

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARAY YENİKAPI-YEDİKULE ARASI TÜNELLERİNDE
ORTAM KOŞULLARINDAN KAYNAKLANAN PROBLEMLERİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süha ABAK

Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARAY YENİKAPI-YEDİKULE ARASI TÜNELLERİNDE
ORTAM KOŞULLARINDAN KAYNAKLANAN PROBLEMLERİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süha ABIK

(505111319)

Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111319 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Süha ABAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MARMARAY YENİKAPI-YEDİKULE ARASI TÜNELLERİNDE ORTAM KOŞULLARINDAN KAYNAKLANAN PROBLEMLERİN ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hulusi Tolga YALÇIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **26 Mayıs 2014**

Aileme ve tüm sevdiklerime,

ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında beni yönlendirerek yardımlarını esirgemeyen hocam ve danışmanım Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU'na, tez sırasında önemli katkılarda bulunan Yük. Müh. Melih ALGAN'a, Müh. Niyazi ŞENNAZLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanması sırasında beni cesaretlendiren ve manevi destek sağlayan değerli arkadaşlarım Merve CEYLAN, Görkem BAŞER, Ali Mert OKSAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Yüksek Lisans öğrenimim süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Süha ABIK
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOLLER	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemi	1
2. PROJENİN TANITILMASI.....	3
2.1 Projenin Özellikleri	3
2.2 Yenikapı - Yedikule Tünel Güzergahı	3
2.3 Tünellerin Genel Özellikleri ve Geometrik Büyüklükleri.....	4
2.3.1 TBM tünelleri.....	4
2.3.1.1 Makinenin genel özellikleri (EPB-TBM).....	4
2.3.1.2 Kullanılan makinenin çalışma prensibi.....	5
2.3.2 Manevra tüneli (Turnback tunnel - TBT)	6
3. İNCELENEN HATTIN JEOLojİSİ	9
3.1 Çekmece Formasyonu	10
3.1.1 Çukurçeşme Üyesi	10
3.1.2 Güngören Üyesi	10
3.1.3 Bakırköy Üyesi	11
3.2 Marmaray Projesi Yenikapı-Yedikule Tünelleri Güzergahının Jeolojisi.....	13
4. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ	17
4.1 Yeraltı Araştırmaları	17
4.1.1 Mekanik sondajlar	17
4.1.2 Jeofizik sondajlar	18
4.2 Arazi Deneyleri	20
4.2.1 Geçirimlilik deneyleri	20
4.2.1.1 Değişken seviyeli test.....	20
4.2.1.2 Sabit seviyeli test	20
4.2.1.3 Sonuçların değerlendirilmesi	21
4.2.2 Standart penetrasyon deneyi (SPT).....	23
4.2.2.1 Deneyin yapılışı	23
4.2.2.2 Avantajlar ve sınırlamalar	24
4.2.2.3 SPT değerlerinin değerlendirilmesi.....	24
4.2.3 Pressiyometre deneyi	27
4.3 Laboratuvar Deneyleri.....	29

4.4 Hidrojeolojik Durum	33
4.4.1 Hidrojeolojik model	34
4.4.2 Yeraltı suyunun kimyasal özellikleri.....	35
4.5 Depremsellik.....	36
5. TÜNELDE KARŞILAŞILAN JEOTEKNİK PROBLEMLERİN	
DEĞERLENDİRİLMESİ.....	39
5.1 Ampirik Yaklaşımlar ve Olasılıksal Değerlendirme	40
5.1.1 Ampiriksel yaklaşım	40
5.1.1.1 Sıvılaşma potansiyelinin hesaplanması	40
5.2 Sayısal Modelleme	43
5.3 Kritik Hidrolik Eğim ve Kum Akması	45
5.4 Tünel ve Çevresinden Gelen Su Miktarının Hesaplanması.....	47
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

Phase^{2D}	: Phase İki Boyutlu Sonlu Elemanlar Programı
BC1	: Marmaray Kazlıçeşme-Ayrılıkçeşme Sözleşmesi
NATM	: Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi
TBM	: Tunnel Boring Machine (Tünel Açma Makinesi)
VO	: Variation Order (Değişiklik Talimatı)
H1	: 1 nolu hat
EPB	: Earth Pressure Balance (Bir Tünel Açma Makinası tipi)
TBT	: Turnback Tunnel (Manevra Tüneli)
BH	: Borehole (sondaj kodu)
PS Logging	: Jeofizik Testi
SPT	: Standard Penetrasyon Testi
YAS	: Yer altı suyu
BS	: British Standards (İngiliz Standardları)
IAEG	: International Association of Engineering Geology
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
CPT	: Conic Penetration Test (Konik Penetrasyon Testi)
CSR	: Cyclic Stress Ratio (Tekrarlanmalı Gerilim Oranı)
CRR	: Cyclic Resistance Ratio (Tekrarlanmalı Direnç Oranı)
İTO	: İnce tane oranı
MSF	: Magnitude Scaling Factor (Şiddet Düzeltme Katsayısı)
FS	: Güvenlik Katsayısı
COD	: Carbon Oxygen Demand

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 : Proje kapsamında yapılan sondajların özet listesi.....	17
Çizelge 4.2 : BH123 Sondajında yapılan PS Logging sonuçları.....	18
Çizelge 4.3 : BH126 Sondajında yapılan PS Logging sonuçları.....	19
Çizelge 4.4 : Kayaçların geçirimsizlik derecesine göre sınıflandırılması.....	23
Çizelge 4.5 : Geçirimsizlik değerlerinin özeti.....	23
Çizelge 4.6 : Tij uzunluğu düzeltmesinde kullanılan değerler.....	25
Çizelge 4.7 : İç gömlek düzeltmesi değerleri.....	25
Çizelge 4.8 : Kuyu çapı düzeltmesi.....	26
Çizelge 4.9 : Düzeltilmiş (N1)60 değerlerine ait istatistiksel parametreler.....	27
Çizelge 4.10 : Yapılan Pressiyometre Deneyi özet çizelgesi.....	29
Çizelge 4.11 : Zemin örneklerinde yapılan Kıvam Limitleri, su içeriği ve birim hacim ağırlık deneyleri.....	30
Çizelge 4.12 : Elek analizi ve hidrometre deneyi sonuçları.....	30
Çizelge 4.13 : Güzergah araştırma sondajlarının koordinatları, kotları ve derinlikleri ile bu sondajlarda ölçülen yeraltı su seviyeleri.....	33
Çizelge 4.14 : Alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.15 : Korozyon ve kabuklandırıcı suların özellikleri.....	36
Çizelge 4.16 : Sülfat tuzlarının betondaki etkisi.....	36
Çizelge 4.17 : Marmara denizi içinde bulunan fayların üreteceği muhtemel deprem büyüklükleri.....	38
Çizelge 5.1 : Farklı araştırmacılar tarafından önerilen MSF değerleri.....	42
Çizelge 5.2 : Modelde kullanılan malzemelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri.....	43

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Marmaray Projesi - BC1 sözleşmesine ait güzergah ve istasyon noktaları	3
Şekil 2.2 : İncelenen tünel güzergahı.....	4
Şekil 2.3 : EPB-TBM'e ait bir resim	5
Şekil 2.4 : Tünelin segmentlerle desteklenmiş kesimi (solda), Destekleme elemanlarını tünel aynasına taşıyan bant sistemi (sağda).....	6
Şekil 2.5 : Projede kullanılan EPB tipi TBM'e ait bir fotoğraf.	6
Şekil 2.6 : a) Segmentlerin birleşimini gösteren şematik gösterimi; b) Segment çeşitlerinin genel gösterimi	6
Şekil 2.7 : Manvera tünelinin lokasyonu.	7
Şekil 2.8 : Manevra tünelinde kazı adımları ve şemsiye kemer uygulaması.....	7
Şekil 2.9 : Manevra tünelinin sağ ve sol tüpe göre konumu ve tünel boyut ve geometrileri	8
Şekil 2.10 : Manevra tüneli kazı - destek yöntemi ve elemanlarının boy kesitteki durumu	8
Şekil 3.1 : İnceleme alanı ve yakın civarının jeoloji haritası ve Proje alanının yakınlaştırılmış görünümü.....	9
Şekil 3.2 : İnceleme alanı içerisinde yüzeylenen birimlere ait stratigrafik dikme kesiti	12
Şekil 3.3 : BH75-1 nolu sondaja ait 1 nolu karot sandığı.....	13
Şekil 3.4 : Mühendislik jeolojisi kesiti Km: ~1+200 – b1+400.....	14
Şekil 3.5 : BH75-4 nolu sondaja ait 1 nolu karot sandığı.....	15
Şekil 3.6 : BH75-3 nolu sondajda gözlenen killi seviyelerden bir örnek.	15
Şekil 4.1 : Sondaj geçirimsizlik testleri: Su alma faktörünün belirlenmesi.....	22
Şekil 4.2 : Standart Penetrasyon Deneyinin uygulanışı ve örnek alıcı	24
Şekil 4.3 : Kil ve kum birimlerine ait SPT N30 – Derinlik dağılımı.....	25
Şekil 4.4 : SPT N30 ve (N1)60 darbe sayılarına ait histogram.	26
Şekil 4.5 : Menard tipi pressiometrenin tipik bir kesit görünümü.....	27
Şekil 4.6 : Deney için hazırlanmış prob.....	28
Şekil 4.7 : Menard tipi Pressiyometre Deneyi a) kaydedilen veri; b) gerilme-birim deformasyon eğrisi; c) sünme/ikincil sıkışmalar eğrisi.....	28
Şekil 4.8 : Dane çapı ile enjeksiyon tipi arasındaki ilişki ve dane boyu dağılımları	32
Şekil 4.9 : Bazı depremler sırasında sıvılaşmanın meydana geldiği ortamların dane boy dağılımları ve inceleme alanındaki numunelerin dane boy dağılımı	33
Şekil 4.10 : Yeraltı suyu seviyesi ve akım yönü değişimleri.....	34
Şekil 4.11 : Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisinde geçen kısmının genel görünümü.....	37
Şekil 4.12 : 2000-2011 yılları arasında Marmara Bölgesi'nde meydana gelen depremlerin dağılımı	37
Şekil 4.13 : İstanbul için deprem risk haritası	38
Şekil 5.1 : Baküde açılmakta olan bir atıksu tünelinde meydana gelen sıvılaşma/kum akması olayı.....	40

Şekil 5.2 : Gerilim azaltma faktörünün derinlik ve deprem büyüklüğüne bağlı değişimi	42
Şekil 5.3 : Güvenlik sayısının derinliğe bağlı değişimi.	43
Şekil 5.6 : Grafik değerlerinin karşılık geldiği tünel çevresinin gösterimi.	46
Şekil 5.6 : Tünel ve çevresindeki güvenlik sayısının 0 ile 3 arasındaki değişimi.	46
Şekil 5.7 : Her iki tünelin çevresindeki güvenlik sayısı değerleri.	47
Şekil 5.8 : Darcy Hızı'nın (v) modeldeki değişimi.	48
Şekil 5.9 : Her iki tünel çevresindeki Darcy Hızı'nın (v) değişimi	48
Şekil 6.1 : Segment aralarında meydana gelen su kaçakları.	50
Şekil 6.2 : Tünel çevresinde uygulanan kimyasal enjeksiyonlar.	51

SEMBOLLER

N₃₀	: Son 30cm ilerlermedeki toplam SPT darbe sayısı
k	: Geçirimlilik katsayısı
F	: Su alma faktörü
M_w	: Deprem büyüklüğü
C_n	: Efektif örtü yükü düzeltmesi
a_{max}	: Deprem ivmesi
N₆₀	: Enerji, Tij, İç gömlek, çap düzeltmeleri yapılmış darbe sayısı
(N1)₆₀	: Örtü yükü düzeltmesi yapılmış SPT darbe sayısı
σ'_{ef}	: Efektif örtü yükü
S_s	: Standart Sapma
E_m	: Elastisite Modülü
ΔP	: Basınçtaki değişim
ΔV	: Hacimdeki değişim
V₀	: Probun il hacmi
V_m	: Pressiyometre eğrisinin doğrusal olduğu kesimindeki hacmi
LL	: Likid Limit
PL	: Plastik Limit
PI	: Plastisite İndeksi
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
γ_s	: Doygun birim hacim ağırlık
W_n	: Doğal nem içeriği
Ppm	: Milyonda bir birim
Log	: Logaritmik fonksiyon
L	: Uzunluk
rd	: Gerilim azaltma faktörü
Ø	: İçsel sürtünme açısı
C	: Kohezyon
γ_b	: Efektif birim hacim ağırlık
Q	: Debi
i	: Hidrolik gradyan
A	: Alan

MARMARAY YENİKAPI-YEDİKULE ARASI TÜNELLERİNDE ORTAM KOŞULLARINDAN KAYNAKLANAN PROBLEMLERİN ANALİZİ

ÖZET

Marmaray Projesi BC1 sözleşmesi zaman zaman siyasi tartışmaların arasında kalmış olsa da gerek yapımı sırasında elde edinilen deneyimlerle Türk mühendislik camiasına kazandırdığı, gerekse yapımı sonrasında stratejik açıdan ülkeye kazandırdığı değerler açısından büyük bir öneme sahiptir. Proje 1387 m batırma tünel, 10 km çift tüp delme tünel (NATM+TBM), 670 m aç-kapa tünel ve 1790 m istinatlı dolgu, yarma ve yüzey yapılarından oluşmaktadır. Bu projenin en önemli istasyonlarından biri olan Yenikapı İstasyonu Yenikapı-Yedikule Tünelleri'nin son durağıdır. Toplam uzunluğu yaklaşık olarak 2440 m olan güzergah Yenikapı-Yedikule arasında denize yakın olarak paralel bir şekilde uzanmaktadır. Çift tüp olarak tasarlanan proje EPB tipi TBM ile açılmıştır.

Proje güzergahı Miyosen yaşlı kumlu ve killi birimlerin içerisinden geçmektedir. Bu birimler güzergah boyunca yapay dolgu ile örtülüdür. Yapay dolgu seviyelerinin yer yer arkeolojik kalıntılar içerdiği bilinmektedir. Güzergahın sonlandığı Yenikapı İstasyonu kazıları sırasında açığa çıkan Arkeolojik bulgular bu durumun bir göstergesidir.

Bu tez kapsamında Marmaray Projesi Yenikapı-Yedikule Tünelleri'nin bulunduğu zemin koşulları mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmiştir. Karmaşık zemin koşullarının ve sığ yeraltı suyu seviyesinin egemen olduğu bir ortamda bulunan tünel güzergahı, jeolojik yapı kaynaklı içerdiği riskler açısından farklı bir önem taşımaktadır. Tünel güzergahı üzerinde yapılan saha araştırmaları ve laboratuvar deneyleri ışığında mevcut riskler etkileriyle birlikte değerlendirilerek yorumlanmaya çalışılmıştır.

Tez çalışması sırasında yararlanılan mevcut veriler kısaca şunlardır; Sondaj logları, Standard Penetrasyon Testi, PS Logging deneyi, Pressiyometre testi ve Geçirimsizlik arazi deneylerine ait sonuçlar ve laboratuvar deney sonuçlarıdır. Bu veriler ışığında ilgili analizler yapılmış ve tünel güzergahının mühendislik jeolojisi modeli oluşturulmuştur.

Araştırma aşamasında elde edilen veriler esas alındığında kum birimlerin geçirimsizlik değerlerinin genellikle 10^{-4} - 10^{-6} m/s, SPT değerlerinin 20-25 ve Em değerlerinin 18-522 kg/cm² aralığında olduğu belirlenmiştir. Güzergah boyunca bulunan kil birimlerin SPT N₃₀ değerleri 10-60, Em değerleri 6-140 kg/cm² aralığında değişmektedir.

Güzergah boyunca açılan sondaj kuyularında farklı tarihlerde yapılmış yeraltı suyu seviyesi ölçümleri sonucunda yeraltı suyu seviyesinin 2,39-11,2m aralığında değiştiği görülmektedir.

Güzergah boyunca alınan su örneklerinde yapılmış olan kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında örneklerdeki çözülmüş Klor oranları 30-3840 mg/l, Sülfat oranları 30-

590 mg/l arasında değiştiği ve suların genellikle korozif özellikte olduğu görülmektedir.

Mühendislik projelerinde genellikle üzerinde durulan ve etkileri açısından önem taşıdığı düşünülen başlıca riskler; sıvılaşma, kum kaynaması, su patlamaları, oturmalar, kabarmalar ve heyelanlardır. Bu tez kapsamında ise sıvılaşma, kum kaynamaları ve su patlamaları risklerine yoğunlaşılmış ve çeşitli yöntemler ile bilimsel açıdan ele alınmaya çalışılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler ışığında;

Sıvılaşma potansiyeli (FL) değerlendirmelerinde Seed ve Idriss'in önerdiği deterministik yaklaşım esas alınmıştır. Hesaplamalarında deprem büyüklüğünün $M_w:7,5$ ve deprem sırasında meydana gelen maksimum yer ivmesinin (a_{max}) 0,49-0,54 aralığında olduğu kabul edilerek yapılan değerlendirmelerde elde edilen sonuçlardan tünelin geçtiği hattın yaklaşık %70'lik kısmının sıvılaşmaya duyarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İnceleme alanının Kuzey Anadolu Fayı'na çok yakın bir konumda olması sebebiyle 1. Derecede deprem bölgesi sınırları içerisine girmektedir. Bu durum sıvılaşma riskini büyük oranda arttırmaktadır. Nitekim güzergah boyunca yapılan Sismik Değerlendirme raporlarında deprem sırasında oluşacak a_{max} değerlerinin 0,49-0,54 aralığında olacağı öngörülmektedir.

Kum kaynaması riski, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu konuda yapılan değerlendirmeler sonucunda ise tünel ve çevresindeki yeraltı suyu akışı sırasında meydana gelen kuvvetin kohezyonsuz kum mercceklerini hareket haline geçirebileceği sonucuna varılmıştır. Nitekim bu riskin güzergah boyunca bazı bölgelerde var olduğu tünel kazısı sırasında yaşanan gözlemler ile de doğrulanmaktadır.

Bir diğer risk olan su patlamasının, tünel kazısı sırasında Kocamustafapaşa civarında meydana geldiği belirtilmiştir. Yapılan nümerik analiz sonucu bir segment boyu mesafedeki yüzey alanından yaklaşık 240 lt/dk'lık bir su gelişinin söz konusu olduğu öngörülmektedir. Nitekim Km: b 0+300 ile b 0+800 arasındaki kalan bölgedeki su akışını kesmek için her iki tüpte toplam ~60000 kg'lık bir poliüretan enjeksiyon uygulaması yapılmıştır.

Sonuç olarak, jeolojik yapı ve zemin koşullarına bağlı oluşabilecek risklerin önceden tanımlanması ve bu risklerin etkilerine göre bazı azaltıcı tedbirlerin alınması gereklidir. Nitekim tez kapsamında ele alınan bu risklerin hem uygulama sırasında yarattığı problemler açısından, hem de projenin hizmet ömrü ve güvenliği açısından göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

Yenikapı-Yedikule Tünelleri'nde karşılaşılan malzeme akmaları, su patlamaları, sıvılaşma, sızdırmazlık risklerinin üstesinden gelinmiş olduğu görünmektedir. Toplamda yaklaşık 90500 kg'lık miktarda uygulanan poliretan enjeksiyonların yukarıda bahsedilen riskleri azalttığı grlmekteir.

Nitekim tez kapsamında ele alınan bu risklerin hem uygulama sırasında yarattığı problemler açısından, hem de projenin hizmet ömrü ve güvenliği açısından büyük bir öneme sahip olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

ANALYSIS OF PROBLEMS ARISING FROM ENVIROMENTAL CONDITIONS IN THE MARMARAY TUNNELS BETWEEN YENIKAPI-YEDIKULE

SUMMARY

Marmaray Project-BC1 contract, although it was occasionally subjected to political criticisms regarding to governments acts, has significantly contributed to the enhancement of experience and knowledge of Turkish Engineering society and has brought a strategic importance to Turkey.

The project consists of; 1387 m immersed tunnel, 10 km bored double tube (NATM+TBM), 670 m cut & cover tunnel and 1790 m filling with retaining walls. Yenikapi station, which is one of the most important stations in the project, is the last station of the tunnels between Yenikapi-Yedikule. The project route, approximately 2440 m in total length, runs parallel and relatively close to seaside and lies between Yenikapi and Yedikule. Additionally, Yenikapi-Yedikule Project was designed as double tube and excavated by EPB type tunnel boring machine.

Çekmece Formation observed through the tunnel route and it is divided to three member. These members that Miocene-aged are respectively Bakırköy, Çukurçeşme and Güngören Member. Geological profile of the project area shows that Bakırköy Member, which is dominated by limestone with marl intercalations, is found at the beginning sections of the tunnel (Km: 1+200- b0+300). Besides Çukurçeşme Member is composed of sand lenses whereas Güngören consists of clayey units that seem to prevail along the project route.

The units exist along the tunnel route are overlaid by made ground, therefore geology of the route has been evaluated with the aid of available borehole data. Additionally, It is known that the made ground in the area partly contains archaeological remains. Archaeological remains and artefacts found during the excavation of Yenikapi station gives the indication of that the made ground partly contains archaeological remains.

Within the scope of this thesis, the ground conditions of Marmaray Yenikapi-Yedikule tunnels have been evaluated in terms of engineering geology. The tunnel route that is located in rather complex ground conditions and shallow groundwater regime has a particular importance in terms of risks concerning geological structure. In the light of site investigations performed at the tunnel route and laboratory tests, existing risks and their effects have been evaluated and interpreted. By the help of these data, relevant analyses have been performed and geological profile of the tunnel has been prepared.

Based on available data, engineering features of the units are as follow; permeability values for sand units are between 10^{-4} - 10^{-6} m/s, STP values are about 20-25 and modulus of elasticity is between 18 and 522 kg/cm². Whereas for clay units SPT N₃₀ values and modulus of elasticity range between 10-60 and 6-140 kg/cm², respectively. Based on chemical analyses performed on water samples taken

from/through the route, it can be clearly seen that proportion of dissolved chloride and sulphate varies between 30-3840 mg/l and 30-590 mg/l, respectively. These results are a clear indication of that the water is fairly corrosive.

Major risks that are concerned and considered vital in terms of their effects in engineering projects are; liquefaction hazards, quick sand conditions, water intrushs, settlements, heaves and landslides. This thesis has mainly focused on liquefaction, quick sand and water intrush risks and these risks have been scientifically evaluated by using a number of methods.

Assessments and results can be summarised briefly as follows;

Deterministic approach proposed by Seed & Idriss was used to calculate the liquefaction potential. The earthquake magnitude and peak acceleration (a_{max}) value has been assumed as 7.5 and 0.49-0.54, respectively. The results have shown that, there is a potential for liquefaction to occur in approximately 70% of the tunnel route. The potential for liquefaction can be estimated by comparing cyclic resistance ratio (CRR) to cyclic stress ratio (CSR), which is generally expressed safety factor. A magnitude-scaling factor (MSF) has been used/is to correlate the factor of safety for different magnitudes. A factor of safety lesser than 1.25 indicates that liquefaction resistance doesn't exceed the cyclic stress, and therefore that the liquefaction would be expected to occur.

$$FS = (CRR_{7.5} \div CSR) \times MSF$$

The project area is located quite close to North Anatolian Fault, thus it falls in first order seismic zone. This considerably increases the liquefaction potential of the area. In fact, seismic report assessing the area has indicated that a_{max} value is expected to range between 0.49-0.54 in the potential future earthquake.

The finite element analysis has been used to estimate quick sand risk. Results have shown that cohesionless sand lenses can be mobilized by the forces occurring during groundwater outflow and seepage in and around the tunnel. The risk of quick sand condition has been verified by the experience gained during tunnel excavation.

Critical hydraulic gradient is the ratio of effective unit weight to water unit weight. According to literature, it can be assumed that, the effective unit weight is fairly close to water unit weight. Factor of safety for quick sand condition can be defined as the ratio of critic hydraulic gradient (i_c) to hydraulic gradient (i_e). A factor of safety greater than 3.0 means that quick sand condition wouldn't be expected.

$$FS = i_c / i_e$$

Quick sand hazard has caused several problems such as; unfavourable segment geometry that leads to sealing problems related to water tightness and mobility of tunnel boring machine. Another common problem encountered due to quick sand condition was the loss of initial bearing capacity of soil. These kinds of problems have adversely affected the course of the project and have required special solutions. Such problems have also imposed extra expenses.

Water intrush flow rate was calculated by using Darcy equation. Numerical analysis have been used determine the Darcy velocity (v) variation through the tunnel route. Based on results that have been obtained from numerical model, average water intrush flow rate has been calculated.

$$v = k \times i$$

$$Q = v \times A$$

It has been reported by site staff that water inrush problem has been encountered during tunnel excavation around Kocamustafapaşa. By the aid of numerical analysis performed, it has been found that water flows with approximately 240lt/m velocity from the surface area of a segment length distance. As a result of this, a total 60,000 kg polyurethane injection has performed to repair leakage of water between km: b 0+300 and b 0+800.

It is important to predict dynamic water inrush in the area and implement appropriate protective measure since uncontrolled water inrush can pose several problems such as submersion of tunnel boring machine operating in the route, which costs additional project budget.

Running ground (quick sand) and water related problems have crucial importance as they can cause dramatic impacts that affect the course of the project. Thus, the designers should identify these problems and develop proper solutions before they lead to catastrophic damages to the project. In other words, one can infer that it is very important to have a good understanding of geological structure of the project area as it is the only way to assess potential geotechnical risks and ensure all security measures and precautions are taken for.

In conclusion, possible risks associated with geological structure of area should be predicted, assessed and minimised by the correct choice of control method. Therefore, the risks encountered during the project and discussed in this thesis have a significant importance not only due to the problems that faced during practise, but also in terms of service life and safety of the project.

The strategies have been developed to handle geological risks involved in Yenikapı-Yedikule tunnels such as water and material inflows, water tightness, liquefaction and have successfully implemented. It is clear that the risks that are stated in this thesis have been minimised by the 90,500 kg polyurethane injection performed through the tunnels.

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı Yenikapı–Yedikule Tünel Güzergahları’nın jeolojik ve mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi ve tünel imalatı sırasında ve sonrasında karşılaşılan mühendislik problemlerinin zemin koşullarıyla olan ilişkilerinin incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak incelenen hattaki uygulama da göz önünde tutularak, yeraltı koşulları detaylı olarak ortaya konmuş ve değerlendirilmiştir. Tünel kazılarından kaynaklanan yüzey ve yeraltı deformasyonlarının jeolojik ortam koşulları ile ilişkisi irdelenmiş, bölgenin depremselliği dikkate alınarak tünelin yer yer içerisinden geçirildiği Çekmece Formasyonu Çukurçeşme Üyesi’nin akma ve sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir.

1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemi

Çalışma yöntemi olarak, öncelikle uygulamaya yönelik oluşturulmuş veri bankası (sondaj logları, laboratuvar–arazi deney föyleri vb.) bir araya getirilerek, bölgede daha önce yapılmış jeolojik çalışmalar ile korelasyon yapılmış ve ortamın ön jeolojik modeli ortaya konulmuştur. Daha sonra uygulama sırasında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların yaşandığı lokasyonlar detaylı olarak irdelenerek mühendislik jeolojisi modelleri oluşturulmuştur. Öngörülen jeoteknik problemler mevcut jeolojik ve jeoteknik verilerin ışığında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede literatürde bulunan çalışmalardan elde edilen ampirik yöntemler kullanılmıştır. İleri değerlendirmeler de Phase^{2D} Programı kullanılarak sayısal modelleme çalışmaları ile yapılmıştır. Son olarak, elde edilen bulgular bir araya getirilerek, bölgenin jeolojik ve sismik özelliklerine dayalı bir değerlendirme yapılmıştır.

2. PROJENİN TANITILMASI

2.1 Projenin Özellikleri

Marmaray Boğaz Geçiş Projesinin bir parçası olan BC1 Kontratı, Ayrılıkçeşme–Kazlıçeşme arasında yer alan, demiryolu boğaz geçişini ve istasyonları kapsayan toplam 13,5 km uzunluğunda büyük bir uygulamayı kapsamaktadır. Proje 1387 m batırma tünel, 10 km çift tüp delme tünel (NATM+TBM), 670 m aç-kapa tünel, 1790 m istinatlı dolgu, yarma ve yüzey yapılarından oluşmaktadır. BC1 Projesi için yaklaşık olarak 3.000.000.000 TL’lik bütçe ayrılmıştır. Bu paranın yaklaşık $\frac{3}{4}$ ’lük kısmı batırma tüp için harcanmıştır. Projenin büyük bir kısmı yapılaşmanın yoğun olduğu ve çok sayıda tarihi yapının bulunduğu yerlerden geçmektedir (Url-1).

