

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARAY PROJESİ TUZLA-GÜZELYALI KESİMİNİN (Km28.800-30.000)
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE KAZI ŞEVLERİNİN STABİLİTESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melda YÜRÜR

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARAY PROJESİ TUZLA-GÜZELYALI KESİMİNİN (Km28.800-30.000)
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE KAZI ŞEVLERİNİN STABİLİTESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Melda YÜRÜR
505061328**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahir VARDAR

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505061328 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Melda YÜRÜR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı '**Marmaray Projesi Tuzla-Güzelyalı Kesiminin (Km28.800-30.000) Mühendislik Jeolojisi Ve Kazı Şevlerinin Stabilitesi**' başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mahir VARDAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **19 Ocak 2015**

Çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Marmaray, İstanbul' un Avrupa ve Asya yakalarındaki demiryolu hatlarını İstanbul Boğazı altından geçen bir tüp tünelle birleştiren 76 km' lik bir demiryolu iyileştirme ve geliştirme projesidir.

Bu çalışmada Tuzla Güzelyalı bölgesinde Km:28:800-30:000 arasında kalan banliyö hattının genişletilerek hızlı tren hattı yapımında bölgedeki şevlerin incelenip, çevresinde bulunan yapılarla etkileşimi ve istinat duvarlarının alternatif seçenekleri için mühendislik jeolojisi çözüm araştırmaları yapılmıştır.

CR3 (Banliyö Hatları İyileştirme Projesi) İspanyol firma Obrascon Huarte Lain tarafından sürdürülmektedir ve bitim tarihi 2016 olarak planlanmaktadır.

Yüksek lisans tezi çalışmalarımı yöneten, görüş ve bilgileriyle tezime yön veren İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mahir VARDAR'a sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışma aşamasında arazi çalışmaları ve ofis çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Dr. Müh. Rahmi EYÜBOĞLU'na çok teşekkür ederim. Çalışmalarına yardımlarından dolayı Y. Müh. Cenk KOÇAK'a teşekkür ederim.

İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine, Araştırma Görevlilerine yüksek lisans çalışmamda bana aktardıkları çok değerli bilgilerinden dolayı teşekkür ederim.

Aralık 2014

Melda YÜRÜR
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2 İnceleme Yöntemleri.....	1
1.2.1 Arazi çalışmaları	1
1.2.2 Büro çalışmaları	1
1.3 Çalışma Metodu	2
2. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI	3
2.1 Coğrafi Konum ve Morfoloji	3
2.2 Çalışma Alanının Konumu.....	3
2.3 Ulaşım ve Yerleşim.....	4
2.4 İklim ve Bitki Örtüsü	5
2.5 Ekonomi	6
3. GENEL JEOLojİ.....	7
3.1 Önceki Çalışmalar	7
3.2 Bölgesel Jeoloji	9
3.2.1 Kurtköy formasyonu	10
3.2.2 Aydos formasyonu (Oa).....	11
3.2.3 Gözdağ formasyonu (OSg)	13
3.2.4 Dolayoba formasyonu (SDd)	14
3.2.5 Kartal formasyonu (Dk)	16
3.2.6 Tuzla formasyonu (Dt).....	17
3.2.7 Baltalimanı formasyonu (Kb)	18
3.2.8 Trakya formasyonu (Kt).....	18
3.2.9 Yamaç molozu (Qym).....	20
3.2.10 Alüvyon (Qal)	21
3.2.11 Yapay dolgu (Qyd).....	21
3.2.12 Magmatik faaliyet	21
3.3 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	22
3.3.1 Stratigrafi.....	22
3.3.1.1 Kartal formasyonu.....	22
3.3.1.2 Yamaç molozu (Qym).....	25
3.3.1.3 Yapay dolgu (Qyd).....	25
3.3.2 Yapısal jeoloji	26
3.3.2.1 Tabakalar.....	26
3.3.2.2 Kıvrımlar	29

3.3.2.3	Çatlaklar	30
3.3.2.4	Faylar.....	31
3.4	Bölgenin Depremselliği.....	32
4.	İNCELEME ALANINDAKİ KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK	
ÖZELLİKLERİ.....		37
4.1	Giriş.....	37
4.1.1	Yerüstü çalışmaları.....	37
4.1.2	Yeraltı çalışmaları	37
4.1.2.1	Sondajlar.....	38
4.2	Kayaçların Jeolojik Özellikleri.....	41
4.2.1	Kaya kalitesi göstergesi (RQD).....	42
4.2.2	Süreksizlik ara uzaklığı ve açıklığı	45
4.2.3	Süreksizlik dolguları	48
4.2.4	Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı.....	50
4.2.5	Ayrışma ve süreksizliklerin direnci.....	51
4.3	Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	54
4.3.1	Deney örneklerinin hazırlanması	54
4.3.2	Fiziksel özellikler	56
4.3.2.1	İndex özellikler.....	57
4.3.3	Mekanik ve elastik özellikler	60
4.3.3.1	Tek eksenli basınç direnci	60
4.3.3.2	Üç eksenli basınç direnci.....	62
4.3.3.3	Çekme direnci	63
4.3.3.4	Nokta yük deneyi	65
4.4	Kayaçların Mühendislik Parametreleri	68
5.	İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ.....	71
5.1	Giriş.....	71
5.2	Banliyö Hattının Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi	71
5.3	Hidrojeoloji	73
5.3.1	Birimlerin hidrojeolojik değerlendirilmesi.....	73
5.3.2	Yeraltı su düzeyi.....	75
5.4	Banliyö Hattındaki Şevlerin Duraylılığının İncelenmesi	76
5.4.1	Y1 yarması	76
5.4.1.1	Kaya kamaları ve bloklarının kayma olasılıklarının analitik yolla incelenmesi.....	79
5.4.1.2	Kinematik analiz çalışması.....	82
5.4.2	Dolgular.....	83
6.	KRİTİK ŞEVLERİN DURAYLILIĞI İÇİN İSTİNAT DUVARI	
SEÇENEKLERİ.....		85
6.1	Giriş.....	85
6.2	Banliyö Hattı Şevlerinin Yapılarla Etkileşimi	86
6.3	Hesaplanan Kritik İksa Kesitleri ve İmalatlar	87
6.4	Kazı Şevlerinin Duraylılığı (Rockscience, Phase2)	89
6.4.1	Tek istinat duvarlı analizler (3 m Kaya Bulonlu).....	92
6.4.2	Kademeli duvarlı analizler	94
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
7.1	Sonuçlar.....	99
7.2	Öneriler.....	102
KAYNAKLAR.....		103
EKLER.....		105

ÖZGEÇMİŞ.....	107
----------------------	------------

KISALTMALAR

A₀	: Yatay İvme Değeri
°C	: Santigrat
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği)
cm	: Santimetre
Fm	: Formasyon
GPS	: Global Positioning System
Gs	: Güvenlik Katsayısı
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
km	: Kilometre
m	: Metre
Max	: Maksimum
Min	: Minumum
mm	: Milimetre
Mpa	: Megapaskal(kg/cm ²)
MTA	: Maden ve Tetkik Arama
RQD	: Rock Quality Dimension (Kaya Kalite Göstergesi)
SCR	: Sağlam Karot Yüzdesi
TCR	: Toplam Karot Yüzdesi
YSS	: Yeraltı Su Seviyesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Anadolu yakasındaki ilçelerin deprem bölgeleme sınıfındaki yerleri ..	34
Çizelge 4.1: İnceleme alanındaki sondajlara ilişkin bilgiler.....	38
Çizelge 4.2: İnceleme alanındaki sondajlardan belirlenen Y.S.S ve TCR-RQD-SCR özellikleri.	39
Çizelge 4.3: Sondajlarda ölçülen RQD değerleri ve ortalaması.	42
Çizelge 4.4: Kaya kalite sınıflaması (Deere, 1964).	45
Çizelge 4.5: Süreksizlikler arası uzaklık ve tanımı (ISRM, 1981).	46
Çizelge 4.6: Süreksizlik iki yüzeyi arasındaki açıklık ve tanımı (ISRM, 1981).	47
Çizelge 4.7: Ortalama eklem sıklığı ve tanımı (ISRM, 1981).	48
Çizelge 4.8: Kayaçlarda bozunma derecelerinin tanımlanması (ISRM, 1981).	54
Çizelge 4.9: Kartal formasyonundan alınan örneklerin index özellikleri.....	59
Çizelge 4.10: Tek eksenli basınç direnci deney sonuçları.	61
Çizelge 4.11: Kayaç malzemesinin dayanımı (Bieniawski,1989).	62
Çizelge 4.12: Üç eksenli basınç direnci deney sonuçları.	62
Çizelge 4.13: Kartal formasyonu kumtaşılarının çekme direnci deney sonuçları.	64
Çizelge 4.14: Nokta yük deneyi sonuçları.	67
Çizelge 4.15: Kayaç malzemesinin dayanımı (Bieniawski,1989).	67
Çizelge 4.16: Kayaç malzemesinin dayanımı (Deere, 1966).	67
Çizelge 4.17: RMR sınıflama parametreleri ve dereceleri (Ulusay, R., 2010).....	68
Çizelge 4.18: Eklem yönelimine göre düzeltme (Ulusay, R., 2010).	69
Çizelge 4.19: RMR değerine göre kaya sınıflaması (Ulusay, R., 2010).	69
Çizelge 5.1: Kumtaşı kaya kütlesi tanımlama ölçütleri.	72
Çizelge 5.2: Şeyl kaya kütlesi tanımlama ölçütleri.	72
Çizelge 5.3: Jeolojik birimler ve jeohidrolik ortamlar (OYO, 2009).	74
Çizelge 5.4: Kritik Y1 yarması teknik özellikleri.....	76
Çizelge 5.5: Dolgu bilgileri listesi.	83
Çizelge 6.1: Analizlerde kullanılan kaya kütle parametreler.....	91
Çizelge 6.2: Tek parça istinat yapısı için ayrılmış kaya koşullu güvenlik sayısı ile toplam deplasmanlar.	93

Çizelge 6.3: Kademeli duvar istinat yapısı için ayrılmış kaya koşullu güvenlik sayısı ile toplam deplasmanlar.	95
Çizelge 6.4: İstinat yapısının türü ve güvenlik sayısı.	97
Çizelge 7.1: İstinat yapısının türü ve güvenlik sayısı.	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: İnceleme alanının konumu.	4
Şekil 3.1: İnceleme alanının Bursa G22-B 1/50.000 ölçekli jeoloji haritasındaki konumu (MTA, 2005).	10
Şekil 3.2: Bölgesel stratigrafi kesiti (Akyüz, 2007).	13
Şekil 3.3: İnceleme alanındaki Kartal formasyonu kayaçlarının görünümü (Km: 29+350).	22
Şekil 3.4: Bitkisel toprakla örtülmüş Kartal formasyonu (Km: 29+900).	23
Şekil 3.5: Üst kesimleri ayırışmış Kartal formasyonu (Km: 29+800).	24
Şekil 3.6: Kumtaşı-silttaşı seviyelerinde yer yer izlenen kıvrımlar (Km: 29+350)...	24
Şekil 3.7: İnceleme alanındaki tepe eteklerinde görülen yamaç molozları (Km: 28+800).	25
Şekil 3.8: İnceleme alanında şev kazılarında yer yer izlenen yapay dolgu (Km: 28+850).	26
Şekil 3.9: Sahilyolu caddesi kuzeyindeki açılmış olan şevde izlenen tabaka konumu.	27
Şekil 3.10: Sahilyolu bulvarı yol şevinde görülen tabaka ve kıvrımlı yapılar.....	28
Şekil 3.11: Sahilyolu bulvar yolu şevinde görülen tabakalı ve kıvrımlı yapılar.	28
Şekil 3.12: Km: 28+500 kuzeyindeki Kartal formasyonu şeyllerinde izlenen ezik zonlar.....	29
Şekil 3.13: Km: 29+000 güneyindeki Kartal formasyonuna ait kumtaşlarındaki kıvrımlar.	30
Şekil 3.14: Kartal formasyonunun şeyllerindeki yapraklanmalar (Km:29+700).	30
Şekil 3.15: Kartal formasyonu şeyllerinde yoğun olarak görülen çatlaklar (Km:29+700).....	31
Şekil 3.16: İnceleme alanındaki şevlerde görülen küçük ölçekli faylar (28+900). ...	32
Şekil 3.17: İnceleme alanının Deprem Bölgeleri Haritası' ndaki yeri (Afet İşleri Genel Müdürlüğü).	33
Şekil 3.18: Marmara Bölgesi' nin aktif fayları ve son ikibin yılda meydana gelmiş büyük deprem ($M_s > 6.8$) merkezlerinin dağılım haritası. 20. yy' da kırılmış faylar kalın kırmızı çizgi ile gösterilmiştir (Ambraseys ve Finkel. 1991: Şaroğlu vd., 1992: Emre vd., 1998: Ambraseys. 2002: Armijo vd., 2002: Tan vd., 2008).	33
Şekil 3.19: Marmara denizinin batimetri haritası (Le Pichon vd., 2001).	35
Şekil 4.1: Şevlerde izlenen süreksizlikler ve ara uzaklıkları.	46
Şekil 4.2: Şevlerdeki süreksizlikler arası açıklıkların görünümü.	47
Şekil 4.3: Şevlerde görülen eklem sıklıkları.	48
Şekil 4.4: Kırık ve çatlakları doldurmuş kilin görünümü.	49
Şekil 4.5: Kırık ve çatlaklar arasındaki kil dolguları.	50
Şekil 4.6: Şevlerdeki süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgallılığı.	51
Şekil 4.7: Şevlerdeki tabakaların parlak ve düz yüzeyleri.	51
Şekil 4.8: Malzeme+Süreksizlik denetimli şev.	52
Şekil 4.9: Güzergahta bazı kesimlerde yüksek dereceli ayrışmanın gözleendiği şev.	53
Şekil 4.10: İnceleme alanından alınan kumtaşına ait kaya blokları.	55
Şekil 4.11: Kaya bloğunun karotiyere yerleştirilmesi.	56
Şekil 4.12: Deneyler için hazırlanmış karot örnekleri.	56
Şekil 4.13: Karotun hidrolik prese yerleştirilmesi.	60

Şekil 4.14: Karota basınç uygulananı.....	61
Şekil 4.15: Örneğin çekme direnci ölçümü için hidrolik pres hücresine yerleşimi ..	63
Şekil 4.16: İnceleme alanı örneklerinin deneyler sonrası görünümü.....	64
Şekil 4.17: Nokta yükleme deneyi aleti.	65
Şekil 4.18: Konik yükleme başlığı arasında bulunan karot.	66
Şekil 4.19: Kumtaşı-Şeyl parametrelerini elde etmek amacı ile kullanılan RocLab programı.	70
Şekil 5.1: İnceleme alanı ve dolayının Hidrojeoloji haritası (OYO, 2009).	75
Şekil 5.2: Kaya şevleri analizinde stereografik izdüşüm ile ilgili kısa açıklamaları gösteren şekiller (Vardar, M.,vd,1997-98).	77
Şekil 5.3: Süreksizliklerin arasında kalan kaya kamasının kayma düzlemi üzerindeki gösterimi (Vardar, M.,vd,1997-98).	78
Şekil 5.4: Şevlerde yaygın olarak gözlenen kaya bloğu (a) ve kama kaymaları (b) (Vardar, M.,vd, 1997-98).	80
Şekil 5.5: Düzlemsel kaymada kuvvetler poligonu (Vardar, M.,vd,1997-98).....	81
Şekil 5.6: Arazide kamanın geometrisini belirleyen aktif süreksizlik (Vardar, M.,vd, 1997-98).	82
Şekil 5.7: Kumtaşı-şeyl biriminde alınan ölçümlere ait yoğunluk ve gül diyagramı.	82
Şekil 5.8: Kumtaşı-şeyl biriminde açılacak olan Y1 yarması için yapılan kinematik analiz çalışması.	83
Şekil 6.1: Kaya mekaniğinde aynı ortamın sistem büyüklüğüne bağlı olarak farklı şekilde davranmasının post-failure davranışı ile açıklanması (Vardar, M, 1997-98).....	86
Şekil 6.2: Km: 29+060 daki kritik kesit.....	87
Şekil 6.3: Proje kesitinin hazırlandığı 29+060 km kesiminin görünümü.	88
Şekil 6.4: Tek duvarlı primer durum hesap modeli.	92
Şekil 6.5: Tek duvarlı son aşama için hesap modeli.....	92
Şekil 6.6: Ayırışmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapılı maksimum birim deformasyon ve güvenlik sayısı.	93
Şekil 6.7: Ayırışmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapılı maksimum ve minimum toplam deplasmanlar.	93
Şekil 6.8: Ayırışmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapısız maksimum birim deformasyon ve güvenlik sayısı.	94
Şekil 6.9: Ayırışmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapısız maksimum ve minimum toplam deplasmanlar.	94
Şekil 6.10: Kademeli duvarlı primer durum hesap modeli.	95
Şekil 6.11: Kademeli duvarlı son aşama için hesap modeli.	95
Şekil 6.12: Ayırışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı istinat yapısız maksimum birim deformasyon ve güvenlik sayısı.	96
Şekil 6.13: Ayırışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı kalıcı istinat yapısız maksimum toplam deplasmanlar.....	96
Şekil 6.14: Ayırışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı istinat yapılı maksimum ve minimum deformasyon ve güvenlik sayısı.....	97
Şekil 6.15: Ayırışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı istinat yapılı toplam deplasmanlar.....	97

MARMARAY PROJESİ TUZLA-GÜZELYALI KESİMİNİN (Km28.800-30.000) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE KAZI ŞEVLERİNİN STABİLİTESİ

ÖZET

Bu yüksek lisans tezinde, İstanbul İli, Tuzla ilçesi, ‘Marmaray CR3 Projesi’ kapsamında Güzelyalı mevkiinde 28.800-30.000 km’ ler arasında banliyö hattı genişletme ve hızlı tren yolu yapımı kapsamında hatta bulunan şevlerin ve istinat yapılarının duraylılığı ile ilgili oluşabilecek problemler ve bunlara bağlı çözümler araştırılmıştır.

İnceleme alanı Alt-Orta Devoniyen yaşlı Kartal formasyonunun seyrek-çok seyrek silttaşı ve kumtaşı araseviyeleri içeren şeyllerden oluşmaktadır. Şeyllerin üst kesimlerinde yer yer kırıntılı kireçtaşı seviyeleri bulunur. İncelenen güzergahta yapılan araştırma sondajlarında genel olarak üstte değişken kalınlıkta yapay dolgu, altında çeşitli özelliklere sahip ayrıışmış kaya ve sağlam kaya tabakalarından oluşmaktadır.

İncelenen hızlı tren güzergahı, ‘Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ ve Deprem bölgeleri Haritası’na göre Kuzey Anadolu Fayı (KAF)’na yakınlığı sebebiyle 1.Derece Deprem tehlikesi olan ve beklenen maksimum yatay ivme değeri $A_0=0.4g$ olacağı bilinen bir bölgenin içindedir.

Genişletilmesi planlanan demiryolu platformu kazı şevlerinden, etkilenebilecek bölgede üst yapılar ve çok yakınında İSKİ boru hattı bulunmaktadır.

Güzergahta bulunan jeolojik birimler tektonik kuvvetlerin etkisinde çok yönlü olarak kırıklı çatlaklı bir yapı kazanmış, yapraklanma, makaslama ve ezilme zonları yaygın olarak gelişmiştir.

Banliyö güzergahının 1/1000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası ve kesiti hazırlanmıştır. Kazı yöntemi ve destek ve destek sisteminin belirlenmesine yönelik olarak süreksizlik ölçümleri yapılmış ve araştırma kuyuları açılmıştır. Araştırma kuyularında delinen yapay dolgu ve ayrıışmış kayada SPT yapılmış, sağlam temelde ise kaya kalitesini ve mühendislik özelliklerini belirlemeye yönelik karotlar alınmıştır. Zemin ve kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları sonucunda banliyö hattında duraylılık açısından kritik olabilecek şevler belirlenmiş, koruma ve sağlamlaştırma yöntemleri irdelenerek istinat yapıları seçenekleri önerilmiştir.

Eski güzergahın taban kotu 23.98 m dolayındadır. Planlanan yeni hattın taban kotu yaklaşık 13.21 m’dir. Yeni güzergahta yapılacak olan kazı yükseklikleri 11-14 m arasında değişmektedir.

Araştırma sondajlarından yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve bölgesel hidrojeoloji haritalarından bölgenin yeraltı su durumu incelenmiştir. Buradan kil-çakıl-kum’ dan oluşan yapay dolgunun gözeneklilik ve geçirimsizliği yüksek, kumtaşı-şeyl birimlerinin gözeneklilik ve geçirimsizliği düşük olarak bulunmuştur. Geçirimsiz birimler ile geçirimsiz birimlerinin aralanması, tabaka süreksizlikleri boyunca yeraltısuyu boşalmaları olmaktadır. Bu durum bölgede su ile ilgili bir problem yaratmamaktadır.

İncelenen güzergahta 20 m. aralıklı 1/ 200 ölçekli 60 adet enine kesitinden yararlanılarak kazı ve olası duvar imalat seçeneklerinin ön değerlendirmesi yapılmış

ve en olumsuz koşulda bulunan Km 29+060' daki Şev kritik kazı bölgesi olarak değerlendirilmiştir.

Km 29+060' daki kritik kesit farklı kazı, yüklenme ve imalat aşamaları ve koşulları için irdelenerek hesaplanmış ve bunlar için özel alternatifler geliştirilmiştir. Arazi incelemeleri, yerinde deneyler ve bununla birlikte gerilme, deformasyon analizi, statik ve dinamik hesaplar yapabilen ve kazı Şevlerinin duraylılığını belirleyen Rocscience tarafından geliştirilen PHASE 2 Sürüm 8.012 iki boyutlu elasto- plastik sonlu elemanlar yazılım programı kullanılarak güvenlik parametreleri hesaplanmıştır.

Arazi dayanım parametreleri olarak kullanılan değerlerin jeomekanik açıdan güvenli tarafta kaldığı saptanmıştır.

Tek kademeli ve kademeli kalıcı istinat yapısı maksimum ve minimum deplasmanları ve bunların güvenlik sayıları deprem etkisinde hesaba katılarak yapılmıştır.

Çelik hasır, püskürtme beton ve ankrajlı tasarımlar incelendiğinde seçilen boyutlandırma ve malzemelerin destekleme amacı için yeterli ve uygun bulunduğu anlaşılmıştır.

GEOLOGY ENGINEERING AND STABILITY OF EXCAVATED SLOPES OF TUZLA-GÜZELYALI SECTION (KM 28.800-30.000) OF MARMARAY PROJECT

SUMMARY

This dissertation is based on a detailed research regarding the stability of retaining walls, any difficulties that may occur and its resolutions during the fast train construction and local railway widening project in between 28.800 and 30.000 kilometres of Marmaray CR3 project in Tuzla, Istanbul.

The observation zone is a slope section composed of rare-very rare silt and shale with layers of sandstone within the Kartal formation of lower-middle Devonian age. On the upper face of shale, there are layers of clastic limestone. According to the drilled field investigation report done by Eptisa-Prota Joint Venture, the soil profile is formed of varying size of fillings on the upper layer, and different types of altered rock and rock layers underneath.

This section is known as the first degree earthquake zone with the maximum horizontal acceleration value known as $A_0=0.4g$ for rocks due to its proximity to the North Anatolian Fault (NAF) according to the earthquake map and the regulations regarding constructions in the disaster zones confirmed by the Ministry of Public Works and Settlements in 1998.

There are constructions which can be impacted surrounding the area of cut slopes of widening railway platform. ISKI (Istanbul Water and Sewerage Administration) pipelines are available very close to the railway that is planned to be widened and the geological formation in the route has been shattered, smashed and sliced due to the versatile developments of sliding and breaking surfaces. Due to structural movements; lamination, shears, and crushed zones are widely available.

In this report, “Shot Crete and Supported Retaining Wall” proposition has been presented as an applicable alternative which aims to shorten the timeline of the construction project after detailed geotechnical examination and assessments associated with retaining application and its computational assumptions within the scope of Marmaray CR3 Project.

In the aftermath of field and office works; some of the slopes have been identified that could be critical for the stability of the local railway, protection and reinforcement methods have been determined and retaining wall options have been proposed.

It is found that there are walls with altitudes varying from 11 to 14 metres in the excavation work to be done. The planned new line’s base elevation has been determined as 13.21 metres while the old line’s was around 23.98 metres.

The field work has been properly done in the route and its surrounding and the samples are collected. Physical and mechanical properties of the rock slopes in the

region have been defined and its geological maps have been drawn according to the data from the drilling.

Underground water was examined from the drilling observations, and water availability was detected from the local hydrogeology maps; it is found that porosity and permeability of sandrock-shale were weak although porosity and permeability of artificial filling was high which was formed of clay, rubble and sand.

Permeable and impermeable units which are located consecutively caused water leakages along with surface discontinuity. This situation is not causing any water related problem in the region.

Within the scope of retaining wall project, the excavation and wall construction options have been determined according to the wall in the worst condition by referring to 60 horizontal segments with 20 metres intervals and a scale of 1/200.

On the critical segment of the 29+060' th km, exceptional options have been developed by considering different conditions and stages for excavation, loading, and production as well as calculations. Field work has been done, on-site experiments taken place, PHASE 2 application version 8.012 by Rocscience has been used to calculate the security parameters, stress testing, deformation analysis, statics and dynamics as well as determining the sensitivity of excavating walls.

It is found that the values used for field strength parameters are on the very safe side from geomechanical perspective.

The maximum and minimum displacement of single stage and multi stage retaining constructions and their safety parameters are done by factoring in the earthquake effect.

When steel mesh, shotcrete, anchoring designs have been studied, the selected supplies and their sizing have been found sufficient and appropriate for the purpose of reinforcing.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İstanbul ili, Tuzla ilçesi, Güzelyalı mevkiinde ‘Marmaray CR3 Projesi’ kapsamında banliyö hattınının genişletilmesi ve hızlı tren yolu yapımı kapsamında hattaki şevlerin duraylılığı ve kritik alanlarda uygulanması düşünülen istinat yapısı seçenekleri açıklanmıştır.

Güzelyalı mevkiinde 28.800-30.000 km’ ler arasındaki kesimde değişik lokasyonlarda arazi incelemeleri yapılmış ve örnekler alınmıştır. Yapılmış olan sondaj verilerinden bölgedeki kaya şevlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri tanımlanmış ve Mühendislik Jeolojisi haritası yapılmıştır.

Arazi ve büro çalışmaları sonucunda banliyö hattında duraylık açısından kritik olabilecek şevler belirlenmiş, koruma ve sağlamlaştırma yöntemleri belirlenip istinat yapısı seçenekleri önerilmiştir.

1.2 İnceleme Yöntemleri

1.2.1 Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları 10 Mayıs 2013 tarihinde başlamış, 29 Haziran 2013 tarihinde bitirilmiştir.

Belirlenen tüm jeolojik özellikler gerekli ölçümler yapılarak topografik harita ve saha defterine işlenmiştir. Formasyonlardan belirli aralıklarla deney örnekleri alınmıştır.

Saha çalışmaları sırasında, ortamdaki kayaçların tanımlanmasına yardımcı olması amacıyla fotoğraflar çekilmiştir.

1.2.2 Büro çalışmaları

Tuzla-Güzelyalı mevkii için hazırlanmış olan 1/25.000 ölçekli jeolojik haritasından jeolojik kesitler ve 1200 m’ lik güzergah için jeolojik harita çıkartılmıştır.

Bölgenin jeolojik özelliklerini belirlemek için daha önce yapılmış incelemeler gözden geçirilmiş ve proje alanı ile ilgili olan bölümler yeniden değerlendirilmiştir. Proje alanı ve yakın dolayını kapsayan jeoloji çalışmaları yapılmıştır. İnceleme alanının jeolojik özellikleri, birimlerin stratigrafik ve yapısal ilişkilerini açıklayabilmek için bölgesel jeoloji haritasından ve laboratuvar çalışmalarından yararlanılmıştır.

1.3 Çalışma Metodu

Güzergahta, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik değerlendirmelerin yapılabilmesi ve birimlerin türleri, derinlikleri, sınırları ve jeomekanik özelliklerini belirlemek amacı ile zemin etüt sondajlarından yararlanılmıştır. Ayrıca sahada kaya birimlerden süreksizlik ölçümleri alınmıştır. Sondajlardan ve araziden alınan örnekler üzerinde birimlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

2.1 Coğrafi Konum ve Morfoloji

Çalışma alanı, İstanbul ili Tuzla ilçesi Güzelyalı mevkiindedir. Batısında Pendik ilçesi, kuzeyinde Orhanlı beldesi, doğusunda Kocaeli-Gebze ilçesi vardır. Güneyi Marmara denizi ile sınırlıdır.

