T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISTANBUL KADIKÖY-KARTAL (KM 3+500 ile KM 8+000) METRO ÇALIŞMASININ JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sevinç SELÇUK

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Mehmet ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda oybirliği/oyçokluğu ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK

Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Tevfik İSMAİLOV

Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN

Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ONAY

Bu tez .../.../20.. tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

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

Prof. Dr. Mustafa KUŞCU

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER i
ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
KISALTMALAR LİSTESİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1.Çalışmanın Amacı ve Önemi 1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması 1
1.2.1. Yerleşim ve Ulaşım 2
1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü 3
1.2.3. Topoğrafya 3
2. KAYNAK ÖZETLERİ 5
3. MATERYAL VE YÖNTEM 6
3.1. Genel Jeoloji 6
3.1.1. Kurtköy Formasyonu (Kuf) 7
3.1.2. Aydos Formasyonu (Af) 9
3.1.3. Gözdağ Formasyonu (Gf) 10
3.1.5. Kartal Formasyonu (Kf) 11
3.1.7. Baltalimanı Formasyonu (Blf) 13
3.1.8. Trakya Formasyonu (Trf) 13
3.1.9. Sultanbeyli Formasyonu (Sbf) 14
3.1.10. Yamaç Molozları (Ym) 15
3.1.11. Alüvyon (Qal) 15
3.1.12. Magmatik Faaliyet 15
3.1.13.Yapısal Jeoloji 16
3.2. Kaya ve Zemin Gruplarının Jeoteknik Özellikleri 16
3.2.1. Zeminler 16
3.2.1.1. İnce Taneli Zeminler 17

3.2.1.1.1. Sultanbeyli Formasyonu 17
3.2.1.1.2. Granit Arenası 17
3.2.1.1.3. Alüvyonlar 17
3.2.1.2. İri Taneli Zeminler 18
3.2.1.2.1. Yamaç Molozları 18
3.2.1.2.2. Dolgu Alanları 18
3.2.1.2.2.1. Sahil Dolguları 18
3.2.1.2.2.2. Yapay Dolgular 18
3.3. Kaya Türleri 18
3.4. Süreksizlikler 19
3.5. Su Durumu 20
3.5.1. Yüzey Suları 20
3.5.2. Yeraltı Suyu 20
3.6. Deprem Durumu 21
3.6.1. Sıvılaşma 21
3.7. Afet Durumu 21
3.7.1. Heyelanlar 21
3.7.2. Kaya Düşmesi 21
3.7.3. Taşkın Alanları 22
3.7.4. Eğim Durumu 22
3.8. Jeoteknik Özellikleri 22
3.8.1. Sondajlar 22
3.8.1.1. Standart Penetrasyon Deneyi 24
3.8.1.2. TCR, RQD, SCR ve GSI Değerlendirmeleri 24
3.8.1.3. Basınçlı Su Deneyi 24
3.8.1.4. Presiyometre Deneyi 25
3.9. Zemin Tabakaları İçin Jeoteknik Değerlendirmeler 26
3.9.1. Dolgu Tabakası 26
3.9.2. Alüvyon Dolgu Tabakası 27
3.9.3. Kil Tabakası 28
3.10. Kaya Formasyonu İçin Jeoteknik Değerlendirmeler 28
3.10.1. Jeolojik Yapı ve Formasyon Özellikleri 29

3.10.2. Sınıflandırma ve Değerlendirme Yöntemi 29
3.10.3. Sondaj Laboratuvar ve Uygulama Verileri 32
3.10.3.1. Kaya Kalite Tanımı, RQD 32
3.10.3.2. Jeolojik Dayanım İndeksi, (GSI) 32
3.10.3.3. Serbest Basınç Direnci 35
3.10.3.4. Kohezyon, c ve İçsel Sürtünme Açısı, Ǿ (Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları 35
3.10.3.5. Birim Hacim Ağırlığı 36
3.10.3.6. Örselenme Faktörü, D 37
3.10.3.7. Kayaç Elastisite Modülü, E_i ve Poisson Oranı, v 37
3.10.3.8. Tünel Derinliği, H 37
3.10.4. Yerinde Kaya Kütle (Dayanım ve Deformasyon) Parametreleri 38
3.10.4.1. Malzeme Katsayısı Azaltılmış Değeri, m_b 39
3.10.4.2. Kaya Kütle Sabitleri, s ve a 39
3.10.4.3. Kaya Kütlesi Çekme Dayanımı 39
3.10.4.4. Global Kaya Kütle Daynımı 39
3.10.4.5. Çevresel Basınç Üst Limiti 40
3.10.4.7. Kohezyon, c ve İçsel Sürtünme Açısı 42
3.10.4.8. Elastisite Modülü 44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 48
5. SONUÇ 52
6.KAYNAKLAR 53
ÖZGEÇMİŞ 57

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISTANBUL KADIKÖY-KARTAL (KM 3+500 ile KM 8+000)METRO ÇALIŞMASININ JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sevinç SELÇUK

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Juri: Prof. Dr. Tevfik İSMAİLOV
Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN
Yrd. Doç.Dr. Mehmet ÖZÇELİK (Danışman)

Kadıköy - Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi çalışması kapsamında, KM 3+500 ile KM 8+000 arasında yeralan kesimin jeoteknik mühendisliği çalışmalarını özetleyen bir çalışmadır. Çalışma alanındaki tünel ve tünel yapıları taşımaları için jeoteknik parametre değerlerini sağlanmıştır.

Çalışma alanı kapsamında incelenen kesiminde Ünalan, Göztepe ve Yenisahra istasyonları olmak üzere üç adet istasyon yer almaktadır. Jeoteknik tasarım parametrelerini çalışma alanındaki sondajlara ait tüm bulgular, arazi ve laboratuvar deney sonuçları, formasyon bazında bölgelendirilerek Jeoteknik değerlendirme Çizelgelerinde yer verilmiştir.

Genelde Ordovisiyen-Karbonifer zaman aralığı içerisinde gelişmiş bir pasif kıta kenarı çökelleri ile gelişen okyanusun kapanma evresinde depolanmış filiş istifini kapsar. Kartal formasyonu, jeolojik geçmişinde uğradığı tektonizma sonucu birden fazla çatlak sistemi ile sıklıkla karşılaşılabilecek fay ve parçalı ezilme zonları içermektedir.

Formasyonlar düşük dayanım özelliklerinin yanı sıra incelenen aralıkta derin dolgu ve alüvyon tabakalarının yer aldığı ve yer altı suyu, tünel kazısının EPB-TBM yöntemi ile yapılması uygun görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Jeoteknik değerlendirme, tünel, metro, formasyon

2009, 57 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF ISTANBUL KADIKÖY- KARTAL (KM 3+500 and KM 8+000) METRO TUNNEL

Sevinç SELÇUK

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences

Department of Geology Enginerring

Thesis Committee: Prof. Dr. Tevfik İSMAİLOV

Asst. Prof. Ömür ÇİMEN

Asst.Prof. Mehmet ÖZÇELİK (Supervisor)

The work is that summery of geotechtical engineering applied between KM 3+500 and KM 8+000 area that as part of Kadıkoy-Kartal metro. Geotechnical parameter values were provided for tunnel and tunnel structures where working area.

So that there are three stations that are named Ünalan, Yenisahra and Göztepe in the working area. Related to drilling findings, in situ and laboratary practise results brought out geotechnical table examination in formation term.

Generally in that area, storage open insurance sandstone and shale when progress term of carbonifer- ordovision that has accured at the phase of close of ocean with developing passive mainland sediment. Kartal formation involve more than one crack , frequently fault and crash range result of tectonic activite at the geologic past.

Because of properties of weak resistance of formations together with dept fill and silt bed place of ground water, is think fit drilling tunnel making within EPB-TBM method.

Key Words: Geotecnical examination, tunnel, metro, formation

2009, 57 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarımda yardımını esirgemeyen Kartal-Kadıköy metro çalışması kapsamında çalışan Jeoloji Mühendisi Sinan BİBEROĞLU'na araştırmama yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Bu uzun ve yorucu araştırma sürecinde bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Sevinç SELÇUK

ISPARTA, 2009

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Ünalan, Göztepe ve Yenisahra istasyonları 6
Çizelge 3.2. Sondajların Koordinat ve Kotları.....23
Çizelge 3.3. Dolgu Tabakası Jeoteknik Parametreleri .....……26
Çizelge 3.4. Alüvyon Dolgu Tabakası Jeoteknik Parametreleri 28
Çizelge 3.5. Kil Tabakası Jeoteknik Parametreleri. 27
Çizelge 3.6. GSI Aralıklarına Bağlı Kaya Kalite Sınıflaması.....29
Çizelge3.7.Trakya Formasyonu- Kaya Kalitesi Sınıflarına ait sondaj GSI Ortalamaları.....32
Çizelge 3.8. RMR Sınıflandırmasına Göre Kaya Kütlesi Dayanım Parametreleri 43
Çizelge3.9.KM 3+500- KM8+000 Aralığı için Nihai Sonuç Parametreleri (Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Tünel Yapıları Jeoteknik Raporu) 47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası 2
Şekil 3.1 Çalışma Alanının Güzergah Jeolojisi Haritası 7
Şekil 3.2. GSI Değerlendirme Çizelgesu (Hoek- Brown, 1998 ve Ulusoy, 1999) 34
Şekil 3.3. Hoek-Brown yenilme kriterine kaya cinsleri için m_i önerileri (RocLob 1.0) 36
Şekil 3.4. Örselenme Faktörü (D) Önerilen Değerleri (Hoek vd.) 38
Şekil 3.5. Hoek- Brown ve eşdeğer Mohn- Coulomb kriterlerine ait zarflar (UCS ve global kütle dayanımı) 40
Şekil 3.6. Hoek- Brown ve eşdeğer Mohn- Coumonb parametreleri için ilişki (Hoek-Carranza- Torres, Corkum, 2002) 41
Şekil 3.7. GSI ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki (Hoek E., Marinos M., Benissi M., 1998) 42
Şekil 3.8. GSI, kayaç serbest basınç dayanımı ve yerinde elastisite modülü arasındaki ilişki (Hoek E., Marinos M., Benissi M., 1998) 45
Şekil 4.1 EPB-TBM Tünel giriş ve çıkışlarında uygulanacak zemin iyileştirmesi 50

KISALTMALAR LİSTESİ

Ǿ : Efektif içsel sürtünme açısı

D : Hoek-Brown örselenme faktörü

E_m : Kaya kütlesi zemin elastisite modülü

E_i : Elastisite modülü (kayaç malzemesi)

E_p : Presiyometre elastisite modülü

m_i : Hoek-Brown kayaç malzeme katsayısı

m_b : Hoek-Brown kaya kütlesi azaltılmış malzeme katsayısı

s : Hoek-Brown malzeme katsayısı

a : Hoek-Brown malzeme katsayısı

AF : Azalma faktörü

LU : Lugeon

EPB : Zemin basıncı dengeleme(tünel yapım yöntemi)

GSI : Jeolojik dayanım indisi

MPT : Menard presiyometre deneyi

NATM : Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi

RQD : Kaya kalite göstergesi

RMR : Kaya kütle sınıflandırılması(Bieniawski)

SPT : Standart Penetrasyon Deneyi

SCR : Sağlam karot verimi

TCR : Toplam karot yüzdesi

TBM : Tünel delme makinası

v : Poisson oranı (zemin veya kaya kütlesi)

c_i : Kohezyon (kayaç malzemesi)

c' : Efektif kohezyon (zemin veya kaya kütlesi)

1. GİRİŞ

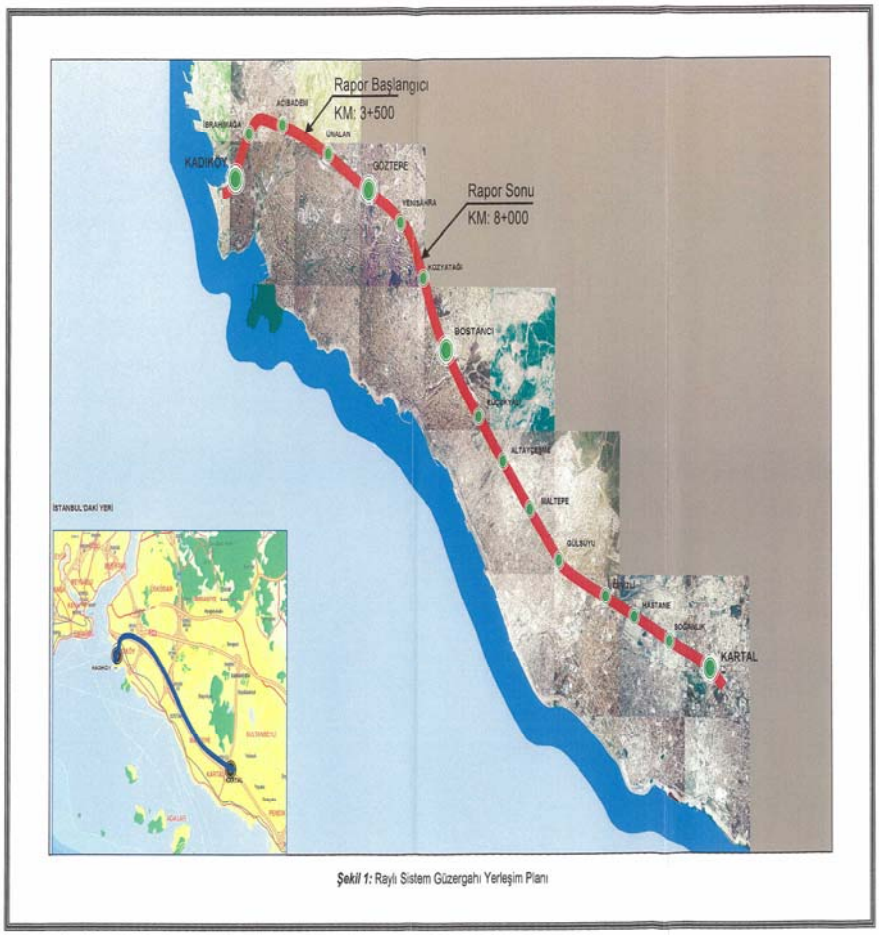
Kadıköy - Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi çalışması kapsamında, KM 3+500 ile KM 8+000 arasında yeralan kesimin jeoteknik çalışmalarını kapsayan bir çalışmadır.

1.1.Çalışmanın Amacı ve Önemi

Çalışma alanı yerleşim merkezlerinin üzerinde bulunduğu özellikle Kadıköy bölgesinde çok yoğun bir yapılaşma koridoru üzerinde yer alırken diğer bölümler de göreceli olarak yoğun trafik, kavşak yapıları ve üst geçitler, yerleşim ve ticari amaçlı yapıların yer aldığı bir koridor üzerindedir (Şekil 1.1.). Yapımını izleyen yıllarda metro, oluşturacağı çağdaş ulaşım cazibesiyle yukarıda değinilen yapılar ve bunlarla ilintili çok sayıda insana ulaşım kolaylığı getirecek, üzerinde yer alan 16 istasyon yapısıyla çevre banliyörleri de kapsayacak şekilde İstanbul İli Anadolu yakasındaki insanların %80'ine hizmet verecektir.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması

1/5000 ölçekli jeoteknik özellikleri kapsayan bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğünün bünyesinde çalışan teknik elemanların katkılarıyla yapılmıştır. 1/5000 ölçekli sayısal ve kağıt haritalar İstanbul Büyükşehir Belediyesi Harita Müdürlüğünden temin edilmiştir. Haritalar UTM (ED 50) projeksiyonunda hazırlanmıştır. Haritaların hazırlanması arazide bizzat gezilerek, eğim haritaları bilgisayar ortamında analizler yapılarak, önceki çalışmalar incelenerek ve son dönemde de ilçe belediyelerin yapmış oldukları ve Bayındırlık Bakanlığınca onaylanmış yerleşime uygunluk raporları ile çeşitli firmalar tarafından yapılmış mekanik sondajlardan faydalanılmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.2.1. Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanı, doğuda Tuzla ilçesinin doğusundaki İzmit ilinin sınırından başlayarak vadi boyunca kuzeye doğru uzanır. Bu sınır, doğu sınırı olup, batı sınırını ise İstanbul boğazı belirlemektedir. Kuzeyde Reşadiye köyü, Güneyde ise Marmara denizi ile sınırlanmaktadır. Bu alanın içinde çalışma yapılamayan askeri ve Büyükşehir belediyesinin sorumluluk alanının dışında kalan yerler bulunmaktadır.

Çalışma alanı doğudan itibaren, Tuzla, Pendik, Kartal, Maltepe, Kadıköy, Üsküdar, Ümraniye ilçelerini, Reşadiye Köyü ve kısmen mücavir alanlarını kapsamaktadır.

Anadolu yakası şehirleşme açısından, Avrupa yakasına göre daha sonraları gecekondulaşma şeklinde yapılaşmaya başlamıştır. Zamanla, gecekondu arazilerine

tapu verilmesi ile gecekondu şeklindeki yapılar planlı yapılar halini alarak yüksek binalar inşa edilmiştir. Kocaeli yarımadasında ulaşım; O_1 ve O_2 otobanları ve bağlı yollar ile 1nci ve 2nci Boğaziçi köprüleri ile sağlanmaktadır. Jeomorfolojik olarak gruplanabilen; vadiler, ovalar, yüksek alanlar, tepeler, tepe düzlükleri, sahanlıklar, bel ve sağrılar, boğazlar, sırt ve yamaçlar vs. gibi alanlar, yukarda anlatılan nedenlerle Kocaeli Platosu Coğrafyasında, Trakya platosundan daha belirgindir.

1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı; coğrafi konum bakımından Tropikal ve Polar hava kütleleri etkisinde olan, güneyden ve kuzeyden denizlerle çevrili, ilkbahardan itibaren ısınan bir sahada bulunmaktadır. İlkbahardan itibaren ısınan kuzey yarımküre ve kuzeye doğru çekilen polar hava kütlelerinin yerini, güney sirkülasyon tropikal-subtropikal hava kütleleri almaktadır. Eylül ayından itibaren de soğumaya başlayan kuzey yarımküreden yavaş yavaş cephesel sistemli polar hava kütleleri bölgemize inmeye başlar. 1983-1987 yılları arasında yapılan araştırmalarda sıcaklık, rüzgâr, yağış, yağışın nitelik ve süresi, basınç merkezlerinin genel durumu ve kısaca bütün meteorolojik parametreler ile Göztepe istasyonunun ölçümleri esas alınmıştır.