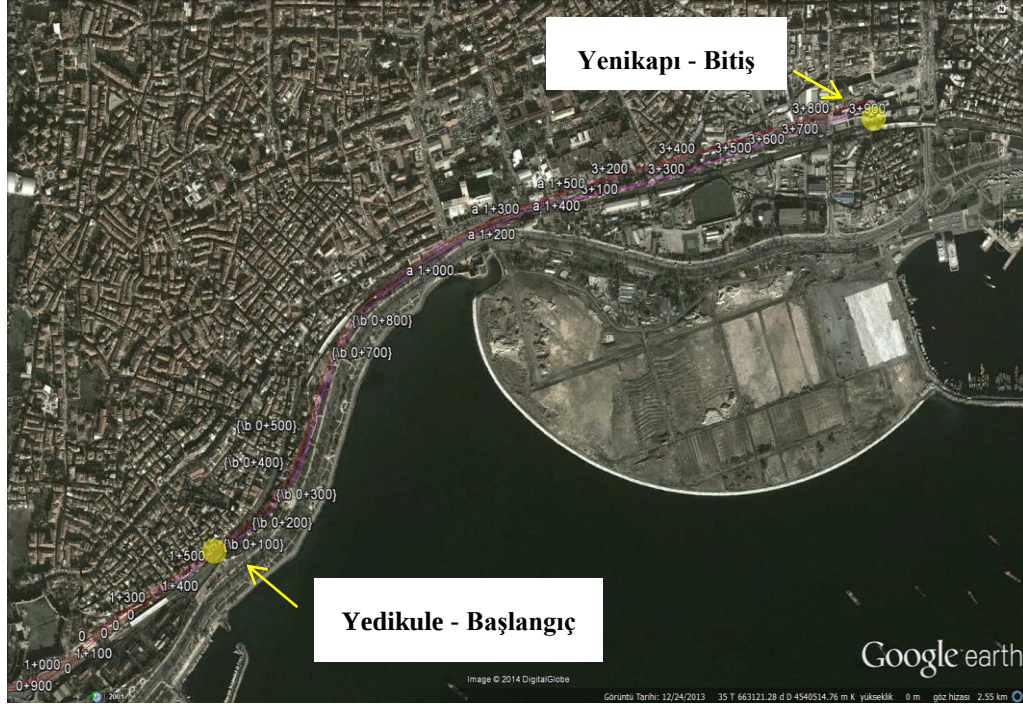


Şekil 2.1 : Marmaray Projesi - BC1 sözleşmesine ait güzergah ve istasyon noktaları (Url-1).

2.2 Yenikapı - Yedikule Tünel Güzergahı

İncelenen tüneller Yedikule İstasyonu’ndan başlayarak Marmara Denizi’ne paralel devam eder ve Yenikapı İstasyonu’nda sonlanır. Tünel güzergahlarının konumu ve

uzunluğu tasarım aşamasında VO-75 (Variation Order) ve VO-33 kotunda iki farklı değişiklik geçirmiştir. VO-33 ile yaklaşık olarak 335 m uzayan güzergah, VO-75 ile maksimum 90 m'ye ulaşan mertebede deniz tarafına doğru kaydırılmıştır. Bu değişiklikler sonucunda mevcut hat yaklaşık; H1 (Hat 1): 1+506 – 3+038 km arasındadır (Hat 1: Artan kilometredeki sol tüp).



Şekil 2.2 : İncelenen tünel güzergahı.

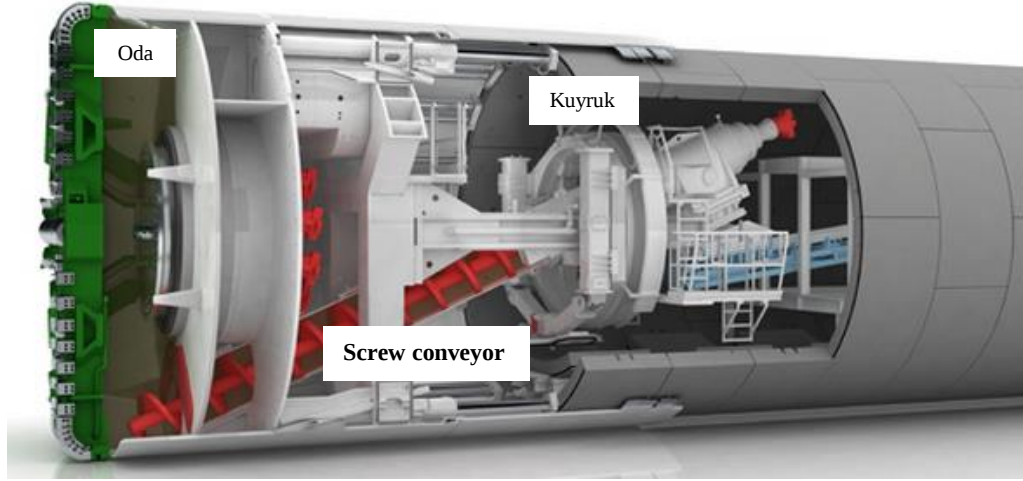
2.3 Tünellerin Genel Özellikleri ve Geometrik Büyüklükleri

2.3.1 TBM tünelleri

2.3.1.1 Makinenin genel özellikleri (EPB-TBM)

Bu çalışmada incelenen tüneller Earth Pressure Balance (EPB) tipinde TBM kullanılarak açılmıştır (Şekil 2.3). Makinenin özelliği kazı malzemesinin alış hızının değiştirilebilmesi sonucu chamber diye tabir edilen odada malzemenin kontrollü bir şekilde bekletilmesiyle kazı aynasına bir basıncın uygulanmasıdır. Karmaşık zemin koşullarında bu özellik büyük bir avantaj sağladığı elde edilen tecrübeler ile sabittir.

Yukarıda bahsedilen sebeplerden ötürü şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde yapılan tünel kazılarında genellikle EPB tipindeki makineler tercih edilmektedir. Bilhassa ayna basıncının ayarlanabilmesi deformasyon kontrolünde büyük bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2.3 : EPB-TBM'e ait bir resim (Url-5).

2.3.1.2 Kullanılan makinenin çalışma prensibi

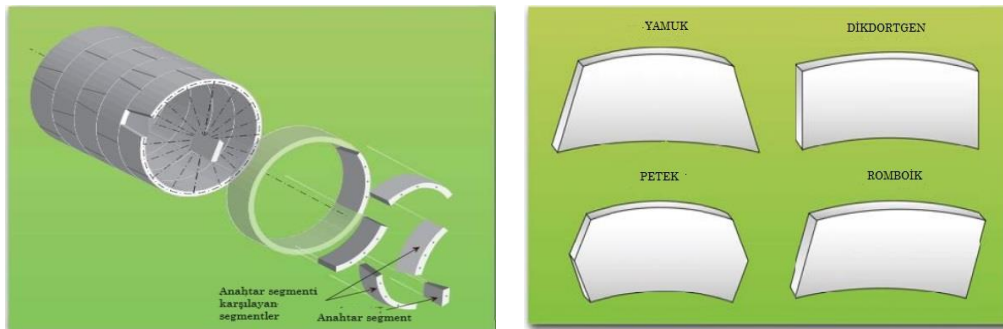
Tünel kazılarında Lovat marka EPB-TBM tipi makine kullanılmıştır (Şekil 2.5). Makinenin teorik kazı çapı yaklaşık 7,99 m olarak verilmektedir. Her 1,50 m ilerleme sonunda pistonların gerisinde kalan kısma yerleştirilen segmentler ile bir ring tamamlanmış olmakta ve bir sonraki kazı aşamasına geçilmektedir. Prekast olarak imal edilen betonarme segmentlerin oluşturduğu ringin dış çapı 7,68 m olarak verilmiş olup, tünel kazı yüzeyi ile segmentlerin dış yüzeyi arasında teorik olarak fiziksel boşluk olarak da anılan 15,5 cm'lik bir boşluk kalmaktadır. Makina kuyruk kısmından yaptığı enjeksiyonla bu boşluğu doldurmaktadır. Projede dört farklı segment açılımı tasarlanmış olup makina kendi doğrultusunu bu farklı açılımları kullanarak belirlemektedir. Her bir ringte farklı geometrilere sahip segmentler mevcuttur. Bu segmentlerin dizilimine makinanın kendisi bir program yardımcılığı ile karar vermektedir. Segmentlerin yerleştirilmesindeki diğer bir durum ise anahtar segmentin (key segment) en son konmasıdır. Diğer segmentlere göre küçük olan bu segmentin özelliği kilit görevi görerek sistemin bütünlüğünü oluşturmaktadır. Anahtar segmentte meydana gelebilecek herhangi bir oynama sistemin (ringin) bütünlüğünü bozarak yıkılmasına sebep olabilmektedir. Tasarımcı, trenin yaratabileceği titreşimlerden dolayı anahtar segmentin duraylılığının bozulma riskine karşı anahtar segmentlerin her zaman üst yarıda tutulmasını talep etmiştir. Bu durumun, makinanın hareket kabiliyetini kısıtladığı yönündeki bazı gözlemler uygulamacı tarafından aktarılmıştır.



Şekil 2.4 : Tünelin segmentlerle desteklenmiş kesimi (solda), Destekleme elemanlarını tünel aynasına taşıyan bant sistemi (sağda).



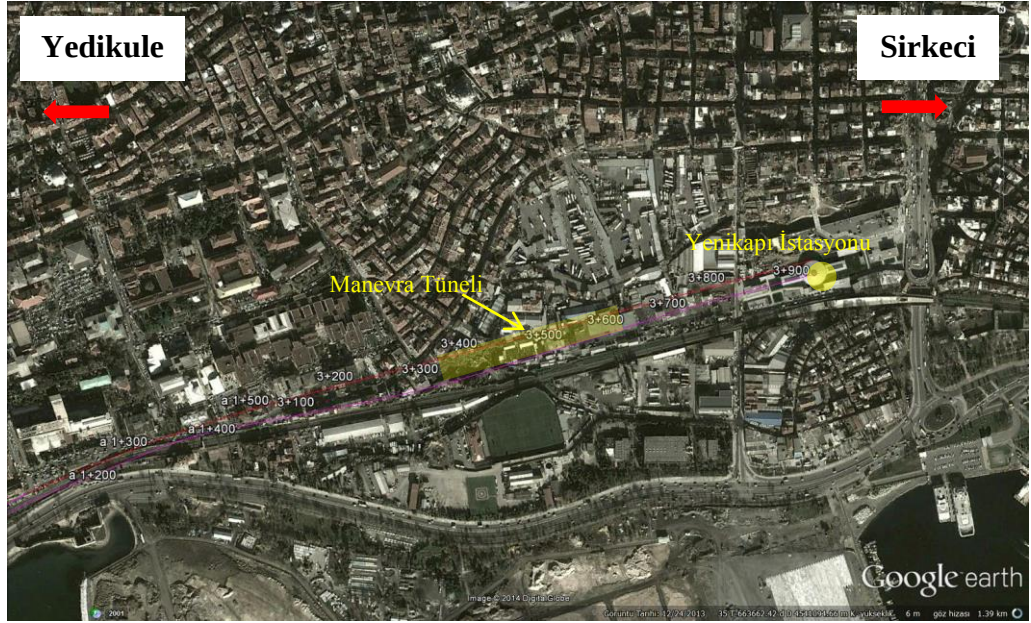
Şekil 2.5 : Projede kullanılan EPB tipi TBM'e ait bir fotoğraf.



Şekil 2.6 : a) Segmentlerin birleşimini gösteren şematik gösterimi; b) Segment çeşitlerinin genel gösterimi (Guglielmetti ve diğ., 2007).

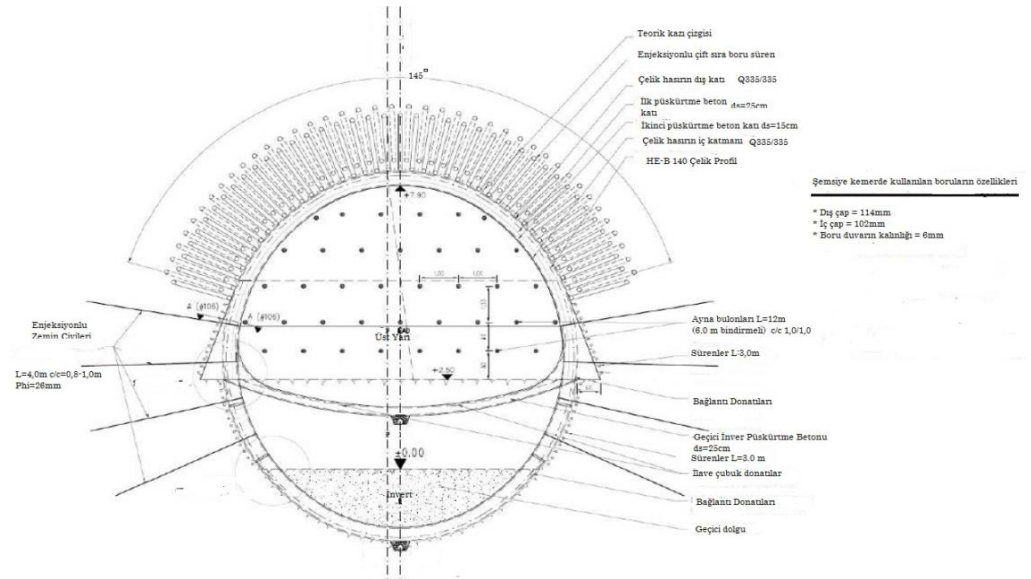
2.3.2 Manevra tüneli (Turnback tunnel - TBT)

Manevra tüneli, güzergahın Yenikapı tarafında bulunan son ~250 m'lik kısmına karşılık gelmektedir. Manevra tünel güzergahı Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7 : Manevra tünelinin lokasyonu.

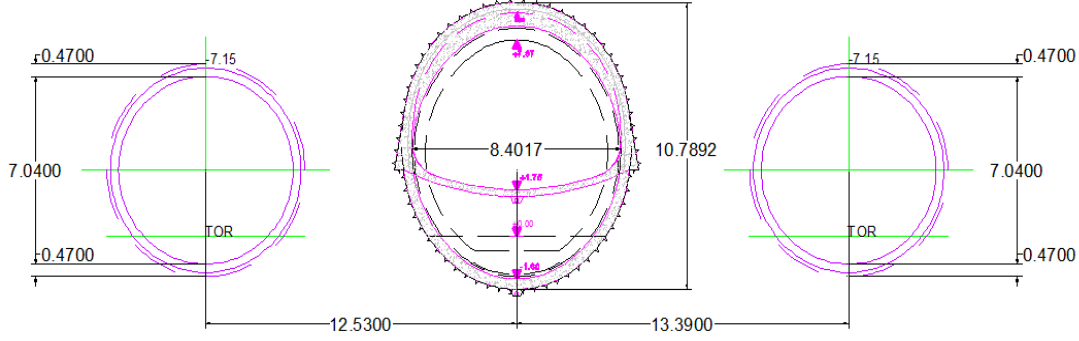
Manevra tüneli, Hat 1 (H1)'in (artan kilometrede sol tüp) yaklaşık olarak 3+430 – 3+681 km'leri arasındadır ve yaklaşık 251 m uzunluğundadır. Manevra tüneli geleneksel kazı yöntemiyle açılmış bir tüneldir. Destek sistemi olarak yükselen iksalar ile şemsiye kemer uygulaması tünel boyunca yapılmıştır. Eliptik bir geometriye sahip olan Manevra tünelinin boyutları yaklaşık 10,0 x 9,0 m'dir. Tünel kazı kesitinin alanı ise yaklaşık 79,34 m²'dir.



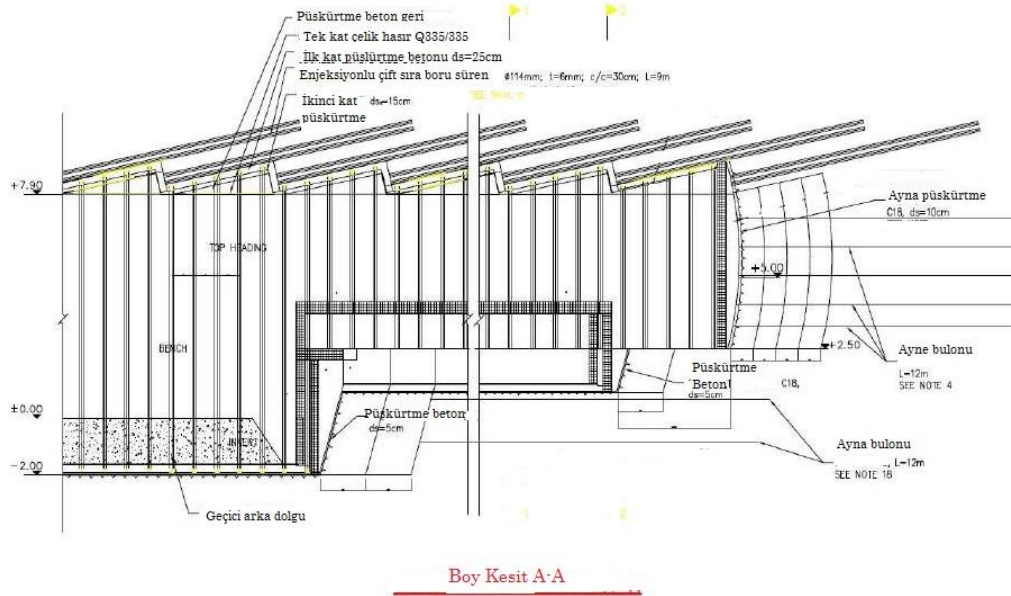
Şekil 2.8 : Manevra tüneline kazı adımları ve şemsiye kemer uygulaması (Tsuchiya ve diğ., 2010).

Yenikapı manevra tünellerinde süren (fore polling) uygulaması zemin koşullarının kötü olmasının bir sonucu olarak göçme (collapse) ve malzeme akması (material

inflows) gibi istenmeyen durumları engellemek amacı ile yapılmıştır. Proje esaslarına göre enjeksiyonlu boru sürenler; 114 mm çapında ve 9 m uzunluğunda, çift sıra olmak şartıyla ve minimum 4,5 m bindirme payıyla imal edilmiştir (Şekil 2.8). Bu uygulama tünel boyunun yaklaşık %62'sine tekabül eden 142,6 m'lik kısmında yapılmıştır.



Şekil 2.9 : Manevra tünelinin sağ ve sol tüpe göre konumu ve tünel boyut ve geometrileri (Tsuchiya ve diğ., 2010).

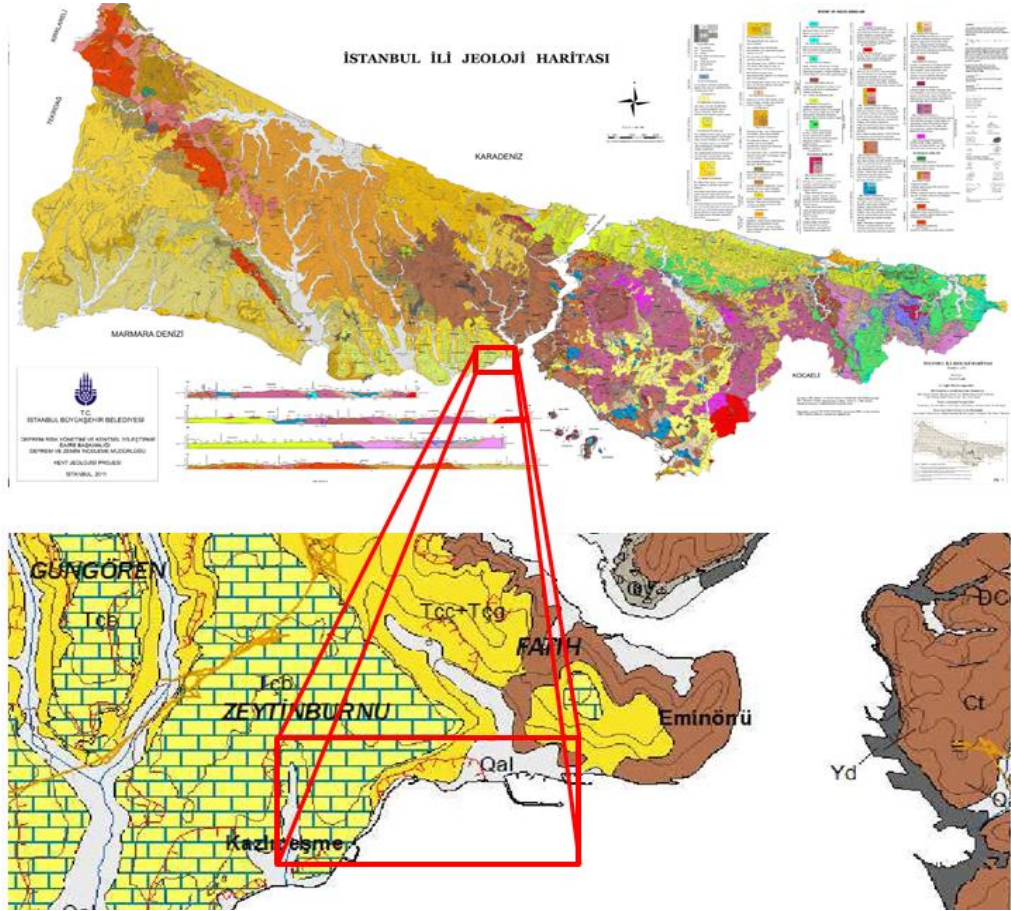


Şekil 2.10 : Manevra tüneli kazı - destek yöntemi ve elemanlarının boy kesitteki durumu (Tsuchiya ve diğ., 2010).

Manevra tünelinin yaklaşık 142,6 m'sinde kazı 6 parça, 33,5 m'sinde 4 parça ve geri kalan 52,2 m'lik kısmında ise 3 parça şeklinde kademeli olarak açılmıştır. Manevra tüneli ve Yedikule Tünelleri'nin Yenikapı'da birbirlerine yaklaşmaları ve uygun olmayan zemin koşullarının da etkisiyle uygulamada belirli güçlüklerle karşılaşmış dolayısıyla bazı ek önlemlerin alınmasını zorunlu kılmıştır.

3. İNCELENEN HATTIN JEOLojİSİ

Önceden hazırlanmış jeoloji haritası ve yapılan sondajlar ışığında proje alanının yapay dolgularla örtülü olduğu bilinmektedir (Özgül, 2005'te atıfta bulunulduğu gibi). Proje alanında yerleşimin yoğun olması sebebiyle yapay dolguların altında hangi jeolojik birimlerin olduğunu izlemek mümkün olamamaktadır. Yapay dolguların bir kısmının antik nitelikler taşıdığı, kentin tarihi ve arkeolojik kimliğini temsil ettiği belirlenmiştir (Dönmez, 2010). Proje alanı İstanbul Jeolojisi Haritası üzerinde kabaca aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : İnceleme alanı ve yakın civarının jeoloji haritası ve Proje alanının yakınlaştırılmış görünümü (Url-2).

3.1 Çekmece Formasyonu

Birimler ilk olarak Çekmece Serisi olarak tanımlanan ve daha sonradan Çekmece Grubu olarak adlandırılan bu seri Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy Formasyonları olarak ayırtlanmıştır (Özgül ve diğ., 2005'te atıfta bulunulduğu gibi). Daha sonra bu birimlerin dereceleri düşürülerek Çekmece Formasyonu'nun (Tç) altına Çukurçeşme (Tçç), Güngören (Tçg) ve Bakırköy (Tçb) üyeleri olarak dahil edilmiştir. Bu grubun yaşının Geç Miyosen olduğu ve bölgesel olarak Haliç ile Büyükçekmece Gölü arasında dağıldığı çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir (Özgül ve diğ., 2005).

3.1.1 Çukurçeşme Üyesi

Çukurçeşme Üyesi karasal ortamda çökelmiş olup killi kum ve çakıllardan oluşmaktadır. Birimin yaşı Geç Miyosen'dir (Altınar ve diğ., 2006'da atıfta bulunulduğu gibi). Proje alanında yapılan sondajlar sırasında karşılaşılan kum ve çakıl ağırlıklı birimlerin Çukurçeşme Üyesi'ne ait olduğu düşünülmektedir. Küçükköy, Çukurçeşme ve Mahmutbey semtlerinde sınırlı bir alanda yüzeyleyen birimde, çapraz katmanlı, bol mikalı, yer yer kil arakatkılı, küçük çakıl ve tutturulmuş kumların baskın olduğu bilinmektedir. İstifin bu yöredeki yüzeylemeleri başlıca, sarımsı, boz, külrengi, çapraz katmanlı, bol mika pullu, boylanmış, orta-kaba kum boyu kuvars, kuvarsit, çakmaktaşı, volkanitleri kapsamaktadır. Birim Güngören ve Bakırköy Üyeleriyle yanal ve düşey geçişlidir (Özgül ve diğ., 2005).

3.1.2 Güngören Üyesi

Güngören Üyesi kil ve marnlar olarak tanımlanmıştır (Altınar ve diğ., 2006'da atıfta bulunulduğu gibi). Geç Miyosen yaşında olan birimin omurgalı fosiller içerdiği bilinmektedir. Bazı araştırmacılar ise birimin kum-silt arakatkılı killerden oluştuğunu ve üst düzeylerde makrofosil kavkılı ince, kireçtaşı arakatmanlı olduğu görüşündedir (Özgül ve diğ., 2005). Yapılan sondajlarda gözlenen kil ağırlıklı birimlerin bu formasyona ait olduğu düşünülmektedir. Yoğun yapılaşmadan dolayı, Güngören Üyesi'nin yüzeylendiği yerlerin sadece Avcılar ve Beylikdüzü civarındaki ocak yarmalarında gözlemlendiği ve Yedikule civarında yaklaşık 120-140 m kalınlığa ulaştığı bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. (Özgül ve diğ., 2005).

3.1.3 Bakırköy Üyesi

Çekmece Formasyonu'nun üst seviyelerini oluşturan Bakırköy Üyesi, çoğunlukla kireçtaşlarından oluşur, değişen miktarda kil ve marn arakatkılı olduğu bilinmektedir. Bol Mactra'lı, merceksel kireçtaşlarından oluştuğu için "Mactra'lı kalkerler" olarak da adlandırılmıştır (Özgül, 2005'te atıfta bulunulduğu gibi). Oluşum ortamının lagün ve göl ortamı olduğu çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir. İstanbul ili Jeoloji Haritası'nda "Tçb" olarak gösterilen Bakırköy Üyesi, Haliç-Marmara kıyısı arasındaki alanda, Yeşilköy-Yeşilyurt dolaylarında, Avcılar-Firuzköy, Kavaklı ve Küçükçekmece yerleşim alanlarının yer aldığı sırtların üst kotlarındaki yatay düzlükleri oluşturur. Güngören Üyesi'ni yanal ve düşey geçişli olarak üstler (Özgül ve diğ., 2005).