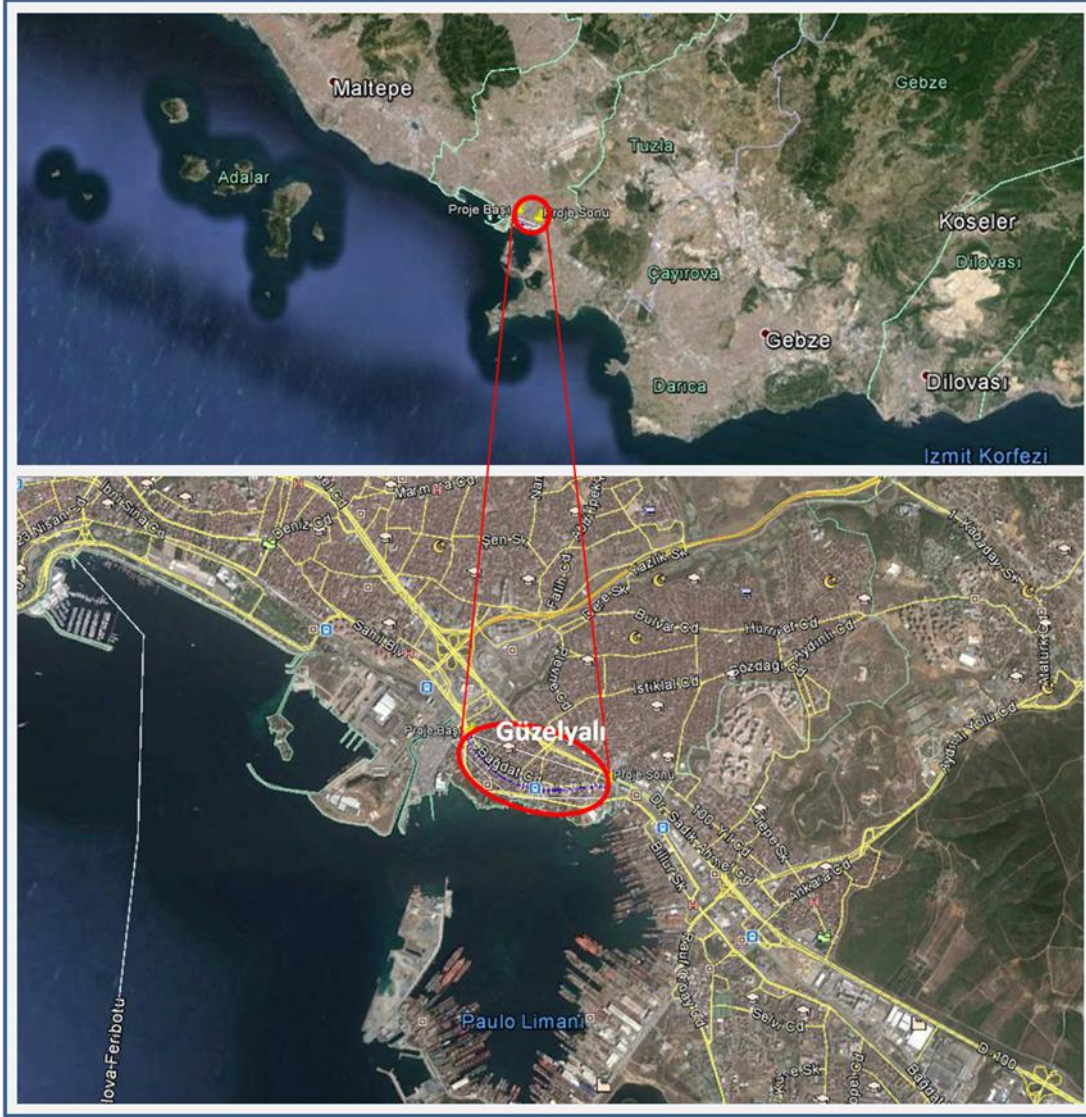
İnceleme alanının bulunduğu bölge literatürde ‘Kocaeli Penepleni’ olarak bilinmektedir. Vadiler, ovalar, yüksek alanlar, tepeler, tepe düzlükleri, sahanlıklar, bel ve sağrılar, boğazlar, sırt ve yamaçlar klasik morfolojik unsurlardır. Bu kesimde aşınmaya dayanıklı kuvarsit tepelerle (Aydos, Kayışdağı, Alemdağ, Toygar tepe, Çırçır tepe, Göztepe, Kale tepe, Çatal tepe, Zirve tepe, Kocabayır tepe, Madenler tepe, Yakacık tepe, Orhanlar tepe, Kırbaçbayırı tepe, Çamurlukbayırı tepe, Çınar tepe vs.) Gebze- Ömerli barajı hattının doğusundan başlayan ve doğuya doğru yükselmeyi sürdüren (350 m) alanlar yer alır. İstanbul (Prens) adaları da Kocaeli platosu üzerinde eski birer aşınım artığı tepe iken deniz su seviyesinin yükselimi sonucu bugünkü konumlarını kazanmışlardır. Bu yarımada ‘su bölümü hattı’, Marmara kıyılarına daha yakındır. Peneplenin geri kalan kısımları, akarsuların akış yönünün daha çok Karadeniz’ e doğru geniş vadi tabanları ve hafif dalgalı alanlarını içerir.

Akarsu aşındırmaları ile uzun bir erozyon devri sonunda yükseltiler kaybolmuş, aşınmayan kuvarsitler tepeler şeklinde ortaya çıkmıştır. Pliyosen devri ortalarında peneplenin, kuzey tarafı kabarmış, güneye doğru eğim artmış, bu durum akarsuların hızını arttırmıştır. Dolayısıyla artan akarsu aşındırmaları nedeniyle eski yataklar taraçalar halinde kalmıştır. Nehir ağzları böylece deniz koyları haline gelirken kuvarsit tepeler de adalar halinde suların içinde kalmıştır (Ertek, A., T., 2007).

2.2 Çalışma Alanının Konumu

İstanbul’ un Avrupa ve Anadolu yakalarındaki demiryolu hatlarını İstanbul boğazı altından geçen bir tüp tünel ile birleştiren 76 km’ lik bir demiryolu iyileştirme projesi

kapsamında Halkalı ile Gebze arasında çalışılacak hattın Tuzla Güzelyalı mevkiinde 28.800-30.000 km arası 1200 m. lik kesimindeki çalışma alanıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: İnceleme alanının konumu.

2.3 Ulaşım ve Yerleşim

Tuzla için coğrafi konum yer koordinatları; enlem 40° 50' 31" N ve boylam 29° 17' 42" E dir. Ulaşım, kara ve demiryoluyla sağlanmaktadır. İETT ve Özel Halk otobüsleri bulunmaktadır. Deniz ulaşımına uygun bir bölgede olmasına rağmen şehir merkezine uzak konumu nedeniyle deniz yolu ulaşımı yoktur. Bölgede bulunan banliyö demiryolu hattı yenilenme çalışmaları nedeniyle belirli bir süre için durdurulmuştur.

Tuzla ilçe sınırları içerisinde yaşayan toplam nüfus, 2000 yılında yapılan genel nüfus sayımı itibariyle 123.225' dir. Buna ek olarak gerek dinlenme gerekse yazlık evlere gelen geçici bir yazlık nüfusu bulunmaktadır. Tuzla merkez, mahalle ve köyüyle yapılaşmaktadır. Özellikle tren yolunun güneyinde kalan ve asıl Tuzla sayılan bölgede çok sayıda konut yapı kooperatifi bulunmaktadır.

2.4 İklim ve Bitki Örtüsü

Tuzla, Akdeniz iklim tipi ile Karadeniz iklim tipi arasında geçiş özelliği gösteren Marmara iklim bölgesinde yer alır. Bölge, coğrafi konum bakımından tropikal ve polar hava kütlelerinin etkisindedir. Güneyden ve kuzeyden denizlerle çevrili olup 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 soğumaya başlayan kuzey yarımküreden yavaş yavaş cephesel sistemli polar hava kütleleri bölgeye inmeye başlar. En soğuk ay Şubat' tır. İlkbaharın ilk ayları da serindir. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos' tur. İstanbul, denizler arasında yer alsa da en soğuk ve en sıcak aylar arasındaki sıcaklık farkı karasal iklimlerdeki gibi fazladır.

Yapılan istatistiksel çalışmalara göre İstanbul 4. derece yağış bölgesi içindedir. Marmara bölgesinde yağışlı gün sayısı 66-110 gün arasındadır. Bölgede yıllık ortalama yağış değerleri 422-988 mm' dir. Marmara bölgesi, yılda 6-20 gün karla kaplıdır. Ocak ayı 104 mm ile en yağışlı aydır. Yağışın en az olduğu ay 8.4 mm ile Temmuz'dur. Bölgeye kar şeklinde düşen yağış yıl içinde ortalama 14 gündür. Yıllık toplam (649.4 mm) yağışın % 73 ünün düştüğü Ekim-Nisan döneminde ortalama sıcaklık 5°-15° C'dir. En yüksek sıcaklıklar Ağustos, en düşük sıcaklıklar ise Ocak ayında gerçekleşmektedir. Bu dönemlere karşılık gelen değerler sırasıyla 23.4° C ve 5.4° C dir.

İstanbul' da genellikle bağıl nem ortalaması % 72 dir. Bölgedeki en yüksek bağıl nem miktarı Kasım ve Ocak aylarında % 80 olmaktadır.

2.5 Ekonomi

Tuzla ilçesinin ekonomik yönden gelişmiş olduğunu söylemek mümkündür. Nüfusunu belli bir iş ve meslek grubuna ayırmak mümkün değildir. Fabrika ve iş yerlerinde işçiler, tarım ve hayvancılıkla uğraşanlar ve diğer serbest meslek sahipleri ilçe nüfusunu oluşturmaktadır.

Tuzla, Harem' den başlayıp, Sakarya iline kadar devam eden sanayi tesislerinin önemli bir kısmını sınırları içinde bulundurur. Çok sayıda sanayi ve ticari işletme, tarım (sebzecilik, hayvancılık) ve önemli sayıda atölye ilçe sakinleri için istihdam kaynağı olmaktadır. Tesisler ilçeye nüfus transferi getirmiş, buna paralel olarak artan konut ihtiyacından dolayı inşaat sektörü de canlanmıştır.

Ayrıca ilçe sınırları içinde faaliyet gösteren çok sayıda özel tersanede her türlü tekne inşa edebilmekte ve onarılmaktadır.

3. GENEL JEOLJİ

3.1 Önceki Çalışmalar

İstanbul ve dolayının jeolojisi, pek çok araştırmacı tarafından yüzyılı aşan bir süreden beri çeşitli amaçlarla araştırılmaktadır. Başlangıçtaki araştırmaların çoğu bulunan litoloji veya fosillerin duyurusu şeklindeki kısa notlardır. Asıl incelemelerin 1919 yılında PENCK, W. ile başladığı kabul edilebilir. Daha sonra giderek artan sayı ve ayrıntıda çalışmalar yapılmıştır.

PAECKELMANN (1938), Bölgedeki Paleozoyik istifi ayrıntılı olarak çalışmıştır. Kırıntılı seri ilk olarak onun tarafından 'Hauptkonglomerat ve Arkoz-horizon' adları altında incelenmiştir.

PAECKELMANN (1938), Kurtköy formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak kuvars konglomeralarından ve kuvars arenitlerden oluşan Aydos formasyonu birimini 'Hauptquarzit Horizont' olarak adlandırmıştır. Baykal ve Kaya (1965), 'Aydos kuvarsarenit birimi' olarak adlandırmıştır. Haas (1968a), 'Ayazma Schichten', olarak adlandırmıştır. Kaya (1978), 'Ortokuvarsit formasyonu' olarak adlandırmıştır. Önalın (1981) ve Seymen (1995), 'Aydos formasyonu' olarak adlandırmıştır.

PAECKELMANN (1938), Aydos formasyonundan üste doğru tedrici olarak kilitaşı, silttaşı ve kuvars arenit merceklerinden oluşan Gözdağ formasyonu birimini 'Halysites-Grauwacken' olarak adlandırmıştır. Haas (1968a), 'Yayalar formasyonu' olarak adlandırmıştır. Kaya (1978), 'Büyükdere şeyli birimi, Gözdağ litarenit birimi ve Şeylli subarkoz birimi' olarak üç ayrı başlıkta ele almıştır. Önalın (1981), ilk kez 'Gözdağ formasyonu' adını kullanmış, kuvars arenit merceklerini ise 'Aydınlı formasyonu' olarak adlandırmıştır.

PENCK (1919), Gözdağ formasyonu' nun üstüne doğru kireçtaşı araseviyeleri ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Dolayoba formasyonu birimini 'Kalkerli Pendik Fasiyesi' olarak adlandırmıştır. Paeckelmann (1938), 'Kartal-Pendik Halysitesli kireçtaşları' olarak adlandırmıştır. Haas (1968a), 'Akviran serisi' olarak adlandırmıştır. Kaya (1973), 'Sedef Grubu' altında Dolayoba kireçtaşı ve İstinye formasyonu olarak adlandırmıştır. Önalın (1981), 'Dolayoba, Sedefadaşı, İstinye ve Kaynarca formasyonları' adları altında dört formasyon olarak adlandırmıştır. Gedik (2002), 'Yumrukaya Grubu' adı altında incelemiştir.

PENCK (1919), Kahverengi, sarımsı kahve fosilli şeyl ender silttaşı-ince kumtaşı araseviyelerinden oluşan Kartal formasyonu birimini 'İstanbul Boğazı fasiyesi' olarak adlandırmıştır. Paeckelmann (1938), 'Pendik tabakaları' olarak adlandırmıştır. Altınlı, 'Kanlıca Horizonu/Orta Pendik tabakaları/Üst Pendik tabakaları' olarak adlandırmıştır. Haas (1968a), 'Marmara Serisi' içinde 'Soğanlı, Kartal, Kurtdoğan ve Dede formasyonları' olarak adlandırmıştır. Kaya (1973), 'Pendik Grubu' adı altında 'Kartal, Kozyatağı formasyonları ve İçerenköy şeyli' olarak adlandırmıştır. Önalı (1988) ve Seymen (1995), 'Kartal formasyonu' olarak adlandırmıştır.

PENCK (1919), Kartal formasyonu' nun üzerine kireçtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan tedrici bir geçişten sonra masif kireçtaşı ve yumrulu kireçtaşıdan oluşan Tuzla formasyonu birimini 'Knollenkalk' olarak adlandırmıştır. Paeckelmann (1938), Bostancı' da 'Intermediary Fazies' ve 'Lydite ve Banderschiefer', Büyükada' da 'Böbrek Kalkerli Horizonu' ve 'Nierenkalk-Kieselschiefer Serie' olarak adlandırma yapmıştır. Okay (1947) ve Ketin (1953), Aynı birim için 'Böbrek kalker' adlandırması yapmıştır. Abdüsselamoğlu (1963), 'Yoğun kalker' ve 'Yumrulu kalker' olarak adlandırmıştır. Baykal ve Kaya (1963), 'Yumrulu Kalker' olarak adlandırmıştır. Haas (1968a), 'Denizli Tabakaları' olarak adlandırma yapmıştır. Kaya (1971), 'Büyükada formasyonu' ismini kullanmıştır. Önalı (1988), 'Bostancı üyesi', 'Yörükali üyesi' ve 'Ayineburnu üyesi' ni ayırt ederek 'Tuzla formasyonu' olarak adlandırma yapmıştır. Seymen (1995), 'Denizli formasyonu' adlandırması yapmıştır.

PENCK (1919), Tuzla formasyonu üzerine, siyah çörtlerden ve silisli şeyllerden oluşan Baltalımanı formasyonu birimine 'Kieselschiefer Horizont' isimlendirmesi yapmıştır. Paeckelmann (1938), 'Nierenkalk-Kieselschiefer' olarak adlandırmıştır. McCallien (1947), 'Radiolarian cherts' olarak adlandırma yapmıştır. Altınlı (1951), 'Intermediter fasiyesi' ismini kullanmıştır. Abdüsselamoğlu (1963), 'Çörtler (Lidit, Radyolarit)' olarak adlandırmıştır. Baykal ve Kaya (1963, 1966), 'Radiolarit, Silisli şist' olarak adlandırmıştır. Haas (1968a), 'Yelkentepe Schichten' olarak adlandırma yapmıştır. Kaya (1973) ve Önalı (1981), 'Baltalımanı formasyonu' olarak adlandırmışlardır.

TCHIHATCHEFF (1864), sarı-kahverengi kumtaşı, gri-yeşil şeyl, yerel merceksele çakıltaşları, kalsitürbidit ara seviyeleri ve 150-200 m kalınlıklı bir kireçtaşı üyesinden oluşan Trakya formasyonu birimini 'Fosilsiz şeyl ve kumtaşları' olarak

adlandırmıştır. Penck (1919) ve Paeckelmann (1938), ‘Trakya serisi’ olarak adlandırma yapmışlardır. Haas (1968), ‘Ober Trazische Serie’ adını önermiştir. Kaya (1971), Önalın (1981) ve Seymen (1995), ‘ Trakya formasyonu’ olarak adlandırma yapmışlardır.

3.2 Bölgesel Jeoloji

Tuzla ilçesi, Türkiye’ nin ana tektonik birliklerinden İstanbul zonunun doğu kesiminde yer alır. Bu zon, batıda Büyükçekmece’ den başlayarak doğuda Kastamonu’ ya kadar uzanır. İstanbul zonunun karakteristik özelliği temelinde bulunan ve Türkiye’ nin başka birliklerindeki yaşıtlı istiflerden farklı özellikler sunan Paleozoyik yaşlı bir çökel istifine sahip olmasıdır (Şekil 3.1). Bu istifin üzerinde daha genç birimler yer almaktadır.

İstanbul grubu, bölge çökel istifinin en alt kesimini oluşturur. Ordovisiyen-Karbonifer aralığı içerisinde gelişmiş bir pasif kıta kenarı çökelleri ile gelişen okyanusun kapanma evresinde depolanmış fliş istifini kapsar (Şekil 3.1). Paleozoyik istifin daha yaşlı birimlerle 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. Grubun yaşlı kesimi yaygın olarak İstanbul boğazının doğu yakasında yüzeyler (Akyüz, 2007). Batıya doğru grubun göreceli olarak daha genç kesimi yüzeylerken Boğaz’ın batı yakasında ise Karbonifer yaşlı çökeller baskın olarak izlenir. İstanbul grubu kendi içerisinde formasyon mertebesinde birçok litostratigrafik birime ayrılmıştır (Şekil 3.1).

kumtaşı-çamurtaşı ardışımından oluşan yine mor renkli bir istifle yanal ve düşey geçişlidir. Merceksel geometrili devreler halindeki istif içersindeki üniteler altta aşınmalı ve kanallı dokanaklarla başlar. 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 çamurtaşlarına geçiş derecelidir. Çamurtaşları daha koyu mor renklidir ve içlerinde paralel, dalgalı paralel ve küçük ölçekli çapraz laminasyon yaygın tortul yapıdır. Çamurtaşları üzerinde bir sonraki devre yine aşınmalı bir alt sınırla başlamaktadır. Devre kalınlıkları 0.5-9.0 m arasında değişmektedir. Menderesli akarsu ortamında çökeltilmiş olan bu istif yaklaşık 150 m kalınlıktadır.

Kınalıada Kayaburnu çevresinde Kurtköy formasyonunun üst kesimi yüzeyler. 178 m kalınlık sunan istifin alt 100 m si birbiri ile aşınmalı-dokanaklı, mor renkli kumtaşlarından oluşmuştur (Önalın, 1982). Bu kumtaşı tabakaları içersinde büyük-küçük ölçekli özellikle tekne tipi çapraz tabakalaşma yaygındır. Kesitin üst kesimi ise menderesli akarsu koşullarını yansıtan ince-orta tabakalı ve mor renkli kumtaşı-çamurtaşı ardışımından oluşmuştur.

Kurtköy formasyonu ile üzerindeki Aydos formasyonu arasında bazı bölgelerde merceksel geometrili, baskın olarak kuvars çakıllarından yapılmış, çakıltaşları mevcuttur. Önalın (1982)' a göre bunlar Kurtköy formasyonunun üst kesimlerinde kıyı ovası fasiyesi içine açılmış kanal dolgularıdır.

Kurtköy formasyonunu oluşturan tüm litolojiler ileri derecede diyajenez sonucu çok sert kaya halini almışlardır. Birimin alt sınırı İstanbul çevresinde görülmez. Üstten Aydos formasyonu ile tedrici geçişlidir.

Kurtköy formasyonu, alüvyon yelpaze çökellerinin bulunduğu bölgelerde bu fasiyesin fay kontrollü gelişmesi nedeniyle kalın; Aydos formasyonu ile ilişkili olduğu bölgelerde ise kıyı ovalarında kalınlık olarak daha ince ve ince taneli çökellerin bulunuşu nedeniyle giderek incelen bir kama şeklindedir. Formasyon, önceki araştırmalar tarafından Erken Ordovisiyen (Baykal ve Kaya, 1965; Haas, 1968, Önalın, 1981), Erken Ordovisiyen öncesi (Kaya, 1978) olarak belirlenmiştir.

3.2.2 Aydos formasyonu (Oa)

İstanbul grubunun ilk birimi olan Kurtköy formasyonu üzerinde 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. Bu adlamalar litostratigrafi birim adlama kurallarına uymadığı için Önal (1982) istifi, 'Aydos formasyonu' olarak yeniden formasyon mertebesinde adlamıştır. Bu formasyon, Kurtköy formasyonunun ince taneli taşma ovası ya da alüvyal düzlük çökelleri üzerinde ince-orta tabakalı, boz renkli, küçük ölçekli çapraz tabakalı şeyl ya da silttaş aratabakalı kuvars arenitlerle başlar. Bu kesim, Önal (1982) tarafından 'Kınalıada Üyesi' olarak ayırtlanmıştır. Fasiyes içinde gelgit düzlükleri için karakteristik balık kılıcı çapraz tabakalanması yaygındır. Bu birim üzerine krem-pembe bej renkli, kalın-çok kalın tabakalı ve büyük ölçekli çapraz tabakalı, feldispatça zengin kuvars arenitler gelir. Bunlar da Önal (1982) tarafından 'Orhantepe Üyesi' olarak ayırtlanmıştır. Üye üzerine pembe-mor alacalı renkli, yerel kuvars çakıtaşı mercekli, dalgalı paralel laminalı veya küçük-büyük ölçekli tekne tipi çapraz tabakalı kuvars arenitler (Büyükada Üyesi; Önal, 1982) gelir. Birim en üstte beyaz renkli, orta kalın tabakalı yer yer şeyl arakatlı ve çapraz tabakalanmalı kuvars arenitlerle (Kayışdağı Üyesi; Önal, 1982) sona erer.

Maksimum kalınlığı 300-310 m olan Aydos formasyonunun genel geometrisi örtü şeklindedir. Kurtköy ve üstteki Gözdağ formasyonlarıyla sınırları tedrici geçişlidir. Birimin yaşı önceki araştırmacılar tarafından Geç Silüriyen (Paetelmann, 1938; Baykal, 1943), Erken Ordovisiyen (Baykal, 1962,1963) ve Geç Ordovisiyen-Erken Silüriyen (Haas, 1968) yaşı olarak kabul edilmiştir. Bu veriler ışığında, birimin yaşı Erken Ordovisiyen olarak benimsenmiştir.

Y A Ş		L İ T O L O J İ	A Ç I K L A M A L A R	F O S İ L İ Ç E R İ Ğ İ
S E N O Z O Y İ K	Eosen sonrası		Eosen ve sonrası çökeller	
	Paleosen A. Eosen			
M E S O Z O Y İ K	Üst Kretase		Kretase çökelleri ve volkanikleri	
	Triyas		Triyas çökelleri	
P A L E O Z O Y İ K	Karbonifer		Trakya Fm. Kumtaşı-şeyl ardalanması Üst kesimler kçt, çörtlü kçt seviyeli	Kireçtaşlarında bazı foraminiferler
			Baltalimanı Fm. Radyolaryalı çört	Radyolarya
	Devoniyen		Tuzla Fm. Yumrulu kireçtaşı	Konodont Ostrakod
			Kartal Fm. Fosilli şeyl	Brakyapod (Spirifer, Strophodonta, Strophomena, Atrypa, Orthis, Leptaena) Mercan (Pleurodictium, Halysites, Zaphrentis) Trilobit Notiloidler (Ortoseras, Cyrtoceras, Gyroceras)
	Silüriyen	magmatik sokulum kayaları	Dolayoba Fm. Fosilli kireçtaşı	Brakyapod, Mercan (Halysites, Favosites, Syringopora) Bryozoa (Fenestella) Krinoid sapları
	Ordovisiyen	Pemiyyen Graniti	Gözdağ Fm. Laminali şeyl, üst kesimlerde kuvarsit mercekleri	Brakyapod, Conularia, Graptolit
			Aydos Fm. Kuvars arenitler	
Prekambriyen			Kurtköy Fm. Kumtaşı, konglomera, şeyl	
			Metamorfik kayalar	

H.S. Akyüz

Şekil 3.2: Bölgesel stratigrafi kesiti (Akyüz, 2007).

3.2.3 Gözdağ formasyonu (OSg)

İstanbul grubunun formasyon mertebesinde üçüncü birimi olan bu formasyon, laminali 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. Laminallı yapı çökme sonrası biyojenik karıştırma ve deformasyonlarla bozulmuştur. Şeyllerde iyi derecede yapraklanma gelişmiştir. Formasyon içinde üste doğru mercekli 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 düzeylerde ve birbirlerinden boyutca farklılıklar gösterir.

Formasyon, üstteki Dolayoba formasyonuna yanal ve düşey yönde geçer. Bu durum özellikle Dolayoba güneyinde ve İstinye kuzeydoğusunda çok güzel ve açık olarak gözlenir. Büyükdere çevresinde alt sınırı görülmemesine karşın 720 m lik stratigrafik kalınlığı mevcuttur. Gözdağ çevresinde ise 700 m den kalın olduğu ifade edilmiştir (Önal, 1982). Formasyon, çeşitli araştırmacılar tarafından toplanan ve tayin edilen fosil içeriğine göre Orta Ordovisiyen-Landoveriyen (Sayer, 1955, 1960, 1964, 1969, 1978, 1979a, 1979b, 1979c, 1984) yaşlıdır.

3.2.4 Dolayoba formasyonu (SDd)

Pendik kuzeyindeki Dolayoba çevresinde Gözdağ formasyonunun kuvars arenit mercekli şeylleri ile girik, koyu mavi-mavimsi koyu gri renklerde ve çeşitli karbonat fasiyeslerinden oluşan bir birim izlenir. Bu karbonat istifli literatürde çeşitli adlar altında incelenmiş, litostratigrafik birimleme açısından Önal (1982) tarafından çeşitli formasyonlara bölünmüştür. Bu çalışmada ise söz konusu karbonat istifli tek bir formasyon şeklinde ve fasiyesleri iyi görüldüğü Dolayoba çevresine izafeten ‘Dolayoba formasyonu’ adı altında incelenmiştir. Formasyon’ un 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 brakiyopod kavkı ve parçalarından oluşan bir tane taşı ile başlar. Mavimsi

gri-pembe renkli olan bu fasiyes genelde birkaç metre kalınlığındadır. 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, İstinye 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 balıksırtı 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 (Önal, 1981).

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. Önal (1982), tarafından Sedefadası formasyonu olarak ayırtlanmış bu birim genel istif içinde merccekler 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 formasyonunun sarımsı kahverenkli şeyllere geçilir.

Formasyon içinde gözlenen değişik türde kireçtaşları, ileri derecede diyajenez ile bazen tümüyle yeniden kristallenme nedeniyle birincil dokusal özelliklerini geniş ölçüde yitirmişlerdir. Neomorfizma olarak tanımlanabilecek bu rekristalizasyonun yanı sıra; basınç erimeleri ile gelişmiş stilolitleşme, ikincil dolomitleşme ve daha sonra didolomitleşme bu kireçtaşlarını sert kaya haline getiren başlıca diyajenetik olaylardır. Daha sonra gelişen karstlaşma ile bazı yerlerde ileri derecede tahrip olmuştur.

Formasyonun genel geometrisi örtü tipindedir. Alt ve üst birimlerle sınırları uyumludur. Alttaki Gözdağ formasyonu ile girik, üstteki Kartal formasyonu ile dikey geçişlidir. Formasyon, doğudan batıya doğru transgresif aşmalıdır. Bir diğer ifadeyle Kartal-Pendik yöresinde Venlokiyen Jediniyen (Alt Silüriyen-Alt Devoniyen);

İstinye yöresinde ise, Ludloviyen ve Sigeniye (Üst Silüriyen-Alt Devoniyen) yaşındadır (Haas, 1968).

3.2.5 Kartal formasyonu (Dk)

Dolayoba formasyonu üzerinde sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı düzeyler halinde brakyopod, mercan ve bryozoa vs. fosilleri içeren ve seyrek silttaş ile kumtaş aratabakalı şeyller yer alır. Hem Kocaeli ve hem de İstanbul yarımadaalarında geniş yüzlek veren bu birim, Önal (1982) tarafından Kartal formasyonu olarak ayrılmıştır.

Kartal, Pendik, Tuzla, Yakacık, Beykoz-Çengelköy arası ve İstinye kuzeyinde geniş alanlarda mostra verir. Kartal çevresinde yaklaşık 750 m kalınlıkta olup silttaş ve seyrek kumtaş aratabakalı, lamine-ince tabakalı şeyller şeklindedir. Üste doğru kırıntılı kireçtaş aratabakalıdır. Kırıntılı kireçtaşlarının alt yüzeyleri keskin ve aşınmalı, dereceli, paralel ve akıntı ripil lamine olup üstten şeyllere geçişlidir. Tabaka kalınlıkları 0.10-2.0 m arasında değişir. Formasyon içindeki arakatkıların sayı ve kalınlıklarının artması, şeyllerinde incilmesiyle üstteki Tuzla formasyonuna geçilir.

