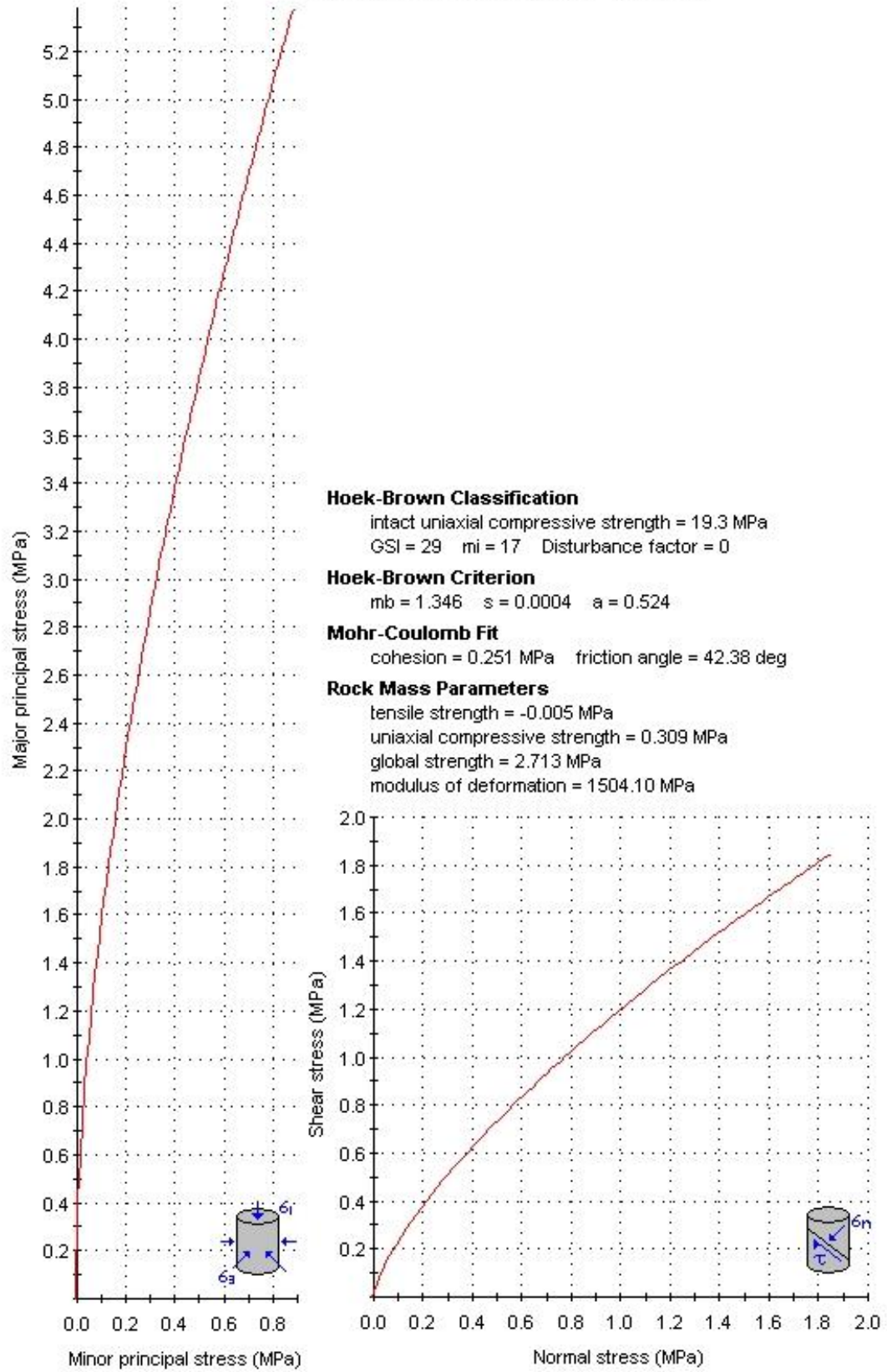
Şekil B.7: SK-5 (56-61 m.) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab

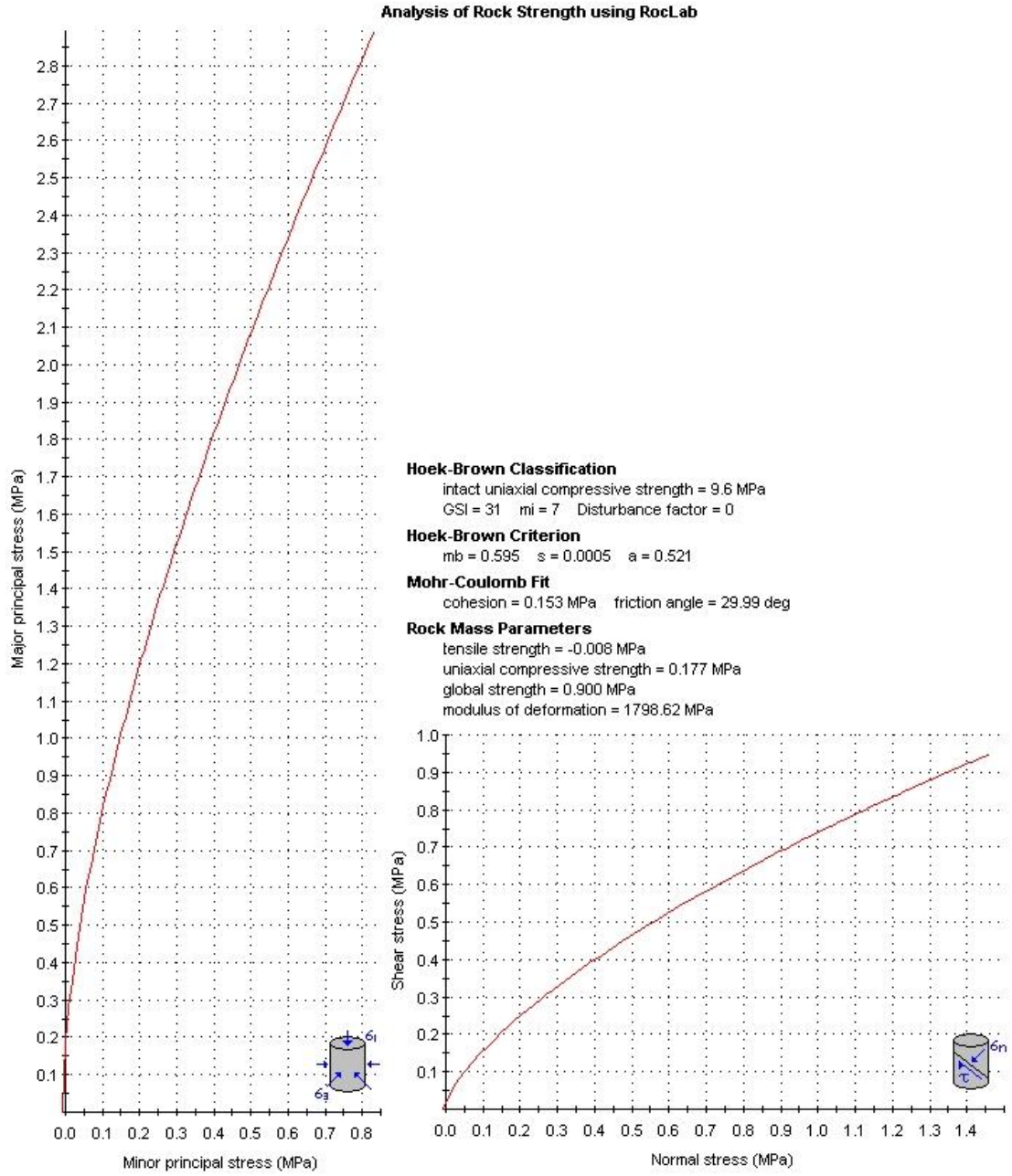


Şekil B.8: SK-5 (65-70 m.) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab

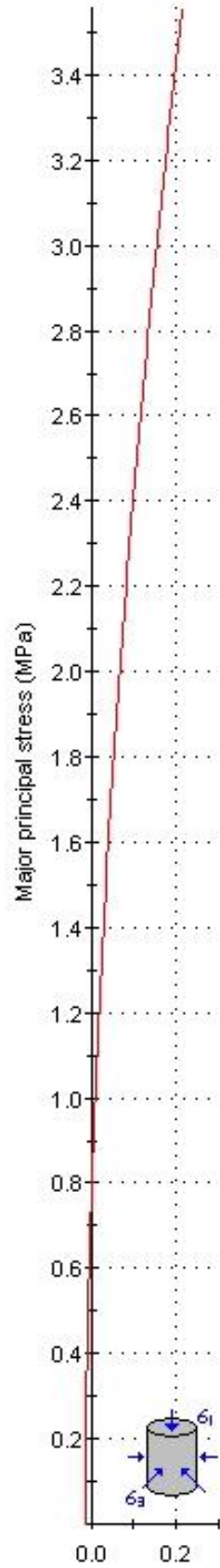


Şekil B.9: SK-6 (50-51.2 m.) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi



Şekil B.10: SK-6 (68-70 m.) Kumtaşı-Silttaşı Ardalanmasından oluşan Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Minor principal stress (MPa)

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 46.5 MPa
GSI = 29 $m_i = 17$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

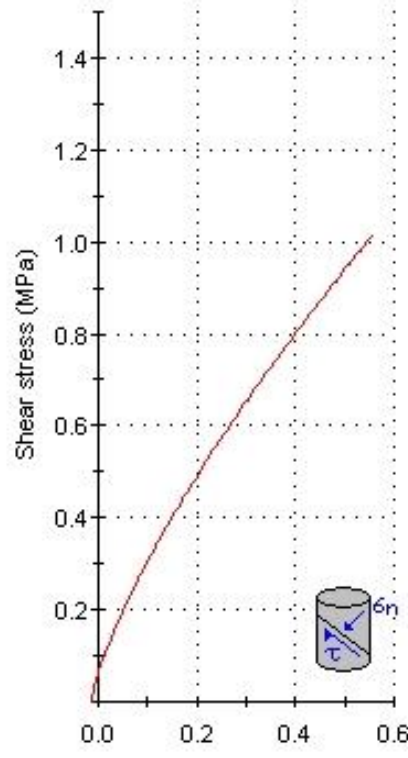
$m_b = 1.346$ $s = 0.0004$ $a = 0.524$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.136 MPa friction angle = 59.04 deg

Rock Mass Parameters

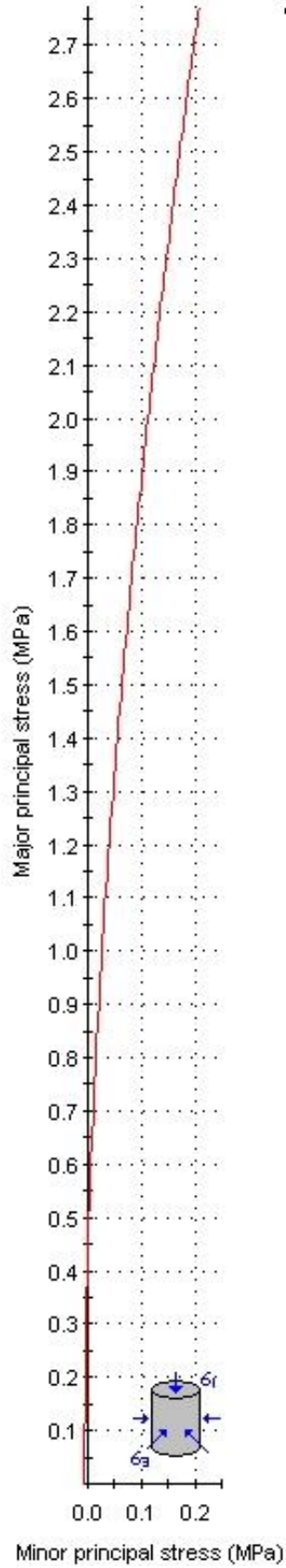
tensile strength = -0.013 MPa
uniaxial compressive strength = 0.746 MPa
global strength = 6.535 MPa
modulus of deformation = 1504.10 MPa



Normal stress (MPa)

Şekil B.11: SK-7 (23-25 m.) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 28.2 MPa
GSI = 29 $m_i = 17$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

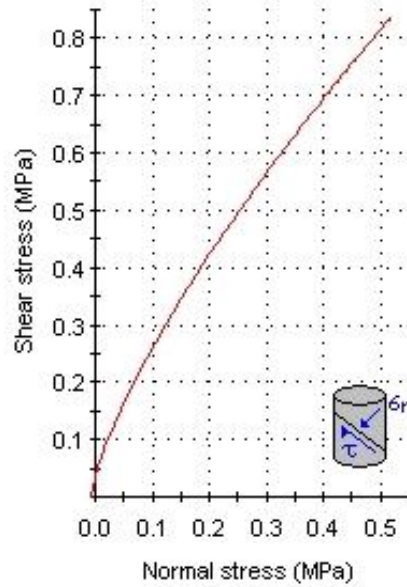
$m_b = 1.346$ $s = 0.0004$ $a = 0.524$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.109 MPa friction angle = 56.04 deg

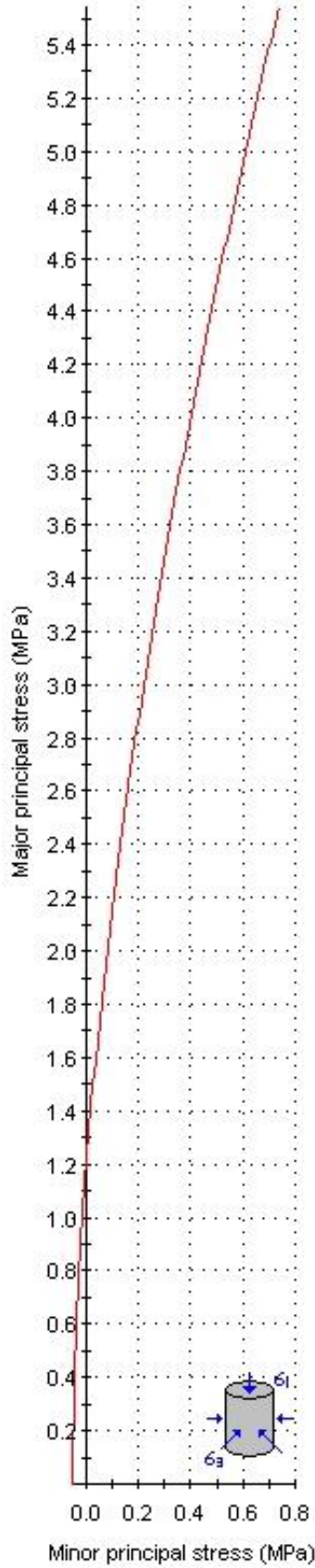
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.008 MPa
uniaxial compressive strength = 0.452 MPa
global strength = 3.963 MPa
modulus of deformation = 1504.10 MPa



Şekil B.12: SK-7 (26-28 m.) Kumtaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 49.16 MPa
 GSI = 35 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

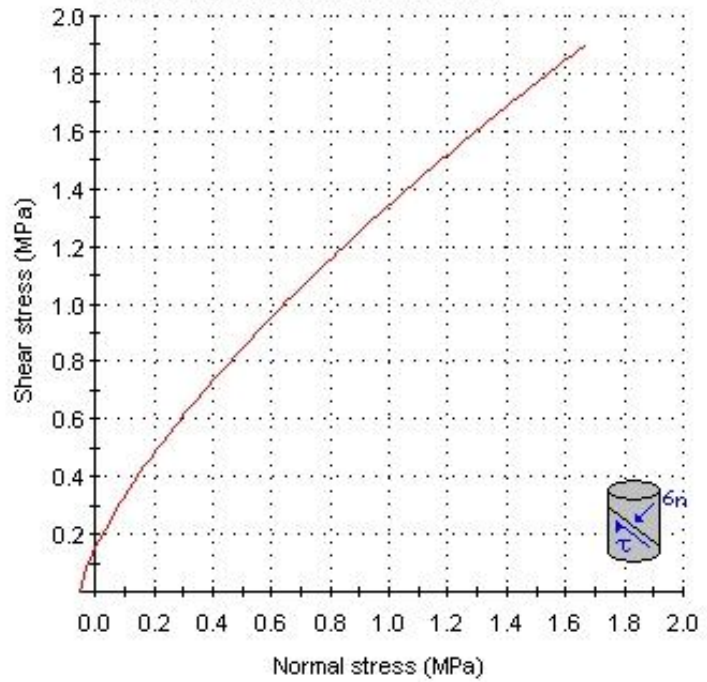
$m_b = 0.687$ $s = 0.0007$ $a = 0.516$

Mohr-Coulomb Fit

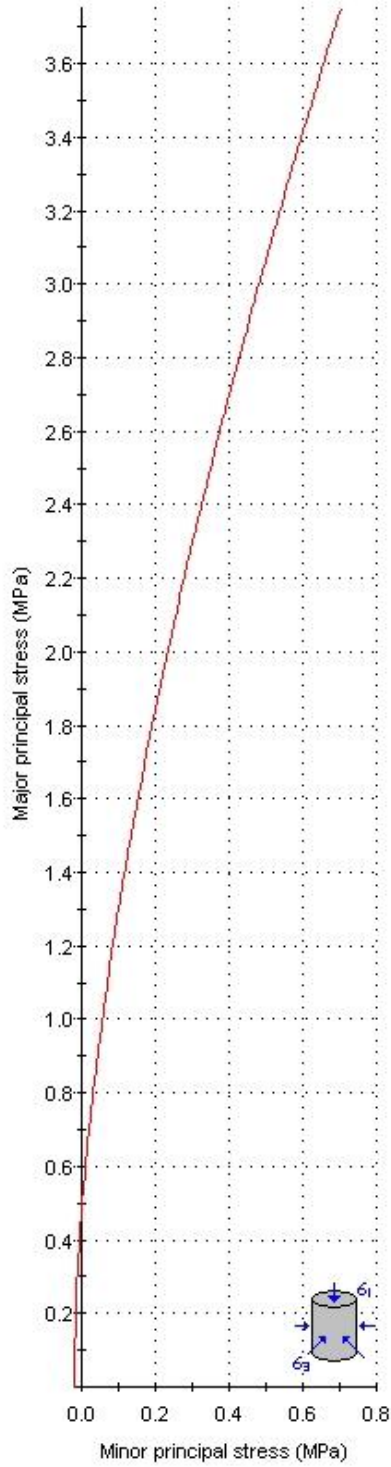
cohesion = 0.303 MPa friction angle = 45.39 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.052 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.184 MPa
 global strength = 5.107 MPa
 modulus of deformation = 2567.16 MPa



Şekil B.13: SK-8 (36-38.5 m.) Siltaşı Biriminin Rocklab analizi



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 24.32 MPa
 GSI = 32 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

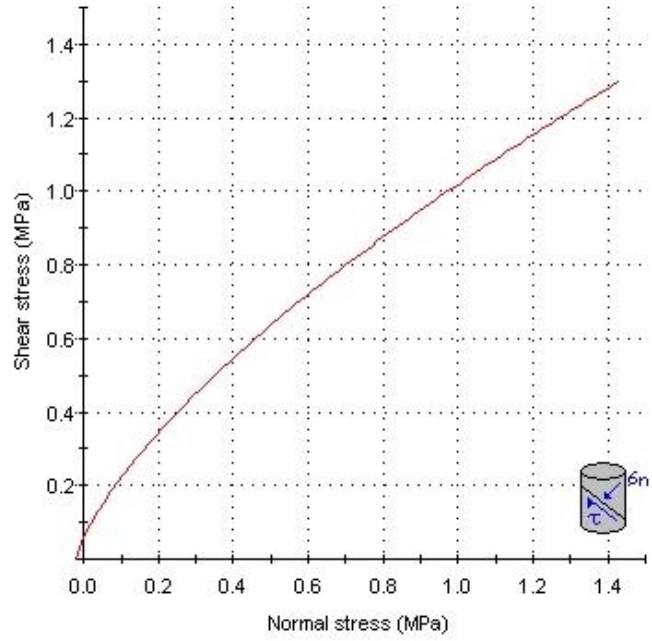
$m_b = 0.617$ $s = 0.0005$ $a = 0.520$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.199 MPa friction angle = 39.17 deg

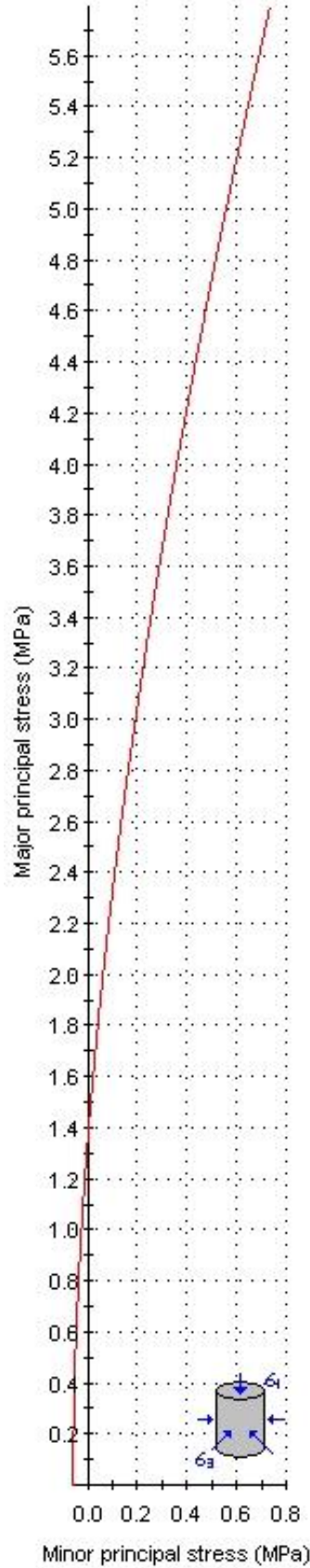
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.021 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.480 MPa
 global strength = 2.341 MPa
 modulus of deformation = 1966.43 MPa



Şekil B.14: SK-8 (45-47 m.) Silttaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 48.96 MPa
 GSI = 37 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

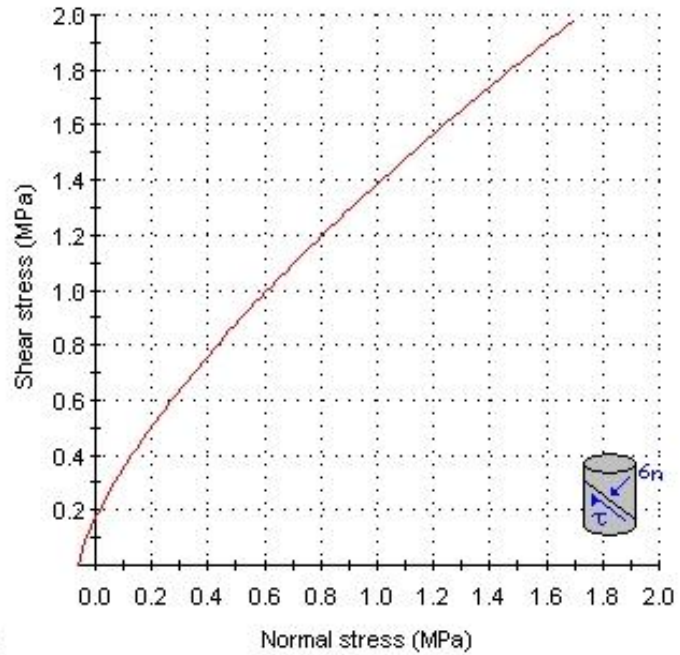
$m_b = 0.738$ $s = 0.0009$ $a = 0.514$

Mohr-Coulomb Fit

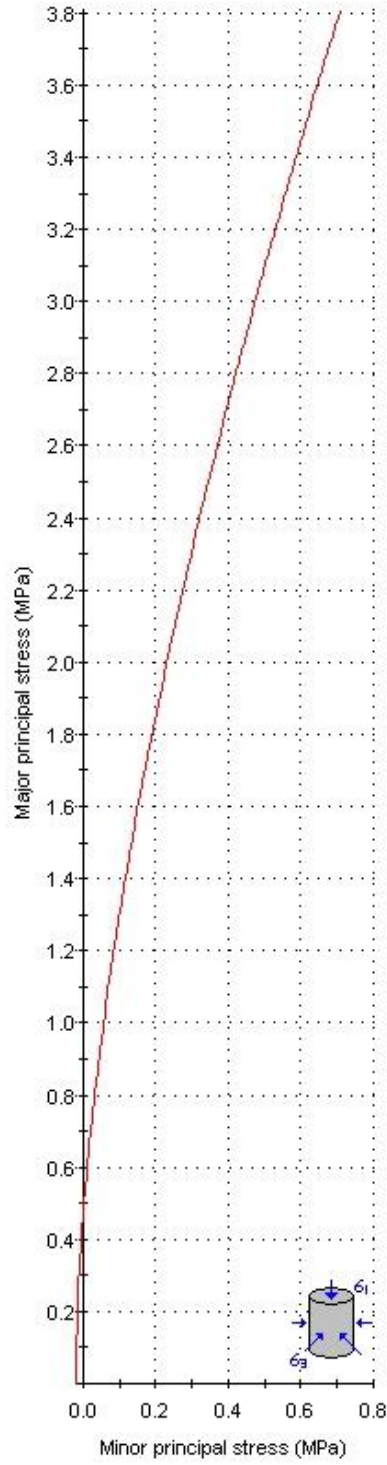
cohesion = 0.323 MPa friction angle = 45.98 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.061 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.341 MPa
 global strength = 5.341 MPa
 modulus of deformation = 3063.36 MPa



Şekil B.15: SK-8 (53.6-55.8 m.) Silttaşı Biriminin Rocklab analizi



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 30.85 MPa
 GSI = 28 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

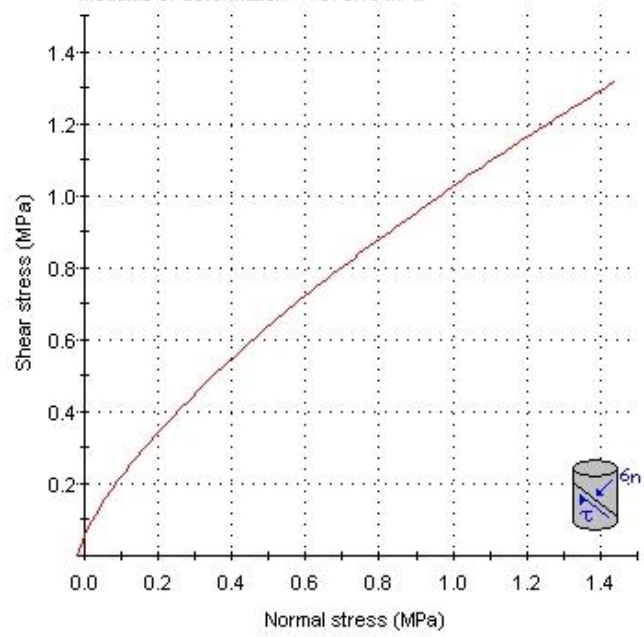
$m_b = 0.535$ $s = 0.0003$ $a = 0.526$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.196 MPa friction angle = 39.45 deg

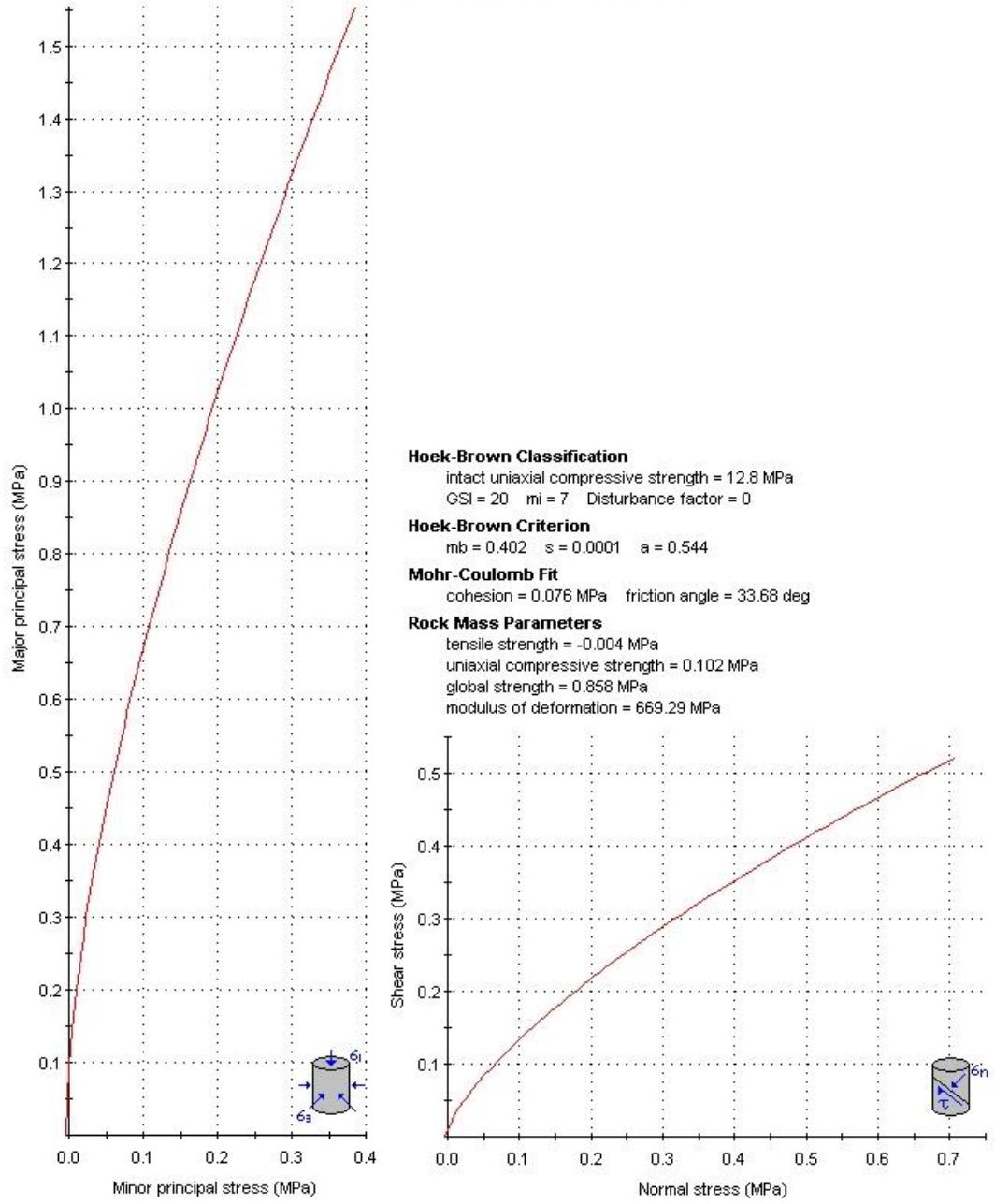
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.019 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.461 MPa
 global strength = 2.665 MPa
 modulus of deformation = 1375.19 MPa

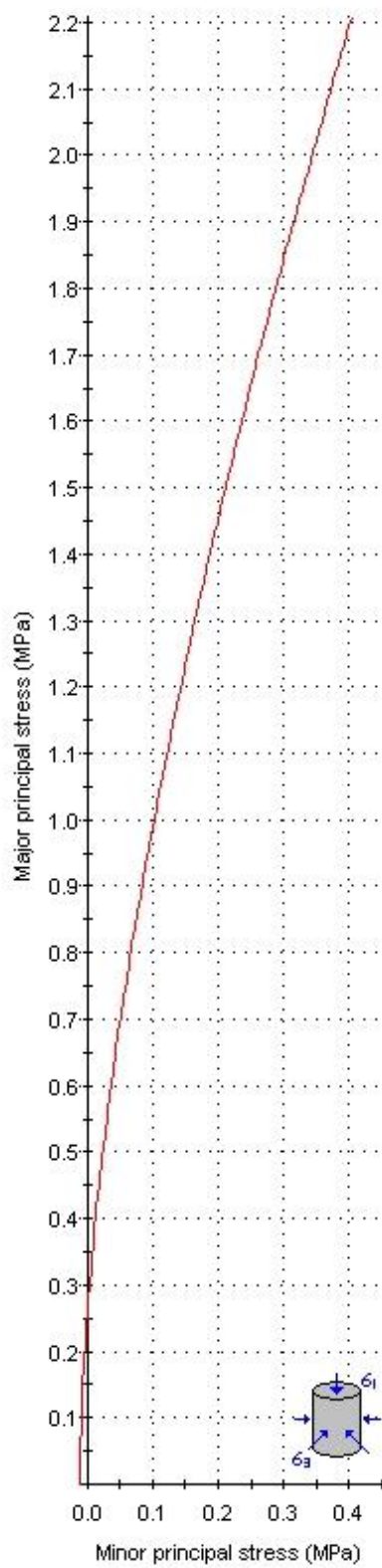


Şekil B.16: SK-8 (63-68 m.) Silttaşlı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Şekil B.17: SK-9 (7.5-10 m.) Silttaş Biriminin Rocklab analizi



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26.65 MPa
 GSI = 22 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

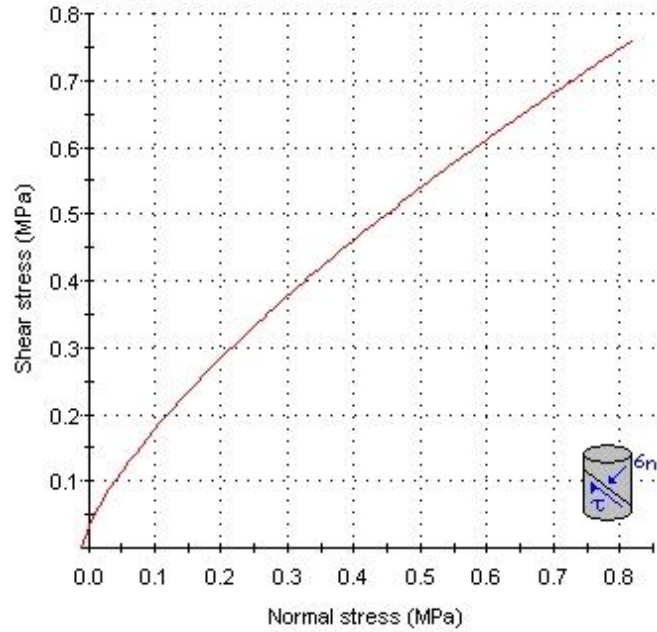
$m_b = 0.432$ $s = 0.0002$ $a = 0.538$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.108 MPa friction angle = 39.99 deg

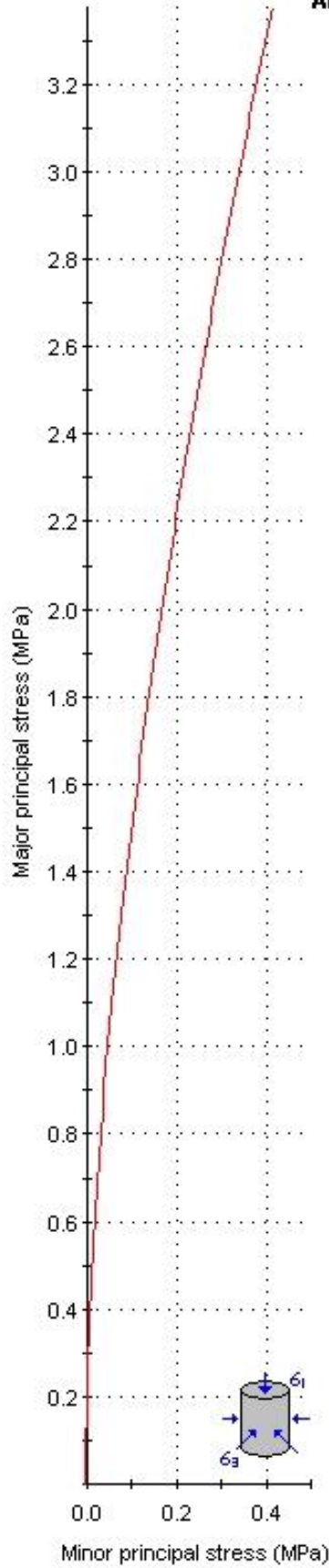
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.011 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.251 MPa
 global strength = 1.914 MPa
 modulus of deformation = 801.67 MPa



Şekil B.18: SK-9 (17-21.5 m) Silttaşı Biriminin Rocklab analizi

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 25.7 MPa
 GSI = 23 m_i = 17 Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