SİSTEM	SERİ	KAT	GURUP	FORMASYON	ÖYE	YAKLAŞIK KALINLIK(m)	KAYATÜRÜ	DİĞER ÖZELLİKLER	
TERSIYER	Üst Miyosen	Alt-Orta Miyosen		Çekmece	Kıraç	Çukurçesme	~ 30		Kireçtaşı-marn- kilitaşı ardışığı; ince-orta-yer yer kalın katmanlı, boşluklu-gözenekli, onkoidal,killi kireçtaşı,marn, kireçli kilitaşı,kilitaşı arakat-kılı mikritik kireçtaşı egemen; bol Mactra vb.makrofosilli
						Bakırköy	~ 200		Kumlu,milli kil; kum-kil aralanmalı düzeye başlar,istifin alt kesimlerinde mil-kum, üst kesimlerde ise kil-kireç oranı yüksektir; Bakırköy ve Çukurçesme üyeleriyle geçişlidir.
	Orta-Üst Oligosen - Alt Miyosen	Sannuaziyen-Stampiyen	Danışmen	Pınarhisar	Çantaköy	~ 100		Çakıl,kum; kuvars, kuvarsit,çakmaktaşı,vulkanit, serpantin, radyolarit, gabro kökenli yuvarlanmış, zayıf boylanmış,tutturulmamış çakıl-kum, omurgalı kemiği ve silisleşmiş ağaç parçaları kapsamakta	
					Gülpınar	~ 50		Kömür-kil arakatlı kum,çakıl; tekne ve kama tipi çapraz katmanlı,dereceli,orta boylanmalı,çakıl mercekli kaba kum boyu gereç egemen; kil ve kömür (linyit) ardışıklı aradüzeyleri kapsamakta	
					Ağaçlı	~ 50		Kilitaşı-şeyil (kumtaşı ve miltası arakatlı); ince-orta katmanlı, yarılgan, mil-ince kum laminalı;seyrek olarak, ince kömürlü aradüzey ve <i>Congeria</i> 'lı beyaz kireçtaşı arakatmanlarını kapsar.	
					Süloğlu	~ 40		Tüf-tüffit; Gülpınar Üyesi'nin şeyilleri içinde 8-10 m kalınlıkta arakatlılar oluşturmaktadır	
	Orta Eosen - Oligosen	Kırklareli Gurubu	Ceylan	Soğucak	~ 40		Çakıllı, kumlu kireçtaşı; beyaz-kremrengi, orta katmanlı, oolitli, onkolitli, bol makrofosil kavkılı, algli kireçtaşı ve çakıllı kireçtaşı egemen; üst kesiminde kumtaşı,kumlu kireçtaşı, şeyil arakatlı; ; bol <i>Congeria</i> sp.,Gastropod,alg kapsamakta;		
					~ 1000		Marn-killi kireçtaşı-kireçli kilitaşı ardışığı; orta ve düzgün katmanlı,dışbükey yada içbükey kırık yüzeyli; değişik düzeylerinde şist,kuvars,kuvarsit çakıllı ve kil-kireç çimentolu çakıllı kireçtaşı,değişen oranda kumtaşı ve biyoklastik kireçtaşı-kalkarenit arakatlı; bentonik foraminiferli, algli ;orta ve alt kesimlerinde riolititik tüf aradüzeylerini kapsamakta		
					~ 300		Resifal kireçtaşı; resif çekirdeği, resif önü, resif gerisi ortamlarını betimleyen kireçtaşlarından oluşur		
					Max ~100		Çakıllıtaşı, kumtaşı, kilitaşı,kireçtaşı,marn; gevşek kireç-kil çimentolu kumtaşı, killi-kumlu-çakıllı kireçtaşı, kalkarenit, kireçli kilitaşı,marn;ince kömür arakatlı şeyil ve miltası aradüzeyli; altta gevşek tutturulmuş kum mercceklerini kapsar		

ÖLÇEKSİZ

ÖLÇEKSİZ

Şekil 3.2 : İnceleme alanı içerisinde yüzeylenen birimlere ait stratigrafik dikme kesiti (Özgül ve diğ., 2005).

3.2 Marmaray Projesi Yenikapı-Yedikule Tünelleri Güzergahının Jeolojisi

Proje alanında geçerli yeraltı koşulları ve jeolojik durum, güzergah boyunca yapılan araştırma sondajları yardımıyla ortaya çıkarılmıştır. Tünel güzergahı boyunca istasyonları da kapsayacak şekilde toplam 36 adet sondaj yapılmıştır. Şekil 3.4'te araştırma sondajlarının korelasyonundan elde edilen güzergah jeoloji kesiti verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi tünellerin kum, kil ve kireçtaşlarından oluşan Miyosen yaşlı istif içerisinde açıldığı anlaşılmaktadır. Bu birimlerin ve tünel seviyesinin üzerinde ise kalınlığı yer yer 10 m'yi bulan yapay dolgular yer almaktadır.

Proje alanının jeolojisi güzergah boyunca yapılan sondajlar yardımıyla öngörülme çalışılmıştır. Güzergah üzerinde yapılan sondajlar sonucunda daha önceden belirtildiği gibi proje alanı boyunca gözlenen Çekmece Formasyonu üyeleri sırasıyla; Çukurçeşme Üyesi, Güngören Üyesi ve Bakırköy Üyesi'dir ve bu birimlerin tabanında ise Trakya Formasyonu'na ait kumtaşı-silttaşı ve kilaşı aralanması bulunmaktadır.

Bu birimleri temsil eden kayaçların kesildiği sondajların farklı derinliklerinden alınan karot sandıkların görüntüleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.5, Şekil 3.6). BH75-1 nolu sondajda Bakırköy Üyesi'ne ait birimlerin gözlemlendiği seviyeler Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : BH75-1 nolu sondajda ait 1 nolu karot sandığı.

Şekil 3.5'te gösterilen BH75-4 nolu sondajda karşılaşılan kumlu seviyelerin Çukurçeşme Üyesi'ne ait olduğu düşünülmektedir. İlerleme boyu 6 m gözükmesine rağmen yaklaşık 1 m'lik numune alınabilmiştir. Kohezyonsuz olan kumların sondaj sirkülasyon sıvısıyla yıkandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.5 : BH75-4 nolu sondaja ait 1 nolu karot sandığı.

Bunun dışında BH75-4 ve BH75-1 nolu kuyulara ait yukarıdaki resimlerdeki sırasıyla ilk 6 ve 4 m'de karşılaşılan heterojen malzemeler yapay dolgunun bulunduğu bir göstergesidir.



Şekil 3.6 : BH75-3 nolu sondajda gözlenen killi seviyelerden bir örnek.

Yapılan sondajlar sonucunda Şekil 3.6'da gözlenen killi birimlerin proje alanında geniş bir yayılım gösterdiği bilinmektedir. Renkleri birbirinden farklı olan bu iki kil birimin Güngören Üyesi'ne ait olduğu belirlenmiştir. Yer yer koyu renkli olan bu birimin organik madde açısından zengin olan tabakalar da içeriyor olabileceği düşünülmektedir.

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Mühendislik Jeolojisi çalışmaları yapılan sondaj çalışmalarına dayanmaktadır. Bu çalışmalar başlıca arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri olmak üzere iki ana başlık altında ilerleyen bölümlerde detaylı olarak bahsedilecektir.

4.1 Yeraltı Araştırmaları

Yeraltı araştırmaları kabaca mekanik sondaj, jeofizik sondaj ve araştırma çukurları olarak üçe ayrılmaktadır. Mevcut veriler ışığında mekanik sondajlar ve jeofizik sondajların proje alanı içerisinde farklı lokasyonlarda yapıldığı bilinmektedir. Bu sondajlara ait bilgiler aşağıdaki başlık altında verilmiştir.

4.1.1 Mekanik sondajlar

Proje kapsamında çeşitli firmalar tarafından toplam 36 adet olmak üzere yaklaşık 1156 m derinliğinde mekanik sondaj çalışması yapılmıştır. Bu sondajlara ait sondaj loglarının bir kısmı ve ilişkili veriler sırasıyla EK-A ve aşağıdaki Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Proje kapsamında yapılan sondajların özet listesi.

Sondaj No		Koordinatlar		Kot (m)	Derinlik (m)
		N	E		
OYO Sondajları	BH75-1	4540847,668	410122,509	3,96	25,0
	BH75-2	4541042,700	410212,325	3,86	30,0
	BH75-3	4541283,545	410307,169	4,30	37,0
	BH75-4	4541364,417	410373,939	3,54	37,0
	BH75-5	4541422,451	410453,291	4,29	37,0
	BH75-6	4541460,355	410528,376	4,12	37,0
STFA Temel Araştırma Sondajları	BH120	4540554,78	409621,27	10,72	20,45
	BH121	4540604,10	409711,99	11,45	22,45
	BH121A	4540643,68	409784,54	12,05	23,50
	BH122	4540699,74	409885,32	11,15	22,39
	BH122A	4540756,59	409947,99	11,20	23,40
	BH123	4540993,50	410109,66	7,96	69,14
	BH123A	4541088,37	410143,37	8,95	28,45
	BH124	4541291,65	410204,25	5,70	28,20
	BH125	4541518,46	410521,02	9,80	34,45
	BH126	4541547,14	410698,78	3,40	64,00
	BH126A	4541591,479	410748,815	9,31	30,45

Çizelge 4.1 (Devam) : Proje kapsamında yapılan sondajların özet listesi.

	Sondaj No	Koordinatlar		Kot (m)	Derinlik (m)
		N	E		
STFA Temel Araştırma Sondajları	BH127	4541672,33	411084,40	6,49	29,95
	BH128	4541711,53	411268,07	5,01	40,05
	BH129	4541727,81	411320,07	4,85	38,50
	BH129A	4541756,66	411343,70	2,69	34,00
	BH130	4541720,21	411405,04	2,65	32,50
	BH130A	4541764,854	411460,761	4,25	45,80
	BH131	4541806,23	411445,13	3,72	29,00
	BH131A	4541745,82	411438,77	3,93	35,50
	BH131B	4541791,88	411535,28	2,37	26,00
	BH132	4541822,09	411644,52	3,08	29,00
GEOS Sondajları	S3A	4541749,60	411355,36	2,86	28,00
	S3B	4541770,06	411509,76	2,89	24,90
	S1	4541321,54	410343,07	3,84	27,05
	SK1-A	4541435,96	410478,34	4,18	30,45
	S2	4541501,58	410605,44	4,21	28,50
	S3	4541608,08	410827,12	9,05	30,05
	S4	4541620,64	410899,24	8,76	28,55
	S5	4541656,08	411039,75	7,13	25,55
	S6	4541767,29	411409,50	3,48	23,00
	SK7	4541737,85	411363,64	3,10	32,00
	SK7A	4541747,72	411399,33	2,69	32,00
	SK7B	4541757,81	411438,68	3,72	32,00
	SK7C	4541795,10	411564,25	2,39	22,50
	SK7	4541737,85	411363,64	3,10	32,00

4.1.2 Jeofizik sondajlar

Jeofizik sondaj çalışmaları kapsamında STFA Temel Araştırma Firması tarafından iki farklı lokasyonda PS Logging çalışması yapılmıştır. BH123 ve BH126 sondajlarında yapılan çalışmalara ait veriler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.2 : BH123 Sondajında yapılan PS Logging sonuçları.

Derinlik (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Derinlik (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1,0	185,2	392,2	34,0	241,0	1666,7
2,0	194,2	526,3	35,0	263,2	1538,5
3,0	204,1	540,5	36,0	285,7	1666,7
4,0	210,5	769,2	37,0	327,9	1666,7
5,0	229,5	166,7	38,0	317,5	1666,7
6,0	202,0	1666,7	39,0	270,3	1666,7
7,0	222,2	1538,5	40,0	312,5	1666,7
8,0	250,0	1538,5	41,0	392,2	1538,5
9,0	232,6	1666,7	42,0	249,1	1538,5
10,0	253,2	1666,7	43,0	298,5	1666,7
11,0	250,0	1666,7	44,0	298,5	1538,5
12,0	232,6	1666,7	45,0	263,2	1538,5
13,0	227,3	1666,7	46,0	281,7	1538,5
14,0	253,2	1538,5	47,0	327,9	1538,5
15,0	246,9	1666,7	48,0	363,6	1666,7
16,0	259,7	1666,7	49,0	465,1	1470,6
17,0	266,7	1538,5	50,0	476,2	1666,7

Çizelge 4.2 (Devam) : BH123 Sondajında yapılan PS Logging sonuçları.

Derinlik (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Derinlik (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
18,0	285,7	1666,7	51,0	476,2	1538,5
19,0	274,0	1666,7	52,0	487,8	1428,6
20,0	307,7	1666,7	53,0	512,8	1333,3
21,0	317,5	1666,7	54,0	465,1	1388,9
22,0	333,3	1666,7	55,0	476,6	1666,7
23,0	363,6	1538,5	56,0	526,3	1666,7
24,0	370,4	1538,5	57,0	526,3	1666,7
25,0	256,4	1666,7	58,0	500,0	1666,7
26,0	212,8	1333,3	59,0	500,0	1666,7
27,0	263,2	1666,7	60,0	540,5	1111,1
28,0	327,9	1538,5	61,0	487,8	1000,0
29,0	285,7	1666,7	62,0	540,5	1052,6
30,0	298,5	1666,7	63,0	500,0	952,4
31,0	246,9	1538,5	64,0	487,8	909,1
32,0	246,9	1666,7	64,5	486,2	909,1
33,0	250,0	1666,7			

Çizelge 4.3 : BH126 Sondajında yapılan PS Logging sonuçları.

Depth (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Depth (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1,0	325,2	793,7	31,0	373,8	781,3
2,0	310,1	574,7	32,0	160,4	714,3
3,0	312,5	606,1	33,0	370,4	806,5
4,0	219,8	480,8	34,0	416,7	793,7
5,0	227,3	769,2	35,0	412,4	909,1
6,0	292,0	156,5	36,0	404,0	847,5
7,0	425,5	1428,6	37,0	439,6	833,3
8,0	465,1	1538,5	38,0	434,8	819,7
9,0	425,5	1666,7	39,0	476,2	943,4
10,0	381,0	1190,5	40,0	454,5	806,5
11,0	354,0	925,9	41,0	476,2	952,4
12,0	259,7	1612,9	42,0	571,4	1250,0
13,0	307,7	1538,5	43,0	519,5	877,2
14,0	250,0	1538,5	44,0	506,3	833,3
15,0	320,0	1162,8	45,0	512,8	847,5
16,0	294,1	1666,7	46,0	506,3	819,7
17,0	327,9	1538,5	47,0	439,6	980,4
18,0	400,0	1333,3	48,0	421,1	961,5
19,0	281,7	1538,5	49,0	540,5	980,4
20,0	363,6	869,6	50,0	360,4	925,9
21,0	396,0	892,9	51,0	634,9	2173,9
22,0	392,2	869,6	52,0	465,1	1515,2
23,0	370,4	952,4	53,0	512,8	1538,5
24,0	370,4	800,0	54,0	625,0	2000,0
25,0	392,2	877,2	55,0	833,3	2381,0
26,0	384,6	909,1	56,0	888,9	2381,0
27,0	357,1	1162,8	57,0	1052,6	2500,0
28,0	339,0	1250,0	58,0	1111,1	2500,0
29,0	370,4	1515,2	59,0	1333,3	3333,3
30,0	322,6	1538,5	59,5	1428,6	3333,3

4.2 Arazi Deneyleri

Proje alanında yapılan sondajlarda SPT, Geçirimlilik ve Pressiyometre deneyleri yapılmıştır. SPT sonuçlarının bir kısmı EK-A ve EK-B’de verilmiştir, Geçirimlilik ve Pressiyometre deney özetleri Çizelge 4.5 ve 4.10’da verilmiştir.

4.2.1 Geçirimlilik deneyleri

Geçirimlilik deneyleri Değişken ve Sabit Seviyeli Testler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu iki farklı başlık isminden de anlaşılacağı üzere yeraltı suyuna yapılacak takviye veya pompalama işlemi ile su seviyesinin sabit veya değişken halde tutularak yapılan deneylerdir.

4.2.1.1 Değişken seviyeli test

Değişken seviyeli testler, test seviyesinin YAS (yer altı suyu) seviyesinin altında olduğu durumlar da tercih edilmektedir. Değişken seviyeli testler, düşen seviyeli ve yükselen seviyeli testler olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Yükselen seviyeli testte, yeraltı suyu bir pompa yardımı ile düşürülür ve daha sonra yeraltı suyunun düşen bu seviyeyi doldurması beklenir. Bu deneyde yeraltı suyunun çekilmesi sebebiyle sondajdaki basınç seviyesinde bir düşüş meydana gelmektedir.

Düşen Seviyeli testler ise, düşük drenaj koşullarının söz konusu olduğu zeminlerde uygulanmaktadır. Bu deneyde piezometre borusu su ile doldurulur ve su seviyesinin zaman içerisindeki değişimi gözlenir. Her iki deneyde de belirli zaman aralıklarında yer altı su seviyesinde meydana gelen değişim temel alınmaktadır.

4.2.1.2 Sabit seviyeli test

Sabit seviyeli testlerde piyezometre kuyularına su eklenerek su seviyesi sabit tutulmaya çalışılır ve suyun akışı düzenli bir hal alana kadar takip edilir. Bazı durumlarda bu sabit seviyeyi yakalamak uzun zaman alabilmektedir. Test derinliğinin YAS seviyesinin üzerinde olduğu durumlarda ve taneli zeminlerin hakim olduğu koşullarda sabit seviyeli testler tercih edilmektedir.

4.2.1.3 Sonuçların değerlendirilmesi

Sabit seviyeli test

$$k = \frac{q}{FH_c} \text{ (zaman süresi değerlendirilmesi)} \quad (4.1)$$

Değişken seviyeli test

$$k = \frac{A}{FT} \quad (4.2)$$

$$K = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \text{Log}_e \frac{H_1}{H_2} \quad (4.3)$$

K = Geçirimlilik katsayısı

F = Su alma faktörü

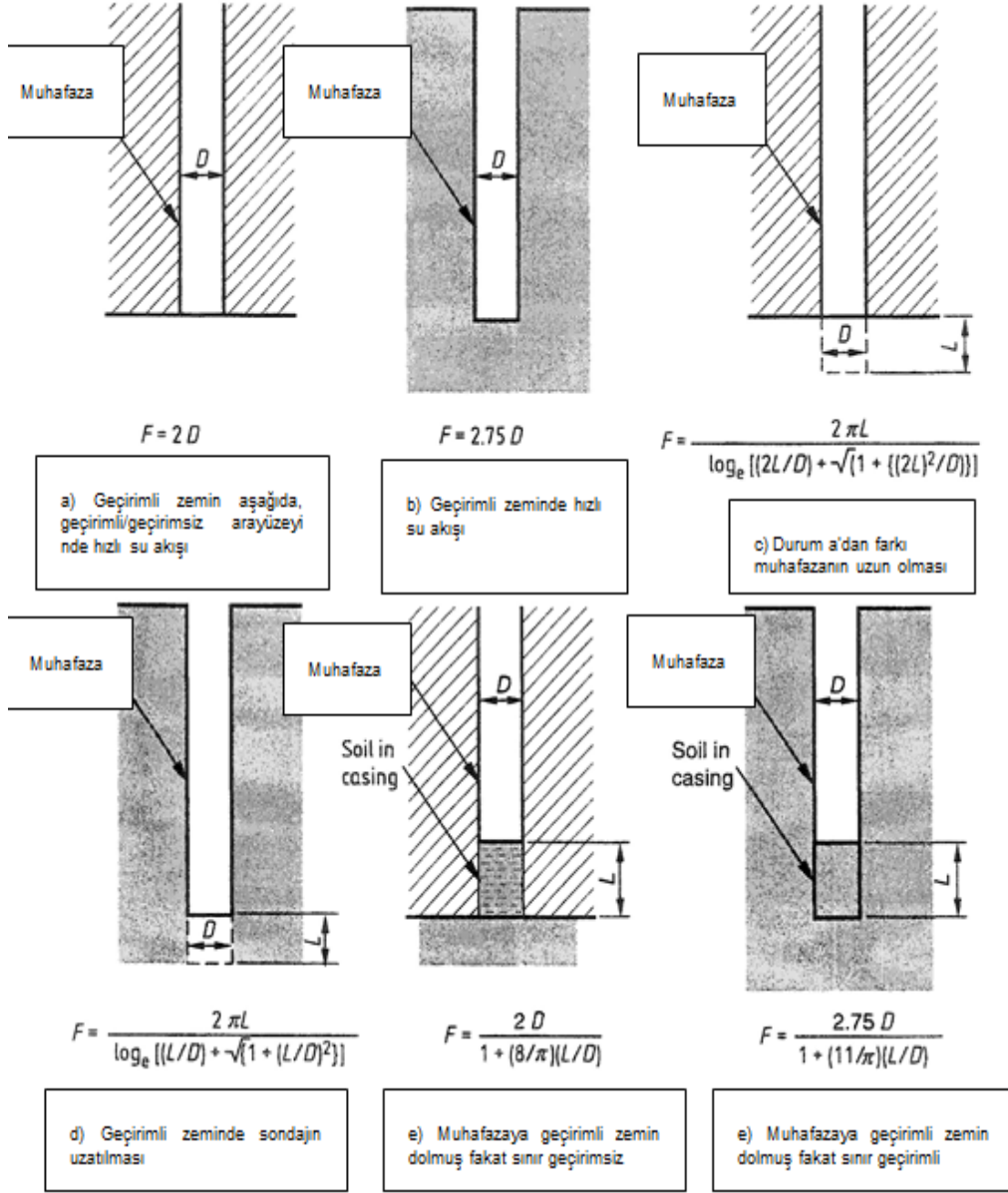
H₁ = t₁ anındaki su yükü

H₂ = t₂ anındaki su yükü

A = Sondaj muhafazasının veya piyezometre borusunun kesit alanı

Geçirimlilik deneyleri farklı firmalarca gerçekleştirilmiş olup deneylerin özet değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Deneylerin yapılışı ve sonuçların hesaplanması aşağıda kısaca anlatılmıştır. Deney sırasında BH75-2 (derinlik 15,1 m), BH75-3 (derinlik 15,0 m) ve BH75-4 (derinlik 1,0 m) sondajlarında belirtilen seviyelerde “Kum Akması” durumu ile karşılaşıldığı data raporunda belirtilmiştir (Nakazawa, 2009).

Şekil 4-1’de gösterilen farklı durumlar için farklı su almak faktörü (F) hesaplamaları önerilmiştir (BS 5930:1999). İlgili denklemler Şekil 4.1 ve yukarıda verilmiştir.



Şekil 4.1 : Sondaj geçirimsizlik testleri: Su alma faktörünün (F-Intake factor) belirlenmesi (BS 5930: 1999).

- (a) Geçirimli zemin aşağıda, geçirimli/geçirimsiz arayüzeyinde hızlı su akışı
- (b) Uniform geçirimli zemin
- (c) Durum A'dakinden farkı sondajın daha uzun olması
- (d) Durum A'dan farkı muhafazanın kısa olması
- (e) Durum A'ya benzer fakar bir miktar geçirimli zemin dolmuş
- (f) Durum B'ye benzer, fakat bir miktar geçirimsiz zemin dolmuş

Yukarıda verilen eşitlikler ve yaklaşımlar ışığında hesaplamalar yapılmış ve sonuç olarak Çizelge 4.5'deki değerler geçirimsizlik katsayısı olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 : Kayaçların geçirimsizlik derecesine göre sınıflandırılması (Bell, 2007).

Sınıf	Geçirimsizlik	
	k (m/s)	Tanım
1	$> 10^{-2}$	Çok geçirimsiz
2	$10^{-2}-10^{-4}$	Geçirimsiz
3	$10^{-4}-10^{-5}$	Orta geçirimsiz
4	$10^{-5}-10^{-7}$	Az geçirimsiz
5	$10^{-7}-10^{-9}$	Çok az geçirimsiz
6	$< 10^{-9}$	Pratik olarak geçirimsiz

Çizelge 4.5 : Geçirimsizlik değerlerinin özeti.

Sondaj No	Sondaj Alt Seviyesi (m)	Muhafaza alt Seviyesi (m)	Su Seviyesi (m)	Geçirimsizlik k	
				(m/sec)	(cm/sec)
BH75/1	16.5m	16.5m	2.15m	6.27×10^{-5}	6.27×10^{-3}
BH75/2	13.4m	15.1m	4.10m	2.02×10^{-4}	2.02×10^{-2}
BH75/3	11.2m	11.2m	3.98m	8.99×10^{-6}	8.99×10^{-4}
BH75/3	14.88m	15.0m	3.80m	6.24×10^{-4}	6.24×10^{-2}
BH75/4	10.85m	11.0m	2.40m	6.29×10^{-5}	6.29×10^{-3}
BH75/5	11.4m	11.4m	3.05m	1.35×10^{-6}	1.35×10^{-4}
BH122	18.50	16.50	10.3	4.94×10^{-6}	4.94×10^{-4}
BH122A	18.00	16.50	10.20	1.91×10^{-5}	1.91×10^{-3}
BH123	26.00	20.00	4.25	Başarılı Değil	Başarılı Değil
BH123	65.00	54.00	8.85	Başarılı Değil	Başarılı Değil

Çizelge 4.4'deki sınıflandırma esas alındığında Çizelge 4.5'deki geçirimsizlik değerlerinin geçirimsiz-az geçirimsiz aralığında yer aldığı görülmektedir fakat tünelin açımı sırasında meydana gelecek örselenmenin de geçirimsizlik değerlerini arttıracak göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur.

4.2.2 Standart penetrasyon deneyi (SPT)

4.2.2.1 Deneyin yapılışı

Deney, kabaca şahmerdan adı verilen 63,5 kg ağırlığındaki bir cismin 760 mm yükseklikten tijin üzerine serbest olarak bırakılması sonucu, deneye özgü örnek alıcının (çarık) zemine çakılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Temizlenen kuyu tabanında örnek alıcı 3 aşamada toplam 450 mm çakılmaktadır. Örnek alıcının son 300 mm'lik seviyesine karşılık gelen darbe sayıları yapılan deney aralığını, SPT darbe sayısını, temsil etmektedir bu sayı N_{30} olarak kısaca ifade edilmektedir. Eğer 150 mm'lik penetrasyon sırasında darbe sayısı 50 üzerinde ise veya ilk 10 darbeye bir ilerleme kaydedilemiyorsa deney sonlandırılır. Sonlandıran deney sırasında ilerleme kaydedilmiş ise (ilk bahsedilen durum) darbe sayısı ile yapılan ilerleme kayıt edilir.



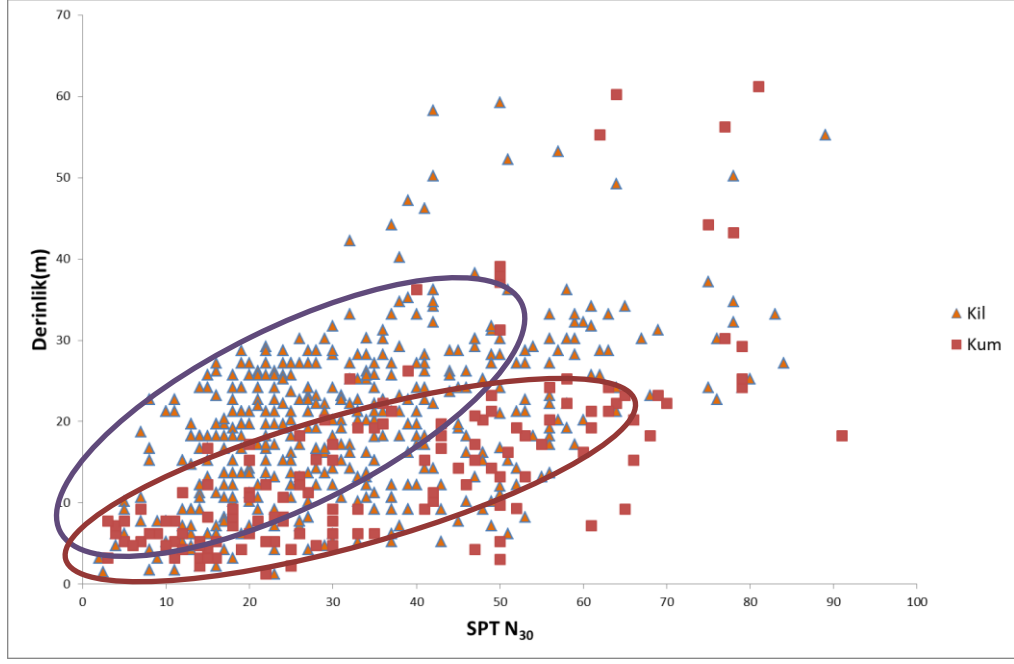
Şekil 4.2 : Standart Penetrasyon Deneyinin uygulanışı ve örnek alıcı (Nakazawa, 2009).

4.2.2.2 Avantajlar ve sınırlamalar

Deneyin çakıl, kum, silt, kil içeren çakıl ve/veya kum ve zayıf kaya gibi yeterli kalitede örneğin alınamadığı birimlerdeki zemin koşulları için yararlı bir yol gösterici olması büyük bir avantajdır. Bunun dışında çok siltli ve/veya kumlu kil birimlerde örselenmemiş numunenin kalitesi açısından şüpheli durumun varlığı sebebiyle, bahsedilen bu birimlerde SPT ile örnekleme ve dayanımın belirlenmesi alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan, örselenmenin kabul edilebilir limitin üzerinde olması durumunda SPT yerine plaka deneyi dayanımın tayini açısından kullanılmaktadır.

4.2.2.3 SPT değerlerinin değerlendirilmesi

Ağırlıklı olarak kil ve kum olan seviyelerde yapılan SPT N_{30} (düzeltilmemiş son 30 cm'lik mesafede elde edilen darbe sayısı) değerleri karşılık geldiği derinlikleriyle birlikte Şekil 4-3'de görülmektedir. Dağılımlara bakıldığında derinliğe bağlı N_{30} darbe sayılarında her iki litoloji için ayrı bir doğrusallık gözlenmektedir. Tane boyutu açısından kum ağırlıklı olan birimlerde yapılan SPT'lere ait değerler ve karşılık geldiği değerler aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.



Şekil 4.3 : Kil ve kum birimlerine ait SPT N30 – Derinlik dağılımı.