Şeyller iyi yarıma özellikli genelde silt boyutlu kuvars, feldispat ve mikalıdır. Mostraların üst kesimlerinde yerel olarak metrelerce kalınlıkta altere zonlar mevcuttur. Su aldıklarında kolaylıkla çamur haline gelebilmektedirler.

Kumtaş aratabakalarının genellikle alt yüzleri keskin, içleri paralel ve mikroçapraz, bazen de konvolut laminealıdır. İnce-orta kum boyutlu kuvars, feldispat ve serizit-muskovit türü mikalar başlıca taş yapıcı minerallerdir. Matriks içinde çörtlüşme, serizit iğneleri ve illit bileşimli kil minerali gelişmeleri yaygındır.

Formasyon, dalga tabanı altındaki düşük enerjili ve açık-derin denizel koşullarda çökelmiştir. Şeyller süspansiyondan, kaba kırıntılarda türbit akıntılarla ortama getirilmişlerdir. Formasyon' un alt ve üst sınırları uyumlu ve diğer birimlerle geçişi tedricidir. Geometrisi de genelde örtü şeklindedir. Çeşitli araştırmalarda derlenen fosillere göre Kartal formasyonunun Sigeniye Eyfeliyen (Alt-Orta Devoniyen) yaşında olduğu saptanmıştır (Kullmann, 1973).

3.2.6 Tuzla formasyonu (Dt)

İstanbul ve Kocaeli yarımadalarında, Kartal formasyonu içindeki kırıntılı kireçtaşı aratabakalarının kalınlaşması ve sayıca artması, şeyllerin de giderek yok olmasıyla sarımsı mavimsigri masif kireçtaşlarına geçilir. Üste doğru ince ardışıklı mikritik kireçtaşı alacalı-sarımsı kahve şeyl ardışımı haline gelen istif Önalın (1982) tarafından Tuzla formasyonu olarak ayırtlanmıştır.

Alt kesiminde izlenen masif kireçtaşları genelde 30-100 cm tabaka kalınlıklı, alt yüzleri aşınmalı ve keskin, 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. İnce ardışıklı tabakalaşmalı olarak tanımlanabilecek bu kesim budınajlanma sonucu ince yumrulu bir görünüm kazanmıştır. Bu özellikleri nedeniyle birçok eski araştırmada yumrulu bademli kireçtaşları olarak tanımlanmışlardır (Abdüsselamoğlu, 1963). Bu fasiyesin kalınlığı yaklaşık 50m dir. Formasyonun üst kesiminde kireçtaşı aratabakaları inceliş 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 aratabakalarında kalınlık olarak inceliş. Çamurtaşı aratabakalarının tedricen yok olması ile daha üstte yer alan radiolarialı çörtlere geçilir. Bu kesimin kalınlığı yaklaşık 25 m dir.

Petrografik açıdan formasyonun en altında görülen kireçtaşları, kırıntılı kireçtaşı ya da dış literatürde allodapik kireçtaşı veya kalsitürbidit olarak tanımlanan bir kireçtaşıdır. Fosil kavkı parçası, pellet veya herhangi bir karbonat kaya parçalarının yine bir karbonat çimento ile birleştirilmesinden oluşmuştur. Kireçtaşı tabakalarının üst kesimleri ise mikritten yapıldır. Ara tabaka olarak daha üst kesimde izlenen çamurtaşları silt boyutlu kuvars, mika ve opak mineral kırıntıları içeren killerden oluşmuştur.

Kireçtaşları içerisinde çökelleme sonrasında büyümüş olan pirit kristalleri çökelleme ortamının oksijensiz, diğer bir deyişle, indirgeyici ve çok büyük bir ihtimalle derin-denizel olduğunun göstergesidir. Genel olarak örtü şeklinde bir geometriye sahip

olan formasyon alt ve üsteki birimlerle tedrici geçişlidir. Önceki çalışmalara göre Orta-Üst Devoniyen (Önalın, 1987, 1988) yaşındadır.

3.2.7 Baltalımanı formasyonu (Kb)

İstanbul ve Kocaeli yarımalarında Tuzla çevresinde, Kartal kuzeybatısında İçerenköy ve Beylerbeyi sırtlarında ve en yaygın olarak da Baltalımanı-Tarabya arasında yüzeyleyen; Tuzla formasyonu üzerinde tedrici geçişle başlayan radioloriali çörtler veya liditler bulunur. Bunlar, ‘Baltalımanı formasyonu’ olarak ayırtlanmıştır.

Mostrada genellikle gravite kaymalarının neden olduğu sık kayma kıvrımlı bir zon şeklinde izlenir. Siyah renkli, çok ince tabakalı ve paralel laminalı çörtlerden veya liditlerden oluşmuştur. İnce kesitte bol radiolaria fosilleri içeren çok ince kristalli silis agregatı şeklindedir. Yaygın olarak elipsoidal şekilli fosfat yumruları gözlenir. Diyajenez sonrasında yoğun şekilde kırıklandıkları her mostrada gözükten bir özelliğtir. Yumruların içi yoğun şekilde radiolaria kavkılarıyla kaplıdır.

Baltalımanı formasyonunda yoğun izlenen kayma kıvrımları, bu birimin eğimli bir yüzey üzerinde ve olasılıkla karbonat duraylılık sınırının (yaklaşık 4000 m) altındaki derinliklerde çökeldiğini vurgulamaktadır. Çok uzun mesafelerde değışmeden izlenen ince paralel laminasyonu da çökeltme ortamı enerjisinin son derece düşük olduğunu belgelemektedir. Fosfat yumruları, çökeltmenin son derece yavaş olduğunu ve deniz tabanının zaman zaman çökeltmezlik yüzeyi haline dönüştüğünü belgeler.

Formasyon içindeki yaygın kayma kıvrımlanması, çökeltmeyi hemen izleyen evrede, olasılıkla kara bölgesini de kapsayan şiddetli sismik aktivite ile okyanusun kapanma evresinin başladığını ifade etmektedir. Diğer taraftan, çört çökeltiminin kesilerek ve kırıntı çökeltiminin başlaması bu olayı kanıtlayan bir başka olgudur.

Formasyon, 25-30 m kalınlıklı olup genel geometrisi örtü şeklindedir. Alt ve üsteki birimlerle sınırları uyumludur. Önceki çalışmalarda içinde bulunmuş radiolaria fosilleriyle Alt Vizeen yaşında olduğu saptanmıştır (Abdüsselamoğlu, 1963).

3.2.8 Trakya formasyonu (Kt)

İstanbul boğazının doğu kıyılarında ve İstanbul yarımadasında Baltalımanı 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 ayırtlanmıştır.

Formasyon, genelde ince tabakalı ve paralel laminalı şeyllerden oluşmuştur. Bunlar içinde değişik stratigrafik düzeylerde ve lokalitelerde sarımsı kahverengi kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve mercekssel çakıltası aratabakaları bulunmaktadır. Kumtaşlarının kalınlıkları 0.10-2.50 m arasında değişmektedir. Alt tabakalaşma yüzeyleri keskin, aşınmalı ve üzerlerinde oygu-dolgu ve alev izleri türünde taban yapıları ile iz fosiller bulunur. İçlerinde 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 aratabakalarının 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 mercekssel kuvars çakıltası ünitesi de mevcuttur. Bunların da alt yüzleri aşınmalı ve kanallı, içleri yaygın kaynaşmalı ve çökelpmenin birden fazla evrede geliştiğini gösteren mercekssel tabakalaşmalı; ünitelerin çoğu kaotik iç yapılı paraçakıltası veya büyük ölçekli çapraz tabakalıdır. Yine Kefeliköy çevresinde izlendiği gibi birim içinde kalsitürbidit aratabakaları da mevcuttur. Bunların da alt yüzeyleri keskin, normal derecelenmeli, üst kesimleri paralel laminalıdır. Bu özelliklerle yine türbit akıntılarla çökeldikleri anlaşılmaktadır (Önalın, 1982).

Bu merceklerin üzerine gelen şeyllerin silis yüzdesi yüksek olup yaygın tüf, kumtaşı ve çakıltası aratabakalıdır. Silisli şeyller ve üstteki şeyl-tüfit-kumtaşı-çakıltası ardışımı yine derin denizel koşullarda ve çeşitli yoğunluk akıntılarıyla depolanmış olmalıdır. Araştırmacılar tarafından 'Gümüşdere formasyonu' olarak adlanmış olan bu kesim aslında Trakya formasyonunun en üst fasiyesidir. Pertografik açıdan kumtaşları ve çakıllı kumtaşları genelde litik vake türündendir (Dott, 1964). Bunlar içinde baskın taş yapıcı mineraller, metamorfik kuvars, plajioklas ve metamorfik kayaç parçalarıdır. Ayrıca % 2-3 oranında biotit ve muskovit mevcuttur. Kırıntılar serizitik ve kısmen çörtlüşmüş bir matriksle tutturulmuşlardır. Ayrıca tane çevrelerinde ve boşluklarda ikincil kuvars şeklinde silis çimento ve feldispatlar çevresinde ise feldispat çimento gelişmiştir. İleri derece diyajenez sonucu kumtaşlarındaki matriksi oluşturan killer yönlü serizit iğnelerine dönüşmüşlerdir. Bu durum kumtaşlarının derin gömüldüğünü belirtmektedir (Kaya, 1971).

Doğuda Gebze civarında ve İstanbul boğazının batısında Cebeciköy' de kumtaşı-şeyl arasında 150-200 metere kalınlıkta bir kireçtaşı-çörtlü kireçtaşı görülür. İlk olarak

Yalçınlar (1951) tarafından yaşlandırılan bu kireçtaşları Kaya (1971,1973) tarafından ‘Cebeciköy Kireçtaşı’ olarak adlandırılmıştır. Koyu gri, kalın tabakalı, fosilli kireçtaşlarında Viseen yaşı veren foraminiferler bulunmuştur (Yalçınlar,1951; Baykal ve Kaya, 1963). Trakya formasyonunun büyük bir kesimini kaplayan kumtaşı-şeyl ardalanmasında herhangi bir fosil bulunmamıştır. Formasyonun yaşı ilk çalışmalarda Devoniyen olarak değerlendirilmiş, ancak Cebeciköy kireçtaşı üyesinde Yalçınlar (1951), Baykal ve Kaya (1963), Kaya ve Mamet (1971) ve Mamet (1973) tarafından bulunan fosiller ve formasyonun altında uyumlu olarak bulunan Baltalimanı formasyonunda belirlenen fosiller nedeniyle Trakya formasyonu Alt Karbonifer olarak yaşlandırılmıştır.

Formasyon, Baltalimanı formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir, genç birimlerle açılı uyumsuz olarak örtülür.

3.2.9 Yamaç molozu (Qym)

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. Kuvarlar yüzey suları ile iyonlaşıp taşınırken, killeri immobil olduklarından, ayrıştıkları yerde kalırlar veya kısa mesafe mekanik taşınma ile depolanırlar. Aynı şekilde kırılanmış olan şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı gibi kayaç parçaları eğim yönünde taşınarak çukur veya az eğimli alanlarda depolanmışlardır.

Ayrışmanın derecesine göre ayrışma ürününün çökmesi ve taşınması değişik özellik gösterir. Tane boyu ve türü çevre kayaçlarının özelliklerine göre değişiklik arz eder. İnceleme alanındaki çakıl, kum ve killeri kabaca yatay ve düşeyde boyanma gösterir. Tepelerin üstünde, ortalama 2-10 cm büyüklüğünde keskin köşeli kuvarsit-arkoz-şeyl-kumtaşı-kireçtaşı çakıl ve blokları yer alır. Bu kayaç parçalarının arasında daha ince taneli kırmızımsı kahverengili kumlu killeri bulunur. Tepenin eteklerine doğru tane boyunda küçülme izlenir. Yerel olarak değişiklik göstermekle birlikte iyi konsolide olmuştur. Bu bölgelerde killi kumlar ve çakıllar daha baskındır. Birimin geometrisi tepeden eteklere doğru kalınlaşan kama şeklindedir. Kaya yüzeyinin röliyesine bağlı

olarak çukur alanlarda ve tepenin eteklerinde yayılımı ve kalınlığı daha fazla olup sıklıkları yüksektir. Yaşı Kuvaterner-Günceldir.

3.2.10 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 apraz tabakalı devresel çökeller şeklinde olup kalınlıkları ile malzemesi evre kayalarına ve akarsuların fiziksel, geometrik özelliklerine bağlıdır.

3.2.11 Yapay dolgu (Qyd)

İstanbul’ un Anadolu yakası deniz sahili son yakın zaman içinde kontrollü bir biçimde doldurulmuştur. Karayolu ve rekreasyon alanı üretmek amacıyla yapılan bu dolgular evre zeminini oluşturan kaya hafriyatlarıdır. Tuzla Denizcilik Fakültesi yerleşkesinin deniz tarafında da sahil düzenleme ve mendirek dolguları yapılmıştır.

Bu dolgular daha çok plaj fasiyesindeki çökellerin üzerine yapılmıştır. akıl, kum, silt ve kil boyutunda, gri renk tonlarında ve ayrık nitelikli bu zemin, sahil dolgularıyla aynı sınıfta değerlendirilmiştir. Yerel olarak sahil şeridinde çeşitli kaya birimleri de mostra vermektedir. Ancak bu mostralar denizin aşındırıcı ve ayrıştırıcı etkisi ile bloklı bir yapı kazanmıştır.

3.2.12 Magmatik faaliyet

Magmatik olaylar sonucunda oluşan Alemdağ’ ın batısındaki plüton, avuşbaşı graniti olup yaklaşık 18 km² lik bir alanı kaplar. Bundan başka Paleozoik birimler arasında damarlar ya da kısmen tüf ve lav şeklinde yüzey taşları vardır. Kuzeyde Anadolukavağı-Riva arasında andezit damarları bulunur. Bunlar, oğunlukla Devoniyen şistlerini keserler. Buralarda volkanik aglomeralar da (Kavak taşları) yaygın olarak görülür.

Tuzla’ nın kuzeydoğusunda yer alan Tuzla plütonu, çevresindeki metamorfik kayaları keserek kontak metamorfizmaya uğratmıştır. Monzonit, kuvars monzonit ve granodiyorit kayalarından oluşan plütonun yaşının Üst Kretase-Miyosen olduğu kabul edilmiştir. İstanbul grubunu yaygın etkileyen bir diğer mağmatik faaliyet de Üst Kretase havzasının açılması sırasında meydana gelmiştir. Bunlar genellikle

damarlar ya da küçük stoklar şeklinde mikrokuvardsiyorit, mikrokuvars monzonit, dolerit ve diyabazlardır.

3.3 İnceleme Alanının Jeolojisi

Arazi çalışmalarıyla, proje güzergahının Tuzla Güzelyalı mevkiindeki Km: 28.800-30.000 arasının jeolojisi irdelenmiştir.

3.3.1 Stratigrafi

3.3.1.1 Kartal formasyonu

İnceleme alanında, Alt-Orta Devoniyen yaşlı Kartal formasyonunun seyrek-çok seyrek silttaşı ve kumtaşı araseviyeleri içeren şeyller yüzeylemektedir (Şekil 3.3). Şeyllerin üst kesimlerinde yer yer kırıntılı kireçtaşı seviyeleri bulunur. Güzergahta yapılan bazı sondajlarda kireçtaşlarının kesildiği belirtilmiştir.



Şekil 3.3: İnceleme alanındaki Kartal formasyonu kayaçlarının görünümü (Km: 29+350).

Arazi gözlemlerinde oldukça ince (0.2-0.3m) bir bitkisel toprağın örttüğü şeyllerin üst kesimlerinin (3-5m) orta derecede yer yer çok ayrıştığı görülmüştür. Ancak yapraklanma ve laminalı-ince tabakalı yapının korunduğu izlenmiştir (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).

Kartal formasyonu, önce Hersiniyen orojenezi daha sonra Alpin orojenezi döneminde şiddetle deforme olmuş kıvrılmış, kırılmış, farklı doğrultularda çatlak sistemleri ve kayma düzlemleriyle parçalanmıştır. Bu özellikler çalışma alanında da izlenmiştir (Şekil 3.5). İnceleme alanında, çatlaklar yanında yer yer küçük ölçekli faylara da rastlanmaktadır. Çatlak yüzeyleri az pürüzlü-az dalgalıdır. Çatlaklar genellikle boş, yer yer demir oksitle sıvanmış ve kille dolgulanmıştır. Devamlılıkları kısa aralıklarla kesilmektedir. Ayrıca ağırlıklı olarak ayrıışmış şeyllerden oluşan bir lokasyonda tabaka eğimleri yatay-yataya çok yakın iken fazla uzak olmayan ve silttaşı-kumtaşı araseviyelerinin görüldüğü başka bir lokasyonda ileri derecede kıvrımlanmış bir yapı görülmüştür (Şekil 3.6).

Kartal formasyonu, çok yönlü olarak gelişen kırılma ve kayma yüzeyleriyle parçalanmış, ezilmiş ve dilimlenmiştir. Yapısal hareketlere bağlı yapraklanma, paralanma, makaslama ve ezilme zonları yaygın olarak gelişmiştir. Yer yer grafit şışt yapısında gri renkli seviyeler görülmüştür.



Şekil 3.4: Bitkisel toprakla örtülmüş Kartal formasyonu (Km: 29+900).



Şekil 3.5: Üst kesimleri ayrıışmış Kartal formasyonu (Km: 29+800).



Şekil 3.6: Kartal formasyonuna ait kumtaşı-silttaşı seviyelerinde yer yer izlenen kıvrımlar (Km: 29+350).

Kartal formasyonu, çok yönlü olarak gelişen kırılma ve kayma yüzeyleriyle parçalanmış, ezilmiş ve dilimlenmiştir. Yapısal hareketlere bağlı yapraklanma, paralanma, makaslama ve ezilme zonları yaygın olarak gelişmiştir. Yer yer grafit şist yapısında gri renkli seviyeler görülmüştür.

3.3.1.2 Yamaç molozu (Qym)

Yamaç molozlarının oluşumunda daha çok mekanik ayrışma etkili olmuştur. Jeolojik olarak aynı fasiyeste oluşan kuvars ve kil ayrışma esnasında farklılaşır. Kuvarslar yüzey suları ile iyonlaşıp taşınırken, killeri immobil olduklarından, ayrıştıkları yerde kalırlar veya kısa mesafe mekanik taşınma ile depolanırlar. Aynı şekilde kırılanmış olan seyl, kumtaşı ve kireçtaşı gibi kayaç parçaları eğim yönünde taşınarak çukur veya az eğimli alanlarda depolanmışlardır. İnceleme alanında yaygın olarak tepelerin eteklerinde bulunurlar (Şekil 3.7).

Tepelerin üstünde, ortalama 2-10 cm büyüklüğünde keskin köşeli kuvarsit-arkoz-şeyl-kumtaşı-kireçtaşı çakıl ve blokları yer alır. Bu kayaç parçalarının arasında daha ince taneli kırmızımsı kahverengili kumlu killeri bulunur. Tepenin eteklerine doğru tane boyunda küçülme izlenir. Yaşı Kuvaterner-Günceldir.



Şekil 3.7: İnceleme alanındaki tepe eteklerinde görülen yamaç molozları (Km: 28+800).

3.3.1.3 Yapay dolgu (Qyd)

Banliyö hattı yapılırken ve Marmaray projesi kapsamında iyileştirilirken tabana dolgu malzemesi niteliğinde balast serilmiştir. İnceleme alanı dolayında kazılardan çıkan hafriyat malzemesinin yer yer serili olduğu lokasyonlar görülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: İnceleme alanında şev kazılarında yer yer izlenen yapay dolgu (Km: 28+850).

3.3.2 Yapısal jeoloji

3.3.2.1 Tabakalar

İnceleme alanında gözlenen birimlerden Kartal formasyonu, genellikle yapraklanma ve laminalı-ince tabakalı bir yapı sunmaktadır. Formasyon ilk önce Hersiniyen orojenezi daha sonra Alpin orojenezi döneminde şiddetle deforme olmuş, kıvrılmış, kırılmış ve farklı doğrultularda çatlak sistemleri ve kayma düzlemleriyle parçalanmıştır.

Güzelyalı bölgesindeki güzergah ve karayolu şevlerinde yapılan gözlemlerde tabaka doğrultularının $K20^{\circ}-45^{\circ}D$, eğim açıları ve yönlerinin ise $46^{\circ}-52^{\circ}GD$ olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.9). Yapılan gözlemlerde şeyllerin belirgin bir şistozite kazandığı yer yer ayrışma ve yapraklanmanın geliştiği görülmüştür.



Şekil 3.9: Sahilyolu caddesi kuzeyindeki açılmış olan şevde izlenen tabaka konumu.

Bölgede sahiyolu kesiminde gözlem yapılan bir şevde tabakalanma belirgin olarak görülmektedir. Kartal formasyonunun kumtaşı-şeyl ardalanması budinaj ve sucuk yapısı oluşturmuştur. Şeyllerde yapraklanma gelişmiştir. Şevdeki tabakalar $K2^{\circ}D$, $18^{\circ}GD$, $K-G$, $68^{\circ} D$ ve $K15^{\circ}-20^{\circ}B$, $34-36^{\circ} KD$ olarak ölçülmüştür. Ölçülerden kıvrımlı bir yapının ortaya çıktığı belirlenmiştir (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11).

Sahilyolundaki iki şevde Kartal formasyonunun şeylleri aşırı derecede kırıklı çatlaklı olup yer yer ezilmiş zonlarda içermektedir. Bu nedenle tabaka konumları belirlenememiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.10: Sahilyolu bulvarı yol şevinde görülen tabaka ve kıvrımlı yapılar.



Şekil 3.11: Sahilyolu bulvar yolu şevinde görülen tabakalı ve kıvrımlı yapılar.



Şekil 3.12: Km: 28+500 kuzeyindeki Kartal formasyonu şeyllerinde izlenen ezik zonlar.

3.3.2.2 Kıvrımlar

İnceleme alanının genelinde yüzeyleyen Kartal formasyonu birimleri Hersiniyen ardından Alpin orojenezi dönemlerinde ileri derecede deformasyona uğramıştır. Bunun sonucunda kumtaşları ve şeyller ileri derecede yapraklanmalı ve kıvrımlı bir yapı kazanmışlardır. Güzergahtaki şevlerde bu durum belirgin olarak görülmektedir (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14).



Şekil 3.13: Km: 29+000 güneyindeki Kartal formasyonuna ait kumtaşlarındaki kıvrımlar.



Şekil 3.14: Kartal formasyonunun şeyllerindeki yapraklanmalar (Km:29+700).

3.3.2.3 Çatlaklar

İncelenen güzergahta yüzeyleyen Kartal formasyonu birimlerinin Hersiniyen ve Alpin orojenezleri sonucunda ileri derecede tektonizma geçirerek aşırı kırıklı,

kırımlı ve çatlaklı bir yapı kazandıkları görülmüştür. Bu bölümde arazi çalışmalarında çatlaklarla ilgili olarak alınan ölçümler ve gözlemlerden söz edilecek ve değerlendirmeler yapılacaktır.

Güzelyalı bölgesinde tren hattı güzergahındaki şevlerden alınan çatlakların konumları K23°-85°D, K4-75°B, 38-80°GB, 90°,51-85°KB ve 70-78°GD olarak ölçülmüştür.

Çatlaklar arası uzaklık 1-15 cm civarındadır. Açıklıkları birkaç mm ile birkaç cm arasında değişmektedir. Yüzeyleri dalgali ve pürüzlü olan çatlakların devamlılığı yoktur. Çatlak yoğunluğuna bağlı olarak düşme türü duraysızlıklar görülebilir. Çatlaklar oldukça sık olup sıklıkları 25-30 adet/m dir. Yer yer kil dolgulu olup kalsit dolgularda görülmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Kartal formasyonu şeyllerinde yoğun olarak görülen çatlaklar (Km:29+700).

3.3.2.4 Faylar

İnceleme alanında yaygın olan Kartal formasyonu birimleri Hersiniyen ve Alpin orojenezleri sonucunda çok kırıklı ve çatlaklı bir yapı kazandırmıştır. Arazide yapılan gözlemler sonucunda güzergah ve dolayındaki şevlerde yer yer küçük ölçekli faylara rastlanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: İnceleme alanındaki şevlerde görülen küçük ölçekli faylar (28+900).

3.4 Bölgenin Depremselliği

İnceleme alanı, 1998 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'ndan onaylı 'Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik' ve Deprem bölgeleri Haritası' na göre Kuzey Anadolu Fayı (KAF)' na yakınlığı sebebiyle 1.Derece Deprem tehlikesi olan ve beklenen maksimum yatay ivme değerinin kayada $A_0 = 0.4g$ olacağı bilinen bir bölgenin içindedir (Şekil 3.17, Çizelge 3.1). İnceleme alanı ve çevresinde 1. ve 2. deprem bölgelerinde uyulması gereken deprem yönetmeliğinin kuralları geçerlidir.

Şekil 3.18 de Kuzey Anadolu Fayı' nın Marmara denizi çevresindeki başlıca aktif kolları ve bu kollar üzerinde oluşmuş tarihsel depremlerin tarih ve yerleri

görülmektedir (sarı alanlar 1700-1900 yılları aranda kırılan fay segmentleri ve etkiledikleri alanları göstermektedir).

Şekil 3.17: İnceleme alanının Deprem Bölgeleri Haritası' ndaki yeri (Afet İşleri Genel Müdürlüğü).

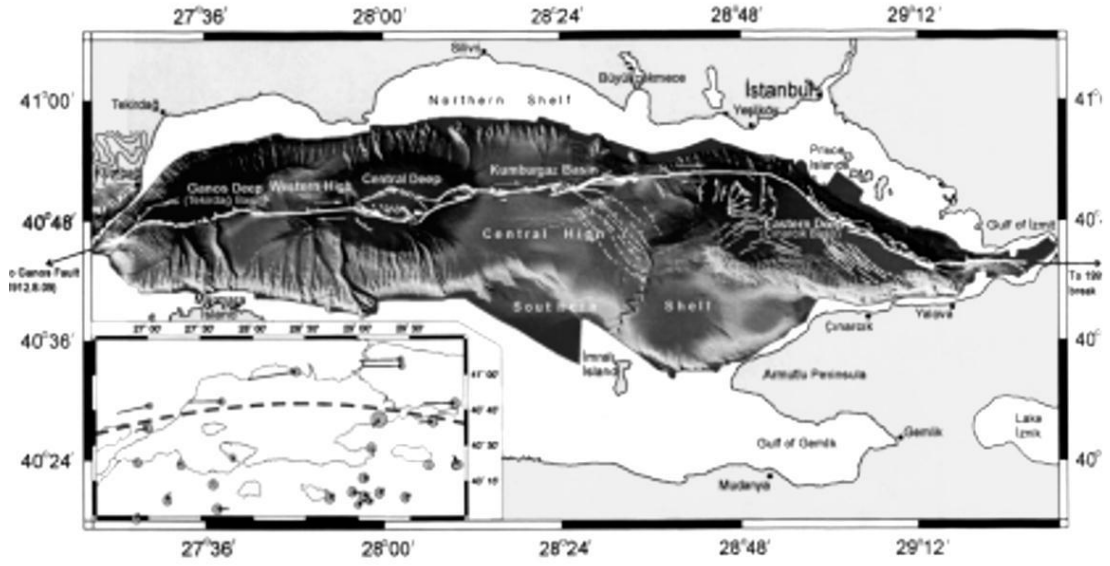
Şekil 3.18: Marmara Bölgesi' nin aktif fayları ve son ikibin yılda meydana gelmiş büyük deprem ($M_s > 6.8$) merkezlerinin dağılım haritası. 20. yy' da kırılmış faylar kalın kırmızı çizgi ile gösterilmiştir (Ambraseys ve Finkel. 1991; Şaroğlu vd., 1992; Emre vd., 1998; Ambraseys. 2002; Armijo vd., 2002; Tan vd., 2008).

kesiminde geçmişte büyük depremler olduğunu işaret etmektedir. Bu depremlerden en yıkıcı olanları ise Kuzey Anadolu Fayı (KAF) üzerinde olmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılda bu fay üzerinde yaşanan en büyük iki deprem 1939 Erzincan (M=7.9) ile 1999 Gölcük (M=7.4) depremleridir.

Yerkabuğu Marmara bölgesinde yılda 7.0 mm lik hızla K-G yönünde açılmakta, D-B yönünde 10.0 mm lik hızla sıkışmakta ve 20.0 mm lik bir hızla sağ yönlü bir hareket meydana gelmektedir. Bu tektonik oluşuma bağlı olarak Marmara denizinin kuzey yarısında yaklaşık 1200 m derinlikte üç çukurluk ile KAF' ın kuzey kolunun İzmit körfezi ve Gaziköy-Gelibolu fay segmentleri arasında büyük bir çek-ayır sistemi ile çalışan bloklar oluşmuştur. Bu çukurluklardan biri Boğaz girişi-Kartal, ikincisi K.Çekmece-Silivri arasında üçüncüsü ise Tekirdağ açıklarında bulunur. Bunlar, iki KD-GB uzanımlı sırtla ayrılırlar (Şekil 3.19). Bu sırtlar, Orta Marmara sırtı ve Batı Marmara sırtı olarak adlandırılmıştır. Derinlikleri 450-700 m arasında değişmektedir. Anılan deformasyonlar nedeniyle Marmara bölgesi deprem bakımından çok aktif durumdadır. Özellikle son yıllarda yapılan jeolojik ve jeofizik araştırmalara göre B.Çekmece-İstanbul boğazı arasında kalan yarımada da çok genç fayların ve üzerinde önemle durulması gereken mikrodeprem etkinliğinin varlığı söz konusudur.