1.2.3. Topoğrafya

Çalışma alanının 1/5000 ölçekli haritalarda bölge iki kısma ayrılarak eğim analizleri yapılmıştır. Bu bağlamda % 30 ve daha yukarı eğimler kentleşme sürecinde ve plânlama açısından kritik değer olarak kabul edilmiştir. Bu eşik değer, jeolojik yapının durumuna göre yapılaşmada rol oynamaktadır. Kaya ortamlarında muhtemel deprem anında daha az olan hasar, zemin ortamlarında, yüksek eğimin de etkisi ile daha fazla olacaktır. Eğim derecesi; vadi tabanları, tepe düzlükleri, sahanlıkları, sırt düzlüklerinde en düşük değerlerde iken, dik vadi yamaçlarında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu sınırlar içerisinde şu yükseklikler gözlenir: K. Çamlıca, Büyük Çamlıca (283m), Çakaldağ, Turankorutepe (146m), Havuztepe (234m), Tekkebayırı T(285m), Ahirtepe, Mağarabayırıtepe, Kayışdağı (442m), Müminetepe (294m), Kurnaköy güneyinde Kocabayırtepe (224m), Yakacık kuzeydoğusunda Madenlertepe (380m), Yakacıktepe (379m), Dragosta Orhanlartepe, Gülsuyunda Kırbaçbayırıtepe (395m), Çamurlukbayırıtepe, Çınartepe, Karasubayırıtepe, Aydosdağı (538m), Pınartepe (297m), Gözdağ, Eskiağıltepe, Tavşantepe, Madenlertepe(369m),

Karatepe, Kurfalıtepe, Değirmentepe, Çataldağ (392m), Kaletepe. Genel olarak çalışma alanı engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Eğimli alanlar daha çok orman alanlarındır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kartal-Kadıköy metro çalışmasında genel jeoloji ve mühendislik jeolojisi alanında farklı kaynaklardan yararlanılmıştır. Aşağıda bunlardan bir bölümü yer almaktadır.

Bieniawski, (1989), Kaya kütlelerinin mühendislik amaçlı sınıflandırılması çalışmasında, kendisinin geliştirmiş olduğu jeomekanik sınıflandırma sistemi olan RMR detaylarıyla açıklamıştır. Bu çalışmasına göre; kaya ortamı beş temel özellik içerdiği bu verilerin gene kendisinin oluşturduğu puanlama sistemiyle puanlamasının yapıldıktan sonra toplam matematiksel sonuca göre kaya kütlesi için elde edilen kütle puanından oluştuğunu açıklamıştır. Hoek (1995) tarafından tanıtılan ve Ulusoy (1999) tarafından geliştirilerek Hoek-Brown yenilme kriterine dahil edilen yöntem, kayaç malzemesinin(masif kaya) özellikleri kullanılarak GSI değeri, aşınma faktörü ve malzeme katsayıları ile kurulan korelasyonlar yardımıyla kaya kütlesinin yerinde dayanım ve deformasyon parametrelerine ulaşılmasına olanak verilmiştir. Hoek ve Brown, (1980;1998b), Tüneller için kaya mühendisliği ve yer altı kaya tünelleri adlı çalışmalarında, geliştirmiş oldukları GSI sistemini tanıtmışlardır. Hoek (1998a;2000), Practical Rock Engineering (Kaya Ortamında Pratik Mühendislik) adlı çalışmasında, kaya ortamında yapılan mühendislik çalışmalarını kitap halinde yayımlamıştır. Bu çalışmasında, Hidroelektrik santralleri için yeraltı tünellerinin projelendirilmesi, yamaç stabilitesi, kaya ve zemin ortamında yerinde deneylerin nasıl ve ne amaçlarla yapılacağı, kaya kütlesi sınflaması RMR ve Q sınıflama sistemiyle kendisinin geliştirmiş olduğu GSI (Geological Strength Index) ve sınırlı eleman ağlarının tünellere uygulanmasını detaylarıyla açıklamıştır. İstanbul Gurubu stratigrafik isitifinin en altını oluşturan bu birim yaygın olarak Kurtköy ve Maltepe (Kartal) kuzeyinde yüzeyler. Önceki çalışmalara göre Haas (1968) tarafından Kurtköy Tabakaları, Kaya (1978) tarafından Kurtköy Arkoz Birimi olarak tanımlanan bu birim ilk kez Önalan (1982) tarafından Kurtköy Formasyonu olarak adlanmıştır. (Packelmann, 1938; Okay, 1947-1948; Altınlı, 1951; Ketin, 1953-1959; Arıç, 1955; Abdüsselamoğlu, 1963-1977; Baykal ve Kaya, 1965).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanındaki tünel ve tünel yapıları taşımaları için jeoteknik parametre değerlerini sağlamakta ve uygulamaya yönelik olarak dikkate alınması gereken ana formasyonlar temel alınmıştır. Belirlenen ana formasyonların yaklaşık kilometrelere göre dağılımı aşağıdaki gibidir:

KM 0+000 - KM 3+500	Trakya Formasyonu,
KM 3+500 - KM 11+000	Kartal Formasyonu,
KM 3+500- KM 8+000	Kartal Formasyonu-Zon A
KM 8+000- KM 11+000	Kartal Formasyonu-Zon B
KM 11+000-KM 18+000	Kurtköy Formasyonu,
KM 18+000-KM 21+663	Dolayaba Formasyonu

İstasyonların giriş-çıkış yapıları ve bilet hold katları aç-kapa yöntemi ile inşa edilecek olup farklı kesit özellikleri taşıyan ve hat tünellerine göre daha kısa olan peron ve makas tünelleri yine Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ile gerçekleştirilecektir. Çalışma alanı kapsamında incelenen kesiminde Ünalan, Göztepe ve Yenisahra istasyonları olmak üzere üç adet istasyon yer almaktadır. İstasyonların kilometre sınırları Çizelge 3.1. ' de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Ünalan, Göztepe ve Yenisahra istasyonları

istasyon	Başlangıç	Bitiş	Ray Üst Kotu
Ünalan	KM 4+662	KM 4+842	-17,55
Göztepe	KM 5+699	KM 5+879	-15,00
Yenisahra	KM 7+336	KM 7+516	+21,95

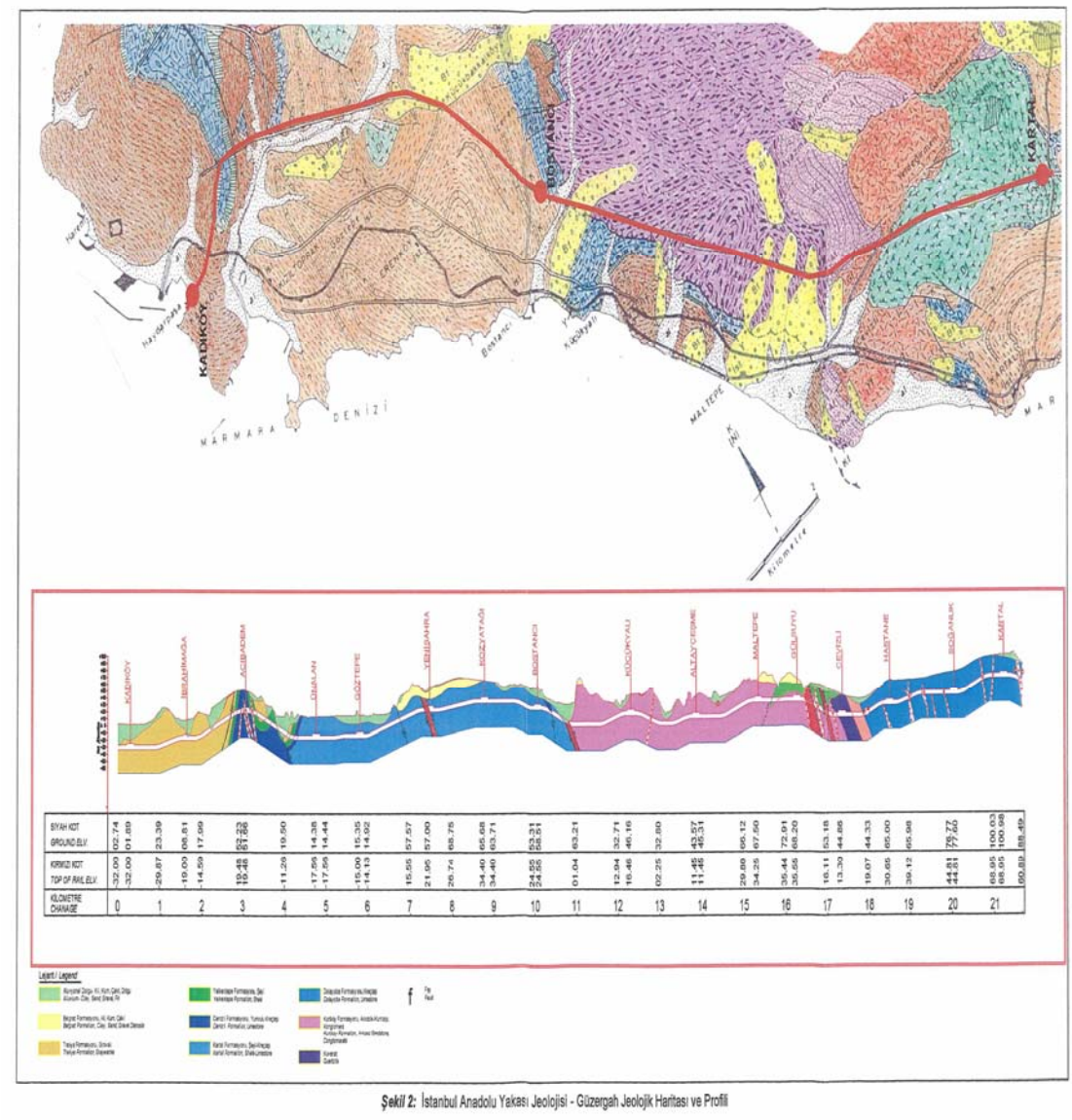
3.1. Genel Jeoloji

İstanbul Gurubu bölge çökel istifinin en alt kesimini oluşturur. Genelde Ordovisiyen-Karbonifer zaman aralığı içerisinde gelişmiş bir pasif kıta kenarı çökelleri ile gelişen

okyanusun kapanma evresinde depolanmış filiş istifini kapsar. Daha yaşlı ünitelerle alt sınırı bölgede gözlenmez. Üstten Triyas, Üst Kretase-Alt Eosen, Orta Eosen-Alt Oligosen, Oligosen-Alt Miyosen, Üst Miyosen ve Kuvaterner çökel devreleriyle yerel olarak örtülüdür. Gurubun yaşlı kesimi yaygın olarak İstanbul Boğazı'nın doğu yakasında yüzeyler. Batıya doğru gurubun göreceli olarak daha genç kesimi yüzeyler. Boğazın batı yakasında ise, baskın olarak Karbonifer yaşlı çökeller izlenir. İstanbul Gurubu kendi içerisinde formasyon mertebesinde birçok litostratigrafik birime ayrılmıştır.

3.1.1. Kurtköy Formasyonu (Kuf)

İstanbul Gurubu stratigrafik isitifinin en altını oluşturan bu birim yaygın olarak Kurtköy ve Maltepe (Kartal) kuzeyinde yüzeyler. Önceki çalışmalara göre Haas (1968) tarafından Kurtköy Tabakaları, Kaya (1978) tarafından Kurtköy Arkoz Birimi olarak tanımlanan bu birim ilk kez Önalan (1982) tarafından Kurtköy Formasyonu olarak adlanmıştır. Genel olarak mor renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından veya bunların ardışımlarından yapılmıştır. Bütün özelliklerinin görüldüğü bir tip kesit mevcut değildir. Yalnız formasyona ilişkin değişik fasiyesler değişik bölgelerde ve stratigrafik yönden değişik düzeylerde ortaya çıkar. Bu nedenle bazı yazarlarca yapıldığı gibi birim içerisinde üye ayırmak mümkün değildir. Formasyon Maltepe kuzeyinde de açıkça görüldüğü gibi mor renkli, çoğunlukla kaotik iç yapılı, tabakalaşması belirsiz, ünite kalınlıkları 15-20 m. yi bulabilen para çakıltaşlarından oluşmuştur. Çökelme ünitelerinin üst kesimlerinde, seyrek de olsa paralel laminasyon ve çapraz tabakalanma izlenmektedir. Ünitelerin alt çökelme yüzeyleri aşınmalı ve kanallıdır. Ünite içlerinde kum boyutlu matriks içerisinda yüzer durumlu kuvars volkanik ve düşük dereceli metamorfitlerden türemiş maksimum boyutları 10 cm. ye kadar olan çakıllar izlenir. Bunlardan başka kızıl renkli çamur klastları da yaygındır. Alüvyon yelpazesi çökelleri olarak nitelenebilecek bu çökeller E-5 yarmalarında ve Kurtköy kuzeyinde izlendiği gibi kumtaşı-çamurtaşı ardışımından oluşan yine mor renkli bir istifle yanal ve düşey geçişlidir (Şekil 3.1.).



Şekil 2: İstanbul Anadolu Yakası Jeolojisi - Güzergah Jeolojik Haritası ve Profili

Şekil 3.1. Çalışma alanının güzergah jeolojisi haritası

Merceksel geometrili devreler halindeki istif içersindeki üniteler altta aşınmalı ve kanallı dokanaklarla başlarlar. Bu yüzeylerde yaygın yük kalıpları gelişmiştir. Ünitenin alt kesimleri çakıllı ve dereceli, üst kesimleri de büyük ölçekli tekne tipi çapraz tabakalıdır. Tane boyu ve çapraz tabakaların genliği ünite üstüne doğru küçülür. Üstteki çamur taşlarına geçiş derecelidir. Çamurtaşları daha koyu mor renklidir ve içlerinde paralel, dalgalı paralel ve küçük ölçekli çapraz laminasyon yaygın sedimanter yapı türleridir. Çamurtaşları üzerinde bir sonraki devre yine aşınmalı bir alt sınırla başlamaktadır. Devre kalınlıkları 0.5-9 m. arasında

değişmektedir. Menderesli akarsu ortamında çökeltilmiş olan bu istif yaklaşık 150 m. kalınlıktadır.

3.1.2. Aydos Formasyonu (Af)

İstanbul Gurubu'nun ilk birimi olan Kurtköy Formasyonu üzerine yaygın olarak Aydos tepesi, Kayış dağı, Yakacık, Çamlıcalar, Kurtköy ve Beykoz çevresinde genelde pembe-boz renkli kuvars arenitten yapılmış bir istif izlenir. Bu istif önceki çalışmalarda esas kuvarsit horizonu, orta kuvarsit formasyonu, Ayazma tabakaları, Aydos kuvars arenit birimi, Kuvarsit gibi isimler altında incelenmiştir. (Packelmann, 1938; Okay, 1947-1948; Altınlı, 1951; Ketin, 1953-1959; Arıç, 1955; Abdüsselamoğlu, 1963-1977; Baykal ve Kaya, 1965). Bu adlamalar litostratigrafi birim adlama kurallarına uymadığı için bu istif Önalan (1982) tarafından "Aydos Formasyonu" olarak yeniden formasyon mertebesinde adlanmıştır. Bu formasyon, Kurtköy Formasyonu'nun ince taneli taşma ovası yada alüvyal düzlük çökelleri üzerinde ince-orta tabakalı, boz renkli, küçük ölçekli çapraz tabakalı şeyl yada silttaşı ara tabakalı kuvars arenitlerle başlar. Bu kesim Önalan (1982) tarafından "Kınalıada Üyesi" olarak ayırtlanmıştır. Bu fasiyes içinde gelgit düzlükleri için karakteristik balık kılçığı çapraz tabakalanması yaygındır. Bu birim üzerine krem-pembe bej renkli, kalın-çok kalın tabakalı ve büyük ölçekli çapraz tabakalı, feldispatça zengin kuvars arenitler gelir. Bunlarda yine Önalan (1982) tarafından "Orhantepe Üyesi" olarak ayırtlanmıştır. Bunlar üzerine pembe-mor alacalı renkli, yerel kuvars çakıltaşı mercekli, dalgalı paralel laminalı veya küçük-büyük ölçekli tekne tipi çapraz tabakalı kuvars arenitler (Büyükada Üyesi; Önalan, 1982) gelir ve birim en üstte beyaz renkli, orta kalın tabakalı yer yer şeyl arakatkılı ve çapraz tabakalanmalı kuvars arenitlerle (Kayışdağı Üyesi; Önalan, 1982) sona erer. Petrografik açıdan %95 ya da daha fazla oranda kuvars tanelerinden yapılmıştır. Ayrıca %1 oranında mika, %1 oranında opak ve ağır mineraller, %1-2 oranında çört ve %1' den az ayrışmış feldispat taneleri de mevcuttur. Basınç erimeleri nedeniyle tane sınırları çoğunlukla ilksel durumlarını kaybetmiş ve bir mozaik doku oluşturacak şekilde birbirleriyle kenetlenmişlerdir. Ayrıca silis çimento gelişmesi sonucu litoloji çok sert ve dayanımlı kaya haline gelmiştir. Maksimum kalınlığı 300-310 m. olan Aydos Formosyonu'nun genelde geometrisi örtü şeklindedir. Kurtköy ve üstteki Gözdağ Formasyonları'yla sınırları

tedrici geçişlidir. Orta Ordovisiyen-Landoveriyen yaşlı Gözdağ Formasyonu'nun uyumlu olarak altında bulunması nedeniyle Formasyon Orta Ordovisiyen yaşlı olmalıdır.

3.1.3. Gözdağ Formasyonu (Gf)

İstanbul Gurubu'nun formasyon mertebesinde üçüncü birimi olan bu formasyon, laminalı şeyller ile onlar üzerinde kuvarsit mercekli şeyllerden oluşur. Yaygın olarak Kartal ve Pendik kuzeyi ile Beykoz ve Çamlıcalar çevresinde yüzeyleyen bu birim, genelde bindirme dilimleri içinde bulunur. Ayrıca, Büyükada, Ümraniye güneyi, Çengelköy çevresinde ve Boğazın batısında, İstinye-Beykoz arasında da mostraları mevcuttur. Formasyon Tavşantepe batısında, Aydos Formasyonu üzerinde uyumlu ve tedrici geçişle başlar. Alt kesimde ince ve dalgalı paralel laminasyonlu ve yeşilimsi koyu gri şeyllerden yapılmıştır. Laminalı yapı çökelme sonrası biyojenik karıştırma ve deformasyonlarla bozulmuştur. Şeyllerde iyi derecede yapraklanma gelişmiştir. Formasyon içinde üste doğru merceksel ve ince-orta tabakalı feldispatik kumtaşı ara tabakaları izlenir. Bunlar arasında şamozit düzeyleri özellikle Çengelköy ve Büyükdere çevresinde yaygındır. Bu zonun üzerinde formasyon kuvars arenit-yarı feldispatlı arenit mercekleri içeren şeyller halindedir. Bu mercekler değişik stratigrafik düzeylerdedir ve birbirlerinden boyutca farklılıklar gösterir. Formasyon üstteki Dolayoba Formasyonu'na yanal ve düşey yönde geçer. Bu durum özellikle Dolayoba güneyinde ve Istinye kuzey-doğusunda çok güzel ve açık olarak gözlenir.

Formasyonun Büyükdere çevresinde alt sınırı görülmemesine karşın 720 m. lik stratigrafik kalınlığı mevcuttur (Akyüz, 1987). Gözdağ çevresinde ise 700 m. kalın olduğu ifade edilmiştir (Önalan, 1982). Formasyon içinden çeşitli araştırıcılar tarafından toplanan ve tayin edilen fosil içeriğine göre orta Ordovisiyen-Landoveriyen yaşlıdır.