SPT deneyi sonucunda elde edilen N30 değeri Tij, İç gömlek, Çap, Enerji ve Efektif örtü yükü gibi düzeltmeler uygulanmaktadır. Bu düzeltmelerde kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$N_{60} = E_r \times C_\phi \times C_i \times C_t \times N \quad (4.4)$$

E_r : Enerji Düzeltmesi – Donut Tipi şahmerdan için 45/60 olarak alınır.

C_ϕ : Kuyu çapı düzeltmesi;

C_i : İç gömlek düzeltmesi;

C_t : Tij uzunluğu düzeltmesi

$$(N1)_{60} = C_n \times N_{60} = \sqrt{(98 \div \sigma'_{ef})} \times N_{60} \quad (\text{Lio ve diğ., 1986}) \quad (4.5)$$

Çizelge 4.6 : Tij uzunluğu düzeltmesinde kullanılan değerler (Youd ve diğ., 1997).

Tij Boyu (m)	Düzeltilme Değeri
>10	1
6-10	0,95
4-6	0,85
3-4	0,8
<3	0,75

Çizelge 4.7 : İç gömlek düzeltmesi değerleri (Youd ve diğ., 1997).

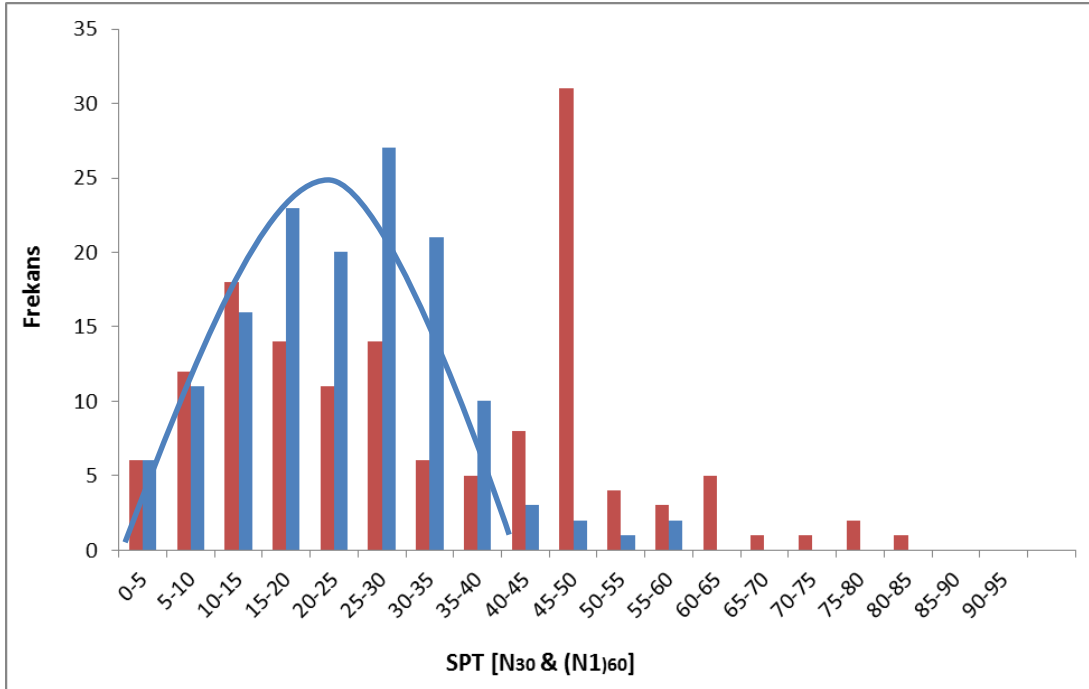
İç gömlek mevcut	1
İç gömlek mevcut değil	1,2

Çizelge 4.8 : Kuyu çapı düzeltmesi (Youd ve diğ., 1997).

Kuyu Çapı (mm)	Düzeltilme Değeri
200	1,15
150	1,05
115-65	1,00

SPT değerleri sıvılaşma potansiyeli gibi değerlendirmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kum, killi siltli kum gibi birimlerde elde edilen SPT değerleri ile bunların karşılık geldiği seviyeler topluca EK-B’de verilmiştir.

EK-B’de verilen SPT değerlerinin 5 birim aralıklarla frekans dağılımına bakıldığında değer sıklığının 50-55 aralığına doğru artış gösterdiği görülür (Şekil 4.4). SPT deney verileri bir sonraki Sıvılaşma Analizi başlığı altında değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4 : SPT N₃₀ ve (N₁)₆₀ darbe sayılarına ait histogram.

Eldeki sondaj loglarından edinilen SPT değerleri ve düzeltilmiş SPT değerlerinin bir histogramın altında genel dağılımları yukarıdaki Şekil 4.4’te görülmektedir. Kırmızı olan değerler düzeltme yapılmamış, maviler is düzeltilmiş değerleri temsil etmektedir. Genel olarak düzeltilmiş SPT değerlerine bakıldığında değerlerin çoğunlukla 15-35 aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Histogramda, düzeltilmiş SPT değerlerinin “normal” dağılım gösterdiği açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.9 : Düzeltilmiş (N1)60 değerlerine ait istatistiksel parametreler.

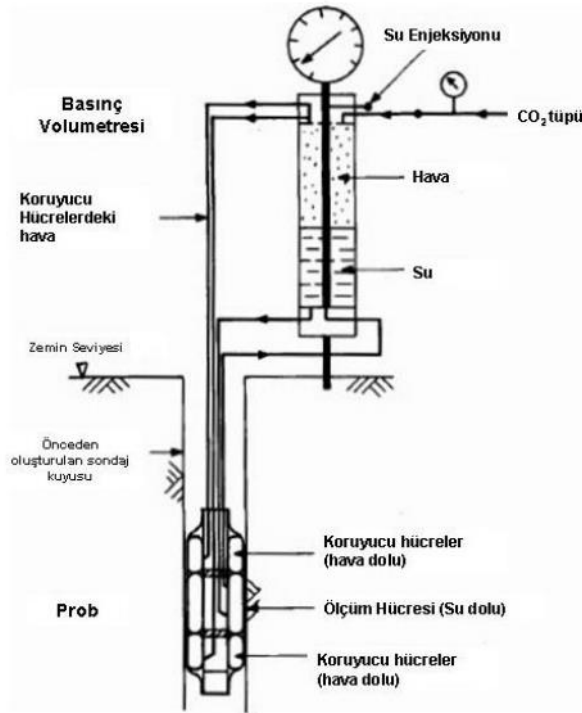
Standart sapma (ss)	Ortalama	Min. Değer	Max. Değer	Örnek Sayısı	Güven aralığı (%95)	
					Alt değer	Üst değer
11	24	3	58	143	22	25

4.2.3 Pressiyometre deneyi

Pressiyometre deneyi, genellikle yumuşak zeminlerde ve elastisite modülü 200.000 kg/cm²'ye kadar olan kayalarda uygulanmakta olup mekanik özelliklerden biri olan Elastisite Modülünün yerinde belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Deneyin kabaca uygulanışı, deney aleti istenilen seviyedeki kuyu cidarına radyal basınçlar uygulaması ve bu basınçların oluşturduğu deformasyonlar ile deformasyonlara karşılık gelen hacim-basınç değişimleri kaydedilmesinden ibarettir. Bu değerler ile oluşturulan grafiğin değerlendirilmesiyle de elastisite modülüne ulaşılır.

Cihaz kabaca üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Yerüstü ölçme kısmı (üç farklı sayaç mevcuttur)
- Prob (üç farklı hücreden oluşmaktadır, ortadaki hücre ölçümü yapmaktadır bkz. Şekil 4.5)
- Basıncı ileten borular

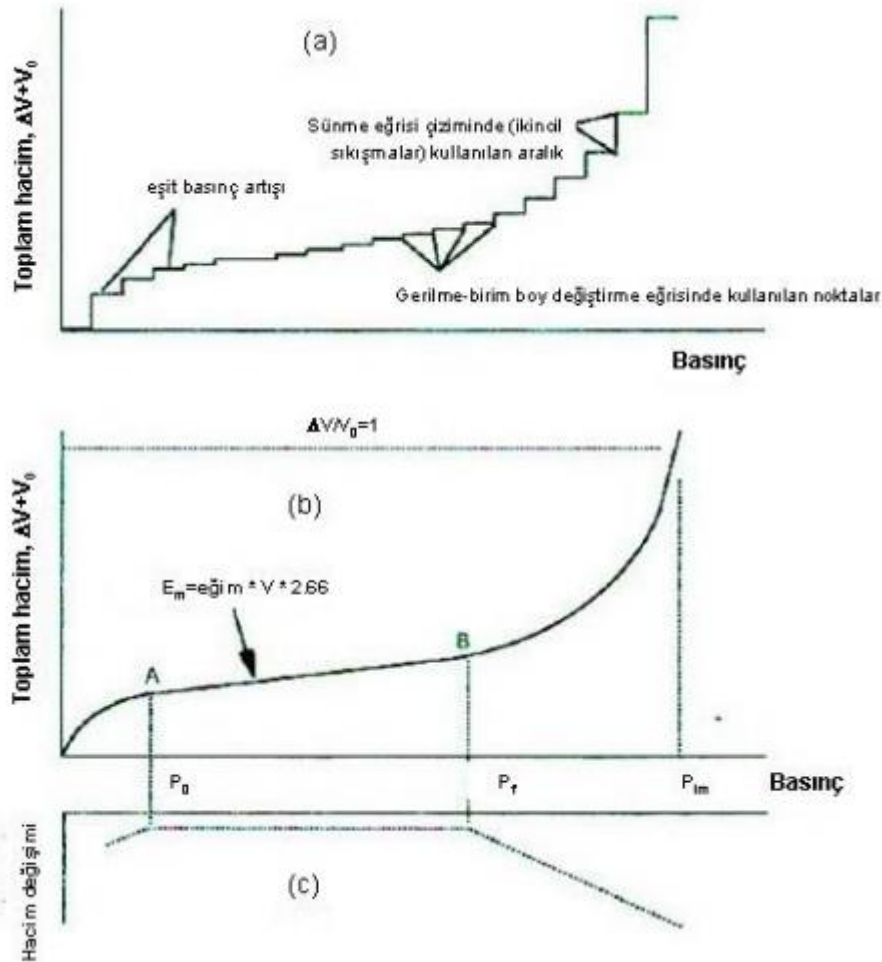


Şekil 4.5 : Menard tipi pressiyometrenin tipik bir kesit görünümü (Başhan, 2010).



Şekil 4.6 : Deney için hazırlanmış prob (Başhan, 2010).

Koruyucu hücreler sadece gazla, ölçüm hücresi ise gaz ve su ile doldurulmaktadır. Deneyler Menard tipi pressiometre ile yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.6 özetlenmiştir.



Şekil 4.7 : Menard tipi Pressiometre Deneyi a) kaydedilen veri; b) gerilme-birim deformasyon eğrisi; c) sünme/ikincil sıkışmalar eğrisi (Başhan, 2010).

$$Em = 2.66 \times (V_0 + V_m) \times (\Delta P / \Delta V) \quad (4.6)$$

V_0 : Probun ilk hacmi;

V_m : Pressiyometre eğrisinin doğrusal olduğu (AB) kesimindeki ortalama hacim;

ΔP : Basıncıdaki değişim;

ΔV : Hacimdeki değişim

Menard pressiyometresi E_m (Elastisite Modülü) hesaplamalarında yukarıdaki 4.6 nolu eşitlik kullanılmaktadır. Deney sonuçlarının özeti, aşağıda karşılık geldiği litolojiler ve N_{30} değerleriyle birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Yapılan Pressiyometre Deneyi özet çizelgesi.

Sondaj No	Sondaj Derinliği (m)	Test Derinliği (m)	E_m (kg/cm ²)	PL (kg/cm ²)	N_{30}	Litoloji
BH121A	23,50	14,5	101	12	50/7	Kil
		17,5	72	10	-	Kil
		20,5	63	12	30	Kil
BH123A	28,45	11,5	108	12	-	Kil
		17,0	522	17	20	Kum
		24,5	498	15	56	Kum
BH125	34,45	5,0	18	6	12	Kil
		10,0	70	12	-	Kum
		15,0	18	9	66	Kum
		20,0	14	4	30	Kil
		25,0	61	8	48	Kil
		29,5	140	12	54	Kil
		33,5	73	11	56	Kil
BH127	29,95	5,0	6	3,5	13	Kil
		10,0	8	5	64	Kil
		14,5	21	6	18	Marn
		19,5	108	7	-	Kil
		23,0	66	8	18	Kil
		28,5	41	8	44	Kil

4.3 Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri farklı tarihlerde farklı firmalarca yapılmıştır. Zemin örneklerinin mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacı ile örselenmiş ve örselenmemiş örneklerde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin bir kısmı örnek olarak aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 4.11 : Zemin örneklerinde yapılan Kıvam Limitleri, su içeriği ve birim hacim ağırlık deneyleri.

Sondaj No	Fm.	Derinlik		Atterberg limit			W _n	γ _n	γ _s
				LL	PL	PI			
		(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
BH75-1	Güngören	9,00	9,40	37	21	16	22,2	1,82	2,67
		12,00	12,45	48	20	28			
		15,00	15,45	62	21	41			
		21,00	21,45	NP	NP	NP			
BH75-2	Güngören	6,00	6,36	57	16	41	49,3	1,46	
		9,00	9,40	92	26	66	41,3	1,74	2,68
		13,50	13,80	47	18	29	42,3	1,71	2,66
		21,00	21,45	72	25	47			
		24,00	24,45	75	23	52			
BH75-3	Güngören	16,50	16,95	80	26	54	28,9		2,65
		19,50	19,95	74	22	52			
		24,00	24,45	73	22	51			
BH75-4	Güngören	16,50	16,95	111	27	84	40,1	1,64	2,57
		21,00	21,45	66	22	44			
		25,50	25,95	58	18	40			
BH75-5	Güngören	13,50	13,95	67	22	45			
		16,50	16,95	86	25	61	34,3	1,79	2,68
		19,50	19,95	73	23	50			
		24,00	24,45	62	22	40			
		28,50	28,95	58	19	39			
BH75-6	Yapay Dolgu	1,50	1,95	36	21	15			
	Güngören	3,50	4,00	21	12	9			
		4,50	4,95	39	14	25			
		7,50	7,95	78	23	55			
		1,00	12,20	87	25	62	46,4	1,69	2,66
		16,50	16,74	74	22	52	51,8	1,61	
		19,50	19,95	41	12	29			
		22,50	22,95	75	23	52			
		27,00	27,45	66	22	44			

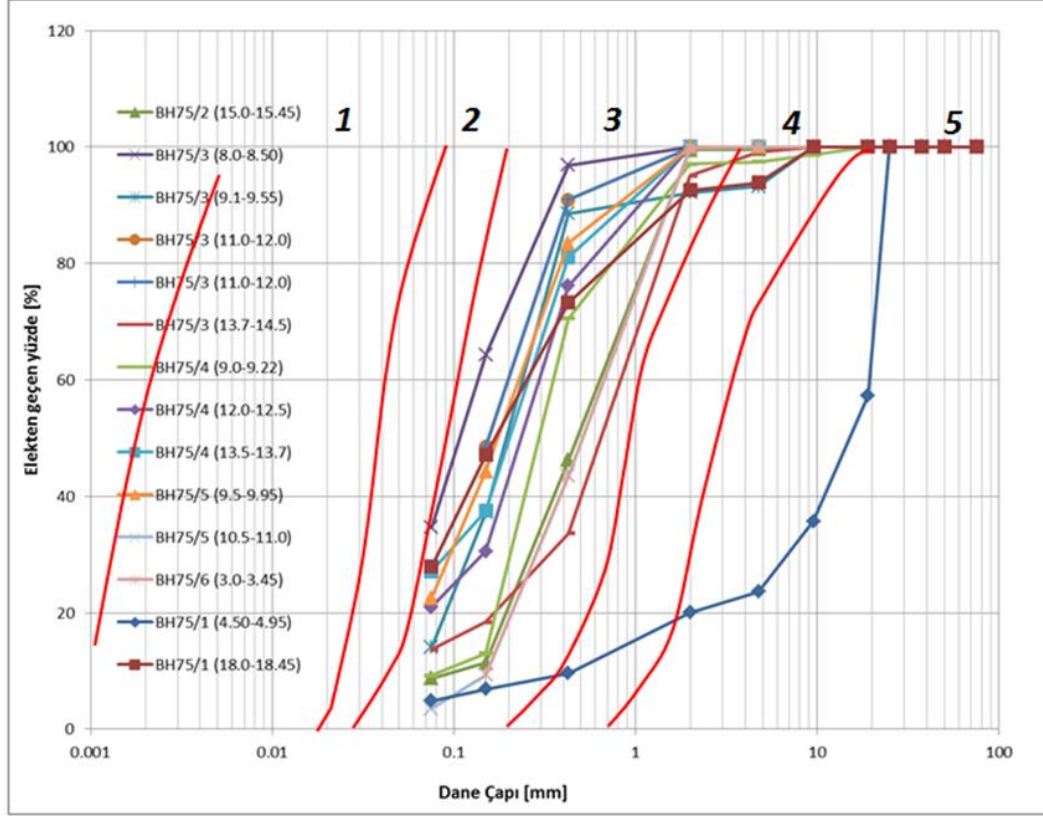
Çizelge 4.12 : Elek analizi ve hidrometre deneyi sonuçları.

Sondaj No	Fm.	Derinlik		Elek analizi: geçen %				Hidrometre	
				+4 Çakıl	+10 Kaba Kum	+40 Orta Kum	+200 İnce Kum	#200 0.005 mm Silt	<0,005 mm Kil
		(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
BH75-1	Yapay Dolgu	3,00	3,45	40,79	1,26	25,24	15,84	16,87	
	Bakırköy	4,50	4,95	76,36	3,57	10,45	4,75	4,87	
	Güngören	9,00	9,40	0	0	0	0,04	62,9	37,06
		15,00	15,45	0	0	5,52	6,19	88,29	
		18,00	18,45	6,14	1,29	19,28	45,35	27,94	

Çizelge 4.12 (devam) : Elek analizi ve hidrometre deneyi sonuçları.

Sondaj No	Fm.	Derinlik	Elek analizi: geçen %				Hidrometre	
			+4 Çakıl	+10 Kaba Kum	+40 Orta Kum	+200 İnce Kum	#200 0.005 mm Silt	<0.005 mm Kil
		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
BH75-2	Yapay Dolgu	3,00	3,46	52,53	11,0	25,07	7,34	4,06
		6,00	6,36	0	0	0	0,04	99,96
	Güngören	9,00 9,40	0	0	0,20	1,48	31, 7	67,05
		13,50 13,80	0	0	1,20	11,16	67,71	19,93
		15,00 15,45	0,42	0,10	53,22	37,48	8,78	
		21,00 21,45		0,18			13,08	86,74
BH75-3	Yapay Dolgu	3,00 3,45	13,16	6,39	21,74	16,73		41,98
		8,00 8,50	0	0	3,10	62,23		34,67
	Güngören	9,10 9,55	6,81	1,01	3,59	74,52		14,07
		11,00 12,00	0	0,15	8,94	70,35		20,56
		13,70 14,50	0,88	4,04	61,43	19,99		13,66
		16,50 16,95	0	0,96	50,56	0,58	14,67	33,23
		19,50 19,95		0			15,81	83,53
BH75-4	Kuşdili	6,00 7,50	1,36	6,88	21,12	38,8		31,84
		9,00 9,22	2,54	0,37	26,51	61,35		9,23
	Güngören	12,00 12,50	0	0	23,87	55,11		21,02
		13,50 13,70	0	0	18,95	53,89		27,16
		16,50 16,95	0	0	0	0,04	12,41	87,55
		21,00 21,45		2,1			21,79	76,11
BH75-5	Yapay Dolgu	3,00 3,45	6,96	4,24	15,57	57,45		15,78
		4,50 4,95	15,43	3,82	27,16	43,65		9,94
	Kuşdili	7,50 7,95	2,05	1,6	8,35	19,94		68,06
		9,50 9,95	0	0	16,51	60,92		22,57
	Güngören	10,50 11,00	0	0,2	56,3	39,96		3,54
		13,50 13,95		6,38			13,07	80,55
		16,50 16,95		0,04			26,16	73,8
		17,00 17,50	7,45	1,11	3,19	3,13		85,12
		24,00 24,45		9,7			11,62	78,68
BH75-6	Yapay Dolgu	1,50 1,95	0	0	86,32	9,73		3,95
		3,00 3,45	6,10	2,91	7,50	64,47		19,02
	Güngören	3,50 4,00	4,20	3,60	8,66	20,08	36,40	27,02
		4,50 4,95	9,82	1,62	11,20	13,86	36,74	26,76
		7,50 7,95	0	0	1,61	0,26		7,725
		12,00 12,20	0	0,16	0,06	0,08	11,96	87,74
		16,50 16,74	0	0	0,16	0,50	23,66	75,69
		22,50 22,95		1,02			25,39	73,59

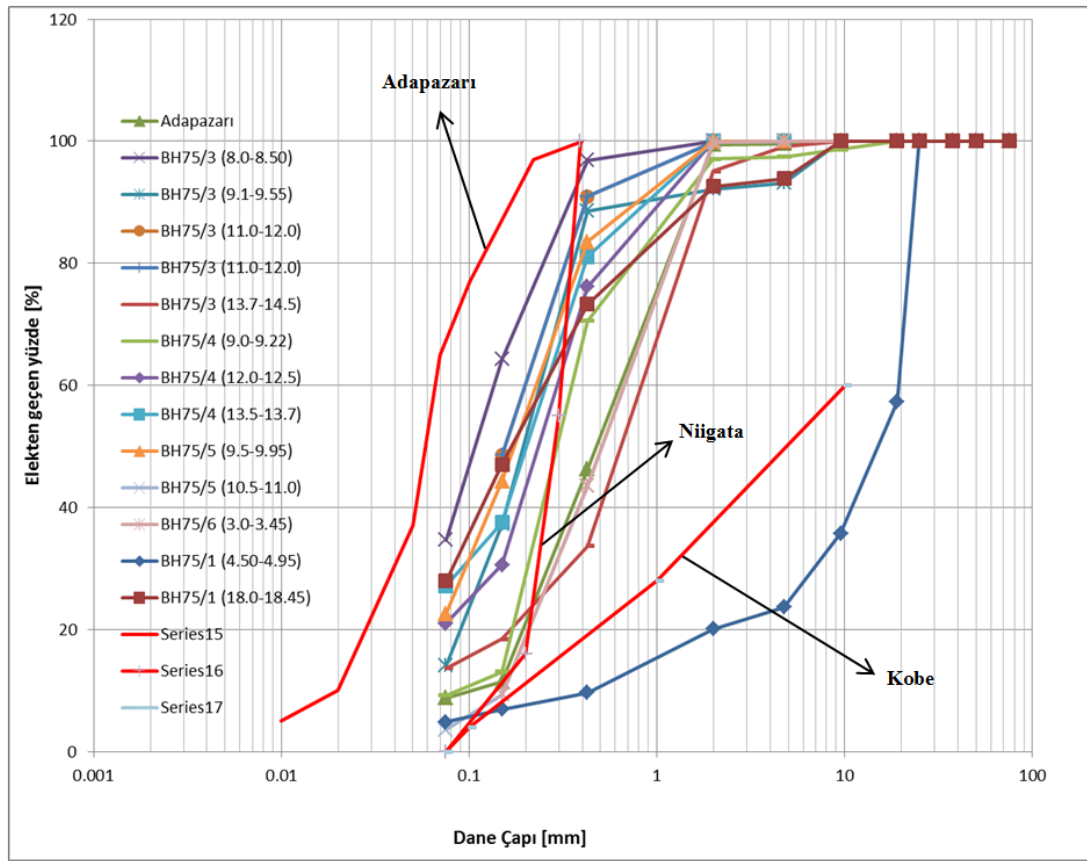
Mevcut elek analizi sonuçları Çizelge 4.12’de özet olarak verilmiştir. Deney sonuçları esas alınarak dane çapı değerleri %50 ve üstü olan örneklerin genel dane boyu dağılımları Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 : Dane çapı ile enjeksiyon tipi arasındaki ilişki ve dane boyu dağılımları (Tsuchiya ve diğ., 2010).

1. Compacting grouting–Kompaksiyon enjeksiyonu
Fracture grouting–Çatlak enjeksiyonu
Jet grouting–Jet enjeksiyonu
2. Resin–Reçine
3. Chemical injection (silicate)–Kimyasal enjeksiyon (silikat)
4. Injection with micro cement–Mikro çimentolu enjeksiyon
5. Injection with cement–Çimentolu enjeksiyon

Şekil 4.8’deki grafik esas alındığında numunelere ait dane boyu dağılım grafiklerinin çoğunlukla “kimyasal enjeksiyon” ve “reçine” aralığında kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.9 : Bazı depremler sırasında sıvılaşmanın meydana geldiği ortamların dane boy dağılımları ve inceleme alanındaki numunelerin dane boy dağılımı (Çetin ve diğ., 2002).

4.4 Hidrojeolojik Durum

Güzergah üzerinde yapılan araştırma sondajlarına ait yeraltı suyu seviyeleri Çizelge 4.13’de verilmiştir. Bu veriler ışığında yeraltı suyu konturları Surfer 9,0 programı kullanılarak çizilmiştir. Yeraltı suyu kot ve akımlarını gösteren harita Şekil 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Güzergah araştırma sondajlarının koordinatları, kotları ve derinlikleri ile bu sondajlarda ölçülen yeraltı su seviyeleri (YAS).

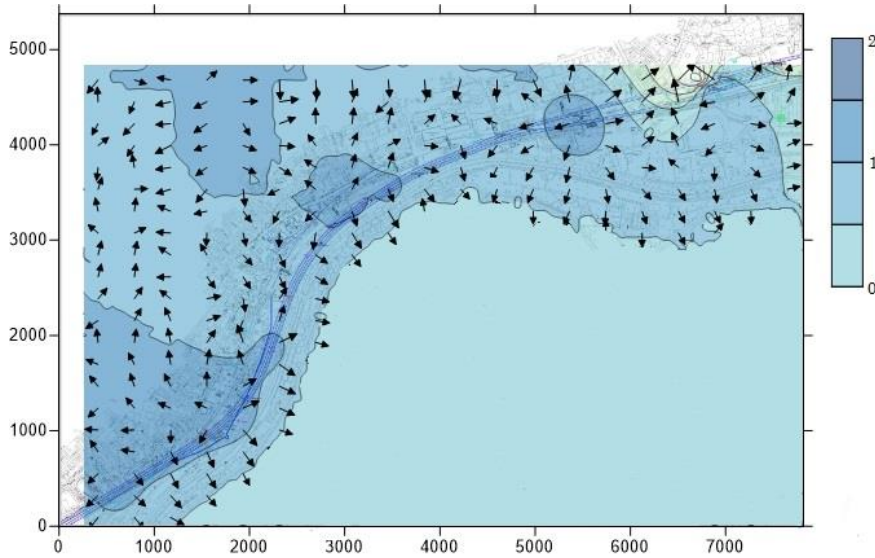
	Sondaj No	Koordinatlar		Kot (m) Z	Derinlik (m)	YAS (m)
		N	E			
OYO Sondajları	BH75-1	4540847,668	410122,509	3,96	25,0	2,05
	BH75-2	4541042,700	410212,325	3,86	30,0	2,11
	BH75-3	4541283,545	410307,169	4,30	37,0	3,92
	BH75-4	4541364,417	410373,939	3,54	37,0	2,45
	BH75-5	4541422,451	410453,291	4,29	37,0	3,04
	BH75-6	4541460,355	410528,376	4,12	37,0	2,36

Çizelge 4.13 (devam) : Güzergah araştırma sondajlarının koordinatları, kotları ve derinlikleri ile bu sondajlarda ölçülen yeraltı su seviyeleri (YAS).