Çizelge 3.1: Anadolu yakasındaki ilçelerin deprem bölgeleme sınıfındaki yerleri.

İlçe Adı	Deprem Bölgeleme Sınıfı
Kadıköy	1.Bölge
Kartal	1.Bölge
Maltepe	1.Bölge
Pendik	1.Bölge
Tuzla	1.Bölge
Ümraniye	2.Bölge
Üsküdar	1.Bölge



Şekil 3.19: Marmara denizinin batimetri haritası (Le Pichon vd., 2001).

Bugün Marmara denizi içerisinde ciddi bir deprem riski olduğu kabul edilmektedir. Bu konudaki başlıca kabuller aşağıdaki verilere dayanmaktadır.

Bir deprem, üzerinde olduğu faydaki gerilmeyi azaltırken, komşu faylar üzerindeki gerilmeleri değiştirir. Deprem sonrası yapılan çalışmalar, sismik aktivitenin gerilmenin arttığı alanlarda arttığını, gerilmenin azaldığı alanlarda ise azaldığını ortaya koymuştur. İzmit depremi, Düzce depreminin meydana geldiği bölgede, yani 17 Ağustos 1999 kırığının doğusunda kalan bölgede gerilimi 1-2 bar arttırmış, kırığın batı tarafındaki bölgede gerilimin 0.5-5 bar artmasına yol açmıştır.

Tarihsel depremler üzerinde yapılan çalışmalarla Marmara denizi içerisindeki fayların tekrarlanma aralıkları araştırılmış ve bunlar GPS verileri ile deneştirilerek Marmara denizinde deprem tekrarlanma zamanının çok yaklaştığı sonucuna ulaşmıştır. Araştırmacılara göre İstanbul'da önümüzdeki 30 yıl içerisinde büyük bir depremin olma olasılığı deprem tekrarlama aralıklarına göre yaklaşık % 25 dir. Araştırmacılar diğer yandan tekrarlanma zamanlarından tahmin edilen zamana bağlı olmayan Poisson olasılığını da hesaplamışlar ve Marmara denizi içerisinde gelecekteki 30 yıl içinde büyük bir deprem olma olasılığını yine yaklaşık % 25 olarak hesaplamışlardır. Üzerinde gerilimin arttığı fayların, gerilimi değişmemiş diğer faylardan daha önce kırılacağı göz önünde tutularak, deprem olasılık hesaplarına gerilim transferi de eklenmiştir (Parsons vd., 2000).

Sonuçta İstanbul'da önümüzdeki 30 yıl içerisinde kuvvetli bir sarsıntının (yer sarsıntısı ivmesi 0.34-0.65g) olma olasılığı % 62±15 olarak hesaplanmıştır. 2000

yılında hesaplanan bu oran 22 yıllık bir süre için $\% 50 \pm 13$, 10 yıllık süre için ise $\% 32 \pm 12$ olarak belirtilmiştir (Parsons vd., 2000).

4. İNCELEME ALANINDAKİ KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

4.1 Giriş

Bu aşamada çalışmalar yerüstü ve yeraltı araştırmaları olarak iki kısımda incelenmiştir.

İncelenen arazide yerüstü araştırmaları olarak tren hattı güzergahında bulunan şevleri oluşturan birimlerin jeolojik özellikleri incelenerek ortam tanımı yapılmış ve bu veriler 1/1000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritasına işlenmiştir (Ek-A). Güzergahta bulunan tren hattının çevresindeki şevlerdeki birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla araziden örnekler alınmıştır.

Şevlerin tren hattı boyunca etkileşimlerini saptamak için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. İnceleme alanındaki birimlerin, fiziksel özellikleri (index özellikleri), mekanik (tek eksenli basınç direnci, üç eksenli basınç direnci, çekme direnci, nokta yük dayanımı) ve elastik özellikleri bulunmuştur.

4.1.1 Yerüstü çalışmaları

Çalışmanın amacı, eski banliyö hattını genişleterek ortamın ve çevre etkenlerinin hat boyundaki şevlerle ilişkilendirmektir. Öncelikle arazide belirli bölgelerden nokta koordinatlar alınmıştır. Nokta koordinatların bilgisayar ortamına aktarılması sonucunda topografik haritalar elde edilmiştir. Bu haritalar güzergah boyunca 28.800-30.000 m ler arası 1/1000 ölçekli olarak autocad programı üzerinden hazırlanmıştır (Ek-A).

Laboratuvar deneyleri için güzergah boyunca örnekler alınıp fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

4.1.2 Yeraltı çalışmaları

İnceleme alanındaki birimlerin yapısal ve litolojik özelliklerinin, mühendislik parametrelerinin yatay ve düşey doğrultudaki değişimlerini ve yeraltı su durumunu belirlemek amacıyla derinlikleri 6.00-19.50 m arasında değişen 14 adet temel araştırma sondajı yapılmıştır. Sondajlar Rotary metodu, Donut ve Safety şahmerdan tipleri, D500 ve TSM750 ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sahada sondajlar esnasında yapay dolgu ve zemin ortamlarda uygun derinliklerden standart

penetrasyon deneyi (SPT) yapılarak numuneler alınmıştır. Kaya ve/veya zeminde ASTM 2001, BS 5930:1999 ‘Saha Araştırmaları’ standartlarına uygun olarak su ve/veya çamur çevrimli ve karotla ilerlenerek sondaj yapılmıştır. 76mm çaplı karotiyerler, elmas matkap kullanılmış ve 89mm çaplı muhafaza borularından ihtiyaç duyulan ortam şartlarında yararlanılmıştır.

4.1.2.1 Sondajlar

İnceleme alanı Km 28+800-30+000 arasındaki mühendislik yapılarının oturacağı (zemin ve kaya) ortamın jeolojik özelliklerini ve güzergahdaki birimlerin mühendislik parametrelerini inceleme amaçlı toplam uzunluğu 175.50m olan 14 adet sondaj verisi kullanılmıştır.

Sondaj kuyularından alınan örneklerden yararlanılarak laboratuvar deneyleri yapılmış, yeraltı su seviyesi belirlenmiş ve güzergahtaki kayaçların mühendislik özelliklerine yaklaşım getirilmiştir (Çizelge 4.1 ve 4.2), (EK D).

Çizelge 4.1: İnceleme alanındaki sondajlara ilişkin bilgiler.

Sondaj No	Sondaj Derinliği (m)	İlerleme Aralığı (m)	Litoloji
AS 271	9.00	0-1.95m	Yapay dolgu
		1.95-3.05m	Şeyl
		3.05-9.00m	Orta-Çok ayrılmış şeyl
NBH 107	10.00	0-1m	Yapay dolgu (çakıl, bloklar)
		1-4m	Az çakıllı, killi kum
		4-9.3m	Orta sağlam, ince tabakalı-kalın laminalı, orta-az ayrılmış, yer yer çok ayrılmış şeyl
		9.3-10m	Orta sağlam, erime boşluklu, orta ayrılmış kireçtaşı; kil dolgulu
AS 272	12.00	0-0.1 m	Yapay dolgu
		0.1-12m	Zayıf-orta sağlam; ince laminalı, ince tabakalı, çok-orta derecede ayrılmış şeyl
AS 273	13.00	0-7.5m	Çamurtaşı
		7.5-10.5m	Kireçtaşı
		10.5-13m	Çamurtaşı
NBH 108	10.00	0-1.2m	Yapay dolgu(çakıl ve bloklar)
		1.2-10m	Orta sağlam-orta zayıf; ince tabakalı-kalın laminalı; orta-az ayrılmış şeyl
AS 275	19.50	0-6m	Aşırı zayıf-zayıf, tamamen-çok ayrılmış şeyl
		6-11m	Zayıf-orta sağlam; orta derecede yer yer çok ayrılmış şeyl

Çizelge 4.1 (Devam): İnceleme alanındaki sondajlara ilişkin bilgiler.

Sondaj No	Sondaj Derinliği (m)	İlerleme Aralığı (m)	Litoloji
		11-19.50m	Aşırı zayıf-zayıf; tamamen-çok ayrılmış şeyl
AS 276	14.50	0-1.5m	Yapay dolgu
		1.5-3m	Katı, az kumlu düşük plastisiteli kil
		3-14.50m	Zayıf-orta sağlam; kalın laminalı; orta derecede-az ayrılmış şeyl
AS 277	12	0-0.5m	Yapay dolgu
		0.5-4.5m	Zayıf;ince laminalı, ince taneli; orta derecede-çok ayrılmış şeyl
		4.5-12m	Zayıf-orta sağlam;ince laminalı;çok-orta derecede ayrılmış şeyl
ASK 74	10	0-0.5m	Yapay dolgu
		0.5-6.10m	Grovak;sert,orta dayanımlı,orta derecede ayrılmış,kil kalsit dolgulu
		6.10-10m	Kireçtaşı; sert,dayanımlı-orta dayanımlı, az-orta derecede ayrılmış
AS 279	14.50	0-1m	Yapay dolgu
		1-4.4m	Zayıf-orta sağlam; ince laminalı; çok-orta derecede ayrılmış şeyl
		4.4-14.50m	Orta sağlam-sağlam;ince laminalı;az-orta ayrılmış şeyl
AS 280	15.50	0-1.7m	Yapay dolgu
		1.7-15.50m	Zayıf-orta sağlam; çok orta derecede ayrılmış yer yer kil bantlı kireçtaşı
NBH 109	10.00	0-1m	Yapay dolgu
		1-10m	Orta sağlam-orta zayıf; ince tabakalı-kalın laminalı; az-orta ayrılmış şeyl
NBH 110	6.00	0-1.20m	Yapay dolgu
		1.20-6m	Orta zayıf-orta sağlam;ince tabakalı-kalın laminalı; az-orta ayrılmış şeyl
AS 282	11.50	0-1.50m	Yapay dolgu
		1.50-3.05m	Az çakıllı killi kum
		3.05-11.50m	Orta-çok ayrılmış şeyl

Çizelge 4.2: İnceleme alanındaki sondajlardan belirlenen Y.S.S ve TCR-RQD-SCR özellikleri.

Sondaj No ve Yapıldığı Km	Sondaj Derinliği (m)	Yeraltı Su Seviyesi(m)	Ölçüm Aralığı(m)	TCR (%)	RQD (%)	SCR (%)
AS 271 (28+790)	9.00	5.40	1.95/3.00	19	-	7
			3.00/4.50	86	25	43
			4.50/6.00	100	19	47
			6.00/7.50	79	-	7
			7.50/9.00	43	-	8
NBH 107 (29+000)	10.00	5.14	3.20/4.50	20	-	-
			4.50/6.00	15	-	-
			6.00/7.50	28	7	16
			7.50/9.00	70	-	27
			9.00/10.00	100	39	71
AS 272 (29+000)	12.00	9.00	0.1/1.50	3	-	-
			1.50/3.00	23	-	7
			3.00/4.50	46	-	5
			4.50/6.00	59	-	14
			6.00/7.50	46	-	13
			7.50/8.50	55	-	2
			8.50/9.00	40	-	16
			9.00/10.50	5	-	2
			10.50/11.18	38	-	3
			11.18/12.00	35	-	3

Çizelge 4.2 (Devam): İnceleme alanındaki sondajlardan belirlenen Y.S.S ve TCR-RQD-SCR özellikleri.

Sondaj No ve Yapıldığı Km	Sondaj Derinliği (m)	Yeraltı Su Seviyesi(m)	Ölçüm Aralığı(m)	TCR (%)	RQD (%)	SCR (%)
AS 273 (29+043)	19.08	6.60	0/1.50	13	-	-
			1.50/3.00	8	-	-
			3.00/4.50	7	-	-
			4.50/6.00	23	-	-
			6.00/7.50	7	-	1
			7.50/9.00	8	-	-
			9.00/10.50	10	-	2
			10.50/12.00	3	-	-
NBH 108 (29+270)	10.00	4.75	12.00/13.00	18	-	-
			1.00/2.00	25	-	-
			2.00/3.00	55	38	38
			3.00/4.50	33	-	4
			4.50/6.00	98	28	45
			6.00/7.50	97	13	20
			7.50/9.00	100	50	64
			9.00/10.00	100	10	25
AS 275 (29+500)	19.50	7.30	0/1.50	10	-	-
			1.50/3.00	13	-	-
			3.00/4.50	15	-	-
			4.50/6.00	14	--	-
			6.20/7.50	100	43	47
			7.50/9.00	92	7	41
			9.00/10.50	66	-	9
			10.50/12.00	30	-	3
			12.00/13.50	13	-	-
			13.50/15.00	20	-	-
			15.00/16.50	11	-	-
			16.50/18.00	16	-	-
AS 276 (29+500)	14.50	6.90	18.00/19.50	11	-	-
			3.00/4.50	12	-	4
			4.50/6.00	20	-	8
			6.00/7.50	99	22	49
			7.50/9.00	99	22	36
			9.00/10.50	89	49	66
			10.50/12.00	80	34	45
			12.00/13.00	100	69	75
AS 277 (29+700)	12.00	4.10	13.00/14.00	73	-	41
			14.00/14.50	90	-	40
			0.50/1.50	20	-	3
			1.70/3.00	29	-	5
			3.30/4.50	26	-	6
			4.60/6.00	36	10	15
			6.10/7.50	47	-	2
			7.57/9.00	73	6	26
ASK 74 (29+800)	10.00	5.80	9.00/10.50	88	20	44
			10.50/12.00	59	-	9
			0.50/1.50	81	12	67
			1.50/3.00	44	9	25
			3.00/4.50	81	-	19
			4.50/6.00	53	9	45
			6.00/7.50	40	-	24
			7.50/9.00	100	13	47
AS 279 (29+800)	14.50	4.20	9.00/10.00	50	-	14
			1.00/1.50	30	-	18
			1.50/3.00	20	-	9
			3.00/4.50	20	-	5
			4.50/6.00	36	-	16
			6.00/7.00	87	-	47
			7.00/8.00	75	34	56
			8.00/9.00	22	-	6
			9.00/10.00	95	58	72
			10.00/11.00	90	20	47
			11.00/12.00	75	-	32
			12.00/13.00	100	98	100
			13.00/14.50	66	10	32

Çizelge 4.2 (Devam): İnceleme alanındaki sondajlardan belirlenen Y.S.S ve TCR-RQD-SCR özellikleri.

Sondaj No ve Yapıldığı Km	Sondaj Derinliği (m)	Yeraltı Su Seviyesi(m)	Ölçüm Aralığı(m)	TCR (%)	RQD (%)	SCR (%)
AS 280 (29+800)	15.50	4.50	1.95/3.00	68	9	18
			3.25/4.50	78	8	14
			4.58/6.00	42	-	-
			6.00/7.50	47	-	-
			7.50/8.00	78	-	6
			8.00/10.50	43	-	13
			10.50/11.50	100	21	30
			11.50/12.50	60	21	29
			12.50/13.90	100	-	38
			13.90/14.20	5	-	-
			14.20/15.00	84	11	24
NBH 109 (29+800)	10.00	3.36	15.00/15.50	53	-	7
			1.00/2.00	28	-	8
			2.00/3.00	39	15	19
			3.00/4.50	62	40	43
			4.50/6.00	77	30	52
			6.00/7.50	74	20	27
			7.50/9.00	100	80	80
NBH 110 (29+900)	6.00	3.44	9.00/10.00	100	20	48
			1.00/2.00	70	15	20
			2.00/3.00	79	17	45
			3.00/4.50	81	13	37
AS 282 (29+950)	11.50	4.00	4.50/6.00	68	38	56
			3.00/4.50	14	-	-
			4.50/6.00	7	-	-
			6.00/7.50	8	-	-
			7.50/9.00	9	-	2
			9.00/10.50	5	-	-
			10.50/11.50	26	-	2

Açıklamalar

TCR%: Toplam karot yüzdesi olup,

Bir ilerleme aralığında alınan karot parçalarının toplam uzunluğu (cm) /İlerleme aralığının uzunluğu (m)

RQD%: Kaya kalite göstergesi olup,

Bir ilerleme aralığı boyu 10 cm ve 10 cm' den büyük olan karotların toplam uzunluğu /İlerleme aralığının uzunluğu

SCR%: Sağlam karot yüzdesi olup,

Bir ilerleme aralığında silindirik şekli(çapını) koruyan karot parçalarının toplam uzunluğu/İlerleme aralığının uzunluğu

4.2 Kayaçların Jeolojik Özellikleri

Güzergahta yapılan incelemelerde, bölgede Alt-Orta Devoniyen yaşlı Kartal formasyonunun seyrek-çok seyrek silttaşı ve kumtaşı araseviyeleri içeren şeyllerin bulunduğu gözlenmiştir. Şeyllerin üst kesimlerinde yer yer kırıntılı kireçtaşı

seviyeleri bulunur. Güzergahta yapılan bazı sondajlarda kireçtaşlarının kesildiği belirtilmiştir (EK D).

Arazi gözlemlerinde, oldukça ince (0.2-0.3 m) bir bitkisel toprağın örttüğü şeylerin üst kesimlerinin (3-5 m) çoğunlukla orta derecede yer yer çok ayrıştığı görülmüştür. Ancak yapraklanma ve laminalı-ince tabakalı yapının korunduğu izlenmiştir.

4.2.1 Kaya kalitesi göstergesi (RQD)

Kaya kalitesi özelliği, her karot parçasının merkezinden geçen bir hat boyunca ölçülür.

Kaya kalitesi göstergesinin belirlenmesinde dik veya dike yakın süreksizlikleri içeren karot parçalarına dik süreksizlikler tek bir süreksizlik olarak kabul edilir. Başka bir süreksizlikle parçalanmamışsa, karot 10 cm'den küçük bile olsa (dik süreksizlik nedeniyle parçalandığı belirgin ise) diğer parça veya parçalarla birleştirilerek hesaplama yapılır.

Karotlar karotiyerden çıkarılırken kırılmışsa bu kırıklar doğal kırık olarak değerlendirilemez, karotlar bu yapay kırıklar boyunca birleştirilerek ölçülür.

RQD değerlendirmesi kaya türü birimler için yapılmaktadır.

Güzergahta, PQ (85mm) çaplı borularla yapılan 14 adet sondaj verilerinde RQD değerleri ölçülmüş ve kaya kalitesini gösteren Çizelge 4.3 hazırlanmıştır. Ortalama RQD değerleri hesaplaması yapılırken en yüksek ve en düşük değerler çıkarılarak hesaplama yapılmıştır.

Çizelge 4.3: Sondajlarda ölçülen RQD değerleri ve ortalaması.

Sondaj No	Sondaj Derinliği(m)	Ölçüm Aralığı(m)	RQD%	RQD Ortalama%
AS 271	9.00	1.95/3.00	-	22
		3.00/4.50	25	
		4.50/6.00	19	
		6.00/7.50	-	
		7.50/9.00	-	
NBH 107	10.00	3.20/4.50	-	23
		4.50/6.00	-	
		6.00/7.50	7	
		7.50/9.00	-	
		9.00/10.00	39	

Çizelge 4.3 (Devam): Sondajlarda ölçülen RQD değerleri ve ortalaması.

Sondaj No	Sondaj Derinliği(m)	Ölçüm Aralığı(m)	RQD%	RQD Ortalama%
AS 272	12.00	0.1/1.50	-	-
		1.50/3.00	-	
		3.00/4.50	-	
		4.50/6.00	-	
		6.00/7.50	-	
		7.50/8.50	-	
		8.50/9.00	-	
		9.00/10.50	-	
		10.50/11.18	-	
		11.18/12.00	-	
AS 273	13.00	0/1.50	-	-
		1.50/3.00	-	
		3.00/4.50	-	
		4.50/6.00	-	
		6.00/7.50	-	
		7.50/9.00	-	
		9.00/10.50	-	
		10.50/12.00	-	
		12.00/13.00	-	
NBH 108	10.00	1.00/2.00	-	26.3
		2.00/3.00	38	
		3.00/4.50	-	
		4.50/6.00	28	
		6.00/7.50	13	
		7.50/9.00	50	
		9.00/10.00	10	
AS 275	19.50	0/1.50	-	25
		1.50/3.00	-	
		3.00/4.50	-	
		4.50/6.00	--	
		6.20/7.50	43	
		7.50/9.00	7	
		9.00/10.50	-	
		10.50/12.00	-	
		12.00/13.50	-	
		13.50/15.00	-	
		15.00/16.50	-	
		16.50/18.00	-	
		18.00/19.50	-	
AS 276	14.50	3.00/4.50	-	35
		4.50/6.00	-	
		6.00/7.50	22	
		7.50/9.00	22	
		9.00/10.50	49	
		10.50/12.00	34	
		12.00/13.00	69	
		13.00/14.00	-	
		14.00/14.50	-	
AS 277	12.00	0.50/1.50	-	10
		1.70/3.00	-	
		3.30/4.50	-	
		4.60/6.00	10	
		6.10/7.50	-	
		7.57/9.00	6	
		9.00/10.50	20	
		10.50/12.00	-	

Çizelge 4.3 (Devam): Sondajlarda ölçülen RQD değerleri ve ortalaması.

Sondaj No	Sondaj Derinliği(m)	Ölçüm Aralığı(m)	RQD%	RQD Ortalama%
ASK 74	10.00	0.50/1.50	67	32
		1.50/3.00	25	
		3.00/4.50	19	
		4.50/6.00	45	
		6.00/7.50	24	
		7.50/9.00	47	
		9.00/10.00	14	
AS 279	14.50	1.00/1.50	-	37.3
		1.50/3.00	-	
		3.00/4.50	-	
		4.50/6.00	-	
		6.00/7.00	-	
		7.00/8.00	34	
		8.00/9.00	-	
		9.00/10.00	58	
		10.00/11.00	20	
		11.00/12.00	-	
		12.00/13.00	98	
		13.00/14.50	10	
AS 280	15.50	1.95/3.00	9	13.6
		3.25/4.50	8	
		4.58/6.00	-	
		6.00/7.50	-	
		7.50/8.00	-	
		8.00/10.50	-	
		10.50/11.50	21	
		11.50/12.50	21	
		12.50/13.90	-	
		13.90/14.20	-	
		14.20/15.00	11	
		15.00/15.50	-	
NBH 109	10.00	1.00/2.00	-	27.5
		2.00/3.00	19	
		3.00/4.50	40	
		4.50/6.00	30	
		6.00/7.50	20	
		7.50/9.00	80	
		9.00/10.00	20	
NBH 110	6.00	1.00/2.00	15	16
		2.00/3.00	17	
		3.00/4.50	13	
		4.50/6.00	38	
AS 282	11.50	3.00/4.50	-	-
		4.50/6.00	-	
		6.00/7.50	-	
		7.50/9.00	-	
		9.00/10.50	-	
		10.50/11.50	-	

İnceleme alanı kaya birimlerin kalite sınıflaması yukarıda verilmiştir. Çizelge 4.4’de verilen RQD değer ortalamaları kullanılarak ve Çizelge 4.5 tanımlamalarından kaya ortam yorumu yapılmıştır.

Çizelge 4.4: Kaya kalite sınıflaması (Deere, 1964).

RQD	KAYA KALİTE TANIMI
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

RQD değerleri, AS 271 sondajında %19-25, AS 276 sondajında %22-69, AS 277 sondajında %6-20, AS 280 sondajında %8-21 olarak hesaplanmış, AS 272 ve AS 282 sondajlarından RQD değerleri alınamamıştır. AS sondajlarındaki ortalama RQD değerleri %10-37 arasında değişmektedir. Buna göre bu sondajlarda geçilen kaya ortam zayıf-çok zayıf kaliteli olarak tanımlanabilir. NBH 107 sondajında RQD değerleri %7-39, NBH 108 sondajında %7-50, NBH 109 sondajında %19-80, NBH 110 sondajında %13-38 dir. NBH sondajlarındaki ortalama RQD değerleri %16-27.5 arasındadır. Buna göre anılan sondajlarda geçilen kaya ortam zayıf-çok zayıf olarak tanımlanmıştır. ASK sondajında ise RQD %14-67 arasında değişmekte olup ortalama RQD %32 olarak belirlenmiştir. Bu değere göre zayıf kaliteli kaya olarak tanımlanabilir. Tüm sondaj verilerine baktığımızda geçilen kaya ortamın ortalama RQD değerinin %24.3 olduğu görülmektedir. Buna göre teknik girişimlerin yapıldığı kaya ortamın ileri derecede kırıklı çatlaklı, ayrıışmış ve çok zayıf kaliteli olduğu ortaya çıkmaktadır.

4.2.2 Süreksizlik ara uzaklığı ve açıklığı

İnceleme alanındaki çalışmalar sonucunda güzergahtaki şevlerin genel olarak kırıklı-çatlaklı yer yer ileri derecede kırıklı-çatlaklı olduğu görülmüştür. Şevlerde seyrek olarak küçük ölçekli faylara da rastlanmıştır.

Çatlakların yönelimleri; K23°-85°D; 32-51°KB, 70-78°GD, 90° ve K4°-76°B; 21°-50°KD, 38-80°GB, 90° olarak bulunmuştur.

Çatlaklar arası uzaklık, komşu süreksizlikler arasındaki dik uzaklık olarak tanımlanır (Çizelge 4.5). İnceleme alanındaki çatlaklar arası uzaklıklar 1-22 cm arasında değişmektedir. Buna göre süreksizliklerin dar-yakın aralıklı olduğu söylenebilir (Şekil 4.1).

Çizelge 4.5: Süreksizlikler arası uzaklık ve tanımı (ISRM, 1981).

UZAKLIK	TANIM
>2m	Çok Geniş Aralıklı
600mm-2m	Geniş Aralıklı
200mm-600mm	Orta Aralıklı
60mm-200mm	Yakın Aralıklı
20mm-60mm	Çok Yakın Aralıklı
6mm-20mm	Dar Aralıklı
<6mm	Çok Dar Aralıklı



Şekil 4.1: Şevlerde izlenen süreksizlikler ve ara uzaklıkları.

Bir süreksizliğin birbirine komşu iki yüzeyi arasındaki dik mesafe açıklık olarak tanımlanır (Çizelge 4.6).

İnceleme alanındaki süreksizliklerin açıklıkları birkaç mm-birkaç cm arasında değişmektedir. Bu veriye göre şevlerdeki süreksizlikler çok dar-orta derece aralıklı olarak tanımlanabilir (Şekil 4.2).

Çizelge 4.6: Süreksizlik iki yüzeyi arasındaki açıklık ve tanımı (ISRM, 1981).

SÜREKSİZLİK ARALIĞI (Dolgu, damar,fay kalınlığı)	TANIM
>200mm	Çok Geniş Aralıklı
60-200mm	Geniş Aralıklı
20-60mm	Orta Genişlikte Aralıklı
6-20mm	Orta Derecede Aralıklı
2-6mm	Dar Aralıklı
0-2mm	Çok Dar Aralıklı
0	Sıkı



Şekil 4.2: Şevlerdeki süreksizlikler arası açıklıkların görünümü.

Eklem sıklığı, bir metredeki süreksizliklerin veya eklemlerin sayısı olarak tanımlanır. Ortalama eklem sıklığı ve tanımını kullanarak (Çizelge 4.7) kaya yorumu yapılabilmektedir. İnceleme alanındaki şevlerde çatlakların sıklıkları 10-30 adet/m olarak değişmektedir. Buna göre şevlerin çok çatlaklı-kırıklı olduğu söylenebilir (Şekil 4.3).

Çizelge 4.7: Ortalama eklem sıklığı ve tanımı (ISRM, 1981).

ORTALAMA EKLEM SIKLIĞI(m ⁻¹)	KAYA TANIMI
<1	Masif
1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
3-10	Kırıklı
10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
>50	Parçalanmış



Şekil 4.3: Şevlerde görülen eklem sıklıkları.

Gözlemlerde bölgenin genellikle aşırı kıvrımlı, kırıklı ve çatlaklı bir jeolojik yapıya sahip olduğu görülmüştür. Tabaka yönelimlerinin genellikle şevlerin içine doğru olması nedeniyle güzergah genelindeki şevlerin duraylı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak ileri derecede kırıklı-çatlaklı ve çok zayıf kaliteli ortam olması nedeniyle kaya ve taş düşmeleri gelişebilir. Bu duraysızlık türlerine karşı önlem alınması zorunludur.

4.2.3 Süreksizlik dolguları

Bir süreksizliğin komşu iki yüzeyi arasında yer alan ve genel olarak ana kayaktan daha zayıf özellikteki malzeme, dolgu olarak adlandırılır. İnceleme alanındaki şevlerde kırık ve çatlakın çoğunlukla açık yer yer kapalı olduğu görülmüştür. Ayrıca

küçük ölçekli faylara karşılık gelen ezilme zonları da gözlemlenmiştir (Şekil 4.4). Süreksizlik dolguları yer yer kil yer yer kalsit özelliğindedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4: Kırık ve çatlakları doldurmuş kilin görünümü.