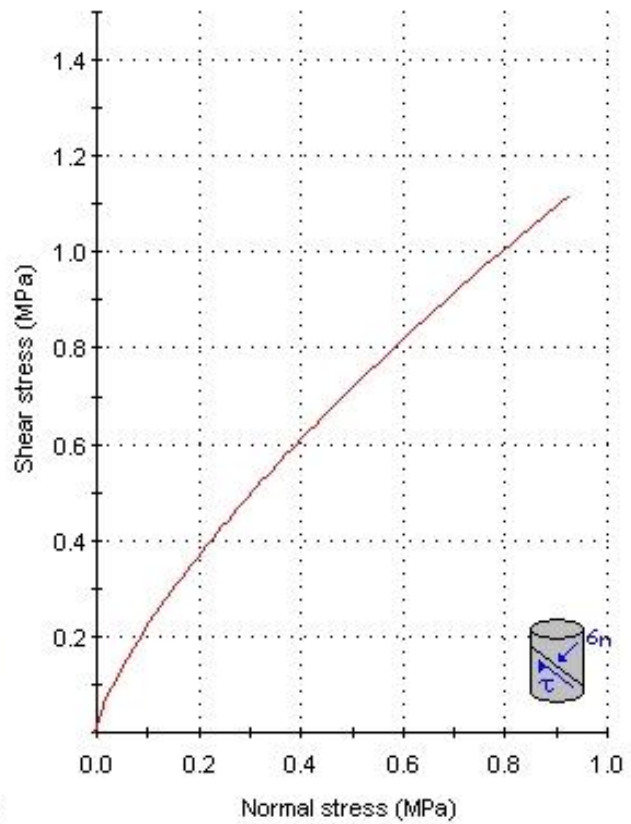
m_b = 1.087 s = 0.0002 a = 0.536

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.140 MPa friction angle = 48.14 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.005 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.263 MPa
 global strength = 3.057 MPa
 modulus of deformation = 877.29 MPa



Şekil B.19: SK-9 (27-32 m.) Kumataşı Biriminin Rocklab analizi

EK C: Deney Sonuçları

Tablo C. 1: Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m)	Basınç Direnci(kg/cm ²)	Elastisite modülü(kg/cm ²)	Litoloji
SK3	11,0-20,0	353	37737	Diyabaz
		219*	27276	Kumtaşı
		223*	41134	Kumtaşı
	23,0-26,0	122*	34006	Kumtaşı
		128*	16662	Kumtaşı
		94*	28999	Kumtaşı
		58*	19723	Kumtaşı
		120*	42995	Kumtaşı
SK4	25,0-27,0	143*	31500	Kil bantlı silttaşı
	29,0-31,0	484	36600	Kil bantlı silttaşı
SK5	46,0-51,0	119*	24938	Silttaşı
		144*	25998	Silttaşı
	29,0-34,0	55*	11089	Kumtaşı
		53*	9017	Kumtaşı
		13*	2451	Kumtaşı
		35*	18535	Kumtaşı
	55,0-61,0	177*	23169	Kumtaşı
		48*	11234	Kumtaşı
		225*	37248	Kumtaşı
	65,0-70,0	273*	55443	Kumtaşı
		292*	52573	Kumtaşı
SK6	50,0-51,2	193*	42671	Silttaşı
	58,0-60,0	96*	19563	Kumtaşı
	68,0-70,0	393*	10259	Kumtaşı+silttaşı
SK7	13,0-15,0	331*	45856	Kumtaşı
	23,0-25,0	465*	67127	Kumtaşı
	26,0-28,0	282*	91278	Silttaşı
SK8	36,0-38,5	449*	60954	Silttaşı
		690	12852	Silttaşı
		578	87007	Silttaşı
		218*	60383	Silttaşı
		523	68120	Silttaşı
	45,0-47,0	356	70574	Silttaşı
		337	80817	Silttaşı
		138*	55650	Silttaşı
		305	64496	Silttaşı
		80*	83048	Silttaşı
	53,6-55,8	449	62409	Silttaşı
		449	43275	Silttaşı
		536	69072	Silttaşı
		613	95939	Silttaşı
		401	92944	Silttaşı
	63,0-68,0	99*	58419	Silttaşı
		514	74855	Silttaşı
		103*	91042	Silttaşı
		518	71187	Silttaşı

Tablo C. 2: Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarının devamı

Sondaj No	Derinlik(m)	Basınç Direnci(kg/cm ²)	Elastisite modülü(kg/cm ²)	Litoloji
SK9	7,5-10,5	128*	45695	Silttaşı
	17,0-21,5	169*	25954	Silttaşı
		236*	43403	Silttaşı
		336*	41011	Kumtaşı
		325*	65139	Kumtaşı
	27,0-32,0	257*	80352	Silttaşı

Tablo C. 3: Üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m)	Boy(cm)	Çap(cm)	s ₃ (kg/cm ²)	s ¹ (kg/cm ²)	Litoloji
SK3	11-20,0	6,7	3	10	418	Diyabaz
		6,41	3	20	439	Diyabaz
		6,33	3	30	460	Diyabaz
		6,85	3	10	587	Kumtaşı
		6,88	3	20	410	Kumtaşı
	23-26	6,87	3	10	679	Kumtaşı
SK4	25-27	6,19	3	10	446	Silttaşı
		6,21	3	20	580	Silttaşı
	29-31	6,22	3	10	878	Silttaşı
		6,24	3	20	1012	Silttaşı
SK5	29-34	6,79	3	10	340	Kumtaşı
		6,77	3	20	396	Kumtaşı
	46-51	6,76	3	10	531	Silttaşı
		6,85	3	20	410	Silttaşı
	55-61	6,69	3	10	842	Kumtaşı
		6,77	3	20	694	Kumtaşı
	65-70	6,79	3	10	885	Kumtaşı
		6,79	3	10	885	Kumtaşı
SK6	58-60	6,24	3	10	410	Silttaşı
		6,2	3	20	517	Silttaşı
	68-70	6,18	3	10	517	Kumtaşı+Silttaşı
		6,2	3	20	538	Kumtaşı+Silttaşı
	50-51,2	6,24	3	10	552	Kumtaşı
		6,22	3	20	594	Kumtaşı
		6,22	3	20	594	Kumtaşı
SK7	23-25	6,19	3	10	722	Kumtaşı
		6,18	3	20	899	Kumtaşı
	26-28	6,21	3	10	594	Kumtaşı
		6,21	3	20	828	Kumtaşı

Tablo C. 4: Üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarının devamı

Sondaj No	Derinlik(m)	Boy(cm)	Çap(cm)	$s_3(\text{kg/cm}^2)$	$s^1(\text{kg/cm}^2)$	Litoloji
SK8	36-38	6,55	3	10	807	Silttaşı
		6,5	3	20	821	Silttaşı
		6,55	3	30	934	Silttaşı
		6,5	3	40	1019	Silttaşı
		6,55	3	50	1132	Silttaşı
	45-47	6,55	3	10	835	Silttaşı
		6,6	3	20	1005	Silttaşı
		5,65	3	30	750	Silttaşı
		6,65	3	40	1118	Silttaşı
		6,6	3	50	1189	Silttaşı
	53,6-55,8	6,45	3	10	686	Silttaşı
		6,1	3	20	800	Silttaşı
		6,5	3	30	870	Silttaşı
		6,4	3	40	1040	Silttaşı
		6,55	3	50	1069	Silttaşı
	63-68	5,2	3	10	708	Silttaşı
		6,38	3	20	1040	Silttaşı
		6,55	3	30	616	Silttaşı

Tablo C. 5: Endirekt çekme deneyi sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m)	Endirekt Çekme Direnci(kg/cm ²)	Litoloji
SK3	11,0-20,0	25	Diyabaz
		28	Diyabaz
		30	Kumtaşı
		49	Kumtaşı
		31	Kumtaşı
	23,0-26,0	86	Kumtaşı
		52	Kumtaşı
SK5	29,0-34,0	66	Kumtaşı
		26	Kumtaşı
	46,0-51,0	29	Silttaşı
		57	Silttaşı
	55,0-61,0	57	Kumtaşı
		79	Kumtaşı
	65,0-70,0	53	Kumtaşı
		34	Kumtaşı
SK8	23,5-28,0	27	Kumtaşı
		48	Silttaşı
	36,0-38,5	77	Silttaşı
		81	Silttaşı
	45,0-47,1	74	Silttaşı
		72	Silttaşı
	53,6-55,8	107	Silttaşı

Tablo C. 6: Endirekt çekme deneyi sonuçlarının devamı

Sondaj No	Derinlik(m)	Endirekt Çekme Direnci(kg/cm ²)	Litoloji
SK8	63,0-68,0	71	Silttaşı
		79	Silttaşı
SK9	7,5-10,5	38	Silttaşı
		31	Silttaşı
	17,0-21,5	70	Silttaşı
		21	Silttaşı
	27,0-32,0	102	Kumtaşı

Tablo C. 7: Karot örnekleri üzerinde yapılan çapsal nokta yükleme deneyleri sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m)	Nokta yükleme indeksi(kg/cm ²)	Düzeltilmiş nokta yükleme indeksi(kg/cm ²)	Litoloji
SK1	15,0-16,5	26,9	29,6	Kumtaşı
		19,1	21	Kumtaşı
SK2	13,0-15,0	14,8	16,3	Kumtaşı
		5,5	6	Kumtaşı
		14,5	16	Kumtaşı
	18,0-21,0	3,5	3,5	Kumtaşı
		43,1	47,4	Kumtaşı
		57,2	63	Kumtaşı
SK3	11,0-20,0	18,9	20,8	Kumtaşı
		61,8	68	Kumtaşı
		40,36	44,3	Kumtaşı
		2,7	3	Kumtaşı
		2,7	20,7	Kumtaşı
		18,8	29,6	Kumtaşı
		26,9	3	Kumtaşı
		2,7	3	Kumtaşı
		2,7	20,7	Kumtaşı
	23,0-26,0	18,8	20,7	Kumtaşı
		18,8	41,4	Kumtaşı
		37,6	32,5	Kumtaşı
	27,0-30,0	29,6	59,1	Kumtaşı
		53,7	65	Kumtaşı
		59,1	41,4	Kumtaşı

Tablo C. 8: Karot örnekleri üzerinde yapılan çapsal nokta yükleme deneyleri sonuçlarının devamı

Sondaj No	Derinlik(m)	Nokta yükleme indeksi(kg/cm ²)	Düzeltilmiş nokta yükleme indeksi(kg/cm ²)	Litoloji
SK5	29,0-34,0	37,6	73,9	Kumtaşı
		67,2	3	Kumtaşı
		2,7	5,9	Silttaşı
	46,0-51,0	5,4	3	Silttaşı
		2,7	23,6	Silttaşı
	55,0-61,0	21,5	11,8	Kumtaşı
		10,7	59,1	Kumtaşı
		53,7	8,9	Kumtaşı
	65,0-70,0	8,1	73,9	Kumtaşı
		67,2	59,1	Kumtaşı
		53,7	23,6	Kumtaşı
		21,5	1,5	Kumtaşı
		1,3	38,4	Kumtaşı
		34,9	8,9	Kumtaşı
		8,1	14,8	Kumtaşı
SK8	45,0-47,1	13,4	52,7	Silttaşı
		47,9	52,7	Silttaşı
		47,9	52,7	Silttaşı
	53,6-55,8	35,3	38,8	Silttaşı
		49,1	54	Silttaşı
		63	69,3	Silttaşı
	63,0-68,0	68	74,8	Silttaşı
		60,5	66,5	Silttaşı
		68	74,8	Silttaşı
	7,5-10,5	50,4	55,4	Silttaşı
SK9	17,0-21,5	34,4	37,8	Silttaşı
		88,2	97	Kumtaşı
		35,3	38,8	Kumtaşı
		37	40,7	Silttaşı
		5,3	5,8	Kilttaşı
	27,0-32,0	5,3	5,8	Kumtaşı

Tablo C. 9: Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahında yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Kuru Ağırlık(gr)	Doygun Ağırlık(gr)	Hacim(cm ³)	γ _k (gr/cm ³)	γ _d (gr/cm ³)	n(%)	Sa(%)	Litoloji
SK1	15,0-17,0	237,66	239,31	89,53	2,65	2,67	1,84	1,88	Kumtaşı
	15,0-17,0	201,2	202,9	75,95	2,65	2,67	2,24	2,29	Kumtaşı
SK2	13,0-15,0	84,02	84,9	32,28	2,6	2,63	2,73	2,8	Kumtaşı
		86,057	87,47	33,21	2,61	2,63	2,71	2,79	Kumtaşı
	15,0-18,0	181,65	183,1	69,06	2,63	2,65	2,1	2,14	Kumtaşı
		170,26	172,35	67,89	2,51	2,54	3,08	3,18	Kumtaşı
SK3	11,0-20,0	200,69	215,41	87,84	2,28	2,45	16,76	7,33	Diyabaz
		165,62	167,81	63,37	2,61	2,65	3,46	1,32	Diyabaz
		377,63	38056	142,9	2,64	2,66	2,05	0,78	Diyabaz
		308,62	311,59	116,42	2,65	2,68	2,55	0,96	Kumtaşı
		329,17	332,02	124,2	2,65	2,67	2,29	0,87	Kumtaşı
		289,3	291,89	108,81	2,66	2,68	2,38	0,9	Kumtaşı
	23,0-26,0	118,8	119,36	44,47	2,67	2,68	1,26	0,47	Kumtaşı
		282,5	284,33	105,7	2,67	2,69	1,73	0,65	Kumtaşı
		169,78	171,26	64,32	2,64	2,66	2,3	0,87	Kumtaşı
		222,46	223,84	83,3	2,67	2,69	1,66	0,62	Kumtaşı
		114,09	116,28	44,59	2,56	2,61	4,91	1,92	Kumtaşı
	27,0-30,0	137,63	137,98	50,45	2,73	2,73	0,69	0,25	Silttaşı
		96,94	97,72	35,55	2,73	2,75	2,19	0,8	Silttaşı
		137,97	139,3	50,54	2,73	2,76	2,63	0,96	Silttaşı
		95,92	96,62	35,18	2,73	2,75	1,99	0,73	Silttaşı
		90,5	91,39	33,31	2,72	2,74	2,67	0,98	Silttaşı

Tablo C. 10: Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahıda yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri

Sondaj No	Derinlik(m)	Kuru Ağırlık(gr)	Doygun Ağırlık(gr)	Hacim(cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	n(%)	Sa(%)	Litoloji
SK-4	25,0-27,0	129,49	131,32	48,01	2,7	2,74	3,81	3,96	Silttaşı
		282,43	285,34	104,1	2,71	2,74	2,8	2,88	Silttaşı
	25,0-27,0	118,93	121,11	44,9	2,65	2,7	4,86	5,1	Silttaşı
		120,33	122,56	45,35	2,65	2,7	4,92	5,17	Silttaşı
SK-5	29,0-34,4	142,34	143,81	53,8	2,65	2,67	2,73	1,03	Kumtaşı
		162,94	166,16	63,29	2,57	2,63	5,09	1,98	Kumtaşı
		237	241,79	90,17	2,63	2,68	5,31	2,02	Kumtaşı
		138,79	140,32	52,03	2,67	2,7	2,94	1,1	Kumtaşı
		178,21	180,81	67,65	2,63	2,67	3,84	1,46	Kumtaşı
		194,55	195,87	72,66	2,68	2,7	1,82	0,68	Silttaşı
	46,0-51,0	290,76	295,3	109,51	2,66	2,7	4,15	1,56	Silttaşı
		155,34	156,57	57,98	2,68	2,7	2,12	0,79	Silttaşı
		106,64	108,44	40,19	2,65	2,7	4,48	1,69	Silttaşı
		128,41	130,74	48,42	2,65	2,7	4,81	1,81	Silttaşı
		173,42	173,93	64,26	2,7	2,71	0,79	0,29	Kumtaşı
	55,0-61,0	173,68	174,19	64,33	2,7	2,71	0,79	0,29	Kumtaşı
		190,7	191,31	70,78	2,69	2,7	0,86	0,32	Kumtaşı
		153,52	154,6	57,5	2,67	2,69	1,88	0,7	Kumtaşı
		234,71	236,36	88,98	2,64	2,66	1,85	0,07	Kumtaşı
		262,9	264,32	98,68	2,66	2,68	1,44	0,54	Kumtaşı
	65,0-70,0	213,31	214,3	79,45	2,68	2,7	1,47	0,55	Kumtaşı
		194,31	195,33	72,7	2,67	2,69	1,4	0,52	Kumtaşı
		95,51	96,45	36,11	2,64	2,67	2,6	0,98	Kumtaşı
		179,06	179,79	66,9	2,68	2,69	1,09	0,41	Kumtaşı

Tablo C. 11: Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahında yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri

Sondaj No	Derinlik(m)	Kuru Ağırlık(gr)	Doygun Ağırlık(gr)	Hacim(cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	n(%)	Sa(%)	Litoloji
SK6	49,0-51,2	89,42	90,09	33,45	2,67	2,69	2	2,04	Kumtaşı
		106,55	107,36	39,96	2,67	2,69	2,03	2,07	Kumtaşı
		99	100,04	36,94	2,68	2,71	2,82	2,9	Kumtaşı
		256,44	260,11	96,06	2,67	2,71	3,82	3,97	Kumtaşı-Silttaşı
	58,0-60	247,27	250,01	91,85	2,69	2,72	2,98	3,07	Kiltaşı-Silttaşı
		119,93	121,67	44,78	2,68	2,72	3,89	4,04	Kiltaşı-Silttaşı
	67,5-70,0	98,53	99,96	36,87	2,67	2,71	3,88	4,03	Kiltaşı-Silttaşı
		120,21	120,94	45,1	2,67	2,68	1,62	1,65	Kumtaşı
SK7	13,0-15,0	190,64	191,83	70,8	2,69	2,71	1,68	1,71	Kumtaşı
		188,22	188,97	69,67	2,7	2,71	1,08	1,09	Kumtaşı
	23,0-25,0	166,98	167,81	61,9	2,7	2,71	1,34	1,36	Kumtaşı
		160,98	161,23	59,59	2,69	2,71	1,66	1,69	Kumtaşı
	26,0-28,0	237,58	238,4	87,92	2,7	2,71	0,93	0,94	Kumtaşı
		212,91	213,68	78,55	2,71	2,72	0,98	0,99	Kumtaşı
SK8	23,5-28,0	167,21	168,81	63,46	2,63	2,66	2,52	0,96	Kumtaşı
		149,93	151,58	57,02	2,63	2,66	2,89	1,1	Kumtaşı
		209,67	211,61	79,44	2,64	2,66	2,44	0,93	Kumtaşı
		441,85	443,86	164,68	2,68	2,7	1,22	0,45	Kumtaşı
		376,6	380,16	142,88	2,64	2,66	2,49	0,95	Kumtaşı
	53,6-55,8	263,2	264,45	95,47	2,76	2,77	1,31	0,47	Silttaşı
		280,11	281,49	101,73	2,75	2,77	1,36	0,49	Silttaşı
		266,28	267,62	96,76	2,75	2,77	1,38	0,5	Silttaşı
		357,06	358,71	129,41	2,76	2,77	1,28	0,46	Silttaşı
		276,7	278,09	100,38	2,76	2,77	1,38	0,5	Silttaşı

Tablo C. 12: Kağıthane-Piyalepaşa tüneli güzergahında yapılan sondajlardan alınan örneklerin indeks özellikleri

Sondaj No	Derinlik(m)	Kuru Ağırlık(gr)	Doygun Ağırlık(gr)	Hacim(cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	n(%)	Sa(%)	Litoloji
SK9	7,5-10,5	279,79	286,03	106,92	2,62	2,68	5,84	2,23	Silttaşı
		218,01	223,55	84,12	2,59	2,66	6,59	2,54	Silttaşı
		242,49	248,5	93,23	2,6	2,67	6,45	2,48	Silttaşı
		212,43	217,34	81,64	2,6	2,66	6,01	2,31	Silttaşı
		151,87	155,53	58,21	2,6	2,67	6,29	2,41	Silttaşı
	17,0-21,5	148,25	149,71	56,12	2,61	2,67	2,6	0,98	Silttaşı
		178,36	180,97	66,53	2,64	2,72	3,92	1,46	Silttaşı
		66,93	68011	25,08	2,68	2,72	4,7	1,76	Silttaşı
		121,06	123,57	46,29	2,67	2,67	5,42	2,07	Silttaşı
		267,52	271,96	100,21	2,62	2,71	4,43	1,66	Silttaşı
	17,0-21,5	261,75	264,71	99,96	2,67	2,65	2,96	1,13	Kumtaşı
		411,47	413,06	153,03	2,62	2,7	1,04	0,39	Kumtaşı
		362,29	366,11	138,32	2,69	2,65	2,76	1,05	Kumtaşı
		335,1	337,18	1254,92	2,62	2,68	1,65	0,62	Kumtaşı
		181,85	184,25	69,98	2,66	2,63	3,43	1,32	Kumtaşı
	27,0-32,0	340,33	341,82	126,92	2,6	2,69	1,17	0,44	Kumtaşı
		91,56	91,98	34,16	2,68	2,69	1,23	0,46	Kumtaşı
		210,87	212,22	78,76	2,68	2,69	1,71	0,64	Silttaşı
		236,44	237,3	87,66	2,7	2,71	0,98	0,36	Silttaşı
		95,48	95,93	35,66	2,68	2,69	1,26	0,47	Kumtaşı

ÖZGEÇMİŞ

19 Mayıs 1982 yılında Manisa İli Akhisar İlçesinde doğan Saffet Deniz KARAGÖZ ilk, orta ve lise eğitimini Manisa ili Soma İlçesinde tamamladı. 2000 yılında Soma Rıfat Dağdelen Anadolu Lisesinden mezun olup aynı yıl İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünü okumaya hak kazandı. 2005 yılında tamamladığı lisans eğitimi sonrasında aynı yıl içerisinde İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Yüksek Lisans Programına yazıldı. 2005 yılından bu yana EMAY Uluslararası Mühendislik Müşavirlik ve Ticaret limited şirketinde tünel ve geoteknik mühendisi olarak görev yapmaktadır.