	Sondaj No	Koordinatlar		Kot (m)	Derinlik (m)	YAS (m)
		N	E	Z		
GEOS Sondajları	BH121	4540604,10	409711,99	11,45	22,45	10,90
	BH121A	4540643,68	409784,54	12,05	23,50	10,68
	BH122	4540699,74	409885,32	11,15	22,39	10,00
	BH122A	4540756,59	409947,99	11,20	23,40	9,78
	BH123A	4541088,37	410143,37	8,95	28,45	8,85
	BH125	4541518,46	410521,02	9,80	34,45	9,10
	S3A	4541749,60	411355,36	2,86	28,00	7,50
	S3B	4541770,06	411509,76	2,89	24,90	3,60
	S1	4541321,54	410343,07	3,84	27,05	3,50
GEOS Sondajları	SK1-A	4541435,96	410478,34	4,18	30,45	3,40
	S2	4541501,58	410605,44	4,21	28,50	3,70
	S3	4541608,08	410827,12	9,05	30,05	8,40
	S4	4541620,64	410899,24	8,76	28,55	8,07
	S5	4541656,08	411039,75	7,13	25,55	5,30
	S6	4541767,29	411409,50	3,48	23,00	3,45
	SK7	4541737,85	411363,64	3,10	32,00	3,00
	SK7A	4541747,72	411399,33	2,69	32,00	2,55
	SK7B	4541757,81	411438,68	3,72	32,00	3,70
	SK7C	4541795,10	411564,25	2,39	22,50	3,70

4.4.1 Hidrojeolojik model

Şekil 4.10’da da görüleceği üzere yeraltı suyu hareketi çoğunlukla deniz tarafına doğrudur. SK7C ve S3A sondajlarında yeraltı suyu seviyesinin deniz seviyesinin altında olması sebebiyle, bu iki farklı noktada suyun hareketi deniz tarafının aksine iç kısma doğru yönelmiştir. Yeraltı suyu seviyesi verileri güzergah boyunca olup, güzergahın deniz tarafındaki akım vektörleri dikkate alınmalıdır. Güzergahın kuzey kesimindeki vektörler veri noksanlığı sebebiyle gerçeği yansıtmamaktadır.



Şekil 4.10 : Yeraltı suyu seviyesi ve akım yönü değişimleri.

Bu iki sondajın kordinat okumalarında meydana gelebilecek hatalar sebebiyle de su seviyesinin deniz seviyesi altında gözükmüş olabileceği göz önünde bulundurulması gereken bir ihtimaldir. Genel olarak bakıldığında ise su seviyesinin son derece sığ olduğu görülmektedir. Suyu doygun karmaşık zemin koşullarında yapılacak tünel faaliyetleri sırasında su patlaması, kum akması vb. gibi problemleri de beraberinde getireceği önceki çalışmalardan edinilen tecrübeler ile sabittir. Projede bu durum ile ilgili yaşanan zorluklar sonraki bölümlerde irdelenmiştir.

4.4.2 Yeraltı suyunun kimyasal özellikleri

Proje alanı içerisinde alınan su örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Çizelge 4.14 : Alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (Ağaoğlu ve diğ, 2005).

Sample Number	PARAMETERS			
	pH	COD	Chloride	Suphate
	-	mg/l	mg/l	mg/l
121 A	6,55	2370	105	60
122 A	7,00	305	195	190
129	7,05	160	140	150
131	6,90	620	635	115
136	6,85	1960	235	80
138	7,10	560	620	260
154 A	7,30	90	245	295
157A	6,90	185	2785	300
176	7,30	80	75	165
180	7,25	80	165	270
143	8,00	2820	1510	195
163	7,20	80	175	410
170	11,60	420	205	140
146 E	7,20	285	140	190
108	6,75	165	770	330
114	6,95	50	305	385
140	6,80	50	235	185
141	7,00	1310	505	180
144 B	7,15	45	40	30
144 A	7,00	30	940	590
132	7,38	410	660	165
133	7,52	510	410	170
161	7,26	100	135	330
156 C	6,00	475	190	405
167	6,07	345	75	205
173	9,18	420	185	350
169	5,36	185	70	70
117	7,20	3840	62	105
120	6,90	345	272	128
125	7,40	500	450	168
165 A	7,60	125	126	150
148 A	11,60	420	590	177
140 B	7,10	180	134	124
127	7,10	765	330	225
146 C	7,00	845	302	515
123 A	7,00	335	1033	175

Asagidaki çizelgelerde , korozif ve kabuklandiran agresif sularda çözülmüş halde bulunan klor, Ph ve sülfat değer aralıkları verilmiştir.

Çizelge 4.15 : Korozif ve kabuklandiran suların özellikleri (Hunt, 2005).

Korozif su	Kabukladiran su
PH değeri < 7	PH değeri > 7
Çözülmüş oksijen 2ppm'den fazla olması	Toplam Demir (Fe) 2 ppm'den fazla olması
Hidrojen sülfid (H ₂ S) 1 ppm'den fazla olması, çürümüş yumurta kokusu ile belirlenir	Toplam manganez (Mn) değeri 1 ppm'den fazla olması yüksek PH ve oksijen varlığı ile birlikte
Toplam çözülmüş katılar 1000 ppm'den fazla olması elektrik akımını iletkenliği elektrik korozyonuna neden olmaktadır	Toplam karbonat sertliği 300 ppm'den fazla olması
Karbon dioksit (CO ₂) 50 ppm'den fazla olması	
Klor'ün 500 ppm'den fazla olması	

Çizelge 4.16 : Sülfat tuzlarının betondaki etkisi (Hunt, 2005).

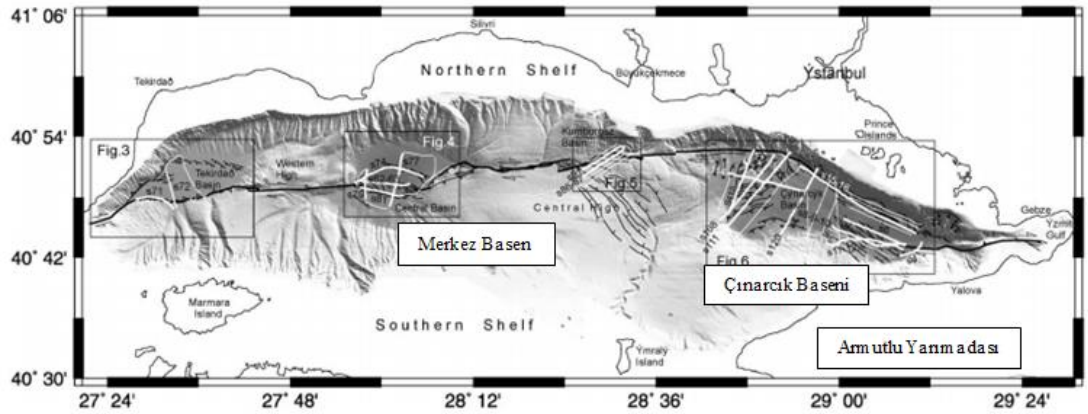
Agresiflik derecesi	Su örneklerinde sülfat miktarı (mg/L)
İhmal edilebilir	0-150
Pozitif	150-1000
Önemli	1000-2000
Şiddetli	>2000

Kimyasal analiz sonuçları esas alındığında örneklerdeki çözülmüş klor oranlarının çoğunlukla 30-500 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. Çizelge 4.15'deki sınıflandırma esas alındığında ise bunların bir kısmının 500 ppm (mg/l) olduğu ve korozif özellikte olduğu gözlenmiştir. Örneklerdeki sülfat değerleri 30-590 mg/l aralığındadır. Bu değerlerin bir kısmı Çizelge 4.16'daki sınıflandırma esas alındığında "Pozitif" olduğu görülmektedir. Çizelge 4.15'deki COD ve klor değerlerinin kısa mesafeler arasında oldukça değişken olması ancak civardaki kanalizasyon şebekelerinden kaynaklanan muhtemel kaçakların yer altı suyuna karışmış olma durumu ile açıklanabilir.

4.5 Depremsellik

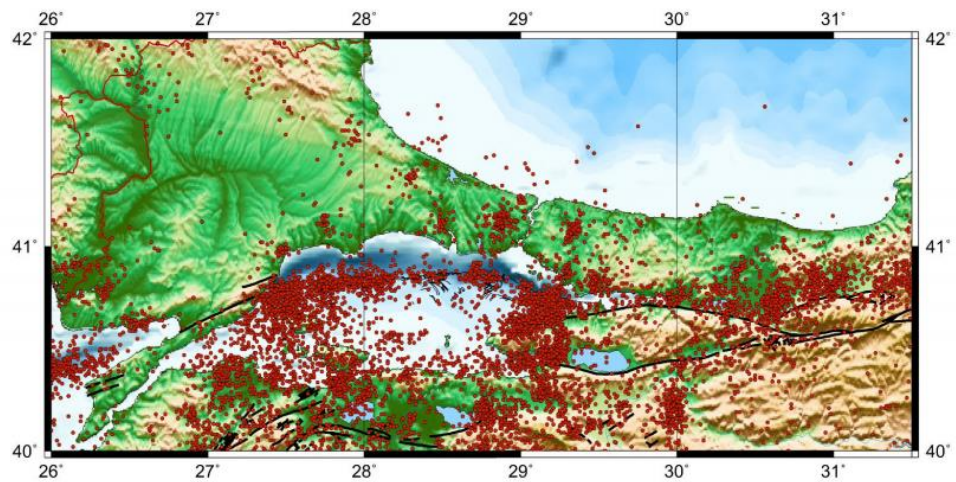
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Marmara Bölgesi'ne girdikten sonra üç kola ayrılmaktadır. Bunlar; Kuzey Kolu, Orta Kol ve Güney Kolu'dur. Kuzey Kolu Sapanca, Gölcük, Çınarcık istikametini takip ederek deniz altından Saroz Körfezi'ne kadar uzanmaktadır (Utkucu ve diğ., 2011'de atıfta bulunulduğu gibi). Proje alanı Kuzey Anadolu Fayının Kuzey Kolu'na yakın olması sebebiyle depremsellik

açısından riskli bir bölgede yer almaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara Denizindeki konumu Şekil 4.11'de görülmektedir.

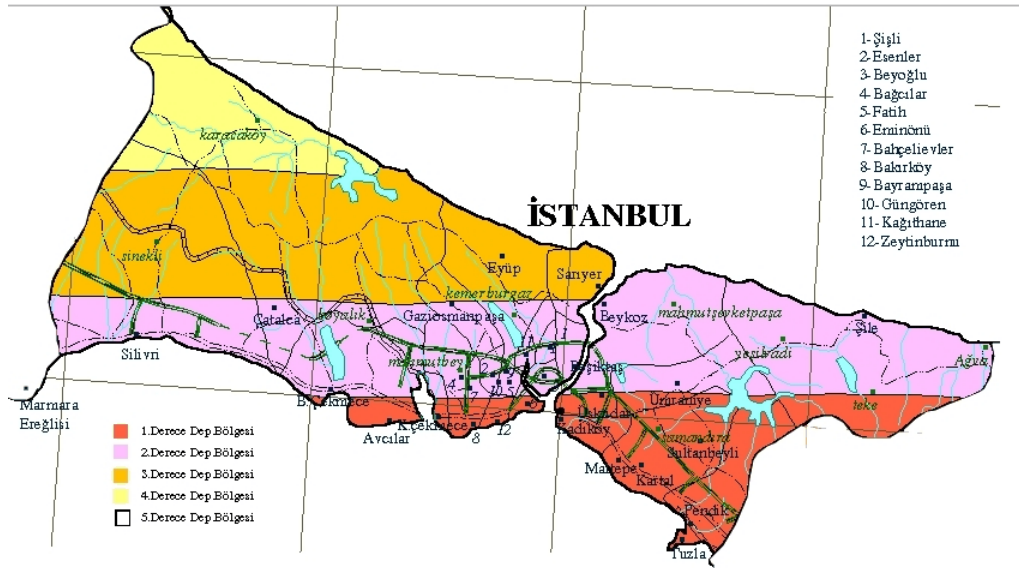


Şekil 4.11 : Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisinden geçen kısmının genel görünümü (Demirbağ ve diğ., 2002).

Kuzey Anadolu Fayı Kuzey Kolu, yaklaşık olarak 180 km uzunluktadır. Bu kol doğı (Doğı Marmara Fayı) ve batı (Batı Marmara Fayı) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğı Marmara Fayı 70 km uzunlukta olmakla birlikte yaklaşık 115-135 yıl periyodunda kırılma göstermektedir, buna ilaveten Batı Marmara Fayı 110 km uzunlukta olup 250 yıllık periyotlarla kırılma gsterdiğı çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir. Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisinde yaklaşık olarak 2,3 mm/yıl'lık bir hızda (Polat, 2001'de atıfta bulunulduğı gibi) hareket ettiğı hesaplanmıştır.



Şekil 4.12 : 2000-2011 yılları arasında Marmara Bölgesi'nde meydana gelen depremlerin dağılımı (Kalafat, 2011).



Şekil 4.13 : İstanbul için deprem risk haritası (Url-4).

Kırılan fayın boyu ile meydana gelecek deprem büyüklüğü Wells (1994) tarafından ilişkilendirilmiş ve aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir;

$$M_w = 5,16 + 1,12 \times (\log L) \quad (4.7)$$

Bu bağıntıya göre KAF'ın Marmara Denizi içinde bulunan fayların üreteceği muhtemel deprem büyüklükleri iki farklı kol için hesaplanmıştır. Hesaplamalara ait sonuçlar aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

Çizelge 4.17 : Marmara denizi içinde bulunan fayların üreteceği muhtemel deprem büyüklükleri (Polat, 2001).

Öngörülen Deprem Kaynağı	L	M _w
Doğu Marmara Fayı (DMF)	70	7,2
Batı Marmara Fayı (BMF)	110	7,4
İki fayın birlikte kırılması (DMF+BMF)	180	7,7

Yukarıda verilen verilerin ışığında proje alanında yapılan değerlendirmelerde deprem büyüklüğü $M_w=7,5$ esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Diğer yandan sismik analiz raporlarında proje alanı için yapılan hesaplamalarda maksimum ivme değerleri (a_{max}) 0,49 ile 0,54 aralığında olduğu belirtilmiştir (Çetin, 2005). Yapılan sivilaşma analizlerinde yer ivmesi değerleri (a_{max}) 0,49 ve 0,54 alınarak iki farklı değer için Güvenlik Sayısı değerleri hesaplanmıştır (EK-B).

5. TÜNELDE KARŞILAŞILAN JEOTEKNİK PROBLEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sıvılaşma, kabaca depremin yarattığı ani makaslama kuvvetlerinin sebep olduğu gerilim sonucu kohezyonsuz suya doymuş zeminlerde su basıncının ani artmasıyla tanelerin birbirlerine uyguladığı kuvveti yenmesi ve böylece zeminin bir akışkan gibi davranması şeklinde açıklanabilir. Deprem burada tetikleyici bir faktör olmakla birlikte depremin dışında çeşitli faktörlerin de (yeraltı suyundaki ani değişiklikler, yapay aktiviteler vs.) tetikleyici olabildiği literatürde yeralan çeşitli kaynaklarda vurgulanmaktadır. Bu durum ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Sıvılaşmayı işaret edebilecek sahadaki ipuçları genellikle kaynayan kumlar, zeminde meydana gelen fisürler ve yanıl yayılma gibi zemin davranışlarıdır. Güzerğah boyunca yapılan geçirimsizlik deneyleri sırasında kohezyonsuz seviyelerde meydana gelen kum kaynamaları data raporunda ve föylerde belirtilmiştir. Bu durum sıvılaşma koşullarının proje güzergahı boyunca bazı kesimlerde mevcut olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir. İlk olarak, Nigata depremi sonucunda sıvılaşmanın farkına varılmıştır. Daha önceden binalarda meydana gelen hasarın yapısal kaynaklı olarak düşünüen uzmanlar bu olaydan sonra zemindeki farklı bir durumdan dolayı bu hasarların meydana geldiğinin farkına vardılar. Sıvılaşma yerüstü yapılarının dışında yeraltı yapılarını da etkileyen bir olaydır. Daha önceden bahsedildiği gibi deprem dışındaki tetikleyici faktörlerin de sıvılaşabilir zeminleri harekete geçirdiği bilinmektedir. Şekil 5.1'deki fotoğraf bunun bir örneği olarak gösterilebilir. Bakü civarında açılan bir atıksu tüneli kazısı sırasında doymuş kohezyonsuz birimlerin sıvı gibi hareket ederek tünelin içerisini doldurmuştur. Literatürde bu ve benzeri olaylar sıvılaşma veya kum akması olarak tanımlanmıştır. İlerideki başlıkta da değeriendirilecek olan bu durumun bir benzeri Yenikapı-Yedikule Tünelleri'nin kazısı sırasında yaşandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.1 : Baküde açılmakta olan bir atıksu tüneline meydana gelen sıvılaşma/kum akması olayı.

Mevcut literatür araştırmaları ışığında birçok Sıvılaşma Potansiyeli değerlendirme yöntemi bulunduğu bilinmektedir. Bu değerlendirmelerin bir kısmı mevcut güzergah için yapılmıştır. Bunun yanında, bu bölümde bu çalışmaların bir benzeri güzergah için ele alınacaktır. Ek olarak, mevcut veriler ve raporlar esas alınarak yapılan çeşitli nümerik yaklaşımlar da bu başlık altında verilecektir.

5.1 Ampirik Yaklaşımlar ve Olasılıksal Değerlendirme

Bu başlık altında ampiriksel yaklaşım ve bu yaklaşımlardan türetilen olasılıksal değerlendirmeler ele alınacaktır. Farklı literatür araştırmaları sonucunda derlenen ve uygulanan ampirik yaklaşımlar aşağıdaki başlık altında detaylı olarak ele alınacaktır.

5.1.1 Ampiriksel yaklaşım

Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi SPT, CPT ve Vs verileri esas alınarak yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılacak olan değerlendirmeler mevcut veri zenginliği sebebiyle SPT verileri üzerinden olacaktır.

5.1.1.1 Sıvılaşma potansiyelinin hesaplanması

Sıvılaşma potansiyeli CSR (cyclic stress ratio – tekrarlanmalı gerilme oranı) ve CRR (cyclic resistance ratio – tekrarlanmalı direnç oranı) isminde iki değişkenin birbirine oranı ile elde edilen bir ampirik yaklaşımdır.

Seed ve Idriss (1971) aşağıdaki eşitliği CSR hesabı için geliştirmiştir:

$$CSR = (\tau_{av} \div \sigma'_{v0}) = 0,65 \times (a_{max} \div g) \times (\sigma_{v0} \div \sigma'_{v0}) \times r_d \quad (5.1)$$

Burada; a_{max} deprem sırasında meydana gelen maksimum yatay ivme, g yerçekim ivmesi, σ_{v0} ve σ'_{v0} etkin ve efektif örtü yükü, r_d simgesi ise gerilim azaltma faktörünü temsil etmektedir.

Aşağıdaki eşitlikler r_d 'nin hesaplanması için farklı araştırmacılar tarafından derinliğe bağlı olarak geliştirilen çeşitli formülasyonlar verilmiştir:

$$r_d = 1.0 - 0.00765 \times z \quad z \leq 9.15m \quad \text{Lio \& Whitman (1986)} \quad (5.2)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \times z \quad 9.15 < z \leq 23m \quad \text{Lio \& Whitman (1986)} \quad (5.3)$$

$$r_d = 0.744 - 0.008 \times z \quad 23 < z \leq 30m \quad \text{Robertson \& Wride} \quad (5.4)$$

$$r_d = 0.5 \quad z > 30m \quad \text{William F. Marcuson} \quad (5.5)$$

r_d değerinin derinliğe bağlı değişimi Şekil 5.2'deki grafikte gösterilmiştir. r_d değeri zeminin rijidite değeri olarak da bilinmektedir, bununla birlikte değerin 1 olduğu koşulda zeminin rijid olduğu kabul edilir.

$$CRR_{7.5} = \frac{0.048 + (-0.004721 \times (N1)60 + 0.0006136 \times (N1)60^2 + (-1.673E-05) \times (N1)60^3)}{1 + (-0.1248) \times (N1)60 + 0.009578 \times (N1)60^2 + (-0.0003285) \times (N1)60^3 + (3.714E-06) \times (N1)60^4} \quad (5.6)$$

5.6 nolu eşitlik $(N1)60 < 30$ koşulu ile kullanılmaktadır. Bu koşula uymayan temiz kumların teorik olarak sıvılaşmayacağı kabul edilmektedir (Youd ve diğ., 1997). İnce tanelerin oluşturabileceği direnç sebebiyle SPT $(N1)60$ değerlerinde ince tane (İTO) düzeltilmesi yapılmaktadır. İTO elek analizi sonuçlarında #200 nolu eleğin altındaki tanelerin yüzdesidir.

$$(N1)60_{cs} = \alpha + \beta \times (N1)60 \quad (\text{Seed ve Idriss}) \quad (5.7)$$

$$\alpha = 0 \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (5.8)$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190 \div \dot{I}TO^2)] \quad \%5 < \dot{I}TO < 35 \quad (5.9)$$

$$\alpha = 5.0 \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (5.10)$$

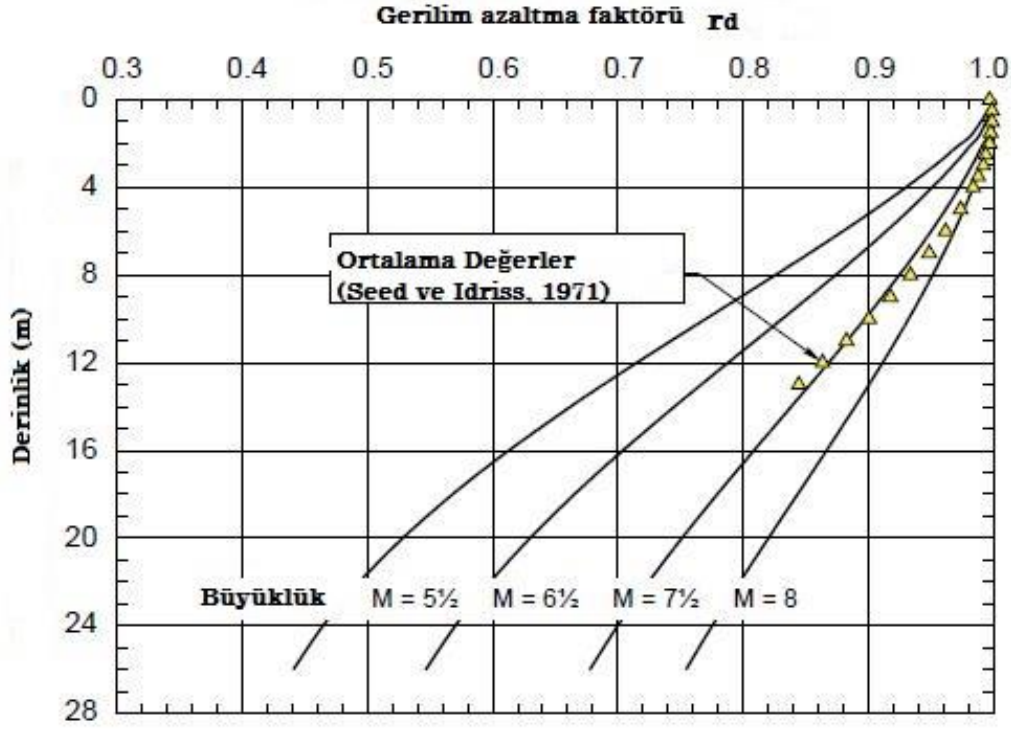
$$\beta = 1.0 \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (5.11)$$

$$\beta = [0.99 + (\dot{I}TO^{1.5} \div 1000)] \quad \%5 < \dot{I}TO < 35 \quad (5.12)$$

$$\alpha = 1.2 \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (5.13)$$

$CRR_{7.5}$ değeri 7.5 büyüklüğündeki deprem içindir, bu sebeble büyüklük ölçek faktörü (MSF-Magnitude Scaling Factor) adında bir düzeltme değeriyle büyüklük düzeltilmesi yapılmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından önerilen MSF değerleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli (FS) için geliştirilen formül aşağıda verilmiştir.

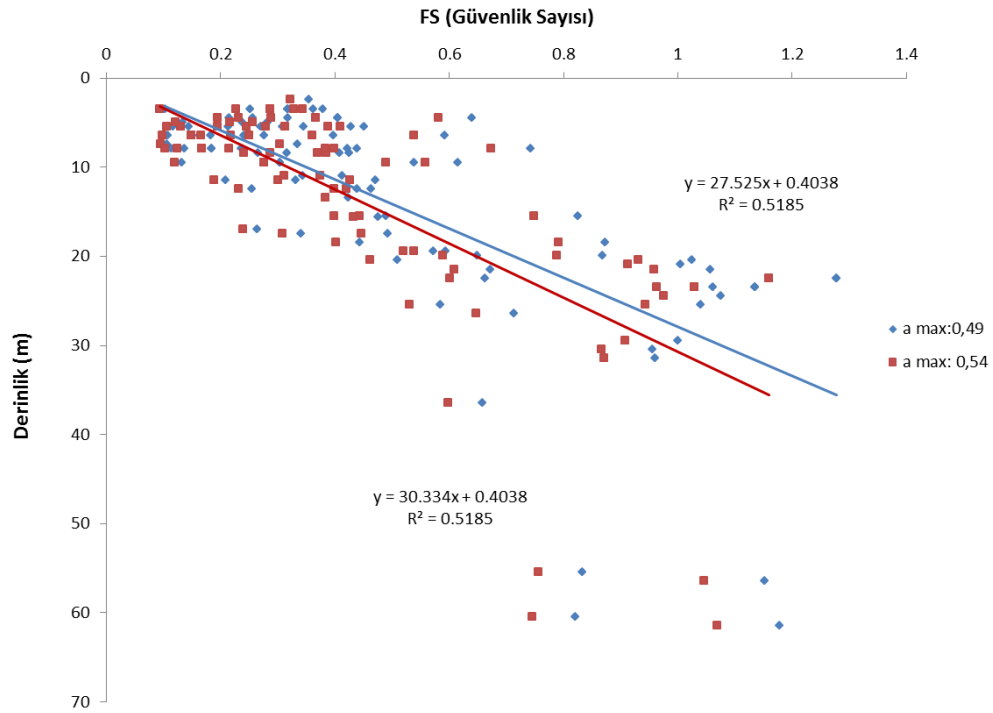
$$FS = (CRR_{7.5} \div CSR) \times MSF \quad (5.14)$$



Şekil 5.2 : Gerilim azaltma faktörünün derinlik ve deprem büyüklüğüne bağlı değişimi (Idriss, 1971).

Çizelge 5.1 : Farklı araştırmacılar tarafından önerilen MSF değerleri (Youd ve diğ., 1997).

Mag- nitude M	Seed and Idriss (1982)	Idriss	Ambraseys (1988)	Arango (1996)		Andrus and Stokoe (in press)	Youth and Noble		
							(in this report)		
							P _L <20%	P _L <32%	P _L <50%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
5,5	1,43	2,20	2,86	3,00	2,20	2,80	2,86	3,42	4,44
6,0	1,32	1,76	2,20	2,00	1,65	2,10	1,93	2,35	2,92
6,5	1,19	1,44	1,69	1,60	1,40	1,60	1,34	1,66	1,99
7,0	1,08	1,19	1,30	1,25	1,10	1,25	1,00	1,20	1,39
7,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00
8,0	0,94	0,84	0,67	0,75	0,85	0,80			
9,5	0,89	0,72	0,44			0,65			



Şekil 5.3 : Güvenlik sayısının derinliğe bağlı değişimi.

Şekil 5.3’de elde edilen güvenlik sayısının derinliğe bağlı değişimi gösterilmiştir. Dağılımlara genel olarak bakılacak olursa yaklaşık 20 m’nin üstündeki derinliklerde güvenlik sayısının 1,0 değerine yaklaştığı görülmektedir. Bu sebeble 25 m’nin üstündeki örtü kalınlığının bulunduğu yerlerde sıvılaşmanın beklenmeyeceği söylenebilir. Analiz sonuçları EK-B’de verilmiştir (Hesaplamalarda a:0,49 ve 0,54; Mw:7,5; MSF:1,0 durumu esas alınmıştır). Yer ivmesinin artması güvenlik sayısını düşürdüğü Şekil 5.3’de görülmektedir.

5.2 Sayısal Modelleme

Sayısal değerlendirmeler Phase^{2D} sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmıştır. Modelde bulunan malzemelere ait bazı mekanik ve fiziksel özellikler Çizelge 5.2’de özetlenmiştir. Diğer yandan kurulan modelin yakın ve genel görünümü Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de verilmiştir.