Şekil 4.5: Kırık ve çatlaklar arasındaki kil dolguları.

4.2.4 Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı

Pürüzlülük ve dalgalılık, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ve büyük ölçekte düzlemsellikten sapmasının ölçüsüdür. Her iki özellikde kayacın makaslama dayanımı üzerinde etkin rol oynar. Büyük ölçekli dalgalılık, lokal eğimin değişmesine neden olabilir. İnceleme alanındaki şevlerde bulunan süreksizliklerin yüzeyleri çoğunlukla az dalgalı-dalgalıdır (Şekil 4.6). Bazı kesimlerde ise dalgalanma görülmemektedir. Süreksizlik yüzeyleri az-orta pürüzlü, yer yer aşırı pürüzlüdür. Ezik zonların ve kesme çatlaklarının bulunduğu yerlerde süreksizlik yüzeylerinin kaygan-parlak ve düz olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.6: Şevlerdeki süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı.



Şekil 4.7: Şevlerdeki tabakaların parlak ve düz yüzeyleri.

4.2.5 Ayrışma ve süreksizliklerin direnci

Güzergahta yüzeyleyen Kartal formasyonu, kumtaşı araseviyeli şeyllerden oluşmaktadır. Birim aşırı kırıklı çatlaklı olup yer yer ezik zonlar içermektedir. Ara

seviyeler halinde bulunan kumtaşı tabakaları yoğun bir şekilde kalsit damarlarıyla kesilmiştir. Birimlerdeki süreksizlikler kısa aralıklarla kesilmektedir.

Şevlerdeki duraysızlıklar genellikle süreksizlik denetimli olarak gelişmekte olup yer yer malzeme+süreksizlik denetimli duraysızlıklar da görülmüştür. İleri derecede kırıklı-çatlaklı şevlerde genellikle düşme türü duraysızlıklar gelişmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Malzeme+Süreksizlik denetimli şev.

Çizelge 4.8' e göre şevlerdeki kayaçların bozunma (ayrışma) dereceleri W2-W5 arasında tanımlanmıştır. Bu tanımlama Bienawski (1974) sınıflamasına göre iyi kaya-çok zayıf kaya aralığını ifade etmektedir. Şevlerdeki birimlerin dayanımlarının belirlenmesi için Schmidt çekici ile ölçümler yapılmıştır. Ancak ileri derecede kırıklı-çatlaklı olmaları nedeni ile ölçüm değerleri belirlenememiştir (Şekil 4.9). Bazı kesimlerde jeolog çekicinin ucunun tek bir darbeye ne kadar derinliğe gömülebileceği denenmiştir. Yapılan deneylerde jeolog çekicinin özellikle şeylerde

birkaç cm derinliğe kadar gömüldüğü belirlenmiştir. Bu durum ayrıışmış şeyllerin çok zayıf kayaç olarak nitelenebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.9: Güzergahta bazı kesimlerde yüksek dereceli ayrıışmanın gözleendiğı şev.

Çizelge 4.8: Kayaçlarda bozunma derecelerinin tanımlanması (ISRM, 1981).

Tanımlama Ölçütü	Tanım	Simge
Ana kayaçta renk değişimi yok, dayanımda bir azalma veya diğer bozunma etkileri söz konusu değil.	Taze(bozunmamış)	W1
Kayacın süreksizliklere yakın olan kesimlerinde çok az renk değişimi var, süreksizlik yüzeyleri açık ve renkleri çok az değişmiş. Kayaç, taze (bozunmamış) kayaca oranla farkedilebilir bir zayıflık göstermiyor.	Az bozunmuş	W2
Kayacın rengi değişmiş, süreksizlikler açık olabilir ve renkleri değişmiş, bozunma kayacın içine nüfuz etmeye başlamış. Kayaç, farkedilebilir ölçüde zayıflamış ('ana kayaç /bozunmamış kayaç' oranının tahmini mümkündür).	Orta derecede bozunmuş	W3
Kayacın rengi değişmiş, süreksizlikler açık olabilir ve yüzeylerinin rengi değişmiş, süreksizliklere yakın kesimlerde orjinal doku değişmiş, bozunma kayacın iç kesimlerini daha fazla etkilemiş, ancak ana kayaç halen mevcut ('ana kayaç /bozunmamış kayaç' oranının tahmini mümkündür).	Çok bozunmuş	W4
Kayacın rengi değişmiş ve kayaç toprak zemine dönüşmüş, fakat orjinal dokusu genel olarak korunmuş. Seyrek olarak küçük ana kayaç parçaları bulunabilir. Bozunma ürünü zeminin özellikleri, kısmen ana kayacın özelliklerini yansıtır.	Tamamen bozunmuş	W5

4.3 Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Arazi çalışmalarında güzergah ve çevresinde bulunan şevlerden kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile örnekler alınmıştır. Anılan özelliklerin belirlenmesi için İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, index özellikler ve kaya mekaniği laboratuvarlarında deneyler yapılmıştır. Deneyler, ISRM (2007) ve ASTM (1992a ve 1992b; 1994) standartları esas alınarak yapılmıştır.

4.3.1 Deney örneklerinin hazırlanması

İnceleme alanından alınan şekilsiz örnekler laboratuvara getirilip index deneyler yapılmıştır. Kaya bloklarından standartlara uygun bir şekilde yüzeyleri delici, kesici, düzleyici ve parlatıcı gereçler kullanılarak karot örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).

Örnekler, karot alma makinesinin kelepçe kısmına yerleştirilip hareket etmeyecek şekilde sıkıştırılmış, karot çapına ve örneklenecek kayacın sert-yumuşak olma özelliğine uygun karotiyer seçilip makineye bağlanmıştır. Makine çalıştırılıp karot

alma işlemine başlanmış, iş bittikten sonra karotun kırılmamasına özen gösterilerek çıkartılmıştır. Kesme işleminden sonra karotların uçlarını düzeltmek için makineye düzeltme diski takılmıştır. Karotlar deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.10: İnceleme alanından alınan kumtaşına ait kaya blokları.



Şekil 4.11: Kaya bloğunun karotiyere yerleştirilmesi.



Şekil 4.12: Deneyler için hazırlanmış karot örnekleri.

4.3.2 Fiziksel özellikler

İnceleme alanı ve çevresinde bulunan şevlerden alınan örneklerin birim hacim ağırlığı, doymun birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, su içeriği, ağırlıkça

su emme, hacimca su emme, boşluk oranı ve porozite gibi index özellikleri belirlenmiştir.

4.3.2.1 İndex özellikler

Güzergahta yüzeyleyen Kartal formasyonunun kumtaşlarından örnekler alınmış, deneyler yapılmış ve aşağıda verilen bağıntılara göre index özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_k)

Örneğin 105±5°C’ de kurutulmuş ağırlığının (W_{kuru}) toplam hacme (V) oranıdır **(4.1)**.

$$\gamma_k = \frac{W_{kuru}}{V} = \text{gr}/\text{cm}^3 \quad (4.1)$$

Doygun Birim Hacim Ağırlık (γ_d)

Boşlukları tamamen suya doymuş ağırlığının (W_{doygun}), toplam hacme (V) oranıdır **(4.2)**.

$$\gamma_d = \frac{W_{doygun}}{V} = \text{gr}/\text{cm}^3 \quad (4.2)$$

Gözeneklilik (porozite, n)

Boşluk hacminin (V_b) toplam hacmine (V) oranıdır **(4.3)**.

$$n = \frac{V_b}{V} \times 100 = \% \quad (4.3)$$

Boşluk Oranı (e)

Boşluk hacminin, katı kısmın hacmine (V_k) oranıdır. Birimsiz olan bu terim yüzde olarak ifade edilir **(4.4)**.

$$e = \frac{V_b}{V_k} \times 100 = \% \quad (4.4)$$

Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme (%)

Düzenli bir geometriye sahip kaya örneklerinin, ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının tayini amacıyla yapılır. Yöntem şişebilen ve ıslanma-kuruma süreci sonucunda kolaylıkla dağılabilen kayalar için uygun değildir **(4.5)**.

Örneğin $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş ağırlığı (W_{kuru}),

Boşlukları tamamen suya doymuş ağırlığı ($W_{\text{doymuş}}$),

$$\text{Ağırlıkça su emme (\%)}, \quad A_w = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (4.5)$$

$$\text{Hacimce su emme (\%)}, \quad H_w = \frac{\frac{W_d - W_k}{\gamma_{\text{su}}}}{\frac{W_k}{\gamma_{\text{kati}}}} \times 100$$

Çizelge 4.9: Kartal formasyonundan alınan örneklerin index özellikleri.

Örnek No	Doygun Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Birim Hacim Ağırlık g/cm ³	Kuru Birim Hacim Ağırlık g/cm ³	Porozite %	Ağırlıkça Su Emme %	Porozite	e (Boşluk Oranı)
1	181,01	68,49	176,6	2,64	2,58	6,44	2,50	0,06	0,07
2	180,27	68,25	176,33	2,64	2,58	5,77	2,23	0,06	0,06
3	65,32	24,78	63,48	2,64	2,56	7,43	2,90	0,07	0,08
4	38,39	14,78	37,41	2,60	2,53	6,63	2,62	0,07	0,07
5	96,46	36,54	94,1	2,64	2,58	6,46	2,51	0,06	0,07
6	113,95	43,09	111,27	2,64	2,58	6,22	2,41	0,06	0,07
7	186,68	70,74	181,54	2,64	2,57	7,27	2,83	0,07	0,08
8	139,58	52,71	136,63	2,65	2,59	5,60	2,16	0,06	0,06
9	173,22	65,64	168,58	2,64	2,57	7,07	2,75	0,07	0,08
10	213,5	80,72	208,17	2,64	2,58	6,60	2,56	0,07	0,07
11	71,86	27,05	70,54	2,66	2,61	4,88	1,87	0,05	0,05
12	159,59	60,33	155,84	2,65	2,58	6,22	2,41	0,06	0,07
13	37,5	14,22	36,58	2,64	2,57	6,47	2,52	0,06	0,07
14	41,68	15,81	40,54	2,64	2,56	7,21	2,81	0,07	0,08
15	28	10,68	27,22	2,62	2,55	7,30	2,87	0,07	0,08
Ortalama						6,50	2,53	0,07	0,07

4.3.3 Mekanik ve elastik özellikler

Mekanik özellikler kayacın dayanımının ve çeşitli kuvvetlerin etkisi altında kayacın meydana gelebilecek deformasyonların saptanması açısından önemlidir. Kayacın, mühendislik işlerinde oluşturabileceği problemlerin çözülebilmesi için mekanik özelliklerin bilinmesi gerekir.

4.3.3.1 Tek eksenli basınç direnci

3 cm çapında, 6 cm boyunda silindirik örnekler üzerinde yapılan deneylerde amaç kayaya gelen tek yönlü eksenel bir kuvvete karşı kayacın dayanımını bulmaktır. Deneylerde beş adet örnek kullanılmıştır. Tek eksenli basınç direnci belirli boyutlardaki kayaların belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dayanıklılıktır.

Tek eksenli basınç deneyinde kuvvet uygulayıcı olarak hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). Örnek hidrolik presin çeneleri arasına düşey eksenli presin düşey eksenli ile çakışacak şekilde konulmuştur. Hidrolik presin çeneleri sıkıştırılarak örnek üzerine bir yük uygulanır. Taşın kırılması anında uygulanan yükün kesit alanına bölümü tek eksenli basınç direncini verir (4.6).



Şekil 4.13: Karotun hidrolik prese yerleştirilmesi.



Şekil 4.14: Karota basınç uygulaması.

$$G_b = \frac{P}{A} \quad (4.6)$$

G_b = Tek eksenli basınç direnci (kg/cm^2)

P = Kırılma yükü (kg)

A = Kırılma yükünün uygulandığı kesit alanı (cm^2)

Yapılan deneyler sonucunda;

Kartal formasyonu kumtaşlarının tek eksenli basınç direnci ortalama 31.86 Mpa ($318.6 \text{ kg}/\text{cm}^2$) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10: Tek eksenli basınç direnci deney sonuçları.

Num. No	Boy (cm)	Çap (cm)	Basınç Direnci (kg/cm^2)	Boy Kısalması (cm)	Boy Kısalması (cm)	Elastisite Modülü (kg/cm^2)	Basınç Direnci (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	11.1	5.25	312	0.00098	0.01425	23513.05	31.2	2351.30
2	11.2	5.25	305	0.00057	0.01834	17163.08	30.5	1716.31
3	11.49	5.25	299	0.00114	0.01614	19933.33	29.9	1993.33
4	11.28	5.25	460	0.00142	0.02059	23993.41	46	2399.34
5	11.32	5.25	217	0.0018	0.02021	11790.11	21.7	1179.01
Ortalama							31.86	1927.86

Çizelge 4.11: Kayaç malzemesinin dayanımı (Bieniawski,1989).

Kayaç Malzemesinin Dayanımı		
Tanımlama	σ_c (MPa)	I_s^{50} (MPa)
Çok Yüksek	> 250	> 10
Yüksek	100-250	4.0-10
Orta-Yüksek	50-100	2.0-4.0
Orta	25-50	1.0-2.0
Düşük	5.0-25	< 1
Çok Düşük	1.0-5.0	-

Şekil 4.11’ de verilen Bieniawski 1989’ a göre, tek eksenli basınç direnci değerleri için Kartal formasyonunun kumtaşları orta dayanıma sahip kayadır.

4.3.3.2 Üç eksenli basınç direnci

Tek eksenli basınç direncinde kullanılan aletler ve uygulanan yöntemin aynısı kullanılmış ancak tek eksenli basınç direncinden farklı olarak örnek özel bir hücre içerisine yerleştirilerek çevre basıncı verilmiştir. Hidrolik krika ile verilen çevre basıncı örneklerle 10, 20, 30, 40, 50 kg/cm² olarak uygulanmıştır. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları Çizelge 4.12’ de verilmiştir.

Çizelge 4.12: Üç eksenli basınç direnci deney sonuçları.

Num. No	Boy (cm)	Çap (cm)	Çevre Basıncı (kg/cm ²)	Basınç Direnci (kg/cm ²)	Basınç Direnci (MPa)
1	11.39	5.25	10	325	32.5
2	11.18	5.25	20	451	45.1
3	11.31	5.25	30	465	46.5
4	11.41	5.25	40	513	51.3
5	11.35	5.25	50	491	49.1
Ortalama				449	44.9

4.3.3.3 Çekme direnci

Kartal kumtaşlarının çekme direnci endirekt çekme deneyi ile saptanmıştır. 3 cm çapında, 6 cm boyunda olan silindirik örneğin düşey ekseni hidrolik presin düşey eksenine dik olarak yerleştirilmiştir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). Daha sonra tek eksenli düşey bir kuvvet uygulanarak örneğin kırıldığı andaki yükü okunmuş ve Kartal formasyonu kumtaşlarının çekme direnci aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (4.7).



Şekil 4.15: Örneğin çekme direnci ölçümü için hidrolik pres hücresine yerleşimi.



Şekil 4.16: İnceleme alanı örneklerinin deneyler sonrası görünümü.

$$\sigma_c = \frac{2P}{D \times L} \quad (4.7)$$

σ_c = Çekme direnci (kg/cm²)

P = Kırılma yükü (kg)

D = Örnek çapı (cm)

L = Örnek boyu (cm)

Kartal formasyonu şeylerinin çekme direnci 31.01 kg/cm² olarak bulunmuştur.

Deney sonuçları Çizelge 4.13' de verilmiştir.

Çizelge 4.13: Kartal formasyonu kumtaşlarının çekme direnci deney sonuçları.

Num. No	Boy (cm)	Çap (cm)	Kırılma Yüğü	s çekme (kg/cm ²)	s çekme (MPa)
1	5.3	5.25	520	11.90	1.19
2	5.3	5.25	1480	33.86	3.39
3	5.35	5.25	1920	43.52	4.35
4	5.3	5.25	1520	34.78	3.48
Ortalama				31.01	3.10

4.3.3.4 Nokta yük deneyi

Kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yükü dayanım indeksinin tayini amacı ile yapılır. Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kaya malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır. İşlem nokta yükleme deneyi aleti ile örneğin konik yükleme başlıklarının arasına konulmasıyla gerçekleşir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Bu deney arazide bulunan Kartal formasyonuna ait kumtaşlarından alınan 6 adet örnek üzerinde yapılmış ve örneklerin yenilme anındaki yükleri okunarak tabloya yerleştirilmiştir. (Çizelge 4.14).



Şekil 4.17: Nokta yükleme deneyi aleti.



Şekil 4.18: Konik yükleme başlığı arasında bulunan karot.

Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa,MPa) **(4.8)**

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (4.8)$$

P = Yenilme yükü

D_e = Eşdeğer karot çapı

Boyut düzeltmesi

I_s değeri; çapsal deneyde D (kalınlık)' nin, diğer deney türlerinde ise D_e ' nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle, I_s değerinin standart bir karot çapına ($D=50\text{mm}$) göre düzeltilmesi gerekir. Bu amaçla hazırlanmış nomogram kullanılarak düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$, belirlenir. Nomogram yoksa, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi **(4.9)**,

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (4.9)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Çizelge 4.14: Nokta yük deneyi sonuçları.

Num. No	Boy (cm)	Çap (cm)	Kırılma Yüğü	Dayanım İndeksi (kg/cm ²)	Dayanım İndeksi (MPa)	F Düzeltme	Is 50 (Mpa)
1	3.88	5.25	454	16.47	1.65	1.02	1.68
2	3.94	5.25	391	14.19	1.42	1.02	1.45
3	4.1	5.25	435.5	15.80	1.58	1.02	1.62
4	3.62	5.25	383.5	13.91	1.39	1.02	1.42
5	5.35	5.25	540.5	19.61	1.96	1.02	2.00
6	4.62	5.25	390	14.15	1.41	1.02	1.45
					Ortalama	1.02	1.60

Araziden alınan örnekler üzerinde yapılan nokta yük dayanımı (Is50) deneyi 1.60 Mpa olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.15: Kayaç malzemesinin dayanımı (Bieniawski,1989).

Kayaç Malzemesinin Dayanımı		
Tanımlama	σ_c (MPa)	I_s^{50} (MPa)
Çok Yüksek	> 250	> 10
Yüksek	100-250	4.0-10
Orta-Yüksek	50-100	2.0-4.0
Orta	25-50	1.0-2.0
Düşük	5.0-25	< 1
Çok Düşük	1.0-5.0	-

Çizelge 4.16: Kayaç malzemesinin dayanımı (Deere, 1966).

Kayaç Malzemesinin Dayanımı	
Tanımlama	Deere (1966)
Çok Yüksek	Is > 10 MPa
Yüksek	Is= 5.0-10 MPa
Orta	Is= 2,5-5.0 MPa
Düşük	Is= 1,25-2,5 MPa
Çok Düşük	Is< 1,25 MPa

Kartal formasyonunun kumtaşları nokta yük dayanımı değeri açısından Bieniawski 1989' a göre orta dayanımlı, Deere 1966' ya göre ise düşük dayanımlı kayaç olarak tanımlanmaktadır (Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16).

4.4 Kayaçların Mühendislik Parametreleri

İnceleme alanından alınan blok numuneler üzerinde tek eksenli basınç direnci, üç eksenli basınç direnci, çekme direnci ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Zayıf dayanımlı, çok sık çatlaklı (RQD ortalama=23), orta derecede ayrılmış kumtaşı-şeyl birimi için mühendislik parametreleri hesaplanmıştır.

Kumtaşı-Şeyl için;

Blok numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç direnci deneyi sonuçlarından ortalama 31,86 MPa değerleri elde edilmiştir. Buna göre;

Analizi yapılan şev için RMR kaya sınıflama sistemi ile RocLab yazılımı kullanarak parametreler belirlenmiştir. RMR sınıflaması için gereken karot kalitesi, eklem sıklığı, eklem durumu ve yeraltı suyu gibi parametreler, sondajlar ve arazi gözlemlerinden elde edilmiş, veriler RMR sınıflama parametreleri tablosunda işaretlenip kaya sınıflaması yapılmıştır.

Sondajdan elde edilen verilere göre; tek eksenli basınç dayanımı 25-50 MPa (4), RQD değeri <25 (3), eklem sıklığı 50-300 mm (10), eklemli yumuşak duvar kayası (12) ve Nemli (7) değerleri alınarak yapılan değerlendirmede RMR değeri 36 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17: RMR sınıflama parametreleri ve dereceleri (Ulusay, R., 2010).

1	Sağlam kayanın mukavemeti	Uç-yük mukavemet endeksi	> 8 MPa	4-8MPa	2-4 Mpa	1-2MPa	Tek eksenli basınç deneyini kullan		
		Tek eksenli basınç mukavemeti	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
		Derecelendirme	15	12	7	4	2	1	0
2	Sondaj Karot Kalitesi RQD		%90-100	%75-90	%50-75	%25-50	<%25		
	Derecelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklemlerin sıklığı		>3m	1-3m	0.3-1m	50-300mm	<50mm		
	Derecelendirme		30	25	20	10	5		
4	Eklemlerin durumu		Çok kaba yüzler sürekli değil ayrılma yok eklemeli sert duvar kayası	Az kaba yüzler Ayırım<1m m Eklemli sert duvar kayası	Az kaba yüzler Ayırım<1 mm Eklemli yumuşak duvar kayası	Sürtünme izli yüzler veya fay kili<5mm veya 1-5mm açık eklemler sürekli eklemler	Yumuşak fay kili>5mm kalınlık veya açık eklemler>5mm sürekli eklemler		
	Derecelendirme		25	20	12	6	0		

Çizelge 4.17 (Devam): RMR sınıflama parametreleri ve dereceleri (Ulusay, R., 2010).

5	Yeraltı suyu	Tünelin 10m.'lik kısmından gelen su		Yok	<25 litre/dak.	25-125 litre/dak	>125 litre/dak
		Oran	Eklem-deki su basıncı	0	0.0-0.2	0.2-0.5	>0.5
			Ana asal gerilme				
		Genel koşullar		Tamamen kuru	Yalnızca nemli(kırıklardaki su)	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri
	Derecelendirme		10	7	4	0	

Kırık ve çatlaklar için Çizelge 4.18' e göre 'uygun' şeklinde düzeltme yapıldığında düzeltilmiş RMR değeri $36-5=31$ olarak hesaplanır.

Çizelge 4.18: Eklem yönelimine göre düzeltme (Ulusay, R., 2010).

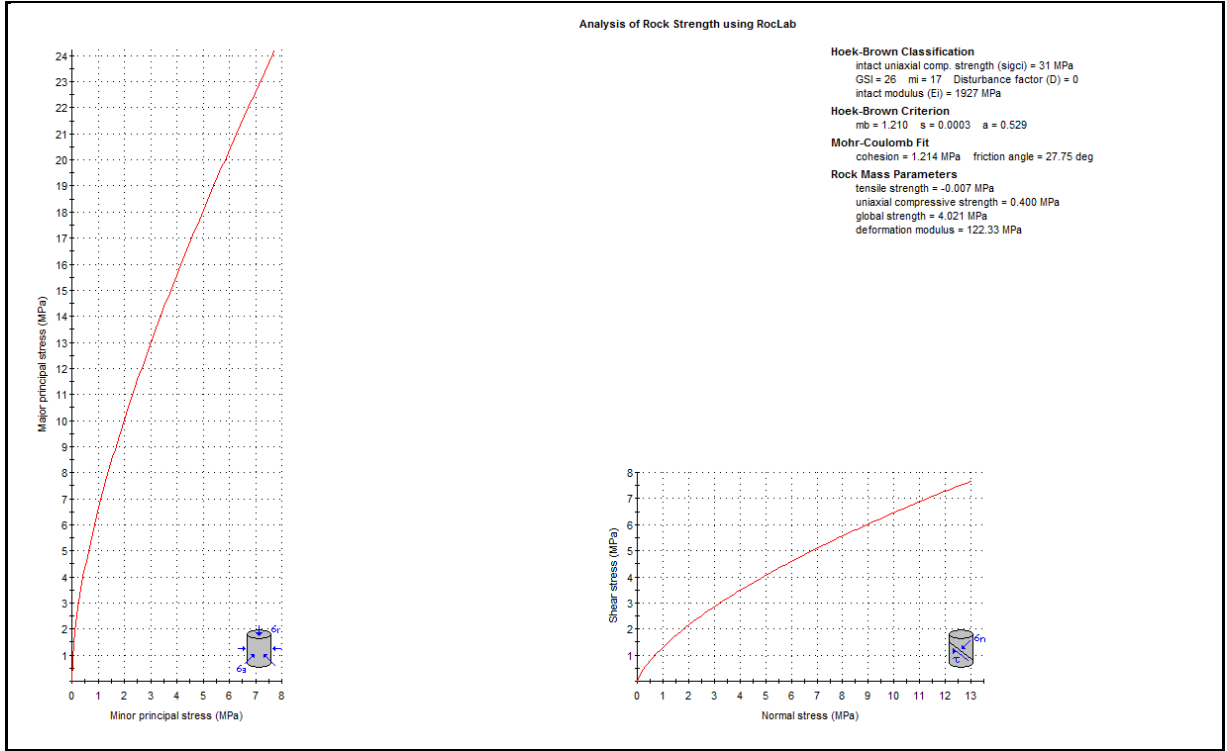
Eklemelerin doğrultu ve eğim yönelimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Derecelenme	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Yamaçlar	0	-5	-25	-50	-60

Çizelge 4.19: RMR değerine göre kaya sınıflaması (Ulusay, R., 2010).

RMR Değeri	Kaya Sınıfı
100-81	I (çok iyi kaya)
80-61	II (iyi kaya)
60-41	III (orta kalitede)
40-21	IV (zayıf kaya)
<20	V (çok zayıf kaya)

Sondaj ve saha gözlemlerinden yararlanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen RMR değerine göre, kaya sınıfı (Çizelge 4.19) 'zayıf kaya' olarak belirlenmiştir.

Parametre hesaplarında kullanılan RocLab programında kullanılan GSI değeri, RMR değerinin 5 eksiğidir. Buna göre;



Şekil 4.19: Kumtaşı-Şeyl parametrelerini elde etmek amacı ile kullanılan RocLab programı.

Hoek-Brown kaya sınıflama sistemi kullanılarak RocLab programı (Şekil 4.19) yardımıyla şev stabilitesi analizinde kullanılacak dayanım parametrelerinin belirlenmesi için gerekli parametreler:

Tek Eksenli Basınç Dayanımı

$$(\sigma_c) = 31 \text{ MPa}$$

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5 \text{ (Rock Mass Classification, B.Singh-R.K.Noel)} = 31 - 5 = 26$$

$$m_i = 17 \text{ (Kumtaşı için önerilen değer)}$$

$E_i = 1927 \text{ Mpa}$ olarak kabul edilmiş ve Mohr-Coulomb dayanım parametreleri yukarıdaki şekilden görülebileceği gibi,

$$c = 1,21 \text{ MPa}, \Phi = 27,7^\circ$$

olarak elde edilmiştir.

5. İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

5.1 Giriş

Güzergahda gözlemlenen jeolojik birimler, aralarındaki uyumlu ya da uyumsuz dokanıklara ve güzergah eksenini kestiği kilometrelere göre ayrılmış ve formasyonların mühendislik jeolojisi özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir.

Güzergahta gözlemlenen birimler; kumtaşı-şeyl-kireçtaşı (Kartal Formasyonu-Dk) ve yapay dolgudur. Bu birimlerde yapılan sondaj ve arazi çalışmaları sonucunda mühendislik jeolojisi (dayanım, ayrışma, süreksizlik vb.) özellikleri aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.2 Banliyö Hattının Mühendislik Jeolojisi

Km: 28+800-28+920, 29+307-29+888, 29+925-30+000 arası; Yapay Dolgu (Qyd)

İnceleme alanının jeolojik tabanını oluşturan kumtaşı-şeyl-kireçtaşı birimlerinin üzerinde değişik kalınlıklarda yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgular genellikle kentsel dolgulardan kaynaklı olup kum, çakıl ve kil boyutlu bileşenlerden oluşmaktadır.

Güzergahın başlangıç kilometresi olan Km: 28+800-28+920, 29+307-29+888, 29+925-30+000 arası yapay dolguda geçilmiş olup dolgu kalınlıkları 0.20-5.00 m. arasında değişmektedir. Dolgular genel olarak ince-kaba taneli kum, ince kaba taneli çakıl, koyu kahverengi-gri renkli, karbonat içerikli çakıl ile farklı boyutlarda blok niteliğindedir. Blokların genel özelliği ise kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı ve beton kökenli olup çapları 1 m. ye kadar ulaşmaktadır. Toprak, kil, çöp ve inşaat artığı malzemeler dolgu içerisinde gözlenen farklı bileşenlerdir.