3.1.4. Dolayoba Formasyonu (Df)

Pendik kuzeyindeki Dolayoba çevresinde Gözdağ Formasyonu'nun kuvars arenit mercekli şeylleri ile girik, koyu mavi-mavimsi koyu gri renklerde ve çeşitli karbonat fasiyeslerinden oluşan bir birim izlenir. Bu karbonat istifi literatürde çeşitli adlar altında incelenmiş, litostratigrafik birimleme açısından Önalan (1982) tarafından çeşitli formasyonlara bölünmüştür. Bu çalışmada ise, söz konusu karbonat istifi tek

bir formasyon şeklinde ve fasiyesleri iyi görüldüğü Dolayoba çevresine izafeten "Dolayoba Formasyonu" adı altında incelenecektir. Formasyonun Kartal-Pendik ve Tuzla çevresi yanında Beykoz ve İstinye dolaylarında da yaygın mostraları bulunmaktadır. Birim, Gözdağ Formasyonu ile geçiş bölgelerinde genelde mercan parçaları, krinoid sapları ve brakyopod kavkı ve parçalarından oluşan bir tane taşı ile başlar. Mavimsi gri-pembe renkli olan bu fasiyes genelde birkaç metre kalındır. Bu fasiyes üzerinde, tablalı mercanlardan oluşan ve kalınlığı bölgesel olarak farklılıklar gösteren; kısmen yama, baskın olarak da set resifi türünde resiflerden yapılmıştır. Koloniler arasında ise, çeşitli bentik fosil içeren karbonat çamurtaşlarından ibaret bir fasiyes bulunur. Bu fasiyes içinde yalnızca karbonat çamurtaşlarında tabakalaşma özellikleri belirgindir. Resif çekirdekleri ise masiftir. Fasiyesin kalınlığı Dolayoba çevresinde 50 m. kadardır. Istinye çevresinde ise, birkaç on metre tahmin edilmiştir. Resif fasiyesi üzerinde bazı bölgelerde kalınlığı 500 m.' nin üzerinde olan ince şeyl aratabakalı koyu mavimsi gri-pembemsi gri renklerde kesinlikle balık sırtı çapraz laminalı, dalgalı-merceksi ve flaser tabakalı kireçtaşları gelir. Gelgit etkisindeki bir karbonat platform koşullarını yansıtan bu fasiyes içinde yoğun çeşitli organizma parçalarının karbonat çimento ile çimentolanmasından oluşmuş aratabakalar da yaygındır. Bir diğer deyişle, bu ortam gelgit etkisinde bir resif önü platformu şeklindedir. Dolayoba Formasyonu içinde bu fasiyes üzerinde ince paralel laminalı koyu mavimsi gri mikrit ve ince pembemsi renkli laminalı çamurtaşı ardışımından oluşan, dalga taban altı ve düşük enerjili platform içi derin çukurluk koşullarını yansıtan bir diğer fasiyes yer alır. Önalan (1982), tarafından Sedefadası Formasyonu olarak ayırtlanmış bu birim genel istif içinde mercekler şeklindedir. Formasyonun üst seviyeleri cm.-dm. kalınlıklı şeyl mikrit ardışımından yapılmıştır. Kireçtaşı aratabakaları budinajlanma sonucu iri yumrular haline dönüşmüştür. 12 m. kalınlıklı bu zon üzerinde Kartal Formasyonu'nun sarımsı kahverenkli şeyllerine geçilir.

3.1.5. Kartal Formasyonu (Kf)

Dolayoba Formasyonu üzerinde sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı düzeyler halinde brakyopod, mercan ve bryozoa vs. fosilleri içeren ve seyrek silttaşı ile kumtaşı aratabakalı şeyller yeralır. Hem Kocaeli ve hemde İstanbul yarımadalarında geniş yüzlek veren bu birim, Önalan (1982) tarafından Kartal Formasyonu olarak

ayrılmıştır. Kartal, Pendik, Tuzla, Yakacık, Beykoz-Çengelköy arası ve Istinye kuzeyinde geniş alanlarda mostra verir. Kartal çevresinde yaklaşık 750 m. kalınlıkta ve yukarıdaki tanıma uygun şekilde silttaşı ve seyrek kumtaşı aratabakalı, laminalı-ince tabakalı şeyller şeklindedir. Bunlar, üste doğru kırıntılı kireçtaşı aratabakalıdırlar. Kırıntılı kireçtaşlarının alt yüzeyleri keskin ve aşınmalı, içleri dereceli, paralel ve akıntı ripil laminalı üstten de şeyllere geçişlidir. Tabaka kalınlıkları 10 cm-2 m. arasında değişir. Formasyon içinde arakatkıların sayı ve kalınlıklarının artması, şeyllerinde incelmesiyle üstteki Tuzla Formasyonu'na geçilir.

3.1.6. Tuzla Formasyonu (Tf)

İstanbul ve Kocaeli yarımadalarında, Kartal Formasyonu içindeki kırıntılı kireçtaşı aratabakalarının kalınlaşması ve sayıca artması, şeyllerin de giderek yok olmasıyla sarımsı mavimsi gri masif kireçtaşlarına geçilir. Bu kireçtaşları bu birim üste doğru ince ardışımlı mikritik kireçtaşı alacalı-sarımsı kahve şeyl ardışım haline gelir. Işte bu istif Önalan (1982) tarafında Tuzla Formasyonu olarak ayırtlanmıştır. Alt kesiminde izlenen masif kireçtaşları genelde 30-100 cm. tabaka kalınlıklı, alt yüzleri aşınmalı ve keskin içleri dereceli, paralel ve mikroçapraz laminalı üst kesimleri karbonat çamurtaşı şeklindedir. Oldukça derin-denizel ortama türbit akıntılarla getirilip depolanmış kırıntılı kireçtaşları olarak tanımlanabilirler. Yaklaşık 40 m. kalınlıklı bu fasiyes üzerinde istif yine kireçtaşı-çamurtaşı ardışımı şeklindedir. Ince ardışımlı tabakalaşmalı olarak tanımlanabilecek bu kesim budinajlanma sonucu ince yumrulu bir görünüm kazanmıştır. Bu özellikleri nedeniyle birçok eski araştırmada yumrulu bademli kireçtaşları olarak tanımlanmışlardır (Abdüsselamoğlu, 1963). Bu fasiyesin kalınlığı yaklaşık 50 m. dir. Formasyonun üst kesiminde kireçtaşı aratabakaları incelip seyrekleşerek kaybolur ve istif sarımsı-pembemsi kahverenkli ince paralel laminalı bir şeyl haline gelir. Bu şeyller içerisinde kalınlıkları önce milimetre mertebesinde ve yanal olarak birkaç metre uzunlukta siyah renkli çört bantları izlenir. Bunlar yukarı doğru giderek kalınlaşır ve sıklaşır. Çamurtaşı aratabakalarıda kalınlık olarak incelir. Çamurtaşı aratabakalarının tedricen yok olması ile daha üstte yer alan Radiolaria'lı çörtlere geçilir. Bu kesimin kalınlığı yaklaşık 25 m. dir.

3.1.7. Baltalimanı Formasyonu (Blf)

İstanbul ve Kocaeli yarımadalarında Tuzla çevresinde, Kartal kuzey batısında İçerenköy ve Beylerbeyi sırtlarında ve en yaygın olarak da Baltalimanı-Tarabya arasında yüzeyleyen; alttaki Tuzla Formasyonu üzerinde tedrici geçişle başlayan bir Radioloria'lı çörtler veya liditler bulunur. Bunlar Kaya (1973) tarafından " Baltalimanı Formasyonu" olarak ayırtlanmış ve adlanmıştır. Mostrada genellikle gravite kaymalarının neden olduğu sık kayma kıvrımlı bir zon şeklinde izlenir. Ayrıntıda siyah renkli, çok ince tabakalı ve paralel laminalı çörtlerden veya liditlerden oluşmuştur. Ince kesitte bol Radiolaria fosilleri içeren çok ince kristalli silis agregatı şeklindedir. Bunlar içinde yaygın olarak elipsoidal şekilli fosfat yumruları gözlenir. Diyajenez sonrasında yoğun şekilde kırıklandıkları hemen hemen her mostrada gözüken bir özelliktir. Yumruların içi yoğun şekilde Radiolaria kavkılarıyla kaplıdır. Baltalimanı Formasyonu'nda yoğun izlenen kayma kıvrımları bu birimin eğimli bir yüzey üzerinde ve olasılıkla karbonat duyarlılık sınırının (yaklaşık 4000 m.) altındaki derinliklerde çökeldiğini vurgulamaktadır. Çok uzun mesafelerde değişmeden izlenen ince paralel laminasyonuda çökelme ortamı enerjisinin son derece düşük olduğunu belgelemektedir. Fosfat yumruları çökelmenin son derece yavaş cereyan ettiğini ve deniz tabanının zaman zaman çökelmezlik yüzeyi haline dönüştüğünü belgeler.

3.1.8. Trakya Formasyonu (Trf)

İstanbul Boğazı'nın doğu kıyılarında ve İstanbul yarımadasında Baltalimanı Formasyonu üzerinde baskın olarak yeşilimsi gri renkli, yerel merceksel çakıltaşı ve türbiditik kumtaşı ara tabakalı bir istif izlenir. Bu istif Kaya (1978) tarafından Trakya Formasyonu olarak adlanmış ve ayırtlanmıştır. Formasyon genelde ince tabakalı ve paralel laminalı şeyllerden oluşmuştur. Bunlar içinde değişik stratigrafik düzeylerde ve lokalitelerde sarımsı kahverengi kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve merceksel çakıltaşı ara tabakaları bulunmaktadır. Kumtaşlarının kalınlıkları 10 cm. ile 2.5 m. arasında değişmektedir. Bunların alt tabakalaşma yüzeyleri keskin, aşınmalı ve üzerlerinde oygu-dolgu ve alev izleri türünde taban yapıları ile iz fosiller bulunur. Içlerinde Bouma istifine ait dereceli tabakalaşma, paralel, mikroçapraz ve konvolüt laminasyon ile üst paralel laminasyon zonları yaygın olarak izlenir. Üstten şeyle

geçiş tedricidir. Bu özellikler kumtaşı ara tabakalarının türbit akıntılar gibi yoğunluk akıntılarıyla çökeldiklerini göstermektedir. Türbiditlerin üst yüzeylerinde linguoidripıllar yaygındır. İstif içinde üste doğru, kumtaşı aratabakalarının hem kalınlıkları ve hemde sayıları artar. Ayrıca, üst kesimde değişik düzeylerde birçok merceksel kuvars çakıltaşı ünitesi de mevcuttur. Bunların da alt yüzleri aşınmalı ve kanallı, içleri yaygın kaynaşmalı ve çökelmenin birden fazla evrede geliştiğini gösteren merceksel tabakalaşmalı; ünitelerin çoğu kaotik iç yapılı paraçakıltaşı veya büyük ölçekli çapraz tabakalıdır. Yine Kefeliköy çevresinde izlendiği gibi, birim içinde kalsitürbidit aratabakaları da mevcuttur. Bunlarında alt yüzeyleri keskin, içleri normal derecelenmeli, üst kesimleri paralel laminalıdır. Bu özelliklerle yine türbit akıntılarla çökeldikleri anlaşılmaktadır. Baykal ve Kaya (1963) tarafından Cebeciköy Kalkeri olarak ayrılmış bulunan bu siyahımsı mavi renkli kırıntılı kireçtaşı mercekleri, aslında karbonat kıyıdan taşınmış biyoklastik malzemeyi temsil etmektedir ve, dolayısıyla, formasyon düzeyinde ayırtlanmaları olanaksızdır.

3.1.9. Sultanbeyli Formasyonu (Sbf)

Çalışma alanında İstanbul Grubu üzerine örtü olarak gelen bu formasyon, genç faylarla belirlenmiş havzalarda gelişmiştir. Yaygın olarak özellikle Sultanbeyli, Tuzla ve Pendik ilçelerinin kuzey kesimlerinde ayrık taneli olarak izlenmiştir. Bu formasyon, en altta kahve ve gri renkli, köşeli kireçtaşı-kuvarsit-arenit gibi çeşitli kayaç parçalarından oluşan bloklarla başlar. Bunun üzerinde kahve renkli killi çakıllı ve nadiren blok içeren, çapraz tabakalanmalı ve alt seviyelerinde manganlı kumlar bulunur. Bu birim üzerine de kahverenkli-bej ve ince tabakalanmalı sert killer gelir. Bu seriyi takip eden birim, kahverenkli çapraz tabakalı killi ve nadiren bloklu çakıl-kum yer almaktadır. Bu birimi, kahverenkli-bej ve ince tabakalanmalı sert killer takip eder. En üstte açık bej renkli ve yer yer tabakalanmalı marn-kaliş görülmüştür. Daha önceki çalışmalarda bu birim, Belgrat Formasyonu, Çukurçeşme Formasyonu ve Alüvyon Yelpazelerinden farklı jeolojik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu formasyon yaygın olarak en tipik bir şekilde Sultanbeyli İlçesi ve çevresinde izlenmiş ve tip kesiti aşağıda çıkarılmıştır ve Sultanbeyli Formasyonu adlaması uygun görülmüştür. Bu adlama litostratigrafi birim adlama kurallarına göre yapılmıştır.

3.1.10. Yamaç Molozları (Ym)

Aktif bir tektonik dönem geçiren ve halen aktif olduğu düşünülen Marmara bölgesindeki yükselim ve alçalımlara bağlı olarak deforme olan bölge kayaçları, hızlı bir şekilde mekanik ve kimyasal ayrışma-taşınmaya maruz kalmışlardır. Yamaç molozlarının oluşumunda daha çok mekanik ayrışma etkili olmuştur. Jeolojik olarak aynı fasiyeste oluşan kuvars ve kil ayrışma esnasında farklılaşır. Kuvarslar yüzey sularıyla iyonlaşıp taşınırken, killer immobil olduklarından, ayrıştıkları yerde kalırlar veya kısa mesafe mekanik taşınma ile depolanırlar. Aynı şekilde kırıklanmış olan seyl, kumtaşı ve kireçtaşı gibi kayaç parçaları eğim yönünde taşınarak çukur veya az eğimli alanlarda depolanmışlardır. Ayrışmanın derecesine göre, ayrışma ürününün çökelmesi ve taşınması değişik özellik gösterir. Tane boyu ve türü çevre kayaçlarının özelliklerine göre değişiklik arz eder.

3.1.11. Alüvyon (Qal)

Kurbağalı Dere çökellerinin dışında kalan Alüvyon havzaları, Geç Kuvaterner'de (Holosen) İstanbul ve Kocaeli yarımadalarında mevcut olan çeşitli akarsu yataklarında depolanmış, gevşek blok-çakıl-kum-kil'den oluşmuş çökellerdir. Genelde çapraz tabakalı devresel çökeller şeklinde olup, kalınlıkları ile kendini oluşturan malzemesi çevre kayaçlarına ve akarsuların fiziksel, geometrik özelliklerine bağlıdır.

3.1.12. Magmatik Faaliyet

Volkanik faaliyetler ise; iki kısımda ele alınabilir: birincisi Paleozoik sonunda yerkabuğunun içinde derinliklerde meydana gelen derinlik taşlarıdır. İnceleme alanının dışında Alemdağın batısında yer alan plüton, Çavuşbaşı Graniti olup, bu kitle, yaklaşık 18 km^2'lik bir alanı kaplar. Bundan başka Paleozoik formasyonlar arasında sık sık damarlar ya da kısmen tüf ve lav şeklinde püsküren mağmatik taşlar, yüzey taşları vardır. Bu bağlamda, kuzeyde Anadolukavağı-Riva arasında andezit damarları bulunur. Bunlar ekseriya Devoniyen şistlerini keserler.

3.1.13.Yapısal Jeoloji

İstanbul ve çevresinde görülen paleyozoyik yaşlı kayaçlar oluşumundan sonra çeşitli dönemler tektonik deformasyonlara uğramıştır. Tektonik açıdan; 1nci zaman içinde, önce Kaledonien Orojenezi ile kıvrılmış, sonra Karbonifer'e kadar süren bir kara safhasını takiben yeni bir tortullaşma ve ardından Hersiniyen Orojenezine maruz kalmıştır. Daha sonra yine uzun süren bir kara (aşınma) safhası mevcut olup, Üst Kretase'de tektonik hareketler, bu devir denizleri içinde geniş bir denizaltı volkanizma faaliyetlerine sahne olmuştur. Yer yer görülen andezit filonları bu faaliyetlerin sonucudur. Daha sonra da Alp Orojenezi etkisini göstermiştir. Bu etki Üst Kretase yaşında bir şaryaj şeklinde görülür. Şaryaj hattı Ömerli köyü kuzeyinden itibaren doğu-batı doğrultusunda uzanan bir şerit halinde İstanbul Boğazını keserek Zekeriyaköyü batısına kadar uzanır. Şaryaj düzlemi genel olarak güneye eğimli olup, Boğaz suları altından Marmara'ya doğru "V" şeklinde dalmaktadır. Bu nedenle kayaç grupları bindirme ve faylanmalarla taşınmıştır. Formasyonların çoğunun sınırları tektoniktir.

3.2. Kaya ve Zemin Gruplarının Jeoteknik Özellikleri

İstanbul ve Kocaeli yarımadalarında yaklaşık 450 milyon yıldan bu yana bir çok evrede ilgili tektonik hareketlere bağlı olarak çoğunlukla sedimanter, kısmen de magmatik kayaç gurupları meydana gelmiş, bunların oluşumlarını izleyen evreden günümüze kadar geçen zaman içinde taşlaşmışlar ve bir çok evrede kıvrılma ve kırıklanma türü deformasyona uğramışlardır. Bu kaya guruplarının bulunduğu alanların imara açılmalarında çoğunlukla litolojilerden kısmen de geçirdikleri deformasyonlar sonucu zemin sorunları ortaya çıkabilmektedir. Bu jeolojik birimlerin genel özellikleri şöyledir:

3.2.1. Zeminler

Alüvyon, Yamaç Molozu, Sultanbeyli Formasyonu, granitin arenası ve kaya ortamlardaki ayrışma zonları, zemin özelliğindeki birimlerdir. İnceleme alanındaki ayrık taneli zeminlerin yaşı, sıkışma derecesi, granülometrisi ve kalınlığı genel olarak yerleşim koşullarını etkilemektedir.

3.2.1.1. İnce Taneli Zeminler

3.2.1.1.1. Sultanbeyli Formasyonu

Sultanbeyli Formasyonu çakıl, kum, kil ve karbonattan yapılmış olup, az-orta konsolide bir formasyondur. Kalınlığı çok değişken olmakla beraber sondajlardan elde edilen görünür maksimum kalınlığı 25 m'nin üzerindedir. Tektonik aktivite ile oluşmaya başladığından, kalınlığı gibi litolojisi de yerel olarak değişiklikler gösterir. Sultanbeyli formasyonu yüzeyde tamamen ayrık, bazen toprak şeklindedir. Tekne tipi çapraz tabakalanma izlenir. Bu tabakalar genellikle aşınmalı olarak devresel devam eder. Formasyonun rengi, kumların baskın olduğu yerlerdeki rengi koyu kahve-gri, karbonatın baskın olduğu yerlerde ise kirli beyaz, açık kahve renk tonlarındadır. Tabaka içinde tane boylanması izlenir.

3.2.1.1.2. Granit Arenası

Tuzla Şifa Mahallesi, granit sokulumunun üzerinde bulunur. Granitin ayrışması sonucu arena meydana gelmiştir. Ayrışmanın daha az olduğu birkaç yer dışında mahallenin tümü ileri derecede ayrışmış arena zemin üzerindedir. Ayrışma dereceli olarak derinlere doğru azalarak devam eder. Ayrışma birçok yerde hidrotermal etkilerle olmuştur

3.2.1.1.3. Alüvyonlar

Çalışma alanından İstanbul Boğazı ve Marmara'ya doğru akan derelerin yataklarında alüvyonlar oluşmuştur. Bu alüvyonlar kalınlıkları, malzeme özellikleri ve yaşları bakımından farklı özellikler gösterir. Özellikle Kurbağalı Dere, Tugay Dere, Kemikli Dere ve Tuzla Deresinde bulunan alüvyonların kalınlıkları ve yayılımları çok fazladır. Genellikle dere yataklarının oluşumunda ve şekil kazanmasında faylanmalar aşınmadan daha etkili olmuştur. Bu nedenle, alüvyonların geometrisi buna bağlı olarak farklılık göstermektedir.

3.2.1.2. İri Taneli Zeminler

3.2.1.2.1. Yamaç Molozları

Çalışma alanında daha çok Çamlıca Tepeleri, Aydos Dağı, Yakacık Tepesi, Madenler Tepesi, Kayış Dağı, Kurfalı Tepe ve Gözdağ Tepenin eteklerinde izlenir. Yatay ve düşeyde çok kaba boylanma gösterir. Genellikle tabanda iri ve köşeli kuvarsit, arkoz, kumtaşı, kireçtaşı, şeyl blok ve çakıldan oluşan materyal bulunur. Üste doğru malzeme boyutunda küçülme görülmekle beraber, her seviyede farklı boyutta malzeme görülebilir.

3.2.1.2.2. Dolgu Alanları

Çalışma alanındaki dolgular kalınlıkları ve genel özellikleri itibariyle iki farklı gruba ayrılmıştır. Anadolu yakası sahil şeridinde yapılan dolgular ile inceleme alanının çeşitli yerlerinde görülen ve daha çok bina temeli kazısı hafriyatı şeklinde görülen dolgular birbirinden ayrılmıştır.

3.2.1.2.2.1. Sahil Dolguları

İstanbul'un Anadolu yakası deniz sahili son yakın zaman içinde kontrollü bir biçimde doldurulmuştur. Karayolu ve rekreasyon alanı üretmek amacıyla yapılan bu dolgular çevre zeminini oluşturan kaya hafriyatlarıdır. Bu dolgular daha çok plaj fasiyesindeki malzemenin üzerine yapılmıştır.

3.2.1.2.2.2. Yapay Dolgular

Çalışma alanında kazı malzemelerinin depolandığı dolgu alanları bulunmaktadır. Bu kontrolsüz dolgular genellikle katı-gevşek zemin özelliğinde olup, dolgu kalınlıkları 2 m. ile 12 m. arasında değişmektedir.

3.3. Kaya Türleri

Megapol alanının en yaşlı kaya gurubu olan bu gurup içerisindeki birimler, genelde en az sorunlu kayaları oluştururlar. Kurtköy (Kuf) ve Aydos (Af) formasyonları, üzerindeki ayrışma zonları temizlendikten sonra her türlü yapıyı taşıyabilecek niteliktedir. Sert kaya türünden kayalar olan bu litolojilerde çok yüksek binalar için çatlaklı oluşları sorun yaratabilir. Gözdağ (Gf), Kartal (Kf) ve Trakya (Trf)

formasyonları çoğunlukla şeyllerden oluşmaları nedeniyle su alma sonucu, yüzeye yakın kesimlerde ayrışabilirler. Yine, çatlaklı oluşları, yüksek açılım ve derin şevlerde ankraj zorunluluğu getirir. Orta-yumuşak kaya özelliğindeki bu birimler sökülebilirlik açısından yerine göre sert-yumuşak küskülük kayalar olarak tanımlanabilirler. Yalnız Gözdağ Formasyonu içerisindeki kuvars arenit mercekleri, Kartal Formasyonu'nun üst kesimindeki kireçtaşı aratabakaları ve Trakya Formasyonu içerisindeki çakıltaşı mercekleri sert kaya niteliğindedir ve yapılaşma açısından sorunsuzdur. Buraya kadar özellikleri verilen birimlerde geniş ve dik açılı şevler oluşturulduğunda çatlaklar boyunca kaya düşmeleri göz önünde tutulmalıdır. İstanbul Gurubu içerisindeki Dolayoba (Df) ve Tuzla (Tf) Formasyonları kireçtaşlarından yapılmış olmaları sebebiyle sert kaya niteliğindedirler. Yalnız, bunlar içinde jeolojik zamanlar boyunca gelişmiş mikro ve makro karstik boşluklar yüksek binalarda tasman nedeniyle deformasyonlara sebep olabilirler.

3.4. Süreksizlikler

Çalışma alanındaki kayaçlar birçok jeolojik devirde tektonik etkilere maruz kalmıştır. Özellikle Paleyozoyik yaşlı kayaçlar aşırı derecede tektonik etkilere maruz kalmıştır. Bazen deformasyonlar stilolit ve kataklastik doku oluşumuna neden olacak kadar ileri derecededir. Her türlü fay tipini arazide görmek mümkündür. Genellikle formasyonların birbirleriyle olan dokonakları faylıdır. Çalışma alanının yaklaşık ortasından geçen KB-GD uzanımlı bir bindirme zonu bulunmaktadır. Bu bindirme zonunu genellikle KD-GB uzanımlı fay ve çatlaklar kesmektedir. Fay zonlarında fayın büyüklüğüne ve kestiği kaya türüne bağlı olarak milonit zonları gelişmiştir. Bu zonun genişliği 0,5-25 m kadar olabilmektedir. Ancak kireçtaşı, kuvarsit ve arkoz gibi kayaçlarda bu zon çok azdır. Özellikle şeyl ve ince tabakalı kireçtaşlarında çok aşırı kıvrımlı yapılar izlenir. Kumtaşı, kuvarsit ve arkoz gibi kayaçlarda fay ve kırıklarla bloklanarak hareket etmişlerdir. Arkoz ve kuvarsitlerde genellikle kuvars çatlak dolgusu izlenir. Kireçtaşlarında kalsit ve kil dolgular gözlenir. Kumtaşı ve şeyllerde killi ve karbonatlı dolgular daha yaygın olarak görülür. Paleoyozikte yaygın olarak görülen sokulum kayaçları da genellikle büyük çatlak ve fay zonlarına paralel olarak gelişmişlerdir.

Kurtköy formasyonunun çakıltaşı olan kesimleri tabakalanma izlenemeyecek kadar deformasyona uğramıştır. Bu zonun masif bir görünümü vardır. Kurtköy formasyonunun çamurtaşı seviyeleri ince orta tabakanmalı olup, çok belirgin bir tabakalanma hakimdir. Tabakaların konumu tektonik nedeniyle belirgin bir yönelim göstermemektedir. Marmara Denizine parelel uzanan bindirme zonu boyunca genel olarak çeşitli eğimlerde kuzeye doğru eğimlidir. Aydos formasyonu hemen hemen her yerde Kurtköy formasyonu ile uyumlu bulunur. İnce orta tabakalanmalı olup, tabakaların konumu Kurtköy formasyonu ile aynıdır.Gözdağ, Kartal ve Trakya formasyonları benzer litolojinden oluşmaktadır. Tabakalanmaları da benzerlik gösterir. Genel olarak ince-orta tabakalanmalı olup, aşırı kıvrımlı ve kırıklı bir yapı izlenir. Tabakalanmalarında belirgin bir yönelim yoktur. Dolayoba formasyonu çoğu yerde iri bloklu ve masif bir görünümdedir. Yerel olarak ince ve orta tabakalanma izlenir. Tabakalanmalarında belirgin bir yönelim yoktur. Tuzla ve Baltalimanı formasyonları ince ve orta tabakalanmalıdır. Muntazam bir tabakalanma sunar. Sultanbeyli formasyonunda yerel olarak tekne tipi çapraz tabakalanma izlenir. Çoğu yerde tabakalanması görülemeyecek durumdadır.

3.5. Su Durumu

3.5.1. Yüzey Suları

Çalışma alanının bir kısmı Ömerli Barajı su toplama havzasına girmektedir. Reşadiye Köyü ve Ömerli havzası dışındaki alanlarda bulunan akarsular, Marmara Denizine akmaktadır. İnceleme alanındaki tüm derelerde çok fazla miktarda evsel atıklar bulunmaktadır. Derelerin büyük bir bölümü ıslah edilmiştir. Islah çalışmaları da hızlı bir biçimde devam etmektedir.

3.5.2. Yeraltı Suyu

Çalışma alanında, gözenekli ve geçirgen çok iyi bir akifer özellik gösteren jeolojik birim yoktur. Aynı zamanda inceleme alanının büyük bir bölümü yerleşim alanı içinde olduğundan yer altı sularının da büyük bir bölümü kirlenmiş veya tuzlu deniz suyu girişim yapmış durumdadır. Sondajlardan alınan yer altı suyu çatlaklı kaya birimlerinin süreksizlik sularıdır. Ayrıca bölgenin yer altı suyu yumuşak özellikte olduğundan yer altı suyu üretimi ticari olarak yapılmaktadır. Özellikle Aydos Dağı,

Kayışdağı, Yakacık Tepesi ve Madenler Tepesi çevresinde yapılan bu işletmelerde yer altı suyu 300-350 m derinlikte açılan sondaj kuyularından alınmaktadır. İnceleme alanında özellikle sahile yakın ve dere yataklarında açılmış çok sayıda su kuyusu bulunmaktadır. Bu sondaj kuyularında elde edilen yer altı suları daha çok sanayide kullanılmaktadır.

3.6. Deprem Durumu

Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan Çalışma alan kalan Ümraniye 2.derece, Üsküdar-Kadıköy-Maltepe-Kartal-Pendik-Tuzla bölgeleri Kuzey Anadolu Fayına yakınlığı sebebiyle 1.derece deprem bölgesinde kalmaktadır. Bu alanlarda 1. ve 2. Deprem bölgelerinde uyulması gereken deprem yönetmeliğinin kuralları geçerlidir.

3.6.1. Sıvılaşma

İnceleme alanındaki sahil şeridindeki plaj, alüvyon ve dolgular ile derelerdeki alüvyonların su muhtevası yüksek, zemin sıkılığı düşüktür. 1. derece deprem bölgesi olan bu alanlarda hali hazırda sıvılaşma riski bulunmaktadır. Bunun dışında kalan alanlarda sıvılaşma problemleri beklenmez.

3.7. Afet Durumu

3.7.1. Heyelanlar

Kartal ilçesine bağlı Yakacık Koru yolu ile Spor Caddeleri arasında kalan alanda aktif bir heyelan gelişmiştir. Şevin tepe kısmının ağır bir yapı ile yüklenmesi yağışlı mevsimlerde kohezyonun azalarak, içsel sürtünme açısının azalması sebebiyle Yamaç molozu üzerinde, eğim yönünde kaymalar gelişmiştir.

3.7.2. Kaya Düşmesi

Maltepe ilçesi Başıbüyük mahallesinde bulunan Mağara tepesinde Kurtköy Formasyonuna ait kayaların düşme ve devrilme tehlikesi mevcuttur. Tepenin diğer tarafındaki taş ocağında yapılan patlatmalar sebebiyle daha önceden ufak çaplı taşlar düşmüştür.

3.7.3. Taşkın Alanları

Çalışma alanında, mevsimsel olarak meydana gelebilecek aşırı yağışlardan dolayı oluşacak taşkın alanları İSKİ ve DSİ tarafından belirlenerek yerleşim açısından değerlendirilecektir.

3.7.4. Eğim Durumu

Topoğrafik eğim, yerleşim alanlarının belirlenmesinde önemli bir unsurdur. Formasyonların litolojik özellikleri de dikkate alınarak eğimin arttığı bölgelerde yapılaşmada sınırlamalar ve yapılaşma koşullarına gerekli önlemler getirilmelidir. Eğim ile yapılaşma arasındaki ilişkiyi kurabilmek amacıyla bölgede eğim analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde eğimin %30 dan fazla olduğu yerler haritada önlemli yerleşime uygun bölge olarak sınıflandırılmıştır.

3.8. Jeoteknik Özellikleri

Jeoteknik etüt kapsammda güzergahın KM 3+500 ile KM 8+000 arasında kalan kesimindeki 30 adet temel sondaj yapılmıştır.

3.8.1. Sondajlar

Güzergahın rapor kapsamındaki aralıklarda yer alan 30 adet araştırma sondajının toplam uzunluğu 940,60m'dir. Sondaj kuyularının derinlikleri 13,5 m ile 45,0 m arasmda degişmektedir. Bu kesimde yer alan sondajların koordinatları, kotları, derinlikleri ile sondajlarda ölçülen yeraltı suyu kotları ve derinlikleri, artan kilometre sırasıyla Çizelge 3.2.' de verilmiştir. Sondajlar rotari delme yöntemi ile yapılmış, zeminin kendini tutamadığı kesimlerde muhafaza borusu sürülmüştür. Zemin ve kayalarda ilerlemek için 3 5/8" rockbit ve karotiyer uç kullanılmıştır. Zeminlerde de örselenmiş örnekler klasik örnek alıcıyla (split spoon sampler) alınmış, örselenmemiş (tüp) örnekler icin iki tip shelby tüp (D_{if} = 82 mm, D_{dl5} = 89 mm ve $D_{i?}$ = 69 mm, $D_{dl§}$ = 74 mm), kayaclarda ise 101 mm'lik, 107 mm'lik helezonik karotiyer ile T-76 ve T6S-86 çift tüplü karotiyer kullanılmıştır. Sondajlar sirasmda zemin tabaka alanında her 1,5 m'de bir SPT (Standard Penetration Test) yapılmıştır. SPT darbe sayılan (N_{30}) sondaj logları ve jeoteknik profil çizimlerindeki sondajlar üzerinde yer almaktadır. SPT darbe sayılarından hareketle zeminlerin ceşitli dayanım

parametreleri tahmin edilmiştir. Ayrıca SPT sırasında alınan örselenmis, örnekler üzerinde zemin sınıflandırasına yönelik deneyler yapılmıştır. Arazi N_{30} değerleri düzeltilmemiştir.

Araştırma sondajlarının delgisi sırasında sondaj kuyularının içinde zemin tabakalarının sıkılık ve kıvamlarının belirlenmesi amacıyla standart penetrasyon deneyi, kaya ortamlarının su geçirimliliğinin belirlenmesi amacıyla basınçli su deneyi, zemin ve kaya tabakaların deformasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da presyometre deneyi yapılmıştır. Kaya ortamlardan alınan karot örnekler için toplam karot yüzdesi (TCR), sağlam karot verimi (SCR) ve kaya kalite değeri (RQD) sondajlar sırasında belirlenerek loglarda belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Sondajların koordinat ve kotları

Sondaj No	Kuyu Adı	Y	X	Kot	Derinlik	YERALTI SU SEVİYESİ				
						İLK ÖLÇÜM			2. ÖLÇÜM (Mart 2006)	
						Derinlik	Kot	Delgi Tarihi	Derinlik	Kot
				(m)	(m)	(m)	(m)	(Ay / Yıl)	(m)	(m)
1	ZKS-8	420145,959	4541325,304	30,07	30,0	15,0	15,1	7/2005	-	-
2	ZKS-8/A	420392,930	4541246,284	13,76	30,0	3,4	10,4	12/2005	2,5	11,2
3	ZKS-9	420436,062	4541191,510	14,57	33,0	5,1	9,5	7/2005	4,1	10,5
4	ZKS-9/A	420596,053	4541112,025	12,10	32,5	10,0	2,1	11/2005	2,7	9,4
5	KKS-8/A	420784,328	4541026,720	12,54	34,0	6,0	6,5	10/2005	-	-
6	KKS-8	420768,560	4540969,530	11,21	30,0	3,8	7,4	6/2005	-	-
7	ZKS-10/A	421093,072	4540866,999	13,71	36,0	3,0	10,7	11/2005	1,0	12,7
8	KKS-9	421129,883	4540773,783	13,16	30,0	3,8	9,4	6/2005	2,6	10,5
9	ZKS-10	421185,315	4540812,201	13,84	30,0	2,5	11,3	7/2005	0,6	13,2
10	ZKS-11	421326,916	4540763,464	18,80	30,0	7,1	11,7	7/2005	-	-
11	ZKS-12	421486,917	4540673,704	16,94	30,0	2,8	14,1	7/2005	1,4	15,5
12	ZKS-12/A	421619,093	4542060,366	17,11	31,0	2,0	15,1	11/2005	-	-
13	ZKS-13	421787,153	4540540,434	16,03	29,0	6,5	9,5	7/2005	0,9	15,1
14	ZKS-13/A	422006,446	4540443,951	20,93	36,0	8,3	12,6	12/2005	-	-
15	ZKS-14	422150,616	4540369,331	21,90	29,0	6,5	15,5	8/2005	-	-
16	ZKS-15	422263,120	4540296,091	15,98	29,7	3,5	12,5	8/2005	-	-
17	KKS-10	422342,450	4540169,070	17,39	25,0	4,2	13,2	3/2005	-	-
18	ZKS-16	422481,415	4540201,005	16,71	29,0	4,5	12,2	7/2005	2,1	14,6
19	KKS-11	422549,480	4540066,440	22,22	25,0	3,9	18,3	3/2005	-	-
20	ZKS-16/A	422769,156	4540033,622	21,97	22,0	11,8	10,2	9/2005	-	-
21	ZKS-17	422953,448	4539913,005	41,97	37,7	13,0	29,0	7/2005	4,6	37,4
22	ZKS-18	423237,583	4539680,345	59,11	34,0	9,5	49,6	7/2005	-	-
23	ZKS-19/C	423396,360	4539548,600	53,70	41,0	11,2	42,5	9/2005	-	-
24	ZKS-19/D	423406,542	4539537,841	52,41	37,5	7,0	45,4	11/2005	-	-
25	ZKS-19/E	423408,957	4539529,125	52,29	13,5	-	-	10/2005	-	-
26	ZKS-19	423474,045	4539477,057	52,10	30,0	16,7	35,4	7/2005	3,2	48,9
27	ZKS-19/A	423567,753	4539397,881	57,48	36,0	-	-	9/2005	-	-
28	ZKS-19/B	423717,332	4539340,882	61,00	39,7	8,5	52,5	9/2005	-	-
29	KKS-12	423732,190	4539205,590	64,97	25,0	1,7	63,3	4/2005	-	-
30	KKS-12/A	423839,021	4539182,831	66,21	45,0	10,5	55,7	9/2005	-	-

3.8.1.1. Standart Penetrasyon Deneyi

SPT (Standard Penetration Test) deneyi, uygulamada cok yaygın olarak kullanılan bir deneydir. Zemin özelliği gösteren birimlerde, zeminin mühendislik özellikleri hakkında bilgi verirken, alınan örselenmiş örnekler üzerinde de laboratuvar tanımlama deneyleri yapılır. Sondaj kuyularında yapılan bu deneyde, deney yapılması istenen seviyeye gelindiğinde kuyu tabanına ağırlığı 6,8 kg, dış çapı 3" ve iç çapı 1-3/8" olan ve yatayda ikiye ayrılabilen standart yatık tipli tüp indirilir. ASTM - "Procedings for Testing Soils Proposed Methods for Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils" isimli yönteme uygun olarak 63,5 kg ağırlığındaki tokmak 76 cm' den düşürülerek klasik zemine çakılır. Deney, her 15cm'lik zemin penetrasyonu için gerekli darbe sayımı belirlemekten oluşmakta, 45 cm'lik çakma sonunda son 30 cm'lik giriş için elde edilen darbe sayısı "SPT sayısı" olarak adlandırılmakta ve N_{30} ile temsil edilmektedir.

3.8.1.2. TCR, RQD, SCR ve GSI Değerlendirmeleri

Kaya ortamlarından alınan karotlar üzerinde ilerleme boyuna uygun olarak her manevra icin Toplam Karot Yüzdesi (TCR), Kaya Kalitesi Değeri (RQD) ve Sağlam Karot Verimi (SCR) gibi üç farkli değer hesaplanmaktadır. Bunlardan TCR, karotiyerden çıkan toplam karot boyunun, manevra boyuna oranı olarak tanımlanmaktadır. RQD, boyu 10 cm'den uzun olan karotların toplam boyunun manevra boyuna oranıdır. SCR ise karotiyer çapını sağlayan parçaların toplam boyunun, manevra boyuna oranı olarak tanımlanmaktadır. TCR, RQD ve SCR değerleri sondaj loglarıda yer almaktadır. Kaya sınıflandırmasına yönelik olarak yapılan GSI değerlendirmeleri sondaj karot sandıkları üzerinde belirlenmiştir.

3.8.1.3. Basınçlı Su Deneyi

Lugeon basınçlı su deneyi, 10 atmosfer gercek basınç altında 1 dakikada, 1 metre uzunluğundaki deney zonunda litre olarak ortalama basılan su miktarıdır. Lugeon biriminin hesaplanmasında gerçek basıncın kullanılması gerekir. Deney yapıldıktan sonra Lugeon eğrileri çizilir. Bu eğri üzerinde 10 atmosfer hakiki basınca karşılık gelen emilme katsayısı, deney zonunun Lugeon birimi olarak geçirimliliğidir. Lugeon deneyi sonucunda elde edilen değerlere göre kayaçların geçirimliliği;

< 1 Lugeon	Geçirimsiz
1 - 5 Lugeon	Az Geçirimli
5-25 Lugeon	Geçirimli
> 25 Lugeon	Çok Geçirimli

olarak tanmlanmaktadir. (Şekercioglu, 1998) inceleme alanında yeralan sondajlarda, kaya ortamının geçirimliliği, basınçlı su deneyi yapılarak lugeon birimi olarak, vanalarda ve manometreden sonraki borularda meydana gelen yük kaybını temsil etmektedir. Emilme Katsayısı, It/m/dk olarak deney esnasındaki kaçak miktarının deney süresi ile deney zonu uzunluğu çarpımına bölünmesi ile elde edilir. Çeşitli nedenlerle deney sırasında 10 atmosfer basınç uygulanamaması durumunda

Q : Kuyuya verilen su miktarını (l/dk)

P : Uygulanan gerçek basıncı

L : Kademe boyunu temsil etmektedir.

3.8.1.4. Presiyometre Deneyi

Menard tipi presiyometre deney (MPT) sistemi; sonda, hacim-basınç yer ve bağlantı bileşenleri (borular) olmak üzere üç pargadan oluşmaktadır. Sonda sondaj kuyusunda deney yapılacak seviyeye kadar indirilmekte, hava ile aynı basınçta ölçme hücresine basılan su, sondajın radyal genişlemesini sağlamaktadır. Hacim kaybı olmadığı varsayımı ile basılan suyun hacmi, kuyu cidarında meydana gelen radyal şekil değiştirmenin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Belirli zaman aralıklarında sondaya basılan suyun basıncı (P) ile hacmin (V) değişim grafiği elde edilmektedir. Böylece meydana gelen deformasyon ile uygulanan basınç arasındaki ilişki belirlenmiş olur. Bu ilişki yardımıyla kaya ve zemin ortamlarının akma basıncı (P_F) ve limit basıncı (P_L) hesaplanabilmektedir. (Menard Techniques Ltd, 1997) Presiyometre deneyi, gok yumuşak ve yumuşak zeminlerden başlayarak, elastisite modülü 20.000 MPa'a kadar olan kayaların mekanik ozellikleri ve jeolojik süreksizliklerin belirlenmesi için yapılır. Deneyin prensibi sondaj deliği içinde belli seviyelerde, aygıtın kuyuya indirilen kısmı ile meydana getirilen radyal basınçların, kuyu cidarında oluşturduğu deformasyonlara karşıt gelen hacim-basınç grafiğinin

değerlendirilmesinden oluşmaktadır. Deneyin yapımı tamamlandıktan sonra OX ekseni kg/cm^2 cinsinden basınç ve OY ekseni cm^3 cinsinden hacim değişimlerini göstermek üzere hacim-basınç diyagramı çizilir. Eğrinin tümsek kısmı, verilen basınç artışı ile probun zemine oturması ve zeminin başlangıç basmcına (P_0) karşılık gelir. (P_0)'dan sonra eğrinin doğrusal değişim gösterdiği evre, elastik evredir. Elastik evreden sonra eğrinin yükselmeye başladığı evre ise plastik evre olarak tanımlanır. Limit basınç (P_L) hacim artışlarının kuramsal olarak sonsuza vardığı noktadır ki, bu kuramsal olarak zeminin taşıma gücünü) gösterir. Belirlenen sondaj noktalarında presiyometre deneyi yapılmış, elastisite modülleri hesaplanmıştır. Deney, çapı 76 mm olan kuyularda basınç kontrollü olarak uygulanmıştır. Deney sürecinde uygulanan basınca karşılık oluşan hacim deformasyonları okunarak kaydedilmiştir.

Elastisite Modülü; (3.1)

E_p=2,66{V_0+Vj6J>lhV)

V_m={y,+V_f)l2 olmak üzere;

$_0$: Su hücresinin boş hacmini (790 cm^3),

Vj: Zeminin sükunetteki basınçtaki hacmini,

V_f: Zeminin plastikleşmeye başladığı basınçtaki hacmini göstermektedir.

3.9. Zemin Tabakaları İçin Jeoteknik Değerlendirmeler

Tünel tasarımında kullanılacak zemin ortamlarına ait jeoteknik parametrelerin belirlendiği bu bölümde, ilk olarak tüm güzergah üzerindeki tabaka ve formasyonlar hakkında genel bilgi verilmiştir. Çalışma alanında KM 3+500 ile KM 8+000 arasında kalan kesimi meydana getiren birimlere ait arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler incelenerek bu veriler ışığında değişik değerlendirme yöntemleriyle zemin ve kaya ortamlara ait tasarım parametreleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen kesimde karşılaşılan farklı zemin tabakalarına ait değerlendirmeler ve belirlenen parametreler aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

3.9.1. Dolgu Tabakası

Sondajların hemen hemen tümünde görülen dolgu tabakasının kalınlığı değişkenlik göstermekte, KM 3+800 - KM 4+340 ve KM 5+400 - KM 6+780 arasında

belirginleşmektedir. KM 4+000 civarında kavşak köprüsü dolguları ile birleşerek 20m kalınlıkta görülmektedir. Bu dolgu tabakasının, kavşak köprüsü dolgusu altında yumrulu kireçtaşlarından oluştuğu belirlenmiştir. Sondajlarda rengi genellikle siyah ve kahverengi olarak belirlenmiştir. Tabaka, çok degişik zemin türleri içerdiğinden çok değişken indeks ve dayanım değerleri göstermektedir. Bazı yörelerde iri taşlar içerdiği bilinmekle birlikte genel olarak kil, silt ve kum dane dağılımındadır. SPT değerleri 5-R arasında değerler almaktadır. İçerdiği bloklardan oturu SPT değerleri yüksek değerler vermiştir. Kimi sondajlarda bu nedenden oturu karotlu olarak ilerlenilmiştir. Dayanım parametrelerinin göreli olarak düşük olacağı ve belirlenmesindeki güçlükler bilinmektedir. Bu yüzden fiktif tasarım parametreleri ile temsil edilmişlerdir. Dolgu malzemeleri için tasarımda kullanılmak üzere belirlenen parametreler Çizelge 3.3.' te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Dolgu tabakası jeoteknik parametreleri

Birim Hacim Ağırlığı	Yn(kN/m3)	19,0
Kohezyon	c'(kPa)	0
İçsel Sürtünme Açısı	Ø'(°)	23
Poisson oranı	V(-)	0,35
Elastisite Modülü	E'm(Mpa)	15

3.9.2. Alüvyon Dolgu Tabakası

Alüvyon dolgu tabakası, KM 3+800 - KM 4+260 ve KM 5+120 - KM 6+520 arasında kontrolsüz dolgu altında yer almaktadır. KM 3+840 - KM 4+140 arasında ise tünel aynasında ve tabanında belirlenmiştir. Tabakaya ait SPT değerleri, içerisinde yer alan malzeme özelliklerine göre çok değişkenlik göstermekte ve 9-R aralığında değerler almaktadır.

Çizelge 3.4. Alüvyon dolgu tabakası jeoteknik parametreleri

Birim Hacim Ağırlığı	Yn(kN/m3)	20,0
Kohezyon	C'(kPa)	0
İçsel Sürtünnme Açısı	Ǿ'(°)	26
Poisson Oranı	V(-)	0,30
Elastisite Modülü	E'm(MPa)	25

3.9.3. Kil Tabakası

Sondajlarda belirlenen kil tabakası, dolgu tabakaları ve alüvyal çökeller altında yer almaktadır. Kil tabakaları, altında yer alan kaya formasyonunun ayrışması ile meydana gelmiş rezidüel birimlerdir. KM 5+100 - KM 6+520 aralığında alüvyon dolgular altında, KM 6+580 ile KM 8+000 arasında ise Belgrad Formasyonu altında göreli olarak ince kalınlıklarda yer almaktadır. Bu kilometreler arasında, tabaka içerisinde yer alan ayrışma ürünti çakıllardan ötürü SPT değerleri 42-R arasında değişmekte ve tabaka sert kıvamda görünmektedir (Çizelge 3.5)

Çizelge 3.5. Kil tabakası jeoteknik parametreleri.

Birim Hacim Ağırhğı	Yn(kN/m3)	21,0
Kohezyon	C'(kPa)	0
İçsel Siirtiinme Açısı	Ǿ'(°)	30
Poisson oranı	V(-)	0,40
Elastisite Modülü	E'm(MPa)	50

3.10. Kaya Formasyonu İçin Jeoteknik Değerlendirmeler

KM 3+500 - KM 8+000 aralığında yeralan kaya birimlerinin jeoteknik tasanm parametrelerini çalışma alanındaki sondajlara ait tüm bulgular, arazi ve laboratuvar

deney sonuçları, formasyon bazında bölgelendirilerek jeoteknik değerlendirme Çizelgelarında sunulmuştur.

3.10.1. Jeolojik Yapı ve Formasyon Özellikleri

Belirtilen aralık içinde kaya formasyonu, sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı, seyrek kiltaşı ve kumtaşı aratabanlı şeyllerden ve kireçtaşı seviyelerinden oluşan Kartal Formasyonudur. Tektonik etkiler sonucu kıvrımlı - klivajlı bir yapı kazanmış olan bu birim, tektonik deformasyonlann yarattığı süreksizliklerin de etkisiyle yüzeyde 1m derinliğe kadar ayrılmış olarak bulunur. Dalga tabanı altındaki düşük enerjili ve açık-derin denizel koşullarında çökelmiş olan formasyon, Kartal bölgesinde 750m kalınlığa ulaşmaktadır. Karbonatlı şeyl - şeyl birimlerinden oluşan Kartal Formasyonunda 50-200 mm sıklıkla bulunan çatlaklar genellikle kil ve kalsit dolguludur. Karbonatça zengin seviyelerinde çatlak sıklığı kimi zonlarda 200-500mm ye kadar çıkarken fay zonlarında 50mm nin altına duşebilmektedir. Birimin makaslı, kırık ve ezik kesimleri kolay kazınır niteliktedir. Formasyonun belirgin jeomekanik farklılıklar gösterrmesi nedeniyle, geoteknik profillerde sunulduğu şekilde KM 3+500 - KM 8+000 aralığında, Hasanpaşa Kavşağından başlayarak Yenisahra ve Kozyatağı istasyonları arasmda sona eren kesimi "Kartal Formasyonu Zon A" olarak adlandırılmakta ve bu çalışma kapsamında incelenmektedir.

3.10.2. Sınıflandırma ve Değerlendirme Yöntemi

Çalışma alanı içindeki yeraltı yapılarının tasarımında kullanılmak üzere kaya kütle özelliklerini belirlemek ve bölgesel olarak detaylandırrmak amacıyla Kartal Formasyonu - Zon A, kendi içinde değişkenlik gösteren yapısal ve tektonik özellikleri, aynşma ve çatlaklılık durumu, dayanım ve deformasyon kriterleri değerlendirilerek jeoteknik profilde gösterilir. Bu bölgelendirmede başlıca kriter, Hoek (1995) tarafindan geliştirilen ve kaya kütlesinin yapısal ve yüzeysel koşullarına bağlı olarak dayanım ve ayrışma özelliklerinin tanımlanması ile elde edilen GSI (Jeolojik Dayanim Indeksi) parametresidir. Kaya kütlesinin dayanım ve deformasyon özellikleri, incelenen sınırlı büyüklükteki masif kaya malzemelerinden önemli ölçüde farklılık gösterir. Kaya ortamının davranışı, kaya özelliklerinin yanısıra eklemler, anizotropik yapı, farklı yönlerdeki süreksizlikler ve zayıflık düzlemleri tarafından belirlenir. Kaya ortamının farklı gerilme durumlarındaki davranışlarını zayıflık

düzlemlerinden kaynaklanan anizotropik yapı nedeniyle dayanım özelliklerinin değişimini ve süreksizliklerin etkisini dikkate alan bir yenilme kriteri elde edebilmek için Hoek ve Brown (1980*)* tarafından yapılan çalışmalar zaman içinde geliştirilmiş ve bugünkü şeklini almıştır. Hoek (1995) tarafından tanıtılan ve Ulusay (1999) tarafından geliştirilerek Hoek-Brown yenilme kriterine dahil edilen GSI parametresi; dayanım, ayrışma, çatlaklık gibi gözlemsel değerlendirmelere bağlı olarak kayanın yapısal ve yüzeysel kalitesinin sayısallaştırılmasına dayanır. Son olarak Hoek-Brown Yenilme Kriteri (2002*)* ile genelleştirilen yöntem, kaya malzemesinin (masif kaya) özellikleri kullanılarak GSI değeri, aşınma faktörü ve malzeme katsayıları ile kurulan korelasyonlar yardımıyla kaya kütlesinin yerinde dayanım ve deformasyon parametrelerine ulaşılmasına olanak vermiştir. Bu çalışmada, proje alanındaki 27 adet kaya sondaji için GSI değerleri, delgi uzunluğu boyunca karot örneklerinin yüzey durumu, çatlaklılık derecesi ve ayrışma seviyesi değerlendirilerek her bir manevra için belirlenmiştir. Tünel güzergahı boyunca kaya formasyonlarının tektonik etkiler sonucu kıvrımlı - klivajlı bir yapı kazanmış olması nedeniyle, belirlenen GSI değerleri tünel kotlarından bağımsız olarak sondajın kaya ortamı içinde tünel derinliği boyunca manevra boylarına bağlı ağırlıklı ortalamalar alınarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde, farkı dayanım özelliklerindeki eğimli-kıvrımlı tabakalanmanın güzergah içinde homojenize edilmesi ile tasanm parametrelerinde güvenilirliği artırmak hedeflenmiştir. Formasyon boyunca kaya ortamının dayanım ve deformasyon özelliklerindeki değişim, sondaj bazmda belirlenen agirhkh GSI ortalamalarından yola çıkılarak Çizelge 3.6.'de verilen değer aralıklarına bağlı kaya kalite sınıflaması yardımıyla tasarım parametrelerinde yansıtılmaya bahsedilmiştir.

Çizelge 3.6. GSI aralıklarına bağlı kaya kalite sınıflaması

GSI	Kaya Sınıfı
0-25	Kaya Sınıfı I
20-45	Kaya Sınıfı II
40-65	Kaya Sınıfı III
60 – 85	Kaya Sınıfı IV
80-100	Kaya Sınıfı V

Kartal Formasyonu - Zon A tasanm parametrelerinin belirlenmesi için yapılan jeoteknik değerlendirme çalışmaları kapsamında toplam 27 kaya sondajı, GSI ağırlıklı ortalama değerlerine bağlı olarak yukarıdaki sınıflandırma aralıklarına göre Kaya Sınıfı I ve Kaya Sınıfı II olmak üzere iki ayrı kalite sınıfında değerlendirilmiştir. Bölgelendirmede, sondaj GSI ortalamaları dışında çevre sondajlara ait veriler, bölgesel jeolojik ve tektonik koşullar ile yerel arazi özellikleri de gözönüne alınmış, güzergah jeoteknik profillerinde belirlenmiştir. İncelenen kesimde KM 3+500 - KM 3+800, KM 6+640 - KM 6+880 ve KM 7+220 - KM 7+400 aralıklarında volkanik sokulumlar ve ayrışmış zonlarla gözlenen ve Ezik Zon olarak adlandırılan bölgelere ait sondajlar kaya sınıflamasının dışında tutulmus, ayrışma durumu ve tektonik etkiler nedeniyle kaya ortamının dayanım ve deformasyon özelliklerinde beklenen zayıflığı yansıtabilmek üzere ayrı ele alınmıştır.

Çizelge 3.7. Trakya formasyonu-kaya kalitesi sınıflarına ait sondaj GSI ortalamaları

KAYA SINIFI I		KAYA SINIFI II		EZİK ZON ve ALÜVYON DOLGU	
Sondaj No	GSI	Sondaj No	GSI	Sondaj No	GSI
ZKS-12	15	ZKS-9A	27	ZKS-8	15
ZKS-12A	19	KKS-8A	27	ZKS-8A	16
ZKS-13	10	KKS-8	37	ZKS-9	8
ZKS-13A	32	ZKS-10A	28	ZKS-17	8
ZKS-14	10	KKS-9	28	ZKS-19C	6
ZKS-16A	21	ZKS-10	37	ZKS-19D	7
ZKS-18	20	ZKS-11	28		
ZKS-19	35	ZKS-15	31		
ZKS-19A	30	ZKS-16	27		
ZKS-19B	16				
KKS-12	10				
KKS-12A	13				
Ortalama	*17**	*Ortalama*	*30*	*Ortalama*	*10*

** : ZKS-19 ve ZKS-19A sondajları haric.*

3.10.3. Sondaj Laboratuvar ve Uygulama Verileri

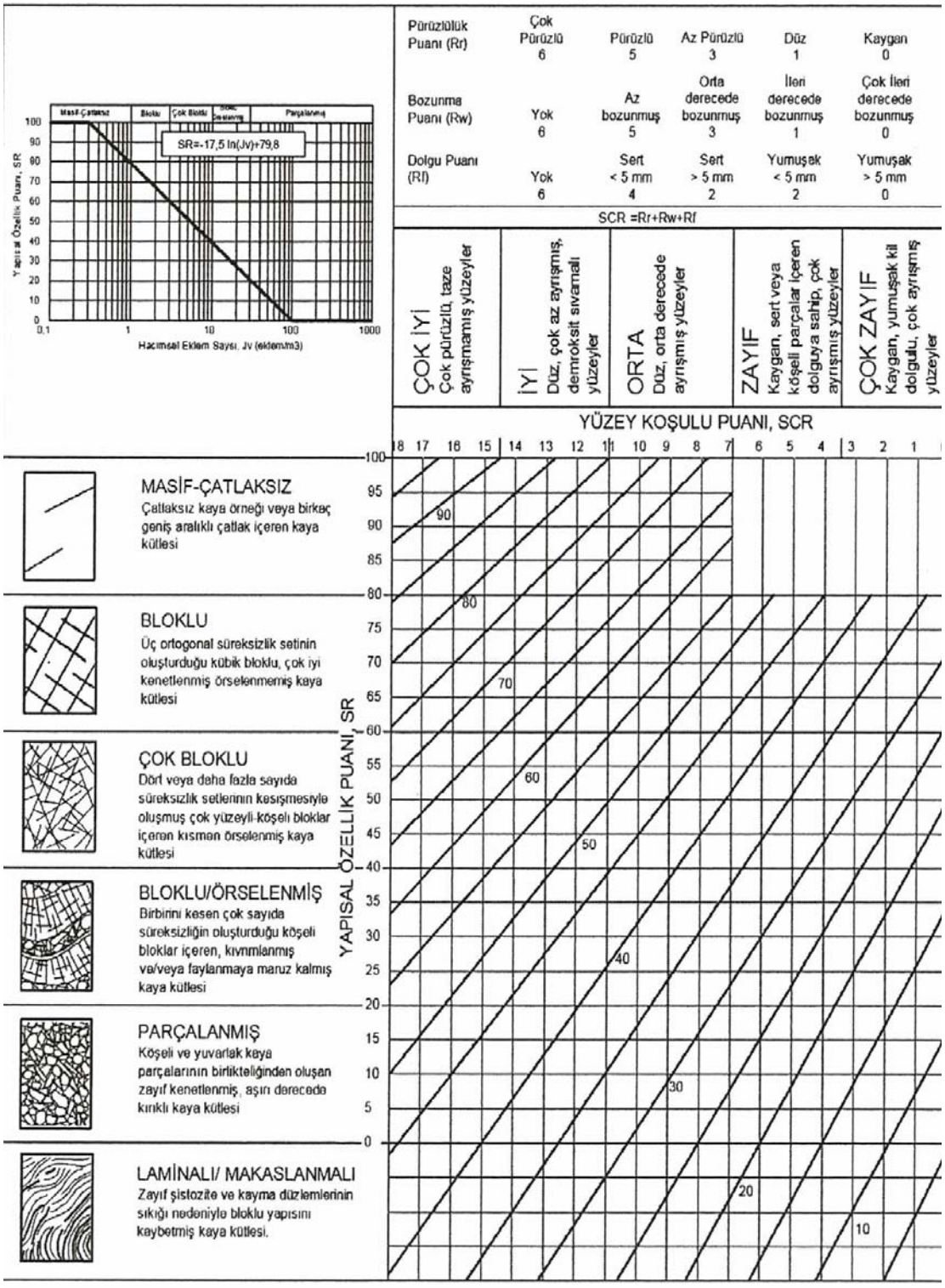
3.10.3.1. Kaya Kalite Tanımı, RQD

Kaya ortamının çatlaklığını sayısal olarak tarifleyen RQD değerleri,tektonik koşullar,orijinal litoloji, ayrışma durumu ve kaya ortamını dayanımı açısından önemli bir ölçüttür. Bu çalışmada tünel güzergahı boyunca kaya formasyonlarının kıvrımlı-kırıklı yapısı nedeniyle, tıpkı GSI değerlerinde olduğu gibi, sondajın kaya ortamındaki tüm derinliği boyunca her karot örneği için RQD değerleri belirlenmiş, sondaj bazında manevra boyuna bağlı olarak ağırlıklı ortamalar hesaplanmıştır. Kartal formasyonu Zon- A, ağırlıklı sondaj RQD değerleri %0- %52 aralığında değişen ve RQD ortalaması % 18 olarak belirlenmiş ve "zayıf kalite" kaya olarak tanımlanmıştır. Genel RQD ortalamaları Kaya Sınıfı I için % 14, Kaya Sınıfı II için % 25 olarak hesaplanmıştır.

3.10.3.2. Jeolojik Dayanım İndeksi, (GSI)

GSI değerleri, sondaj delgi uzunluğu boyunca her bir manevraya ait karot örneğinin yüzey durumu, çatlaklık derecesi ve ayrışma seviyesinin sayısal olarak olarak tanımlanması yoluyla belirlenmiştir. Hoek ve Brown (2002) tarafından tanıtılan yenilme kriteri ve Sönmez ve Ulusoy (1999) tarafından geliştirilen modifiye edilmiş

GSI sistemi esas alınmıştır. Sönmez ve Ulusoy tarafından geliştirilen GSI değerlendirme Çizelgesi Şekil 3.2.' te görüldüğü gibi, kaya örneğinin yüzey durumunu belirleyen pürüzlülük, bozunma ve dolgu özellikleri ile yapısal durumunu çatlaklığının sayısallaştırılması için bir yöntem sunmaktadır. Sondaj karot örneklerine ait GSI puanlarının manevra boylarına bağlı ağırlıklı ortalamalarının hesaplanması ile sondaj bazında GSI değerleri belirlenmiştir. Formasyon içinde kaya kalitesine bağlı olarak alt sınıflama, sondaj GSI ağırlıklı ortalamalarına dayanarak yapılmıştır.GSI değerleri, Kartal Formasyonu- Zon A içinde ortalama değeri GSI=21 olarak hesaplanan ve 6-37 aralığında değişen bir dağılım göstermektedir. Kaya sınıfı genel GSI ortalamaları ise "Kaya Sınıfı I" için 17 "Kaya Sınıfı II" için 30 olarak hesaplanmıştır ve Çizelge 3.7'de sunulmuştur. Sondajların GSI değerlerine bağlı olarak sınıflandırılması yöntemi kullanılarak, formasyon içinde değişkenlik gösteren bölgelerin farklı dayanım ve deformasyon parametreleri ile temsil edilmesi, dolayısıyla güzergah üzerindeki kaya ortamlarının daha gerçekçi ve bölgesel olarak daha detaylı analizi amaçlanmıştır.



Şekil 3.2. GSI değerlendirme çizelgesi (Hoek- Brown, 1998 ve Ulusoy, 1999)

3.10.3.3. Serbest Basınç Direnci

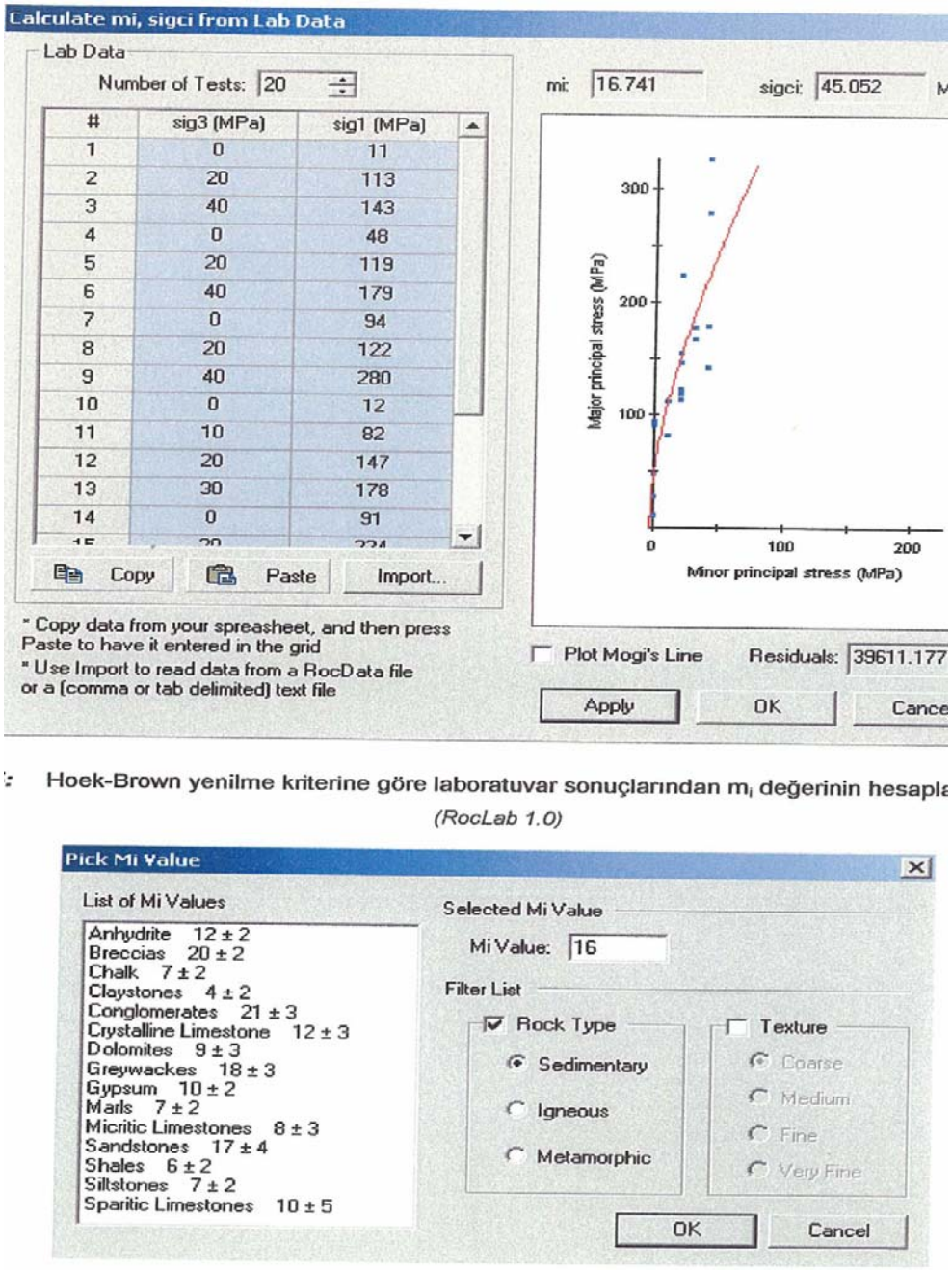
Hoek- Brown yenilme kriteri kullanılarak hesaplanan kaya kütle parametrelerinde serbest basınç dayanımı önemli rol oynamaktadır. Serbest basınç direnci değerleri, proje alanındaki 20 adet sondajdan alınan karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş lan tek eksenli basınç deneyi sonuçlarının sondaj bazında ortalamaları alınarak elde edilmiştir. 1.38 MPa – 83,5 MPa gibi geniş bir aralıkta değişen serbest basınç direnci değerleri, tüm Kartal Formasyonu Zon A için 29,8 MPa ortalama vermektedir.

3.10.3.4. Kohezyon, c ve İçsel Sürtünme Açısı, Ǿ (Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

Sondajlardan elde edilen karot örnekleri üzerinde yapılan üç eksenli banınç deneyleri, kayaç dayanımlarının değerlendirilmesinde ve m_i kayaç malzeme katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır. Kartal Formasyonu Zon A için KKS-8A, ZKS-10A, ZKS-12A, ZKS-13A, ZKS-19 ve ZKS-19A sondajlardan elde edilen ortalama kohezyon değeri 12,0MPa ve ortalama içsel sürtünme açısı 39^0 dir.

Hoek-Brown yenilme kriterinin başlıca parametresi olan m_i kayaç örneğini ait malzeme sabiti olup laboratuar deneylerinden ya da literatürde kayaç türü ve yapısal özelliklerine bağlı olarak değişen değer aralıklarından elde edilmektedir. Literatürde Kartal Formasyonu için m_i değeri konusunda yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Kartal Formasyonu için m_i malzeme sabitinin elde edilmesinde, Rocscience tarafından üretilen ve Hoek-Brown yenilme kriteri ile kaya kütle parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan RocLab 1.0 programından yararlanmıştır. Laboratuar verisi olarak Kartal Formasyonu Zon-A için KKS-8A, ZKS-10A, ZKS-12A, ZKS-13A, ZKS-19 ve ZKS-19A sondajlarına ait üç eksenli deneylerin tüm basınç kademelerine ait veriler kunulmuş ve formasyon için m_i değeri, Şekil 5'te sunulan analiz Çizelgesinde gösterildiği gibi 16,7 olarak hesaplanmıştır.

Hoek-Brown yayınlarında silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve şeyler için önerilen m_i parametre aralıkları Şekil 3.3.'da verilmiştir.



Şekil 3.3. Hoek-Brown yenilme kriterine kaya cinsleri için m_i önerileri (RocLob 1.0)

3.10.3.5. Birim Hacim Ağırlığı

Sondaj karot örnekleri ile gerçekleştirilen laboratuar birim hacim ağırlığı deneylerinden Kartal Formasyonu Zon A için ortalama değer 26,0 kN/m^3 olarak elde edilmiştir.

3.10.3.6. Örselenme Faktörü, D

Tünel Kazısı sırasında kontrolsüz veya düşük kalite patlatma koşulları nedeniyle kaya ortamında oluşan bölgesel hasarlar veya sıkışma nedeniyle ortaya çıkan taban kabarması gibi kaya ortamında gerilme dağılımının önemli oranda değişebildiği durumlarda, örselenme faktörünün dikkate alınması gerekmektedir.

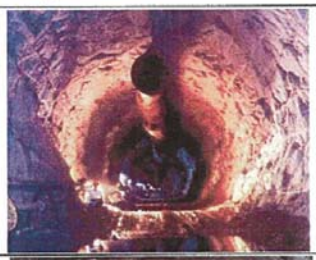
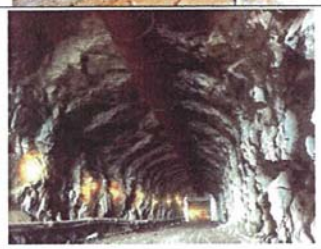
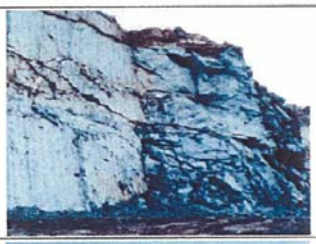
Hoek-Brown Yenilme Kriteri (2002) kaya ortamında inşaat yöntemiyle gerilme dağılımını etkileyen uygulamalara bağlı olarak örselenme faktörü önerilerini Şekil 7'de verilen Çizelge kapsamında sunulmuştur. Kartal formasyonunda gerilme dağılımınlarını değiştirebilecek orta- iyi kalite kaya koşulları için tasarım güvenliği sağlamak üzere örselenme faktörü olarak 0,3 değeri kullanılmıştır.

3.10.3.7. Kayaç Elastisite Modülü, E_i ve Poisson Oranı, v

Sondaj karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuar deneylerinden elde edilen elastisite modülleri ve poisson oranları, geoteknik değerlendirmelerde sondaj bazında ortalamalar alınarak hesaplanmış ve özet Çizelgelerde sunulmuştur.Elastisite modülü değerleri 1.200MPa-20.900MPa, poisson oranı ise 0,23- 0,36 aralığında değişmektedir. Kartal Formasyonu- Zon A için ortalama değerler elastisite modülü için 7541MPa, poisson oranı için 0,29 olarak hesaplanmıştır.

3.10.3.8. Tünel Derinliği, H

Tünel derinliği, tünel örtü kalınlığını dolayısıyla tünel üzerindeki gerilme durumunu belirlemek üzere 1/2000 ölçekli profiller yardımıyla elverişsiz derinlikler dikkate alınarak sondaj bazında saptanmış ve jeoteknik değerlendirme Çizelgesinde sunulmuştur.

Kaya Kütlesinin Görünümü	Kaya Kütlesinin Tanımı-Örselenme Durumu	Önerilen Örselenme Faktörü, *D*
	Çok iyi derecede kontrollu patlatma veya Tünel Kazı Makineleri ile kazılmış tünellerde çevre kayaçlarında minimum örselenme oluşumu	*D=0*
	Mekanik veya elle kazı yapılan (patlatmasız) tünellerde zayıf kaliteli, çevre kayaçlarında minimum örselenme oluşumu Önemli ölçüde taban kabarmasına yolaçan sıkışma problemleri varsa, resimdeki gibi geçici invert uygulanmaması durumunda, örselenme ciddi olabilir	*D=0* *D=0,5* *İnvert Yok*
	Sert kaya tünellerinde kötü denetimli patlatma işlemi sonucunda, tünel cidarından yer yer 2-3 m dışa doğru ciddi örselenme durumu	*D=0,8*
	Mühendislik yapısı sevlerinde, küçük ölçekli, kontrollu patlatma işlemi, soldaki resimde görüldüğü gibi, kaya kütlesinde orta derecede örselenme oluşturabilir. Bunun yanı sıra, gerilme boşalmasıda bir miktar örselenmeye yolaçabilir	*D=0,7* *İyi Patlatma* *D=1,0* *Kötü Patlatma*
	Çok büyük açık maden kazıları şevleri, üretimle ilgili patlatmalardan ve örtü kalınlığının kaldırılmış olmasından ötürü kayda değer örselenmelere maruz kalmaktadır. Bazı daha yumuşak kaya kazılarının, sökülerek (parçalanarak, kazılarak) veya dozer ile açılması durumunda şevlere verilebilecek zararların mertebesi daha az olmaktadır.	*D=1,0* *Patlatmalı Açık Ocak Kazısı* *D=0,7* *Mekanik Kazı*

Şekil 3.4. Örselenme faktörü (D) önerilen değerleri (Hoek vd.)

3.10.4. Yerinde Kaya Kütle (Dayanım ve Deformasyon) Parametreleri

Hoek- Brown ve Eşdeğer Mohr- Coulomb Yenilme Kriteri Kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerini belirlemek üzere geliştirilmiş "Genelleştirilmiş Hoek- Brown Yenilme Kriteri (2002)" aşağıdaki bağıntıyla özetlenmiştir. Dünya

genelinde geoteknik yazılım ve tasarım yöntemlerinin çoğunun Mohr- Coulomb yenilme kriterini kullanması nedeniyle Hoek- Brown kırılma kriterini temsil eden eğrinin, küçük asal gerilmenin aralığındaki değerleri için Mohr- Coulomb yenilme zarfına ortalama lineer korelasyonla uygunluğu sağlanmıştır. Mohr- Coulomb kriterini temsil etmek üzere elde edilen eşdeğer bağıntı, küçük ve büyük asal gerilmeler cinsinden; Kaya kütlesi dayanım ve deformasyon özellikleri ve eş değer Mohr- Coulomb dayanım parametreleri belirleyebilmek amacıyla, sondaj bazında Hoek- Brown parametreleri hesaplanmış ve jeoteknik değerlendirme Çizelgelerinde sunulmuştur.

3.10.4.1. Malzeme Katsayısı Azaltılmış Değeri, m_b

Kaya ortamını temsil eden m_b malzeme katsayısı, masif (infact) kaya örneğine ait olan m_i değerinin GSI- jeolojik dayanım indeksi ve D- örselenme faktörüne bağlı aşağıdaki bağıntı kullanılarak azaltılmasıyla elde edilmiştir;

3.10.4.2. Kaya Kütle Sabitleri, s ve a

Bu değerler kaya kütle sabitleri olup, aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmışlardır;

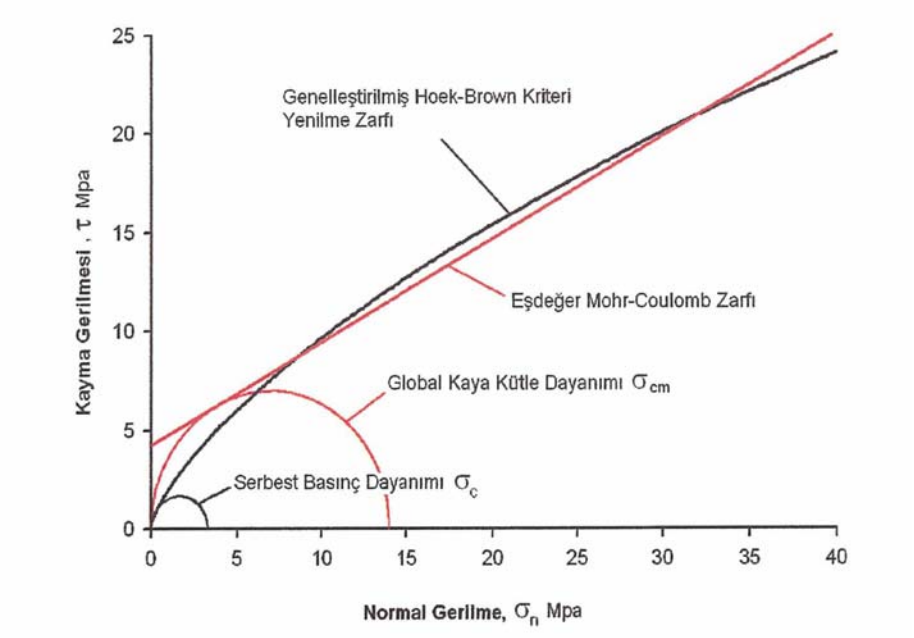
$$S = \frac{\exp(gsı - 100)}{9 - 3d} \qquad (3.2)$$

3.10.4.3. Kaya Kütlesi Çekme Dayanımı

Kayaç serbest basınç direncine ve kaya kütle sabitlerine bağlı olan çekme dayanımına bağlıdır.

3.10.4.4. Global Kaya Kütle Daynımı

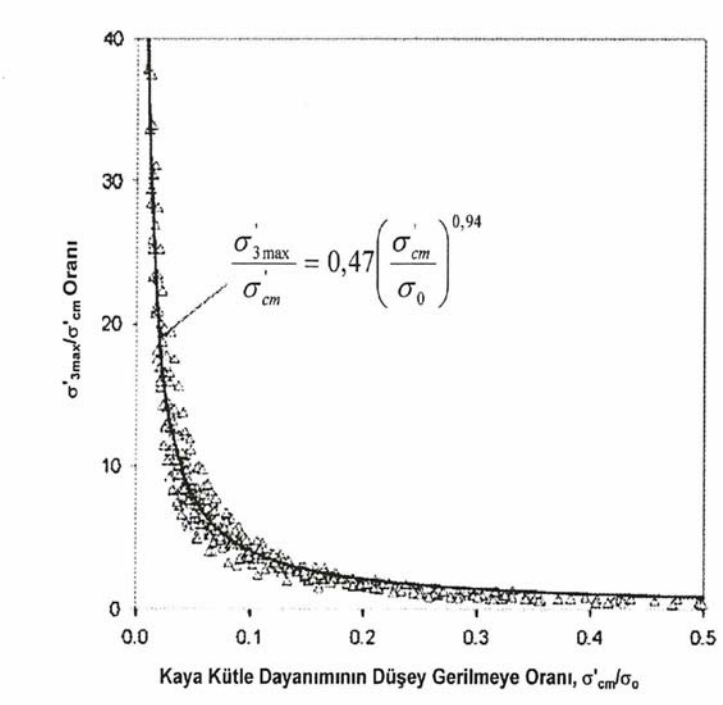
Kay ortamının genel davranışını dikkate alarak geliştirilen global kaya kütle dayanımı değeri, Hoek- Brown ve eşdeğer Mohn- Coulomb yenilme zarfları zerinde global kaya kütle dayanımı basınç direnci gösteren grafik şekil 3.5.da sunulmuştur.



Şekil 3.5. Hoek- Brown ve eşdeğer Mohn- Coulomb kriterlerine ait zarflar (UCS ve global kütle dayanımı)

3.10.4.5. Çevresel Basınç Üst Limiti

Kaya kütlesinin maksimum çevresel basınç değeri, Hoek- Brown yenilme kriterleri ile elde edilen yenilme zarfının, geçerli kırılma zarfı aralığında Mohn- Coulomb teorisine uygunluğunu sağlayarak eşdeğer Mohn- Coulomb dayanım parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan önemli bir parametredir. Çevresel basıncın maksimum değeri, derin tüneller için yapılan çalışmaların sonuçlarına dayanarak elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Hoek- Brown ve eşdeğer Mohn- Coumonb parametreleri için ilişki (Hoek-Carranza- Torres, Corkum, 2002)

Ampirik gözlemler, gevrek kırılmalar çevresel basınç maksimum değerinin kayaç serbest basınç dayanımının $^1/_4$ 'ünden düşük olduğu koşullarda gerçekleştirdiğini göstermiştir. Hoek- Brown yenilme kriterine göre gevrek kırılma aşağıdaki koşul ile temsil edilmiştir;

$$\sigma'_3 \max = \frac{\sigma'_{ci}}{4} \tag{3.3}$$

3.10.4.6. Normal Gerilme

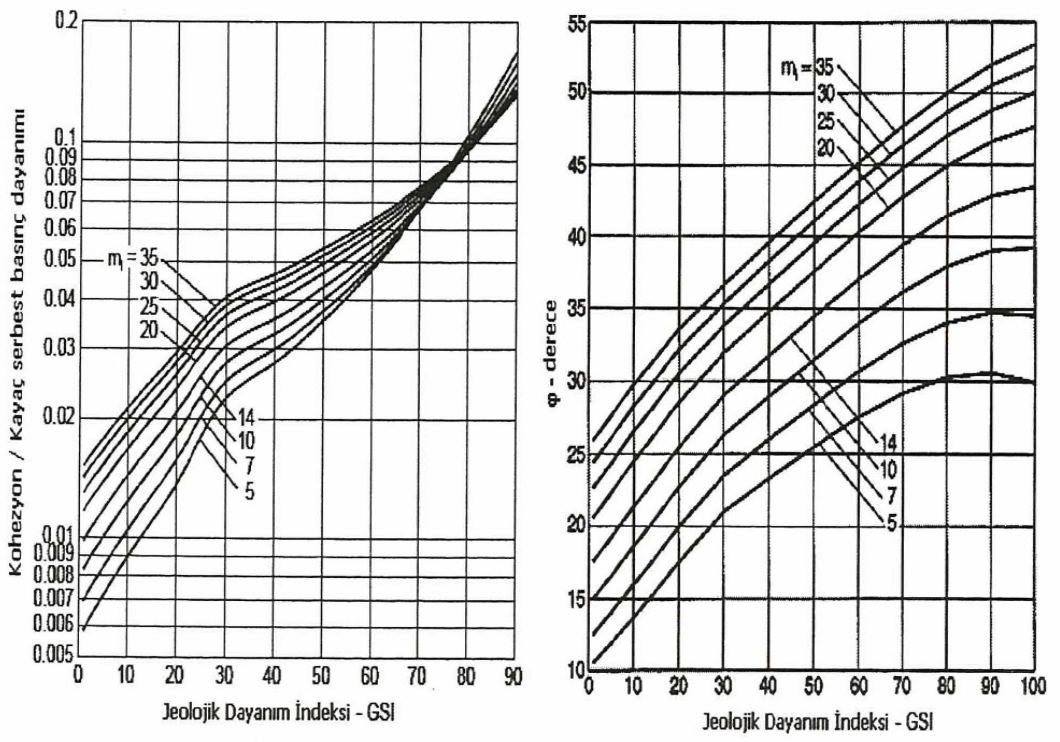
Eşdeğer Mohn- Coulomb dayanım parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan bu değer, aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır;

$$\sigma_{3n} = \frac{\sigma'_{3\max}}{4} \tag{3.4}$$

3.10.4.7. Kohezyon, c ve İçsel Sürtünme Açısı

Kaya kütlesine ait dayanım parametrlerini belirlemek üzere değerlendirilen korelasyonlar aşağıda sıralanmıştır. Sondaj bazında elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri, geoteknik değerlendirme Çizelgesinde sunulmuştur.

Hoek,Carranza- Torres,Corkum(2002), Eşdeğer yenilme zarfı kullanılarak elde edilen Mohn-Coulomb dayanım parametreleri (kohzyon ve içsel sürtünme açısı) için aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir; Kohezyon ve içsel sürtünme açısı, yukarıda tanımlanan değerler için derin tünel deneyimlerine ve gevrek kırılmayı temsil eden gerilme seviyesine bağlı olarak iki farklı değer alır. Prametrelerin hesaplanmasında bu iki farklı yöntem dikkate alınmış ve geoteknik değerlendirme Çizelgelerinde sunulmuştur. Literatürde Hoek- Brown yenilme kriterine dayanan eşdeğer dayanım parametreleri için elde edilmiş grafiksel değerlendirmeler Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. GSI ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki (Hoek E., Marinos M., Benissi M., 1998)

Bienniawski tarafından geliştirilen RMR sınıflama sistemine dayanarak, kaya ortamının kaya dayanımını belirleyen kohezyon ve içsel sürtünme açıları, aşağıdaki sınıflandırma Çizelgesinde verilen aralıklara uygum olarak sondaj bazında hesaplanmış ve değerlendirme Çizelgelerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. RMR Sınıflandırmasına Göre Kaya Kütlesi Dayanım Parametreleri

RMR SINIFLANDIRMASINA GÖRE KAYA KÜTLE DAYANIM PARAMETRELERİ					
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Sınıflandırma	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi Kaya	Orta Kaya	Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya
Kaya Kütlesi Kohezyon Aralığı (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Kaya Kütlesi İçsel Sürtünme Açısı (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

RMR değerine bağlı olarak verilen kayma dayanımı aralıklarında uygulanacak enterpolasyon için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır;

$$C_M = 5RMR \tag{3.5}$$

$$\phi_M = \frac{5 + RMR}{2} \tag{3.6}$$

Parametrelerin belirlenmesinde RMR=GSI yaklaşımı kullanılmıştır.

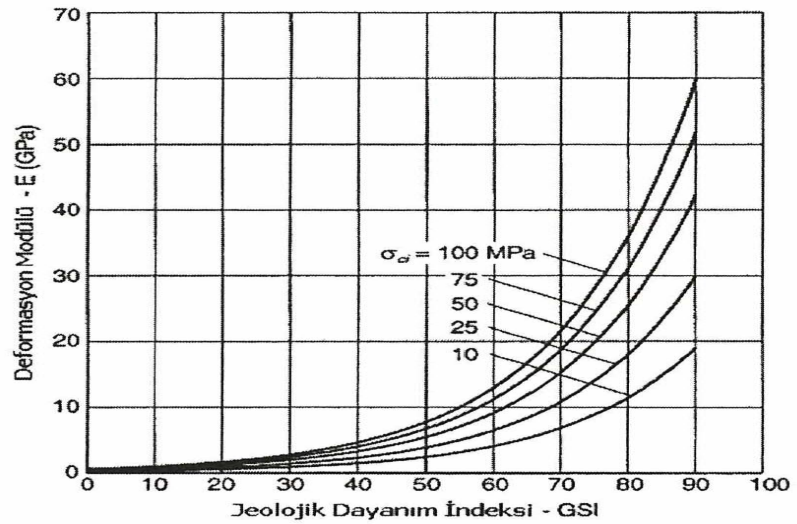
Direk Kesme Deneyleri, Sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde yapılan direk kesme deneylerinden elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme açıları, sondaj bazında değerlendirme Çizelgelerine aktarılmıştır. Laboratuar direk kesme deneylerinin, masif kayaç örneğinden çok kaya ortamı dayanımını temsil ettiği yaklaşımıyla deney sonuçları, hesaplanan kaya kütle parametreleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Kartal Formasyonu Zon A aralığı için ZKS-10A, ZKS-10, ZKS-11, ZKS-12, ZKS-13A,

ZKS-18 ve ZKS-19B sondajlarına ait örnekler üzerinde yapılan direkt kesme deneylerinin sonuçları değerlendirme Çizelgelerinde bulunmakta, tüm formasyon için ortalama kohezyon değeri 0,8 MPa ve ortalama içsel sürtünme açısı $20,8^0$ elde edilmiştir.

3.10.4.8. Elastisite Modülü

Kaya kütlesi deformasyon modülü, yer altı tünellerinde kaya davranışını dolayısıyla destekleme istemini önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. Kolaylıkla ölçülebilen bir büyüklük olmaması nedeniyle birçok araştırmacı kaya sınıflaması yöntemlerine dayanan ampirik bağıntılar önermiştir.

Yapılan çalışmalarda kaya kütle deformasyon modülü için Hoek- Brown yenilme kriterini ve GSI sınıflama sistemini esas alan üç ayrı yaklaşım ile RMR değerine ağlı bir korelasyon kullanılmış, sondaj bazında hesaplanarak geoteknik değerlendirme Çizelgelerinde presyometre elastisite modülü verileriyle birlikte gösterilmiştir. Basitleştirilmiş Hoek- Diederichs (2005), Bu yaklaşım, kayaç örnekleri üzerinde güvenilir veri olmadığı durumlarda önerilir. Hoek- Carranza- Tores, Corkum (2002), Bu bağıntı, GSI ve D örselenme faktörü parametrelerinin yanı sıra kayaç serbest basınç direnci değerini de kullanılır; GSI değerlerine ve kayaç serbest basınç dayanımına bağlı olarak kaya kütle deformasyon modülü değişimi, Şekil 3.8.'de sunulmuştur. (Hoek E., Marinos M., Benissi M., 1998), Hoek- Diederichs (2005), Bu bağıntı, laboratuar kayaç elastisite modülü değerlerinin güvenilir bulunduğu durumlarda önerilmiştir;



Şekil 3.2. GSI, kayaç serbest basınç dayanımı ve yerinde elastisite modülü arasındaki ilişki (Hoek E., Marinos M., Benissi M., 1998)

.Nicholson- Bieniawski (1990), Bu yaklaşım, kayaç örneğine ait laboratuar elastisite modülü değerinin, RMR sistemine bağlı olarak aşağıdaki eşitliği verilen bir azalma faktörü (AF) ile kaya ortamının deformasyon modülünü temsil edecek şekilde düşürülmesi esasına dayanır.

$$AF= 0{,}0028RMR^2+ 0{,}9e^{MR/22{,}82} \quad (3.7)$$

$$E_{rm}=(AF).E_i \quad (3.8)$$

Presiyometre Elastisite Modülü, Sondajlar sırasında delgi kuyularında delgi kuyularında yapılan Menard Presiyometre testlerinin sonuçları, sondaj bazında alınan ortalamalarla özet Çizelgelere aktarılmış, kaya kütlesine ait yukarıda sıralanan ampirik yaklaşımların sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. Ancak farklı kaya ortamları için gerçek davranışı yansıtacak oranda değişkenlik göstermediği görülmüş, tasarım parametreleri belirlenirken bu durum dikkate alınmıştır.

3.10.5. İstatiksel Değerlendirmeler ve Sonuç Çizelgeleri

Kaya kütlesine ait dayanım ve deformasyon parametrelerini belirlemek üzere kullanılan ve bölüm 3.10.'te özetlenen korelasyonların verdiği tüm sonuçlar sondaj bazında özetlenmiş, formasyon kaya kalite sınıfları içinde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Kartal Formasyonu- Zon A aralığı içinde GSI değerlerine bağlı olarak Kaya Sınıfı I ve Kaya Sınıfı II kalitesinde sınıflandırılan sondajlara ait hesaplanan kaya kütle parametrelerinin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri belirlenmiştir. Kaya sınıfları için dayanım ve deformasyon parametreleri, veri sayısına bağlı olarak Eurocode 7'de önerildiği şekilde çoğunlukla %95 güvenlikle alt ve üst değerleri hesaplanan "güven aralıkları" ile temsil edilmiş, grafiksel olarak da gösterilmiştir. (TS EN 1997-1 2005, National Research Council 1995) Grafiksel değerlendirmelerde, veri sayısının azlığı ve değişkenliği göz önünde bulundurularak direkt kesme deney sonuçları ve presiyometre elastisite modülleri %85 güven aralığında hesaplanır. Sonuç Çizelgelerinde sunulan veriler ve hesaplanan parametreler için ikinci kolonda kullanılan indisler; sondaj bulguları, laboratuar deney bulguları, uygulama parametreleri, hesaplanan kaya kütle özelliklerini göstermektedir.

3.11. Jeoteknik Tasarım Parametreleri

Çalışma alanındaki zemin tabakalarına ait sondaj verileri ile arazi ve laboratuar deney sonuçları toplu olarak değerlendirilmiştir. Belirlenen geoteknik parametreler Bölüm 3.11.'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Tasarıma esas olarak kaya kütle parametrelerini belirlemek üzere GSI değerlerine ve formasyonunun genel jeolojik yapısına dayanan bir yöntemle ayrı kalite sınıflarında toplanan sondajlar, tanımlanan kalite sınıflarına ait tasarım parametreleri için bir veritabanı yaratmak üzere mevcut arazi ve laboratuar deney sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. Teorik yöntem ve korelasyonlar yardımıyla elde edilen dayanım ve deformasyon parametreleri, istatistiksel bir yaklaşımla değerlendirilmiş ve alt-üst değer aralığında tanımlanan güven aralıklarıyla grafiksel olarak belirtilmiştir. jeoteknik değerlendirmeler sonucunda, çalışma alanı kapsamında incelenen KM 3+500- KM8+000 aralığındaki zemin ve kaya tabakalarına ait jeoteknik tasarım parametreleri çizelge 3.9'de özetlenmektedir. Çizelgede verilen dayanım ve deformasyon değerleri efektif parametrelerdir.

Çizelge 3.9. KM 3+500- KM8+000 Aralığı için Nihai Sonuç Parametreleri (Kadıköy- Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Tünel Yapıları Jeoteknik Raporu)

TABAKA/FORMASYON ÖZELLİKLERİ			GEOTEKNİK TASARIM PARAMETRELERİ				
Zemin Sınıfı / Litoloji	Tabaka / Formasyon		Birim Hacim Ağırlığı	Dayanım Parametreleri		Deformasyon Parametreleri	
				Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
			γ, kN/m^3	c', kPa	ϕ', (°)	E', MPa	ν, -
Dolgu	Yapay Dolgu		19	0	23	15	0,35
Çakıl - Kum - Kil	Alüvyon Dolgu Tabakası		20	0	26	25	0,30
Rezidüel Kil	Kil Tabakası		21	0	30	50	0,40
Çakıllı Kum - Kil	Belgrad Formasyonu		21	0	26	80	0,30
Kireçtaşı - Şeyl Ardalanması	Kartal Formasyonu Zon A	Kaya Sınıfı I	24	80	30	250	0,30
		Kaya Sınıfı II	25	150	35	450	0,30
		EZİK ZON	23	0	30	100	0,30

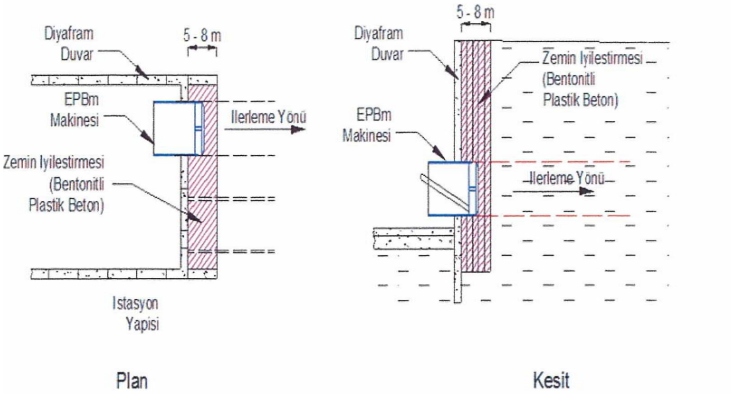
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma alanına konu olan KM 3+500- KM8+000 aralığında yer alan ve "Kartal Formasyonu- Zon A" adı altında incelenen jeolojik birimler, sarımsı kahve- gri renkli, iyi yapraklanmalı, seyrek silttaşı ile kumtaşı aratabakalı şeylerden ve kireçtaşı seviyelerinden oluşmaktadır. Birimlerin değişken aralıklı eklem takımları içeren, kıvrımlı-kırıklı bir yapıya sahip olmaları nedeniyle TCR ve RQD değerleri %0-100 gibi geniş bir aralık içinde değişkenlik göstermektedir. Oldukça sık olarak, parçalı-ezik-zayıf zonlar ve volkanik sokulumlardan kaynaklanan ezilme-örselenme zonları da içermektedir. Aşağıda, bu tez kapsamında incelenen güzergah aralığında tünel yapımına ve yapım sırasında karşılaşılabilecek sorunlara ilişkin değerlendirmelere yer verilmektedir.

Güzergah, Hasanpaşa Köprüsü ile Yenisahra yükseltisinin başladığı yer arasında bulunan Kurbağılıdere yatağının yeraldığı bir vadi yapısından geçmektedir. Tünel her ne kadar büyük bir bölümü ile kaya ortamından geçse de, Hasanpaşa Köprüsü civarında alüvyonel dere yatağı dolgularından oluşan zemin ortamı içersinde ilerlemektedir. Güzergah aralığındaki kaya ortamı RQD değerlerinin frekans dağılımına göre, RQD=% 0-10 sınıfına ait miktarın %50 mertebelerinde olduğu dikkate alınacak olursa duraysız ayna koşullarına sahip olabilecek ezik- parçalı tünel kısımları ile oldukça sık karşılaşılacağı düşünülmektedir. Alüvyonel zeminlerin tünel kesitinde yer alması, yeraltı suyu durumu, kaya yapısında bulunan zayıflık ve ezilme zonları, tünel güzergahının E-5 karayolu ve yine bu yol üzerinde bulunan köprülü kavşaklar altında bulunması gibi jeolojik ve çevresel koşulların yanı sıra ilerleme hızı, mekanizasyon taşeron yönetimi gibi teknik-yönetsel koşullar dikkate alınarak bu aralıkta EPB-TMB tipi kazı makinesi kullanılması öngörülmüştür. Ancak böyle bir kazı makinesinin seçiminde hem ayna basıncı uygulanabilecek hem de kaya malzemesini kesebilecek nitelikte bir tasarım gözetilmesi gerekmektedir. Mevcut iş programı belirtilen kazı metodu önerilerek hazırlanmıştır.

Çalışma alanı KM 3+800 ile KM 4+140 arasında Çamlıca eteklerinden başlayarak Kurbağalıdere ile kavuşan dere yatağını geçmektedir. Bu dere yatağındaki alüvyonel zemin tabakalarının kalınlığı KM 4+000 civarında 38 m gibi maksimum bir değere kadar ulaşmaktadır. Zemin tabakalarının diziliminde en üstte kalınlığı 5-20m

arasında değişen oldukça kalın bir yapay dolgu tabakası bulunmaktadır. Bunun altında kalınlığı 25m'ye dek ulaşan ve orta katı- katı kıvamda (SPT-N_{30}=5-34) killi tabakalar içeren çakıllı kumlar (alüvyon dolgu) yer almaktadır. EPB-TBM ile geçilecek bu kısımda kaya-zemin ara geçişinin problemli olması beklenmektedir. Özellikle tünelin kazı yönü dikkate alındığında tünel makinesinin kaya ortamından zemin ortamına geçişli olarak ilerlemesi söz konusudur. Hem zemin, hem kaya ortamın tünel kesitinde bir arada bulunduğu böylesi bir durumda tünelin üst kısmındaki zemin ortamın, kaya ortama göre kazılma eğilimi yüksek olacaktır. Bu bölgelerde kazı malzemesi hacmi ile ilerleme miktarının çok iyi denetlenmesi gerekmektedir. Zemin tabakalarının hakim olduğu bu tür bölgelerde göz önünde tutulması gereken diğer bir konu da, yer altı su seviyesinin izlenmesi ve tünel çalışmalarından dolayı düşmesine engel olunmasıdır. Bunun sağlanması için EPB-TBM makinesinin basınçlı moda çalışması ve bentonit veya köpük uygulaması gibi zemin stabilizasyon önlemlerinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Zemin ortamında kalan servis şaftlarının giriş ve çıkışında basınç kademeli olarak azaltılacak ve sıfırlanacağından bu bölgelerde makinanın şild uzunluğu kadar olan tünel bölümündeki zemin ortamının jet grout veya diğer yöntemler ile iyileştirilmesi gerekmektedir. Böyle bir durum KM 3+850 civarında yapılması planlanan S.5 şaftında söz konusu olacaktır. Şekil 4'de yer almaktadır.(Arıoğlu B., Yüksel A., Arıoğlu E., 2002b)



Şekil 4.1. EPB-TBM Tünel giriş ve çıkışlarında uygulanacak zemin iyileştirmesi

Diğer bir taraftan bu bölgede tünel, Hasanpaşa köprülü kavşak yapısının Çamlıca tarafındaki yaklaşım ayağından geçmektedir. Zemin- kaya geçişinin tam bu noktalarda olması problemin önemini biraz daha öne çıkarmaktadır. Bu nedenle bölgede kazı işleminin çok dikkatli yapılması (kazı hacmi/ ilerleme miktarı kontrolü) ve bunun yanı sıra yüzeyden köprü yapısında ve zeminde oturma ölçüm noktaları tesis edilerek deformasyonların izlenmesi gerekeceği düşünülmektedir.

KM 4+140 – KM 4+940 arasındaki tünel bölümü, GSI yöntemine dayanarak yapılan değerlendirmede "Kaya Sınıfı II" olarak ayırt edilmiştir. Bu aralıkta RQD değeri % 0-100 gibi geniş bir aralıkta olup ortalama %25'tir. GSI değerleri ise 5-61 arasında dağılmakta ve ortalama GSI=30 değerini vermektedir.

Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ile kazı yapılan tünellerde, jeolojik koşulların belirlenmesi amacıyla kazı-destekleme sırasında "ayna jeolojik haritası" alınması gereklidir. Bu harita alımı sırasında litolojik birimler ve birimlerdeki değişkenlikler, stabilite sorunlarına yol açabilecek süreksizlik, fay ve ezilme zonları, ayrışma durumu ve su geliri belirlenmeli, bütün bunların sonucuna dayanan bir kaya sınıflandırması yapılmalıdır. Bu şekilde elde edilen jeolojik bilgiler, yapılan kaya sınıflaması ve jeoteknik ölçümlerin (tünel ve yüzey oturma ölçümleri) birlikte değerlendirilmesi, tasarımda öngörülen destekleme sisteminin uygunluğuna veya değiştirilmesine ışık tutacak veriler sağlayacaktır. Bunun sağlanması için yüzeyde ve tünel içersinde deformasyon ölçüm kesitleri oluşturulacak, deformasyonların

değişimi kazı sırasında ve sonrasında izlenerek değerlendirilecektir. Zaten Yeni Avusturya Tünel Açma Metodudun temel felsefesi bu esaslara dayanmaktadır.

Bunun sağlanması için yüzeyde ve tünel içersinde deformasyon ölçüm kesitleri oluşturulacak, deformasyonların değişimi kazı sırasında ve sonrasında izlenerek değerlendirilecektir. Zaten yeni Avusturya tünel açma metodunun temel felsefesi bu esaslara dayanmaktadır. Diğer taraftan ayna kesitlerinin jeolojik haritalama ve ölçümlerle sürekli olarak izlenmesi ve elde edilen verilerin yorumlanması, kazı ilerleme yönünde ilerideki tünel bölümlerinde karşılaşılabilecek olası jeolojik sorunların önceden tahmin edilmesine olanak sağlanacaktır.

5. SONUÇ

1. Tünel ve yer altı yapılarının tasarımına yönelik olarak, kullanılan zemin ve kaya birimlerinin jeoteknik özellikleri, tasarım ve yapım açısından incelenen çalışma alanına ilişkin jeoteknik değerlendirmeleri ve formasyonlara ait tasarım parametrelerini içermektedir.

2. Çalışmada verilen parametreler derin tünel yapıları için geçerli olup yüzeyde bulunan aç-kapa gibi yapılara ait olanlar ayrı dikkate alınmış olacaktır.

3. Kartal formasyonu, jeolojik geçmişinde uğradığı tektonizma sonucu birden fazla çatlak sistemi ile sıklıkla karşılaşılabilecek fay ve parçalı ezilme zonları içermektedir. Sondajlarda gözlenen volkanik sokulumlar çevresinde ezilme-ayrışma zonları bulunmaktadır. Bu ezilme-örselenme zonlarının karşılaşılabileceği lokasyonlar bir önceki bölümde belirtilmiştir. Formasyonlar düşük dayanım özelliklerinin yanı sıra incelenen aralıkta derin dolgu ve alüvyon tabakalarının yer aldığı geniş dere yataklarının, yer altı suyunun ve E-5 karayolu ile kavşak yapılarının varlığı nedeniyle tünel kazısının EPB-TBM yöntemi ile yapılması uygun görülmüştür.

4. Çalışma alanı KM 3+800 ile KM 4+140 aralığında alüvyonel zeminlerin yeraldığı derin bir vadi yapısı içinden geçmektedir. Kaya-zemin geçişinde beklenen güçlükler nedeniyle EPB-TBM makinasının basınçlı moda çalıştırılması, kazı hacmi ilerleme miktarı arasındaki ilişkinin kontrol edilmesi, yeraltı suyu seviyesinin ve deformasyonların izlenmesi ve bentonit, köpük gibi uygulamalarla ayna duraylılığının sağlanması gerekmektedir.

5. NATM yöntemi ile açılacak yer altı istasyonlarında, özellikle volkanik sokulumlar çevresinde yeralan ezilme-parçalanma zonları nedeniyle aşırı sökülmeleri önlemek, tünel tavan ve ayna stabilitesini sağlamak üzere kazı ve iksa sistemlerinin önsüren ve şemsiye bulonu gibi ek önlemlerle desteklenmesi gerekebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

6. KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, Ş., 1963. İstanbul Boğazı Doğusunda mostra veren Paleyozoyik arazide stratigrafik ve paleontolojik yeni müşahedeler, M.T.A.Dergisi, 60, Ankara.

Arıoğlu B., Yüksel A., Arıoğlu E. 2002, İstanbul- Mevhide İnönü Tüneli'nde Tasman (yüzey oturması) Eğrisi Dönüm Noktasının Belirlenmesi, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Ekim 2002, Konya

Arıoğlu B., Yüksel A., Arıoğlu E. 2002b , İzmir Metrosu Ümmühan Ana Tünelinde Zemin Basıncı Dengeleme Tünel Metodu (EPBM) Uygulaması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği IX. Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Ekim 2002.

Arıoğlu B., Yüksel A. 1999, Tünel ve Mühendislik Yapılarında Çözümlü Püskürtme Beton Problemleri, Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayını, 171s., İstanbul.

Arıoğlu Ergin, Arıoğlu B., Arıoğlu Erdem, Odbay O. 1993, Metro Tünel Projelerinde Yüzey Tasman Büyüklüklerinin Yarı Teorik Yaklaşımlarla Belirlenmesi, Türkiye 13. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

Arıoğlu Ergin, Arıoğlu B., Arıoğlu Erdem, Odbay O. 1992, Sığ ve Orta Derin Yeraltı Mühendislik Yapılarının Açılmasından Kaynaklanan Yüzey Tasarımına ait Parametrelerinin Kestirimi, 4. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Kongresi, 22-23 Ekim, İstanbul.

Aykar E., Arıoğlu B., Erdirik N., Yüksel A., Özbayır T., Arıoğlu E., Yoldaş R. 2004. Excavation Works in Taksim Kabataş Funicular System Project, ITA-AITES-2005 World Tunnel Congress, İstanbul.

Barla G., Pelizza S., 2002, TBM Tunneling in Difficult Ground Conditions, GeoEng 2000, Melbourne.

Baykal, F. ve Kaya,O., 1963. İstanbul Bölgesi'nde bulunan Karboniferin Genel Stratigrafisi, Maden Tetnik Arama Dergisi, Ankara.

Belirti Mühendislik-Danışmanlık 2005, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi-Yenisahra İstasyonu Jeofizik Raporu, İstanbul.

Bieniawski Z.T. 1989, Engineering Rock Mass Classifications, Wiley, Chichester.

Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T. ve Gibbs, J.F., 1991. "Methodology for Predictivi GIS Mapping fo Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region, California," Proc. Fourth Int. Conf. On Seismic Zonation, 3, 545-552

Edelbro C. 2003, Rock Mass Strength-A Review, Technical Report, Department of Civil Engineering Lulea University of Technology Division of Rock Mechanics, Sweden.

EMA, 2000. Tuzla İlçesi İmar Planını Revizyonuna Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu (İBB; Planlama ve İmar Daire Başkanlığı, Zemin Deprem İnceleme Müdürlüğü'ne kontrol amaçlı gönderilen rapor), İstanbul.

EMA, 2001. Kartal İlçesi Kartal-Soğanlık ve Dolayoba Semtleri İmar Planını Revizyonuna Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu (İBB; Planlama ve İmar Daire Başkanlığı, Zemin Deprem İnceleme Müdürlüğü'ne kontrol amaçlı gönderilen rapor), İstanbul.

Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (MS.11-1964),. İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü, Yay.No: 24, İstanbul.

Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z. ve Değirmenci, E., 1991. Türkiye Büyük Depremleri Makro Sismik Rehberi 1900-1988, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi. Jeofizik Mühendislik, Bölümü, İstanbul.

E, 1998, Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No:28,Ankara

Jeo (zemin etüt ve maden arama), 2000. Ümraniye İlçesi İnkilap Mahallesinin Yerleşim Amaçlı Jeolojik ve Jeoteknik İnceleme Raporu (İBB; Planlama ve İmar Daire Başkanlığı, Zemin Deprem İnceleme Müdürlüğü'ne kontrol amaçlı gönderilen rapor), İstanbul.

Hoek,E. 1999, Support For very Weak Rock Associated with Faults and Zones, Rock Support and Reinforcement Practice in Mining, Villascusa, Winsdor&Thompson(Eds), Bakema, Rotterdam, pp. 19-32

Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. 2002, Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition.

Hoek E. 2004, Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock, On-line makale# http://www.rocscience.com/hoek/DiscussionsPapers.asp. Erişim tarihi: 13.02.2009

Hoek E., Marinos M., Benissi M. 1998, Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses. The Case of the Atıens Schist Formation, Bull Eng Env 1998 57:151-160.

Hoek E. 2004, Estimates of Rock Mass Strength, On-line makale#4 URL http://www.rocscience.com/hoek/DiscussionsPapers.asp Erişim tarihi: 22.01.2009

Interpretation and Application of Pressumeter Test Results to Foundation Design, Menard Techniques Ltd.,1997.

Kaya, O., 1978. İstanbul Ordovisiyeni ve Silüriyeni, H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Yayını, Cilt:4, s.1-2, Ankara.

Meriç, E., Oktay, F.Y., Sakınç, M., Gülen, D., Ediger, V.S., Meriç, N. ve Özdoğan, M., 1991, Kuşdili (Kadıköy-İstanbul) Kuvaterner'inin Sedimanter Jeolojisi ve Paleoekolojisi. Cumhuriyet, Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, C.8, S.1., S.83-91.

Oktay, F., Eren, R.H., 1994. İstanbul Megapol Alanının Jeolojisi. Basılmamış rapor, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Daire Başkanlığı, Şehir Planlama Müdürlüğü, 32s.

Önalan, M., 1982. Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri, Yayınlanmamış, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doçentlik Tezi, İstanbul.

Özmen, B., 1999. Türkiye'deki bütün ilçeler için magnitüd-frekans ilişkisinin belirlenmesi. Deprem Araştırma Bülteni, 82, 84-108.

Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering, National Research Council, Washington D.C.,1995

RocLab, Hoek-Brown Kriteri ile Kaya Kütle Dayanımı Analiz Proramı, @2002 Rocscience Inc., Canada URL:

http://www.rocsience.com/products/RocLab.asp, Erişim tarihi: 05.04.2009

Schmidt, B. 1969, Settlements and Ground Movements Associated with Tunneling in Soil, Ph.D Thesis, Univer.III, Urabana USA.

Seymen İ. 1995, İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi, İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi(Ed. Meriç, Engin),Kocaeli Çevre Koruma Vakfı, Kocaeli.

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

Ulusay R., Sönmez H. 1990, Modification to the Geological Strength Indexs (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 36-743-760

Yüksel A., Sözak N.N., Gülle G. 2005, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi-Mühendislik Jeolojisi Raporu, İstanbul.

TS EN 1997-1 Aralık 2005, Türk Standardı, Eurocode 7:Jeoteknik Tasarım Bölüm 1: Genel Kurallar.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Sevinç SELÇUK

Doğum Yeri ve Yılı: Kadıköy- 1985

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Egitim Durumu (Kurum ve Yıl) :

Lise : Yd. Dil Ağırlıklı H. Hatice Bayraktar Lisesi (2003)

Lisans : Jeoloji Mühendisliği (2007)

Yüksek Lisans: Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (2009)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

1- Akbank T.A.Ş. -2009