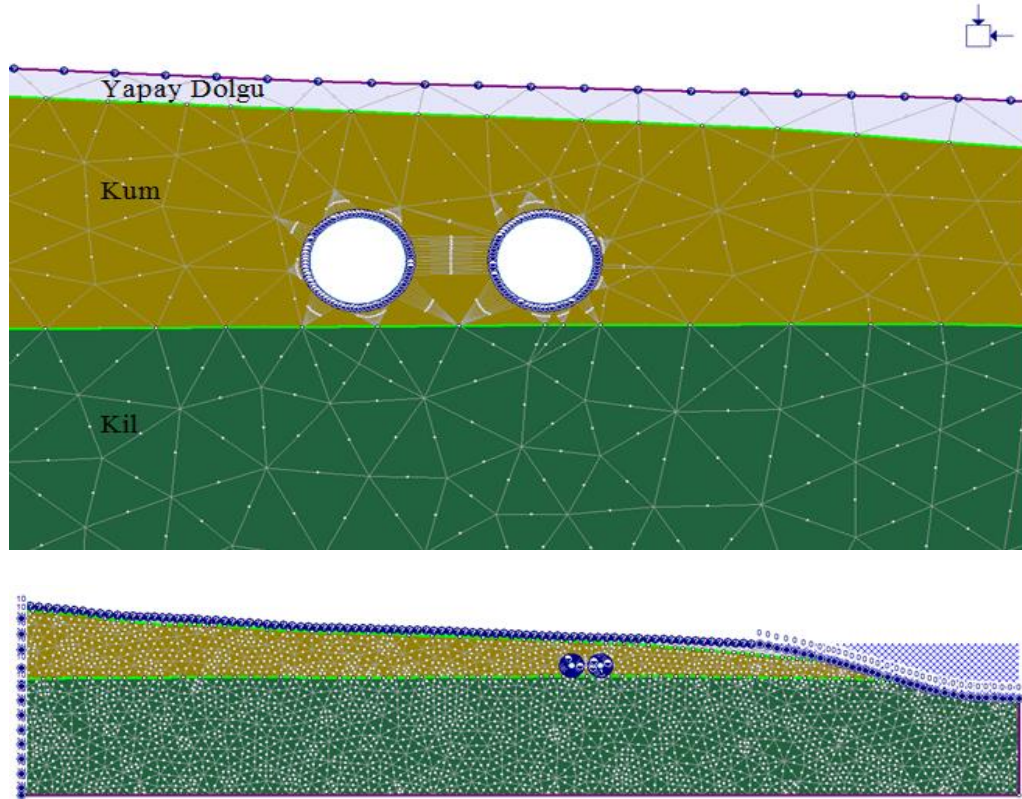
Çizelge 5.2 : Modelde kullanılan malzemelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri.

Malzeme Cinsi	Birim Hacim Ağırlık γ (kN/m ³)	Elastisite Modülü Em (Mpa)	Malzeme Tipi	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (°)	Kohezyon C (kPa)	Permeabilite Değeri 9k (m/s)
Dolgu	19	8	Plastik	35	10.5	0.001
Kil	20	20	Plastik	10	13	$8.95 \cdot 10^{-8}$
Kum	18	18	Plastik	35	0	$2.02 \cdot 10^{-4}$

Model alışmalar esas olarak “kum akması (quick sand)” terimi olarak adlandırılan ve proje alanının bir kısmında karşılaşıldığı dūřūnūlen durumu değerlendirmek amacı ile yapılmıştır. Buna ilaveten su gelişinin tahmini miktarı da değerlendirilmiştir.

şekil 5.4 ve şekil 5.5’de verilen sayısal modellerin sınır koşullarında aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

1. Kurulan nūmerik modelde altta geçirimsiz birimlerin olduđu ve tūnellerin geçirimli kum birimlerin içerisinde açıldıđı kurgulanarak serbest akifer rejimi hesaplamalarda esas alınmıřtır.
2. Modelde ortamın homojen ve izotrop olduğu kabul edilmiştir.
3. Jeolojik modelin kurgulanmasında sondaj ve laboratuvar verileri kullanılmıştır.
4. Tūnel kesitleri ve aralarındaki mesafe gerçek uygulama projesine göre geliřtirilmiřtir.
5. Modelin sađ ve sol sınırları arasında 10m’lik bir hidrolik yūk farkı alınmıştır. Bu değer İstanbul Būyūkřehir Belediyesi’nin mikrobölgeleme çalışması çerçevesinde hazırladığı YAS seviyesi baz alınmıştır.
6. Çizelge 5.2’de belirtilen model çalışmalarında kullanılmış olup, arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler esas alınarak belirlenmiştir.
7. Modelde tūnellerin eř zamanlı açıldığı varsayılmıştır.



Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 : Kurulan modelin yakın ve genel görünümü.

5.3 Kritik Hidrolik Eğim ve Kum Akması

Kum akması olayı suyun akışı sırasında oluşturduğu kuvvetin taneler arasındaki çekim kuvvetini yenmesiyle tanelerin birbirleri arasındaki temasının kesilmesi sonucu bir sıvı gibi hareket etmesi durumudur. Diğer bir deyişle hidrolik eğimin yüksek olduğu koşullarda meydana gelen su akışının bir sonucu olarak “Kum Akması” olayı meydana gelmektedir.

Kritik hidrolik eğim (i_c) efektif birim hacim ağırlığının (γ_b) suyun birim hacim ağırlığına (γ_w) oranı olarak tarif edilir. Efektif birim hacim ağırlığı genel olarak suyun birim hacim ağırlığına yakın olduğu çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir.

$$\gamma_b = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (5.15)$$

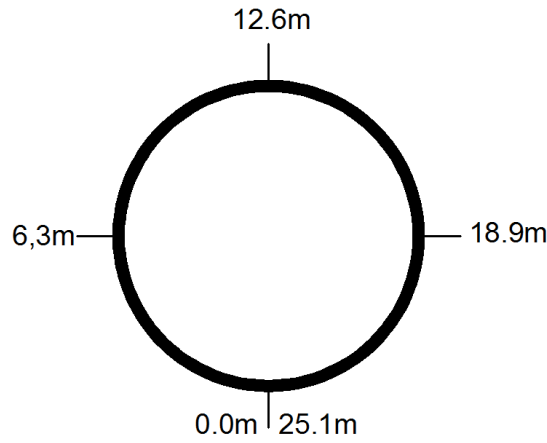
$$i_c = \gamma_b / \gamma_w \quad (5.16)$$

$$FS = i_c / i_e \quad (5.17)$$

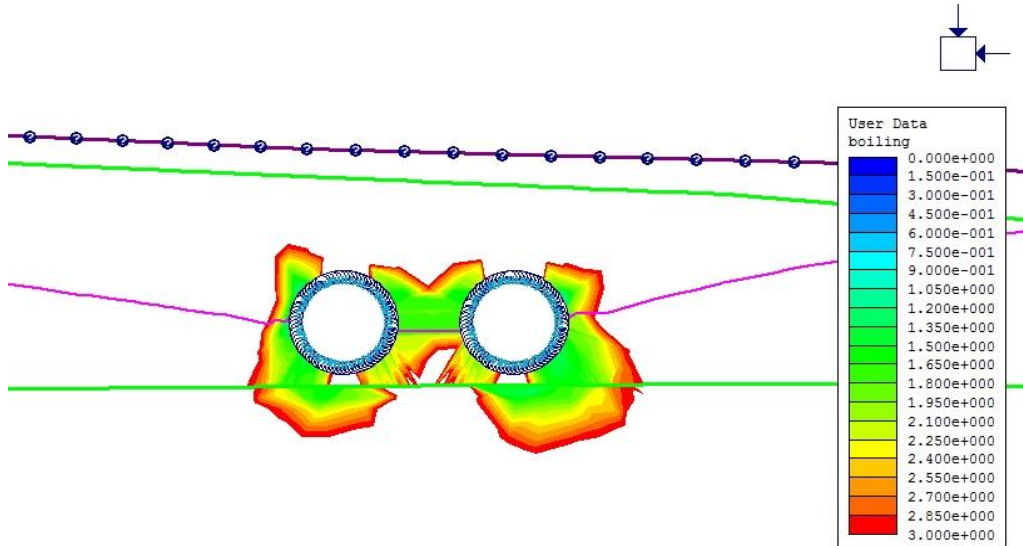
$$i = \Delta H / l \quad (5.18)$$

Güvenlik katsayısı genel olarak 3'ün altında olduğu durumlarda “Kum Akması” olayının meydana gelmediği kabul edilmektedir (Hunt, 2005).

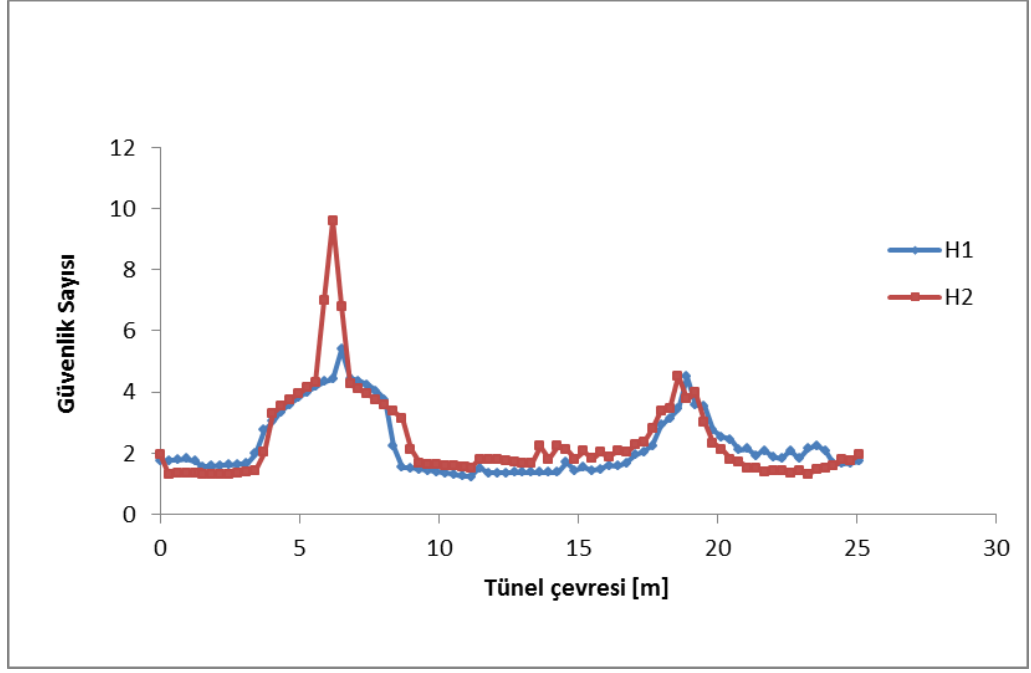
Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 dikkate alındığında tünel çevresindeki güvenlik sayısının çoğunlukla 3'ün altında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar esas alındığında “Kum Akması” olayının tünel ve çevresinde meydana gelmiş olması kuvvetle muhtemeldir. Şekil 5.6, Şekil 5.8'deki grafiğin rahat anlaşılabilmesi için konmuş olup tünel çevresini şematik olarak göstermektedir. Şekil 5.6 ve 5.8'de yeşil çizgiler birim sınırlarını, mor çizgi ise YAS seviyesini göstermektedir.



Şekil 5.6 : Grafik değerlerinin karşılık geldiği tünel çevresinin gösterimi.



Şekil 5.6 : Tünel ve çevresindeki güvenlik sayısının 0 ile 3 arasındaki değişimi.



Şekil 5.7 : Her iki tünelin çevresindeki güvenlik sayısı değerleri.

5.4 Tünel ve Çevresinden Gelen Su Miktarının Hesaplanması

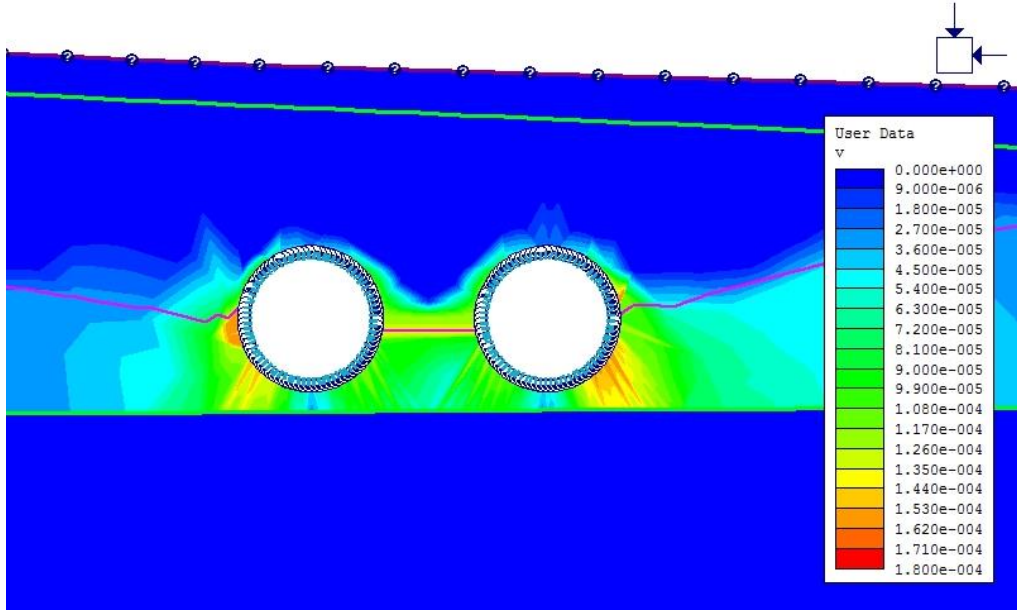
Tünel ve çevresinden gelen suyun miktarının hesaplanmasında Darcy Yasası'ndan faydalanılmıştır. Bu yasa özet olarak şöyledir;

$$Q = k \times i \times A \quad (\text{Day ve diğ., 2012}) \quad (5.19)$$

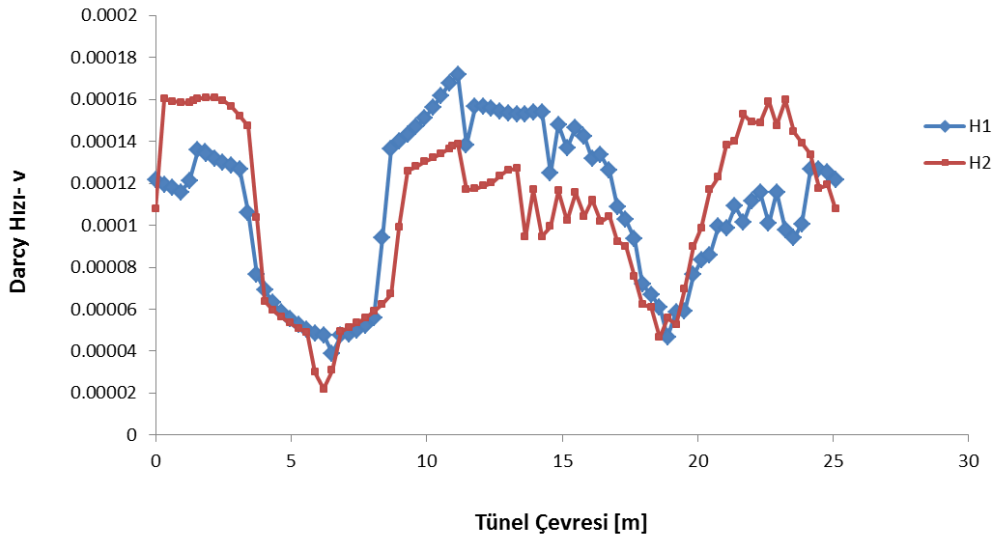
Segmentlerin dıştan dışa çapı 7.99 m olduğu önceki başlıklar altında belirtilmiştir. Sonuç olarak 1.5 'lik bir segmentin zeminle temas ettiği yüzeyin alanı;

$$A = 2 \times \pi \times r \times 1.5 = 7.99 \times \pi \times 1.5 = \sim 38\text{m}^2 \text{ dir.}$$

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'daki sonuçlar esas alındığında tünel çevresindeki Darcy Hızı'nın (v) 0,00002 ile 0,00018 arasında değiştiği görülmektedir. Tünel çevresindeki v değerlerinin ortalaması alındığında 0.000109 m/s'lik bir değer elde edilmektedir. Elde edilen değerler ışığında bir segment boyu ($\sim 1,5\text{m}$) mesafede tünel içerisine gelen yer altı suyunun akış debisi 5.19 eşitliği kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.



Şekil 5.8 : Darcy Hızı'nın (v) modeldeki değişimi.



Şekil 5.9 : Her iki tünel çevresindeki Darcy Hızı'nın (v) değişimi

Yukarıda verilen değerler esas alındığında bir segment mesafesinde tünele gelen suyun miktarı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$Q = k \times i \times A = 0.000109 \times 38 = \sim 0.0041 \text{ m}^3/\text{s} = 248 \text{ lt/d}$$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen değer bir öngörü olmakla birlikte Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de belirtilen ortam koşullarına özgündür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, kapsamında Marmaray Projesi'nin bir parçası durumundaki Yenikapı-Yedikule arasındaki çift hat tünelin geçirildiği ortam koşulları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Projelendirme aşamasında oluşturulan jeolojik-jeoteknik veriler (sondaj logları, karot fotoğrafları, laboratuvar föyler, arazi deney föyleri vb.) jeolojik model ve geometrik yapı ile ilişkilendirilmiş, güzergahın mühendislik jeolojisi boy kesiti hazırlanmıştır (EK-C). Mevcut veriler ve bu verilerin analizinden elde edilen bilgiler ile tünel açım aşamasında yapılan uygulamalarla karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme EK-C'de verilen boy kesitin altında jeoteknik çizelge şeklinde sunulmuştur.

Tünelin Km: b 0+300 – b 1+000 arasındaki kesiminde kum merceğini verev olarak kestiği belirlenmiştir. Bu mercek genellikle 5-15m'lik bir örtü altında suya doymuş bir halde bulunmaktadır. Tez içerisinde ilgili başlık altında ayrıntılı olarak tanıtılan tüneller konum itibarıyla deniz kıyısına az çok paralel ve Marmara Denizi'ne yakın bir bölgede, çoğunlukla deniz seviyesi altında yer almaktadır. Bu sebeple tünel açım faaliyetinin yoğun yeraltı suyu akış rejiminin egemen olduğu şartlarda gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Yeraltı suyunun durumu ile ilgili yapılan nümerik analiz sonuçları açım sırasında yapılan gözlemlerle uyumludur. Diğer bir yandan, yapılan nümerik modellerde su geliş miktarlarının bir segment boyu (~1,5 m) mesafedeki alanda 240 lt/dk civarında olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bahsedilen kesimdeki kumların deprem kaynaklı dinamik kuvvetlere karşı hassas olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tünel kazısı sırasında karşılaşılan kumların akma eğiliminde olduğu açım sırasındaki kayıtlardan anlaşılmıştır. Bu durumu irdelemek için oluşturulan nümerik modelin çözümünden tünel ve çevresinde hidrolik eğimden kaynaklanan “kum akması (quick sand)” davranışının oluşabileceği görülmektedir (Şekil 5.7). Bu durumun önlenmesi için öncelikle çimento enjeksiyon iyileştirme yöntemi olarak uygulanmıştır, fakat Şekil 4.8'de de görüleceği üzere tane boyu dağılım eğrilerinin çoğunlukla kimyasal enjeksiyon aralığına düşmektedir. Nitekim yapılan çimento enjeksiyonlarının yıkanma sebebiyle tutmamış ve kimyasal enjeksiyon uygulamasına geçilmiştir. Bu durumun yukarıda da belirtildiği gibi bölgedeki hidrojeolojik rejim ve jeolojik yapı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Mühendislik Jeolojisi Kesitindeki (EK-C) kimyasal enjeksiyon grafiğine bakıldığında tasarlanan miktarın (kırmızı çizgiyle belirtilmiştir) çoğunlukla aşıldığı görülmektedir. Bunun sebebinin akma eğilimi gösteren kumların yarattığı boşluktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak daha önceden de belirtildiği üzere tünel ve çevresindeki kohezyonsuz birimlerin kazı sırasında akma eğilimi gösterdiği ve bu olayın yeraltı suyu akışı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten bölgenin depremselliği ve arazi deneyi verilerine dayalı olarak yapılan değerlendirme sonucunda tünelin geçirildiği kotlarda bulunan gevşek nitelikteki suya doygun kumda düşük olasılıkla olsa bile yer yer “Sıvılaşma” riskinin bulunduğu anlaşılmıştır.

Karşılaşılan diğer bir problem ise tünel açımı sonrasında yaşanan sızdırmazlık sorunudur. Aktarılan deneyimler ışığında bu sorunun özellikle kum akmalarının meydana geldiği yerlerde ringlerin bağlantıları sırasında yaşanan problemlerle ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Ringlerin geometrik olarak tasarıma uygun olmayan bir biçimde yerleştirilmesi, ringler arasındaki sızdırmazlığı sağlayacak olan contaların çalışmasını engelleyerek su kaçaklarına sebep olmuştur. Yaşanan bu sorunun ortadan kaldırılması için kimyasal enjeksiyon tünel boyunca uygulanmıştır.



Şekil 6.1 : Segment aralarında meydana gelen su kaçakları.



Şekil 6.2 : Tünel çevresinde uygulanan kimyasal enjeksiyonlar.

Yapılan enjeksiyon miktarları yaklaşık olarak T1 tüneli için 90500 kg, T2 tüneli için 69000 kg'dır. Sonuç olarak her iki tünel için toplam ~159000 kg poliretan enjeksiyon yapılmıştır. Güzergah boyunca uygulanan poliüretan enjeksiyonun özellikleri ve Yer altı suyuna olan etkisi irdelenmelidir.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de sunulan fotoğrafları karşılaştıracak olursak, Şekil 6.1'de gözlenen su kaçaklarının poliretan enjeksiyon uygulamaları sonucu büyük oranda azaldığı Şekil 6.2'de açıkça görülmektedir. Poliüretan enjeksiyon uygulamaları su kaçaklarını azaltmanın dışında aynı zamanda zemin koşullarını iyileştirdiği bilinmektedir (Chou ve diğ., 2001).

KAYNAKLAR

- Ağaoğlu, Ş. ve Sakallı, U.** (2005). Bored Tunnel Between Yedikule to Yenikapı Between Km:1+200 – 3+330 Final Geotechnical Factual Data Report. STFA Temel Araştırma ve Sondaj A.Ş., İstanbul, Turkey.
- Altın, D., Batı, Z., Tunay, G., Şenel, M., Ekmekçi, E.** (2006). Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Başhan, E.** (2010). Aşırı Konsolide Ortamlarda Mekanik Özelliklerin Pressiyometre Kullanımı ile Değerlendirilmesi (yüksek lisans tezi). İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Bell, F.G.** (2007). Engineering Geology. Elsevier, Oxford, UK.
- BS-5930** (1999). Code of practise for site investigations. British Standard Institution, United Kingdom.
- Cetin, K. O., Youd, T. L., Seed, R. B., Bray, J. D., Sancio, R., Lettis, W., Yılmaz, M. T., Durgunoglu, H. T.** (2002). Liquefaction-induced ground deformations at Hotel Sapanca during Kocaeli (Izmit), Turkey earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Elsevier, 22p. 1083-1092, 0267-726/0200134-3.
- Cetin, K. Ö.** (2005). Seismic Assessment for On Land Sections Excluding Bored Tunnels. Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture, İstanbul, Turkey.
- Chou, H.S., Yang, C.Y., Hsieh, B.J., Chang, S.S.** (2001). A study of liquefaction related damages on shield tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology, Elsevier, 16(2001) 185-193.
- Day, R. W.** (2012). Geotechnical Engineer's Portable Handbook. Mc Graw Hill, Washington, USA.
- Demirbağ, E., Rangin, C., Le Pichon, X., Şengör, A.M.C.** (2002). Investigation of the tectonics of the Main Marmara Fault by means of deep-towel seismic data. Tectonophysics, Elsevier, 19p.
- Dönmez, Ş.** (2010). Yeni Arkeolojik Araştırmalar Işığında İstanbul'un (Tarihi Yarımada) Neolitik, Kalkolitik ve Demir Çağı Kültürleri Üzerine Genel Değerlendirmeler. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Ergun, U.** (2005). Geotechnical Design Parameters Volume 3 Yenikapı TCDD and West Cut&Cover 3+330 – 3+695. Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture, İstanbul, Turkey.
- Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, A., and Xu, S.** (2007). Mechanized Tunneling in Urban Areas. Taylor & Francis, London, UK.
- Hunt, R. E.** (2005). Geotechnical Engineering Investigation Handbook. Taylor & Francis, Florida, USA.

- Nakazawa, T.** (2009). Bored Tunnel Between Km:1+600 – 2+700 Soil Investigation & Subsurface Conditions (under VO75) Final Geotechnical Factual Data Report Volume 1. Oyo International Corporation, Tokyo, Japan.
- Özgül, N., Üner, K., Akmeşe, İ., Bilgin, İ., Kokuz, R., Özcan, İ., Yıldız, Z., Yıldırım, Ü., Akdağ, Ö., Tekin, M.** (2005). İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, Türkiye.
- Kalafat, D.** (2011). Marmara Bölgesi'nin Depremliği ve Deprem Ağının Önemi, İstanbul, Türkiye.
- Polat, F.** (2002). İstanbul Yerleşim Alanı İçerisindeki Kuvaterner Çökellerin Sıvılaşma Potansiyeli (yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tsuchiuya, M., Schunber, P., Kocagil F.** (2010). Yenikapı Station Turnback Tunnel Excavation and Support Detailed Design. Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture, İstanbul, Turkey.
- Ueono, Y.** (2006). Geotechnical Design Parameters Volume 2 Yedikule-Yenikapı Section 1+200 – 3+330. Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture, İstanbul, Turkey.
- Ulusay, R.** (2010). Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 5. Baskı. Ankara, Türkiye.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E. ve Durmuş., H.** (2011). Marmara Bölgesi'nde Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Ankara, Türkiye.
- Youd, T. L. ve Idriss, I. M.** (1997). Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. State University of New York at Buffalo. Technical Report NCEER-97-0022, Utah, USA.
- Url-1** < [http:// www.marmaray.gov.tr](http://www.marmaray.gov.tr)>, alındığı tarih: 10.04.2013
- Url-2**<<http://www.ibb.gov.tr/tr> >, alındığı tarih: 01.05.2014.
- Url-3** <<http://www.rocscience.com>>, alındığı tarih: 25.04.2014
- Url-4** < <http://www.deprem.gov.tr>>, alındığı tarih: 26.04.2014
- Url-5** < <http://www.herrenknecht.com>>, alındığı tarih: 23.04.2014

EKLER

EK A: SONDAJ LOGLARI

EK B: SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZ SONUÇLARI

EK C: MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ KESİTİ VE GÜZERGAH PLANI

EK A: SONDAJ LOGLARI

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 2																					
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-1																						
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																						
		Sondör:		YUNUS KAPDAN																							
İşveren İdare:		Taisei Corporation																									
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																									
Sondaj Başlama Tarihi:		2009/3/9		Sondaj Kuyusunun Yeri:																							
Sondaj Bitiş Tarihi:		2009/3/12		İlçesi:																							
Sondaj Çapı (mm):		76.00		Koordinat X (E-W) (m):		410,122.509	410,088.436																				
Sondaj Derinliği (m):		25.00		Koordinat Y (N-S) (m):		4,540,847.668	4,540,661.906																				
Yer Altı Suyu (m):				ED50		ITRF96	Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):																				
							3.962																				
Derinlik (m)	h= Denei Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanıklılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Üye	Formasyon	
				Darbe Sayısı													N ₃₀ /SK	20	40	60	80						100
				0-15	15-30	30-45																					
0.0																											
1.0	1.50	1.95	SPT1	V	2	1	1	2						20													
2.0														30													
3.0	3.00	3.45	SPT2	V	1	1	1	2						70													
4.0																											
4.50	4.95	SPT3	V	14	24	10	34							50													
5.0																											
6.0	6.00	6.02	SPT4	Y	50	/2		> 50						20													
7.0																											
8.0																											
9.0	9.00	9.40	UD1											100													
10.0																											
10.50	10.95	SPT5	V	2	14	17	31							100													
11.0																											
12.0	12.00	12.45	SPT6	V	8	12	16	28						100													
13.0																											
13.50	13.95	SPT7	V	12	26	30	> 50							100													
14.0																											
15.0																											
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselelenmemiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) KY: Karniyarik VU: Vidye Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj												Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler				İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler											
Tarih:												2009/3/12				Tarih:				2009/3/12							
Ad-Soyad / İmza																Ad-Soyad / İmza											
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."																											