Km: 28+920 - 29+307, 29+888 - 29+925 arası; Kumtaşı-Şeyl-Kireçtaşı (Dk)

Güzergahın bu aralığında kumtaşı-şeyl-kireçtaşı birimlerine rastlanılmıştır. Kumtaşı-şeyl birimlerinin üst kesimleri zayıf dayanımlı, kahverengi, gri renkli, çok sık çatlaklı, parçalı-kırıklı, orta derecede ayrıışmıştır (Dayanım IV, Ayrışma III) . Bu kesimin altında ise orta sağlam dayanımlı, kahverengi, gri renkli, orta sık çatlaklı, az-orta derecede ayrıışmış kumtaşı-şeyl (Dayanım II-III, Ayrışma I-II) birimi yer almaktadır (Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2).

Çizelge 5.1: Kumtaşı kaya kütlesi tanımlama ölçütleri.

Kaya Kütlesinin Tanımlama		Özellikler
Jeolojik Tanımlama		Kumtaşı
Renk		Kahverengi, gri
Tane Boyu		Orta-iri taneli
Doku ve Yapı		Kıvrımlı
Süreksizlikler	Süreksizlik Türleri	Tabaka-çatlak
	Süreksizlik Durumu	Genellikle kapalı, yer yer açık
	Süreksizlik Aralığı	Dar (20-60 mm)
	Süreksizlik Açıklığı	Dar (20-60mm)
	Dolgu Malzemesi	Kil
	Pürüzlülük ve Dalgallılık	Genellikle dalgallı pürüzlü
	Süreksizlik Yönelimi	Tabaka 114/18, Ana süreksizlik 68/36
	Süreksizlik Devamlılığı	Orta devamlılık
	Süreksizlik Takım Sayısı	2
	Su Sızıntıları	Süreksizlik yüzeyi kuru, ancak suyun aktığını gösteren bazı belirtiler var
	Blok Boyutu	Küçük-orta boyutlu bloklar
Ayrışma		Genellikle az ayrılmış, yüzeye yakın kesimler orta ayrılmış
Dayanım		Orta-zayıf dayanımlı

Çizelge 5.2: Şeyl kaya kütlesi tanımlama ölçütleri.

Kaya Kütlesinin Tanımlama		Özellikler
Jeolojik Tanımlama		Şeyl
Renk		Gri, koyu gri
Tane Boyu		Orta-ince taneli
Doku ve Yapı		Kıvrımlı
Süreksizlikler	Süreksizlik Türleri	Tabaka-çatlak-ezik zon
	Süreksizlik Durumu	Genellikle kapalı, yer yer açık
	Süreksizlik Aralığı	Dar (20-60 mm)-Kapalı
	Süreksizlik Açıklığı	Dar (20-60mm)
	Dolgu Malzemesi	Kil
	Pürüzlülük ve Dalgallılık	Genellikle dalgallı pürüzlü

Çizelge 5.2 (Devam): Şeyl kaya kütlesi tanımlama ölçütleri.

Süreksizlik Yönelimi	Tabaka 263/53, Süreksizlik 318/55, Ezik zon 85/90
Süreksizlik Devamlılığı	Orta devamlılık-yüksek devamlılık
Süreksizlik Takım Sayısı	3
Su Sızıntıları	Süreksizlik yüzeyi kuru, ancak suyun aktığını gösteren bazı belirtiler var
Blok Boyutu	Küçük boyutlu bloklar
Ayrışma	Genellikle orta ayrılmış, yüzeye yakın kesimler çok ayrılmış
Dayanım	Zayıf dayanımlı

5.3 Hidrojeoloji

5.3.1 Birimlerin hidrojeolojik değerlendirilmesi

İnceleme alanının ana kayacını Devoniyen yaşlı Kartal formasyonu birimleri oluşturmaktadır. Kartal formasyonu kumtaşı, şeyl, kireçtaşından oluşmaktadır. Bu birimlerin üzerinde kentsel atıklardan kaynaklanan farklı kalınlıklarda yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgular genel olarak kil, çakıl ve kum bileşenlerinden oluşmaktadır.

Çalışma alanındaki birimler, jeohidrolik ortam niteliklerine göre yani yeraltı suyu geçirebilme ve iletebilme özellikleri (boşluk varlığı, boşluk boyutları, boşluklar arası ilişki ve derecesi) göz önünde bulundurularak 2 ana jeohidrolik ortam türüne ayrılmıştır. Jeohidrolik ortam türlerinin belirlenmesi ve tanımlanmasında; özellikle kayalarındaki birincil ve ayrışmaya bağlı killeşme gibi ikincil kökenli olgular ile ortamda kil ve killi ara seviyelerin varlığına dikkat edilmiştir. Kalın-masif jeolojik yapının varlığı ve mevcut süreksizliklerin dolgulu-tıkalı veya ilişkisiz olması gibi, ortamsal yeraltı suyu geçirimsizliğini ve iletilimsizliğini olumsuz yönde etkileyen parametrelerdir. Tane serbestleşmesi, tane iriliği ve derecelenmesi, taneler arası doğal çimento bulunmaması veya suyla dağılabilir gevşek çimentolanmış olma, dolgunsuz-açık süreksizlik açıklıklarının ve gözenek hacimlerinin ilişkili olmaları gibi

ortamsal yeraltı suyu geçirimsizliğini ve iletimsizliğini olumlu yönde etkileyen jeolojik ve hidrojeolojik parametreler bir bütün halinde değerlendirilmiştir.

İstanbul Anadolu yakasında, Kartal, Pendik ve Tuzla dolaylarında yoğun olarak bulunan Devoniyen yaşlı Kartal formasyonu ‘Yarıgeçirimli Ortam’ özelliğindedir. Kil, çakıl, kum bileşenlerinden oluşan yapay dolgu ise ‘Geçirimli Taneli ortam’ özelliğindedir (Şekil 5.1 ve Çizelge 5.3).

Bölgedeki jeohidrolik ortamlardan ‘Yarıgeçirimli (gz)’ olanlar içinde yer alan ve ‘farklı düzeylerde yerel yayımlı geçirimsiz ve yarıgeçirimli seviyeler-zonlar’ şekillendiren düşük-çok düşük depolamalı ‘yerel yeraltısu birikimleri’ niteliğinde ‘tünek yarısutaşlılar (akitard)’ bulunmaktadır. Zemin sondajları içinde ölçülen kuyu içi su düzeylerinin önemli bir bölümü bu tür tünek yarısutaşlılara aittir.

Proje alanındaki yeraltısu birikiminin, ‘yeraltısu birikiminin, içinde hareket ettiği jeohidrolik ortamları şekillendiren litolojik birimlerin kimyasal bileşimlerinden bağımsız olmadığı’ genel kuralına bağlı olarak yer yer özellikle SiO_2 , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Fe^{2+3} , CO_3^{2-} , HCO_3^- gibi iyonlar bakımından zenginleşmiş olarak bulunacağı öngörülmektedir (OYO, 2009).

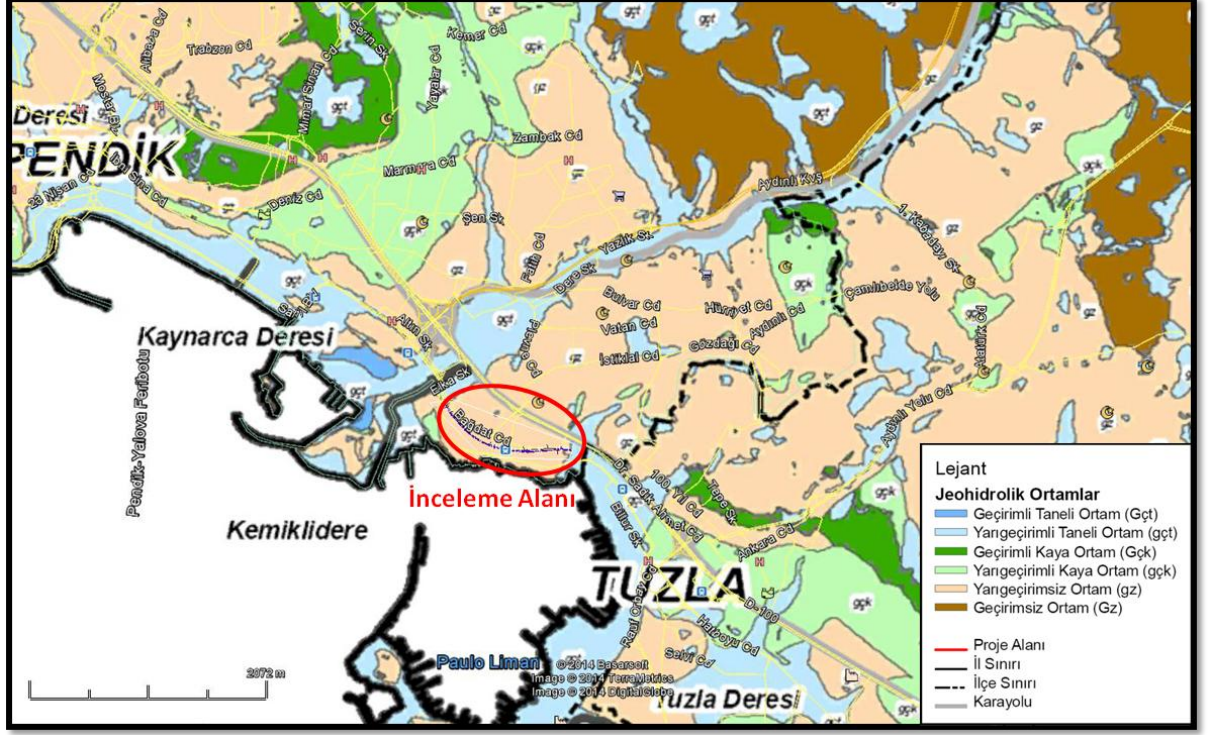
Çizelge 5.3: Jeolojik birimler ve jeohidrolik ortamlar (OYO, 2009).

JEOLOJİK ORTAMLAR			JEOHİDROLİK ORTAMLAR	
Simge	Tanım		Simge	Tanım
Qyd	Yapay Dolgu	Kil, Çakıl, Kum	gçt	Yarıgeçirimli Taneli
Dk	Kartal Fm.	Kumtaşı-Şeyl-Kireçtaşı	gz	Yarıgeçirimli

Yarıgeçirimsiz ortamlar, üzerlerinde bir geçirimsiz veya yarıgeçirimli jeohidrolik ortam bulunduğunda, pratik anlamda aynen geçirimsiz ortamlar gibi düşünülürler. Bu nedenle de daha çok yeraltı suyu akışını sınırlayan ve konumsal özelliklerine bağlı olarak geçirimsiz ve yarıgeçirimli ortamlarla ilişkileri çerçevesinde ortamdaki yeraltı suyunun depolanmasına hizmet eden bir görev üstlenir.

Yapay dolgu alanları, dolgu içeriği (kil, çakıl, kum) göz önünde bulundurulduğunda yeraltısu geçirimsizlik niteliği bakımından jeohidrolik ortam türü olarak ‘Geçirimli Taneli Ortam (Gçt)’ olarak adlandırılmıştır.

Sonuç olarak, kil, çakıl, kumdan oluşan yapay dolgunun gözeneklilik ve geçirimliliği yüksek olmasına rağmen kumtaşı-şeyl birimlerinin gözeneklilik ve geçirimliliği zayıftır. Geçirimli birimler ile geçirimsiz birimlerinin ardanması, tabaka süreksizlikleri boyunca su sızıntılarının oluşmasını sağlamıştır. Bu durum ortamda yeraltı suyu bulunmasına ve yer yer küçük kaynak çıkışlarına sebep olabilir.



Şekil 5.1: İnceleme alanı ve dolayının Hidrojeoloji haritası (OYO, 2009).

5.3.2 Yeraltı su düzeyi

İnceleme alanı ve dolayında 14 adet zemin sondajı açılmıştır. Sondajlarda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve 4.00-9.00 m. arasında değiştiği görülmüştür (EK D).

Yeraltı suyu derinlik değerlerinden hareketle bölgesel yeraltı suyu varlığının gerek yıl içi boyunca aylık değişimleri ve gerekse yıllık meteorolojik dönemlerde (yağışlı, geçiş, kurak) hidrojeolojik koşulları farklı jeohidrolik ortamlar içindeki bölgesel davranışı ve uzun yıllar yağış ortalamasına göre incelenmiştir.

‘Yarıgeçirimli Taneli Ortam’ içindeki su derinliklerinin yıllık yağışlara paralel olarak en edilgen karakterde olduğu, çok daha az edilgen karakterdeki ‘Geçirimli Kaya Ortam+Yarıgeçirimli Kaya Ortam’ ve ‘Geçirimsiz Ortam+Yarıgeçirimsiz Ortam’ içindeki su derinliklerinin ise aralarındaki paralellikle yerel tünek yarısutaşlılar varlığını ayrıca kanıtladığı, jeohidrolik nitelikleri nedeniyle yağışların ve genelde

meteorolojik koşulların ötelenerek ya gecikmeli sızma ile ‘Geçirimsiz+Yarıgeçirimli’ ortamları ya da uzak alanlardan beslenme ile ‘Geçirimli Kaya+Yarıgeçirimli Kaya’ ortamları etkilediği anlaşılmıştır.

5.4 Banliyö Hattındaki Şevlerin Duraylılığının İncelenmesi

Güzergahta yer alan yarma şevi; yüzey jeolojisi değerlendirmeleri, doğal şev eğimleri, sondaj verileri, arazi gözlemleri, laboratuvar deney sonuçları ve yarma yükseklikleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar ile birlikte stabilite analizleri yapılmış, güzergah üzerinde kritik kesim teşkil edecek herhangi bir yarma bulunmadığı görülmüştür. Güzergahta Km: 29+050-29+134 arasında kumtaşı-şeyl-kireçtaşı biriminde açılacak maksimum yüksekliği Km: 29+060’ da 6.58 m. olan Y1 yarması bu kesimdeki en yüksek yarmayı oluşturmaktadır (Çizelge 5.4).

Çizelge 1’ de kaya şevlerinin projelendirilmesinde kullanılan belli başlı, farklı yöntemler karşılaştırılmaktadır. İzleyen sayfalarda ise, MULLER (1963), JENNINGS (1969), JOHN (1968), TAYLOR (1970) yöntemlerinin GOODMAN ve BRAY (1976), HOEK (1974), KOVARI (1976), ZANBAK (1978) tarafından yapılan değerlendirilmelere benzer şekilde geliştirilen çözümler bulunmaktadır.

Analizler sonucunda statik ve depremlili durumda kayma güvenlik sayıları verilmiştir. Güvenlik sayısı TCK Araştırma Teknik Şartnamesinde de belirtildiği gibi statik durumda minimum 1.5 ve depremlili durumda minimum 1.1 olan yarmalar güvenli olarak kabul edilmiştir. Raporda şev eğimleri yatay/düşey olarak verilmiştir.

Çizelge 5.4: Kritik Y1 yarması teknik özellikleri.

Yarma No	Km Aralığı		Mevkii	Sondaj No- Aç No	Yarma Kalınlığı					Zemin / Kaya Cinsi	YMD Ş
	Baş.	Bitiş			Mak. Yük. Km	Sol (m)	Eksen (m)	Sağ (m)	Şev Eğimi (y/d)		
Y1	29+054	29+134	Güzelyalı- Ankara Cad.	AS-273	29+060	-	-	6,58	3/2	Dk	2/1

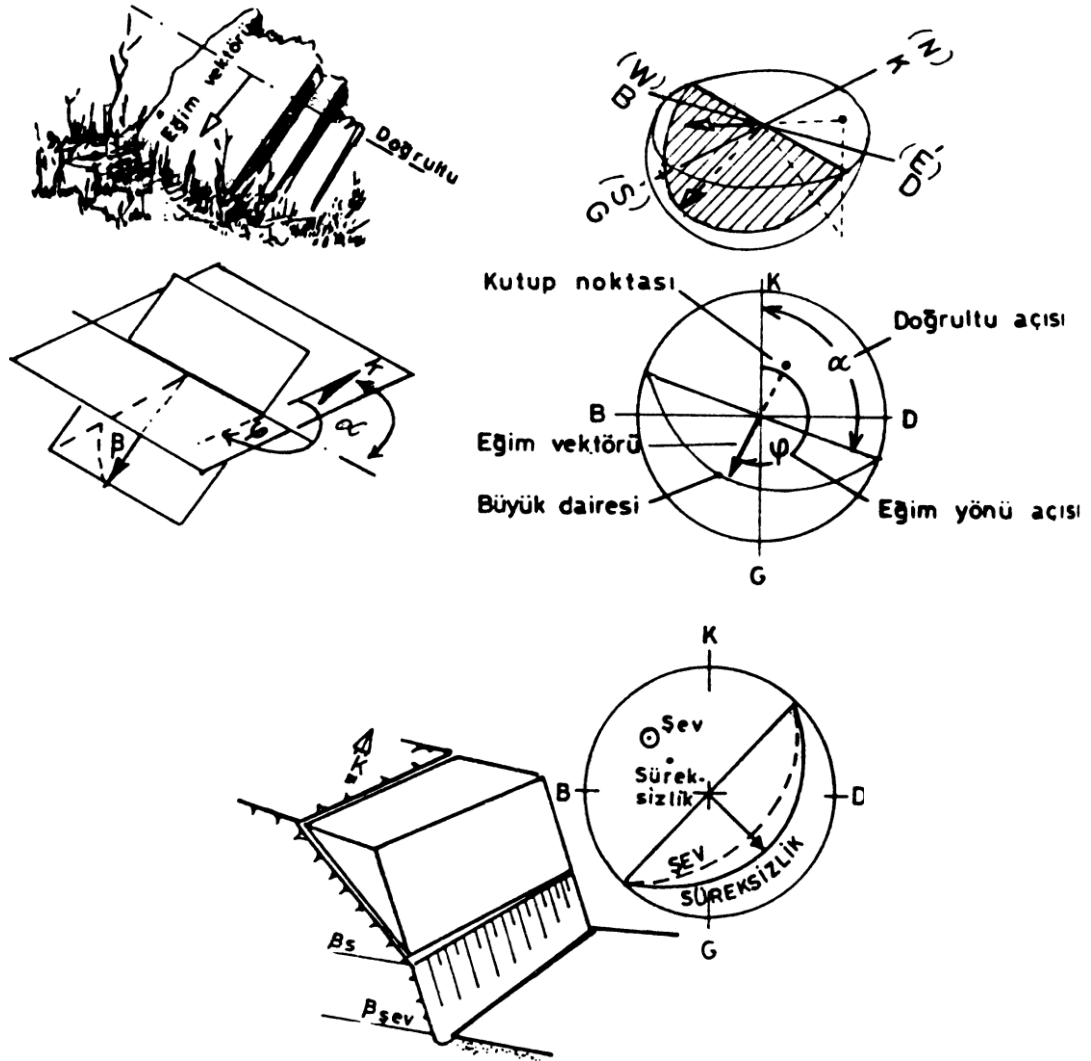
5.4.1 Y1 yarması

Güzegahta kumtaşı-şeyl-kireçtaşı birimleri içersinde açılacak olan yarmaların en yüksek olanı Km: 29+060’da 6,58 m. olan Y1 yarmasıdır (Şekil 6.2).

Bu kesimde kritik yüksekliğe sahip yarma bulunmadığı için analiz çalışması yapılmamış, şev eğimleri şev projelendirme rehberine göre belirlenmiştir.

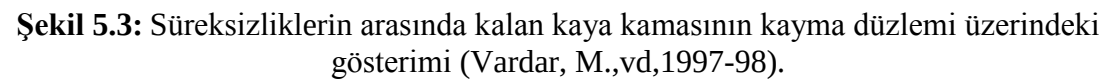
İnceleme alanının bu aralığında Y1 yarması yer almaktadır. Bu yarmanın maksimum yüksekliği Km: 29+060' da 6,58 m dir. Kaya ortamda açılacak olan şevde kinematik analiz çalışması yapılmıştır.

Kaya şevleri analizinde stereografik izdüşüm ile ilgili kısa açıklamalar aşağıda verilmiştir (Vardar, M.,vd,1997-98).



Şekil 5.2: Kaya şevleri analizinde stereografik izdüşüm ile ilgili kısa açıklamaları gösteren şekiller (Vardar, M.,vd,1997-98).

Kaya bloğunun büyük bir süreksizlik yüzeyi üzerinde kayma olasılığının bulunabilmesi için, süreksizliğin eğim açısının, şevin eğim açısından daha küçük olması gerekir. Bu durumda eğim vektörü, şev büyük dairesinin dışına çıkar



- Duraylığın araştırılmasında, kuvvetler poligonunun çizilmesi zorunludur.

5.4.1.1 Kaya kamaları ve bloklarının kayma olasılıklarının analitik yolla incelenmesi

Rijit olduğu ve bir eğik süreksizlik düzlemi (σ) üzerinde hareket edeceği varsayılan bir kaya bloğunun birbirine paralel olan (π_1/π_2) veya şev dışına doğru açılan iki düşey süreksizlik düzlemi ($<\pi_1 \pi_2 > 0$) ile kesilerek ana kayadan koparılmış olduğu durumlarda; iki boyutlu (düzlemsel) analizlerin kullanılabileceği koşullarla karşılaşılmaktadır. Bu şekilde; genelde üstte topoğrafik doğal yüzey ve cephede kazı yüzeyi (şev yüzeyi) ile de sınırlanan bu kaya cisimlerine ‘Kaya Blokları’ adı verilmektedir (Şekil 5.2a).

Benzer şekilde; $\Delta 1$ ve $\Delta 2$ gibi genel konumlu ve birbiriyle şev yüzeyi içinde, şev dışına eğimli bir arakesit verecek şekilde kesişen, düzlemler arasındaki rijit ve tek parça olarak hareket eden kaya cisimleri de ‘Kaya Kamaları’ olarak adlandırılmaktadır (Şekil 5.2b).

Kaya blok ve kamalarının duraylık analizleri yapılırken kayma sırasında momentlerin oluşmadığı ve kaymanın Coulomb yenilme koşuluna uygun olarak gerçekleştiği varsayılmaktadır.

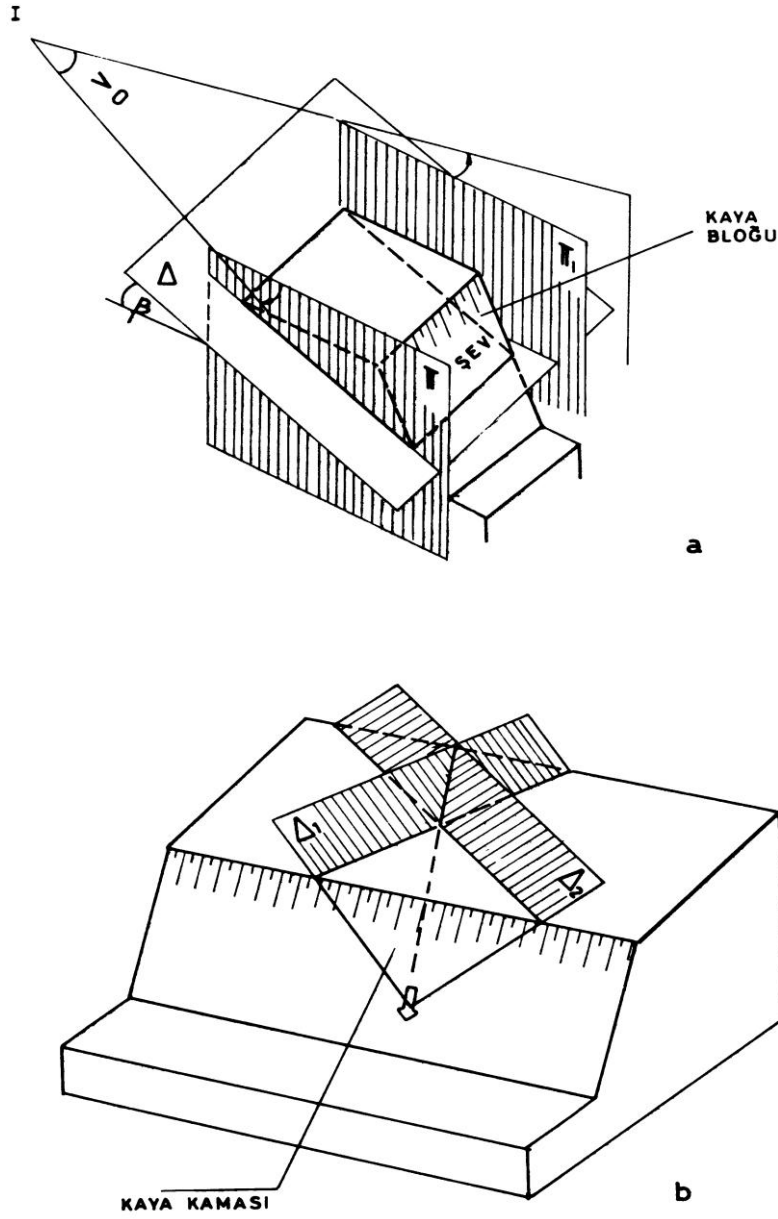
Bunun için, kayma yüzeyini oluşturan süreksizliğin mekanik parametreleri olan kohezyonuna (C_s) ve sürtünme açısına (ϕ) gereksinim vardır. Önemli projelerde bu değerlerin insitu kesme deneyleri ile saptanmış olması istenir. Diğer durumlarda; daha küçük boyutlu laboratuvar örnekleri üzerinde çok sayıdaki deney sonuçlarının yorumlanarak kullanılması yeterli olmaktadır.

$$S = C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi \quad (1)$$

bağıntısı ile verilen tutucu sürtünme (kesme-kaymaya karşı tepki) kuvveti, Fellenius güvenlik katsayısını (G_s) verecek şekilde, harekete geçirici diğer toplam kuvvetlerle ($\sum K$) karşılaştırılmaktadır.

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad (2)$$

Burada A bloğun taban kayma alanı ve N bloğun ağırlığından doğan normal kuvvettir.

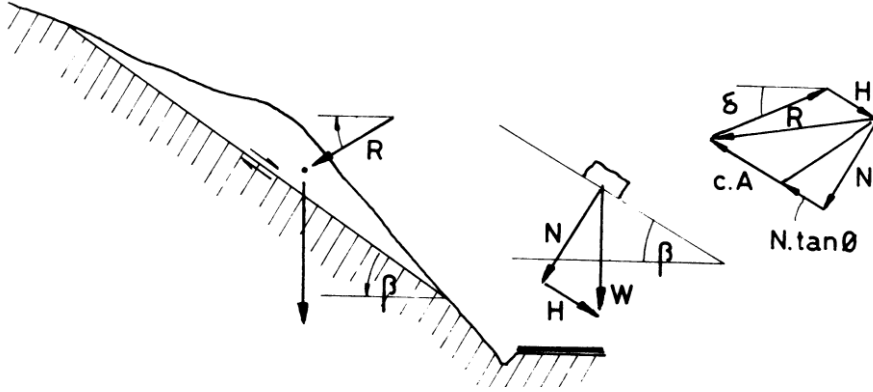


Şekil 5.4: Şevlerde yaygın olarak gözlenen kaya bloğu (a) ve kama kaymaları (b) (Vardar, M.,vd, 1997-98).

Blok kaymalarında; iki boyutlu (düzlemsel) kayma durumu daha basit mekanik modellere indirgenerek kuvvetler poligonundan yararlanılır ve tutucu kuvvetler ile kaydırıcı kuvvetler ayrı ayrı incelenir.

Kaydırıcı kuvvetlerin, istenen güvenlik sayısına göre ifade edilmiş olan (Σ tutucu kuvvetler/ ν) tutucu kuvvetlerden daha büyük olması halinde, dengeyi sağlayacak olan kuvvetlerin bileşkesi olan 'R' kuvvetinin yönünün ve şiddetinin bilinmesi gerekir.

Dengeleme kuvvetinin yönü, projeci tarafından farklı uygulama açılarına göre yapılan hesaplar sonucunda optimize edilir. Dengeleyici kuvvet bir kaya ankrajı ile iletilmek istendiğinde, süreksizlik düzlemi ile ankraj yönü arasındaki açının 30 dereceden daha büyük olması genel ilke olarak benimsenmiştir. Böylelikle delgi sırasında tijlerin süreksizlik içine sapması önlenmekte ve ankraj ucunun ana kaya içinde daha güvenli olarak bağlanması sağlanmaktadır.



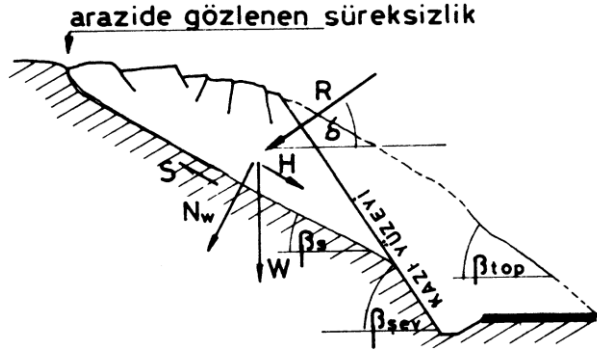
Şekil 5.5: Düzlemsel kaymada kuvvetler poligonu (Vardar, M.,vd,1997-98).

Blok kaymalarında; SY {Qs, β_s , ϕ_s , Cs} (Arazide gözlemlenen süreksizlik) doğrultu ve eğim açıları (α_s ve β_s) veya eğim yönü vektörü { ψ_s/β_s } ile tanımlanan düzlemsel süreksizlik yüzeyinin (SY), mekanik parametreleri olan sürtünme açısı (ϕ_s) ve teknik kohezyonu (Cs) da bilinmelidir.

Arazi incelemeleri sırasında saptanan bu süreksizlik topoğrafik eğimin (β_{top}) süreksizliğin eğiminden daha küçük olması nedeniyle çoğu kazı ve yarma işlemleri öncesinde yamaçta izlenemez. Ancak, kazı sırasında oluşturulan şev açısının ($\beta_{şev}$), süreksizliğin eğiminden (β_s) daha büyük olduğu durumlarda şevin yüzeyinde gözüktür. Bir kaya bloğunun kayabilmesi için süreksizliğin şev koşulunun gerçekleşmesi gerekir. Buna ‘Geometrik Koşul’ veya ‘Olasılık Koşulu’ adı verilmektedir.

$$\beta_{şev} > \beta_s \quad (3)$$

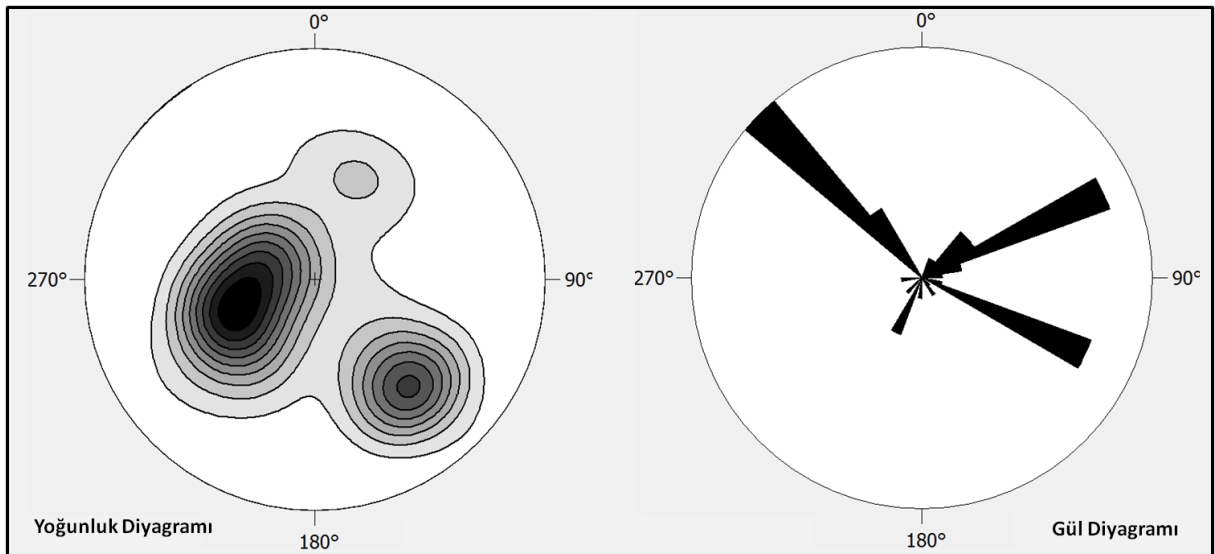
Kaymanın gerçekleşebilmesi için ise (1) No’ lu bağıntıda verilen ‘Mekanik Koşul’ un da sağlanması zorunludur. Mühendislik amaçlı değerlendirmelerde bunlara ek olarak ‘Güvenlik Koşulu’ (2) de aranır.



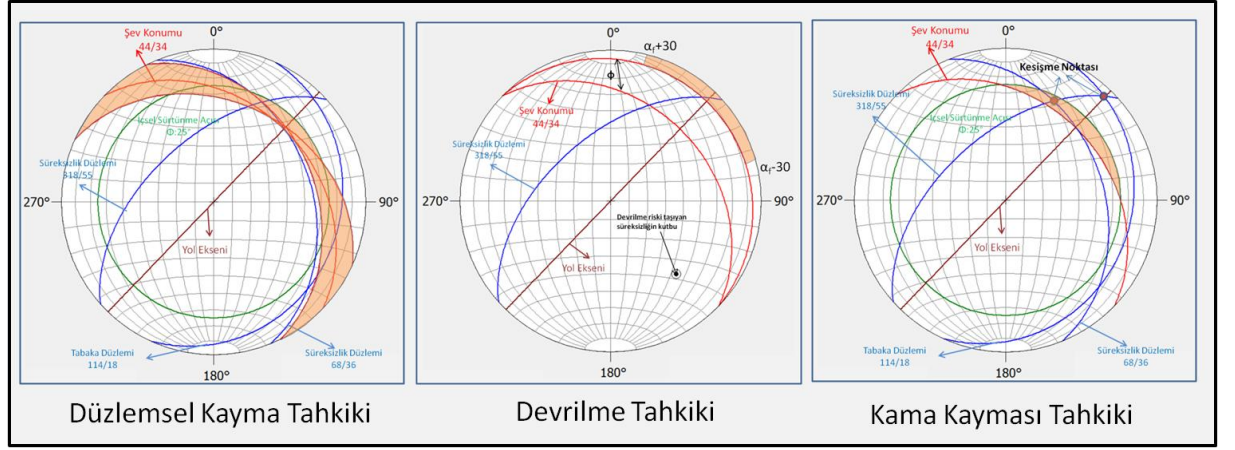
Şekil 5.6: Arazide kamanın geometrisini belirleyen aktif süreksizlik (Vardar, M., vd, 1997-98).

5.4.1.2 Kinematik analiz çalışması

Y1 yarmasında yapılan süreksizlik ölçüm çalışmaları, Stereonet32 programına işlenerek yoğunluk haritası ve gül diyagramı elde edilmiştir (Şekil 5.5). Buna göre yoğunluk haritasından 114/18 (tabaka konumu) ve 318/55-68/36 (2 adet süreksizlik konumu) ölçümleri ile şev konumu 44/34 olarak hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısı 27° olarak belirlenen (Şekil 4.19) kumtaşı-şeyl birimine ait kinematik analiz çalışması yapılmıştır (Şekil 5.6). Yapılan kinematik analizler sonucunda Y1 yarmasında düzlemsel kayma ve devrilme türü duraysızlıklar beklenmemektedir. Parçalı-kırıklı bir yapısı olan kumtaşı-şeyl biriminden alınan süreksizlikler arasında (318/55 ve 68/36) kama türü kayma hareketi saptanmıştır. Ancak süreksizliklerin devamlılığı göz önünde bulundurulduğunda, kütle hareketlerinin büyük boyutlu bloklar halinde değil küçük kopmalar şeklinde olacağı beklenmektedir.



Şekil 5.7: Kumtaşı-şeyl biriminde alınan ölçümlere ait yoğunluk ve gül diyagramı.



Şekil 5.8: Kumtaşı-şeyl biriminde açılacak olan Y1 yarması için yapılan kinematik analiz çalışması.

5.4.2 Dolgular

İnceleme alanında geçilen dolgunun kilometre aralıkları, uzunlukları, maksimum yükseklikleri ve şev eğimleri Çizelge 5.5’de ‘Dolgu Bilgileri Listesi’ nde verilmiştir. D1 dolgusu Km: 29+920’ de 5,04 m. maksimum yüksekliğe sahiptir. Yarmalardan elde edilen malzeme kaya dolgu niteliğindedir.

Çizelge 5.5: Dolgu bilgileri listesi.

D.No	Km Aralığı		Uzunluk (m)	Sondaj No	Dolgu Yükseklikleri					Dolgu Taban Zemini
	Başlangıç	Bitiş			Mak. Yük. Km	Sol (m)	Ekse n (m)	Sağ (m)	Şev Eğimi (y/d)	
D1	29+980	30+215	245	AS-282	29+992	5,0	-	-	2/1	Kumtaşı-Şeyl-Kireçtaşı (Dk)

6. KRİTİK ŞEVLERİN DURAYLILIĞI İÇİN İSTİNAT DUVARI SEÇENEKLERİ

6.1 Giriş

Polilit olarak adlandırılan çok parçalı, çatlaklı ortamlar monolit (tek, çatlaksız kayaç) ortamlara göre daha düşük direnç gösterir ve kolayca şekil değiştirerek plastikleşebilir. Bunun nedeni, bir gerilme durumunda kayaya aktarılan kuvvetlerin süreksizliklerden ötürü farklı noktalarda farklı büyüklüklere ulaşmasıdır. Parçadan parçaya kuvvet aktarımları sırasında pürüzlü çatlak yüzeylerinde gerilme yığılmaları oluşur. İkincil etmenler arasında ise süreksizlik yüzeylerinin geçmişteki oluşumları sırasında geçirdikleri örselenmeler ve buna bağlı olarak gelişen ayrışma olayları gösterilebilir. Sonuç olarak süreksizliklere yakın kesimlerde yer alan parçacık, iç kesimlere göre önceden daha fazla zorlanmış ve örselenmiştir. Parçacık küçüldükçe bu zayıf kesimlerin hacim içerisindeki payı artar, sonuçta çok parçalılık arttıkça kayanın dayanım parametreleri laboratuvarında incelenen taş örneklerinde bulunan değerlere kıyasla çok belirgin azalmalar gösterir.

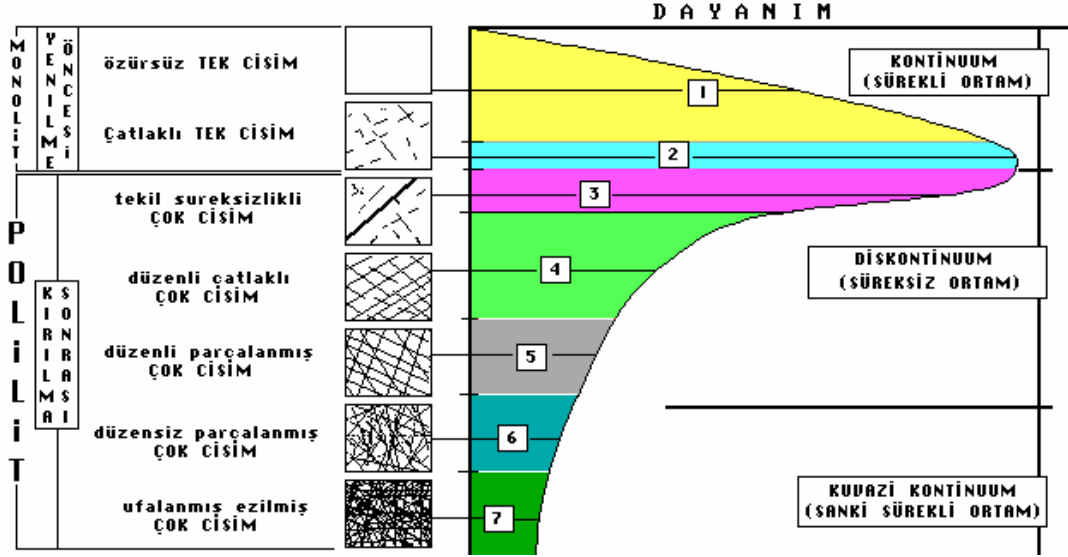
Sağlam kaya örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar kayaçlara doğrudan uygulanamaz. Çatlaklar, kırıklar, fissürler, tabakalar, eklemler, faylar gibi kayaçların içindeki süreksizlik yüzeyleri ve bunlar üzerindeki pürüzler sağlamlığı azaltmakta ve dolayısıyla kayaçlar için sağlam örneğe oranla daha düşük taşıma ve dayanım elde edilmektedir.

Kaya mekaniğinde kayaçların arazide sahip oldukları geomekanik büyüklükleri belirlemek için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir (Hoek & Brown, Lama, Denkhaus & Bieniawski, Protodjakonov gibi).

Hoek & Brown tarafından geliştirilen ve laboratuvar taş örneğinin tek eksenli basınç dayanımı değeri ile birlikte kayacın arazide sahip olduğu süreksizlik miktarını ve örselenme durumunu kullanarak hesaplama yöntemi, internetten sağlanabilen yazılımı (RocLab) ile uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır.

Modern kaya mekaniğinin kurucularından Müller L. tarafından temeli atılan ve Vardar (1977) tarafından geliştirilen bir başka yöntem ile kayacın dokusal özellikleri, süreksizlik özellikleri, tek eksenli basınç dayanımı ve sistem büyüklüğü kullanılarak kayaç için yerinde geomekanik büyüklükler hesaplanabilmektedir.

Sistem büyüklüğü, teknik girişimin etkileşimde olduğu büyüklüktür. Uygulamada kazı açıklığının 8 katı olarak alınabilmektedir. Sistem büyüklüğü veya ölçek etkisi aynı ortamda dikkate alınan değerlendirme sınırır. Şekil 6.1’ de görülebileceği gibi aynı ortam ne kadar küçük bir alan içerisinde incelenirse, o sistemde etkili olan süreksizliklerin sayısı da azalmış, kayaç monolite yaklaşmış olacaktır.



Şekil 6.1: Kaya mekaniğinde aynı ortamın sistem büyüklüğüne bağlı olarak farklı şekilde davranmasının post-failure davranışı ile açıklanması (Vardar, M, 1997-98).

6.2 Banliyö Hattı Şevlerinin Yapılarla Etkileşimi

‘Marmaray CR3 Projesi’ kapsamında yapılacak olan kazı çalışmalarında yükseklikleri 11 ila 14 m arasında değişen kazı yarmaları oluşmaktadır. Km: 28+800 ila km 30+000 arasında yeralan 1200 m’ lik kesimdeki istinat yapıları irdelenmiş, alternatif optimum çözümler belirlenmiştir.

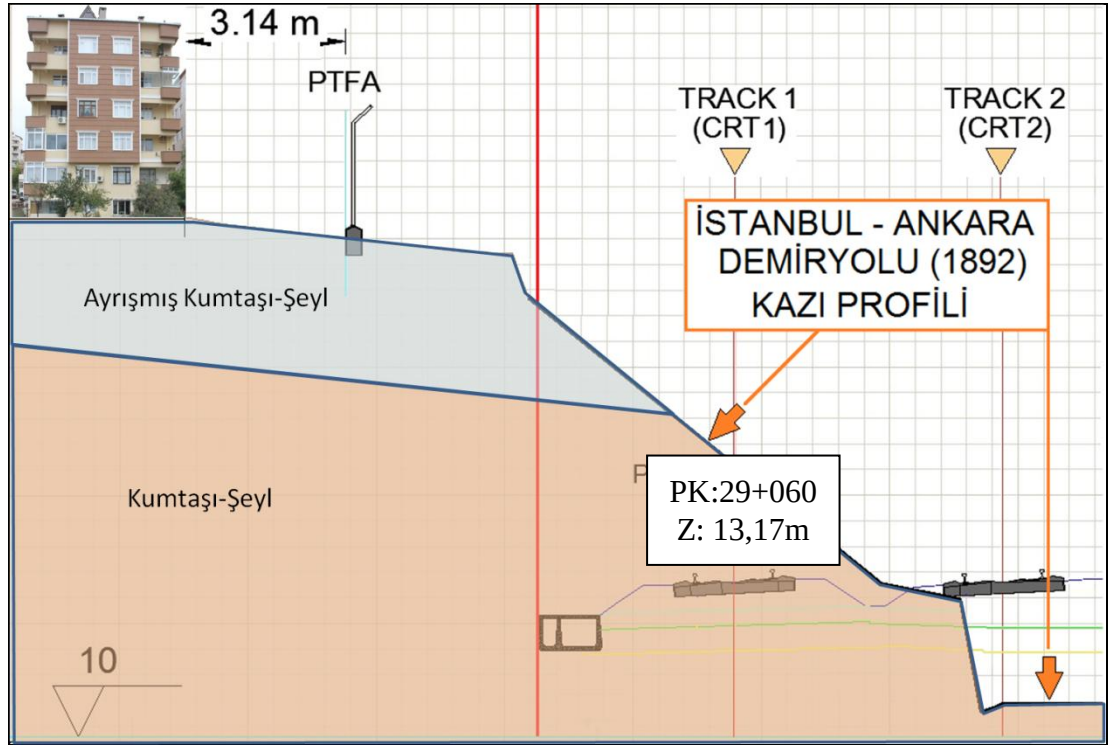
Bu çalışmada, ‘Marmaray CR3 Projesi’ kapsamında yapılmış olan iksa uygulamasına ilişkin hesap kabulleri ve detaylar ile ilgili geoteknik inceleme ve değerlendirmeler sonrasında işin inşaat süresini kısaltmayı hedefleyen ‘donatılı kaya ve destekli istinat duvarı’ önerisi uygulanabilir bir alternatif olarak sunulmaktadır (EK C).

Bu çalışma sırasında, projesinde verilen bilgilerin uygulamadaki yerlerini ve niteliklerini görebilmek için değişik tarihlerde Marmaray Güzelyalı Kesimindeki araziye gidilmiş buradaki jeolojik durum ve kazı-yapım çalışmaları ile halen imalatı devam eden kazık uygulamaları incelenmiştir.

6.3 Hesaplanan Kritik İksa Kesitleri ve İmalatlar

Marmaray CR3 Projesi dahilinde yapılacak geçici ve kalıcı iksa projesi uygulamasına yönelik proje bilgileri aşağıda sıralanmaktadır.

- İnceleme alanı 1892 yılının sonlarında İstanbul-Ankara arasında yapımı tamamlanan 600 km uzunluğundaki demiryolu hattının Güzelyalı parçasıdır.



Şekil 6.2: Km: 29+060'daki kritik kesit.

- Km 28+800-30+000 arasındaki 1200 m uzunluğundaki bu kesimin arazi kotları +10.60 m ile +23.98m arasında değişmektedir.
- Yeni hattın kazı taban kotları proje genelinde +11.60 m-+13.21m dolayında olacak şekilde belirlenmiştir.
- Buna göre kazıklı destek perdeleri için öngörülen yükseklikler 7,5-8,0 m arasında değişmektedir.
- Eptisa-Prota Joint Venture tarafından yararlanılan sondajlı zemin etüd raporuna göre zemin profili genel olarak üstte değişken kalınlıkta dolgu ve altında çeşitli özelliklere sahip ayrışmış kaya ve kaya tabakalarından oluşmaktadır.

- Genişletilen demiryolu platformu kazı şevlerinin yakın dolayında, etkilenebilecek mesafelerde yapılaşmalar bulunmaktadır (şekil 6.3).

Hazırlanan iksa projesi kapsamında km 29+060' daki kritik kesit farklı kazı, yüklenme ve imalat aşamaları ve koşulları için irdelenerek hesaplanmış ve bunlar için özel alternatifler geliştirilmiştir. İncelenen aşamalara ve kazı adımlarına ait açıklamalar aşağıda özetlenmektedir (EK C).



şekil 6.3: Proje kesitinin hazırlandığı 29+060 km kesiminin görünümü.

- Aşama 1- Arazinin İlk Durum Analizi: Kendini tutabilen çatlaklı kayanın bulunduğı bu kesimde kazı yüksekliğı 18.80 m olarak dikkate alınmıştır. 1 yatay, 4 düşey eğimli iki kademeli kazı şevleri öngörölmüş, bunların desteklenmesi zemin çivisi+çelik hasır ve püskürtme beton sistemi ile çözülmüşür.
- Aşama 2- İlk Demiryolu Projesi (1892) şevli Kazı Analizi: Bu kesimde kazı sınırının hemen hemen arkasında İSKİ boru hattı bulunmaktadır. İksa yüksekliğı 16.70 m olarak dikkate alınmıştır.
- Boru ve çevresinde deplasmanlara izin vermemek ve olası hareketleri önlemek üzere öngermeli ankrajlarla güçlendirilen ve sabitlenen mini kazıklı

destekleme sistemi öngörülmüştür. Kazıklar başlık kirişi ile birbirlerine bağlanmıştır.

- Aşama 3 – Yapılaşmalı Mevcut Durum Analizi: Üstte zayıf örtü ile çok kırıklı ve ayrılmış kayanın bulunduğu kesimdir. +75.00 m kotun altında sağlam nitelikli kumtaşı-şeyllere girilmektedir. Kazı derinliği 16.70 metedir. Üstte +75.00 m kotuna kadar mini kazık+öngermeli ankrajlı destekleme yapılmış ve bu kotun altında 1 yatay, 4 düşey eğimli kazı şevleri için zemin çivisi+çelik hasır ve püskürtme beton sistemi yeterli olmuştur.

6.4 Kazı Şevlerinin Duraylılığı (Rockscience, Phase2)

Kazı Şevlerinin duraylılığını belirlemek için Rocscience tarafından geliştirilen Phase2 Sürüm 8.012 iki boyutlu elasto-plastik sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akısı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme sahiptir.

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar 'nod' adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirle. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Sonlu elemanlar metodunda temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın nodlarındaki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler nodlardaki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi)

kullanılarak büyüklük alanının nodlardaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi

$$[K] \cdot [D] = [R]$$

şeklindedir. Burada [D] büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör, [R] bilinen yük vektörü ve [K] ise bilinen sabitler matrisidir. Gerilme analizinde [K] rijitlik matrisi olarak bilinmektedir.

Hesap modeli oluşturulurken çalışma alanında izlenen jeolojik birimler ve kalınlıkları kullanılmıştır. Modelde üst kotlarda dolgu, daha sonra ayrışma zonu ve ana kaya yer almaktadır, ancak analizlerde en kötü koşulu da göz önünde bulundurularak sağlam kaya olarak belirlenen kesim için de ayrışmış kaya olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır (Çizelge 6.1).

Analizler ayrışmış kayada istinat yapılı olarak irdelenmiştir. Önce 3 m uzunluğunda yatayda ve düşeyde 2 m aralıklı bulonlar ile hesaplanmış ve daha güvenli bölgede kalabilmek için düşeyde toplam 8 adet kaya bulonun 4. ve 5. sini 6 m' ye uzatarak tekrarlanmış ve elde edilen Güvenlik Sayısı ile maksimum ve minimum toplam deplasmanlar ilgili bölümlerde çizelgeler halinde verilmiştir.

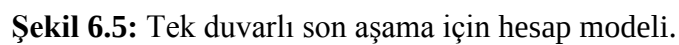
Tüm hesaplarda, Püskürtme Beton kalınlığı 15 cm' dir ve içinde Q221/221 çelik hasır donatı bulunmaktadır. Sismik yükleri yine her hesap türü için yatayda 0.4g, düşeyde ise 0.1g kabulü yapılmıştır.

Bu analizlerden edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiş, deteyli analiz grafik çıktıları ve bu grafikler yapılırken elde edilen hesaplamalarda rapor eklerinde bulunmaktadır(EKB).

Çizelge 6.1: Analizlerde kullanılan kaya kütle parametreler.

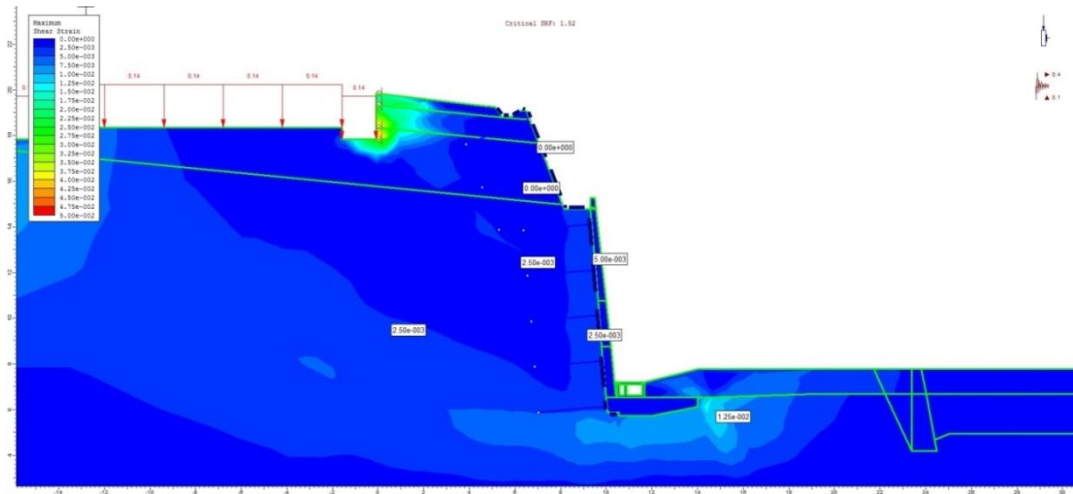
Malzeme İsmi	Renk	İlk Yükleme	Birim Ağırlık (MN/m3)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Malzeme Tipi	Çekme Direnci (MPa)	Çekme Direnci (residüel) (MPa)	Genleşme Açısı (deg)	İçsel Sürtünme Açısı (peak) (deg)	İçsel Sürtünme Açısı (residüel) (deg)	Kohezyon (peak)(MPa)	Kohezyon (residüel) (MPa)
Kaya		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.026	800	0.25	Plastik	0	0	0	33	31	0.1	0.09
Ayrışmış Kaya		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.024	600	0.27	Plastik	0	0	0	30	28	0.08	0.07
Geri Dolgu		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.019	60	0.33	Elastik	0			35		0.01	
Duvar		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.027	220	0.3	Elastik	0			40		0.1	
CRW		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.025	15000	0.25	Elastik	0			53		3	
Arazi Dolgusu		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.018	90	0.35	Plastik	0	0	0	22	22	0.01	0.01
Beton Dolgu		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.025	220	0.3	Elastik	0			40		0.1	
Sıkıştırılmış Dolgu		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.027	1300	0.3	Plastik	0	0	0	35	35	0.3	0.3
Beton 2		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.025	15000	0.25	Elastik	0			53		3	
Sıkıştırılmış Son Arazi Dolgusu		Gerilme Alanı ve Cisim Kuvveti	0.027	1700	0.27	Plastik	0	0	0	43	42	0.05	0.05

Bu analizler tek parça istinat yapısı tasarımına göre en olumsuz koşulu modellemek amacı ile ayırışma zonlu olarak yapılmış, kalıcı istinat duvarının performansı denetlenmiş ve kalıcı yapının bitirilmeden olabilecek bir deprem de ortamının duraylılığı irdelenmiş, sonuçlar aşağıdaki çizelge 6.2’ de verilmiştir (Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9). Hesap modellerinin büyütülmüş resimleri ekte ayrıca verilmiştir (EK B).

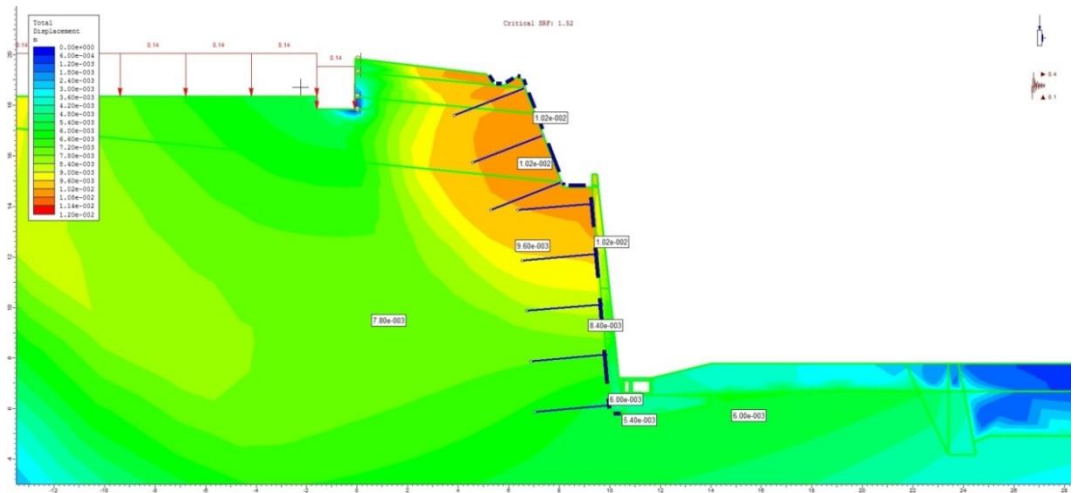


Çizelge 6.2: Tek parça istinat yapısı için ayrılmış kaya koşullu güvenlik sayısı ile toplam deplasmanlar.

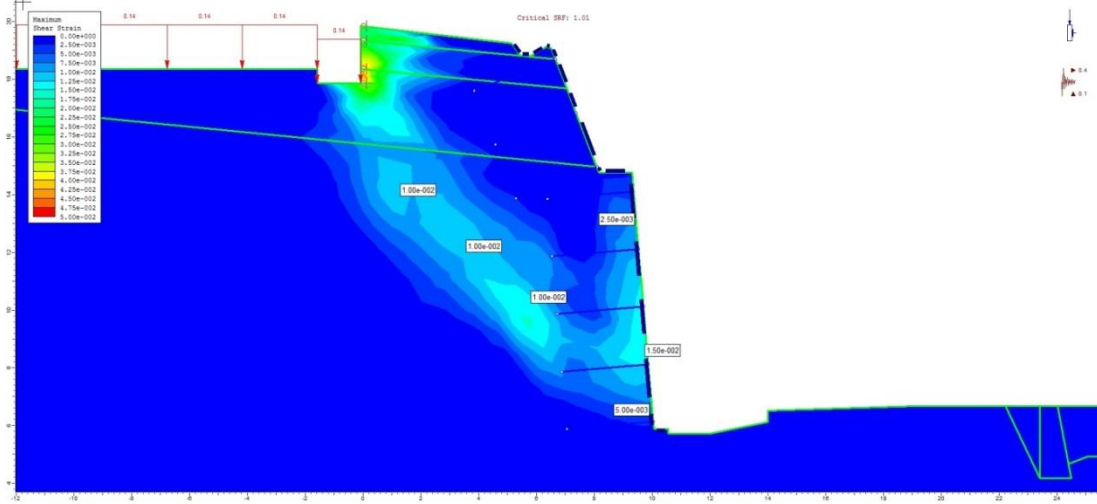
Kazı Tipi / 3 m Kaya Bulonlu		Güvenlik Sayısı	Toplam Deplasman (mm)	
			Max	Min
Tek Duvar	İstinat Yapılı	1.52	10.00	5.40
Ayrılmış Zon	İstinat Yapısız	1.01	81.00	9.00



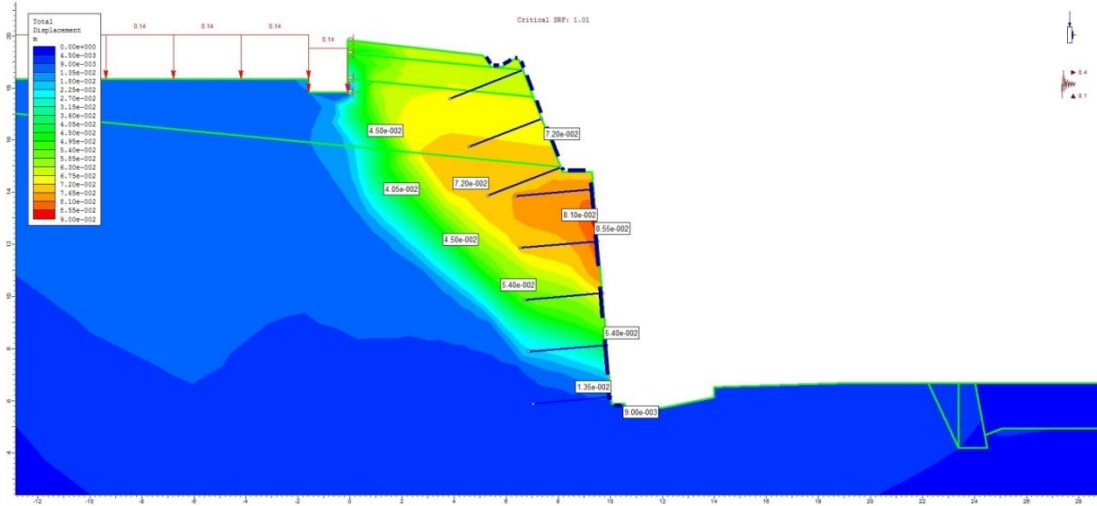
Şekil 6.6: Ayrılmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapılı maksimum birim deformasyon ve güvenlik sayısı.



Şekil 6.7: Ayrılmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapılı maksimum ve minimum toplam deplasmanlar.



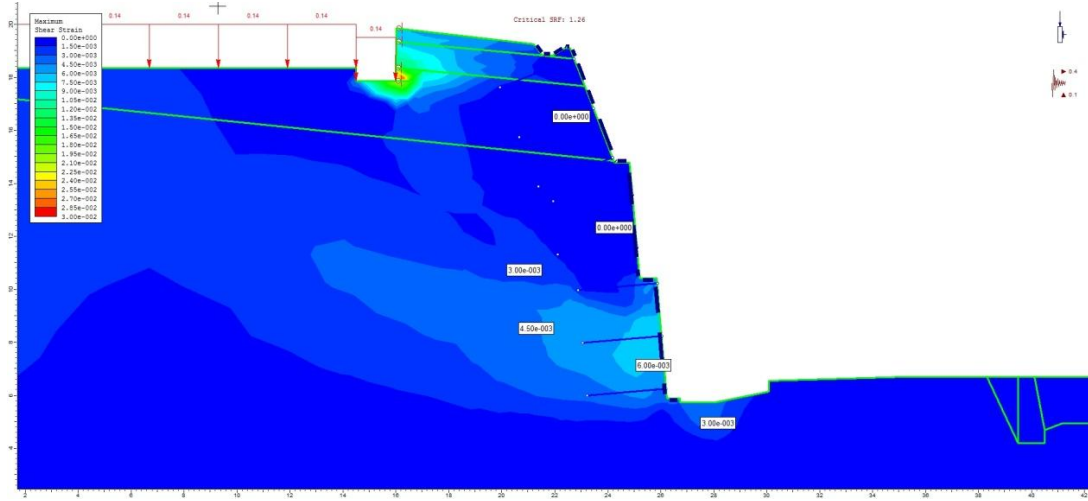
Şekil 6.8: Ayrışmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapısız maksimum birim deformasyon ve güvenlik sayısı.



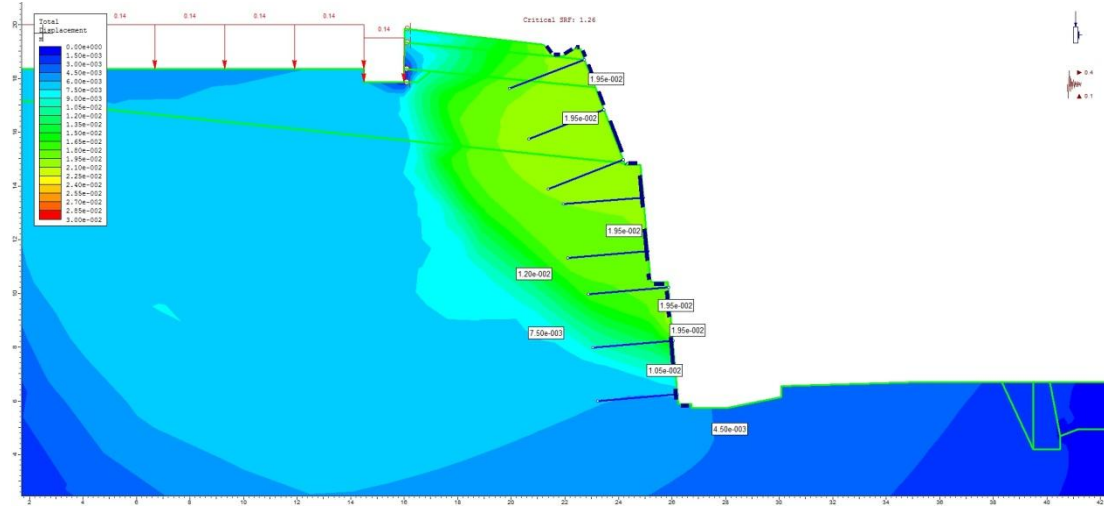
Şekil 6.9: Ayrışmış zonlu kaya için tek parça kalıcı istinat yapısız maksimum ve minimum toplam deplasmanlar.

6.4.2 Kademeli duvarlı analizler

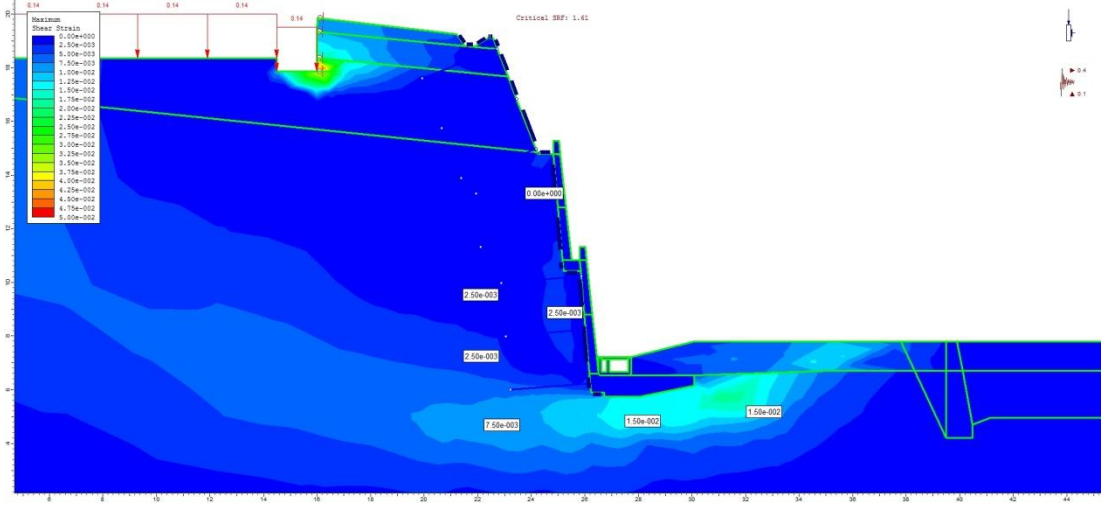
Bu analizler kademeli istinat yapısı tasarımına göre en olumsuz koşulu modellemek amacı ile ayrışma zonlu olarak yapılmış, kalıcı istinat duvarının performansı denetlenmiş ve kalıcı yapının bitirilmeden olabilecek bir deprem de ortamın duraylılığı irdelenmiş, sonuçlar aşağıdaki çizelge 6.3' de verilmiştir (Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15), (EK B).



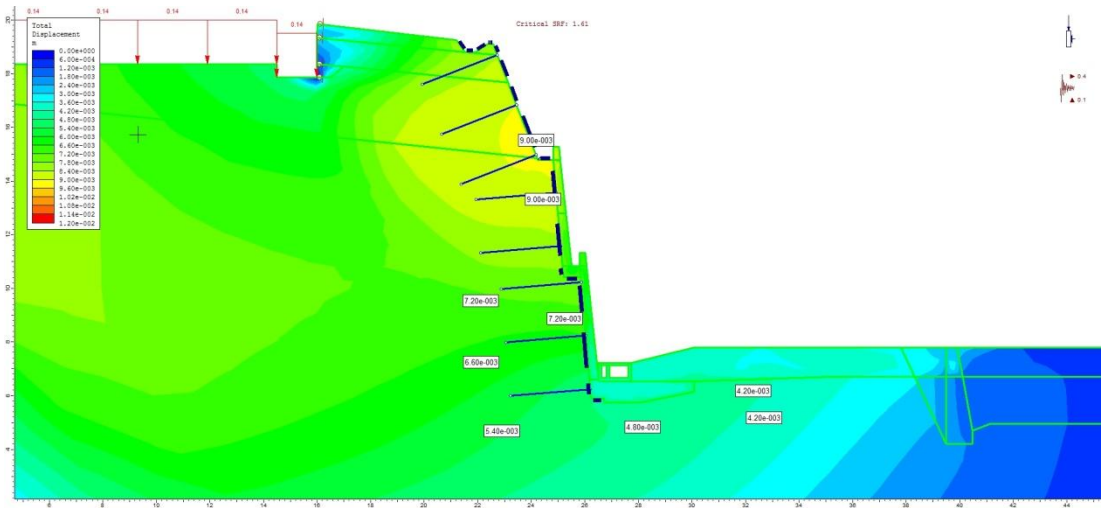
Şekil 6.12: Ayrışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı istinat yapısız maksimum birim deformasyon ve güvenlik sayısı.



Şekil 6.13: Ayrışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı kalıcı istinat yapısız maksimum toplam deplasmanlar.



Şekil 6.14: Ayrışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı istinat yapılı maksimum ve minimum deformasyon ve güvenlik sayısı.



Şekil 6.15: Ayrışmış zonlu kaya için kademeli duvarlı istinat yapılı toplam deplasmanlar.

Sonuç olarak, ayrışmış zon için kademeli duvarın güvenlik sayısının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4: İstinat yapısının türü ve güvenlik sayısı.

İstinat Yapısı Türü	Güvenlik Sayısı
Tek Duvar Ayrışmış Zon	1.52
Kademeli Duvar Ayrışmış Zon	1.61

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

‘Marmaray CR3 Projesi’ kapsamında gerçekleştirilmekte olan derin temel çukurunun kazı duvarlarındaki iksa uygulamasına ilişkin sunulan hesap kabulleri, inceleme ve değerlendirmelerin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

7.1 Sonuçlar

Çalışma alanı, İstanbul’ un Avrupa ve Anadolu yakalarındaki demiryolu hatlarını İstanbul boğazı altından geçen bir tüp tünel ile birleştiren 76 km’ lik bir demiryolu iyileştirme projesi kapsamında Halkalı ile Gebze arasında çalışılacak hattın Tuzla Güzelyalı mevkiinde 28.800-30.000 m. lik kesimini oluşturmaktadır (Şekil 2.1).

İstanbul ve dolayının jeolojisi, pek çok araştırmacı tarafından yüzyılı aşan bir süreden beri çeşitli amaçlarla araştırılmaktadır. Başlangıçtaki araştırmaların çoğu bulunan litoloji veya fosillerin duyurusu şeklindeki kısa notlardır. Asıl incelemelerin 1919 yılında PENCK, W. ile başladığı kabul edilebilir. Daha sonra giderek artan sayı ve ayrıntıda çalışmalar yapılmıştır.

Tuzla ilçesi, Türkiye’ nin ana tektonik birliklerinden İstanbul zonunun doğu kesiminde yer alır. Bu zon, batıda Büyükçekmece’ den başlayarak doğuda Kastamonu’ ya kadar uzanır. İstanbul zonunun karakteristik özelliği temelinde bulunan ve Türkiye’ nin başka birliklerindeki yaşıt istiflerden farklı özellikler sunan Paleozoyik yaşlı bir çökel istife sahip olmasıdır (Şekil 3.1). Bu istifin üzerinde daha genç birimler yer almaktadır.

İncelenen güzergahda, Alt-Orta Devoniyen yaşlı Kartal formasyonunun seyrek-çok seyrek silttaşı ve kumtaşı araseviyeleri içeren şeyller yüzeylemektedir (Şekil 3.3). Şeyllerin üst kesimlerinde yer yer kırıntılı kireçtaşı seviyeleri bulunur. Güzergahta yapılan bazı sondajlarda kireçtaşlarının kesildiği belirtilmiştir.

Kartal Formasyonu üzerinde yamaç molozları bulunmaktadır. Yamaç molozlarının oluşumunda daha çok mekanik ayrışma etkili olmuştur. Jeolojik olarak aynı fasiyeste oluşan kuvars ve kil ayrışma esnasında farklılaşır. Kuvarslar yüzey suları ile iyonlaşıp taşınırken, killer immobil olduklarından, ayrıştıkları yerde kalırlar veya kısa mesafe mekanik taşınma ile depolanırlar. Aynı şekilde kırılanmış olan şeyl,

kumtaşı ve kireçtaşı gibi kayaç parçaları eğim yönünde taşınarak çukur veya az eğimli alanlarda depolanmışlardır. İnceleme alanında yaygın olarak tepelerin eteklerinde bulunurlar (Şekil 3.7).

Banliyö hattı yapılırken ve Marmaray projesi kapsamında iyileştirilirken tabana dolgu malzemesi niteliğinde balast serilmiştir. İnceleme alanı dolayında kazılardan çıkan hafriyat malzemesinin yer yer serili olduğu lokasyonlar görülmüştür (Şekil 3.8).

İnceleme alanında gözlenen birimlerden Kartal formasyonu, genellikle yapraklanma ve laminalı-ince tabakalı bir yapı sunmaktadır. Formasyon ilk önce Hersiniyen orojenezi daha sonra Alpin orojenezi döneminde şiddetle deforme olmuş, kıvrılmış, kırılmış ve farklı doğrultularda çatlak sistemleri ve kayma düzlemleriyle parçalanmıştır. Kartal Formasyonu birimleri Hersiniyen ardından Alpin orojenezi dönemlerinde ileri derecede deformasyona uğramıştır. Bunun sonucunda kumtaşları ve şeyller ileri derecede yapraklanmalı ve kıvrımlı bir yapı kazanmışlardır. Güzergahtaki şevlerde bu durum belirgin olarak görülmektedir.

Güzelyalı bölgesinde tren hattı güzergahındaki şevlerden alınan çatlakların konumları K23°-85°D, K4-75°B, 38-80°GB, 90°, 51-85°KB ve 70-78°GD olarak ölçülmüştür.

İnceleme alanı, 1998 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'ndan onaylı 'Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik' ve Deprem bölgeleri Haritası' na göre Kuzey Anadolu Fayı (KAF)' na yakınlığı sebebiyle 1.Derece Deprem tehlikesi olan ve beklenen maksimum yatay ivme değerinin kayada $A_0 = 0.4g$ olacağı bilinen bir bölgenin içindedir (Şekil 3.17, Çizelge 3.1). İnceleme alanı ve çevresinde 1. ve 2. deprem bölgelerinde uyulması gereken deprem yönetmeliğinin kuralları geçerlidir.

İnceleme alanı Km 28+800-30+000 arasındaki mühendislik yapılarının oturacağı (zemin ve kaya) ortamın jeolojik özelliklerini ve güzergahdaki birimlerin mühendislik parametrelerini inceleme amaçlı toplam uzunluğu 175.50 m olan 14 adet sondaj verisi kullanılmıştır. Sondaj kuyularından alınan örneklerden yararlanılarak laboratuvar deneyleri yapılmış, yeraltı su seviyesi belirlenmiş ve güzergahtaki kayaçların mühendislik özelliklerine yaklaşım getirilmiştir (Çizelge 4.1 ve 4.2), (EK D).

Tüm sondaj verilerine baktığımızda geçilen kaya ortamın ortalama RQD değerinin %24.3 olduğu görülmektedir. Buna göre teknik girişimlerin yapıldığı kaya ortamın ileri derecede kırıklı çatlaklı, ayrıışmış ve çok zayıf kaliteli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bieniawski 1989' a göre, tek eksenli basınç direnci değerleri için Kartal formasyonunun kumtaşları orta dayanıma sahip kayadır.

İstanbul Anadolu yakasında, Kartal, Pendik ve Tuzla dolaylarında yoğun olarak bulunan Devoniyen yaşlı Kartal formasyonu 'Yarıgeçirimli Ortam' özelliğindedir. Kil, çakıl, kum bileşenlerinden oluşan yapay dolgu ise 'Yarıgeçirimli Taneli ortam' özelliğindedir (Şekil 5.1 ve Çizelge 5.3).

İnceleme alanı ve dolayında 14 adet zemin sondajı açılmıştır. Sondajlarda yeraltı su seviyesi ölçülmüş ve 4.00-9.00 m. arasında değiştiği görülmüştür (EK D).

Yapılan kinematik analizler sonucunda Y1 yarmasında düzlemsel kayma ve devrilme türü duraysızlıklar beklenmemektedir. Parçalı-kırıklı bir yapısı olan kumtaşı-şeyl biriminden alınan süreksizlikler arasında (318/55 ve 68/36) kama türü kayma hareketi saptanmıştır. Ancak süreksizliklerin devamlılığı göz önünde bulundurulduğunda, kütle hareketlerinin büyük boyutlu bloklar halinde değil küçük kopmalar şeklinde olacağı beklenmektedir.

'Marmaray CR3 Projesi' kapsamında yapılacak olan kazı çalışmalarında yükseklikleri 11 ila 14 m arasında değişen kazı yarmaları oluşmaktadır. Km: 28+800 ila km 30+000 arasında yeralan 1200 m' lik kesimdeki istinat yapıları irdelenmiş, alternatif optimum çözümler belirlenmiştir.

Kazı duvarlarının 20 m. aralıklı 1/200 ölçekli 60 adet enine kesitinden yararlanılmıştır.

Güzergahda en kritik yerlere ait 11 adet kritik kesit bulunmaktadır. Bu kesitleri temsilen en kritik yere ait olan 29+060 kesimi ayrıntılı olarak hesaplanarak irdelenmiştir. Bu bakımdan seçilmiş olan bu hesap kesiti inceleme alanına örnek oluşturması açısından uygun bulunmuş, çizimler ve bunlara ait hesaplamalar detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları, yerinde deneyler ve bununla birlikte gerilme, deformasyon analizi, statik ve dinamik hesaplar yapabilen ve kazı şevlerinin

duraylılığını belirlemek için Rocscience tarafından geliştirilen PHASE 2 Sürüm 8.012 iki boyutlu elasto- plastik sonlu elemanlar yazılım programı kullanılarak güvenlik parametreleri hesaplanmıştır.

Arazi dayanım parametreleri olarak kullanılan değerlerin geomekanik açıdan çok güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir. Hesaplamalar ve güzergahdaki destekleme sistemleri en olumsuz jeolojik koşullar ve tektonik koşullar dikkate alınarak yapılmıştır.

Kritik kesit tarafımızdan da bilgisayar ortamında irdelenmiş ve bulunan sonuçların güvenlik sayıları raporda belirtilmiştir (EK B).

Elde edilen güvenlik sayıları değerleri bir iksa projesi için dikkate alınması gereken güvenlik değerlerinin üzerindedir.

Tek duvarlı ve kademeli kalıcı istinat yapısı maksimum ve minimum deplasmanları ve bunların güvenlik sayıları deprem etkisi de hesaba katılarak yapılmıştır.

Çizelge 7.1: İstinat yapısının türü ve güvenlik sayısı.

İstinat Yapısı Türü	Güvenlik Sayısı
Tek Duvar Ayrışmış Zon	1.52
Kademeli Duvar Ayrışmış Zon	1.61

Çelik hasır, püskürtme beton ve ankrajlı tasarımlar incelendiğinde seçilen boyutlandırma ve malzemelerin destekleme amacı için yeterli ve uygun bulunduğu anlaşılmıştır.

7.2 Öneriler

İstanbul İli, Tuzla ilçesi, Güzelyalı bölgesi, Marmaray CR3 Projesi için tasarlanan ve uygulanmakta olan imalatların, kurulmuş olan arazi ve hesap modellerinin, gerçekleştirilmiş olan hesap ve çizimlerin, yapılan incelemeler ve yerindeki gözlemlerden edinmiş olduğumuz izlenimler doğrultusunda, kalıcı iksa için gerekli olan ve yapısal kriterleri sağladığı görüş ve kanaatine varılmıştır.

Arazide gözlemlediğimiz imalatın, tarafımızdan yaptığımız araştırmalar ve analizler sonucunda bazı değişikliklerle daha hızlı ve güvenli bir şekilde yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ABDÜSSELAMOĞLU, M. Ş.,** (1963). İstanbul Boğazı Doğusunda Mostra Veren Paleozoyik Arazide Stratigrafik ve Paleontolojik Yeni Müşahadeler, M.T.A Dergisi, 60.
- ABDÜSSELAMOĞLU, Ş.,** (1977). 'The Palaeozoic and Mesozoic in the Gebze region-Explanatory text and excursion guidebook, Ivth Collaq. Geology of the Aegean Region. Exc. 4: Western Anatolia and Thrace , 30. 9-6.10.1977, 16pp.' **BAYKAL, F., KAYA O.,** 1963-1966, ' İstanbul bölgesinde bulunan Karboniferin genel stratigrafisi: Maden Tetkik Arama Enst. Derg., 61, 1-9. (1963)' , ' İstanbul Silüriyeni hakkında: Maden Tetkik Arama Enst. Derg., 64, 1-7. (1965)' , ' İstanbul boğazı kuzey kesimin jeolojisi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 10, 31-43. (1966)'
- ALTINLI, İ. E.,** (1951- 1954). 'Kayışdağı bölgesinin jeolojisi: İ.Ü. Fen Fak. Mec., B, 2, 189-205'.
- BAYKAL, F., VE KAYA, O.,** (1963). İstanbul Bölgesinde Bulunan Karboniferin Genel Stratigrafisi, M.T.A Dergisi, 61.
- BIENIAWSKI, Z.T.,** (1975). The Point Load Test in Geotechnical Practice, Engineering Geology, 9, p.1-11
- BIENIAWSKI, Z.T.,** (1984). Rock Monitoring Techniques, Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling, A.A. Balkema, Rotterdam p.137-138
- BROCH., E., AND FRANKLİN, J.A.,** (1972). The point load strength test. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanical Abstracts, 9, 669-697pp.
- EYÜBOĞLU, R.,** (1988). Esenler -Yeşilbağ Arasındaki Hafif Metro Güzergahının Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Maden Fakültesi, İstanbul, 116 s.
- HAAS, W.,** (1968a). 'Das Alt-Palaeozoikum Von Bithynien Nordwest-Turkei: N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 131-2, 178-242.' 1968b, ' Trilobiten aus dem Silur und Devon von Bithynien (NW-Türkei): Palaeontographica 130A, 60-207, Stuttgart'.
- KAYA, O.,** (1971-1978). 'İstanbul'un Karbonifer stratigrafisi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 2, 143-199. (1971)' , ' The Devonian and Lower Carboniferous stratigraphy of the İstinye, Bostancı and Buyukada subareas: ed, Kaya, O., Paleozoik of İstanbul, Ege Uni. Yayını., 40, 1-36. (1973)' , ' İstanbul Ordovisiyen ve Siluriyeni: Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Enst. Yayın organı, 4, 1-2, 1-22. (1978)'
- KETİN, İ.,** (1953-1959). 'Tektonische Untersuchungen auf den Prinzeninseln nahe Istanbul (Türkei): Geologische Rundschau, 41, 161-172.'
- OKAY, A.C.,** (1947). **Siluriyen, YALÇINLAR, İ.,** (1951-1955). 'Alemdağ, Karlıdağ ve Kayışdağ arasındaki bölgenin jeolojisi ve petrografisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, seri B, 12, 269-288.', İstanbul civarının Paleozoyik arazisine yeni müşahadeler: Türkiye

Jeoloji Kurultayı Bülteni, 1, 125-130.’, ‘Note preliminaire sur les schistes a Graptolithes du Silurien decouverts pres d’Istanbul (NW de la Turquie): Review Geogr. Ins. Un. Ist., 2, 167-172.’

ÖNALAN, M., (1981-1988). ‘İstanbul Ordovisiyen ve Siluriyen istifinin çökelme ortamları: İstanbul Yerbilimleri, 2, 161-177. (1981)’ , ‘ İstanbul Devoniyen çökellerinin sedimanter özellikleri ve çökelme ortamları: İstanbul Yerbilimleri, 6, 92-108. (1988)’

OYO INTERNATIONAL CORPORATION, (2009). Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Yapılması, IBB Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.

ÖZALP, S., EMRE, Ö., ve DOĞAN, A., (2013). Kuzey Anadolu Fayı Güney Kolunun Segment Yapısı ve Gemlik Fayının Paleosismik Davranışı, KB Anadolu MTA Dergisi, 1-17, Ankara. www.bordem.bornova.bel.tr. Deprem ve Türkiye

PAECKELMAN, W., (1925-1938). ‘Neue Beitrage zur Kenntnis des Geologie, Palaontologie und Petrographie der Umgegend von Konstantinople 2. Geologie Thraziens, Bithyniens und der Prinzeninseln: Abh. Preussische Geol. Landesanstalt N.F., 168, 202 p., Berlin.

SAYAR, C., (1962-1989). ‘New observation in the Paleozoic sequence of the Bosphorus and adjoining areas, Istanbul, Turkey: Symp. Band 2. Intern Silur-Devon. Bonn-Bruxelles, 1960, 222-223, Stuttgart. (1962)’ , ‘ Ordovician Conularids from the Bosphorus Area, Turkey: Geol. Mag., 101, 193-197, London. (1964) ’ , ‘ Boğaziçi arazisinde Ordovisien Conularia’ ları: Türkiye Jeol. Kur. Bült., , 1-2, 140-175. (1969) ’ , ‘ İstanbul Boğazı ve çevresinde Ordovisiyen-Siluriyen sınırı: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 22, 161-167.’ (1979a), ‘ İstanbul-Pendik kuzeyinde Kayalıdere grovaklarının biyostratigrafisi ve Brachiopod’ ları: İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul. (1979b)’ , ‘ İstanbul Alt Paleozoik serilerinde Brakiyopod- Diplograptid zonu fosilleri: Altınlı Sempozyumu, 6-7 Mart, 1979, 27-35. (1979c)’ , ‘ İstanbul çevresinde Ordovisiyen brakiyopodları: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 27, 99-109. (1984)’ , ‘ Silurian sediments and faunal assosiation of the western Pontides (Turkey): Abst. The Muchison Symp. 28 March-9 April 1989. (1989)’

ULUSAY, R., (2010). Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 38, Ankara.

VARDAR, M., MAHMUTOĞLU, Y., ve VURAL, Y., (1997-98). Uygulamalı Jeoloji Ders Notları 17,1, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.

EKLER

EK A: Marmaray Projesi Tuzla-Güzelyalı Kesiminin (Km:28+800-30+000) Mühendislik Jeolojisi Haritası, Kesiti ve Jeoteknik Çizelgesi

EK B: 29+060 Kesiminde, Rocscience Tarafından Geliştirilen Phase2 Sürüm 8.012 İki Boyutlu Elasto-Plastik Sonlu Elemanlar Yazılımı Kullanılarak Yapılan Modellerin Hesapları.

EK C: 29+060 Kesiminde Yapılması Planlanan Duvar Tasarımı Çizimleri (Sketch Up)

EK D: Sondaj Logları

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Melda YÜRÜR

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul-27/11/1982

Adres: Cemil Topuzlu cad. Dr. vasıf sok. Adil apt. No:6/2.
Caddebostan. Kadıköy. İstanbul

E-Posta: meldacik2001@yahoo.com/melda@me.com

Lisans: 2005, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği
Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: 2015, İTÜ, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı,
Uygulamalı Jeoloji Programı

Nitelikleri: NetCad, AutoCAD Phase2, Rocscience, ArcGIS, Surfer