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		2 / 2																										
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-1																											
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																											
		Sondör:		YUNUS KAPDAN																												
İşveren İdare:		Taisei Corporation																														
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																														
Derinlik (m)	h= Deneysel Derinliği	Örnek	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)							Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanım	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim						
			Darbe Sayısı				Grafik											20	40	60	80	100										
			0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK	10	20	30																		40	50				
15.00	15.45	SPT8	V	10	20	27	47																									
16.00	16.50	Permeability Test																														
16.50	16.95	SPT9	V	13	18	25	43																									
17.00																																
18.00	18.45	SPT10	V	24	48	43	> 50																									
19.00																																
19.50	19.57	SPT11	V	50	7		> 50																									
20.00																																
21.00	21.45	SPT12	V	7	12	21	33																									
22.00																																
22.50	22.95	SPT13	V	9	14	17	31																									
23.00																																
24.00	24.45	SPT14	V	13	16	19	35																									
24.00																																
25.00																																
26.00																																
27.00																																
28.00																																
29.00																																
30.00																																
31.00																																
32.00																																
33.00																																
34.00																																
35.00																																
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler													İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																			
Tarih:		2009/3/12											Tarih:		2009/3/12																	
Ad-Soyad / İmza													Ad-Soyad / İmza																			

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 2																				
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-2																					
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																					
		Sondör:		KAMİL KARACA																						
İşveren İdare:		Taisei Corporation																								
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																								
Sondaj Başlama Tarihi:		2009/3/4		Sondaj Kuyusunun Yeri:																						
Sondaj Bitiş Tarihi:		2009/3/12																								
Sondaj Çapı (mm):		76.00		İlçesi:																						
Sondaj Derinliği (m):		30.00		Koordinat X (E-W) (m):	410,212.325	410,178.252	Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):																			
Yer Altı Suyu (m):				Koordinat Y (N-S) (m):	4,541,042.700	4,540,856.938	3.863																			
Derinlik (m)	h= Denei Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanıklılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim	
				Darbe Sayısı													N ₃₀ /SK	20	40	60	80					100
				0-15	15-30	30-45																				
0.0																										
1.0	1.50	1.53	SPT1	V	50 /3									10												
2.0														10												
3.0	3.00	3.45	SPT2	V	11	2	18	20						20												
4.0														20												
5.0	4.50	4.54	SPT3	V	50 /4									80												
6.0														80												
7.0	6.00	6.35	UD1	V										100												
8.0														100												
9.0	7.50	7.95	SPT4	V	16	19	26	45						100												
10.0														100												
11.0	10.50	10.95	SPT5	V	6	16	18	34						100												
12.0														100												
13.0	12.00	12.45	SPT6	V	6	12	18	30						100												
14.0														100												
15.0	13.50	13.80	UD3	V										50												
	15.10		Permeability Test																							
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselememiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) KY: Karniyarik VU: Vidye Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj												Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler				İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler										
Tarih:												2009/3/12				Tarih:				2009/3/12						
Ad-Soyad / İmza																Ad-Soyad / İmza										
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."																										

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		2 / 2																												
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-2																													
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																													
		Sondör:		KAMİL KARACA																														
İşveren İdare:		Taisei Corporation																																
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																																
Derinlik (m)	h= Deney Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanım	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim									
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı			N ₃₀ /SK										10	20	30	40	50				TCR %	SCR %	RQD %	20	40	60	80	100	Üye	Formasyon
				0-15	15-30	30-45																												
15.0	15.10	15.55	SPT7	V	11	12	16	28																										
16.0																																		
16.50	16.95	SPT8	V	9	10	5	15																											
17.0																																		
18.0	18.00	18.45	SPT9	V	15	18	25	43																										
19.0																																		
19.50	19.95	SPT10	V	13	17	19	36																											
20.0																																		
21.0	21.00	21.45	SPT11	V	15	17	20	37																										
22.0																																		
22.50	22.95	SPT12	V	16	19	22	41																											
23.0																																		
24.0	24.00	24.45	SPT13	V	13	17	24	41																										
25.0																																		
25.50	25.95	SPT14	V	16	20	24	44																											
26.0																																		
27.0	27.00	27.45	SPT15	V	13	16	19	35																										
28.0																																		
28.50	28.95	SPT16	V	16	21	23	44																											
29.0																																		
30.0	30.00	30.45	SPT17	V	20	27	32	> 50																										
31.0																																		
32.0																																		
33.0																																		
34.0																																		
35.0																																		
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler												İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																						
Tarih:		2009/3/12										Tarih:		2009/3/12																				
Ad-Soyad / İmza												Ad-Soyad / İmza																						

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 3																			
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-3																				
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																				
				Sondör:	YUNUS KAPDAN																				
İşveren İdare:		Taisei Corporation																							
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																							
Sondaj Başlama Tarihi:		2009/3/2		Sondaj Kuyusunun Yeri:																					
Sondaj Bitiş Tarihi:		2009/3/7																							
Sondaj Çapı (mm):		76.00		İlçesi:																					
Sondaj Derinliği (m):		37.00		Koordinat X (E-W) (m):	410,307.169	410,273.096	Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):																		
Yer Altı Suyu (m):				Koordinat Y (N-S) (m):	4,541,283.545	4,541,097.783	4.305																		
Derinlik (m)	h= Denei Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanıklılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim
				Darbe Sayısı			N ₃₀ /SK										20	40	60	80	100				
				0-15	15-30	30-45																			
0.0																									
1.0	1.50	1.95	SPT1	V	38	15	21	36						60											
2.0														40											
3.0	3.00	3.45	SPT2	V	3	2	2	4						70											
4.0														70											
5.0	4.50	4.95	SPT3	V	15	11	11	22						70											
6.0	6.00	6.45	SPT4	V	7	3	3	6						20											
7.0														60											
8.0	7.50	7.95	SPT5	Y	3	2	1	3						40											
9.0	9.10	9.55	SPT6	V	9	31	21	> 50						30											
10.0														25											
11.0	11.20	Permeability Test												30											
12.0	12.00	12.03	SPT7	Y	50	/3		> 50						30											
13.0														25											
14.0	13.50	13.52	SPT8	Y	50	/2		> 50						30											
15.0	15.00	Permeability Test																							
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselelenmemiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) KY: Karniyarik VU: Vidye Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj												Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler				İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler									
Tarih:												2009/3/7				Tarih:				2009/3/7					
Ad-Soyad / İmza																Ad-Soyad / İmza									
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."																									

Yüklenici Firma:				Sondaj Logu				Sayfa No/Sayfa Sayısı:				2 / 3																		
OYO International Corporation								Kuyu No:		BH75-3																				
								Sondaj Tipi:		Rotary Sulu Sistem																				
								Sondör:		YUNUS KAPDAN																				
İşveren İdare:				Taisei Corporation																										
Projenin adı:				Marmaray BC1 (VO75)																										
Derinlik (m)	h= Deneş Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)						Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanımılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim				
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı			N ₃₀ /SK	Grafik										20	40	60	80	100				Üye	Formasyon			
				0-15	15-30	30-45		10	20																			30	40	50
15.00	15.45	SPT9	V	7	6	14	20																	15.50m						
16.00																														
16.50	16.95	UD1	V																											
17.00																														
18.00	18.45	SPT10	V	10	20	20	40																	Very stiff, greenish gray light brown clay (MS2)						
19.00																														
19.50	19.95	SPT11	V	14	9	14	23																							
20.00																														
21.00	21.45	SPT12	V	2	15	20	35																	21,40m						
22.00																								Very stiff, blackish dark brown clay (MS2)						
22.50	22.95	SPT13	V	9	15	18	33																							
23.00																														
24.00	24.45	SPT14	V	25	30	38	> 50																							
25.00																														
25.50	25.95	SPT15	V	20	20	17	37																							
26.00																														
27.00	27.45	SPT16	V	15	18	23	41																							
28.00																														
28.50	28.95	SPT17	V	22	27	30	> 50																							
29.00																														
30.00	30.45	SPT18	V	17	22	25	47																							
31.00																														
31.50	31.95	SPT19	V	20	29	32	> 50																							
32.00																														
33.00	33.45	SPT20	V	16	19	21	40																							
34.00																														
34.50	34.95	SPT21	V	15	17	21	38																							
35.00																														
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler												İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																		
Tarih:		2009/3/7										Tarih:		2009/3/7																
Ad-Soyad / İmza												Ad-Soyad / İmza																		

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		3 / 3																													
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-3																														
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																														
		Sondör:		YUNUS KAPDAN																															
İşveren İdare:		Taisei Corporation																																	
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																																	
Derinlik (m)	h= Deneç Derinliğı	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)								Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanımllık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim							
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı				Grafik												20	40	60	80	100				Üye	Formasyon						
				0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK	10	20	30	40																			50					
35.0																																			
36.0	36.00	36.45	SPT22	V	21	23	28	> 50																											
37.0																																			
38.0																																			
39.0																																			
40.0																																			
41.0																																			
42.0																																			
43.0																																			
44.0																																			
45.0																																			
46.0																																			
47.0																																			
48.0																																			
49.0																																			
50.0																																			
51.0																																			
52.0																																			
53.0																																			
54.0																																			
55.0																																			
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler																		İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																	
Tarih:		2009/3/7																Tarih:		2009/3/7															
Ad-Soyad / İmza																		Ad-Soyad / İmza																	

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 3																				
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-4																					
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																					
		Sondör:		KAMİL KARACA																						
İşveren İdare:		Taisei Corporation																								
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																								
Sondaj Başlama Tarihi:		2009/3/2		Sondaj Kuyusunun Yeri:																						
Sondaj Bitiş Tarihi:		2009/3/9																								
Sondaj Çapı (mm):		76.00		İlçesi:																						
Sondaj Derinliği (m):		37.00		Koordinat X (E-W) (m):	410,373.939	410,339.866	Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):																			
Yer Altı Suyu (m):				Koordinat Y (N-S) (m):	4,541,364.417	4,541,178.655	3.537																			
Derinlik (m)	h= Denei Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanıklılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim	
				Darbe Sayısı													N ₃₀ /SK	20	40	60	80					100
				0-15	15-30	30-45																				
0.0																										
1.0																										
2.0																										
3.0																										
4.0																										
4.50	4.54	SPT1	Y	50	/4		> 50																			
5.0																										
6.0																										
7.0																										
7.50	7.55	SPT2	Y	50	/5		> 50																			
8.0																										
9.0	9.00	9.22	SPT3	Y	21	50 /7	> 50																			
10.0																										
11.0	11.00	Permeability Test																								
12.0	12.00	12.45	SPT4	Y	7	10	12	22																		
13.0																										
13.50	13.70	SPT5	V	35	50 /5		> 50																			
14.0																										
15.0																										
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselelenmemiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) KY: Karniyarik VU: Vidye Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj										Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler					İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler											
Tarih:										2009/3/9					Tarih:					2009/3/9						
Ad-Soyad / İmza															Ad-Soyad / İmza											
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."																										

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		2 / 3																				
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-4																					
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																					
		Sondör:		KAMİL KARACA																						
İşveren İdare:		Taisei Corporation																								
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																								
Derinlik (m)	h= Denei Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanım	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim		
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı			N ₃₀ /SK									Grafik									TCR %	SCR %
15.0	15.45	SPT6	V	8	17	31	48																			
16.0																										
16.5	17.00	UD1	V																							
17.0																										
18.0	18.45	SPT7	V	12	16	20	36																			
19.0																										
19.5	19.95	SPT8	V	12	19	21	40																			
20.0																										
21.0	21.45	SPT9	V	15	22	31	> 50																			
22.0																										
22.5	22.95	SPT10	V	25	32	44	> 50																			
23.0																										
24.0	24.45	SPT11	V	24	33	46	> 50																			
25.0																										
25.5	25.95	SPT12	V	13	28	34	> 50																			
26.0																										
27.0	27.45	SPT13	V	25	38	46	> 50																			
28.0																										
28.5	28.95	SPT14	V	22	29	33	> 50																			
29.0																										
30.0	30.45	SPT15	V	17	20	36	> 50																			
31.0																										
31.5	31.95	SPT16	V	23	27	34	> 50																			
32.0																										
33.0	33.45	SPT17	V	19	27	32	> 50																			
34.0																										
34.5	34.95	SPT18	V	27	36	42	> 50																			
35.0																										
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler										İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																
Tarih:		2009/3/9								Tarih:		2009/3/9														
Ad-Soyad / İmza										Ad-Soyad / İmza																

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		3 / 3																													
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-4																														
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																														
		Sondör:		KAMİL KARACA																															
İşveren İdare:		Taisei Corporation																																	
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																																	
Derinlik (m)	h= Deneysel Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)								Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanım	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim							
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı				Grafik												20	40	60	80	100				Üye	Formasyon						
				0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK	10	20	30	40																			50					
35.0																																			
36.0	36.00	36.45	SPT19	V	15	22	36	> 50																											
37.0																																			
38.0																																			
39.0																																			
40.0																																			
41.0																																			
42.0																																			
43.0																																			
44.0																																			
45.0																																			
46.0																																			
47.0																																			
48.0																																			
49.0																																			
50.0																																			
51.0																																			
52.0																																			
53.0																																			
54.0																																			
55.0																																			
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler																		İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																	
Tarih:		2009/3/9																Tarih:		2009/3/9															
		Ad-Soyad / İmza																		Ad-Soyad / İmza															

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 3																							
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-5																								
				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																								
				Sondör:	YUNUS KAPDAN																								
İşveren İdare:		Taisei Corporation																											
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																											
Sondaj Başlama Tarihi:		2009/2/23		Sondaj Kuyusunun Yeri:																									
Sondaj Bitiş Tarihi:		2009/3/1																											
Sondaj Çapı (mm):		76.00		İlçesi:																									
Sondaj Derinliği (m):		37.00		Koordinat X (E-W) (m):	410,453.291	410,419.218	Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):																						
Yer Altı Suyu (m):				Koordinat Y (N-S) (m):	4,541,422.451	4,541,236.689	4.290																						
Derinlik (m)	h= Denev Derinliği	Örnek Adı	Var/Yok	Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanıklılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim				
				Darbe Sayısı			N ₃₀ /SK										20	40	60	80	100								
				0-15	15-30	30-45																							
0.0																													
1.0	1.50	1.95	SPT1	V	10	1	1	2						80															
2.0														30															
3.0	3.00	3.45	SPT2	V	5	7	12	19						100															
4.0																													
5.0	4.50	4.95	SPT3	V	21	11	17	28						10															
6.0														40															
7.0														40															
8.0	7.50	7.95	SPT4	V	8	10	11	21						40															
9.0																													
10.0	9.50	9.95	SPT5	V	22	23	45	> 50						55															
11.0	11.00	11.40	Permeability Test										90																
12.0	12.00	12.25	SPT6	V	35	50	/10	> 50						60															
13.0																													
14.0	13.50	13.95	SPT7	V	7	13	16	29						100															
15.0																													
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselenmemiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) KY: Karniyarik VU: Vidye Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj										Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler					İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler														
Tarih:										2009/3/1					Tarih:										2009/3/1				
Ad-Soyad / İmza										Ad-Soyad / İmza										Ad-Soyad / İmza									
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."																													

Yüklenici Firma:		 OYO INTERNATIONAL CORPORATION		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		2 / 3																										
OYO International Corporation						Kuyu No:	BH75-5																											
						Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																											
		Sondör:		YUNUS KAPDAN																														
İşveren İdare:		Taisei Corporation																																
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																																
Derinlik (m)	h= Deney Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Grafik	Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanım	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik				Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim										
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı			N ₃₀ /SK										10	20	30	40				50	TCR %	SCR %	RQD %	20	40	60	80	100	Üye	Formasyon
				0-15	15-30	30-45																												
15.00	15.45	SPT8	V	20	13	22	35																Very stiff, greenish gray - light brown clay (MS2)											
16.00														100									16,50m											
16.50	16.95	UD1	V																				Dense / very dense light green - beige colored clayey sand / sandy clay (MS2)											
17.00														100									17,75m											
18.00	18.45	SPT9	V	22	21	20	41							100																				
19.00														100																				
19.50	19.95	SPT10	V	22	19	20	39							100																				
20.00														100																				
21.00	21.45	SPT11	V	8	15	21	36							100																				
22.00														100																				
22.50	22.95	SPT12	V	12	17	22	39							100																				
23.00														100																				
24.00	24.45	SPT13	V	20	21	25	46							100																				
25.00														100																				
25.50	25.95	SPT14	V	13	16	18	34							100										Very stiff, green - greenish gray clay (MS2)										
26.00														100																				
27.00	27.45	SPT15	V	12	18	22	40							100										18,4m - 19,5m: dark brown clay										
28.00														100										21,0m - 22,25m: some marl bands (white colored)										
28.50	28.95	SPT16	V	30	23	22	45							100																				
29.00														100																				
30.00	30.45	SPT17	V	13	13	16	29							100																				
31.00														100																				
31.50	31.95	SPT18	V	11	10	20	30							100																				
32.00														100																				
33.00	33.45	SPT19	V	11	17	20	37							100																				
34.00														100																				
34.50	34.95	SPT20	V	15	19	23	42							100																				
35.00																																		
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler												İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																						
Tarih:		2009/3/1										Tarih:		2009/3/1																				
Ad-Soyad / İmza												Ad-Soyad / İmza																						

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		3 / 3																													
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-5																														
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																														
		Sondör:		YUNUS KAPDAN																															
İşveren İdare:		Taisei Corporation																																	
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																																	
Derinlik (m)	h= Deneş Derinliğı	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)										Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanımılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim					
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı				Grafik					20									40	60	80	100	Üye				Formasyon					
				0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK	10	20	30	40	50																							
35.0																																			
36.0	36.00	36.50	SPT21	V	17	17	25	42																											
37.0																																			
38.0																																			
39.0																																			
40.0																																			
41.0																																			
42.0																																			
43.0																																			
44.0																																			
45.0																																			
46.0																																			
47.0																																			
48.0																																			
49.0																																			
50.0																																			
51.0																																			
52.0																																			
53.0																																			
54.0																																			
55.0																																			
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler																		İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																	
Tarih:		2009/3/1																Tarih:		2009/3/1															
Ad-Soyad / İmza																		Ad-Soyad / İmza																	

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		1 / 3																										
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-6																											
				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																											
				Sondör:	KAMİL KARACA																											
İşveren İdare:		Taisei Corporation																														
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																														
Sondaj Başlama Tarihi:		2009/2/23		Sondaj Kuyusunun Yeri:																												
Sondaj Bitiş Tarihi:		2009/3/1																														
Sondaj Çapı (mm):		76.00		İlçesi:																												
Sondaj Derinliği (m):		37.00		Koordinat X (E-W) (m):	410,528.376	410,494.303	Kuyu Başı Yükseltisi Z (m):																									
Yer Altı Suyu (m):				Koordinat Y (N-S) (m):	4,541,460.355	4,541,274.593	4.124																									
Derinlik (m)	h= Denev Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)						Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanıklılık	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim						
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı			N ₃₀ /SK	Grafik																								
				0-15	15-30	30-45		10	20									30	40	50												
0.0																																
1.0																																
1.50	1.95	SPT1	V	1	1	1				2																						
2.0																																
3.0	3.45	SPT2	V	3	3	4				7																						
4.0																																
4.50	4.95	SPT3	V	5	3	10				13																						
5.0																																
6.0	6.45	SPT4	V	4	7	8				15																						
7.0																																
7.50	7.95	SPT5	V	6	8	9				17																						
8.0																																
9.0	9.45	SPT6	V	9	10	13				23																						
10.0																																
10.50	10.95	SPT7	V	8	8	10				18																						
11.0																																
12.0	12.50	UD1	V																													
13.0																																
13.50	13.95	SPT8	V	5	7	10				17																						
14.0																																
14.50	14.95	SPT9	V	3	5	8				13																						
15.0																																
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi UD: Örselelenmemiş Numune SK: Sert kaya olduğu için SPT yapılmadı TCR: Toplam karot % SCR: Çapı korunmuş karot % RQD: Çapı korunmuş 10 cm'den uzun karot % B76: Tekli Karot Tüpü (76mm) T76: İkili Karot Tüpü (76mm) KY: Karniyarik VU: Vidye Kron EU: Elmas Kron SS: Sulu sondaj SZ: Susuz sondaj												Yüklenici Adına Sondajdan Sorumlu Mühendis / Mühendisler						İdare Adına Sondajı Kontrol Eden Mühendis / Mühendisler														
Tarih:												2009/3/1						Tarih:						2009/3/1								
Ad-Soyad / İmza																		Ad-Soyad / İmza														
"Mekanik Sondaj Teslim Tutanağının Ödemeye Esas Ekidir."																																

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		2 / 3																														
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-6																															
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																															
		Sondör:		KAMİL KARACA																																
İşveren İdare:		Taisei Corporation																																		
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																																		
Derinlik (m)	h= Denev Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)				Karot Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanım	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim												
		Adı	Var/Yok	Darbe Sayısı												Grafik								20	40	60	80	100	Üye	Formasyon						
				0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK									10	20	30	40	50																
15.0																																				
16.0																																				
16.50	16.74	UD2	V																																	
17.0																																				
18.0	18.00	18.45	SPT10	V	17	22	24	46																												
19.0																																				
19.50	19.95	SPT11	V	15	18	27	45																													
20.0																																				
21.0	21.00	21.45	SPT12	V	18	18	20	38																												
22.0																																				
22.50	22.95	SPT13	V	18	23	30	> 50																													
23.0																																				
24.0	24.00	24.45	SPT14	V	23	29	35	> 50																												
25.0																																				
25.50	25.95	SPT15	V	21	27	34	> 50																													
26.0																																				
27.0	27.00	27.45	SPT16	V	20	22	34	> 50																												
28.0																																				
28.50	28.95	SPT17	V	25	28	35	> 50																													
29.0																																				
30.0	30.00	30.45	SPT18	V	23	28	30	> 50																												
31.0																																				
31.50	31.95	SPT19	V	17	20	29	49																													
32.0																																				
33.0	33.00	33.45	SPT20	V	23	25	31	> 50																												
34.0																																				
34.50	34.85	SPT21	V	34	47	50 /5	> 50																													
35.0																																				
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler												İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																								
Tarih:		2009/3/1										Tarih:		2009/3/1																						
Ad-Soyad / İmza												Ad-Soyad / İmza																								

Yüklenici Firma:		Sondaj Logu		Sayfa No/Sayfa Sayısı:		3 / 3																													
OYO International Corporation				Kuyu No:	BH75-6																														
 OYO INTERNATIONAL CORPORATION				Sondaj Tipi:	Rotary Sulu Sistem																														
		Sondör:		KAMİL KARACA																															
İşveren İdare:		Taisei Corporation																																	
Projenin adı:		Marmaray BC1 (VO75)																																	
Derinlik (m)	h= Denei Derinliği	Örnek		Standard Penetrasyon Deneyi (SPT)								Karat Tüpü	Uç	Sondaj Suyu	Ayrışma	Dayanım	TCR %	SCR %	RQD %	Grafik					Kaya Sınıfı	Litoloji	Tanımlama	Birim							
		Adi	Var/Yok	Darbe Sayısı				Grafik												20	40	60	80	100				Üye	Formasyon						
				0-15	15-30	30-45	N ₃₀ /SK	10	20	30	40																			50					
35.0																																			
36.0	36.00	36.25	SPT22	V	47	50 /10		> 50																											
37.0																																			
38.0																																			
39.0																																			
40.0																																			
41.0																																			
42.0																																			
43.0																																			
44.0																																			
45.0																																			
46.0																																			
47.0																																			
48.0																																			
49.0																																			
50.0																																			
51.0																																			
52.0																																			
53.0																																			
54.0																																			
55.0																																			
Yüklenici Adına / Sondajdan Sorumlu - Mühendis / Mühendisler																		İdare Adına / Sondajı Kontrol Eden - Mühendis / Mühendisler																	
Tarih:		2009/3/1																Tarih:		2009/3/1															
		Ad-Soyad / İmza																		Ad-Soyad / İmza															

EK B: SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZ SONUÇLARI

Çizelge B.1 : Sivilaşıma Potansiyeli Analiz Sonuçları (a_{max}: 0,49)

Sondaj	Üst Seviye	Alt Seviye	N30	N60	Cn	(N1)60	(N1)60cs	rd	CSR	CRR	FS _(Mw:7.5)
BH125	11	11.45	27	24.3	0.9	23	24	0.868	0.555	0.261	0.471
BH125	13	13.45	50	45	0.8	38	39				1.250
BH125	14	14.45	45	40.5	0.8	33	34				1.250
BH125	15	15.45	66	59.4	0.8	47	47				1.250
BH125	16	16.45	51	45.9	0.8	35	36				1.250
BH125	17	17.45	47	42.3	0.7	31	32				1.250
BH125	18	18.45	53	47.7	0.7	34	35				1.250
BH125	19	19.45	52	46.8	0.7	33	33				1.250
BH124	9	9.45	41	35.06	1.0	36	37				1.250
BH124	10	10.45	42	37.8	0.9	36	36				1.250
BH124	11	11.45	42	37.8	0.9	34	35				1.250
BH124	12	12.45	46	41.4	0.9	36	37				1.250
BH124	13	13.45	53	47.7	0.8	40	40				1.250
BH124	14	14.45	49	44.1	0.8	36	36				1.250
BH124	15	15.45	41	36.9	0.8	29	29	0.761	0.469	0.387	0.825
BH123	55	55.45	62	55.8	0.4	24	24	0.500	0.327	0.273	0.834
BH123	56	56.45	77	69.3	0.4	29	29	0.500	0.311	0.359	1.152
BH123	60	60.45	64	57.6	0.4	24	24	0.500	0.328	0.269	0.821
BH123	61	61.45	81	72.9	0.4	29	29	0.500	0.311	0.367	1.178
BH123A	17	17.45	20	18	0.7	13	14	0.708	0.437	0.149	0.340
BH123A	18	18.45	26	23.4	0.7	17	17	0.681	0.421	0.187	0.444
BH123A	19	19.45	33	29.7	0.7	21	21	0.655	0.405	0.232	0.573
BH123A	20	20.45	29	26.1	0.7	18	18	0.628	0.388	0.198	0.509
BH123A	21	21.45	37	33.3	0.7	22	23	0.601	0.372	0.250	0.672
BH123A	22	22.45	36	32.4	0.7	21	22	0.575	0.356	0.236	0.663
BH123A	23	23.45	49	44.1	0.6	28	29	0.556	0.345	0.366	1.062
BH123A	24	24.45	56	50.4	0.6	31	32				1.250
BH123A	25	25.45	32	28.8	0.6	18	18	0.540	0.335	0.196	0.585
BH123A	26	26.45	39	35.1	0.6	21	22	0.532	0.330	0.236	0.714
BH123	9	9.45	33	28.22	1.0	28	28	0.922	0.563	0.347	0.616
BH123	11	11.45	20	18	0.9	16	16	0.868	0.533	0.176	0.331
BH123	13	13.45	26	23.4	0.8	20	20	0.815	0.501	0.212	0.423
BH123	15	15.45	30	27	0.8	21	21	0.761	0.469	0.230	0.489
BH123	17	17.45	30	27	0.7	20	20	0.708	0.437	0.215	0.493
BH123	19	19.45	35	31.5	0.7	22	22	0.655	0.405	0.240	0.594
BH123	20	20.45	48	43.2	0.7	29	29	0.628	0.388	0.398	1.025
BH123	21	21.45	49	44.1	0.7	29	29	0.601	0.372	0.393	1.056
BH123	22	22.45	58	52.2	0.7	34	34				1.250
BH123	24	24.45	63	56.7	0.6	35	35				1.250
BH123	25	25.45	58	52.2	0.6	32	32				1.250
BH126	6	6.45	35	29.93	1.3	37	37				1.250
BH126	7	7.45	61	52.16	1.1	58	58				1.250
BH126	43	43.45	78	70.2	0.5	33	33				1.250
BH126	44	44.45	75	67.5	0.5	31	31				1.250
BH128	4	4.45	47	35.96	1.4	52	53				1.250
BH128	5	5.45	50	38.25	1.3	50	51				1.250
BH128	31	31.45	50	45	0.6	26	27	0.500	0.326	0.313	0.960
BH128	36	36.45	40	36	0.5	18	19	0.500	0.311	0.205	0.659
BH128A	1	1.45	22	14.85	2.4	36	36				1.250
BH128A	2	2.45	25	16.88	1.9	32	33				1.250
BH128A	3	3.45	14	10.08	1.6	16	17	0.974	0.573	0.182	0.317
BH128A	4	4.45	19	14.54	1.4	21	21	0.966	0.576	0.233	0.405
BH128A	5	5.45	23	17.6	1.3	23	24	0.958	0.576	0.260	0.452
BH129	3	3.45	3	2.16	1.6	3	4	0.974	0.573	0.059	0.103
BH129	4	4.45	10	7.65	1.4	11	11	0.966	0.576	0.124	0.215

Sondaj	Üst Seviye	Alt Seviye	N30	N60	Cn	(N1)60	(N1)60cs	rd	CSR	CRR	FS _(Mw:7.5)
BH129	5	5.45	11	8.415	1.3	11	11	0.958	0.576	0.123	0.214
BH129A	2	2.45	14	9.45	2.0	18	19	0.981	0.578	0.205	0.354
BH129A	3	3.45	16	11.52	1.6	19	19	0.974	0.573	0.207	0.362
BH129A	4	4.45	19	14.54	1.4	21	21	0.966	0.576	0.233	0.405
BH129A	5	5.45	7	5.355	1.3	7	7	0.958	0.576	0.083	0.144
BH129A	11	11.45	12	10.8	0.9	10	10	0.868	0.533	0.111	0.208
BH129A	12	12.45	15	13.5	0.9	12	12	0.842	0.517	0.132	0.256
BH130	5	5.45	16	12.24	1.3	16	16	0.958	0.576	0.178	0.308
BH130	6	6.45	20	17.1	1.2	21	21	0.951	0.575	0.229	0.398
BH130	20	20.45	50	45	0.7	31	31	0.628	0.388	0.378	1.250
BH130	21	21.45	50	45	0.7	30	31	0.601	0.372	0.245	1.250
BH130	22	22.45	50	45	0.7	29	30	0.575	0.356	0.455	1.278
BH130	23	23.45	50	45	0.6	29	29	0.556	0.345	0.391	1.135
BH130	24	24.45	50	45	0.6	28	29	0.548	0.340	0.366	1.076
BH130	25	25.45	50	45	0.6	28	28	0.540	0.335	0.348	1.039
BH130A	4	4.45	25	19.13	1.5	29	29	0.966	0.597	0.382	0.640
BH130A	5	5.45	5	3.825	1.3	5	5	0.958	0.576	0.067	0.117
BH130A	6	6.45	4	3.42	1.2	4	4	0.951	0.575	0.062	0.108
BH130A	7	7.45	4	3.42	1.1	4	4	0.943	0.573	0.061	0.106
BH130A	8	8.45	15	12.83	1.1	14	14	0.935	0.570	0.151	0.265
BH130A	9	9.45	18	15.39	1.0	15	16	0.922	0.563	0.171	0.304
BH131	3	3.45	11	7.92	1.6	13	13	0.974	0.573	0.144	0.251
BH131	5	5.45	18	13.77	1.3	18	18	0.958	0.576	0.199	0.346
BH131	7	7.45	18	15.39	1.1	17	18	0.943	0.573	0.192	0.334
BH131	8	8.45	24	20.52	1.1	22	22	0.935	0.570	0.242	0.425
BH131	9	9.45	30	25.65	1.0	26	26	0.922	0.563	0.304	0.539
BH131A	3	3.45	14	10.08	1.6	16	17	0.974	0.573	0.182	0.317
BH131A	4	4.45	12	9.18	1.4	13	14	0.966	0.576	0.148	0.256
BH131A	5	5.45	14	10.71	1.3	14	14	0.958	0.576	0.156	0.271
BH131A	8	8.45	23	19.67	1.1	22	22	0.935	0.595	0.243	0.408
BH131A	16	16.45	50	45	0.8	36	36				1.250
BH131A	17	17.45	50	45	0.7	33	34				1.250
BH131A	18	18.45	50	45	0.7	32	33				1.250
BH131A	19	19.45	50	45	0.7	31	32				1.250
BH131A	20	20.45	50	45	0.7	31	31				1.250
BH131A	21	21.45	50	45	0.7	30	31				1.250
BH131A	22	22.45	50	45	0.7	29	30	0.575	0.356	0.455	1.278
BH131A	23	23.45	50	45	0.6	29	29	0.556	0.345	0.391	1.135
BH131A	29	29.5	50	45	0.6	27	28	0.508	0.331	0.331	1.001
BH131A	30	30.45	50	45	0.6	25	26	0.500	0.310	0.297	0.955
BH131B	4	4.45	15	11.48	1.5	17	18	0.966	0.597	0.190	0.319
BH131B	5	5.45	22	16.83	1.3	22	23	0.958	0.576	0.247	0.428
BH131B	8	8.45	18	15.39	1.1	17	17	0.935	0.595	0.188	0.316
S1	6	6.45	9	7.695	1.2	10	10	0.951	0.596	0.109	0.182
S1	7.5	7.95	5	4.275	1.1	5	5	0.939	0.572	0.065	0.114
S1	9	9.45	7	5.985	1.0	6	6	0.922	0.563	0.075	0.132
S1	10.5	10.95	24	21.6	0.9	20	21	0.882	0.540	0.223	0.413
S1	12	12.45	26	23.4	0.9	20	21	0.842	0.517	0.227	0.439
SK1-A	3	3.45	15	10.8	1.7	18	21	0.974	0.587	0.222	0.378
SK1-A	4.5	4.95	10	7.65	1.4	10	13	0.962	0.576	0.138	0.239
SK1-A	6	6.45	12	10.26	1.2	12	15	0.951	0.575	0.159	0.276
SK1-A	7.5	7.95	11	9.405	1.1	10	12	0.939	0.572	0.135	0.236
S2	6	6.45	12	10.26	1.2	13	13	0.951	0.596	0.144	0.241
S2	7.5	7.95	24	20.52	1.1	22	23	0.939	0.572	0.251	0.439
S2	9	9.45	18	15.39	1.0	15	16	0.922	0.563	0.171	0.304

Sondaj	Üst Seviye	Alt Seviye	N ₃₀	N ₆₀	C _n	(N1) ₆₀	(N1) _{60cs}	rd	CSR	CRR	FS _(Mw:7.5)
S2	10.5	10.95	20	18	0.9	17	17	0.882	0.540	0.186	0.344
S3	4.5	4.95	30	22.95	1.4	31	33				1.250
S3	6	6.45	30	25.65	1.2	31	33				1.250
S3	7.5	7.95	30	25.65	1.1	28	30	0.939	0.572	0.424	0.742
S3	9	9.45	65	55.58	1.0	55	58				1.250
S6	6	6.45	8	6.84	1.2	9	9	0.951	0.596	0.098	0.164
S6	7.5	7.95	10	8.55	1.1	9	10	0.939	0.572	0.105	0.184
SK7	4.5	4.95	14	10.71	1.4	15	15	0.962	0.576	0.163	0.283
SK7	6	6.45	8	6.84	1.2	8	9	0.951	0.575	0.095	0.164
SK7-A	6	6.45	33	28.22	1.2	35	36				1.250
BH-6	4.5	4.95	6	4.59	1.4	6	7	0.962	0.576	0.077	0.133
BH-6	6	6.45	8	6.84	1.2	8	9	0.951	0.575	0.095	0.164
BH-6	7.5	7.95	10	8.55	1.1	9	10	0.939	0.572	0.105	0.184
BH-7	4.5	4.95	14	10.71	1.4	15	15	0.962	0.576	0.163	0.283
BH-7	6	6.45	8	6.84	1.2	8	9	0.951	0.575	0.095	0.164
BH-7A	6	6.45	26	22.23	1.2	28	28	0.951	0.596	0.354	0.593
BH75-1	15	15.45	47	42.3	0.8	35	44				1.250
BH75-1	16.5	16.95	43	38.7	0.7	29	38				1.250
BH75-1	18	18.45	50	45	0.7	32	41				1.250
BH75-2	15.1	15.55	28	25.2	0.8	20	21	0.759	0.468	0.223	0.476
BH75-2	16.5	16.95	15	13.5	0.7	10	11	0.721	0.445	0.117	0.264
BH75-2	18	18.45	43	38.7	0.7	28	29	0.681	0.421	0.368	0.873
BH75-2	19.5	19.95	36	32.4	0.7	22	23	0.641	0.397	0.257	0.649
BH75-3	7.5	7.95	3	2.565	1.1	3	7	0.939	0.572	0.078	0.137
BH75-3	9.1	9.55	50	42.75	1.0	42	50				1.250
BH75-3	15	15.45	20	18	0.8	14	19	0.761	0.469	0.206	0.439
BH75-4	12	12.45	22	19.8	0.9	17	22	0.842	0.517	0.239	0.463
BH75-5	4.5	4.95	28	21.42	1.4	29	32				1.250
BH75-5	7.5	7.95	21	17.96	1.1	19	22	0.939	0.572	0.241	0.422
BH75-5	9.5	9.95	50	42.75	1.0	42	45				1.250
S3B	19.5	19.95	43	38.7	0.7	28	29	0.641	0.414	0.360	0.869
S3B	20.5	20.95	47	42.3	0.7	29	29	0.615	0.380	0.382	1.005

* Yatay yer ivmesi (a_{max}) 0.49 olarak kabul edilmiştir.

Çizelge B.2 : Sıvılaşma Potansiyeli Analiz Sonuçları (a_{max}: 0,54)

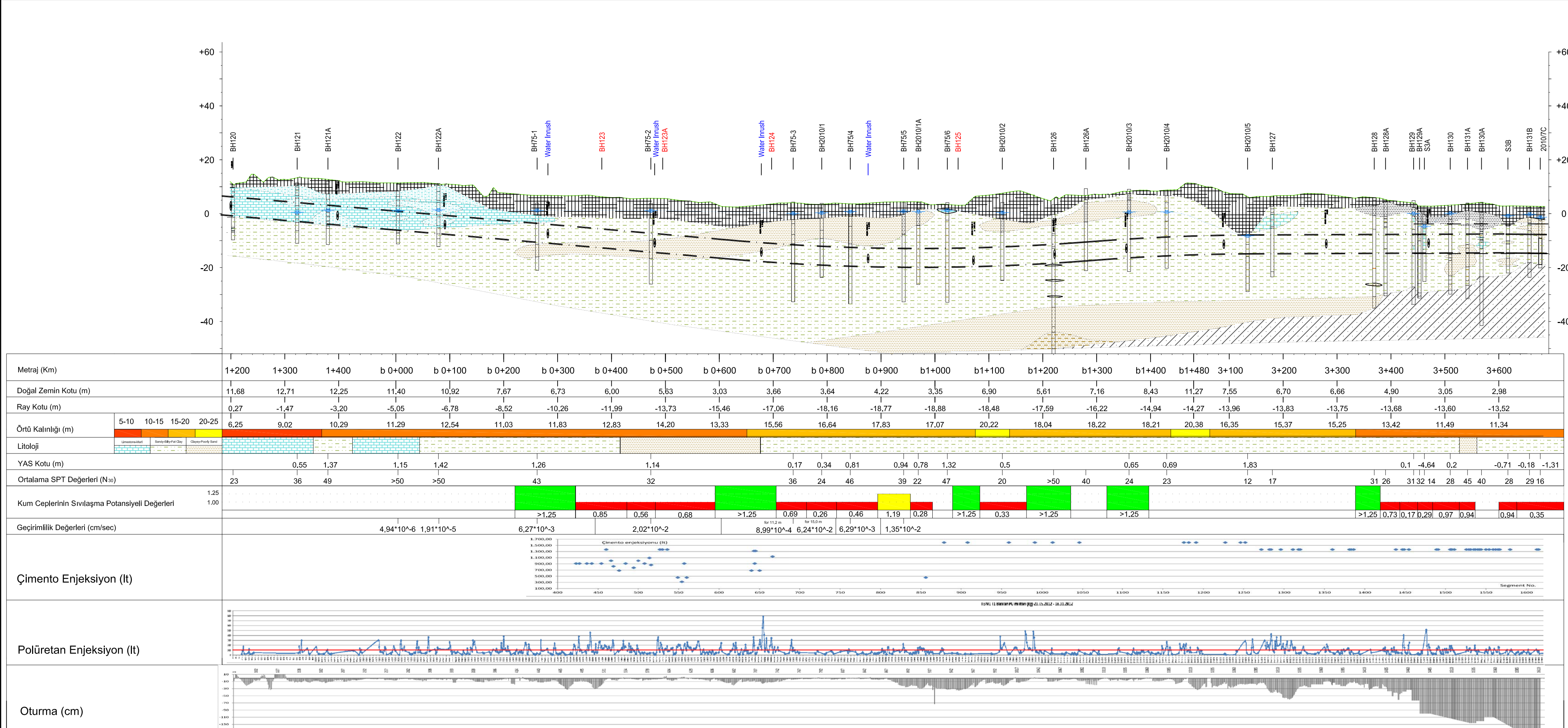
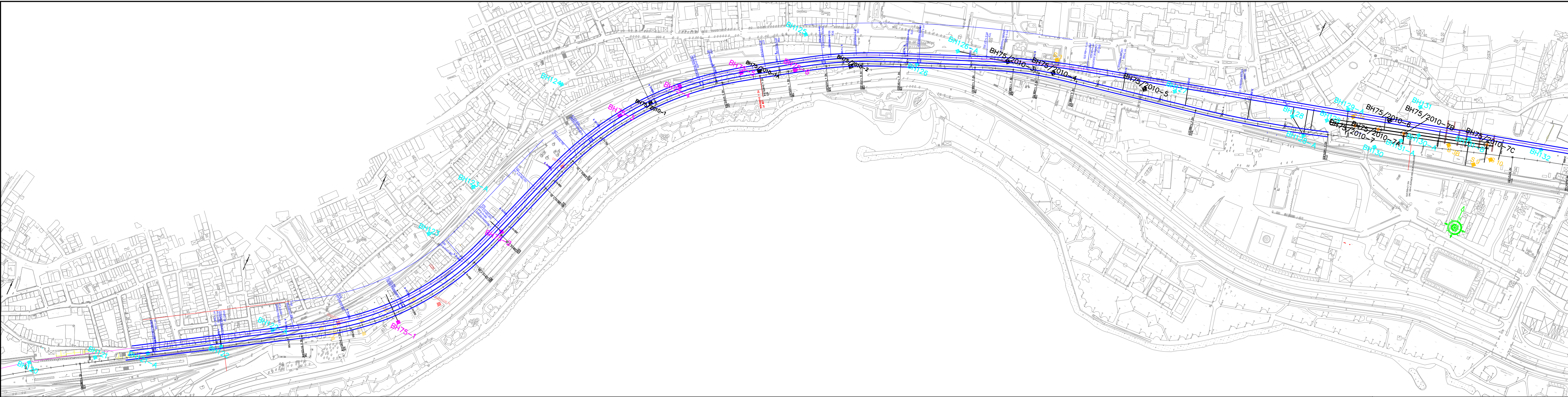
Sondaj	Üst Seviye	Alt Seviye	N30	N60	Cn	(N1)60	(N1)60cs	rd	CSR	CRR	FS _(Mw:7.5)
BH125	11	11.45	27	24.3	0.9	23	24	0.868	0.611	0.261	0.427
BH125	13	13.45	50	45	0.8	38	39				1.250
BH125	14	14.45	45	40.5	0.8	33	34				1.250
BH125	15	15.45	66	59.4	0.8	47	47				1.250
BH125	16	16.45	51	45.9	0.8	35	36				1.250
BH125	17	17.45	47	42.3	0.7	31	32				1.250
BH125	18	18.45	53	47.7	0.7	34	35				1.250
BH125	19	19.45	52	46.8	0.7	33	33				1.250
BH124	9	9.45	41	35.06	1.0	36	37				1.250
BH124	10	10.45	42	37.8	0.9	36	36				1.250
BH124	11	11.45	42	37.8	0.9	34	35				1.250
BH124	12	12.45	46	41.4	0.9	36	37				1.250
BH124	13	13.45	53	47.7	0.8	40	40				1.250
BH124	14	14.45	49	44.1	0.8	36	36				1.250
BH124	15	15.45	41	36.9	0.8	29	29	0.761	0.517	0.387	0.749
BH123	55	55.45	62	55.8	0.4	24	24	0.500	0.361	0.273	0.756
BH123	56	56.45	77	69.3	0.4	29	29	0.500	0.343	0.359	1.046
BH123	60	60.45	64	57.6	0.4	24	24	0.500	0.361	0.269	0.745
BH123	61	61.45	81	72.9	0.4	29	29	0.500	0.343	0.367	1.069
BH123A	17	17.45	20	18	0.7	13	14	0.708	0.482	0.149	0.309
BH123A	18	18.45	26	23.4	0.7	17	17	0.681	0.464	0.187	0.402
BH123A	19	19.45	33	29.7	0.7	21	21	0.655	0.446	0.232	0.520
BH123A	20	20.45	29	26.1	0.7	18	18	0.628	0.428	0.198	0.462
BH123A	21	21.45	37	33.3	0.7	22	23	0.601	0.410	0.250	0.610
BH123A	22	22.45	36	32.4	0.7	21	22	0.575	0.392	0.236	0.602
BH123A	23	23.45	49	44.1	0.6	28	29	0.556	0.380	0.366	0.964
BH123A	24	24.45	56	50.4	0.6	31	32				1.250
BH123A	25	25.45	32	28.8	0.6	18	18	0.540	0.369	0.196	0.530
BH123A	26	26.45	39	35.1	0.6	21	22	0.532	0.364	0.236	0.648
BH123	9	9.45	33	28.22	1.0	28	28	0.922	0.621	0.347	0.559
BH123	11	11.45	20	18	0.9	16	16	0.868	0.587	0.176	0.301
BH123	13	13.45	26	23.4	0.8	20	20	0.815	0.552	0.212	0.384
BH123	15	15.45	30	27	0.8	21	21	0.761	0.517	0.230	0.444
BH123	17	17.45	30	27	0.7	20	20	0.708	0.482	0.215	0.447
BH123	19	19.45	35	31.5	0.7	22	22	0.655	0.446	0.240	0.539
BH123	20	20.45	48	43.2	0.7	29	29	0.628	0.428	0.398	0.930
BH123	21	21.45	49	44.1	0.7	29	29	0.601	0.410	0.393	0.958
BH123	22	22.45	58	52.2	0.7	34	34				1.250
BH123	24	24.45	63	56.7	0.6	35	35				1.250
BH123	25	25.45	58	52.2	0.6	32	32				1.250
BH126	6	6.45	35	29.93	1.3	37	37				1.250
BH126	7	7.45	61	52.16	1.1	58	58				1.250
BH126	43	43.45	78	70.2	0.5	33	33				1.250
BH126	44	44.45	75	67.5	0.5	31	31				1.250
BH128	4	4.45	47	35.96	1.4	52	53				1.250
BH128	5	5.45	50	38.25	1.3	50	51				1.250
BH128	31	31.45	50	45	0.6	26	27	0.500	0.359	0.313	0.871
BH128	36	36.45	40	36	0.5	18	19	0.500	0.342	0.205	0.598
BH128A	1	1.45	22	14.85	2.4	36	36				1.250
BH128A	2	2.45	25	16.88	1.9	32	33				1.250
BH128A	3	3.45	14	10.08	1.6	16	17	0.974	0.631	0.182	0.288
BH128A	4	4.45	19	14.54	1.4	21	21	0.966	0.635	0.233	0.367
BH128A	5	5.45	23	17.6	1.3	23	24	0.958	0.635	0.260	0.410
BH129	3	3.45	3	2.16	1.6	3	4	0.974	0.631	0.059	0.093
BH129	4	4.45	10	7.65	1.4	11	11	0.966	0.635	0.124	0.195

Sondaj	Üst Seviye	Alt Seviye	N30	N60	Cn	(N1)60	(N1)60cs	rd	CSR	CRR	FS _(Mw:7.5)
BH129	5	5.45	11	8.415	1.3	11	11	0.958	0.635	0.123	0.194
BH129A	2	2.45	14	9.45	2.0	18	19	0.981	0.637	0.205	0.322
BH129A	3	3.45	16	11.52	1.6	19	19	0.974	0.631	0.207	0.328
BH129A	4	4.45	19	14.54	1.4	21	21	0.966	0.635	0.233	0.367
BH129A	5	5.45	7	5.355	1.3	7	7	0.958	0.635	0.083	0.131
BH129A	11	11.45	12	10.8	0.9	10	10	0.868	0.587	0.111	0.189
BH129A	12	12.45	15	13.5	0.9	12	12	0.842	0.570	0.132	0.232
BH130	5	5.45	16	12.24	1.3	16	16	0.958	0.635	0.178	0.280
BH130	6	6.45	20	17.1	1.2	21	21	0.951	0.634	0.229	0.361
BH130	20	20.45	50	45	0.7	31	31	0.628	0.428	0.378	1.250
BH130	21	21.45	50	45	0.7	30	31	0.601	0.410	0.245	1.250
BH130	22	22.45	50	45	0.7	29	30	0.575	0.392	0.455	1.159
BH130	23	23.45	50	45	0.6	29	29	0.556	0.380	0.391	1.030
BH130	24	24.45	50	45	0.6	28	29	0.548	0.374	0.366	0.976
BH130	25	25.45	50	45	0.6	28	28	0.540	0.369	0.348	0.943
BH130A	4	4.45	25	19.13	1.5	29	29	0.966	0.658	0.382	0.581
BH130A	5	5.45	5	3.825	1.3	5	5	0.958	0.635	0.067	0.106
BH130A	6	6.45	4	3.42	1.2	4	4	0.951	0.634	0.062	0.098
BH130A	7	7.45	4	3.42	1.1	4	4	0.943	0.631	0.061	0.096
BH130A	8	8.45	15	12.83	1.1	14	14	0.935	0.628	0.151	0.241
BH130A	9	9.45	18	15.39	1.0	15	16	0.922	0.621	0.171	0.276
BH131	3	3.45	11	7.92	1.6	13	13	0.974	0.631	0.144	0.228
BH131	5	5.45	18	13.77	1.3	18	18	0.958	0.635	0.199	0.314
BH131	7	7.45	18	15.39	1.1	17	18	0.943	0.631	0.192	0.303
BH131	8	8.45	24	20.52	1.1	22	22	0.935	0.628	0.242	0.386
BH131	9	9.45	30	25.65	1.0	26	26	0.922	0.621	0.304	0.489
BH131A	3	3.45	14	10.08	1.6	16	17	0.974	0.631	0.182	0.288
BH131A	4	4.45	12	9.18	1.4	13	14	0.966	0.635	0.148	0.233
BH131A	5	5.45	14	10.71	1.3	14	14	0.958	0.635	0.156	0.246
BH131A	8	8.45	23	19.67	1.1	22	22	0.935	0.656	0.243	0.370
BH131A	16	16.45	50	45	0.8	36	36				1.250
BH131A	17	17.45	50	45	0.7	33	34				1.250
BH131A	18	18.45	50	45	0.7	32	33				1.250
BH131A	19	19.45	50	45	0.7	31	32				1.250
BH131A	20	20.45	50	45	0.7	31	31				1.250
BH131A	21	21.45	50	45	0.7	30	31				1.250
BH131A	22	22.45	50	45	0.7	29	30	0.575	0.392	0.455	1.159
BH131A	23	23.45	50	45	0.6	29	29	0.556	0.380	0.391	1.030
BH131A	29	29.5	50	45	0.6	27	28	0.508	0.365	0.331	0.908
BH131A	30	30.45	50	45	0.6	25	26	0.500	0.342	0.297	0.867
BH131B	4	4.45	15	11.48	1.5	17	18	0.966	0.658	0.190	0.289
BH131B	5	5.45	22	16.83	1.3	22	23	0.958	0.635	0.247	0.388
BH131B	8	8.45	18	15.39	1.1	17	17	0.935	0.656	0.188	0.287
S1	6	6.45	9	7.695	1.2	10	10	0.951	0.657	0.109	0.165
S1	7.5	7.95	5	4.275	1.1	5	5	0.939	0.630	0.065	0.104
S1	9	9.45	7	5.985	1.0	6	6	0.922	0.621	0.075	0.120
S1	10.5	10.95	24	21.6	0.9	20	21	0.882	0.596	0.223	0.375
S1	12	12.45	26	23.4	0.9	20	21	0.842	0.570	0.227	0.399
SK1-A	3	3.45	15	10.8	1.7	18	21	0.974	0.647	0.222	0.343
SK1-A	4.5	4.95	10	7.65	1.4	10	13	0.962	0.635	0.138	0.217
SK1-A	6	6.45	12	10.26	1.2	12	15	0.951	0.634	0.159	0.250
SK1-A	7.5	7.95	11	9.405	1.1	10	12	0.939	0.630	0.135	0.214
S2	6	6.45	12	10.26	1.2	13	13	0.951	0.657	0.144	0.218
S2	7.5	7.95	24	20.52	1.1	22	23	0.939	0.630	0.251	0.399
S2	9	9.45	18	15.39	1.0	15	16	0.922	0.621	0.171	0.276

Sondaj	Üst Seviye	Alt Seviye	N ₃₀	N ₆₀	C _n	(N1) ₆₀	(N1) _{60cs}	rd	CSR	CRR	FS _(Mw:7.5)
S2	10.5	10.95	20	18	0.9	17	17	0.882	0.596	0.186	0.312
S3	4.5	4.95	30	22.95	1.4	31	33				1.250
S3	6	6.45	30	25.65	1.2	31	33				1.250
S3	7.5	7.95	30	25.65	1.1	28	30	0.939	0.630	0.424	0.674
S3	9	9.45	65	55.58	1.0	55	58				1.250
S6	6	6.45	8	6.84	1.2	9	9	0.951	0.657	0.098	0.149
S6	7.5	7.95	10	8.55	1.1	9	10	0.939	0.630	0.105	0.167
SK7	4.5	4.95	14	10.71	1.4	15	15	0.962	0.635	0.163	0.257
SK7	6	6.45	8	6.84	1.2	8	9	0.951	0.634	0.095	0.149
SK7-A	6	6.45	33	28.22	1.2	35	36				1.250
BH-6	4.5	4.95	6	4.59	1.4	6	7	0.962	0.635	0.077	0.121
BH-6	6	6.45	8	6.84	1.2	8	9	0.951	0.634	0.095	0.149
BH-6	7.5	7.95	10	8.55	1.1	9	10	0.939	0.630	0.105	0.167
BH-7	4.5	4.95	14	10.71	1.4	15	15	0.962	0.635	0.163	0.257
BH-7	6	6.45	8	6.84	1.2	8	9	0.951	0.634	0.095	0.149
BH-7A	6	6.45	26	22.23	1.2	28	28	0.951	0.657	0.354	0.538
BH75-1	15	15.45	47	42.3	0.8	35	44				1.250
BH75-1	16.5	16.95	43	38.7	0.7	29	38				1.250
BH75-1	18	18.45	50	45	0.7	32	41				1.250
BH75-2	15.1	15.55	28	25.2	0.8	20	21	0.759	0.516	0.223	0.432
BH75-2	16.5	16.95	15	13.5	0.7	10	11	0.721	0.491	0.117	0.239
BH75-2	18	18.45	43	38.7	0.7	28	29	0.681	0.464	0.368	0.792
BH75-2	19.5	19.95	36	32.4	0.7	22	23	0.641	0.437	0.257	0.589
BH75-3	7.5	7.95	3	2.565	1.1	3	7	0.939	0.630	0.078	0.124
BH75-3	9.1	9.55	50	42.75	1.0	42	50				1.250
BH75-3	15	15.45	20	18	0.8	14	19	0.761	0.517	0.206	0.398
BH75-4	12	12.45	22	19.8	0.9	17	22	0.842	0.570	0.239	0.420
BH75-5	4.5	4.95	28	21.42	1.4	29	32				1.250
BH75-5	7.5	7.95	21	17.96	1.1	19	22	0.939	0.630	0.241	0.383
BH75-5	9.5	9.95	50	42.75	1.0	42	45				1.250
S3B	19.5	19.95	43	38.7	0.7	28	29	0.641	0.457	0.360	0.788
S3B	20.5	20.95	47	42.3	0.7	29	29	0.615	0.419	0.382	0.912

* Yatay yer ivmesi (a_{max}) 0.54 olarak kabul edilmiştir.

EK C: MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ KESİTİ VE GÜZERGAH PLANI



Simgeler

Yapay Dolgu

Çekmece Formasyonu

Bakırköy Üyesi
Marn-Kireçtaşı ardalannası
yer yer kil dolgulu

Güngören Üyesi
Kumlu Kil-Siltli Kil-Kil

Çukurçşme Üyesi
Killi Kum-Kötü Derecelenmeli Kum-Siltli Kum

Trakya Formasyonu

Çamurtaşı-Silttaşı-Kumtaşı ardalannası
Diabaz Sokulumları

STFA Sondaj (2002)

STFA Sondaj (2004)

Oyo Sondaj (2009)

Geos Sondaj (2010)

Güzergah

Yeraltı Suyu Seviyesi

YENİKAPI-YEDİKULE TÜNELLERİ

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ PROFİLİ

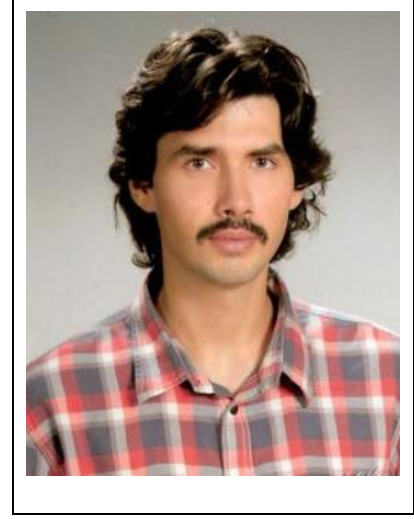
Çizen : Sûna Abık

Ölçek : 1:200 (düşey) - 1:1000 (yatay)

Tarih : 01.03.2014

İTÜ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Süha Abık

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa 27.09.1986

Adres: Kartaltepe mah. Samiayanoğlu cad. Derya Apt. No:3/11 Bakırköy / İSTANBUL

E-Posta: suhaabik@yahoo.com

Lisans: Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği