

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARAY PROJESİ SİRKECİ İSTASYONU PİLOT TÜNEL KAZILARINA
BAĞLI GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Candaş TOPAL

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARAY PROJESİ SİRKECİ İSTASYONU PİLOT TÜNEL KAZILARINA
BAĞLI GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Candaş TOPAL
(505091310)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505091310 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Candaş TOPAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MARMARAY PROJESİ SİRKECİ İSTASYONU PİLOT TÜNEL KAZILARINA BAĞLI GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

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

Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin şekillenmesinde beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU'na, Marmaray Projesi kapsamında görev aldığım süre boyunca mesleki gelişimimde önemli rol oynayan sayın Gökboro AKAY, Songül AKAY ve tüm TAISEI mühendislerine, hayatımın her alanında benden desteğini esirgemeyen aileme ve sevgili arkadaşım Filiz ORALP'e teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Candaş TOPAL
Jeoloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOLLER.....	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY.....	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Marmaray Projesinin Tanıtımı	1
1.3 Sözleşmeler	3
1.3.1 Mühendislik ve müşavirlik hizmetleri sözleşmesi	3
1.3.2 BC1 sözleşmesi (Boğaz Tüp Tünel Geçişi Sözleşmesi).....	3
1.3.3 CR-1 sözleşmesi.....	4
1.3.4 CR-2 sözleşmesi (Demiryolu Aracı Üretimi)	5
2. ARAŞTIRMA ALANI (SİRKECİ İSTASYONU)	7
2.1 İnceleme Alanındaki Yapılaşma	7
2.2 İklimsel Özellikler	9
2.3 Sirkeci İstasyonunun Coğrafi Konumu	10
2.4 Sirkeci İstasyonunun Tanıtımı	10
3. PİLOT TÜNEL KAZILARI.....	13
3.1 Pilot Tünel İnşa Yöntemi.....	14
3.1.1 Profilin kazılması	15
3.1.2 Püskürtme beton uygulaması	17
3.1.3 Bulon (kaya saplaması) uygulaması.....	17
4. GENEL JEOLojİ.....	19
4.1 Lokal Jeolojik Özellikler	19
4.2 Trakya formasyonu.....	20
4.3 Arkeolojik Dolgu.....	20
4.4 Sığ Denizel Çökel Birim.....	21
4.5 Arazi Yüzey Kotları	21
4.6 Yeraltı Suyunun Durumu.....	21
5. İSTASYON TÜNELLERİNE AİT KAZILARIN İZLENMESİ	23
5.1 Tünel Dışı (Yüzey) Ölçüm Sistemleri	23
5.1.1 Bina oturma bulonları.....	23
5.1.2 Bina üç boyutlu (3d) ölçüm noktaları.....	24
5.1.3 Yüzey oturma bulonları	25
5.1.4 Çatlak ölçerler	25
5.1.5 İnklinometre sistemi (yüzey)	25
5.1.6 Ekstensometre	26

5.1.7 Su Seviyesi Ölçüm Kuyuları	28
5.2 Tünel İçi Deformasyon Ölçüm Sistemleri.....	29
5.2.1 Konverjans noktaları	29
5.2.2 Basınç hücreleri (Yassı Verenler).....	29
5.2.3 Tünel içine yerleştirilen piezometreler.....	31
5.2.4 Gerilme ölçerler	32
5.2.5 Tünel içi ekstensometre ölçümleri	32
5.2.6 Yerinde inklinometre ölçümleri.....	33
6. TÜNEL MÜHENDİSLİĞİNDE KAYA SINIFLAMA SİSTEMLERİ.....	35
6.1 Sirkeci İstasyonundaki Kazı ve Destekleme Sisteminin Tasarımında Kullanılan Kaya Sınıflama Sistemleri	35
6.1.1 Kaya kütlesi puanlaması (RMR).....	35
6.1.2 Q sistemi.....	38
6.1.2.1 Destek sisteminin seçimi	41
6.1.2.2 En geniş desteksiz açıklığın (B_{max} , m) ve tavan destek basıncının (P_{tavan}) belirlenmesi	43
6.1.2.3 Kaya saplaması (bulonu) ve ankraj boyutlarının tahmini	43
6.1.2.4 Desteksiz durma süresinin tahmini	44
6.1.2.5 Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün kestirimi	45
6.2 Projede Kullanılan Kaya Sınıflama Sistemi	45
6.3 Kazı Kotunda Geçilen Ortamın Japon Kaya Sınıflama Sistemine Göre Tanımlanması.....	48
7. SİRKECİ İSTASYON BÖLGESİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ.....	49
7.1 Arazi Çalışmaları ve Deneyleri.....	49
7.2 Araştırma Sondajları	49
7.3 Arazi Deneyleri.....	50
7.3.1 Standart penetrasyon deneyi.....	50
7.3.2 Basınçlı su deneyleri (Paker testi).....	50
7.4 Laboratuvar Deneyleri.....	51
7.5 Zemin Profili.....	51
7.5.1 Arkeolojik dolgu birimi.....	51
7.5.2 Kıyı çökelleri	52
7.5.3 Anakaya	52
8. TÜNEL KAZILARINA BAĞLI GELİŞEN OTURMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	53
8.1 Enine Gelişen Oturmalar	53
8.1.1 Yüzey oturma eğrisi – gauss hata fonksiyonu	53
8.1.2 Zemin kaybı.....	54
8.1.3 Tasman profillerinin değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel yaklaşım	54
8.1.4 Tasman eğrisi dönüm noktasının farklı yaklaşımlarla belirlenmesi	55
8.1.5 Oturma eğrisi dönüm noktasının zemin türüne bağlı değişimi.....	56
8.2 Boyuna Gelişen Oturmalar	57
8.3 İkiz Tünel Kazılarına Bağlı Gelişen Yüzey Deformasyonlarının Değerlendirilmesi	58
8.4 Pilot Tünel Kazılarına Bağlı Gelişen Oturmalar.....	66
8.5 Batı-Doğu Havalandırma Bacaları, İstasyon Kuzey Girişi ve Kaçış Şaftı Kazılarının Yüzeyde Yarattığı Etkinin İrdelenmesi.....	68
8.6 A-A' Kesitinin incelenmesi	71
8.6.1 A-A kesitindeki oturmaların yorumlanması	72

8.7 B-B' Kesitinin incelenmesi.....	73
8.7.1 B-B' kesitindeki oturmaların yorumlanması	74
8.8 C-C' Kesitinin incelenmesi.....	75
8.8.1 C-C' kesitindeki oturmaların yorumlanması	77
8.9 Aşırı Oturma Gözlenen Noktalarda İyileştirme Uygulamaları	78
8.9.1 İpek palas oteli (SIR 156) çimento enjeksiyonu ile zemin iyileştirme çalışması.....	78
8.9.2 Konsolidasyona bağlı yüzey oturmalarını önleme çalışması	79
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ	135

KISALTMALAR

ASTM	: American Society of Testing Materials
BH	: Bore Hole (Sondaj Kuyusu)
DLH	: Demiryollar Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü
ITU	: Istanbul Technical University (İstanbul Teknik Üniversitesi)
JBIC	: The Japan Bank for International Corporation
NATM	: New Austrian Tunnel Method (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu)
RQD	: Rock Quality Design (Kaya Kalitesi Tanımlaması)
SCR	: Solid Core Recovery (Katı Parça Karot Yüzdesi)
SPT	: Standar Penetration Test (Standart Penetrasyon Deneyi)
STFA	: Sezai Türkeş Feyzi Akkaya İnşaat Şirketi
TBM	: Tunnel Boring Machine (Tünel Açma Makinası)
TCR	: Total Core Recovery (Toplam Karot Yüzdesi)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Marmaray Projesine ait sayısal bilgiler (Url-2).....	2
Çizelge 1.2: Marmaray Projesi kapsamında hazırlanan BC1, CR1 ve CR2 sözleşmeleri.	3
Çizelge 1.3: BC1 Sözleşmesi (Boğaz Tüp Tünel Geçiş Sözleşmesi)’nin bilgileri. ...	4
Çizelge 1.4: CR-1 Sözleşmesinin bilgileri (Url-2).....	4
Çizelge 5.1: Tünel güzergahı boyunca yerleştirilen ekstensometre cihazlarının okuma derinlikleri.	27
Çizelge 5.2: Güzergâh boyunca ölçümü yapılan su kuyuları.	28
Çizelge 6.1: Sınıflama parametreleri ve puanları.	36
Çizelge 6.2: Süreksizlik durumu sınıflandırması için kılavuz bilgileri.	37
Çizelge 6.3: Süreksizlik doğrultu ve yönelimlerinin tünel açımında etkisi.	37
Çizelge 6.4: Süreksizlik yönelimleri için puanlama düzeltmeleri.	37
Çizelge 6.5: Düzeltilmiş sınıflamadan elde edilmiş kaya kütlesi sınıfları.	37
Çizelge 6.6: Kaya kütle sınıflarının anlamı.	38
Çizelge 6.7: Kaya tünellerinde RMR’ye dayalı destek rehberi.	38
Çizelge 6.8: ESR güvenlik katsayısını belirlemede kullanılan sınıflandırma.	41
Çizelge 6.9: Japon Kaya Sınıflama sistemi ile RMR ve Q sistem arasındaki geçiş.	45
Çizelge 6.10: Tünel genişlikleri ve uygulanacak desteğin tanımı.	46
Çizelge 6.11: Küçük kesitli tüneller için dizayn parametreleri.	46
Çizelge 6.12: 2 şeritli karayolu tünelleri için dizayn parametreleri.	46
Çizelge 6.13: 3 şeritli karayolu tünelleri için dizayn parametreleri.	47
Çizelge 6.14: Japon Kaya Sınıflama sistemi gruplarına ait tipik deformasyon ve dayanım değerleri.	47
Çizelge 6.15: Jeolojik ortamda karşılaşılan kaya sınıflarının jeoteknik parametreleri.	48
Çizelge 7.1: Tünel kazısı öncesinde gerçekleştirilen sondajların koordinatları, kotları ve derinlikleri.	49
Çizelge 7.2: N30 Değerlerinin ince daneli ve iri daneli birimlerdeki değerleri (Terzaghi ve Peck, 1968).	50
Çizelge 7.3: İnceleme alanında gerçekleştirilen paker testlerine ait sonuçları.	51
Çizelge 8.1: A değerinin farklı zemin türlerine göre değişimini gösteren çizelge.	56
Çizelge 8.2: A ve B katsayılarının zemin türünün değişimi.	57
Çizelge 8.3: Pilot tünellerin A-A’ hattı üzerine denk gelen yüzey oturma değerleri.	72
Çizelge 8.4: Pilot tünellerin B-B’ hattı üzerine denk gelen yüzey oturma değerleri.	75
Çizelge 8.5: Pilot tünellerin C-C’ hattı üzerine denk gelen yüzey oturma değerleri.	77
Çizelge A.1: Q sistemde kullanılan RQD karşılaştırma çizelgesi.	91
Çizelge A.2: Q sistemde kullanılan eklem takım sayısı çizelgesi.	92
Çizelge A.3: Q sistemde kullanılan eklem pürüzsüzlük sayısı çizelgesi.	93
Çizelge A.4: Q sistemde kullanılan eklem alterasyon sayısı çizelgesi.	94
Çizelge A.5: Q sistemde kullanılan eklem su azalma faktörü çizelgesi.	95
Çizelge A.6: Q sistemde kullanılan gerilme azalma faktörü çizelgesi.	96

Çizelge B.1: Güzergâh boyunca gerçekleştirilen S.P.T deneyi sonuçlarının kuyulara ve derinliklerine göre dağılımı.	98
Çizelge B.2: Arkeolojik dolgunun sondajlara göre kalınlık, N30 ve içsel sürtünme açısı değerleri.	100
Çizelge B.3: Arkeolojik dolgunun dane boyutu dağılımını gösterir çizelge.	101
Çizelge B.4: Kıyı çökellerinin sondajlarda kesilen kalınlığı, N30 ve içsel sürtünme açısı değerleri.	102
Çizelge B.5: Kumlu birimin dane boyutu dağılımını gösterir çizelge.	104
Çizelge B.6: Ana Kaya'ya ait TCR, RQD ve SCR değerlerini gösterir çizelge.	106
Çizelge B.7: Ana Kaya'ya ait Jeoteknik Parametreleri gösterir çizelge.	107
Çizelge B.8: Ana Kaya'ya ait Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülünü gösterir çizelge.	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Sirkeci istasyon kazılarına ait doğu şaftından çıkan tarihi kalıntılar.	7
Şekil 2.2: Güzergâh üzerinde incelenen binaların risk durumu dağılımı.	8
Şekil 2.3: Güzergâh üzerinde incelenen binaların hasar durum dağılımları.	9
Şekil 2.4: Çalışma bölgesinin İstanbul haritasındaki yeri.	10
Şekil 2.5: Sirkeci İstasyon yerleşim planının kuş bakışı görünümü.	10
Şekil 2.6: Sirkeci İstasyonunun tamamlanmış halini gösteren üç boyutlu görüntü. ..	11
Şekil 3.1: Pilot tünel tip kesit.	13
Şekil 3.2: Pilot tünellerin platform tünel ve yürüyüş tüneline göre pozisyonunu gösterir çizim.	14
Şekil 3.3: Pilot tünel güzergâh haritası.	14
Şekil 3.4: Pilot tünel tipik kazı profili.	15
Şekil 3.5: Mekanize pilot tünel kazısına örnek bir görüntü.	15
Şekil 3.6: Pilot tünel kazılarında gerçekleştirilen süren uygulamasına ait gösterim. .	16
Şekil 3.7: Sirkeci İstasyonunu Pilotu Tünellerinden püskürtme beton uygulaması. ..	17
Şekil 3.8: Bulon (Kaya saplaması) delgisinin oluşturulması.	18
Şekil 4.1: 0-13.5 m. Arası Arkeolojik Dolgu, 13.5 – 21 m. arası Killi Siltli Kumlu birim (Sığ denizel çökel), 21m.ve üzeri Ana Kaya.	19
Şekil 4.2: Güney Pilot Tünel 176. metre ve Kuzey Pilot Tünel 175. Metre kazıları sırasında tünel aynası fotoğraflarında görülen Trakya Formasyonu.	20
Şekil 4.3: İnceleme alanına ait topografya haritası (Konturlar metre birimindedir). .	21
Şekil 4.4: İnceleme alanında yapılan araştırma sondajı verilerinden hareketle oluşturulan yeraltı suyu seviye haritası (Konturlar metre birimindedir). ..	22
Şekil 5.1: Güzergâh üzerinde mevcut bir binaya yerleştirilen otuma bulonu.	23
Şekil 5.2: Güzergâh üzerinde bulunan bir binada üç boyutlu gözlem için tesis edilmiş ölçüm noktalarının konumu.	24
Şekil 5.3: Güzergâh üzerinde mevcut bulunan bir çatlak ölçer.	25
Şekil 5.4: Sirkeci istasyonuna yerleştirilen inklinometre boruları	26
Şekil 5.5: İnklinometre cihazının çalışma prensibi.	26
Şekil 5.6: Sahaya uygulanan ekstensometre cihazı ölçüm kabloları.	27
Şekil 5.7: Tünel içine yerleştirilen Konverjans noktalarına ait örnek bir uygulama. .	29
Şekil 5.8: Geçici tünel kaplaması içerisine yerleştirilen basınç hücrelerinin (yassı verenlerin) konumları	30
Şekil 5.9: Pilot tünellerde kullanılan basınç hücre (yassı veren) tiplerini gösteren örnek fotoğraf (Url-4).	30
Şekil 5.10: Tünel kesitine yerleştirilen piezometrelerin konumu.	31
Şekil 5.11: Tünel içerisine yerleştirilen piezometre tipleri (Url-5).	31
Şekil 5.12: Tünellerde kullanılan gerilme ölçerler (Url-6).	32
Şekil 5.13: Tünel kesitine yerleştirilen ekstensometrelerin konumu.	32
Şekil 5.14: Tünel içi ekstensometrelere ait uygulama görüntüsü.	33
Şekil 5.15: Yerinde inklinometre cihazına ait seri sondalar (Url-3).	33

Şekil 5.16: Sirkeci İstasyon Tüneline yerleştirilen yerinde inklinometre cihazının yerleştirilmesi	34
Şekil 6.1: Q sisteminin ilk kez önerildiğinde kullanılan destek kategorileri abağı (Barton, 1976).	42
Şekil 6.2: Q sistemi için güncelleştirilmiş destek abağı (Grimstad ve Barton, 1993).	42
Şekil 6.3: Q desteksiz açıklık genişliği abağı (Barton, 1976).	43
Şekil 6.4: Q desteksiz durma süresi abağı (Barton, 1976).	44
Şekil 6.5: Çalışma güzergâhının tünel kazı derinliğinin Japon Kaya Sınıflamasına göre haritası.	48
Şekil 8.1: Tek tüplü tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanına ait tipik profil.	53
Şekil 8.2: Tasman büyüklüğüne bağlı gelişen zemin kaybının teorik profili.	54
Şekil 8.3: TBM kazılarına bağlı gelişen boyuna oturmalar (Sugiyama ve diğ, 1999).	57
Şekil 8.4: Esenler-Kirazlı metro hattı ikiz tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyon eğrisi (Mahmutoğlu, 2011).	59
Şekil 8.5: İkiz tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanlarının teorik gösterimi (Tüneller arası mesafe 34 m.).	60
Şekil 8.6: Tüpler kazılmadan önceki jeolojik ortam.	61
Şekil 8.7: Güney Pilot Tünel kazısına bağlı gelişen yüzey ve ortam deformasyonu- İlk tüpün kazısı.	62
Şekil 8.8: Kuzey Pilot Tünel kazısına bağlı gelişen yüzey ve ortam deformasyonu- İkinci tüpün kazısı.	63
Şekil 8.9: İkiz tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanlarının teorik gösterimi (Tüneller arası mesafe 10 m.).	65
Şekil 8.10: İncelenen enkesit hatlarının yerleri.	66
Şekil 8.11: Pilot tünellerin kazı ilerleme grafiği.	67
Şekil 8.12: Batı Havalandırma Bacası (Solda) ve Doğu Havalandırma Bacası (Sağda) ve civarı kazıların oluşturduğu yüzey deformasyonları (Konturlar mm. cinsindendir).	69
Şekil 8.13: Batı Havalandırma Bacası kazısının A-A' kesiti üzerindeki etkisi.	70
Şekil 8.14: Doğu Havalandırma Bacası, Kaçış Bacası ve İstasyon Kuzey Girişi Kazısının C-C' kesiti üzerindeki etkisi.	70
Şekil 8.15: A-A' kesiti (Tünel mesafesi: 54. metre).	71
Şekil 8.16: A-A' kesitinin jeolojisi.	71
Şekil 8.17: 09.01.2009 ve 06.02.2009 tarihleri arasında hat boyunca gelişen yüzey deformasyonlarının A-A' kesiti üzerindeki etkisi.	72
Şekil 8.18: A-A' kesiti için sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenen olası yüzey oturma eğrileri.	73
Şekil 8.19: B-B' kesiti (Tünel Mesafesi: 102. metre).	73
Şekil 8.20: B-B' kesitinin jeolojisi.	73
Şekil 8.21: 20.02.2009 ve 20.03.2009 tarihleri arasında hat boyunca gelişen yüzey deformasyonların B-B' kesiti üzerindeki etkisi.	74
Şekil 8.22: B-B' kesiti için sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenen olası yüzey oturma eğrileri.	75
Şekil 8.23: C-C' kesiti (Tünel Mesafesi: 212. metre).	75
Şekil 8.24: C-C' kesitinin jeolojisi.	76
Şekil 8.25: 11.06.2009 ve 25.08.2009 tarihleri arasında hat boyunca gelişen yüzey deformasyonların C-C' kesiti üzerindeki etkisi.	76

Şekil 8.26: C-C' kesiti için sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenen olası yüzey oturma eğrileri.	77
Şekil 8.27: Zemin iyileştirme çalışması yapılan İpek Palas Oteli'nin konumu gösterir harita.	78
Şekil 8.28: Zemin iyileştirme çalışması yapılan İpek Palas Oteli'nin yüzey oturma değerleri.	79
Şekil 8.29: Konsolidasyonu önleme amaçlı çalışmanın gerçekleştirildiği SIR 99 numaralı binanın konumu gösterir haritası.	80
Şekil 8.30: Konsolidasyonu önleme amaçlı çalışma için gerçekleştirilen yönlü sondajlara ait bir fotoğraf.	80
Şekil 8.31: Konsolidasyonu önleme amaçlı çalışma için kurulan su besleme sistemi.	81
Şekil 8.32: SIR 99 numaralı binaya ait yüzey oturumlarını ve enjeksiyon tarihlerini gösterir şekil.	81
Şekil F.1: SIR 139 numaralı binanın yüzey oturumları.	119
Şekil F.2: SIR 138 numaralı binanın yüzey oturumları.	119
Şekil F.3: SIR 137 numaralı binanın yüzey oturumları.	119
Şekil F.4: SIR 136 ve SIR 135 numaralı binaların yüzey oturumları.	120
Şekil F.5: SIR 154 numaralı binanın yüzey oturumları.	120
Şekil F.6: SIR 155 numaralı binanın yüzey oturumları.	120
Şekil F.7: SIR 156 numaralı binanın yüzey oturumları.	121
Şekil F.8: SIR 142 numaralı binanın yüzey oturumları.	121
Şekil F.9: SIR 141 numaralı binanın yüzey oturumları.	121
Şekil F.10: SIR 140 numaralı binanın yüzey oturumları.	122
Şekil F.11: SIR 151 numaralı binanın yüzey oturumları.	122
Şekil F.12: SIR 152 numaralı binanın yüzey oturumları.	122
Şekil F.13: SIR 153 numaralı binanın yüzey oturumları.	123
Şekil G.1: SIR 81 numaralı binanın yüzey oturumları.	125
Şekil G.2: SIR 128 numaralı binanın yüzey oturumları.	125
Şekil G.3: SIR 129 numaralı binanın yüzey oturumları.	125
Şekil G.4: SIR 130 numaralı binanın yüzey oturumları.	126
Şekil G.5: SIR 131 numaralı binanın yüzey oturumları.	126
Şekil G.6: SIR 132 numaralı binanın yüzey oturumları.	126
Şekil G.7: SIR 133 numaralı binanın yüzey oturumları.	127
Şekil G.8: SIR 123 ve SIR 122 numaralı binaların yüzey oturumları.	127
Şekil G.9: SIR 125 ve SIR 124 numaralı binaların yüzey oturumları.	127
Şekil G.10: SIR 145 numaralı binanın yüzey oturumları.	128
Şekil G.11: SIR 144 numaralı binanın yüzey oturumları.	128
Şekil G.12: SIR 143 numaralı binanın yüzey oturumları.	128
Şekil G.13: SIR 142 numaralı binanın yüzey oturumları.	129
Şekil G.14: SIR 126 numaralı binanın yüzey oturumları.	129
Şekil G.15: SIR 127 numaralı binanın yüzey oturumları.	129
Şekil H.1: SIR 59 numaralı binanın yüzey oturumları.	131
Şekil H.2: SIR 60 numaralı binanın yüzey oturumları.	131
Şekil H.3: SIR 47 numaralı binanın yüzey oturumları.	131
Şekil H.4: SIR 48 numaralı binanın yüzey oturumları.	132
Şekil H.5: SIR 44 numaralı binanın yüzey oturumları.	132
Şekil H.6: SIR 45 numaralı binanın yüzey oturumları.	132
Şekil H.7: SIR 46 numaralı binanın yüzey oturumları.	133
Şekil H.8: SIR 116 numaralı binanın yüzey oturumları.	133

Şekil H.9: SIR 97 numaralı binanın yüzey oturumları	133
Şekil H.10: SIR 98 numaralı binanın yüzey oturumları	134

SEMBOLLER

q_u	: Serbest Basınç Direnci
N₃₀	: Standart Penetrasyon Direnci
EP	: Pressiometrik Modül
PL	: Limit Basınç
σ_u	: Tek Eksenli Basınç Direnci
IS	: Nokta Yükleme İndeksi
W_n	: Su Muhtevası
γ_n	: Özgül Ağırlık
γ_s	: Birim Hacim Ağırlığı
c_u	: Drenajsız Kayma Mukavemeti
c	: Kohezyon
φ	: İçsel Sürtünme Açısı
d	: Örnek kalınlığı
K	: Permeabilite
S	: Ölçek
P	: Noktasal Yük

MARMARAY PROJESİ SIRKECİ İSTASYONU PİLOT TÜNEL KAZILARINA BAĞLI GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tezin amacı Marmaray Projesi kapsamında yapımı gerçekleşen Sirkeci İstasyonu Pilot tünel kazılarına bağlı olarak gelişen yüzey deformasyonlarının, hattın jeolojik özelliklerini de dikkate alarak jeoteknik parametrelere göre incelemek ve ikiz pilot tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyonlarını analiz etmektir. Tez kapsamında bölgenin jeolojik özellikleri, bölgedeki mühendislik uygulamaları ve uygulama sırasında oluşan çevresel etkileri ortaya koyan izleme verileri birlikte değerlendirilmiştir.

Marmaray projesi ülkemizde son yıllarda gerçekleştirilen en önemli altyapı projelerinden birisidir. Bu proje, Avrupa yakasında, Halkalı ile Asya yakasında bulunan Gebze ilçelerini banliyö demiryolu sistemiyle bağlamak amacıyla İstanbul'daki banliyö demiryolu sisteminin iyileştirilmesi ve Demiryolu Boğaz Tüp Geçişi inşasına dayanmaktadır.

Proje çerçevesinde, İstanbul Boğazının her iki yakasındaki demiryolu hatları, İstanbul Boğazı'nın altından geçecek olan bir demiryolu bağlantısı ile birbirine bağlanmıştır. Hat, Kazlıçeşme'de yeraltına inip; yeraltı istasyonları olan Yenikapı ve Sirkeci boyunca ilerleyerek İstanbul Boğazının altından geçip diğer bir yer altı istasyonu olan Üsküdar'a bağlandıktan sonra Söğütluçeşme'de tekrar yer yüzüne çıkmaktadır.

İyileştirilecek ve hatta yeni eklenen kısımlarla birlikte demiryolu sisteminin tamamı, yaklaşık 76 km uzunluğundadır. Ana yapılar ve sistemler, batırma tüp tünel, delme tüneller, aç-kapa tüneller, hemzemin yapılar, 3 yeni yeraltı istasyonu, 37 yerüstü istasyonu (yenileme ve iyileştirme), işletim kontrol merkezi, sahalar, atölyeler, bakım tesisleri, yerüstüne inşa edilmiş olan yeni bir üçüncü hat dahil olmak üzere, mevcut hatların iyileştirilmesi, tamamen yeni elektrikli ve mekanik sistemler ve temin edilecek olan modern demiryolu araçlarını kapsayacak olan 4 bölümden oluşmaktadır.

İncelemenin gerçekleştirildiği Sirkeci İstasyonu, Marmaray Projesinin Asya'dan Avrupa geçişteki ilk istasyonudur. İstasyon inşası tarihi Sirkeci Garı' na komşu bir alanda gerçekleştirilmiştir.

Bölge tarihi yapısı dolayısıyla birçok medeniyete ve farklı yapılaşmalara ev sahipliği yapmıştır. Zaman içerisinde yok olan bu yapılaşmaların kalıntıları Sirkeci bölgesinin altında arkeolojik bir dolgu tabakası oluşturmuş ve proje kapsamında gerçekleşen kazılar neticesinden bu kalıntıların bir kısmı gün yüzüne çıkarılmıştır.

Çalışma bölgesinde mevcut bulunan yapılaşmaların çoğunluğu ticarethane olarak kullanılmaktadır. Ticarethanelerin büyük bir bölümünü bölgedeki turistik canlılığa en fazla katkısı sağlayan oteller oluşturmaktadır.

Mevcut otellerin, tünel kazılarına baēlı geliŖen deformasyonlar nedeniyle gerek dıŖ cephelerinde gerekse bina içinde, yapıların taşıyıcı elemanlarında (kolon ve kiriŖlerinde) karŖılaŖılan çatlaklardan, Sirkeci İstasyonu'na ait yeraltı kazılarının bölgede bulunan birçok yapıyı önemli düzeyde etkilediēi anlaŖılmaktadır.

Ayrıca inceleme alanında bulunan yapıların oēu mühendislik açısından oldukça güçsüz, herhangi bir mühendislik hizmeti almamıŖ yaŖlı yapılardır.

Bir geliŖ bir gidiŖ hattı olmak üzere 2 hatlı olan istasyonun yüzeyden giriŖi bulunmaktadır. İstasyon kazılarına baŖlamadan önce Batı, Doēu Havalandırma Ŗaftları, İstasyon Kuzey GiriŖi'nin bir bölümü ve Doēu Havalandırma Bacasına komŖu olan KaıŖ Ŗaftı kazılmıştır.

İstasyon inŖası iki ana parçadan oluŖmaktadır. Aç-Kapa yöntemi ile inŖa edilen istasyon giriŖleri ve N.A.T.M (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) yöntemi ile inŖa edilen ana hat tüneli kazıları.

İstasyon tünel kazı iŖleri N.A.T.M (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) ile pilot tünellerin kazımı, akabinde bu tünellerin nihai kesite geniŖletilmesi ve KazlıeŖme'den gelen TBM'lerin Sirkeci İstasyonunu geçerek Sarayburnu'nda batırma tüpler ile birliŖmesi ile tamamlanmıştır.

Pilot tünel kazılarının öncelikli amacı istasyon bölgesindeki peron açıklıklarının projede öngörülen kesitte kazılmadan önce kesit daha küçük bir hat boyunca oluŖturularak, yüzeyde geliŖecek deformasyonların ve tünel evre kayasının davranıŖını ortaya çıkarmaktır.

Pilot tünel kazıları hazırlanan proje çerçevesinde ve yedi temel adım üzerinden gerekleŖtirilmiştir. Bunlar sırasıyla; profilin kazılması, profilin ölçeklendirilmesi ve tıraŖlanması, ayna haritalaması, iksanın ve elik hasırın yerleŖtirilmesi, ölçüm yapılması, püskürtme beton uygulaması ve bulon (kaya saplaması) uygulamasıdır.

Sirkeci istasyonunun içerisine temellendirildiēi jeolojik ortam jeomekanik özellikleri birbirinden farklı üç ana birimden oluŖmaktadır. Bu birimler üstten alta doēru, arkeolojik dolgu, siltli kumlu, ayrık nitelikteki güncel kıyı çökelleri ve bu birimlerin tabanında yer alan trakya formasyonu Ŗeklinde sıralanmaktadır.

Güzergâh boyunca kazı ile geliŖen deformasyonların gözlemlenebilmesi için tünel içinde ve tünel dıŖında (yeryüzünde) lm - izleme aēı kurulmuŖ ve bunlar kazı ilerlemesine baēlı olarak önceden tasarlanmış zaman aralıklarında llmŖtir. Ancak uygulama sırasında, anomali ile karŖılaŖılması durumunda ölçüm sıklıēı belirli noktalarda revize edilmiştir.

Tünel dıŖına (yerüstüne) yerleŖtirilen ölçüm sistemlerini; bina oturma bulonları, üç boyutlu bina ölçüm bulonları, ekstensometreler, inklinometreler ve çatlak ölçerler, tünel içerisine yerleŖtirilen ölçüm sistemlerini ise konverjans ölçüm noktaları, tünel içi ekstensometreler, tünel içi inklinometreler, basınç ölçerler, gerilim ölçerler ve boŖluk suyu basınç ölçerler oluŖurmaktadır.

İstasyon tünelleri Japon kaya sınıflama sistemi ve bu sınıflamanın n grdēu tasarım parametrelerine göre projelendirilmiştir.

İnceleme alanında istasyon kazılarına baŖlamadan önce zeminin jeolojik ve jeoteknik modelini oluŖturmak için derinlikleri 24 m. ve 72 m. arasında deēiŖen 8 adet sondaj gerekleŖtirilmiştir. Bu sondajlara göre öngörülen kazı profili, pilot tünel kazılarından elde edilen bilgiler kullanılarak revize edilmiştir.

Çalışma kapsamında araştırma kuyularının farklı derinliklerinde yerinde deneyler (Standart Penetrasyon (SPT) ve basınçlı su deneyleri) yapılmıştır. Bunlara ek olarak inceleme alanındaki sondajlardan alınan zemin numuneleri üzerinde laboratuarda su muhtevası, atterberg limiti, elek analizi, özgül ağırlık ve birim hacim ağırlığı, drenajsız üç eksenli basınç, konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç, konsolidasyonlu drenajlı yavaş kesme testi, tek eksenli konsolidasyon ve şişme deneyleri gerçekleştirilmiş olup bunlara ilave olarak, kaya karot örneklerinde ise doğal su muhtevası, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, nokta yükleme ,üç eksenli basınç, şişme indeksi, cerchar aşınma, Brezilya çekme kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden cerchar aşınma testi İTÜ Maden Fakültesi Kazı Mekaniği Laboratuvarlarında, nokta yükleme testi STFA Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Geri kalan kaya testleri ise İTÜ Maden Fakültesi Mühendislik Jeolojisi-Kaya Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, uygulama sürecinde tünel eksenı boyunca yerleştirilen bina oturma bulonlarından alınan ölçümler Surfer-8 programıyla oturma konturlarına dönüştürülmüştür ve bu konturlar vasıtası ile yüzey deformasyonlarının kesitleri alınmıştır.

Tez kapsamında pilot tünel güzergâhı boyunca seçilen 3 kritik kesit hattı belirlenmiş ve bu hatların pilot tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyonları irdelenmiştir.

Pilot tünel kazıları başlamadan önce açılan Batı ve Doğu Havalandırma Şaftları, İstasyon Kuzey Girişi'nin bir bölümü ve Doğu Havalandırma Bacasına komşu olan Kaçış Şaftı kazıları ile oluşan yüzey deformasyonları neticesinde çalışma bölgesi pilot tünel kazıları öncesinde örselenmiş ve bu durum kesit hatlarının incelenmesi sırasında göz önünde ayrıca bulundurulmuştur.

Analiz edilen kesitler aşağıdaki adımlarla yürütülmüştür; İlk olarak incelenecek kesitin jeolojik profili oluşturulmuş ve bu profil Rocscience Phase² sonlu elemanlar yazılımına yüklenerek tünellerdeki kazı adımları da göz önünde tutularak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen yüzey deformasyon eğrileri kayıt edilmiş ve analiz neticesinde beklenen oturma formu oluşturulmuştur. Nihai olarak oluşturulan yüzey deformasyon eğrileri gerçekte oluşan yüzey oturma eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

İnceleme alanının jeolojik ve jeoteknik parametreleri proje öncesi gerçekleştirilen sondaj faaliyetleri neticesinde belirlenmiştir. Jeolojik ortamın özelliklerinin saptanmasına yönelik çalışmalar uygulama sırasında da sürdürülmüş ve inceleme alanında kazı kotlarının yer aldığı kesimler detaylı olarak tanımlanmıştır. Elde edilen tüm veriler birleştirilerek Sirkeci İstasyonu'nun yer aldığı bölgenin sayısal modeli oluşturulmuştur.

Sirkeci İstasyonu'nun antik yerleşim alanında bulunması, yapı stoğunun yeterli mühendislik hizmeti almamış olması, eski ve yıpranmış olması nedenleriyle çok aşamalı yeraltı kazılarından etkileneceği düşünülmüş, bu nedenle de kazıların jeoteknik ölçümlerle denetlenmesi zorunluluk kazanmıştır. Böylelikle elde edilen ölçüm verilerinin analiz edilerek erişilen bilgilerin uygulamayı yönlendirmesi sağlanabilmiştir. Bu bağlamda oluşturulan tünel içi ve tünel dışı gözlem sistemleri ile gelişen yüzey oturumları incelenmiş ve gelişmesi muhtemel yüzey oturma profili kestirimi yapılmıştır.

Bu analiz ve değerlendirmeler sonucunda;

- Sirkeci İstasyonu'na ait yeraltı açıklıkları proje kesiti kazılarına geçilmeden önce pilot tünel kazılarının gerçekleştirilmesi, ortam özellikleri ve davranışlarının belirlenmesi, kazı kaynaklı yüzey deformasyonlarının kestirimi ve denetimi açısından büyük yarar sağlamıştır. Pilot tünel kazıları neticesinde, istasyonun yerleşeceği eksenini oluşturan jeolojik ortam görülerek detaylı olarak tanımlanabilmiş, ileride oluşabilecek yüzey ve yeraltı deformasyonları sağlıklı bir şekilde kestirilebilmiştir.
- İnceleme alanını kaplayan Arkeolojik Dolgunun, boşluklu ve çoğunlukla kemerleşmeye müsade etmeyen bir yapı olduğu belirlenmiştir.
- Kemerleşmeye müsade etmeyen Arkeolojik Dolgunun içerisindeki yeraltı suyunun tünellere drenajı neticesinde bazı lokasyonlarda konsolidasyon oturumlarının oluştuğu belirlenmiştir.
- İncelenen kesitlerden henüz tünel kazıları gerçekleşmeden önce, jeolojik ortamın Batı ve Doğu Havalandırma Şaftları, İstasyon Kuzey Girişi'nin bir bölümü ve Doğu Havalandırma Bacasına komşu Kaçış Şaftı kazısı tarafından örselendiği gerçeği inceleme sırasında göz önünde bulundurulmuştur.
- Bazı kesitler üzerine denk gelen yüzey oturumları, 1. Pilot Tünelin (Güney Pilot Tünel) kazısı sırasında, bu tünel üzerinde, 2. Pilot Tünelin (Kuzey Pilot Tünel) kazısının sonrasında da ise 2. Pilot Tünel üzerinde maksimum değere ulaştığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin bir önceki maddede bahsedilen ilk örselenmeler olduğu ve arkeolojik dolgunun kemerleşmeye müsaade etmeyen yapısından dolayı sağlam bir kaya yapısı gibi hareket etmek yerine daha çok akıcı bir malzeme gibi hareket etmesine bağlanmıştır.
- Havalandırma Bacaları, Kaçış Şaftı ve İstasyon Kuzey Girişi kazılarının bulunduğu kısımların diğer bölgelere göre ilk kazılardan daha fazla etkilenecek örselendiği görülmüştür.
- Proje kapsamında yüzeydeki binaların oturma eğrileri detaylı bir şekilde incelenmiş ve gerekli görülen lokasyonlarda zemin iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.
- Bölgedeki bazı binaların zemininde gelişen konsolidasyon oturumlarını yavaşlatmak için, bu binaların temeline yönlü sondajlar ile ulaşılmış ve yeraltı suyunun tünellere drenajı nedeniyle zemin suyu kaybına bağlı oluşan konsolidasyon oturumlarını engellemek için yüzeyde kurulan bir sistem ile zemine su enjekte edilip, su seviyesi düşümü kontrol altında tutulmuştur.
- Nihai sonuç olarak, yüzey deformasyonlarının kritik olduğu tünel projelerinde, jeolojik ortamın tünel kazılarına nasıl tepki verdiğini incelemek ve ileride oluşabilecek deformasyonları tahmin edebilmek için önceden açılacak pilot tünel kazılarının kent içi kazılarında göz önünde tutulmasının yararlı olduğu görülmüştür.

ASSESSMENT OF THE PILOT TUNNEL INDUCED GROUND SURFACE DEFORMATIONS OF THE MARMARAY PROJECT SIRKECI STATION.

SUMMARY

The aim of this thesis is to analyze ground surface deformations resulted in the pilot tunnel excavation, which were executed during the Marmaray Project- Sirkeci Station's construction. Within the thesis research work, local geological parameters were evaluated together with monitoring data and environmental effects of the engineering applications.

Marmaray Project is one of the significant infrastructure project which was executed in Turkey in recent years. The Project provides an upgrading of the commuter rail system in Istanbul, connecting Halkalı on the European side with Gebze on the Asian side with an uninterrupted, modern, high-capacity commuter rail system.

Railway tracks in both sides of the Bosphorus will be connected to each other through a railway tunnel connection under the Bosphorus. The line goes underground at Yedikule, continues through the Yenikapı and Sirkeci new underground stations, passes under the Bosphorus, connects to the Üsküdar new underground station and emerges at Söğütözü.

The entire upgraded and new railway system will be approximately 76 km long. The main structures and systems; include the immersed tube tunnel, bored tunnels, cut-and-cover tunnels, at - grade structures, three new underground stations, 37 surface stations (renovation and upgrading), operations control center, yards, workshops, maintenance facilities, upgrading of existing tracks including a new third track on ground, completely new electrical and mechanical systems and procurement of modern railway vehicles.

Sirkeci Station, where this study was carried out, is the first station in the crossing from Asian Side to Europe Side of the Marmaray Project. Station was situated near to historical Sirkeci Train Station.

The research area has hosted many civilizations and their archaeological remains due to its historical nature. Some of these archeological remains have been unearthed during the station excavation works.

The majority of the buildings in the research area are the old/worn commercial type buildings (hotels, offices etc..) which were constructed away from the modern engineering services. The tunnel induced deformations due to the construction of Sirkeci Station might be observed on the building's load bearing systems (beams and columns) and exterior structure (walls) of the buildings as deformation cracks.

Sirkeci Station has 2 entrances and 2 platforms. Before start the station excavation, West Ventilation and Escape Shafts were excavated up to their last depths while East Ventilation Shaft and North Entrance were excavated partially. Station structures had been excavated by two different methods; tunnels were excavated by N.A.T.M technique and station entrances were excavated by cut and cover technique.

Station tunnel's construction work had been started with the pilot tunnel excavations, which served as the primary tunnels path before starting the excavation of main underground openings. After completion of the final tunnel sections, two TMBs were passed the station, which were come from the Kazlıçeşme station, in order to connect the Sarayburnu, where Bosphorous immersed tube section begins.

The primary objective of the pilot tunnel excavation is to understand the behavior of geo-environment surrounding area geology due to the tunnel induced deformations before start the excavation of the enlarged sections.

Pilot tunnel constructions were completed according to planned work schedule and scope in 7 steps. These steps are as follows; excavation of the profile, measuring and trimming the profile, tunnel face mapping, setting the tunnel support systems, last measurement, applying the shotcrete over the support system and bolt installation.

The geology of the research area, where Sirkeci Station located, has three (3) different units which have different geotechnical parameters from each other. These units are the archeological filling, silty and sand coastal sediments and Trace Formation from top to bottom.

In order to monitor the tunnel induced deformations a series of monitoring systems had been set up both in tunnel and to the surface. These systems were monitored according to planned frequency, however if any anomaly was observed on measurements in monitoring points, measuring frequency were re-arranged in these points accordingly.

Surface monitoring system consists of surface settlement bolts, 3D building measurement bolts, extensometers, inclinometers and crack meters. In tunnel monitoring system consists of, convergence points, in tunnel extensometers, in tunnel inclinometers, pressure gauges, strain gauges and pore water pressure gauges.

Station tunnels were constructed according to Japanese Rock Mass Classification system and it's required design parameters.

In research area, eight (8) investigation wells (depths change between 24 m. and 72m.) had been drilled before start the Sirkeci Station excavation in order to define the geological and geotechnical parameters. Obtained data from investigation wells were revised during the pilot tunnel excavations.

Within the field study, Standard Penetration and Pressuremeter tests were conducted in different bore hole intervals, in additionally soil samples collected from the boreholes were classified and identified at the soil mechanics laboratory of STFA Quality Control and Expertise Ltd. index characteristics were calculated of tests such as water content , atterberg limits, sieving analysis, hydrometer, natural density, specific gravity, quick undrained triaxial compression test, consolidated undrained triaxial compression testing with measurement of pore water pressure, consolidated drained shear box, one dimensional consolidation test and swelling test, in accordance with the ASTM. standards.

On the rock core samples, natural moisture content, bulk density, point load strength, unconfined compression strength with determination of Young's Modulus and Poisson ration test, Triaxial Compressive strength, Brazilian Tensile Strength, Swelling Potential, Cerchar Abrasion, Shear box on natural fractures were carried out and the required index characteristics were determined as a results of laboratory

works carried out in Engineering Geology and Rock Mechanics laboratories of Istanbul Technical University.

Surface settlement data obtained from systematic measurements were analyzed by special software in order to realize the picture of surface deformations. Moreover, cross sections corresponding to selected lines were created by means of computer aided analysis as well.

Additionally, three (3) critical section on the route were defined to realize the surface deformation differences between the different locations, which occurred due to the twin pilot tunnel excavations.

The primary ground deformations, which occurred due to the East- West Ventilation Shafts, Escape Shaft and North Entrance excavations, were considered while studying the pilot tunnel induced surface settlements.

Selected sections were analyzed according to below stated steps.

- A geological model of the cross sections were created by Rocscience Phase2 (Finite Element Method) Software.
- Tunnel's geometries and coordinates were set into the created model.
- Pilot tunnel excavations were applied (first South Pilot Tunnel, secondly North Pilot Tunnel excavations were performed respectively).
- Forms of the theoretical ground surface settlements were recorded in order to correlate with the monitoring data obtained for the same points.

As a result of these comparisons, the following conclusions were observed;

- The pilot tunnel excavations provided very valuable information regarding the behavior of the surrounded rock and tunnel induced surface deformations and their prediction and monitoring methods before start the project sections of the Sirkeci Station's underground openings.
- The form of the archeological filling material, which covers the research area, was observed as in porous and non-bridging structure.
- Due to the drainage of the underground water from archeological filling layer to the tunnels, in some locations consolidation settlements were observed.
- The primary ground deformations due to the East- West Ventilation Shafts, Escape Shaft and North Entrance excavations were considered while studying the surface settlements which occurred on studied section lines.
- Ground surface settlements on some section lines were observed as follows; during the passing of first pilot tunnel, surface settlement were occurred above the first pilot tunnel and during passing the second passing pilot tunnel this settlement reached to the maximum value. This circumstance was expressed by the behavior of the Archeological Filling Material, which has very heterogeneous and cavernous structure and its matrix does not allow to bridging after long term drainage.
- It was observed that the nearest locations to the Ventilation Shafts, Escape Shaft and Station North Entrances were affected by the primary excavations
- During the project execution phase, the existing surface structures were monitored closely and soil improvement works were conducted for required locations.
- In some buildings, consolidation settlements were observed due to the drainage of the groundwater to the tunnels. In order to minimize the consolidation settlements of these buildings, inclined bore holes were drilled

towards to the building's ground points, where drainage occurs in higher values, and with the help of water injection system, which was established on surface, continuous water injection were applied to these ground points to keep stable the underground water table.

- Consequently it shall be stated that in critical urban infrastructure projects, excavation of the pilot tunnels, as primary tunnels, plays very important role to understand and predict the behavior of the surrounded geo-environment.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı Marmaray Projesi kapsamında yapımı gerçekleşen Sirkeci İstasyonu pilot tünel kazılarına bağlı olarak gelişen yüzey deformasyonlarının, hattın jeolojik özelliklerini de dikkate alarak değerlendirmek ve aşamalı yeraltı kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyonlarını analiz etmektir.

Bu kapsamda 10.11.2008 – 25.08.2009 tarihleri arasında gerçekleşen pilot tünel kazıları yerinde gözlemlenmiş ve uygulama süresince belirli bir program çerçevesinde sürdürülen jeoteknik ölçümler, çevre koşulları ve imalat aşamaları da göz önünde tutularak değerlendirilmiştir.

1.2 Marmaray Projesinin Tanıtımı

Marmaray Projesi, Avrupa yakasında, Halkalı ile Asya yakasında bulunan Gebze ilçelerini banliyö demiryolu sistemiyle bağlamak amacıyla İstanbul'daki banliyö demiryolu sisteminin iyileştirilmesi ve Demiryolu Boğaz Tüp Geçişi inşasına dayanmaktadır.

Proje sayesinde, İstanbul Boğazı'nın her iki yakasındaki demiryolu hatları, İstanbul Boğazı'nın altından geçecek olan bir demiryolu tünel bağlantısı ile birbirine bağlanmıştır. Hat, Kazlıçeşme'de yeraltına girmekte; yeni yeraltı istasyonları olan Yenikapı ve Sirkeci boyunca ilerletilmiş, İstanbul Boğazı'nın altından geçirilmiş, diğer bir yeni yer altı istasyonu olan Üsküdar'a bağlanarak, Söğütluçeşme'de tekrar yüzeye çıkması sağlanmıştır.

İyileştirilmiş ve yeni demiryolu sisteminin tamamı, yaklaşık 76 km uzunluğunda olacaktır. Ana yapılar ve sistemler, batırma tüp tünel, delme tüneller, aç-kapa tüneller, hemzemin yapılar, 3 yeni yeraltı istasyonu, 37 yerüstü istasyonu (yenileme ve iyileştirme), işletim kontrol merkezi, sahalar, atölyeler, bakım tesisleri, yerüstüne inşa edilecek olan yeni bir üçüncü hat dahil olmak üzere, mevcut hatların

iyileştirilmesi, tamamen yeni elektrikli ve mekanik sistemler ve temin edilecek olan modern demiryolu araçlarını kapsayacak olan 4 bölümden oluşacaktır (Url-2).

Marmaray projesinin hizmete girmesi ile Gebze-Halkalı arasında 2-10 dakikada bir sefer yapılacak ve bir yönde saatte 75.000 yolcu taşıma kapasitesi sağlanacaktır. Proje ile birlikte aşağıda belirtilen ulaşım sürelerinin elde edilmesi hedeflenmektedir (Url-2).

Gebze ve Halkalı arası 105 dakika

- Bostancı ve Bakırköy arası 37 dakika
- Söğütluçeşme ve Yenikapı arası 12 dakika
- Üsküdar ve Sirkeci arası 4 dakika

Marmaray Projesine ait rakamsal bilgiler Çizelge 1.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 1.1: Marmaray Projesine ait sayısal bilgiler (Url-2).

Detay	Sayısal Bilgiler
Toplam Hat Uzunluğu	76.3 km.
Yüzeysel Metro Kesimi Uzunluğu	63 km.
Yüzeydeki İstasyon Sayısı	37 adet
Demiryolu Boğaz Tüp Geçiş Kesimi Toplam Uzunluğu	13.6 km.
Delme Uzunluğu	9.8 km.
Batırma Tüp Tünel Uzunluğu	1.4 km.
Aç-Kapa Tünel Uzunluğu	2.4 km.
Yeraltı İstasyon Sayısı	3 adet
İstasyon Boyu	225 m (en az)
Bir Yöndeki Yolcu Sayısı	75.000 yolcu/saat/tek yön
Maksimum Eğim	18 %
Maksimum Hız	100 km/saat
Ticari Hız	45 km/saat
Tren Sefer Sayısı	2-10 dakika
Araç Sayısı	440 (2015 yılı)

1.3 Sözleşmeler

Marmaray Projesi kapsamında hazırlanan BC-1, CR-1 ve CR-2 sözleşmeleri Çizelge 1.2’de belirtilmiştir (Url-2).

Çizelge 1.2: Marmaray Projesi kapsamında hazırlanan BC1, CR1 ve CR2 sözleşmeleri.

Detay	Sayısal Bilgiler
İşe Başlama Tarihi	14 Mart 2002
İşlerin Tamamlanma Süresi	83 Ay
Orijinal Tamamlanma Süresi	13 Şubat 2009
Süre Uzatımı	540+444 Gün
Tamamlanma Tarihi	25 Ekim 2011
Sözleşme Bedeli	5.494.547.080 Japon Yeni

1.3.1 Mühendislik ve müşavirlik hizmetleri sözleşmesi

Müşavir Firma AVRASYA JV (Yüksel Proje, Pacific Consultants International, Oriental Consultants, Japan Railway Technical Service) Ortak Girişim 14 Mart 2002 tarihinde işe başlamıştır. 13 Eylül 2008 tarihindeki Genel Müdürlük Oluru ile Japon Ortaklardan Pacific Consultants International hisselerini diğer Japon Ortak Oriental Consultants Co. Ltd. devretmiştir (Url-2).

1.3.2 BC1 sözleşmesi (Boğaz Tüp Tünel Geçiş Sözleşmesi)

BC-1 Sözleşmesi imzalanmış ve 16 Temmuz 2004 tarihi itibarıyla tam olarak yürürlüğe girmiş olup, 27 Ağustos 2004 tarihinde yer teslimi yapılarak inşaat süreci fiili olarak başlamıştır. BC-1 Demiryolu Boğaz Tüp Geçiş İnşaatı işinin Sözleşme dokümanlarının JBIC' ten onayı 16 Temmuz 2004 tarihinde alınmış olup, Sözleşme bu tarih itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Sözleşme gereği bu tarihten itibaren 42 gün sonra yükleniciye yer teslimi yapılmıştır. BC-1 sözleşmesinin bilgileri Çizelge 1.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 1.3: BC1 Sözleşmesi (Boğaz Tüp Tünel Geçiş Sözleşmesi)'nin bilgileri.

Detay	Sayısal Bilgiler
BC1 Sözleşmesinin İmzalanması	26 Mart 2004
Arkeolojik Kazı Çalışmalarının Başlaması	17 Haziran 2004
JBIC Onayı (Sözleşmenin Yürürlüğe Girmesi)	16 Temmuz 2004
Yer Teslimi ve İşe Başlama	27 Ağustos 2004
İşlerin Tamamlanma Süresi	56 Ay
Orijinal Tamamlanma Tarihi	28 Nisan 2009
Süre Uzatımı	540+370+154 Gün
Tamamlanma Tarihi	27 Mart 2012
Sözleşme Bedeli	86.823.610.000 Japon Yeni

1.3.3 CR-1 sözleşmesi

Gebze-Haydarpaşa, Sirkeci-Halkalı Banliyö Hatlarının İyileştirilmesi; İnşaat, Elektrik ve Mekanik Sistemler CR-1 işinin teklifleri 15.02.2006 tarihinde alınmış olup en düşük teklifi veren Alstom-Marubeni-Doğuş (AMD) grubu 24 Temmuz 2006 tarihinde sözleşme görüşmelerine davet edilmiştir, 28 Mart 2007 tarihinde sözleşme imzalanmıştır. CR-1 sözleşmesinin bilgileri Çizelge 1.4 'de belirtilmiştir

Çizelge 1.4: CR-1 Sözleşmesinin bilgileri (Url-2).

Detay	Sayısal Bilgiler
CR1 Sözleşmesinin İmzalanması	28 Mart 2007
Sözleşmenin Yürürlüğe Girmesi	15 Mayıs 2007
Yer Teslimi ve İşe Başlama	21 Haziran 2007
İşlerin Tamamlanma Süresi	1147 Gün
Orijinal Tamamlanma Tarihi	07 Haziran 2011

1.3.4 CR-2 sözleşmesi (Demiryolu Aracı Üretimi)

Marmaray Projesi, Gebze-Haydarpaşa, Sirkeci-Halkalı Banliyö Hatlarının İyileştirilmesi: Demiryolu Araçları İmali (Sözleşme CR-2) ihalesi ön yeterlik ihalesine 07 Haziran 2007 tarihinde çıkılmış olup, ön yeterlik dosyaları 30 Temmuz 2007 tarihinde teslim alınmıştır. Altı grup ön yeterlik dosyası teslim etmiştir. Ön yeterlik dosyalarının incelenmesi 30 Eylül 2007 tarihinde tamamlanmış olup; 12.03.2008 tarihinde isteklilerden teklif alınmıştır. Teklifler, mali ve teknik teklif zarfları içermektedir.

Mali Teklif dosyaları içinde yer alan teklif fiyatı kalemlerinin detaylı incelenmesi için çalışmalar tamamlanmış ve Gebze-Haydarpaşa, Sirkeci-Halkalı Banliyö Hatları İyileştirmesi: Araçlar işi 10 Kasım 2008 tarihinde Teknik ve Mali olarak en uygun teklifi veren HYUNDAI ROTEM firması ile imzalanmıştır (Url-2).

2. ARAşTIRMA ALANI (SİRKECİ İSTASYONU)

2.1 İnceleme Alanındaki Yapılaşma

Sirkeci istasyonu Marmaray Projesinin Asya'dan Avrupa geçişteki ilk istasyonudur. İstasyon inşası tarihi Sirkeci Garı' na komşu bir alanda gerçekleştirilmiştir.

Bölge tarihi yapısı dolayısıyla birçok medeniyete ve farklı yapılaşmalara ev sahipliği yapmıştır. Zaman içerisinde yok olan bu yapılaşmanın kalıntıları Sirkeci bölgesinin altında arkeolojik bir dolgu tabakası oluşturmuştur ve proje kapmasında gerçekleşen kazılar neticesinden bu kalıntıların bir kısmı gün yüzüne çıkarılmıştır. şekil 2.1'de Sirkeci istasyon kazılarına ait Doğu şaftından çıkan tarihi kalıntılar görölmektedir.

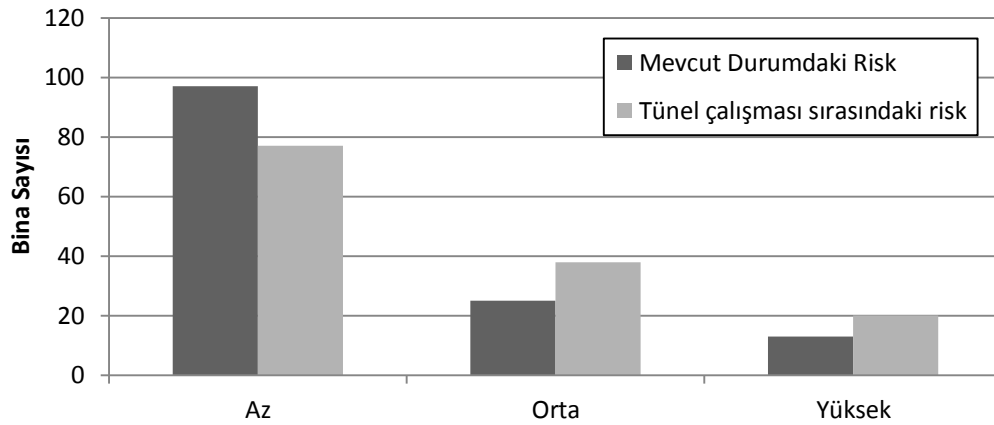


şekil 2.1: Sirkeci istasyon kazılarına ait doğu şaftından çıkan tarihi kalıntılar.

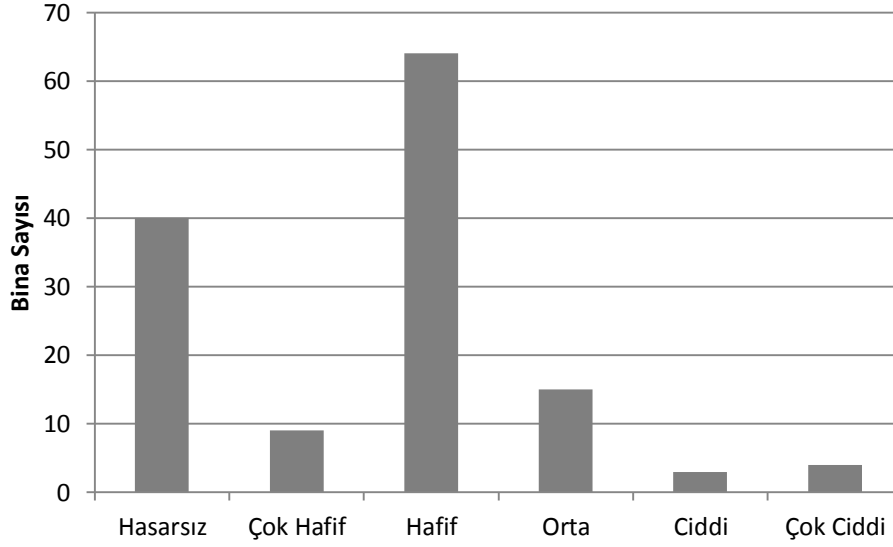
Çalışma bölgesinde mevcut bulunan yapılaşmaların çoğunluğu ticarethane olarak kullanılmaktadır. Ticarethanelerin büyük bir bölümünü bölgedeki turistik canlılığa en fazla katkıyı sağlayan oteller oluşturmaktadır. Mevcut oteller, tünel kazılarına bağlı gelişen deformasyonlar nedeniyle gerek dış cephelerinde gerekse bina içi kolon ve kirişlerinde karşılaşılan çatlaklardan bu alanda yer alan birçok yapının yeraltı kazılarından önemli düzeyde etkilendiği anlaşılmaktadır.

Bahsi geçen yapılaşmalar mühendislik açısından oldukça zayıf hatta çoğunluk ile herhangi bir mühendislik yaklaşımı olmadan yapılmış yaşlı bir bina stoku oluşturmaktadır.

Güzergâh üzerinde bulunan 135 adet bina kazı başlamadan önce gözlem ile incelenmiştir. Bu tespitlere göre kazılar başlamadan önce mevcut binalara ait risk ve kazılar sonunda oluşan hasar dağılımları sırası ile Şekil 2.2 ve Şekil 2.3 de gösterilmektedir (İTÜ, 2008)



Şekil 2.2: Güzergâh üzerinde incelenen binaların risk durumu dağılımı.



Şekil 2.3: Güzergâh üzerinde incelenen binaların hasar durum dağılımları.

2.2 İklimsel Özellikler

İstanbul'un iklimi, Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş özelliği gösteren bir iklimdir, dolayısıyla İstanbul'un iklimi ılımandır.

İstanbul'un yazları sıcak ve nemli; kışları soğuk, yağışlı ve bazen karlıdır. Kış aylarındaki ortalama sıcaklık 2 °C ile 9 °C civarındadır ve genelde yağmur ve karla karışık yağmur görülür. Kış aylarında bir iki hafta kar yağabilir. Yaz aylarındaki ortalama sıcaklık 18 °C ile 28 °C civarındadır ve genelde yağmur ve sel görülür.

En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos aylarıdır ve ortalama sıcaklık 23 °C dir, en soğuk aylar da Ocak ve Şubat aylarıdır ve ortalama sıcaklık 5 °C dir. İstanbul'da yılın ortalama sıcaklığı 13,7 derecedir.

Toplam yıllık yağış 843,9 mm dir ve tüm yıl boyunca görülür. Yağışların % 38'i kış % 18'i ilkbahar, % 13'ü yaz, % 31' sonbahar mevsimindedir. Yaz en kuru mevsimdir, ama Akdeniz iklimlerinin aksine kurak mevsim yoktur.

Şu ana kadar en yüksek hava sıcaklığı; 12 Temmuz 2000'de 40.5 °C olarak kaydedilmiştir. En düşük hava sıcaklığı ise; 9 Şubat 1929'da -16.1 °C olarak kaydedilmiştir. Şehir oldukça rüzgârlıdır; rüzgârın ortalama hızı saatte 17 km dir (Url-1).

2.3 Sirkeci İstasyonunun Coğrafi Konumu

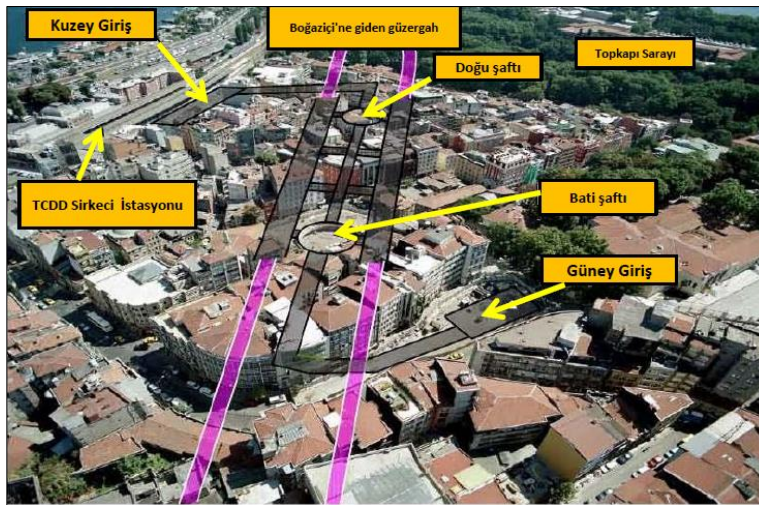
Çalışma bölgesi İstanbul'un Fatih ilçesine bağlı Sirkeci Bölgesinde bulunmaktadır. Şekil 2.4'de çalışma bölgesinin İstanbul haritasındaki yeri gösterilmektedir.



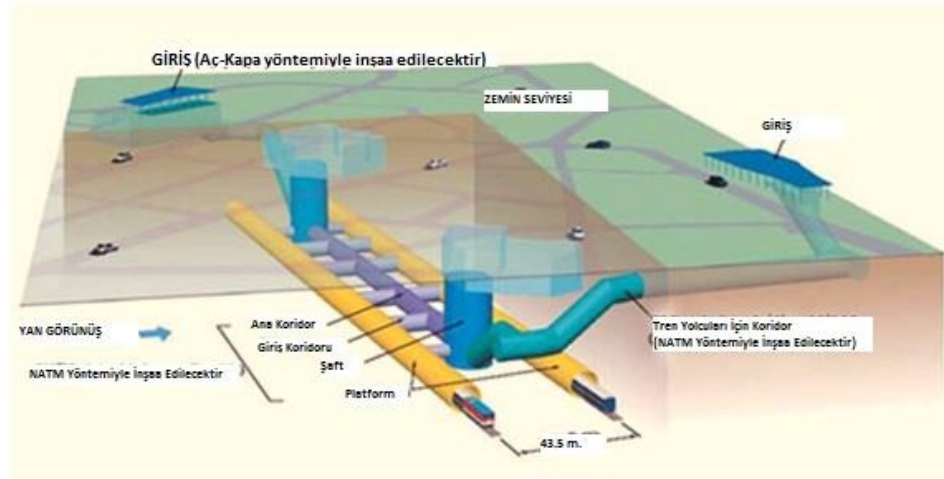
Şekil 2.4: Çalışma bölgesinin İstanbul haritasındaki yeri.

2.4 Sirkeci İstasyonunun Tanıtımı

Marmaray Projesi Sirkeci İstasyonu yerleşim planı Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Bir geliş bir gidiş hattı olmak üzere 2 hatlı olan istasyonun 2 adet girişi bulunmaktadır. İstasyon kazıları için Batı ve Doğu havalandırma şaftları kazılmıştır. Şekil 2.6'da Sirkeci İstasyonunun tamamlanmış halini gösteren üç boyutlu gösterim bulunmaktadır.



Şekil 2.5: Sirkeci İstasyon yerleşim planının kuş bakışı görünümü.



Şekil 2.6: Sirkeci İstasyonunun tamamlanmış halini gösteren üç boyutlu görüntü.

İstasyon inşası 2 parçadan oluşmaktadır. Aç-Kapa yöntemi ile inşa edilen istasyon girişleri ve N.A.T.M (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) yöntemi ile inşa edilen ana hat tünel kazıları.

İstasyon kazıları ve havalandırma şahtlarının kayaya kadar olan kısımlarının kazıları adi ortaklığın, GAMA-NUROL adi ortaklığı tarafından, geri kalan tünel kazıları ise TAISEI firması tarafından gerçekleştirilmiştir.

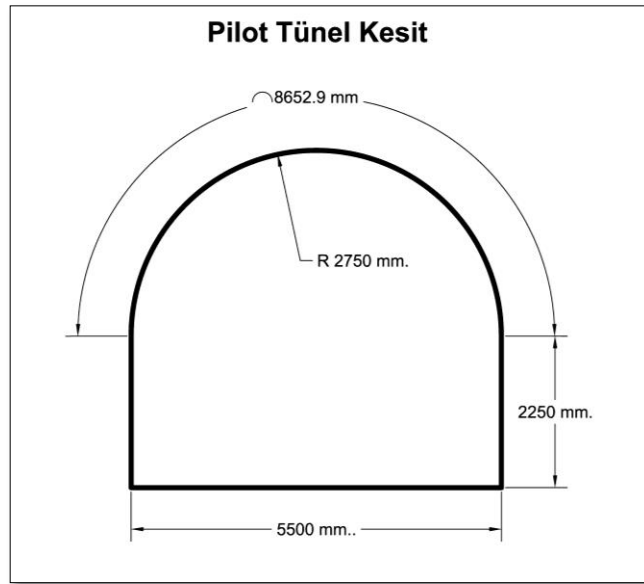
İstasyon tünel kazı işleri NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) ile pilot tünellerin kazımı akabinde bu tünellerin nihai kesite genişletilmesi ve Kazlıçeşme lokasyonundan gelen TBM lerin Sirkeci İstasyonunu geçerek hattı Sarayburnu'nda batırma tüpler ile birleştirmesi ile tamamlanmıştır.

3. PİLOT TÜNEL KAZILARI

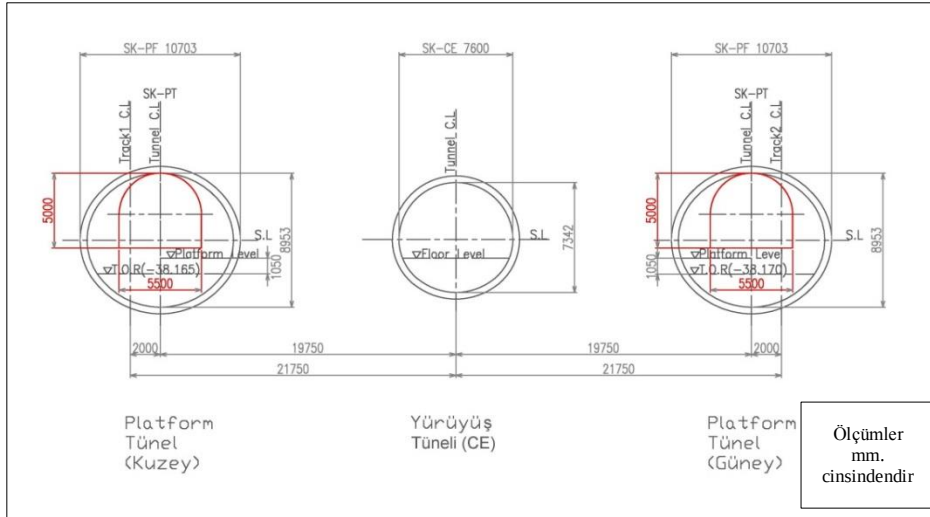
Pilot tünel kazılarının öncelikli amacı istasyon kesitlerinin kazısına başlamadan önce daha küçük bir çapla, hat boyunca kazıyı gerçekleştirerek, yüzeyde gelişecek deformasyonları ve tünel çevre kayasının davranış şeklini incelemektir.

Bu bağlamda Şekil 3.1’de gösterilen pilot tünel tip kesiti geçilen ortamın jeoteknik parametrelerine uygun olarak seçilen destek uygulamaları ile birlikte kazılmıştır.

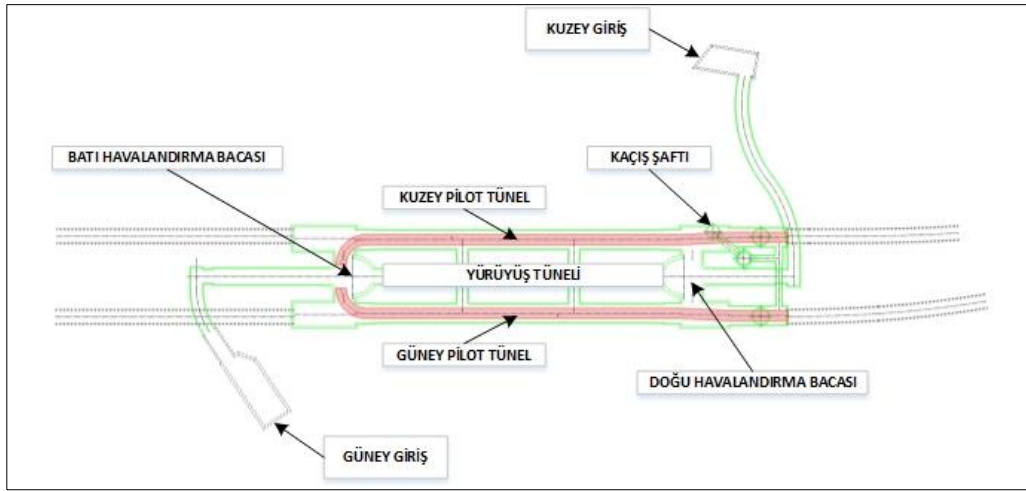
Pilot tünellerin ana platform tüneller ve yürüyüş tünelleri ile olan geometrisel ilişkisini gösteren çizim Şekil 3.2’de, pilot tünellerin izlediği güzergâh Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Pilot tünel tip kesiti.



Şekil 3.2: Pilot tünellerin platform tünel ve yürüyüş tüneline göre pozisyonunu gösterir çizim.



Şekil 3.3: Pilot tünel güzergâh haritası.

3.1 Pilot Tünel İnşa Yöntemi

Pilot tünel kazıları temel olarak aşağıda belirtilen 7 temel adım üzerinden gerçekleştirilmiştir (Taisei, 2008).

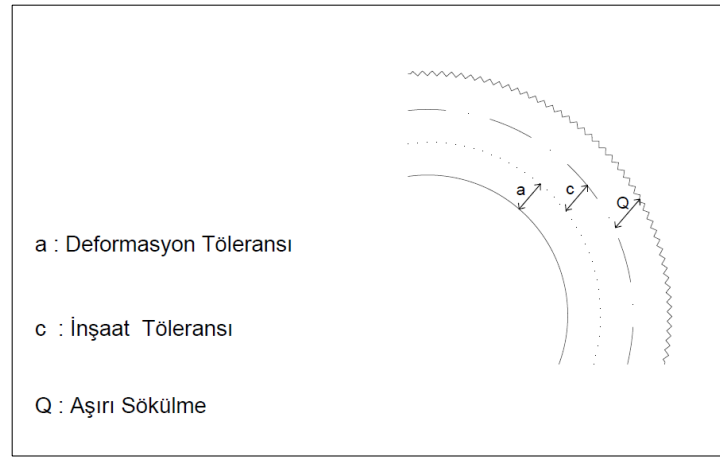
- Profilin kazılması
- Profilin ölçeklendirilmesi ve tıraşlanması
- Ayna haritalaması
- İksanın ve çelik hasırın yerleştirilmesi
- Ölçüm

- Püskürtme beton uygulaması
- Bulon uygulaması

3.1.1 Profilin kazılması

Pilot tüneller Şekil 3.4’de gösterilen tipik kazı profiline uygun şekilde mekanize olarak kazılmıştır. Mekanize kazılara ait bir örnek Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

Pilot tünellerin kazılarında mekanize yöntemin seçilmesindeki sebep, kazı faaliyetleri sonucu oluşan şok dalgalarının yüzeye ve tünel çevresi kayaya en az seviyede zarar vermesini sağlamaktır.



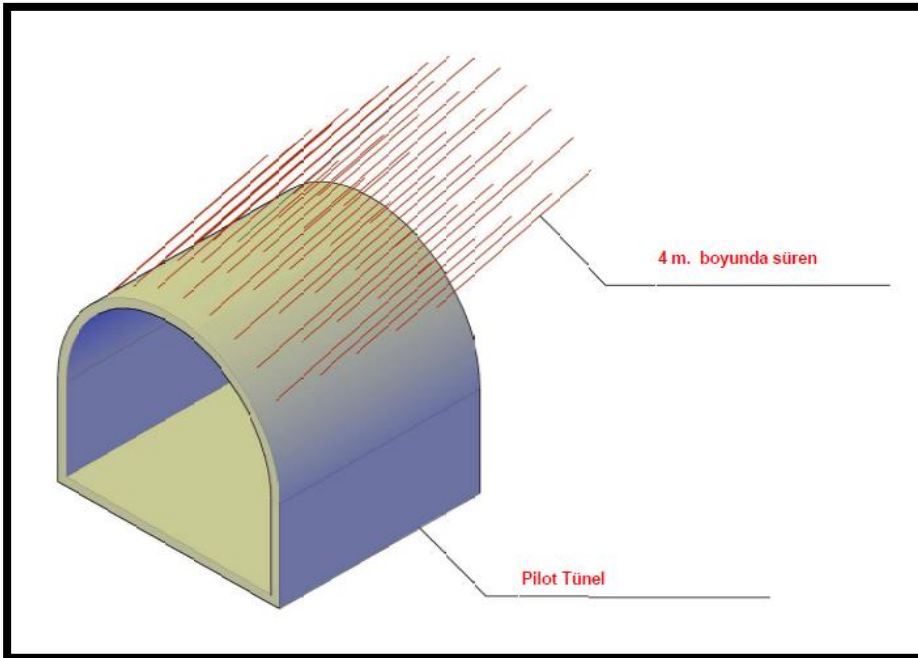
Şekil 3.4: Pilot tünel tipik kazı profili.



Şekil 3.5: Mekanize pilot tünel kazısına örnek bir görüntü.

Kazı ilerlemesi 1 metre olarak belirlenmiştir. Fakat gerekli görüldüğü yerlerde bu mesafe kazı emniyetini sağlayacak şekilde değiştirilmiştir. Kazı sırasında ve sonrasında esas olan tünel aynasının stabilizasyonunu sağlamak olduğu için kazı gerçekleşirken aynada göbek olarak tabir edilen fazlalık bırakılmış ve tahkimat mümkün olduğunca hızlı bir şekilde uygulanmaya çalışılmıştır. Kazı adımı sonunda vardiya değişim zamanına denk gelmesi durumunda, aynayı açık bırakmamak için tünel aynasına ince bir püskürtme beton tabakası uygulanmıştır. Bu sayede tünel aynasının geçici de olsa sabit kalması ve aynanın tünel içerisine doğru oluşturacağı konverjanstan dolayı yüzeye yansıyacak deformasyonun en aza indirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Tahkimatı tamamlanan kesitten bir sonraki kesite geçmeden önce gerekli görüldüğü yerlerde süren uygulaması yapılmıştır. Süren uygulamasındaki amaç bir sonraki kesitin kazısı sırasında gerçekleşebilecek kavlak düşmelerini en aza indirerek kazı güvenliğini sağlamaktır. Sürenler 4 metrelik bulonların kesitin tavanına yataya yakın bir açı ile yerleştirilmesi ile uygulanmıştır. Tünel kazı boşluğunun önceden desteklenmesine yönelik süren uygulamasını gösterir çizim Şekil 3.6' da belirtilmiştir.



Şekil 3.6: Pilot tünel kazılarında gerçekleştirilen süren uygulamasına ait gösterim.

3.1.2 Püskürtme beton uygulaması

Püskürtme beton, taşıyıcı sistemin bir elemanı olarak uygulanır. Püskürtme beton uygulamasında çelik iksa ve çelik hasırın püskürtme beton ile tam olarak gömülmesi büyük önem taşımaktadır. Püskürtme beton ve kazılan yüzey arasındaki temasın maksimize edilmesi gerekmektedir.

Püskürtme beton uygulaması çelik iksa ve çelik hasır yerleştirildikten sonra kesitin ayak kısımlarından başlar ve omuza kadar devam eder. Her iki ayak omuza kadar püskürtme betona gömüldükten sonra kesitin taç kısmı püskürtme beton ile gömülmeye başlanır. Burada püskürtme betonun tutunmasını ve çabuk dayanım kazanmasını arttırmak için priz hızlandırıcı malzemeler kullanılır (Taisei, 2008). Şekil 3.7’de püskürtme beton uygulamasına ait örnek bir fotoğraf gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Sirkeci İstasyonunu Pilotu Tünellerinden püskürtme beton uygulaması.

3.1.3 Bulon (kaya saplaması) uygulaması

Sirkeci İstasyonu pilot tünel kazıları sırasında SN tip, Fiber tip ve Kendinden Delen (IBO) tip bulonlar kullanılmıştır.

Fiber tip bulonların kullanılmasındaki amaç pilot tünel kazılarından sonra başlatılacak geniş kesit kazılarında, pilot tünel kazısında yerleştirilmiş olan bulonların kayadan sökülmesini kolaylaştırmak ve söküm işlemi sırasında çevre kayaya diğer tiplere göre daha az zarar vermektir.

Bulon delgisi Jumbo Delgi makinesi ile yapılmaktadır. Bulon delgisine ait örnek bir fotoğraf Şekil 3.8 de gösterilmiştir. Delgi çapı 50 mm. dir ve delginin tasarlanan açıdan sapma toleransı 10 derecedir. Delgi işlemi bittikten sonra açılan delik çimento ve su karışımı şerbet ile tam olarak doldurulur ve bulon bu şerbetin içerisine doğru itilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus bulon şerbet dolu delikte ilerlerken yer değiştirmeden dolayı delikteki şerbetin dışarı akmasıdır. Bu sağlıklı bir yerleştirme işlemi yapıldığına dair işaret verir. Şerbetin enjeksiyonu pompalar aracılığı ile gerçekleştirilir. Gerekli olması halinde çimento şerbetine priz hızlandırıcı katkı ilave edilebilmektedir.

Bulon uygulamaları kazılan aynanın 1 m. gerisinden gelerek uygulanır. Bulonların plakaları, püskürtme beton yüzeyine tam olarak oturtulur ve plaka ile bulonu bağlayan somun bulonun yerleştirilmesinden 12 saat sonra sıkılır.

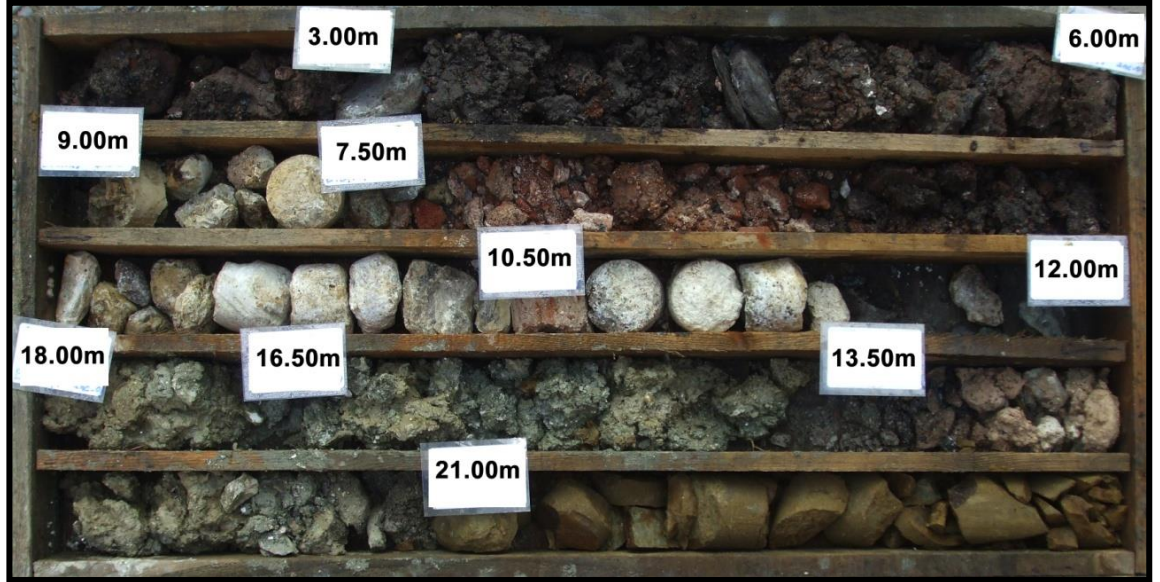


Şekil 3.8: Bulon (Kaya saplaması) delgisinin oluşturulması.

4. GENEL JEOLojİ

4.1 Lokal Jeolojik Özellikler

Sirkeci İstasyonunun içerisine inşa edildiği jeolojik ortam 3 ana birimden oluşmaktadır. Bu birimler sırası ile üstten alta doğru, Arkeolojik Dolgu, Siltli Kumlu Kıyı Çökelleri ve Trakya Formasyonu olarak sıralanmaktadır. Şekil 4.1 de bu birimleri kesen INC -02 -01 numaralı sondaja ait karot sandığı fotoğrafı verilmiştir (Doğu havalandırma bacası civarına yerleştirilen inklinometre delgisi).



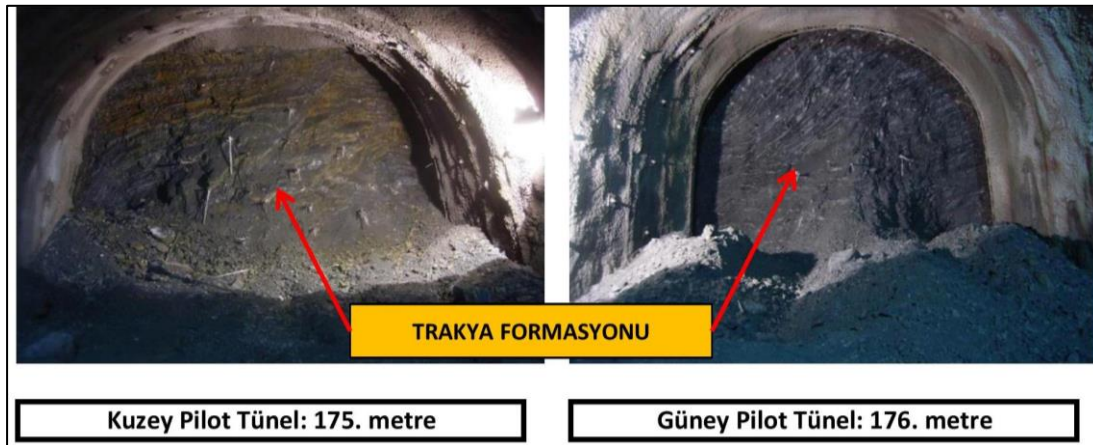
Şekil 4.1: 0-13.5 m. Arası Arkeolojik Dolgu, 13.5 – 21 m. arası Killi Siltli Kumlu birim (Sığ denizel çökel), 21m. ve üzeri Ana Kaya.

Bölgede yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen bilgilere dayalı olarak oluşturulan jeolojik kesitler EK-C ve EK-D’de sunulmuştur (Jeolojik harita, tezi hazırlayan tarafından TAISEI Corporation NATM birimi ile birlikte hazırlanmıştır). İstasyon kazılarının olduğu bölgede karşılaşılan birimlerin özellikleri aşağıda sırayla özetlenmiştir.

4.2 Trakya formasyonu

Sirkeci İstasyonu güzergâhında rastlanılan Trakya Formasyonu ardalanması genel olarak alt karbonifer yaşlı olup, kahverengi ve yüksek miktarda altere olan kesimlerde sarımsı kahverengi renk gösteren, taze yüzeylerde kurşunimsi renkte olan, dayanımı düşük grovaklar ve orta sertlikten sertte doğru, genellikle grimsi renkli inceden orta boylanmış şeyllerden oluşmaktadır (STFA, 2005).

Buna ilaveten bu sedimanter istifi dike yakın kesen Diyabaz sokulumları bulunmaktadır. Diyabaz daykları, birim içerisinde kendi başına sert bir yapıya sahiptir fakat formasyon kayaları ile olan dokanaklarında altere bir yapıdadır. Şekil 4.2’de tünel kazıları sırasında çekilen Kuzey Pilot Tünel 175. metre ve Güney Pilot Tünel 176. Metre tünel aynası fotoğraflarında Trakya Formasyonunun güzergahtaki tipik görüntüleri belirtilmiştir.



Şekil 4.2: Güney Pilot Tünel 176. metre ve Kuzey Pilot Tünel 175. Metre kazıları sırasında tünel aynası fotoğraflarında görülen Trakya Formasyonu.

4.3 Arkeolojik Dolgu

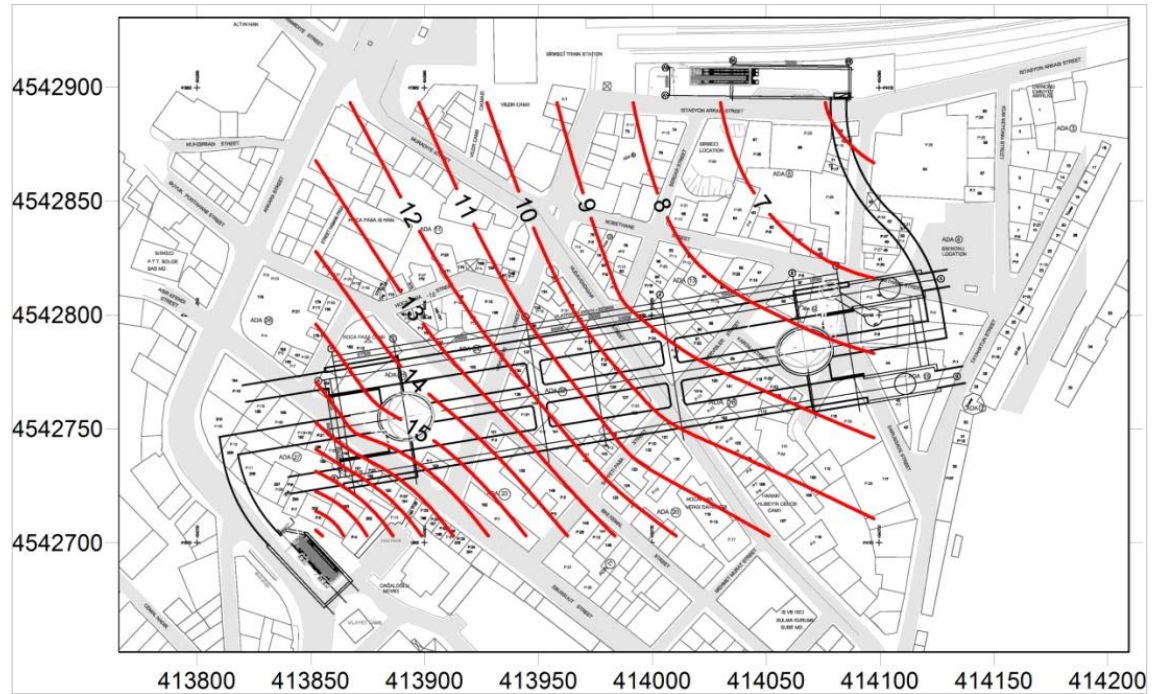
Kuvaterner yaşlı arkeolojik dolgu çoğunlukla şehirleşmiş bölgelerde, Boğaziçi ve Haliç’in sahil şeridinde yer almaktadır. Birim, iri kaya parçaları, çakıl, kum, deniz kabuğu, ağaç parçaları, beton parçaları, tuğla ve çeşitli şehir birikintilerini içermektedir. Pek çok lokasyonda arkeolojik dolgunun hemen altında bulunan sedimanter tabakada yüksek oranda organik madde ve deniz kabuklarına rastlanılmaktadır (STFA, 2005) .

4.4 Sığ Denizel Çökel Birim

Haliç ve Küçükçekmece gölünün güney sahil kesiminde görülen deniz çökelleri aşırı konsolide kil, kum ve çamur içermektedir. Çökelim, yumuşaktan sert yeşilimsi – yeşil deniz kabuğu içeren killer ile gri iyiden ortaya boylanmış kumdan oluşmaktadır ve yaşı Kuvaterner olarak belirlenmiştir. (STFA, 2005).

4.5 Arazi Yüzey Kotları

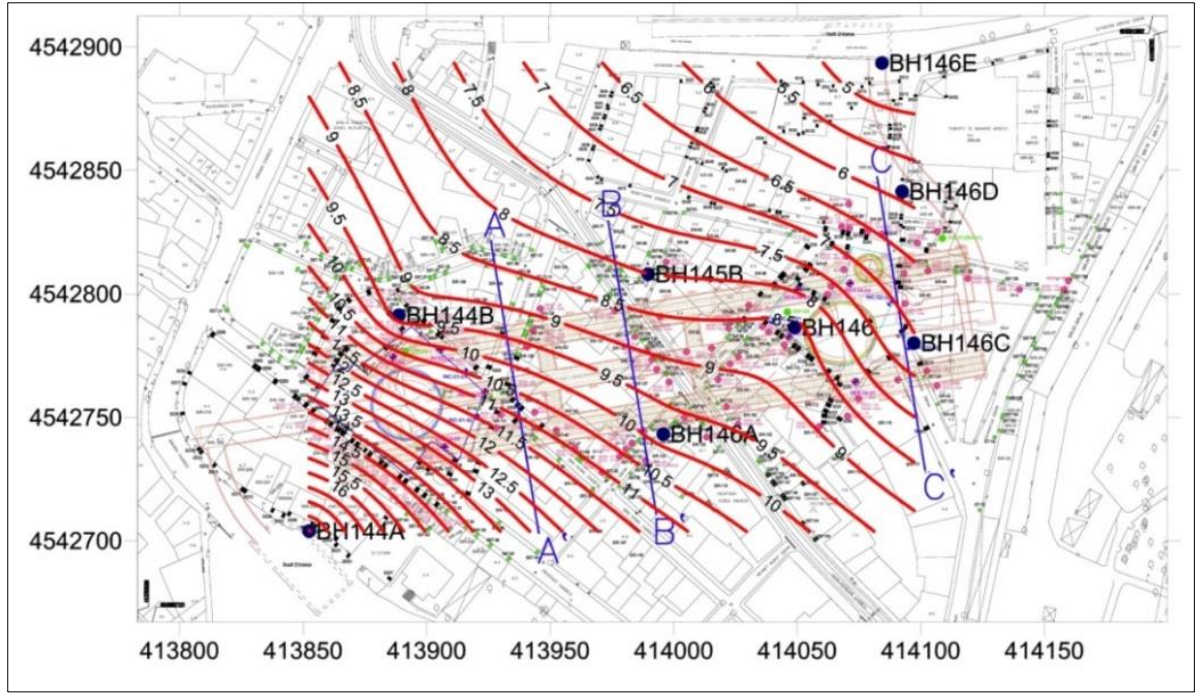
İnceleme alanına ait topografya haritası Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Kot yükseklikleri araştırma sondajlarından elde edilmiştir.



Şekil 4.3: İnceleme alanına ait topografya haritası (Konturlar metre birimindedir).

4.6 Yeraltı Suyunun Durumu

Şekil.4.4’ de belirtilen sahanın yeraltı suyu durumunu gösterir harita, tünel kazı faaliyetleri öncesi gerçekleştirilen jeoteknik sondajlardan elde edilen veriler neticesinde hazırlanmıştır.



Şekil 4.4: İnceleme alanında yapılan araştırma sondajı verilerinden hareketle oluşturulan yeraltı suyu seviye haritası (Konturlar metre birimindedir).

5. İSTASYON TÜNELLERİNE AİT KAZILARIN İZLENMESİ

Güzergâh boyunca kazı ile gelişen deformasyonların gözlemlenebilmesi için tünel içinde ve tünel dışında (yeryüzünde) ölçüm ve izleme ağı kurulmuş ve bunlar kazı ilerlemesine bağlı olarak önceden tasarlanmış zaman aralıklarında ölçülmüştür. Ancak uygulama sırasında, anomali ile karşılaşılması durumunda ölçüm sıklığı belirli noktalarda revize edilmiştir.

5.1 Tünel Dışı (Yüzey) Ölçüm Sistemleri

5.1.1 Bina oturma bulonları

Bina oturma bulonları kazıya bağlı gelişen deformasyonların yüzeyde mevcut bulunan binalardaki etkisini izlemek için yerleştirilen deformasyon ölçüm noktalarıdır. Nivelman ölçümleri ile bu noktaların yukarı veya aşağıya doğru hareketleri ölçüm planına göre kritik kazı metrelerinde günlük olarak gözlemlenmektedir. Şekil 5.1’de güzergâh üzerinde mevcut bulunan bir binaya yerleştirilen oturma bulonu gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Güzergâh üzerinde mevcut bir binaya yerleştirilen otuma bulonu.

5.1.2 Bina üç boyutlu (3d) ölçüm noktaları

Bina üç boyutlu ölçüm noktaları gözlemi yapılacak binanın üzerine birbirlerine göre hareketleri izlenecek şekilde en az 2 adet yerleştirilir ve ölçümleri bina oturma bulonlarında olduğu gibi kazı ilerlemesine bağlı olarak hazırlanan ölçüm planı dahilinde günlük ya da belirlenen periyotlar içinde Totalstation cihazı ile gerçekleştirilir. Şekil 5.2’de üç boyutlu ölçüm için bir binaya yerleştirilmiş okuma noktalarının konumları gösterilmiştir.



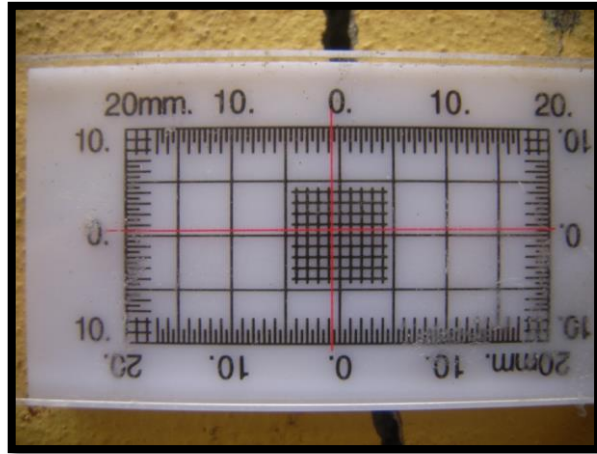
Şekil 5.2: Güzergâh üzerinde bulunan bir binada üç boyutlu gözlem için tesis edilmiş ölçüm noktalarının konumu.

5.1.3 Yüzey oturma bulonları

Yüzey oturma bulonları bina oturma bulonları gibi Nivelman ölçümleri ile hareketleri tespit edilen noktalardır. Yüzey oturma bulonlarında, ölçüm yapılacak nokta bina yerine yüzeye yerleştirilmiş olup ölçümleri kazı ilerlemesine bağlı olarak hazırlanan ölçüm planı dahilinde günlük ya da belirlenen süreler içinde gerçekleştirilir.

5.1.4 Çatlak ölçerler

Çatlak ölçerler , güzergâh boyunca izlenen riskli binalarda bulunan çatlakların kazı ilerlemesine karşılık verdikleri tepkiyi izlemek için belirlenen çatlak noktalarına yerleştirilirler. Ölçümleri kritik bir izleme durumu olmadığı durumlarda günlük olarak gerçekleştirilmez, izleme planında uygun görülen periyotlar dahilinde takip edilirler. Şekil 5.3' de güzergâh üzerine yerleştirilmiş bir çatlak ölçer görülmektedir.



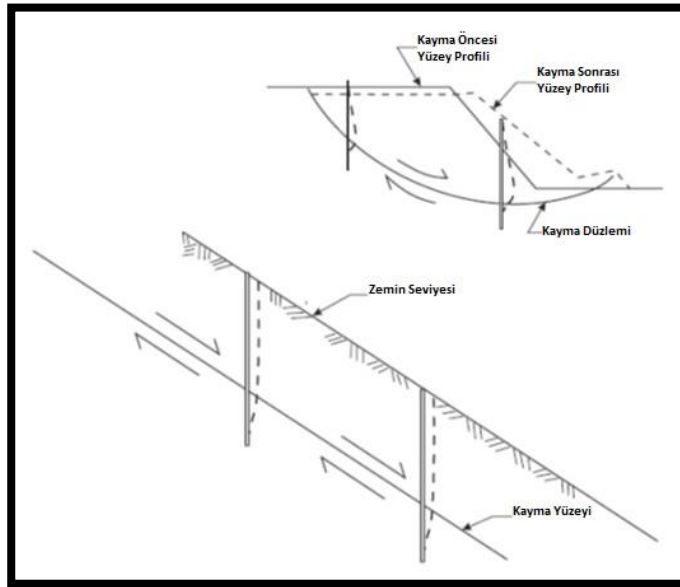
Şekil 5.3: Güzergâh üzerinde mevcut bulunan bir çatlak ölçer.

5.1.5 İnklinometre sistemi (yüzey)

İnklinometreler yüzey sondajları vasıtası ile belirlenen noktalara yerleştirilen ölçüm sistemleridir. İnklinometre'de ölçüm amacı, ölçüm hattı boyunca gelişen yanıl deformasyonları gözlemlemektir. Bu bağlamda güzergâh üzerine 5 adet inklinometre cihazı yerleştirilmiş ve tünel kazılarının yarattığı yanıl deformasyonlar bu yöntem ile izlenmiştir. Tünel güzergahı boyunca yerleştirilen inklinometre borularını gösterir fotoğraf Şekil 5.4'de belirtilmiş olup inklinometre cihazının çalışma prensibi Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Sirkeci istasyonuna yerleştirilen inklinometre boruları



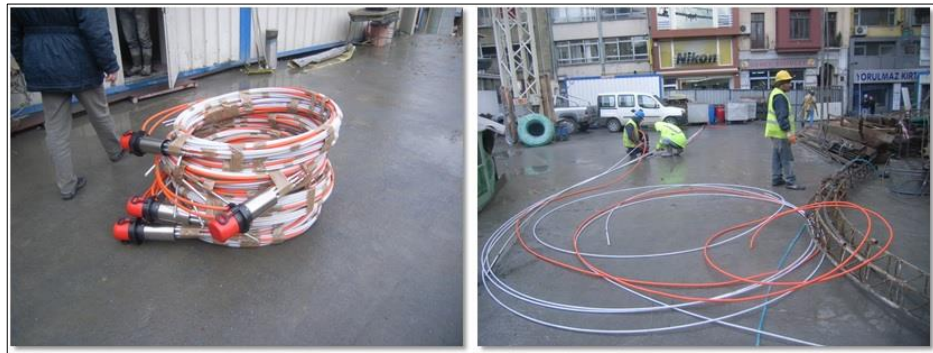
Şekil 5.5: İnklinometre cihazının çalışma prensibi.

5.1.6 Ekstensometre

Ekstensometre cihazının çalışma mantığı, okuyucu uçlarının yerleştirildiği katmanların yukarı ve aşağı yöndeki hareketi izlemekten oluşur. Güzergâh boyunca önceden belirlenen noktalara 8 adet ekstensometre cihazı yerleştirilmiştir. Yerleştirilen ekstensometre cihazlarının derinlikleri Çizelge 5.1’de belirtilmektedir. Şekil 5.6’da sahaya uygulanan ekstensometre cihazı ölçüm kablolarına ait örnek fotoğraflar gösterilmektedir.

Çizelge 5.1: Tünel güzergahı boyunca yerleştirilen ekstensometre cihazlarının okuma derinlikleri.

No	Cihaz Tanımı	Sayısal Bilgiler				
1	Cihazın Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-03-01 02.01.2009				
	Okuma ucu derinlikleri	35,2m	26,2m	17,2m	11,2m	5,2m
2	Cihaz Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-03-02 05.01.2009				
	Okuma ucu derinlikleri	36,2m	27,2m	18,2m	12,3m	6,3m
3	Cihaz Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-03-03 12.01.2009				
	Okuma ucu derinlikleri	39,4m	30,4m	21,4m	15,4m	9,4m
4	Cihaz Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-03-04 30.12.2008				
	Okuma ucu derinlikleri	34,1m	27,1m	21,1m	15,1m	9,1m
5	Cihaz Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-04-01 28.03.2009				
	Okuma ucu derinlikleri	28,5m	23,5m	17,5m	11,5m	5,5m
6	Cihaz Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-04-02 28.03.2009				
	Okuma ucu derinlikleri	31,5m	23,5m	17,5m	11,5m	5,5m
7	Cihaz Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-04-03 01.04.2009				
	Okuma ucu derinlikleri	31,5m	23,5m	17,5m	11,5m	5,5m
8	Cihaz Kodu Cihazın İlk Okuma Tarihi(Sıfır Okuması Tarihi)	REX-04-04 01.04.2009				
	Okuma ucu derinlikleri	28,5m	23,5m	17,5m	11,5m	5,5m



Şekil 5.6 : Sahaya uygulanan ekstensometre cihazı ölçüm kabloları.

5.1.7 Su Seviyesi Ölçüm Kuyuları

Yeraltı suyunun zaman içerisindeki hareketini gözlemlemek için güzergâh üzerinde su seviyesi ölçüm kuyuları belirlenmiştir. Bu kuyuların bir kısmı güzergâh üzerindeki binalara ait keson su kuyuları bir kısmı ise proje dahilinde açılmış gözlem kuyularıdır. Kuyuların derinlik detayları Çizelge 5.2’de belirtilmektedir.

Çizelge 5.2: Güzergâh boyunca ölçümü yapılan su kuyuları.

Kuyu Adi	Kuyunun Konumlandırıldığı Bina veya Mekan	Kuyu Kotu (m.)	Kuyu Derinliği (m.)
SST-WV-01	SIR-155 (Hoca Paşa Camii)	11,1	11,1
SST-WV-02	SIR-156 (İpek Palas Hotel)	7,3	* 10,3
SST-WV-03	SIR-157 (WC)	11,5	10,90
SST-WV-04	SIR-159 (Turvan Hotel)	4	5,31
SST-WV-05	SIR-148 (Ağan Hotel)	10,1	17,70
SST-WV-06	SIR-139 (Şehir Hotel)	9,5	10,10
SST-WV-07	SIR-140 (Metropol Hotel)	5,1	11,50
SST-WV-08	SIR-141 (Asur Hotel)	7,7	8,3
ES-CO-GW-01	Otopark Bölgesi (Piezometre Kuyusu)	42	80
SST-WV-09	SIR-141 (Erbil Hotel)	8,6	10,19
SST-WV-10	SIR-67 (Otopark)	6,5	6,8
SST-WV-11	SIR-68(Askoç Hotel)	1,7	1,55
SST-WV-12	SIR-2 (Eda Otomotiv)	5,1	4,4
SST-WV-13	SIR-97(Yeni Hotel)	5,2	4,7
SST-WV-14	SIR-81(Hotel Şamil)	5,8	5,9
SST-WV-15	SIR-28(Üçler Otomotiv)	5,1	4,3
SST-WV-16	SIR-101(Hotel İlkay)	6	5,8
SST-WV-17	SIR-116 (Prince Hotel)	4,1	1,9
SST-WV-18	SIR-111 (Celaleddin Orman İşhanı)	4,1	2,6
SST-WV-19	SIR-43(Turan Zaim Han)	3,6	3,1
SST-WV-20	SIR-59(Orsep Royal Hotel)	2	6,2
SST-WV-21	Otopark (Doğu Havalandırma Bacası Yakını SIR51)	7,9	7,5

* İpek Palas Otelindeki Kuyu
26.02.2009 tarihinde 7,3 m. den 10,3 m. ye derinleştirildi

5.2 Tünel İçi Deformasyon Ölçüm Sistemleri

5.2.1 Konverjans noktaları

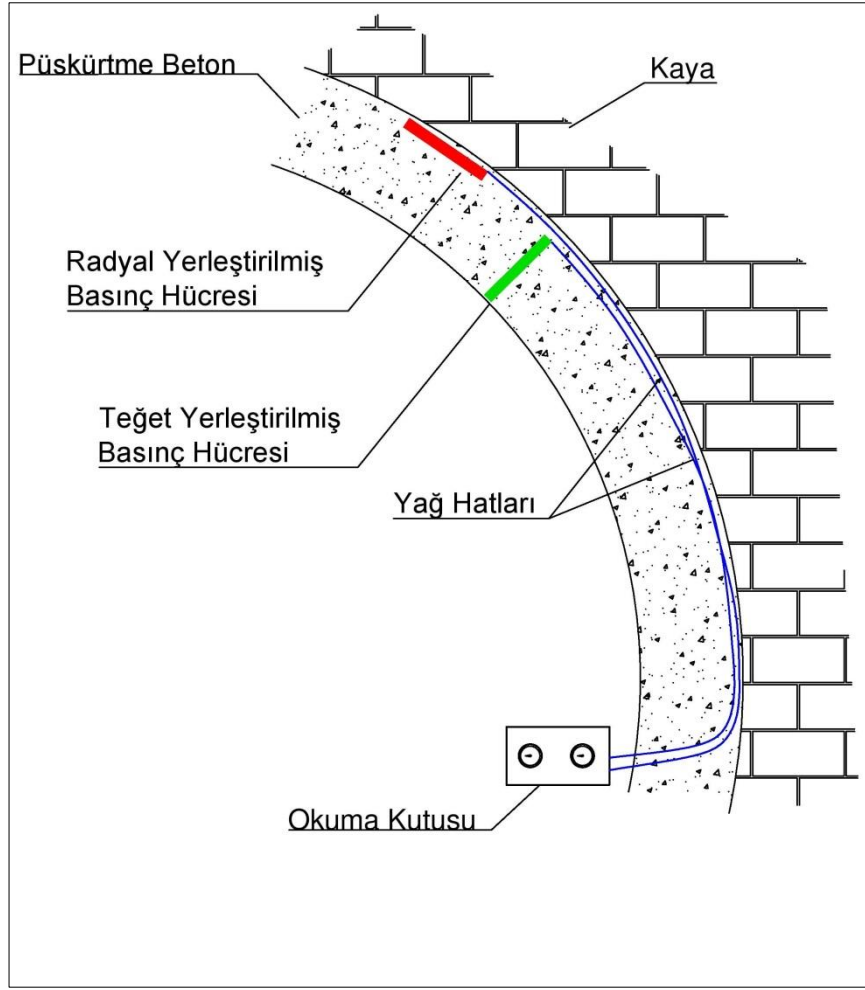
Tünel hattı boyunca tünel çeperinin hareketini incelemek için konverjans noktaları yerleştirilmiştir. Yerleştirilen noktaların ölçümü, kazı ilerlemesine bağlı olarak hazırlanan ölçüm planı dahilinde günlük ya da belirlenen süreler içinde TotalStation cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tünel içine yerleştirilen konverjans noktalarına ait örnek bir uygulama Şekil 5.7’ de belirtilmiştir.



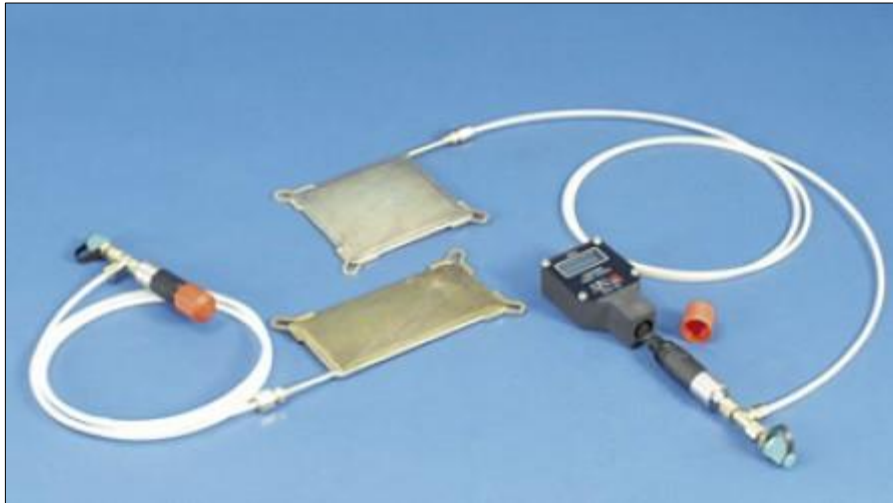
Şekil 5.7: Tünel içine yerleştirilen Konverjans noktalarına ait örnek bir uygulama.

5.2.2 Basınç hücreleri (Yassı Verenler)

Püskürtme beton içerisine yerleştirilen basınç hücreleri vasıtası ile desteği tamamlanmış tünel kesitinin zaman içerisinde maruz kaldığı yükler izlenebilmektedir. Bu amaç kapsamında tünel kesitlerine yerleştirilen basınç hücrelerinin konumunu gösteren temsili çizim Şekil 5.8’de, pilot tünellerde kullanılan basınç hücre tiplerini gösteren örnek fotoğraf Şekil 5.9’da belirtilmiştir.



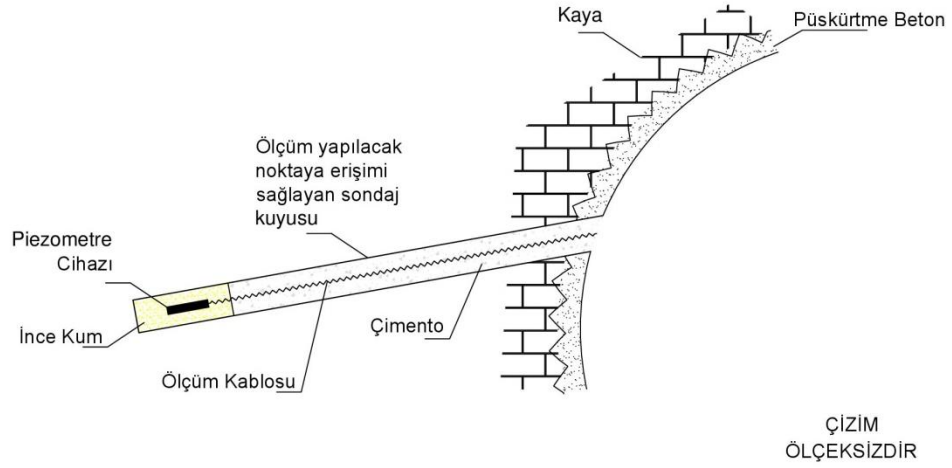
Şekil 5.8: Geçici tünel kaplaması içerisine yerleştirilen basınç hücrelerinin (yassı verenlerin) konumları



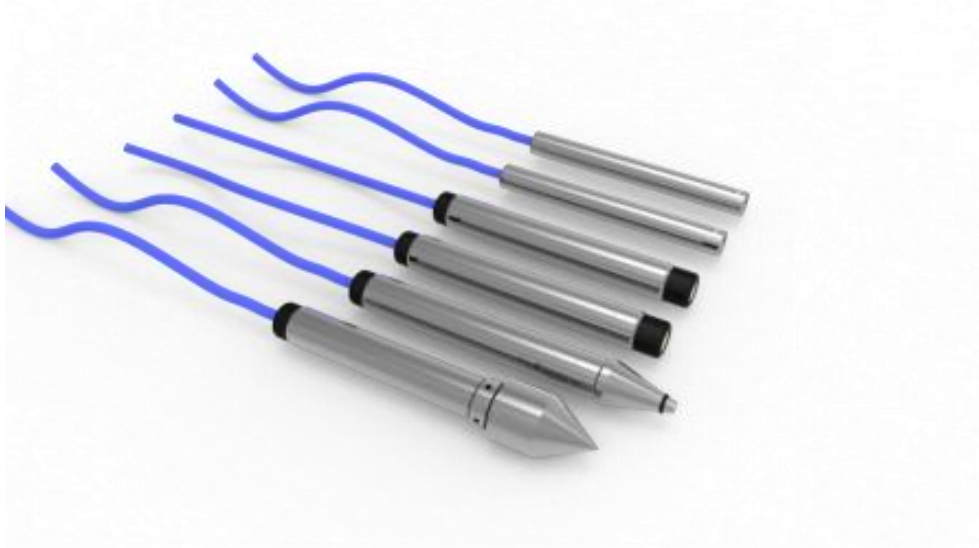
Şekil 5.9: Pilot tünellerde kullanılan basınç hücre (yassı veren) tiplerini gösteren örnek fotoğraf (Url-4).

5.2.3 Tünel içine yerleştirilen piezometreler

Tünel kesitinden kayaya doğru yerleştirilen piezometre cihazları vasıtası ile cihazların yerleştirildikleri noktanın boşluk suyu basıncı ölçülmektedir. Şekil 5.10’de tünel kesitine yerleştirilen piezometrelere ait temsili çizim gösterilmektedir. Şekil 5.11’de tünel içerisine yerleştirilen piezometrelere ait temsili fotoğraf bulunmaktadır.



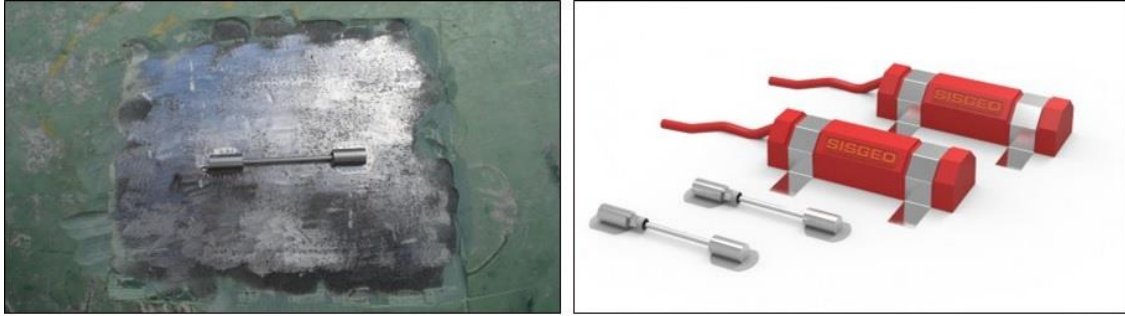
Şekil 5.10: Tünel kesitine yerleştirilen piezometrelerin konumu.



Şekil 5.11: Tünel içerisine yerleştirilen piezometre tipleri (Url-5).

5.2.4 Gerilme ölçerler

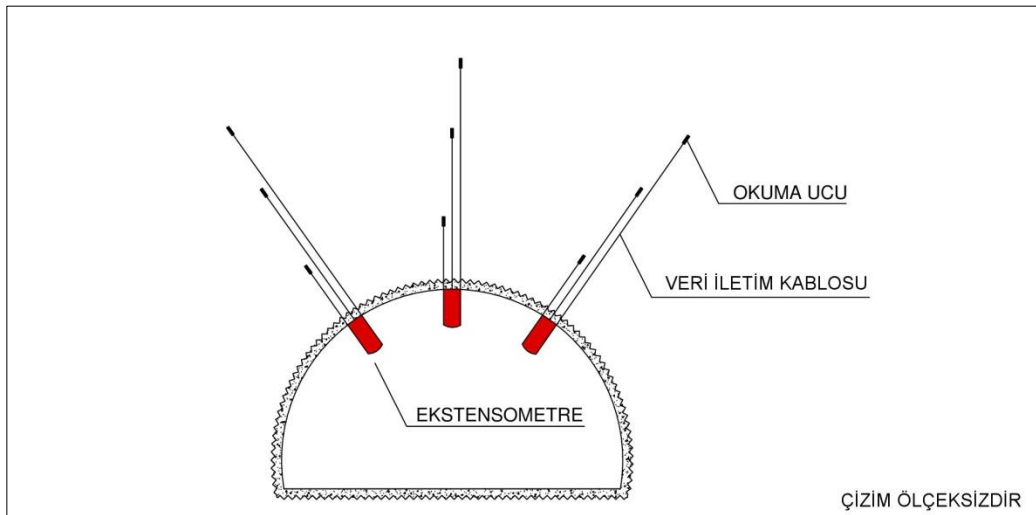
Tünel kesitine yerleştirilecek olan çelik destek (iksa) sisteminin üzerine yerleştirilen gerilim ölçerler vasıtası ile zaman içerisinde destek üzerine gelen yük ile desteğin nasıl hareket ettiği izlenmektedir. Şekil 5.12’de tünel kesitine yerleştirilen gerilim ölçerlere ait temsili fotoğraflar bulunmaktadır.



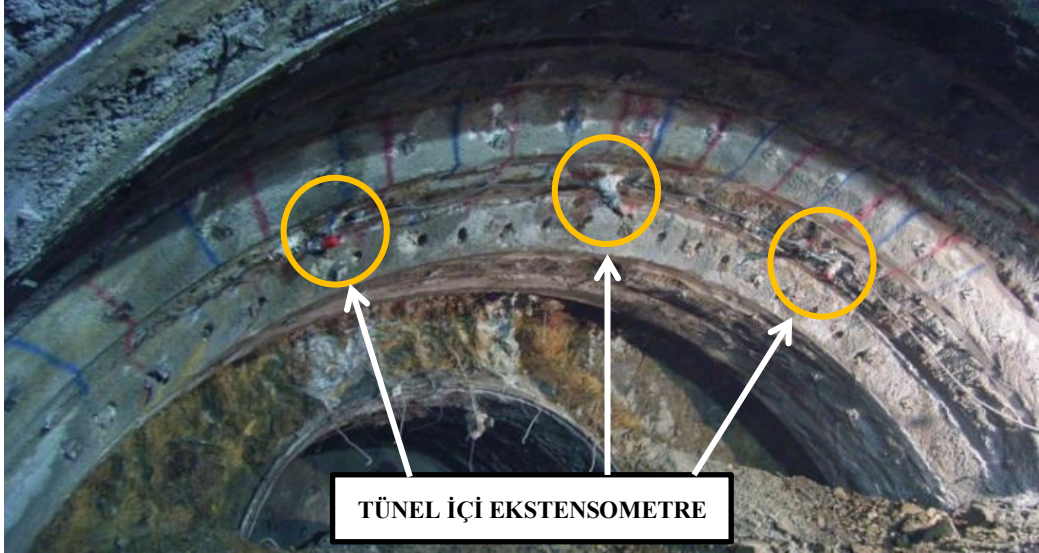
Şekil 5.12: Tünellerde kullanılan gerilme ölçerler (Url-6).

5.2.5 Tünel içi ekstensometre ölçümleri

Tünel içerisine yerleştirilen ekstensometreler genellikle tünel kesitinin omuz ve baş kısımlarına yerleştirilirler. Yüzey ekstensometrelerinde olduğu gibi burada da amaç okuma uçlarının sabitlendiği derinliklerin hareketlerini izlemektir. Şekil 5.13’de tünel kesitine yerleştirilen ekstensometrelere ait temsili çizim, Şekil 5.14’de ise tünel içi ekstensometrelerin gerçek görüntüleri belirtilmektedir.



Şekil 5.13: Tünel kesitine yerleştirilen ekstensometrelerin konumu.



Şekil 5.14: Tünel içi ekstensometrelere ait uygulama görüntüsü.

5.2.6 Yerinde inklinometre ölçümleri

Yerinde inklinometrelerde, inklinometre sondası inklinometre kuyusunun içerisine kalıcı olarak seri halde yerleştirilir, bu sayede ölçüm kuyusundan sürekli ölçüm alınması sağlanır. Proje kapsamında 2 adet yerinde inklinometre yerleştirilmiştir. Sırasıyla Şekil 5.15’de yerinde inklinometre cihazına ait seri sondalar ve Şekil 5.16’da yerinde inklinometre cihazlarının Sirkeci İstasyon Tüneline yerleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 5.15: Yerinde inklinometre cihazına ait seri sondalar (Url-3).



Şekil 5.16: Sirkeci İstasyon Tüneline yerleştirilen yerinde inklinometre cihazının yerleştirilmesi.

6. TÜNEL MÜHENDİSLİĞİNDE KAYA SINIFLAMA SİSTEMLERİ

6.1 Sirkeci İstasyonundaki Kazı ve Destekleme Sisteminin Tasarımında Kullanılan Kaya Sınıflama Sistemleri

6.1.1 Kaya kütlesi puanlaması (RMR)

Kaya kütlesi puanlama sistemi (RMR) veya jeomekanik kaya kütlesi sınıflandırılması Bieniawski (1973) tarafından ortaya konulmuş ve ilerleyen zamanlarda sistem üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Kaya kütlesi puanlama sistemi (RMR) aşağıda belirtilen temellere göre hesaplanmaktadır Kayadan alınan karot numunesinin tek eksenli basınç dayanımı

1. Kaya kalite değeri (RQD)
2. Süreksizlik aralığı
3. Süreksizlik yüzeylerinin durumu
4. Yeraltı suyu durumu
5. Süreksizliklerin yönelimi

Bu parametreler ile yapının RMR puanı izelge 6.1 kullanılarak hesaplanır.

Çizelge 6.1’de sınıflama parametrelerinin ilk beőı ve bunlarla ilgili puanlamalar verilmiştir. Buna göre, parametrelerin her biri beő gruba ayrılmış ve parametrelerin değer aralıkları bu gruplarla belirtilmiştir. Bir kaya kütlesi değerlendirilirken, parametrelerin bu gruplardan hangisine denk geldiği bulunur ve sonuçta elde edilen sayısal değerler toplanır.

Çizelge 6.2’de süreksizlik özellikleri ile ilgili puanlamalar vardır. Süreksizliklerin yönelimleri izelge 6.3 ve izelge 6.4’de bölümlerinde grldğu gibi tüneller ve madenlerden temellere, temellerden yamaçlara ilerledikçe daha önemli olmaktadır.

Çizelge 6.5.’de kaya kütlesi sınıfları çok iyi kayadan çok zayıf kayaya doğru değişen Şekilde verilmiştir. Çizelge 6.6’da ise; bir önceki izelge’deki kaya kütle sınıflarına karşılık gelen kemerlenme süresi ile birlikte kaya kütlesinin Mohr-Coulomb dayanım parametreleri olan kohezyon ile sürtünme açısı yaklaşık değerleri verilmiştir. Kaya tünellerinde RMR’ye dayalı destek rehberi izelge.6.7.’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.1: Sınıflama parametreleri ve puanları.

Parametre			Değer Aralıkları						
1	Sağlam Kaya Numune Dayanımı	Nokta Yük. Dayanımı (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	Bu kadar düşük değerlerde tek eksenli basınç dayanımı tercih edilmelidir.		
		Tek Eks. Basınç Dayanımı (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<2
	Puanlama		15	12	7	4	2	1	0
2	Karot Kalitesi (RQD) (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puanlama		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik Aralığı		>2 m.	0.6-2m.	200-600m.	60-200m.	<60mm.		
	Puanlama		20	15	10	8	5		
4	Süreksizliklerin Durumu		Çok Kaba yüzeyli süreksiz, Ayrılma yok, Bozunmamış kaya yüzeyi	Hafif kaya yüzeyler Ayrılma <1 mm. Hafif bozunmuş yüzeyler	Hafif kaya yüzeyler Ayrılma <1 mm. Fazla bozunmuş yüzeyler	Sürtünme izli yüzeyler Dolgu <5mm. Veya Ayrılma 1-5 mm. Sürekli	5 mm. Yumuşak dolgu veya Ayrılma >5 m.. sürekli.		
	Puanlama		30	25	20	10	0		
5	Yeraltı Suyu (Üç durumdan hangisi biliniyorsa)	10 m. Uzunluğundaki tüneldeki su geliri(lt/dk.)	Yok	<10	10-25	25-125	>125		
		Eklem Su Basıncı/Büyük Asal Gerilme Oranı	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Genel Durum	Tamamen Kuru	Nemli	Islak	Sızıntı	Akış Şeklinde		
	Puanlama		15	10	7	4	0		

Çizelge 6.2: Süreksizlik durumu sınıflandırması için kılavuz bilgileri.

Parametre	Puanlama				
Süreksizlik Uzunluğu	< 1 m.	1 – 3 m.	3 – 10 m.	10 – 20 m.	> 20 m.
	6	4	2	1	0
Süreksizlik Açıklığı	Yok	< 0,1 mm.	0,1 – 1 mm.	1 – 5 mm.	> 5 mm.
	6	5	4	1	0
Süreksizlik Pürüzlülüğü	Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan
	6	5	3	1	0
Süreksizlik Dolgusu	Yok	Sert Dolgu <5mm.	Sert Dolgu >5mm.	Yumuşak Dolgu <5mm.	Yumuşak Dolgu >5mm.
	6	4	2	2	0
Süreksizlik Ayırışması	Ayrılmamış	Az Ayırışmış	Orta Ayırışmış.	Ayırışmış	Çok Ayırışmış.
	6	5	3	1	0

Çizelge 6.3: Süreksizlik doğrultu ve yönelimlerinin tünel açımında etkisi.

A – Süreksizlik doğrultu ve eğimlerinin tünele etkisi			
Doğrultu Tünel Eksenine Dik (>30°)			
Doğrultu ile aynı yönde süreksizlik eğimi		Doğrultuya karşı süreksizlik eğimi	
Eğim 45° - 90°	Eğim 20° - 45°	Eğim 45° - 90°	Eğim 20° - 45°
Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil
Doğrultu Tünel Eksenine Paralel (<30°)			Doğrultudan Bağımsız
Eğim 45° - 90°	Eğim 20° - 45°		Eğim 0° - 20°
Orta	Hiç Uygun Değil		Orta

Çizelge 6.4: Süreksizlik yönelimleri için puanlama düzeltmeleri.

B – Süreksizlik yönelimi düzeltmesi						
Süreksizliklerin Doğrultu ve Eğim Yönü		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil
Derecesi	Tüneller ve madenler	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Yamaçlar	0	-5	-25	-50	-60

Çizelge 6.5: Düzeltilmiş sınıflamadan elde edilmiş kaya kütlesi sınıfları.

C – Düzeltilmiş sınıflamadan elde edilmiş kaya kütlesi sınıfları					
Derece	100-81	80-61	41-60	40-21	0-20
Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanım	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Kötü kaya	Çok kötü kaya

Çizelge 6.6: Kaya kütle sınıflarının anlamı.

D – Kaya kütle sınıflarının anlamı					
Sınıf No	I	II	III	IV	V
Ort. Ayakta kalma süresi	15 m. açıklık 20 yıl	10 m. Açıklık 1 yıl	5 m. Açıklık 1 hafta	2.5 m. Açıklık 10 saat	1 m. açıklık 30 dakika
Kaya kütlelerinin kohezyon (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (Derece)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Çizelge 6.7: Kaya tünellerinde RMR'ye dayalı destek rehberi.

RMR Sınıfı	KAZI	DESTEK		
		Kaya Bulonu	Püskürtme Beton	Çelik İksa
81-100	Tam Kesit: 3 m . İlerleme	Destek gerekmez, gereken yerlere lokal bulonlama		
61- 80	Tam Kesit:1-1.5 m. ilerlemeli Desteklerin tamamlanması aynadan 20 m uzakta	3 m. uzunluğunda, 2.5 m. aralıklı lokal bulonlama, çelik ağ genellikle gerekir	Gereken yerlere 50 mm. kalınlığında uygulanır.	-
41-60	Üst ayna ve tabanda 1.5 – 3 m. ilerleme, her bir patlatmadan sonra ön destekleme, aynanın 10 m. ilerlemesi ile nihai destek	4 m. uzunluğunda,1.5 – 2 m. aralıklı sistematik bulonlama, tavan ve yanlarda çelik ağ.	Tavanda 50- 100 mm. , yanlarda 30 mm. kalınlığında uygulanır.	-
21-40	Üst ayna ve tabanda 1-1.5 m. ilerleme,aynanın 10 m. ilerlemesi ile destekleme hemen yapılmalı	4-5 m. uzunluğunda, 1-1.5 m. aralıklı sistematik bulonlama,tavan ve yanlarda çelik ağ uygulaması	Tavanda 100 – 150 mm. Yanlarda 100 mm. kalınlığında uygulama	Gerekli yerlere 1.5 m. kalınlıkta hafif çelik iksa
0-20	Çoklu kazılar. Üstte 0.5-1.5 m. ilerleme kazı ile birlikte destekler hemen yerleştirilmeli, Püskürtme beton patlatmadan sonra mümkün olan en kısa zamanda uygulanmalı	5-6 m. uzunluğunda, 1-1.5 m. aralıklı sistematik bulonlama, Tavan ve yanlarda çelik ağ uygulamaları	Tavanda 150-200 mm. Yanlarda 150 mm. Aynada 50 mm. Püskürtme beton uygulaması	0.75 m. aralıklı ağır çelik iksa. Kesit kapatılmalı

6.1.2 Q sistemi

Q veya NGI (Norwegian Geotechnical Institute – Norveç Jeoteknik Enstitüsü) sistemi olarak bilinen bu sistem, Barton ve diğ. (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sistem uzun yıllar kullanıldıktan sonra, sistemin destek türlerinin seçimine yönelik bölümü Grimstad ve Barton (1993) tarafından yeniden düzenlenmiştir. Bu sınıflama sistemine göre, Q değerinin hesaplanması için aşağıda belirtilen 6 parametre kullanılmaktadır, bu parametrelerin detay çizelgeleri EK-A da belirtilmiştir.

- RQD
- Süreksizlik takım sayısı
- En elverişsiz süreksizliğin pürüzlülüğü
- Ayrışma derecesi veya en zayıf süreklilikteki dolgu
- Su artış miktarı
- Gerilme durumu

Kaya kütle kalitesi Q değerinin hesaplanmasında Ek-A da belirtilen çizelgelere ek olarak, aşağıda verilen rehber niteliğindeki hususlara da dikkat edilmelidir.

1. Sondaj karotu olmadığı zamanlarda, RQD birim hacimdeki eklemlerin sayısından hesaplanabilir ve her bir eklem takımı için metredeki eklem sayısı ilave edilir. Kil içermeyen kaya kütleleri için bu sayıyı RQD'ye çevirmek amacıyla aşağıdaki basit ilişki kullanılabilir:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \text{ (yaklaşık)}$$

Burada; J_v : Bir metreküpteki toplam eklem sayısı ($RQD = J_v < 4.5$ için)

2. Eklem takımlarının sayısını ifade eden J_n parametresi, genellikle çizgisellik (foliasyon), şistozite, dilinim veya tabakalanma vb.'den etkilenebilmektedir. Bu durumda, iyi bir gelişme göstermişlerse, bu paralel eklemler tam bir eklem takımı olarak sayılmalıdırlar. Bununla birlikte, sadece görünür birkaç eklem veya bu özellikleri nedeniyle karotta yer yer kırıklar mevcutsa, J_n 'nin değerlendirilmesinde bunların gelişigüzel eklemler olarak sayılması daha uygundur.

3. Makaslama dayanımını temsil eden J_r ve J_a parametreleri, belirli bir zondaki en zayıf önemli eklem takımıyla veya kil dolgulu süreksizlikle ilişkili olmalıdır. Bununla birlikte, en küçük (J_r/J_a) değeri yüksek olan, Q'nun hesaplanmasında kullanılır. (J_r/J_a)'nın değeri gerçekte, yenilmenin başlamasına yol açan yüzeyle ilişkilidir.

4. Kaya kütlesi kil içeriyorsa, gevşeyen yükler için SRF faktörü değerlendirilmelidir. Bu tür durumlarda sağlam kayanın dayanımı çok az önem taşır. Bununla birlikte, eklemlili olma özelliğinin en az olduğu ve kilin hiç bulunmadığı durumlarda, sağlam kayanın dayanımı en zayıf halkayı oluşturur ve duraylılık, kayanın gerilme/dayanım

oranına bağılı olacaktır. Oldukça anizotrop bir gerilme alanı duraylılık için uygun olmayıp, 10 ve 11 numaralı notlarda kabaca hesaba katılır.

5. Sağlam kayacın σ_c ve σ_t ile ifade edilen tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımları, mevcut arazi koşullarına uygun ise, kayanın doygun haldeki durumuna göre değerlendirilir. Nemli veya doygun koşullar altındaki kayaların dayanımı için çok tutucu bir tahmin yapılır.

Yukarıda verilen ölçülere göre tüm parametreler tayin edilir ve eşitlik (6.1) kullanılarak Kaya Kütle Kalitesi, Q hesaplanır.

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (6.1)$$

Burada:

RQD= Kaya kalite göstergesi,

J_n= Eklem takım numarası (süreksizlik takım sayısı ile ilgili).

J_r= Eklem pürüzlülük numarası (süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ile ilgili).

J_a= Eklem ayrışma numarası (süreksizlik yüzeylerinin ayrışma veya bozuşma derecesiyle ilgili).

J_w= Eklem suyu azalım faktörüdür (süreksizlik içine akan su miktarları ve süreksizlikteki basınçlarla ilgilidir).

SRF= Gerilme azalım faktörüdür (makaslama zonlarının varlığı, gerilme anomalileri, sıkışan ve kabaran kayaçlarla ilgili).

Q kaya sınıflama sisteminde Q indeksine ek olarak “De-Eşdeğer çap” tanımı da kullanılmakta olup, yeraltı açıklığının boyutlarının tahmini için yararlı bir parametredir ve denklem 6.2’de belirtilmiştir.

$$De = \frac{En, \text{çap veya yükseklik (m.)}}{\text{Kazı destek oranı (ESR)}} \quad (6.2)$$

Eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikle ESR, bir tür güvenlik katsayısı olup, yeraltı kazısının türüne göre Çizelge 6.8’de belirtilen çizelgeden belirlenir.

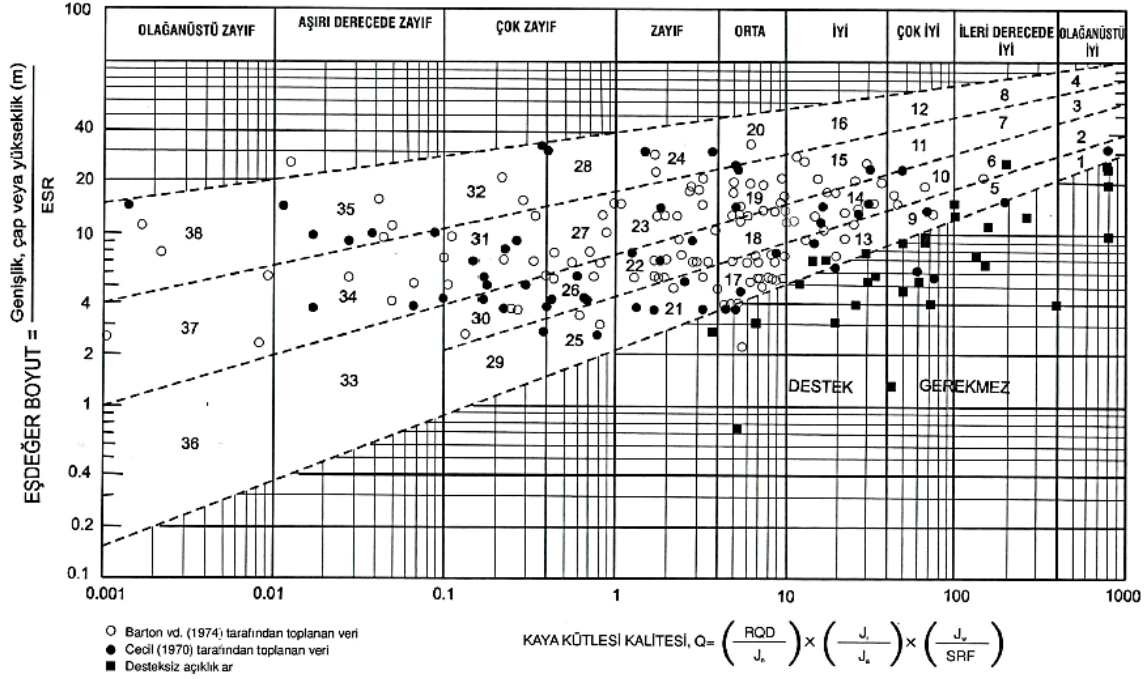
Çizelge 6.8: ESR güvenlik katsayısını belirlemede kullanılan sınıflandırma.

KAZI TİPİ	Orijinal ESR*	Güncelleştirilmiş ESR ⁺
A. Kısa süreli (geçici) maden kazıları vd.	3-5	2-5
B. Uzun süreli (kalıcı) maden kazıları, su tünelleri, büyük kazıları için açılan pilot tüneller, geniş yeraltı kazıları	1.6	1.6-2.0
C. Geniş yer altı depolama odaları, su arıtma tesisleri, küçük karayolu ve demiryolu tünelleri, yaklaşım tünelleri	1.3	1.2-1.3
D. Enerji santralleri, büyük (ana) karayolu ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, tünel girişleri ve yeraltında birbirini kesen açıklıkların kesişim bölgeleri	1.0	0.9-1.1
E. Yeraltı nükleer enerji santralleri, demiryolu istasyonları, spor ve kamu tesisleri, fabrikalar, gaz iletim tünelleri	0.8	0.5-0.8

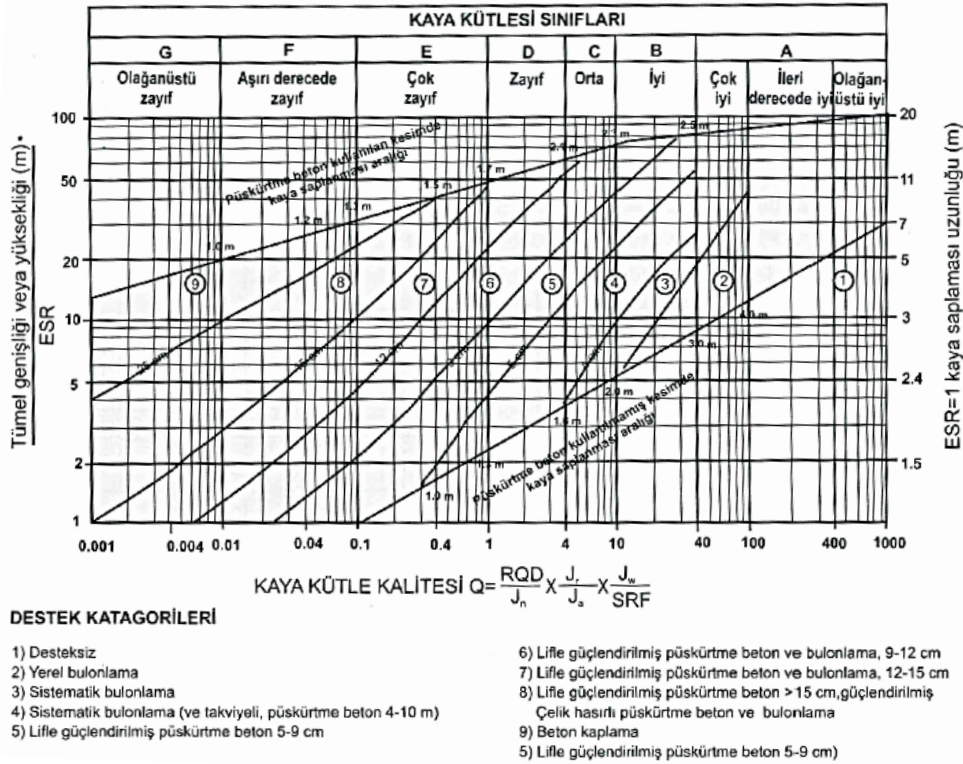
***Barton vd. (1974)**
+Grimstad ve Barton (1993)

6.1.2.1 Destek sisteminin seçimi

Q sistemi ilk kez önerildiğinde Şekil 6.1’de verilen abaktan görüleceği gibi, 38 farklı destek kategorisinin hangi elemanlardan oluştuğu ve bunların boyutlarının nasıl olacağına ilişkin bilgiler ise ayrı bir çizelgeden belirlenmekteydi. Kaya saplaması ve püskürtme betonun daha güncel olması dikkate alınarak, Q sisteminin destek sınıflaması oluşturulurken çelik bağ, beton kemer vb. gibi destek sistemleriyle ilgili vakalar dikkate alınmamıştır. Destek sistemleriyle ilgili olarak gelişen teknoloji ve 1974’ten bu yana yer altı açıklıklarında yapılan gözlemler dikkate alınarak bu sistem Grimstad ve Barton (1993) tarafından güncellenerek son şekline getirilmiştir. Güncelleştirilmiş destek sistemi abağı Şekil 6.2’de sunulmuştur. Şekil 6.3’de verilen Q değerleri ve destekler (geçici ve kalıcı) açıklığın tavanıyla ilgilidir.



Şekil 6.1: Q sisteminin ilk kez önerildiğinde kullanılan destek kategorileri abacı (Barton, 1976).



Şekil 6.2: Q sistemi için güncellenmiş destek abacı (Grimstad ve Barton, 1993).

6.1.2.2 En geniş desteksiz açıklığın (B_{max} , m) ve tavan destek basıncının (P_{tavan}) belirlenmesi

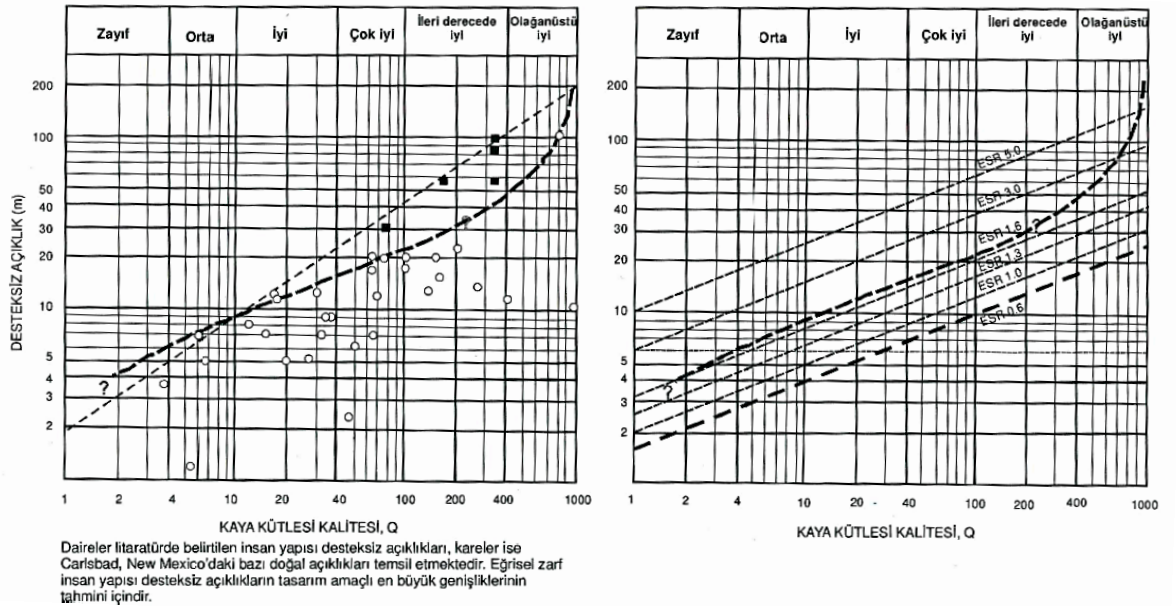
$$B_{max} = 2(ESR)Q^{0.4} \quad (Barton ve diğ, 1974) \quad (6.3)$$

B_{max} , yukarıdaki eşitliğin yanı sıra (6.3) , Şekil 6.3’de verilen abaklardan da belirlenebilir.

$$P_{tavan} = \frac{2}{Jr} Q^{-1/3} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad (Barton ve diğ, 1974) \quad (6.4)$$

Eğer eklem sistemlerinin sayısı üçten az ise, P_{tavan} aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (6.5).

$$P_{tavan} = \frac{2Jn^{0.5}Q^{-\frac{1}{3}}}{3Jr} (MPa) \quad (Grimstad ve Barton, 1993). \quad (6.5)$$



Şekil 6.3: Q desteksiz açıklık genişliği abağı (Barton, 1976).

6.1.2.3 Kaya saplaması (bulonu) ve ankraj boyutlarının tahmini

Her iki destek sisteminin uzunlukları kazı boyutlarına bağlıdır. Tavanda kullanılan bulonların uzunluğu genellikle kazının enine, yan duvarlarda kullanılanların ki ise kazının boyuna bağlıdır. Buna göre aşağıdaki eşitlikler (6.6), (6.7), (6.8), (6.9), inşaat sırasında karşılaşılan duruma göre değiştirilmek koşuluyla önerilmiştir (Barton ve diğ, 1974).

$$\text{Tavan; Saplama } L = 2 + 0.15 \frac{B}{ESR} \quad (6.6)$$

$$\text{Ankraj } L = 0.4 \frac{B}{\text{ESR}} \quad (6.7)$$

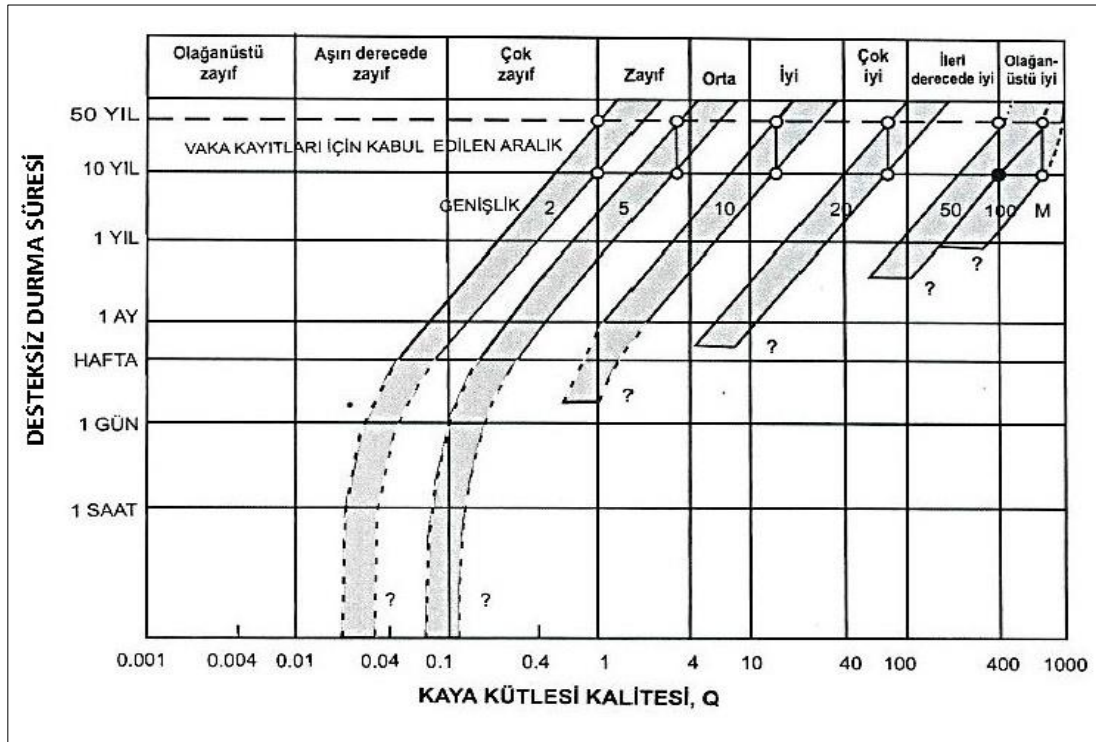
$$\text{Yan duvarlar: Saplama } L = 2 + 0.15 \frac{H}{\text{ESR}} \quad (6.8)$$

$$\text{Ankraj } L = 0.35 \frac{H}{\text{ESR}} \quad (6.9)$$

Burada; B kazı genişliği (m.), H kazı boyu (m.) ve L ise saplama veya ankrajın uzunluğudur (m.)

6.1.2.4 Desteksiz durma süresinin tahmini

Q ile desteksiz kalma süresi ilişkisini gösteren abak Şekil 6.4' de verilmiştir. Şekildeki eğrisel zarflar, desteklenmemiş bir açıklığın genişliğinin en büyük tasarım genişliğinden büyük olması durumunda desteksiz durma süresinin ne kadar azaltılması gerektiğine ilişkin bir ön tahmin yapılmasını sağlar. Bu abakta içi gölgeli olarak gösterilen zarflar, desteksiz bir açıklığın genişliğinin tasarımda planlanan en geniş açıklığı aşması durumunda desteksiz kalma süresinin ne kadar azalacağını tahmin edilmesi amacıyla önerilmiş ilk değerlendirmeyi temsil etmektedir.



Şekil 6.4: Q desteksiz durma süresi abağı (Barton, 1976).

6.1.2.5 Kaya kütlesinin deformasyon modülünün kestirimi

RMR sisteminde olduğu gibi kaya kütlesinin deformasyon modülü E_m , Q değerinden de aşağıda verilen ampirik ilişkilerden tahmin edilebilmektedir (6.10 ve 6.11).

$$E_m = 25 \log Q \text{ Gpa (} Q > 1 \text{ için)} (Grimstad \text{ ve Barton, 1993)} \quad (6.10)$$

veya

$$E_m = 10 \left(Q \times \frac{\sigma_c}{100} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ Gpa (Barton, 2002)} \quad (6.11)$$

6.2 Projede Kullanılan Kaya Sınıflama Sistemi

Sirkeci istasyonu tünel güzergâhı Japon Kaya Sınıflandırma yöntemine göre sınıflanmış ve dizaynı bu sınıflama sistemine göre yapılmıştır. Çizelge 6.9 de Japon Kaya Sınıflama sistemi ile RMR, Q sistem arasındaki karşılaştırma aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Taisei, 2005).

Çizelge 6.9: Japon Kaya Sınıflama sistemi ile RMR ve Q sistem arasındaki geçiş.

Japonya Otoyol Kamu Şirketi (Japan Highway Public Corporation)	RMR	Q Sistem
A	100~81	>20
B	80~61	20~10
C I	60~41	0.1~20
C II	40~21	0.1~0.04
DI	20 ve daha aşağı	0.1~0.04
D II		0.1~0.04
E		>0.004

Çizelge 6.10'da Japon Kaya Sınıflamasına denk gelen tünel kesitleri ve kesitlerin sınıflandırılmaları belirtilmiştir. Sırasıyla Çizelge 6.11, 6.12 ve 6.13 de ise bu kesitlere denk gelen destek uygulamaları belirtilmiştir.

Çizelge 6.10: Tünel genişlikleri ve uygulanacak desteğin tanımı.

Tünel Kazı Genişliği (m.)	Uygulanan standart destek
0~ 5.0	Küçük Kesitli Tüneller
5.0 ~ 12.5	2 şeritli karayolu tüneli
12.5 ~	3 şeritli karayolu tüneli

Çizelge 6.11: Küçük kesitli tüneller için dizayn parametreleri

Zemin Sınıfı	Bulon (Kaya Saplama)			Püskürtme Beton Kalınlık (cm.)	Çelik Destek		
	Uzunluk (m.)	Çevresel (m.)	Boylamsal (m.)		Üye Birimi	Boyuna aralık (m.)	Beton Kaplama Kalınlığı (cm)
B	Yok	-	-	5	Yok	-	20
C I	2	1.2	1.2 den 1.5'e	5	Yok	-	20
C II	2	1.2	1.2 den 1.5'e	5	Yok	-	20
D I		1.0	1.0	10	H-100	1.0	20
		1.0 veya daha az		10 dan			
D II	2 veya 3		1.0	12'ye	H-100	1.0	20

Çizelge 6.12: 2 şeritli karayolu tünelleri için dizayn parametreleri

										Çelik Destek		Beton Kaplama Kalınlığı (cm)	
Bulon (Kaya Saplaması)													
Zemin Sınıfı	Destek Örneği	Kazı adım mesafesi (m.)	Aralık			Püskürtme Beton Kalınlık (cm.)			Tavan & Duvar		Müsaade Edilebilir Deformasyon (cm.)	Kazı Yöntemi	
			Uzunluk (m.)	Çevresel (m.)	Boylamsal (m.)		İnşa Sırası	Üst Yarı	Alt Yarı	Duvar Yarı			
B	B-a	2.0	3.0	1.5	2.0	Üst Yarı 120°	5	-	-	30	0	0	Tam kazı ve ya üst yarı kazısı
C I	C I-a	1.5	3.0	1.5	1.5	Üst Yarı	10	-	-	30	(40)	0	
C II	C II-a	1.2	3.0	1.5	1.2	Üst ve Alt Yarılar	10	-	-	30	(40)	0	
	C II-b			1.5	1.2		H125						
D I	D I-a	1.0	3.0	1.2	1.0	Üst ve Alt Yarılar	15	H125	H125	30	45	0	
	D I-b	1.0	4.0										
D II	D II-a	1.0 veya altı	4.0	1.2	1.0 veya altı	Üst ve Alt Yarılar	20	H150	H150	30	50	10	

Çizelge 6.13: 3 şeritli karayolu tünelleri için dizayn parametreleri

Bulon (Kaya Saplaması)				Çelik Destek			Beton Kaplama Kalınlığı (cm.)		
Zemin Sınıfı	Uzunluk (m.)	Aralık		Üst Yarı	Alt Yarı	Boylamsal Boşluk (m.)	Püskürtme Beton Kalınlık (cm.)	Tavan & Duvar	Alt Yarı
		Çevresel (m.)	Boylamsal (m.)						
B	3.0	1.5	1.5	Yok	Yok	-	10	40	
C I	4.0	1.2	1.2	H-150	Yok	1.2	15	40	50
C II	4.0	1.2	1.2	H-150	H-150	1.2	20	40	50
D I	6.0	1.0	1.0	H-200	H-200	1.0	20	40	50
D II	Duruma özel dizayn edilecek								
Not 1: A ve E sınıfı zeminlerin dizaynı, zeminin durumuna göre değerlendirilecektir.									
Not 2:C II, D I, D II ve E sınıflarındaki zeminlerin tahkimatına mutlaka alt yarı eklenecektir.									
BL	6.0	1.2	1.2	Yok	Yok	1.2	15	50	50
C I L	6.0	1.0	1.0	H-200	Yok	1.0	20	50	50
C II L	6.0	1.0	1.0	H-250	H-250	1.0	25	50	50

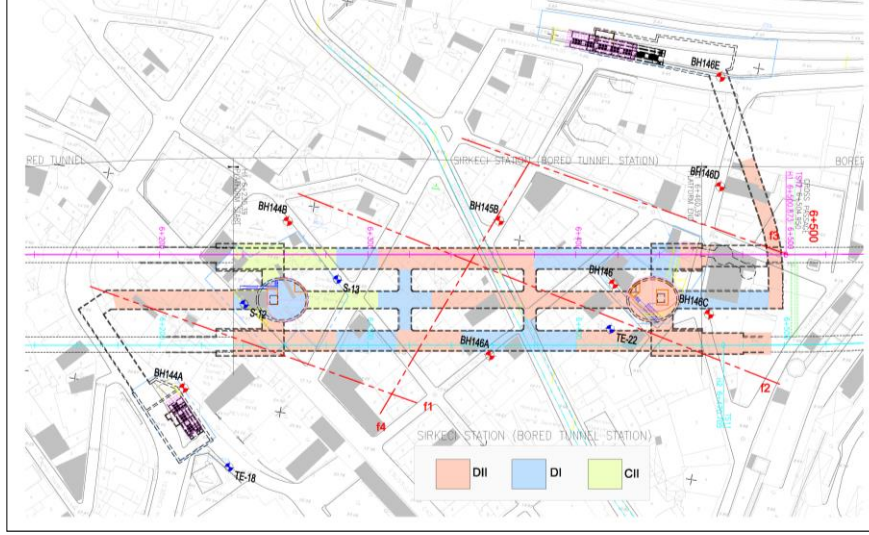
Çizelge 6.14'de ise Japon Kaya Sınıflama sisteminde belirtilen gruplara ait tipik kaya deformasyon ve dayanım özellikleri belirtilmiştir (Taisei, 2005).

Çizelge 6.14: Japon Kaya Sınıflama sistemi gruplarına ait tipik deformasyon ve dayanım değerleri.

Kaya Sınıflaması (Japon sistemine göre)	Deformasyon Modülü E (N/mm ²)	Poisson oranı ν	Kohezyon C (N/mm ²)	İçsel sürtünme açısı ϕ (°)	Birim ağırlık γ (kN/m ³)
B	5,000	0.25	4.0	50	25
CI	2,000	0.30	2.0	45	24
CII	1,000	0.30	1.0	40	23
DI	500	0.35	0.4	35	22
DII	150	0.35	0.2	30	21
E	80	0.40	0.1	30	20

6.3 Kazı Kotunda Geçilen Ortamın Japon Kaya Sınıflama Sistemine Göre Tanımlanması

Şekil 6.5’de çalışma güzergâhının tünel kazı derinliğinin Japon Kaya Sınıflamasına göre derecelendirilmesi gösterilmektedir. Derecelendirme kazı faaliyetleri öncesi gerçekleşen jeoteknik sondaj verilerinden üretilmiştir.



Şekil 6.5: Çalışma güzergâhının tünel kazı derinliğinin Japon Kaya Sınıflamasına göre haritası.

Çizelge 6.15’de inceleme alanında karşılaşılan kaya sınıflarının jeoteknik parametreleri gösterilmektedir (Taisei, 2005).

Çizelge 6.15: Jeolojik ortamda karşılaşılan kaya sınıflarının jeoteknik parametreleri.

Kaya Sınıflaması (Japon sistemine göre)	Deformasyon Modülü E (N/mm ²)	Poisson orani ν	Kohezyon C (N/mm ²)	İçsel sürtünme açısı φ (°)	Birim ağırlık γt (kN/m ³)
Arkeolojik Dolgu	33.6	0.3	0	30	19
Kıyı Çökelleri	50.4	0.3	0	34	19
CII	1.000	0.30	1.0	40	23
DI	500	0.35	0.4	35	22
DII	150	0.35	0.2	30	21

7. SİRKECİ İSTASYON BÖLGESİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

7.1 Arazi Çalışmaları ve Deneyleri

İnceleme alanında derinlikleri 24 m. ve 72 m. arasında değişen 8 adet sondaj gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kaya ve zemin karotlu sondajları döner sondaj yöntemi ile BSI (1999) standardına göre gerçekleştirilmiştir .

Yerinde kuyu içinde yapılan deneyler ve zemin tanımlamaları ASTM (2000) ve BSI (1999) standartlarına göre, sağlam kaya tanımlamaları ISRM (1981) standardına göre gerçekleştirilmiştir (STFA, 2005).

7.2 Araştırma Sondajları

Projelendirme öncesinde bölgede 8 adet araştırma sondajı açılmıştır. Sondaj derinlikleri kazı kotunun bir miktar altına inecek şekilde öngörülmüştür. Çizelge 7.1 de tünel kazısı öncesi gerçekleştirilen sondajların koordinatları, kotları ve derinlik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 7.1: Tünel kazısı öncesinde gerçekleştirilen sondajların koordinatları, kotları ve derinlikleri.

Kuyu Adı	Koordinat		Kot (m)	Kuyu Son Derinlik (m)
	Kuzey	Güney		
BH-144A	4 542 703,97	413 852,39	22.3	72
BH-144B	4 542 791,11	413 888,78	13.55	62
BH-145B	4 542 807,73	413 988,96	8,85	60
BH-146	4 542 786,63	414 047,96	8.51	57
BH-146A	4 542 743,35	413 994,86	10.54	60
BH-146C	4 542 779,75	414 095,62	8.1	24
BH-146D	4 542 841,08	414 090,99	6.3	29.5
BH146E	4 542 893,05	414 082,68	5.85	34

7.3 Arazi Deneyleri

7.3.1 Standart penetrasyon deneyi

Kohezyonsuz zeminlerin yaklaşık yerinde göreceli sıklığını saptamak için geliştirilmiş olan bir deney yöntemidir. SPT deneyleri sondaj kuyularında 51 mm. dış çaplı standart bir örnek alıcı 76 cm. Yükseklikten 63.5 kg. ağırlığındaki bir şahmerdan düşürülerek tekrarlanan darbeleri ile zemine 45 cm. sokulur. Bu darbeler tijin üstünde yer alan çakma başlığı sayesinde kuyu tabanındaki örnek alıcıya iletilmektedir. Sadece son 30 cm.'lik standart penetrasyon değerleri (N_{30} değeri) olarak kullanılır. 45 cm.'lik çakma sırasında her 15 cm.'lik çakma için darbe adetlerinin sayılması iyi bir uygulama şeklidir. Bu şekilde kuyu tabanındaki değişik özellikteki zeminin sıklığı sağlıklı bir şekilde belirlenir. Çakma işlemini zorlaştıran çakıl, blok veya çimentolaşmış yerler saptanır. Çizelge 7.2 de Terzaghi ve Peck tarafından belirlenen N_{30} Değerlerinin ince daneli ve iri daneli birimlerdeki değerleri gösterilmiştir. Güzergâh boyunca SPT deneyleri yapılmış ve SPT deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge B.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 : N_{30} Değerlerinin ince daneli ve iri daneli birimlerdeki değerleri (Terzaghi ve Peck, 1968).

İNCE DANELİ		İRİ DANELİ	
Değer	Açıklama	Değer	Açıklama
0-2	Çok yumuşak	0-4	Çok Gevşek
3-4	Yumuşak	5-10	Gevşek
5-8	Orta Katı	11-30	Orta Sıkı
9-15	Katı	31-50	Sıkı
16-30	Çok Katı	>50	Çok Sıkı
>30	Sert		

7.3.2 Basınçlı su deneyleri (Paker testi)

İnceleme alanında tünelde karşılaşılabilecek iki ayrı litoloji üzerinde basınçlı su deneyi BS 5930 : (1999) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Paker testlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 7.3 de gösterilmektedir (STFA, 2005).

Çizelge 7.3: İnceleme alanında gerçekleştirilen paker testlerine ait sonuçları.

Kuyu Adi	Test bölgesinin alt derinliği (m)	Test bölgesinin üst derinliği (m)	Permeabilite. (m/dak.)	Zemin / Kaya Adi
BH144A	55	58	2.92E-07	Kum Taşı
BH146	47	50	1.82E-08	Çamur Taşı

7.4 Laboratuvar Deneyleri

İnceleme alanındaki sondajlardan alınan zemin numuneleri STFA Zemin Mekaniği Laboratuvarında incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Ayrık nitelikteki kayaçlar üzerinde aşağıda belirtilen laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Su muhtevası (W), atterberg limitleri (LL, PL), elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık (γ_n) ve birim hacim ağırlık (γ_s), drenajsız üç eksenli basınç, konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç, konsolidasyonlu-drenajlı yavaş kesme testi, tek eksenli konsolidasyon ve şişme deneyi laboratuvar deneyleri (ASTM, 2000) standartlarına göre gerçekleştirilmiştir.

Kaya karot örneklerinde ise doğal su muhtevası, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, nokta yükleme, üç eksenli basınç, şişme indeksi, cerchar aşınma, Brezilya çekme kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden cerchar aşınma Testi İTÜ Maden Fakültesi Kazı Mekaniği Laboratuvarlarında, Nokta Yükleme Testi STFA Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Geri kalan kaya testleri ise İTÜ Maden Fakültesi Mühendislik Jeolojisi-Kaya Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (STFA, 2005).

7.5 Zemin Profili

Zemin profili gerçekleştirilen sondajlar neticesinde Kuvaterner yaşlı Arkeolojik Dolgu, Kuvaterner yaşlı Kıyı Çökelleri ve Anakaya (Trakya Formasyonu) olarak 3 birime ayrılmıştır. Yeraltı su seviyesi arkeolojik dolgu içerisinde tespit edilmiştir (STFA, 2005).

7.5.1 Arkeolojik dolgu birimi

Arkeolojik dolgunun sondajlar ile belirlenen kalınlığı, S.P.T ile elde edilen N_{30} değerleri ve içsel sürtünme açıları çizelge B.2’de (Ek-B) gösterilmektedir. Birimin dane boyutu dağılımı ise Çizelge B.3’de (Ek-B) gösterilmiştir, burada göz önünde

bulundurulması gereken durum arkeolojik dolgunun tuğla ve plastik gibi malzemeleri de içerisinde barındırdığıdır (STFA, 2005).

7.5.2 Kıyı çökelleri

Kıyı Çökelleri sondajlarda arkeolojik dolgu birimi ile Ana Kaya arasında tespit edilmiştir. Çizelge B.4’de (Ek-B) sondajlardan elde edilen kumlu birime ait kalınlık N 30 ve içsel sürtünme açıları değerleri gösterilmiştir (STFA, 2005).

Kumlu birimin dane boyutu dağılımı sondajlara göre dağılımı ise Çizelge B.5’de (Ek-B) gösterilmiştir.

7.5.3 Anakaya

Güzergah boyunca gerçekleştirilen sondajlar neticesinde ana kayanın birimlerinin kalınlıkları ve birimlere ait RQD, TCR ve SCR belirlenmiş olup bu sonuçlar Çizelge A.6’da (Ek-A) gösterilmiştir (STFA, 2005).

Sırasıyla Çizelge B.7 ve B.8’de (Ek-B) anakaya’ya ait jeoteknik parametreler ve basınç dayanımı – elastisite modülü değerleri verilmiştir.

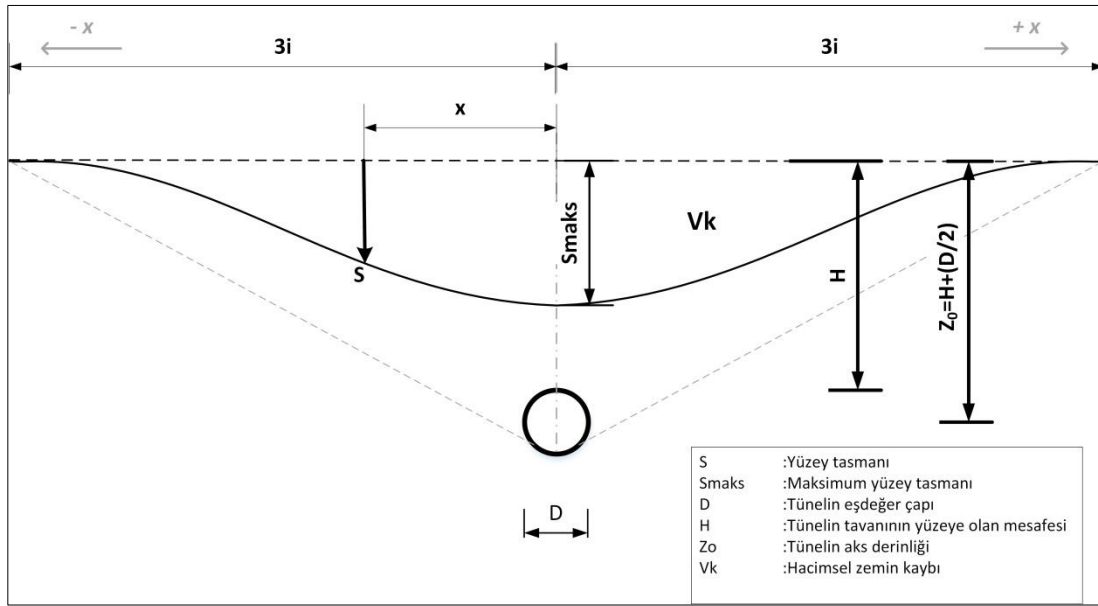
Etki Alanı: $3i$

Sınır Açısı : $\beta = 45 - \phi/2$

ϕ = Zemin Kaya Kütlesinin İçsel Sürtünme Açısı

8.1.2 Zemin kaybı

Tasman büyüklüğüne bağlı gelişen zemin kaybının teorik profili Şekil 8.2’de gösterilmiş olup zemin kaybının bulunmasında kullanılan denklem 8.2’de belirtilmiştir (O’Reilly ve New, 1982).



Şekil 8.2: Tasman büyüklüğüne bağlı gelişen zemin kaybının teorik profili.

$$\text{Zemin Kaybı: } Vk = \int_{-3i}^{+3i} S dx = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot Smaks \cong 2,5 \cdot i \cdot S \quad (8.2)$$

8.1.3 Tasman profillerinin değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel yaklaşım

Tünel kazılarına bağlı gelişen tasman profillerinin değerlendirilmesinde aşağıda belirtilen 8.3 numaralı doğrusal değişim formülü kullanılır (Arıoğlu ve diğ, 2002).

Yüzey Oturma Eğrisi – Gauss Hata Fonksiyonu

$$S = S_{\max} \cdot e^{\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right)} \quad (8.1)$$

Dönüşümler

$$\ln(S) = Y \quad x^2 = X$$

$$\left(-\frac{1}{2i^2}\right) = A \quad \ln(S_{maks}) = B$$

Doğrusal Değişim

$$Y = AX + B \quad (8.3)$$

8.1.4 Tasman eğrisi dönüm noktasının farklı yaklaşımlarla belirlenmesi

Tünel kazılarına bağlı gelişen tasman eğrilerindeki dönüm noktasının belirlenmesinde çeşitli farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bunlardan iki tanesi sırası ile 8.4 ve 8.5 numarası ile belirtilmiş denklemlerdir (Arıoğlu ve diğ, 2002).

8.4 numaralı formülün üretilmesinde sırası ile aşağıdaki yollar izlenir.

Tasmandan Kaynaklanan Zemin Kaybı:

$$V_k = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{mak} \cong 2,506 \cdot i \cdot S_{maks} \quad (8.2)$$

Tünel cidarındaki zeminin elastik sınırlar içerisinde yapacağı radyal kapanma “u” dolayısıyla oluşacak zemin kaybı:

$$V_t = \pi \cdot u \cdot D$$

$$u = \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{1 + \nu}{E_y}\right) \cdot (P_{ek} + \gamma \cdot Z_0)$$

$$V_t = V_k \text{ kabulü ile}$$

$$i = 0,628 \frac{D^2}{S_{maks}} \cdot \left(\frac{P_{ek} + \gamma \cdot Z_0}{E_y}\right) \cdot (1 + \nu) \quad (8.4)$$

Burada;

D=Tünelin eşdeğer çapı

Z₀=Tünel aks derinliği

γ = Zemin/kaya kütlesi birim hacim ağırlığı

ν=Poisson oranı

E_y=Yerinde elastisite modülü

S_{maks}=Maksimum Yüzey Tasmanı

P_{ek}=Yapı veya trafik yükünden kaynaklanan ilave yük miktarı

Çökme Teknesi Etki Alanı Prensibine Göre Dönüm Noktası Değeri

$$3\dot{I} = \left[\frac{D}{2} \cdot \cos \beta + (Z_0 - \frac{D}{2} + \frac{D}{2} \cdot (1 + \sin \beta)) \right] \operatorname{tg} \beta \quad (8.5)$$

8.1.5 Oturma eğrisi dönüm noktasının zemin türüne bağlı değişimi

Tasman dönüm noktası $\dot{I} = A \cdot Z_0$ bağıntısı ile tanımlanmaktadır. Buradaki “A” katsayısı zemin türüne bağlı değişim göstermektedir. Bu nedenle projelendirmede i dönüm noktasının önceden kestirimi açısından A ile gösterilen zemin türünün değişimini gösteren katsayı önem kazanmaktadır. Çizelge 8.1’de önceki bazı çalışmalarda farklı zemin türleri için önerilmiş olan A değerleri belirtilmiştir. Mahmutoglu (2011), ikiz tünel kazılarının jeolojik ortamda oluşturduğu örselenme sonucunda A değerinin arttığını bunun da etki alanının artmasına neden olduğu belirtmiştir.

Çizelge 8.1 : A değerinin farklı zemin türlerine göre değişimini gösteren çizelge.

Zemin Türü	A	Kaynak
Katı Killer	0,4	O’Reilly ve New, 1982
Kumlu Katı Killer	0,5-0,6	Oteo vd. , 1999
Kumlu Katı Killer	0,38- 0,51 (0.82- 0.86)	Mahmutoglu, 2011
Yumuşak Siltli Killer	0,7	Glossop, 1978
Kil ve Granüler Karışık Zeminler	0,2-0,3	Rankin, 1988
Bütün Zeminler Ortalama	0,5	O’Reilly ve New, 1982, Glossop, 1978
* İkinci tüpün geçişinden sonra elde edilen değer		

Bazı çalışmalarda ise aynı ilişki $\dot{I}=A \cdot Z_0+B$ bağıntısı ile tanımlanmıştır. Bu eşitlikteki zemin türüne bağlı değişen A ve B değerleri oturma eğrisinin dönüm noktasının kestiriminde kullanılır. Çizelge 8.2’de farklı araştırmacılar tarafından belirlenmiş olan farklı zemin türlerine göre A ve B değerleri belirtilmiştir.

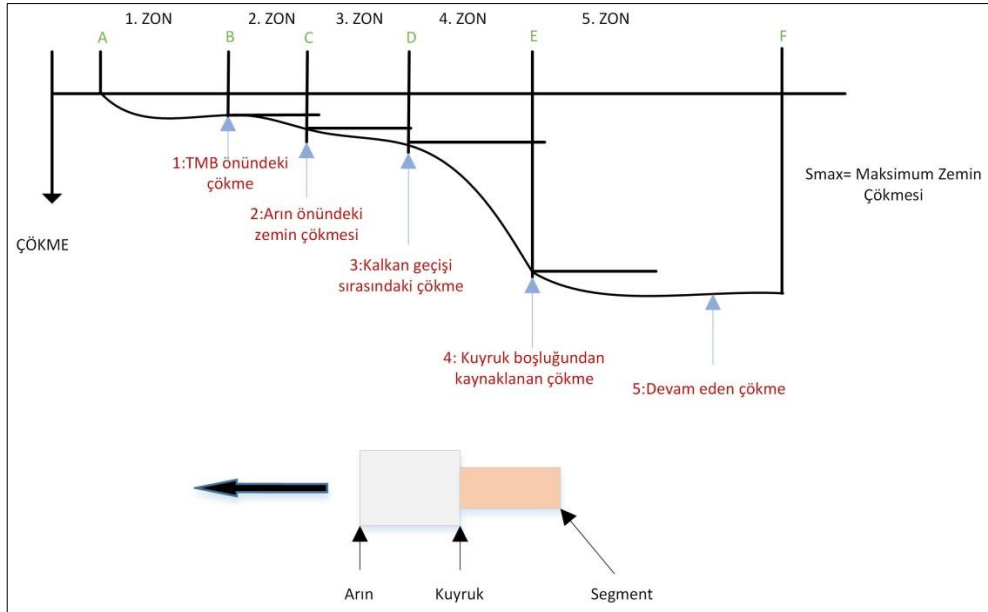
Çizelge 8.2: A ve B katsayılarının zemin türünün değişimi.

Zemin Türü	İfade	Açıklama	Kaynak
Kohezyonlu (Killi) Zeminler	$\bar{I}=0,43Z_0+1.1(\text{m.})$	Şildli Tünel	O'Reilly-New, 1982, Hamza, 1999
Granüler Zeminler	$\bar{I}=0,28Z_0-0.1(\text{m.})$	-	O'Reilly-New, 1982, Hamza, 1999
Killi Zeminler	$\bar{I}=0,40Z_0+0.60(\text{m.})$	Genelde Şildli Tünel Açma Metodu, Genelde Killi Zeminler	Yapı Merkezi, 1992
Karışık Zemin	$\bar{I}=0,386Z_0+2.84(\text{m.})$	YATM (Yeni Avusturya Tünel Metodu)	Yapı Merkezi, 1992

$\bar{I}$ = Zemin çökme eğrisinin dönüm noktası apsisi, Z_0 =Tünel aks derinliği

8.2 Boyuna Gelişen Oturmalar

Kalkanlı Tünel Kazma Makinesi (TBM) kazısına bağlı gelişen boyuna oturmaları anlatır şematik görüntü Şekil 8.3'de gösterilmiştir (Sugiyama ve diğ, 1999). Bu oturma formu NATM yöntemi ile açılan tüneller için de geçerliliğini korumaktadır.



Şekil 8.3: TBM kazılarına bağlı gelişen boyuna oturmalar (Sugiyama ve diğ, 1999).

Şekil 8.3'de meydana gelen oturmalar aşağıda detaylandırılan 5 farklı zondan oluşmaktadır.

1. Zon: Tünel açma makinesinin önündeki zemin çökmesi. Örneğin, kum içinde açılan tünelde bu çökme yeraltı suyunun alçalmasıyla ilintilidir.
2. Zon: Arın önündeki zemin çökmesidir. Bu çökme genellikle makinenin cephesine uygulanan arın basıncının yeterli olmaması ile yakından ilintilidir. Örneğin; bentonit

bulamacının kullanıldığı tünellerde arın basıncı, sürekli şekilde değişmeden uygulanabildiğinden dolayı 2. adımda gözlemlenebilecek çökmenin büyüklüğü çok küçüktür.

3. Zon: Tünel makinesinin arını geçerken zeminde oluşan çökmedir. Bu bölgedeki çökme genellikle makinenin fazla kazı yapması ve kalkanın ilerleme yönünden sapmasıyla yakından ilintilidir.

4. Zon: Kuyruk kısmında çökme kalkan ile segment arasındaki boşluktan kaynaklanan bu çökme, zamanında ve kaliteli şekilde uygulanacak çimento şerbetiyle minimize edilebilir.

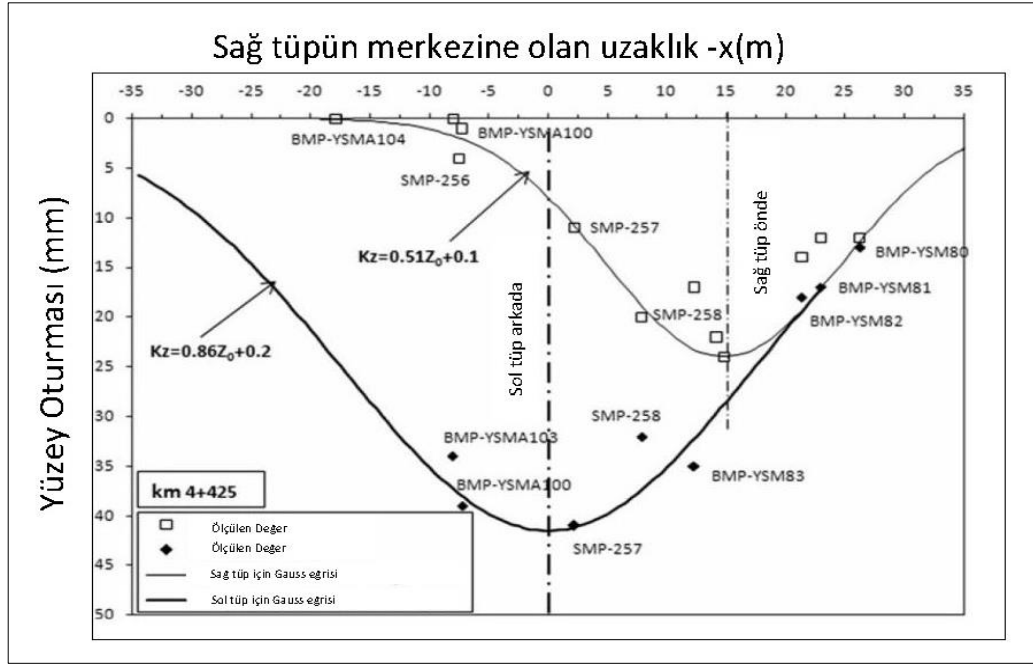
5. Zon: Bu çökme genellikle zeminin uzun süreli oturması – örneğin; yumuşak killerde boşluk basıncının zamanla azalması ile ilintilidir.

8.3 İkiz Tünel Kazılarına Bağlı Gelişen Yüzey Deformasyonlarının Değerlendirilmesi

Modern şehirleşmenin getirdiği, zorunlu altyapı geliştirme çalışmaları özellikle metro tünellerinin açımında kullanılan ikiz tünel kazılarını neredeyse zaruri kılmıştır. Bu hususta pek çok araştırmacı, farklı jeolojik ortamlarda kazılan farklı çaplardaki ikiz tünellerin içerisinde bulunduğu ortamda ve yüzeyde yarattığı deformasyonları detaylıca incelemiştir. Bunlardan iki tanesinde elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Peck (1969) un önerisine göre eğer iki tünel birbirine komşu olarak kazılırsa, ilk tünelin inşası sırasında meydana gelen stres boşalmasından dolayı ikinci tünelin inşası sırasında, ikinci tünelin yarattığı boşluğa doğru zemin hareketi büyük bir şekilde gerçekleşir.

Mahmutoğlu (2011) Esenler-Kirazlı metro hattı ikiz tünel kazıları sırasında gelişen yüzey deformasyonları birbirinden farklı zemin koşullarının geçerli olduğu farklı kesitlerde irdelenmiştir. (Şekil 8.4). Bu çalışma sonucunda en yüksek yüzey deformasyonun ilk tünelin geçişi sonrasında örselenen jeolojik ortamda arkadan gelen ikinci tünelin geçişi sırasında meydana geldiği ve maksimum düşey deformasyonların ikinci tünel üzerinde oluştuğunu belirtmiştir. Bu sonuç, Peck (1969) un savı ile paralellik gösterir.

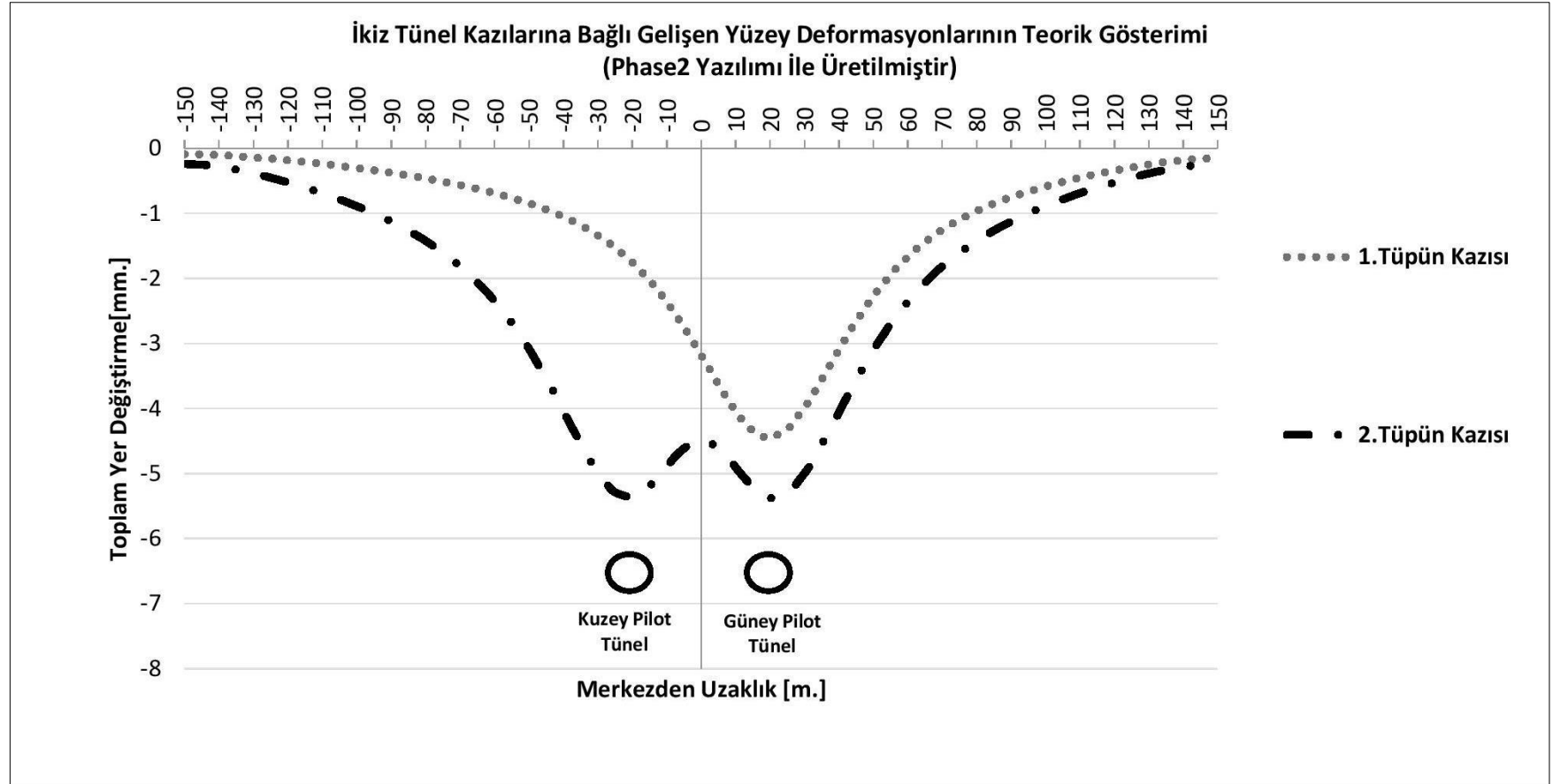


Şekil 8.4: Esenler-Kirazlı metro hattı ikiz tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyon eğrisi (Mahmutoğlu, 2011).

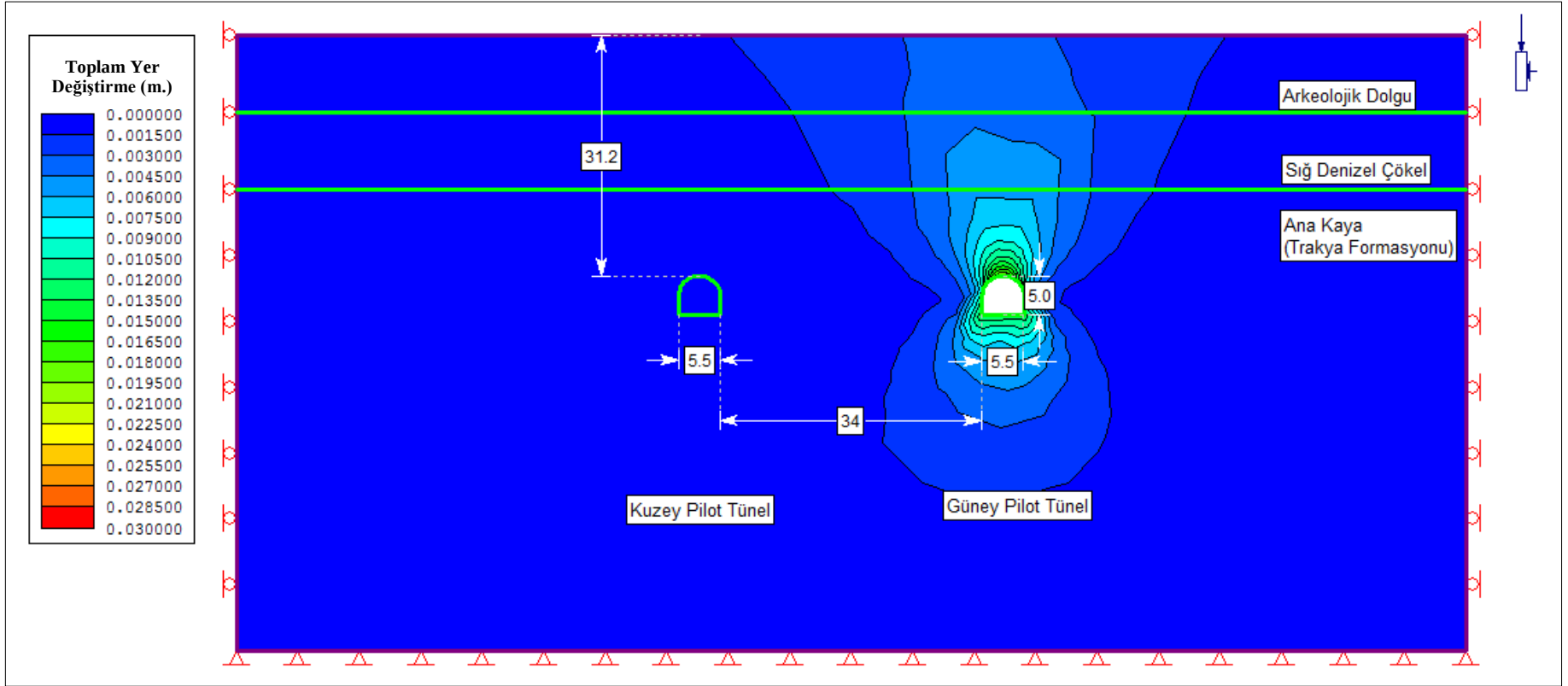
Şekil 8.5’de Phase² sonlu elemanlar yazılımı ile analiz edilmiş tipik bir ikiz tünel kazısına bağlı gelişen yüzey oturma eğrisi serileri görülmektedir. Analiz sırasında Sirkeci İstasyon Tünellerinde kullanılan pilot tünel kesitleri, ve kazı jeoteknik parametreleri kullanılmıştır (Analizde kullanılan jeolojik kesit ve ortamın jeoteknik bilgileri birebir gerçek durumu yansıtmamaktadır. Sadece ikiz tünellerin kazısı sırasında oluşabilecek yüzey deformasyonlarını analiz edilebilmesi için oluşturulmuştur).

Analiz, 3 aşamada gerçekleştirilmiştir ve bu aşamalar sonucu elde edilen analiz görüntüleri sırası ile Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8 de gösterilmiştir.

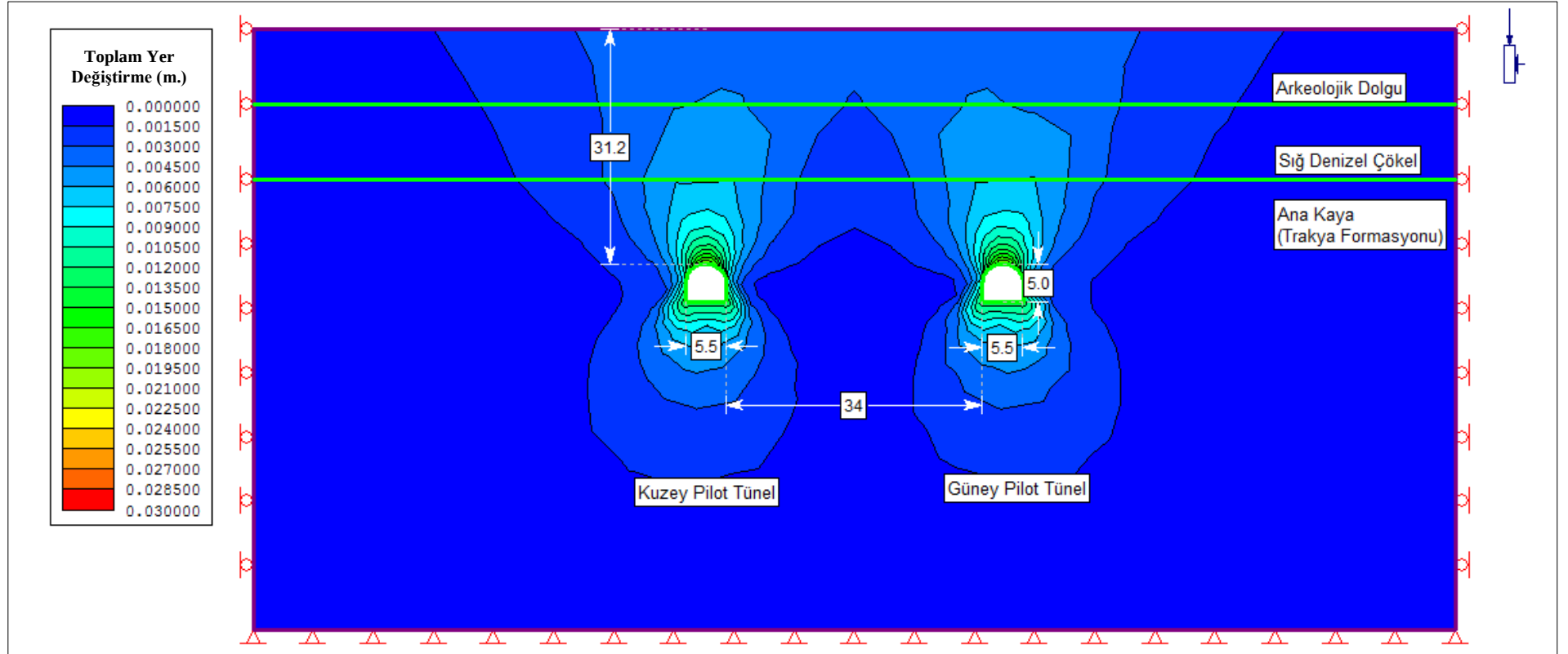
Analiz neticesinde varılan nihai sonuç şu şekildedir; ilk kazılan sağ tüpün (Güney Pilot Tünel) geçişi sırasında jeolojik ortam örselenmiştir. Bu örselenme ikinci kazılan tüpün (Kuzey Pilot Tünel) geçişi sonrasında ortamı daha da örselleyerek, ikinci tüp üzerinde tek tüp kazısının oluşturacağından daha fazla bir deformasyon oluşturmuştur.



Şekil 8.5: İkiz tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanlarının teorik gösterimi (Tüneller arası mesafe 34 m.).



Şekil 8.7: Güney Pilot Tünel kazısına bağlı gelişen yüzey ve ortam deformasyonu- İlk tüpün kazısı.

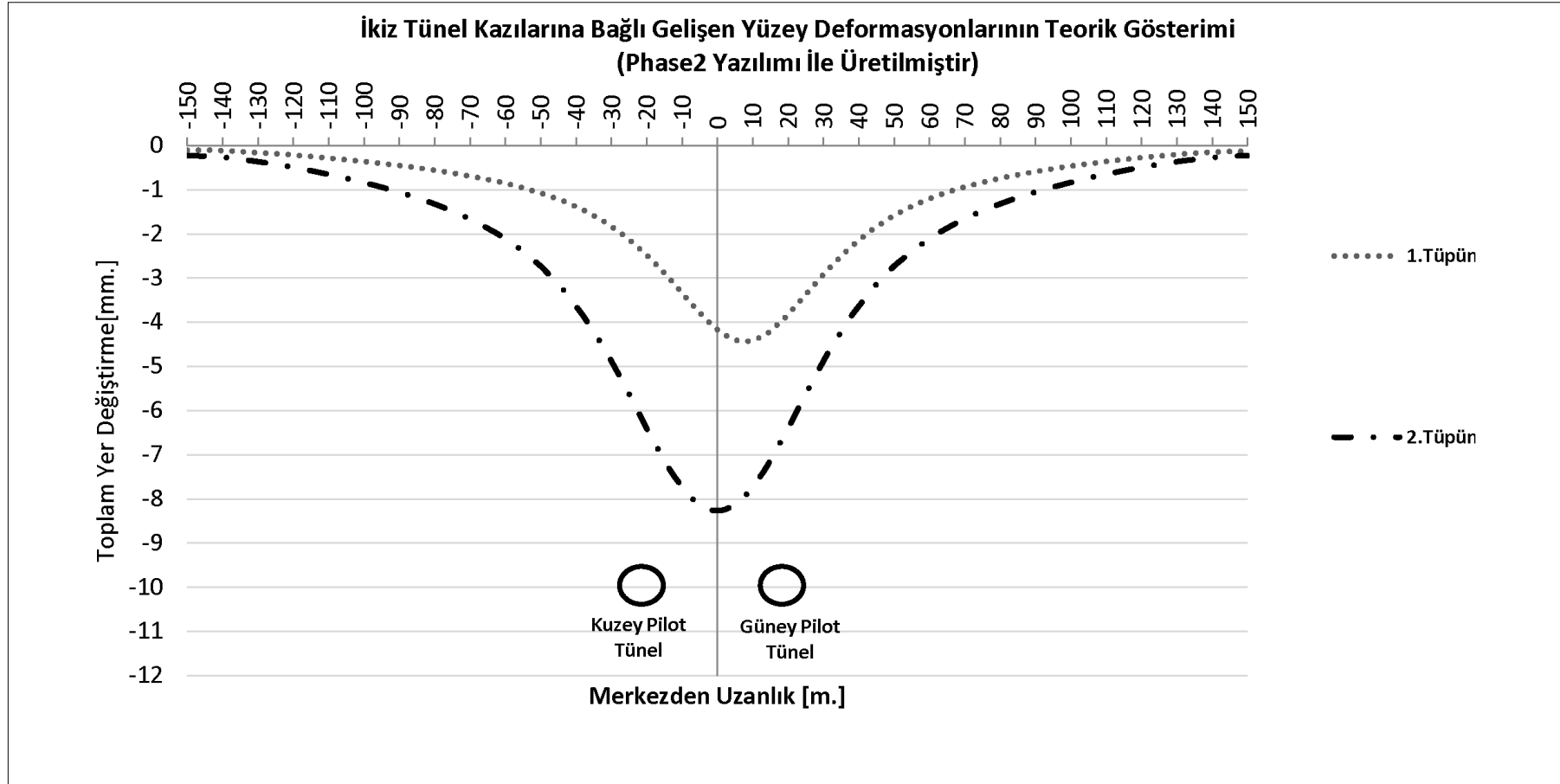


Şekil 8.8: Kuzey Pilot Tünel kazısına bağlı gelişen yüzey ve ortam deformasyonu-İkinci tüpün kazısı

Şekil 8.5’ de belirtilen oturma formuna göre; gerçekleştirilen ikiz tünel kazıları birbirleri üzerinde önemsenmeyecek bir etki oluşturmakta ve yüzey oturmaları da bu duruma bağlı olarak gelişmektedir.

Şekil 8.9’da belirtilen analiz grafiğine göre (analizde şekil 8.5’in oluşturulmasında kullanılan veriler kullanılmıştır, sadece tüneller arası mesafe 10 metre olarak ayarlanmıştır.) ; birinci tüp kazısının oluşturduğu yüzey deformasyonu ikinci tüpün geçişi ile yüzeyde ortalama -4 mm. lik bir oturma oluşturmuş ve oturma teknesi ikiz tünellerin merkez hattı üzerinde yoğunlaşmıştır.

Şekil 8.5 ve Şekil 8.9’da gösterilen analizlerin karşılaştırılması sonucunda, ikiz tünel kazılarında tünellerin birbirine olan mesafesinin yüzey oturmaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmış ve bu durum ikiz tünellerin kazıları sonucu oluşturdıkları etki alanlarının birbirleri ile kesişmelerine bağlanmıştır.

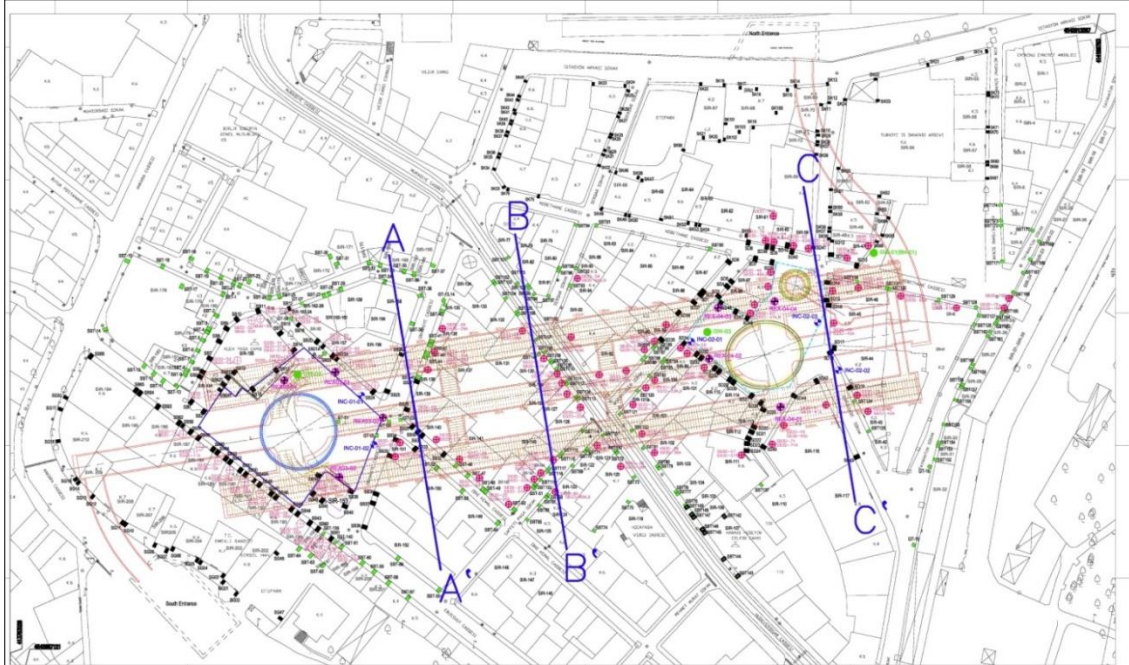


Şekil 8.9: İkiz tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanlarının teorik gösterimi (Tüneller arası mesafe 10 m.).

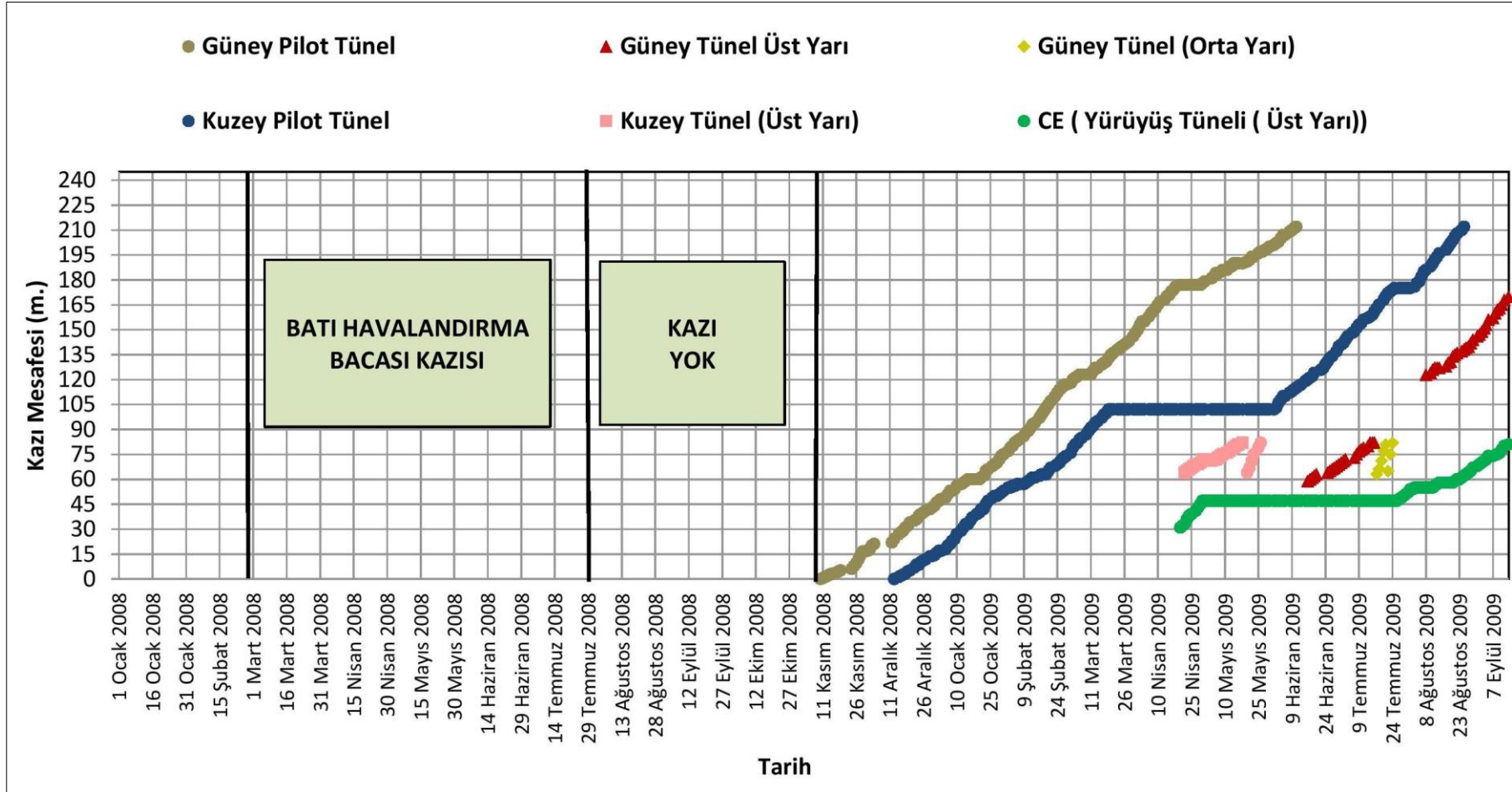
8.4 Pilot Tünel Kazılarına Bağlı Gelişen Oturmalar

Tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyonlarının hangi yöntemler ile izlendiği bir önceki bölümde belirtilmiştir. Bu başlık altında Şekil 8.10' da gösterilen kesit bölgeleri kritik bölgeler olarak ele alınacak ve bu kesitlerdeki deformasyonlar incelenecektir.

Ek E'de belirtilen, tünel eksenine boyunca yerleştirilen bina oturma bulonlarından alınan ölçümler, Surfer -8 programıyla oturma konturlarına dönüştürülmüş ve bu konturlar vasıtasıyla yüzey deformasyonlarının kesitleri alınmıştır. Şekil 8.11' de pilot tünellerin kazı tarihçesi gösterilmiştir.



Şekil 8.10: İncelenen enkesit hatlarının yerleri.

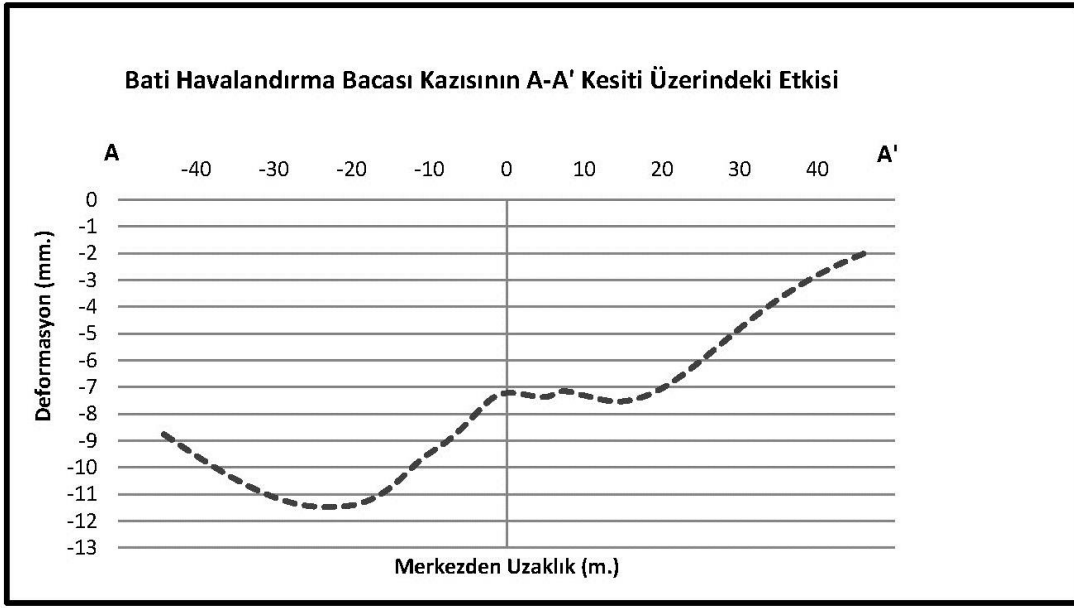


Şekil 8.11: Pilot tünellerin kazı ilerleme grafiği.

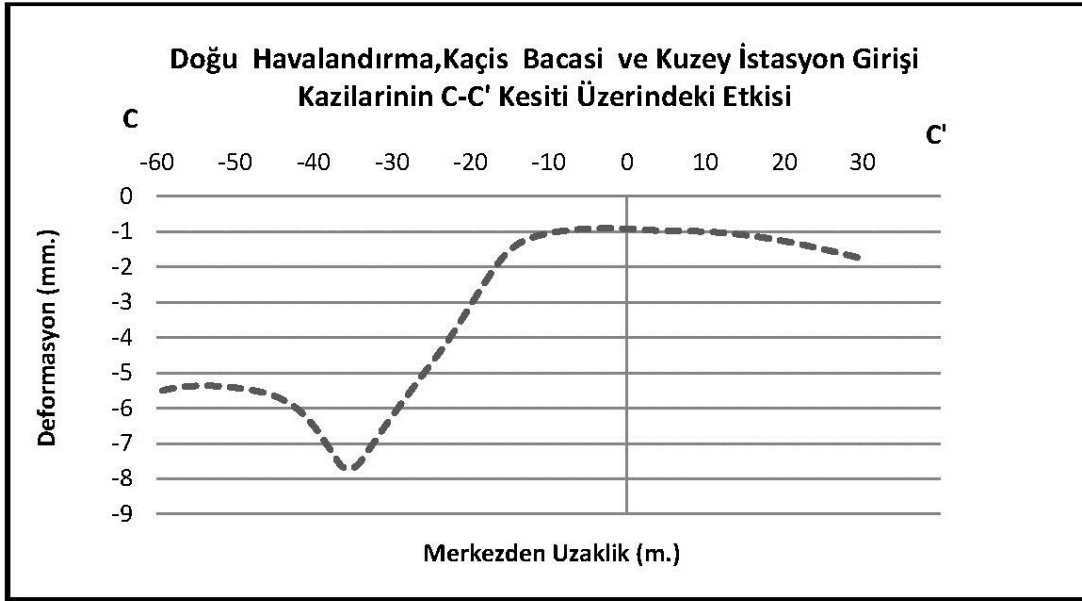
8.5 Batı-Doğu Havalandırma Bacaları, İstasyon Kuzey Girişi ve Kaçış Şaftı Kazılarının Yüzeyde Yarattığı Etkinin İrdelenmesi

Pilot tünel kazıları başlamadan önce gerçekleştirilen Batı, Doğu havalandırma bacaları, İstasyon Kuzey Girişinin bir bölümü ve Doğu Havalandırma Bacasına komşu olan Kaçış Şaftı kazıları sonucu oluşan yüzey deformasyonları neticesinde çalışma bölgesi pilot tünel kazıları öncesinde örselenmiştir. Şekil 8.12’de ilk oluşan yüzey deformasyonlarının kontur haritaları belirtilmiştir.

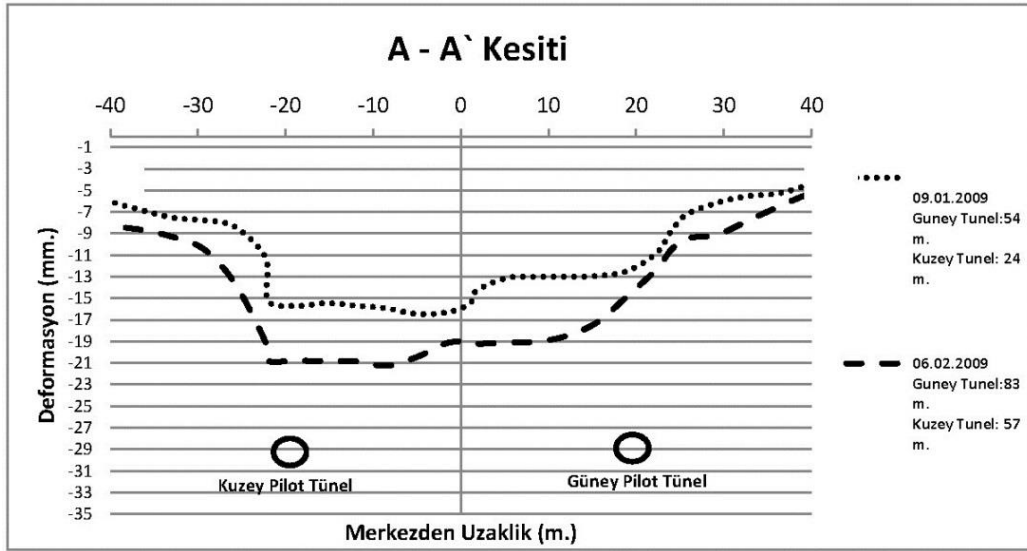
Batı havalandırma bacası kazısının A-A’ kesiti üzerindeki etkisi Şekil 8.13 üzerinde Doğu Havalandırma bacası, Kaçış şaftı ve İstasyon Kuzey Giriş kazısının C-C’ kesiti üzerindeki etkisi de Şekil 8.14 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 8.13: Batı Havalandırma Bacası kazısının A-A' kesiti üzerindeki etkisi.



Şekil 8.14: Doğu Havalandırma Bacası, Kaçış Bacası ve İstasyon Kuzey Girişi Kazısının C-C' kesiti üzerindeki etkisi.



Şekil 8.17: 09.01.2009 ve 06.02.2009 tarihleri arasında hat boyunca gelişen yüzey deformasyonlarının A-A' kesiti üzerindeki etkisi.

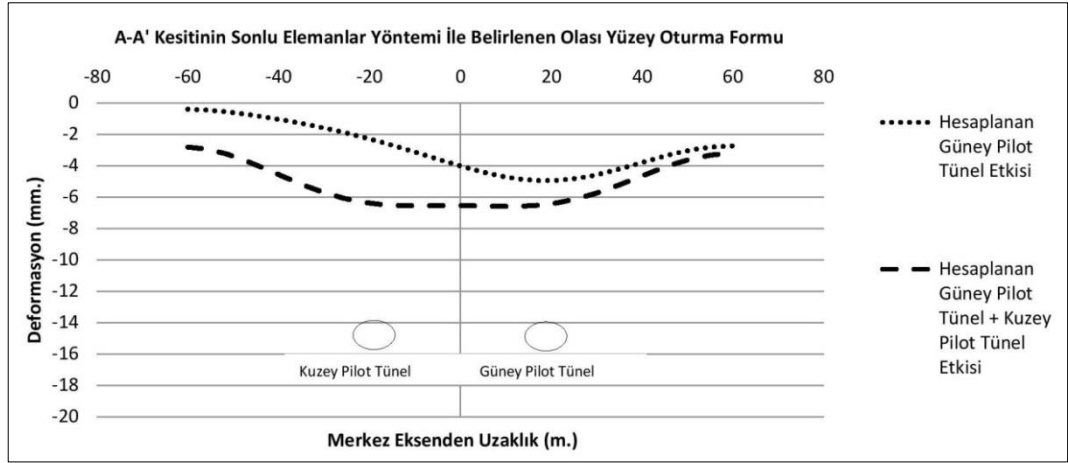
8.6.1 A-A kesitindeki oturmaların yorumlanması

Şekil 8.18'de A-A' kesit hattı üzerinde sırasıyla güney pilot tünel ve kuzey pilot tünel kazılarına bağlı gelişmesi beklenen yüzey tasmanının Phase² sonlu elemanlar programı ile hesaplanmış formu görülmektedir. Çizelge 8.3'de pilot tünellerin A-A' kesit hattı üzerine denk gelen gerçek oturma değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 8.3: Pilot tünellerin A-A' hattı üzerine denk gelen yüzey oturma değerleri.

Tüneller	İlk Deformasyon	1. Tüpün geçişi sonrası ölçülen yüzey deformasyonu	2. Tüpün geçişi sonrası ölçülen yüzey deformasyonu
Güney Pilot Tünel	-7.5 mm.	-13 mm.	-17 mm.
Kuzey Pilot Tünel	-11 mm.	-15 mm.	-21 mm.

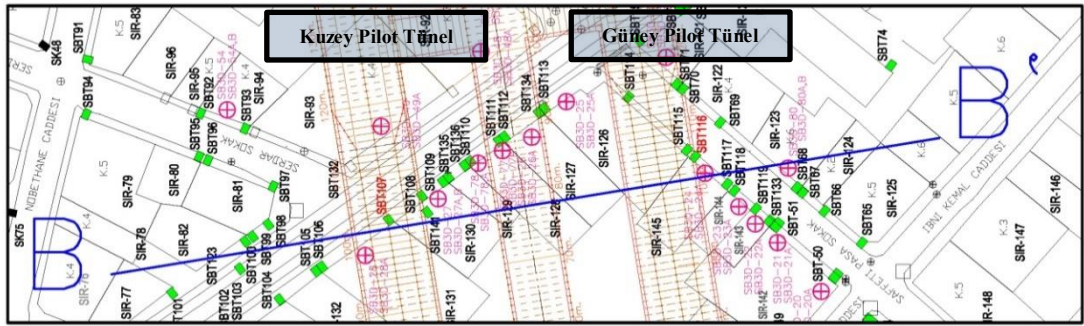
Gerçekleşen yüzey deformasyonlarının Şekil 8.18'de belirtilen yüzey oturma formundan farklı olarak beklenmedik bir şekilde 2. Tüp olan Kuzey Pilot Tünel üzerinde başlaması ve gelişmeye devam etmesi, jeolojik ortamın pilot tünel kazılarından önce örselenmiş olduğu ve deformasyonların asıl kendisini gösterdiği arkeolojik dolgunun yapısı itibari ile kemerleşmeye gerekli oranda müsaade etmemesi ve yüksek yeraltı suyu drenajına bağlanmıştır.



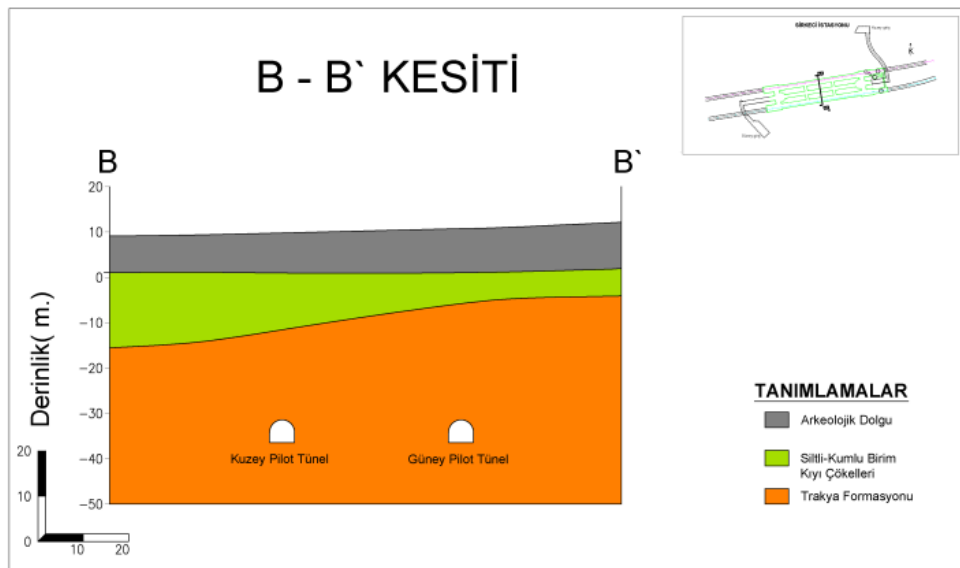
Şekil 8.18: A-A' kesiti için sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenen olası yüzey oturma eğrileri.

8.7 B-B' Kesitinin incelenmesi

Şekil 8.19'da B-B' kesiti ve Şekil 8.20'de kesit hattının jeolojisi gösterilmiştir.

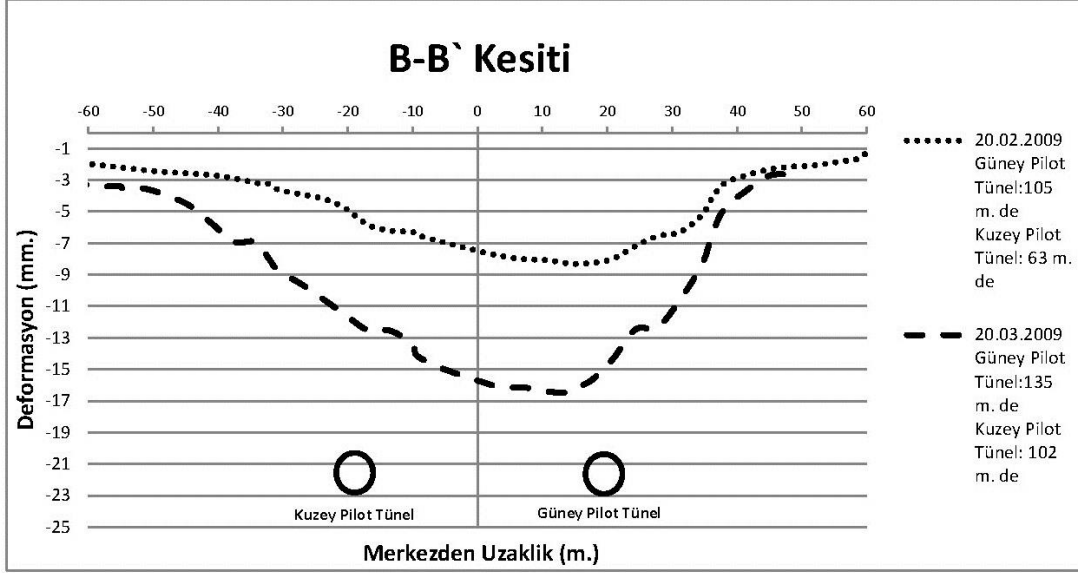


Şekil 8.19: B-B' kesiti (Tünel Mesafesi: 102. metre).



Şekil 8.20: B-B' kesitinin jeolojisi.

20.02.2009 ve 20.03.2009 tarihleri arasında B-B' kesit hattı boyunca gelişen yüzey deformasyonları günlük alınan nivelman ölçümleri ile takip edilmiş olup formları Surfer-8 programı ile modellenmiş ve elde edilen oturma formunun kesiti Şekil 8.21'de gösterilmiştir. Taisei (2009)'da belirtilen, B-B' kesiti civarındaki binalara yerleştirilen bina oturma bulonlarının değerleri Ek-G'de gösterilmiştir.



Şekil 8.21: 20.02.2009 ve 20.03.2009 tarihleri arasında hat boyunca gelişen yüzey deformasyonların B-B' kesiti üzerindeki etkisi.

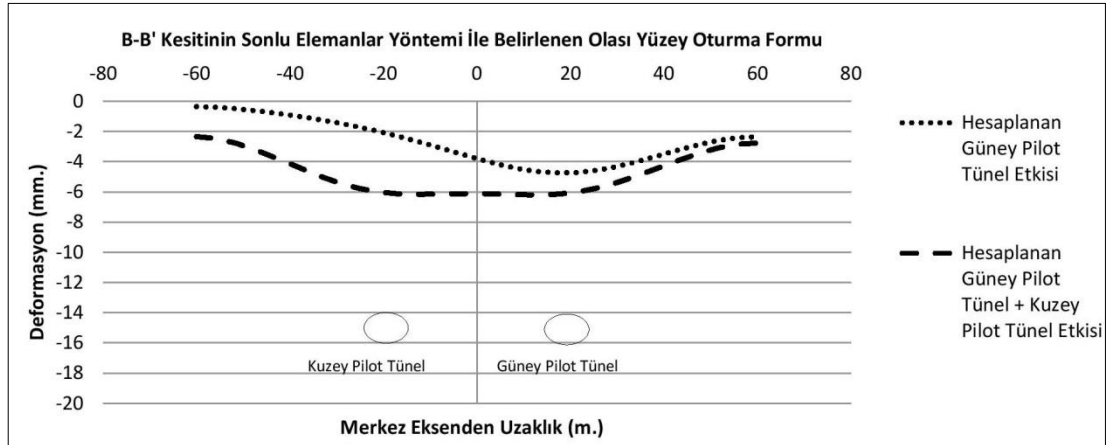
8.7.1 B-B' kesitindeki oturmaların yorumlanması

Şekil 8.22'de B-B' kesit hattı üzerinde sırasıyla güney pilot tünel ve kuzey pilot tünel kazılarına bağlı gelişmesi beklenen oturma formunun Phase² sonlu elemanlar programı ile hesaplanmış formu görülmektedir. Çizelge 8.3'de pilot tünellerin B-B' kesit hattı üzerine denk gelen gerçek oturma değerleri belirtilmiştir.

Kesit hattı boyunca gerçekleşen oturmaların A-A' ve C-C' kesitlerinden farklı olarak Batı, Doğu Havalandırma Bacaları, İstasyon Kuzey Girişi'nin bir bölümü ve Doğu Havalandırma Bacasına komşu olan Kaçış Şaftı kazılarının yarattığı ilk deformasyonlardan en az seviyede etkilendiği düşünülmüştür. Bu durum neticesinde Şekil 8.21'de gösterilen gerçek yüzey deformasyon formu Şekil 8.22'de gösterilen hesaplanan yüzey deformasyon formuna yakın bir profil sergilemiştir. Burada ortaya çıkmış olan kritik fark, 1. Tüpün (Güney Pilot Tünelin) geçişi sonrası örselenen ortam, 2. Tüpün (Kuzey Pilot Tünelin) geçişi sonrası beklendiği gibi yüzey oturmalarını 2. Tüp üzerinde yoğunlaştırmak yerine yine 1. Tüpün üzerinde gelişmesine neden olmuştur.

Çizelge 8.4: Pilot tünellerin B-B' hattı üzerine denk gelen yüzey oturma değerleri.

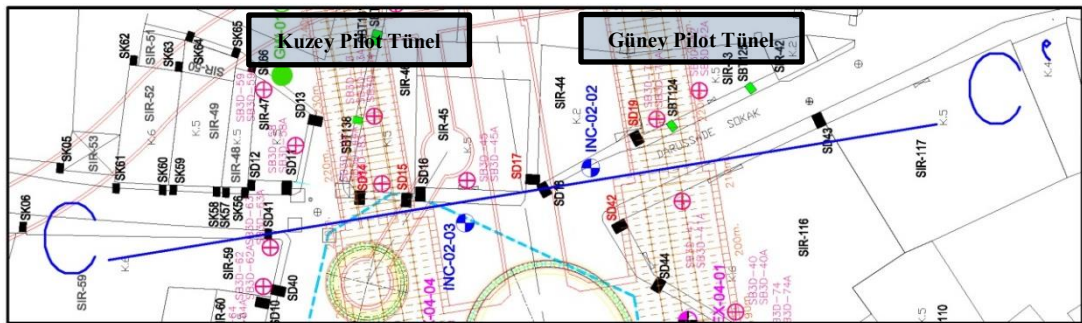
Tüneller	İlk Deformasyon	1.Tüpün geçişi sonrası ölçülen yüzey deformasyonu	2. Tüpün geçişi sonrası ölçülen yüzey deformasyonu
Güney Pilot Tünel	-	-7.5 mm.	-15 mm.
Kuzey Pilot Tünel	-	-5 mm.	-13 mm.



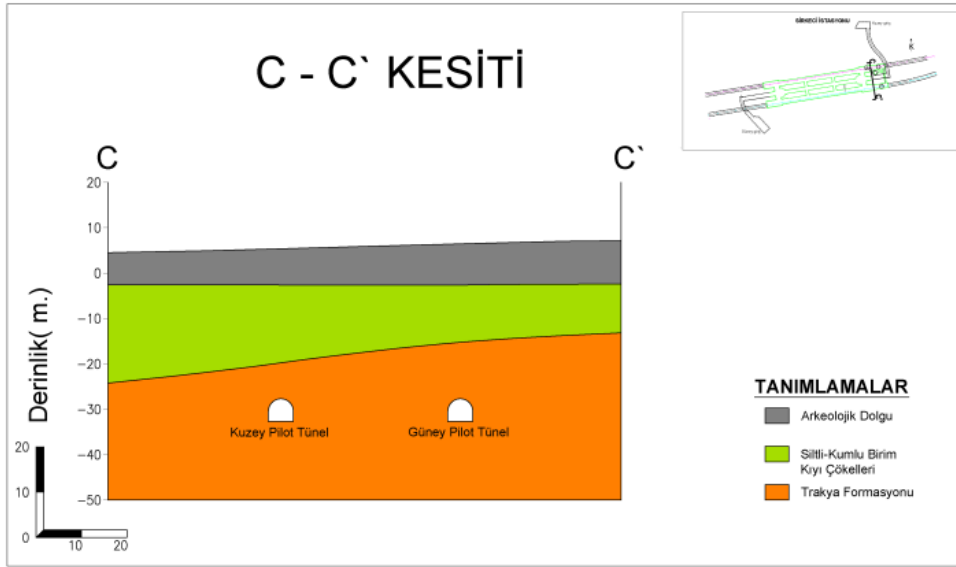
Şekil 8.22: B-B' kesiti için sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenen olası yüzey oturma eğrileri

8.8 C-C' Kesitinin incelenmesi

Şekil 8.23’de C-C’ kesiti ve Şekil 8.24’de kesit hattının jeolojisi gösterilmiştir.

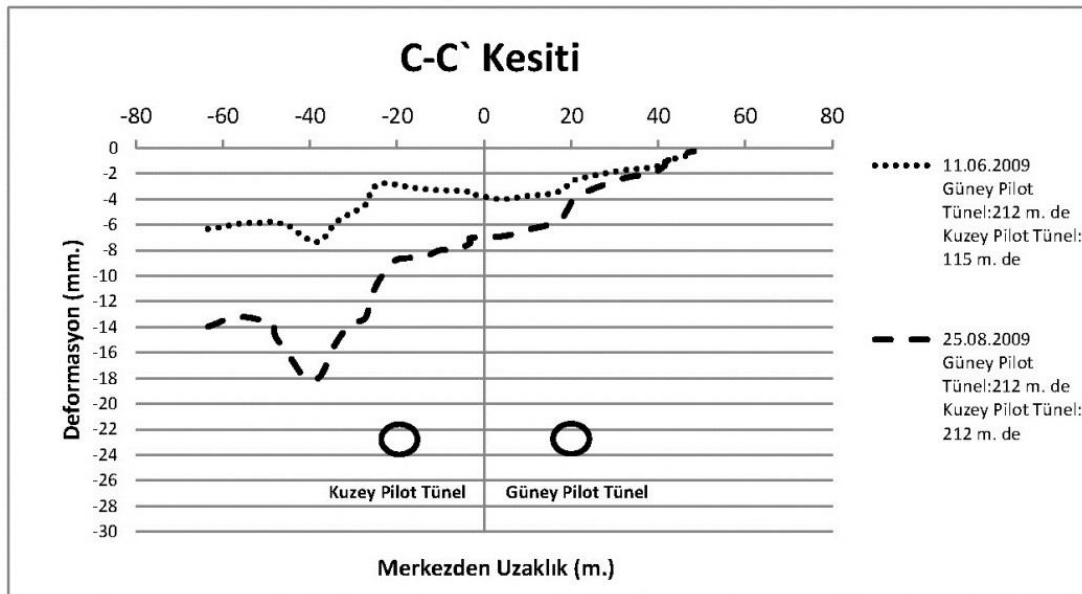


Şekil 8.23: C-C' kesiti (Tünel Mesafesi: 212. metre).



Şekil 8.24: C-C' kesitinin jeolojisi.

11.06.2009 ve 25.08.2009 tarihleri arasında C-C' kesit hattı boyunca gelişen yüzey deformasyonları günlük alınan nivelman ölçümleri ile takip edilmiş olup formları Surfer-8 programı ile modellenmiş ve elde edilen oturma formunun kesiti Şekil 8.25'de gösterilmiştir. Taisei (2009)'da belirtilen, C-C' kesiti civarındaki binalara yerleştirilen bina oturma bulonlarının değerleri Ek-H de gösterilmiştir.



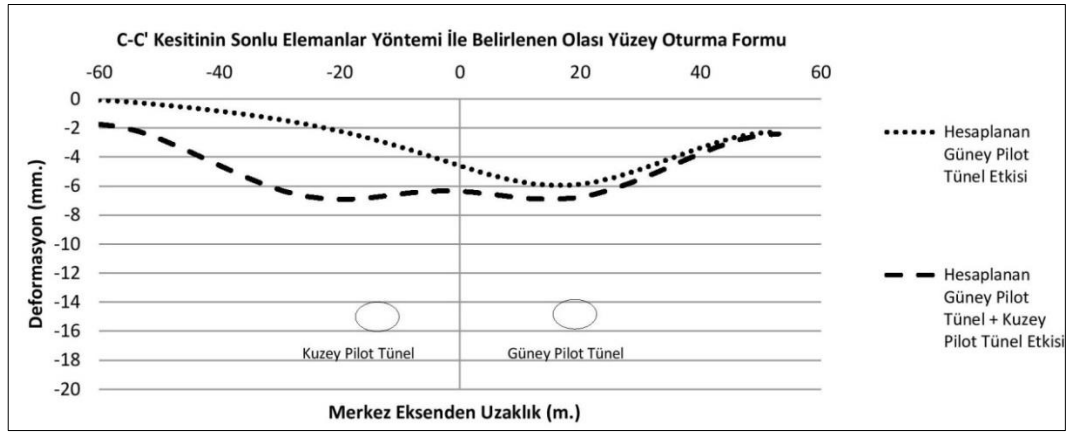
Şekil 8.25: 11.06.2009 ve 25.08.2009 tarihleri arasında hat boyunca gelişen yüzey deformasyonların C-C' kesiti üzerindeki etkisi.

8.8.1 C-C' kesitindeki oturmaların yorumlanması

Şekil 8.26'da C-C' kesit hattı üzerinde sırasıyla güney pilot tünel ve kuzey pilot tünel kazılarına bağlı gelişmesi beklenen oturma formunun Phase² sonlu elemanlar programı ile hesaplanmış şekli görülmektedir. Çizelge 8.3'de pilot tünellerin C-C' kesit hattı üzerine denk gelen gerçek oturma değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 8.5: Pilot tünellerin C-C' hattı üzerine denk gelen yüzey oturma değerleri.

Tüneller	İlk Deformasyon	1. Tüpün geçişi sonrası ölçülen yüzey deformasyonu	2. Tüpün geçişi sonrası ölçülen yüzey deformasyonu
Güney Pilot Tünel	-1 mm.	-3 mm.	-4 mm.
Kuzey Pilot Tünel	-2 mm.	-3 mm.	-8 mm.



Şekil 8.26: C-C' kesiti için sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenen olası yüzey oturma eğrileri.

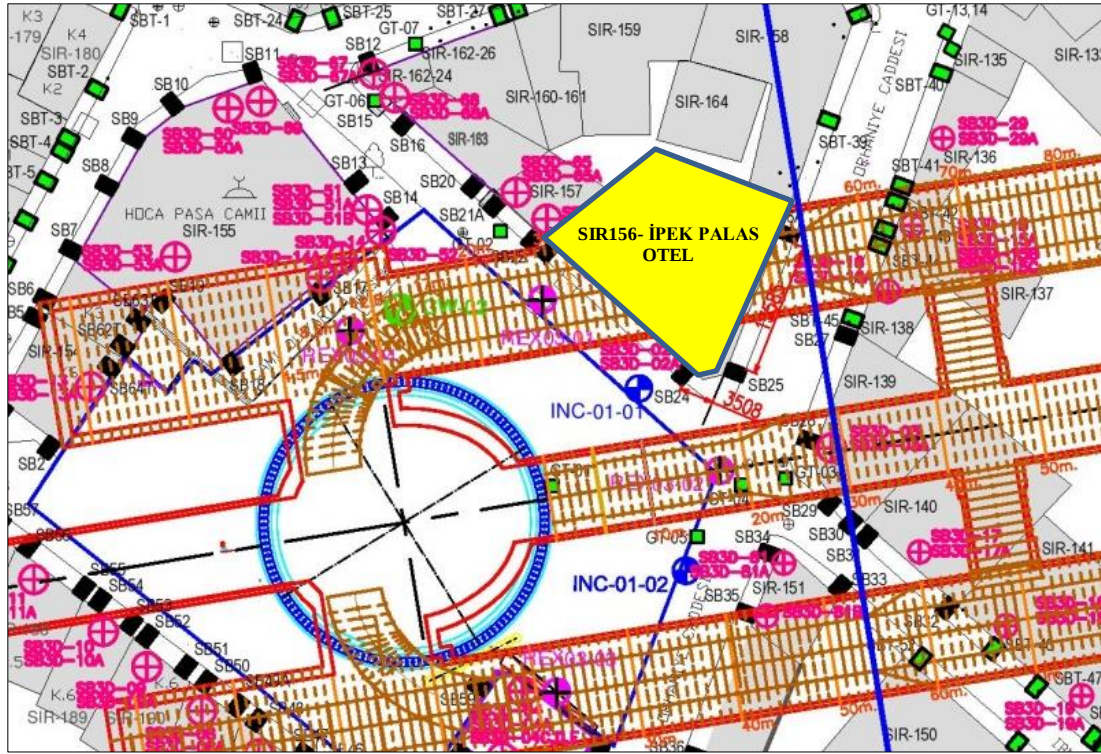
Belirtilen gerçek oturma formları ve hesaplanan formlar arasında beliren zıtlık, pilot tünellerin kazısı öncesinde gerçekleştirilen Batı, Doğu Havalandırma Bacaları, İstasyon Kuzey Girişi'nin bir bölümü ve Doğu Havalandırma Bacasına komşu olan Kaçış Şaftı kazıları nedeni ile gelişen ilk deformasyonlara ve bunun akabinde gelişen konsolidasyon oturmalarına bağlanmıştır.

8.9 Aşırı Oturma Gözlenen Noktalarda İyileştirme Uygulamaları

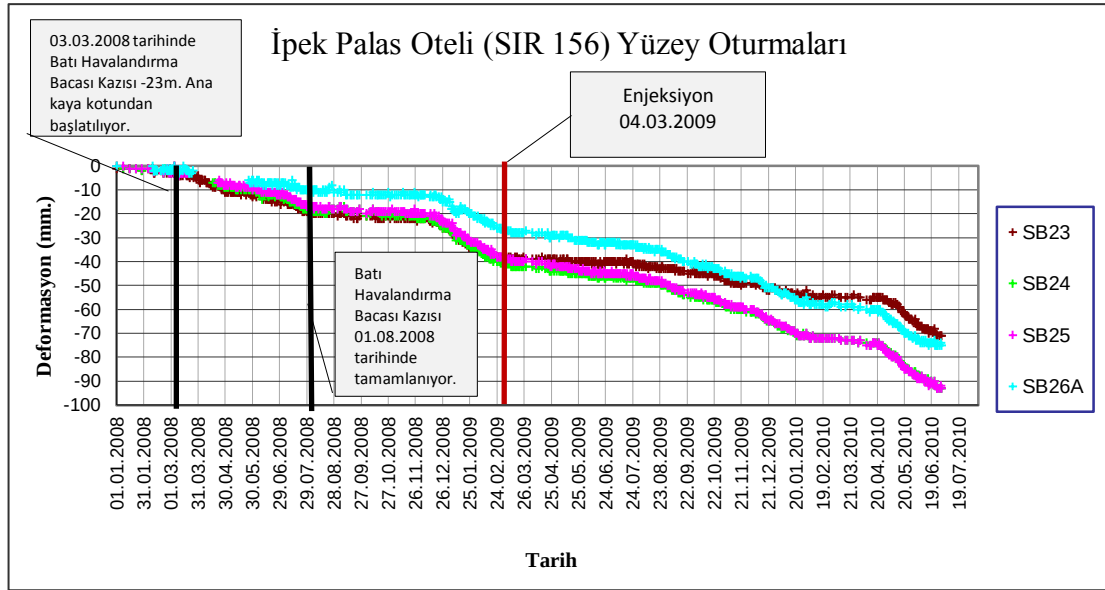
Sirkeci İstasyon bölgesinde gerçekleştirilen yer altı kazıları neticesinde oluşan zemin deformasyonlarını en alt seviyede tutabilmek için istasyon güzergâhı boyunca çeşitli zemin iyileştirme çalışmalarında bulunulmuştur. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

8.9.1 İpek palas oteli (SIR 156) çimento enjeksiyonu ile zemin iyileştirme çalışması

Şekil 8.27’ de lokasyon haritası gösterilen İpek Palas Oteli yer altı kazıları sonucu Şekil 8.28’ de belirtilen yüzey deformasyonlarına maruz kalmıştır.



Şekil 8.27: Zemin iyileştirme çalışması yapılan İpek Palas Oteli'nin konumu gösterir harita.



Şekil 8.28: Zemin iyileştirme çalışması yapılan İpek Palas Oteli'nin yüzey oturma değerleri.

Batı havalandırma bacası ve tünel kazılarının meydana getirdiği yüzey deformasyonlarını en aza indirebilmek için, otelin üzerine inşa edildiği arkeolojik dolgunun ihtiva ettiği boşlukları kapatma amaçlı zemin iyileştirme enjeksiyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma 12 Ocak 2009 ve 04 Mart 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş olup, çalışma neticesinde aşağıdaki faaliyetler hayata geçirilmiştir.

- Toplam 32 adet enjeksiyon delgisi gerçekleştirilmiştir (Toplam 278 m. delgi yapılmıştır).
- Toplamda 112.93 m³ çimento şerbeti enjekte edilmiştir.
- 8 adet yatay ve 4 adet açılı enjeksiyon kuyusu delinmiştir (Toplam delgi 106.50 m.)

8.9.2 Konsolidasyona bağlı yüzey oturmalarını önleme çalışması

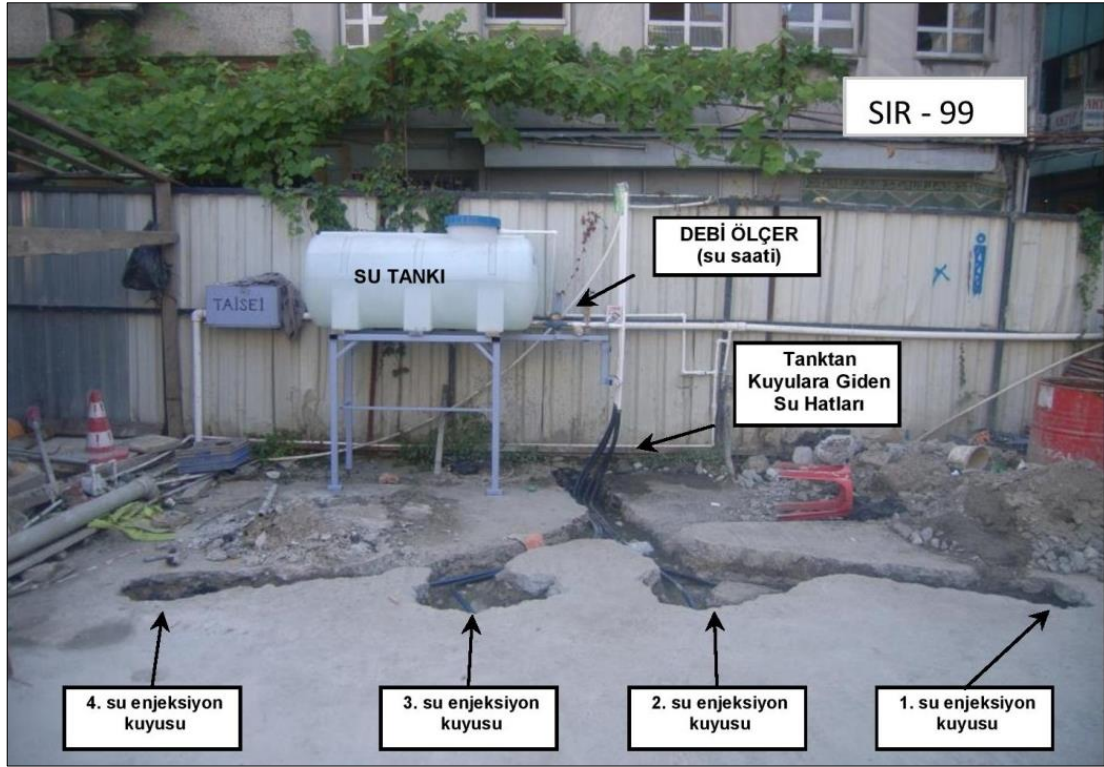
Yeraltı kazıları neticesinde tünellere su girişinin artması sebebi ile bazı lokasyonlarda kazı olmadığı halde yüzey oturmaları tespit edilmiş ve bu oturmaları durdurabilmek için çeşitli teknik girişimlerde bulunulmuştur.

Bu bağlamda daha önce zeminini iyileştirmek için 2 defa çimento enjeksiyonu yapılan Şekil 8.29'da konumu gösterilen SIR-99 numaralı binanın zemininde oturmalar engellenememiştir. Bu bölgede Doğu Havalandırma Bacası yönünden Şekil 8.30'da gösterildiği gibi 4 adet eğik sondaj ile konsolidasyon oturmalarının

geliştiği bina temelinde su seviyesinin kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır. şekil 8.31’de gösterilen uygulama ile sondajlar yüzeydeki bir su deposu ile ilişkilendirilmiş ve bu nokta suyla sürekli beslenmiştir. 04.06.2010 tarihinden itibaren haricen su takviyesi yapılarak zeminin su kaybına bağlı deformasyonu nlenmeye çalışılmıştır.

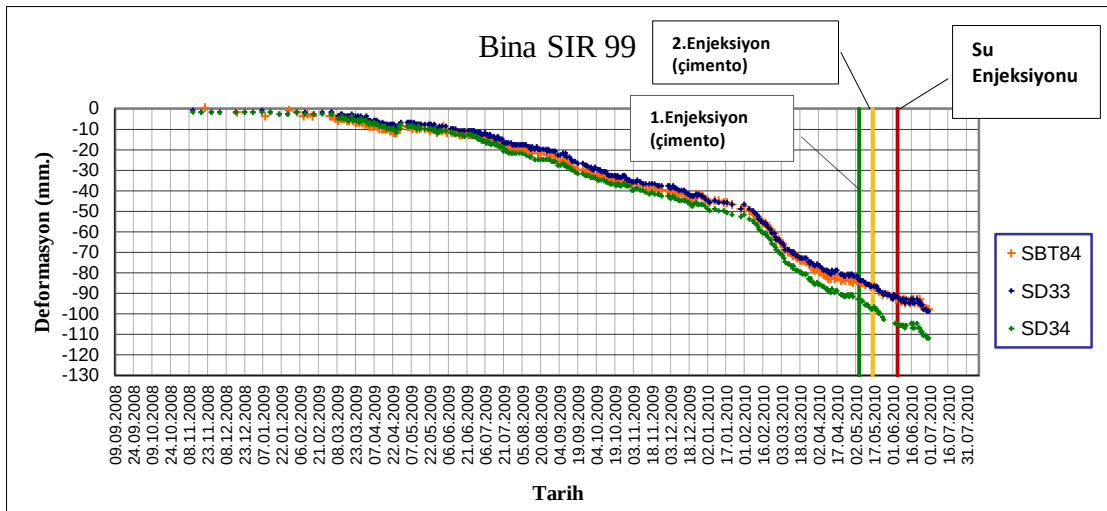
Şekil 8.29: Konsolidasyonu önleme amaçlı çalışmanın gerçekleştirildiği SIR 99 numaralı binanın konumu gösterir haritası.

Şekil 8.30: Konsolidasyonu önleme amaçlı çalışma için gerçekleştirilen yönlü sondajlara ait bir fotoğraf.



Şekil 8.31: Konsolidasyonu önleme amaçlı çalışma için kurulan su besleme sistemi.

SIR 99 numaralı binanın yer altı kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyonlarını ve gerçekleştirilen enjeksiyon çalışmalarının zamanları Şekil 8.32 üzerinde gösterilmiştir. Bu şekilde belirtilen oturma hızlarından da görüldüğü gibi gerçekleştirilen su enjeksiyonu ilk bir aylık sürede herhangi bir etki göstermemiştir. Bu tarihte ilave kazı olmamasına rağmen oturmaların devam ettiği ve su seviyesinin istenilen şekilde kontrol altında tutulamadığı anlaşılmıştır.



Şekil 8.32: SIR 99 numaralı binaya ait yüzey oturmalarını ve enjeksiyon tarihlerini gösterir şekil.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanının jeolojik ve jeoteknik parametreleri proje öncesi gerçekleştirilen sondaj faaliyetleri neticesinde belirlenmiştir. Jeolojik ortamın özelliklerinin saptanmasına yönelik çalışmalar uygulama sırasında da sürdürülmüş ve inceleme alanında kazı kotlarının yer aldığı kesimler detaylı olarak tanımlanmıştır. Elde edilen tüm veriler birleştirilerek Sirkeci İstasyonu'nun yer aldığı bölgenin sayısal modeli oluşturulmuştur.

Sirkeci İstasyonu'nun antik yerleşim alanında bulunması, yapı stoğunun yeterli mühendislik hizmeti almamış olması, eski ve yıpranmış olması nedenleriyle çok aşamalı yeraltı kazılarından etkileneceği düşünülmüş, bu nedenle kazıların jeoteknik ölçümlerle denetlenmesi zorunluluk kazanmıştır. Böylelikle elde edilen ölçüm verilerinin analiz edilerek erişilen bilgilerin uygulamayı yönlendirmesi sağlanabilmiştir. Bu bağlamda oluşturulan tünel içi ve tünel dışı gözlem sistemleri ile gelişen yüzey oturmaları incelenmiş ve gelişmesi muhtemel yüzey oturma profili kestirimi yapılmıştır.

Bu analiz ve değerlendirmeler sonucunda;

- Sirkeci İstasyonu'na ait yeraltı açıklıkları proje kesiti kazılarına geçilmeden önce pilot tünel kazılarının gerçekleştirilmesi, ortam özellikleri ve davranışlarının belirlenmesi, kazı kaynaklı yüzey deformasyonlarının kestirimi ve denetimi açısından büyük yarar sağlamıştır. Pilot tünel kazıları neticesinde, istasyonun yerleşeceği eksenini oluşturan jeolojik ortam görülerek detaylı olarak tanımlanabilmiş, ileride oluşabilecek yüzey ve yeraltı deformasyonları sağlıklı bir şekilde kestirilebilmiştir.
- İnceleme alanını kaplayan Arkeolojik Dolgunun, boşluklu ve çoğunlukla kemerleşmeye müsade etmeyen bir yapı olduğu belirlenmiştir.
- Kemerleşmeye müsade etmeyen Arkeolojik Dolgunun içerisindeki yeraltı suyunun tünellere drenajı neticesinde bazı lokasyonlarda konsolidasyon oturmalarının olduğu belirlenmiştir.

- İncelenen kesitlerden henüz tünel kazıları gerçekleşmeden önce, jeolojik ortamın Batı ve Doğu Havalandırma şaftları, İstasyon Kuzey Girişi'nin bir bölümü ve Doğu Havalandırma Bacasına komşu Kaçış şaftı kazısı tarafından örselendiği gerçeği inceleme sırasında göz önünde bulundurulmuştur.
- Bazı kesitler üzerine denk gelen yüzey oturmaları, 1. Pilot Tünelin (Güney Pilot Tünel) kazısı sırasında, bu tünel üzerinde, 2. Pilot Tünel'in (Kuzey Pilot Tünel) kazısının sonrasında da ise 2. Pilot Tünel üzerinde maksimum değere ulaştığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin bir önceki maddede bahsedilen ilk örselenmeler olduğu ve arkelojik dolgunun kemerleşmeye müsaade etmeyen yapısından dolayı sağlam bir kaya yapısı gibi hareket etmek yerine daha çok akıcı bir malzeme gibi hareket etmesine bağlanmıştır.
- Havalandırma Bacaları, Kaçış şaftı ve İstasyon Kuzey Girişi kazılarının bulunduğu kısımların diğer bölgelere göre ilk kazılardan daha fazla etkilenererek örselendiği grlmştur.
- Proje kapsamında yüzeydeki binaların oturma eğrileri detaylı bir şekilde incelenmiş ve gerekli görülen lokasyonlarda zemin iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.
- Bölgedeki bazı binaların zemininde gelişen konsolidasyon oturmalarını yavaşlatmak için, bu binaların temeline yönlü sondajlar ile ulaşılmış ve yeraltı suyunun tünellere drenajı nedeniyle zemin suyu kaybına bağlı oluşan konsolidasyon oturmalarını engellemek için yüzeyde kurulan bir sistem ile zemine su enjekte edilip, su seviyesi düşümü kontrol altında tutulmuştur.
- Nihai sonuç olarak, yüzey deformasyonlarının kritik olduğu tünel projelerinde, jeolojik ortamın tünel kazılarına nasıl tepki verdiğini incelemek ve ileride oluşabilecek deformasyonları tahmin edebilmek için önceden açılacak pilot tünel kazılarının kent içi kazılarında göz önünde tutulmasının yararlı olduğu grlmştur.

KAYNAKLAR

- Arioğlu, B., Yuksel, A. ve Arioğlu E** (2002). Determination of the inflection point of surface settlement curves at Mevhibe Inonu tunnel of Istanbul. In: Sensogut C, Ozkan I (eds) *Sixth regional rock mechanics symposium*, October 2002 (in Turkish). Konya, Turkey, pp 305–311
- ASTM.** (2000). Volume 04.08 Soil and Rock (I) D 420 – D4914, *American Society for Testing and Materials*,
- Attewell, PB., Yeates, J. ve Selby, AR.** (1986). *Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures*. Blackies and Sons Ltd, London
- Barton, N. R., Lien, R., and Lunde, I.** (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel supports. *Rock Mechanics*, 6 (4), 189-239.
- Barton, N.** (1976). Recent experiences with the Q-System for tunnel-support. *Proceedings of the Symposium on Explorations for Rock Engineering*, Z. T. Bieniawski (ed.) A. A Balkema, Rotterdam, Vol 1, pp. 107-117
- Barton, N.** (2002). Some new Q-value correlations to assist in rockmasses for the design of tunnel design. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 39, 185-216
- Bieniawski, Z. T.,** (1973). Engineering classification of joined rock masses. *Transactions of South Africa Institution of Civil Engineers*, 15 (12), 335-344
- BSI.** (1999). Code of Practice for Site Investigations- BS 5930. *British Standards Institution*.
- Glossop, N. H.,** (1978). *Soil deformation caused by soft ground tunnelling*. PhD Thesis, University of Durham
- Grimstad, E., and Barton, N.** (1993). Updating the Q-System for NMT. *Proceeding of the International Symposium on Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Sprayed Concrete for Underground Support*, Oslo, Norwegian Concrete Association.
- Hamza, M., Ata, A., and Roussin, A.** (1999). Ground Movements Due to Construction of Cut-and-Cover Structures and Slurry Shield Tunnel of the Cairo Metro, *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol.14, No.3, pp.281-289, Elsevier.
- ISRM** (1981). *ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring*. E T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 p.

- İTÜ** (2008). *Detail Survey Report Existing Damage Assessment Risk Evaluation For Buildings in Sirkeci Area Package 1 by Taisei - Gama - Nurol Joint Venture MARMARAY PROJECT- Contract BC1*, İstanbul
- Mahmutoğlu, Y.** (2011). Surface subsidence induced by twin subway tunneling in soft ground conditions in Istanbul. *Bull Eng Geol Environ* (2011) 70:115–131 DOI 10.1007/s10064-010-0289-8
- Martos, F.** (1958). Concerning an approximate equation of the subsidence trough and its time factors. In: *International Strata Control Congress*, Leipzig. Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Section für Bergbau. Berlin, pp 191–205
- O'Reilly, M. P., and New, B. M.** (1982). Settlements above tunnels in the United Kingdom—their magnitude and prediction. In: *Tunnelling'82*, pp 173–181 London: IMM.
- Oteo, C., Arnaiz, M., Trabada, J., Melis, M.** (1999), The Madrid Model: A Semi-empirical Method for Subsidence Estimating, *Challenges for the 21st Century*, eds(Alten et al), Balkema, Rotterdam.
- Peck, R. B.** (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. In: *Seventh international conference on soil mechanics and foundation engineering, state-of-the-art volume*, Mexico, pp 225–290
- Rankin, W.J.** (1998). Ground Movements Resulting from Urban Tunneling.: Prediction and Effects, *Eng. Geology of Underground Movements*, Eds (F G Ball ve Ark.) Geological Society Publication, No.5.
- Rocscience** (2010). Phase² Version 7,013, Finite Element Analysis for Excavations and Slopes, Rocscience Inc. 31 Balsam Ave., Toronto, Ontario M4E 1B2, Canada.
- Schmidt, B.** (1969). *Settlements and ground movements associated with tunnelling in soils*. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana
- Singh, B.** (1993) *Norwegian Method of Tunnelling, Workshop. Lecture at CSMRS*, New Delhi, India
- STFA** (2005). *Marmaray-Railway Bosphorus Tube Crossing Site Investigation & Subsurface Conditions Geotechnical Factual Report*, İstanbul
- Sugiyama, T., Hagiwara, T., Nomoto, T., Nomoto, M., Ang, Y., Mair, R. J., Bolton, M. D., Soga, K.** (1999). *Observations of ground movements during tunnel construction by slurry shield method at the Docklands Light Railway Lewisham extension - East London*. Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, 39 (3), pp.99 – 112
- Surfer-8** (2002) User's Guide, Golden Software, INC, Colorado, USA
- Taisei Gama Nurol Joint Venture** (2008). *Method Statement for Excavation and Support Works of Sirkeci Station Horizontal Tunnels on Platform Level*, İstanbul
- Taisei Gama Nurol Joint Venture** (2008). *Monthly Geotechnical Monitoring Report for Sirkeci Station NATM Tunnel and Shafts No.20, TNG-BC1-30-11-02-00-2599#00-00*, İstanbul

- Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture** (2005). *Geotechnical Design Parameters by - MARMARAY PROJECT – Contract BC1*, İstanbul
- Terzaghi, K., and Peck, R.** (1968). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley, New York.
- Yapı Merkezi** (1992). *İstanbul Metrosunda Yeryüzü Hareketlerinin Kestirimi*, Yapı Merkezi AR-GE Bölümü, (Yayınlanmamış Rapor), İstanbul.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H.** (2007). *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60, Ankara
- Url-1** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0stanbul>>, alındığı tarih: 10.04.2014
- Url-2** <<http://www.marmaray.com.tr/>>, alındığı tarih: 10.04.2014
- Url-3** <<http://www.sisgeo.com/in-place-inclinometers.html>>, alındığı tarih: 10.04.2014
- Url-4** <<http://www.sisgeo.com/natm-stress-cells.html>>, alındığı tarih: 10.04.2014
- Url-5** <<http://www.sisgeo.com/piezometer/>>, alındığı tarih: 10.04.2014
- Url-6** <<http://www.sisgeo.com/spot-weldable-strain-gauges.html>>, alındığı tarih: 10.04.2014

EKLER

- EK A:** Q değerinin hesaplanmasında kullanılan çizelgeler
- EK B:** Sirkeci istasyon bölgesi jeoteknik parametreleri
- EK C:** Sirkeci istasyonu kuzey pilot tünel jeolojik boy kesiti
- EK D:** Sirkeci istasyonu güney pilot tünel jeolojik boy kesiti
- EK E:** Sirkeci istasyon jeoteknik izleme noktaları haritası
- EK F:** A-A' kesit hattı civarı bina oturma bulonları değerleri
- EK G:** B-B' kesit hattı civarı bina oturma bulonları değerleri.
- EK H:** C-C' kesit hattı civarı bina oturma bulonları değerleri.

EK A

Çizelge A.1: Q sistemde kullanılan RQD karşılaştırma çizelgesi.

1.RQD	KAYA KALİTESİ GÖSTERGESİ TANIMI
0-25	A.ÇOK ZAYIF
25-50	B.ZAYIF
50-75	C.ORTA
75-90	D.İYİ
90-100	E.ÇOK İYİ (Mükemmel)
Not(1): RQD <10 (0 dahil) ise Q'nun hesaplanmasında RQD için 10 gibi nominal bir değer kullanılır. RQD için 100, 95, 90 ... gibi 5'lik aralıklar yeterlidir.	

Çizelge A.2: Q sistemde kullanılan eklem takım sayısı çizelgesi.

2.EKLEM TAKIM SAYISI	(J_n)
A. Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5- 1.0
B.Bir eklem takımı	2
C.Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	3
D.İki eklem takımı	4
E.İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6
F.Üç eklem takımı	9
G.Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	12
H.Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	15
I.Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20
Not(2):Arakesitler (kesişen tüneller) için (3.0 x J _n) kullanılır.	
Not(3):Tünel girişleri için (2.0xJ _n) kullanılır.	

Çizelge A.3: Q sistemde kullanılan eklem pürüzsüzlük sayısı çizelgesi.

3.EKLEM PÜRÜZLÜLÜK SAYISI	(Jr)
(a)Süreksizlik-kaya dokanağı ve (b) 10 cm'lik bir makaslanmadan önceki süreksizlik-kaya dokanağı	
A.Süreksiz eklemler	4
B.Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	3
C.Düz, dalgalı	2
D.Kaygan, dalgalı	1.5
E.Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F.Düz, düzlemsel	1.0
G.Kaygan, düzlemsel	0.5
Not(4):Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikleri göstermektedir.	
b)Makaslanmış kesimde süreksizlik-kaya dokanağı yok	
H.Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1.0
I.Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıktaki kumlu, çakıllı ya da parçalanmış zon	1.0
Not(5):İlgili eklem takımının ortalama ağırlığı 3m.'den büyük ise , Jr'ye 1.0 eklenebilir.	
Not(6):Çizgiselliklerin en düşük dayanımı verecek şekilde yönlendirilmesi koşuluyla, çizgisellik içeren düzlemsel ve kaygan süreksizlik yüzeyleri için Jr=0.5 alınabilir.	
Not(7):Jr ve Ja sınıflaması, yönelim ve makaslama dayanımı ($\tau=\sigma_n \tan(J_r / J_a)$) açısından duraylılık için hiç uygun olmayan eklem takımına veya süreksizliklere uygulanır.	

Çizelge A.4: Q sistemde kullanılan eklem alterasyon sayısı çizelgesi.

4.EKLEM ALTERASYON SAYISI	Ja	Φ(yaklaşık)
(a) Kaya-süreksizlik dokanağı (mineral dolgusu yok, sadece yüzey kaplaması)		
A.Yüzeyler sıkı, sert yumuşamayan geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0.75	-
B.Eklem yüzeyinde değişim yok, sadece yüzey sıvaması var	1	25-30°
C.Çok az değişmeye (bozunmaya) uğramış süreksizlik yüzeyleri. Yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kil içermeyen bozunmamış kaya v.b	2	20-25°
D.Siltli veya kumlu kil kaplamaları, çok az ve yumuşamayan kil içeriği	3	20-25°
E.Yumuşamayan veya düşük sürtünmeye sahip kil kaplama (örneğin kaolinit veya mika). Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vd. ile az miktarda şişen killler	4	8-16°
(b) 10 cm'lik makaslamadan önceki süreksizlik kaya dokanağı (ince mineral dolguları)		
F.Kum taneleri, kil içermeyen bozunmamış kaya vd.	4	25-30°
G.Aşırı konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli, ancak kalınlığı <5mm.)	6	16-24°
H.Orta ve düşük derecede aşırı konsolidasyona maruz kalmış, yumuşayan kil minerali dolguları (sürekli, ancak kalınlığı < 5mm.)	8	12-16°
J.Şişen kil mineralleri-örneğin mont-morillenit (sürekli ancak kalınlığı < 5mm.) Ja'nın değeri şişen kil tane boyutundaki malzemenin miktarına ve su girişine bağlı	8-12	6-12°
(c)Makaslanma durumunda süreksizlik yüzeylerinin teması yok (kalın mineral dolguları)		
K.L.M. Bozunmuş veya parçalanmış kaya kil bantları ya da zonları (kil koşulunun tanımı için G, H ve J'ye bakınız)	6,8 veya 8-12	6-24°
N.Siltli veya kumlu kil bantları veya zonları, çok az kil (yumuşamayan)	5.0	-
O.P.R. Kalın ve sürekli kil bantları veya zonları (kil koşulunun tanımlanması için G,H ve J'ye bakınız)	10,13 veya 13-20	6-24°

Çizelge A.5: Q sistemde kullanılan eklem su azalma faktörü çizelgesi.

5.EKLEM SU AZALMA FAKTÖRÜ	Yaklaşık su basıncı (kgf/cm²)	J_w
A.Kısmi kazı veya düşük su geliri (örneğin genel olarak <5 l/dk.)	1	1.0
B.Orta derecede su geliri veya basıncı, yer yer eklem dolgularının yıkanması	1-2.5	0.66
C.Dolgusuz eklemler içeren sağlam kayada aşırı su geliri veya yüksek basınç	2.5-10	0.5
D.Aşırı su geliri veya yüksek basınç, eklem dolgularının ileri derecede yıkanması	2.5-10	0.33
E.Çok ileri derecede su geliri veya patlama sırasında zamanla azalan yüksek su basıncı	10	0.2- 0.05
F.Zamanla azalmaksızın devam eden son derece fazla su geliri veya su basıncı	>10	0.1- 0.05
Not(8): C.D.E ve F'deki faktörler kaba tahminlerdir. Eğer drenaja yönelik önlemler alınırsa, J _w artar. Not(9): Buz oluşumundan kaynaklanabilecek özel sorunlar dikkate alınmamıştır.		

Çizelge A.6: Q sistemde kullanılan gerilme azalma faktörü çizelgesi.

6.GERİLME AZALTMA FAKTÖRÜ		SRF
(a)Tünel açılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilecek kazıyı kesen zayıf zon.		
A.Kil veya kimyasal olarak ayrıışmış kaya içeren zayıflık zonları, çok gevşek çevre kayası (herhangi bir derinlikte)	10	
B.Kil veya kimyasal olarak ayrıışmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği ≤ 50 m.)	5	
C.Kil veya kimyasal olarak ayrıışmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği > 50 m.)	2.5	
D.Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	7.5	
E.Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu (kazı derinliği ≤ 50 m.)	5.0	
F.Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu (kazı derinliği > 50 m)	2.5	
G.Gevşek ve açık eklemler, iler derecede eklemlerli “küp şeker” görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5.0	
(b)Dayanımlı kaya, kaya gerilmesi sorunları:	σ_c / σ_t σ_t / σ_1 SRF	
H.Düşük gerilme, yüzeye yakın açık eklemler	>200 <0.01 25	
J.Orta derecede gerilme, uygun gerilme koşulları	200-10 0.01-0.3 1	
K.Yüksek gerilme, çok sıkı yapı, genellikle duraylı, yan duvarlar açısından uygun olmayabilir.	10-5 0.3-0.4 1	
L.Masif kayada 1 saatlik bir süre sonrasında orta derecede dilimlenme	5-3 0.5-0.65 5-50	
M.Masif kayada birkaç dakika sonra dilimlenme ve kaya patlaması	3-2 0.65-1 50-200	
N.Masif kayada aşırı kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	<2 >1 200-400	
Not(10):Oldukça yönsel (anizotrop) bakir gerilme alanı (ölçülebilirse) $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ koşulunda σ_c $0.75\sigma_c$ 'ye, $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ ise $0.5 \sigma_c$ 'ye düşürülür. Burada σ_c tek eksenli sıkışma dayanımı, σ_1 ve σ_3 en büyük ve en küçük asal gerilmeler, σ_θ en büyük teğetsel gerilmedir (elastik kuramdan tahmin edilen). Not(11):Tavan yüksekliğinin genişliğinden az olduğu durumlarla ilgili birkaç vaka kaydı mevcuttur. Bu gibi durumlar için SRF'nin 2.5'tan 5'e artırılması önerilir (H maddesine bakınız)		

Çizelge A.6 (Devam): Q sistemde kullanılan gerilme azalma faktörü çizelgesi.

(c) Sıkışan kaya: Yüksek kaya basıncının etkisiyle düşük dayanımlı kayada plastik akma:

	$\sigma_\theta / \sigma_{ci}$	SRF
O.Az sıkıştıran kaya basıncı	1-5	5-10
P.Aşırı sıkıştırıcı kaya basıncı	>5	10-20

Not(12):Sıkışan kaya vakaları $H > Q^{1/3}$ derinlik koşulunda meydana gelebilir (Singh, 1993). Kaya kütlelerinin sıkışma dayanımı $q = 0.7\gamma Q^{1/3}$ (MPa) eşitliğinden tahmin edilebilir. Burada γ kayanın birim hacim ağırlığıdır (kN/m³) (Singh, 1993)

(d)Şişen kaya: Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme etkinliği:

	SRF
R.Düşük şişme basıncı	5-10
S.Çok yüksek şişme basıncı	10-15

EK B**Çizelge B.1:** Güzergâh boyunca gerçekleştirilen S.P.T deneyi sonuçlarının kuyulara ve derinliklerine göre dağılımı.

No	Test Aralıkları (m.)	Sondajların N_{30} değerleri							
		BH144A N_{30}	BH144B N_{30}	BH145B N_{30}	BH146 N_{30}	BH146A N_{30}	BH146C N_{30}	BH146D N_{30}	BH146E N_{30}
1	1.45	-	-	-	-	19	16	22	14
2	2.45	8	-	-	18	19	17	21	17
3	3.45	19	41	22	15	23	6	23	23
4	4.45	14	10	19	15	26	13	25	20
5	5.45	11	12	38	14	17	18	27	15
6	6.45	15	13	42	43	33	15	22	22
7	7.45	13	8	21	39	30	12	22	39
8	8.45	16	11	33	30	16	19	25	32
9	9.45	8	-	26	17	25	13	28	38
10	10.45	7	-	-	18	34	16	36	33
11	11.45	25	-	24	19	22	37	30	20
12	12.45	-	38	33	13	25	22	18	20
13	13.45	-	36	20	18	27	25	30	23
14	14.45	-	43	18	19	30	24	21	21
15	15.45	-	65	28	8	-	14	24	18

Çizelge B.1 (Devam): Güzergâh boyunca gerçekleştirilen S.P.T deneyi sonuçlarının kuyulara ve derinliklerine göre dağılımı.

No	Test Aralıkları (m.)	Sondajların N_{30} değerleri							
		BH144A N_{30}	BH144B N_{30}	BH145B N_{30}	BH146 N_{30}	BH146A N_{30}	BH146C N_{30}	BH146D N_{30}	BH146E N_{30}
17	17.45	-	-	24	8	-	23	23	18
18	18.45	-	-	13	8	-	27	26	22
19	19.45	-	-	15	11	-	17	30	19
20	20.45	-	-	18	-	-	14	38	27
21	21.45	-	-	29	-	-	19	33	22
22	22.45	-	-	-	-	-	-	-	37
23	23.45	-	-	37	-	-	-	-	18
24	24.45	-	-	-	-	-	-	54	29
25	25.45	-	-	-	-	-	-	34	32
26	26.45	-	-	-	-	-	-	40	21
27	27.45	-	-	-	-	-	-	16	35
28	28.45	-	-	-	-	-	-	59	30
29	29.45	-	-	-	-	-	-	-	30
30	30.45	-	-	-	-	-	-	-	30
31	31.45	-	-	-	-	-	-	-	33
32	32.45	-	-	-	-	-	-	-	34

Çizelge B.2: Arkeolojik dolgunun sondajlara göre kalınlık, N30 ve içsel sürtünme açısı değerleri.

Kuyu Adı	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kalınlık (m)	Ortalama N30	İçsel Sürtünme Açısı
BH144A	22.3	12.3	10	13	32.5°
	12.3	11.3	1	7	31°
	11.3	9.45	1.85	25	36°
BH144B	13.55	10.55	3	-	-
	10.55	9.55	1	41	39°
	9.55	5.55	4	11	33°
	5.55	4.55	1	11	33°
	4.55	2.05	2.5	>50	>40°
BH145B	8.55	0.85	8	28	37°
BH146	8.51	-4.19	12.7	22	35.5°
BH146A	11.1	3.35	7.75	24	36°
BH146C	8.1	1.4	6.7	14	33.5°
BH146D	6.3	-0.4	6.7	23	36°
BH146E	5.85	-1.65	7.5	21	35°

Çizelge B.3: Arkeolojik dolgunun dane boyutu dağılımını gösterir çizelge.

Kuyu Adı	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Silt & Kil (%)	İnce Kum (%)	Orta Boylanmış Kum (%)	Kaba Kum (%)	Çakıl (%)
BH144A	22.3	11.3	8	15	32	16	29
BH144A	11.3	9.45	6	12	31	20	3.1
8H144B	13.55	2.05	8	7	55	14	16
BH145B	8.85	0.85	18	16	30	14	22
BH146	8.51	-4.19	12	13	21	12	42
BH146A	11.1	3.35	18	16	23	12	31
BH146C	8.1	1.4	8	20	38	13	14
BH146D	6.3	-0.4	6	18	36	14	26
BH146E	5.85	-1.65	14	11	22	12	41

Çizelge B.4: Kıyı çökellerinin sondajlarda kesilen kalınlığı, N30 ve içsel sürtünme açısı değerleri.

Kuyu Adı	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kalınlık (m)	Ortalama N30	İçsel Sürtünme Açısı
BH144A	-	-		-	-
BH144B	2.05	-2.15	4.20	31	37.5°
BH145B	0.85	-0.65	1.50	30	37.5°
	-0.65	-1.75	1.10	>50	>40°
	-1.75	-3.85	2.10	29	37°
	-3.85	-4.85	1.00	20	35°
	-4.85	-8.85	4.00	22	35.5°
	-8.85	-10.15	1.30	13	33°
BH145B	-10.15	-12.15	2.00	17	34 °
	-12.15	-14.15	2.00	>50	>40°
	-14.15	-15.15	1.00	37	38.5°
	-15.15	-16.15	1.00	>50	>40°
BH146	-4.19	-5.49	1.30	13	33°
	-5.49	-8.49	3.00	15	34°
	-8.49	-12.49	4.00	9	32°

Çizelge B.4 (Devam): Kıyı çökellerinin sondajlarda kesilen kalınlığı, N30 ve içsel sürtünme açısı değerleri

Kuyu Adı	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kalınlık (m)	Ortalama N30	İçsel Sürtünme Açısı
BH146A	3.35	1.35	2.00	21	35°
	1.35	0.35	1.00	34	38°
	0.35	-2.90	3.25	25	36°
	-2.90	-4.65	1.75	>50	<40°
	1.40	-0.90	1.30	16	34°
BH146C	-0.90	-2.90	2.00	15	34°
	-2.90	-5.90	3.00	28	37°
	-5.90	-8.90	3.00	19	35°
	-8.90	-12.90	4.00	19	35°
	-12.90	-13.90	1.00	19	35°
BH1460	-0.40	-1.70	1.30	22	35.5°
	-1.70	-3.20	1.50	26	36.5°
	-3.20	-8.70	5.50	27	37°
	-8.70	-11.70	3.00	23	36°
	-11.70	-14.70	3.00	34	38°
	-14.70	-15.70	1.00	33	38°
	-15.70	-16.70	1.00	>50	<40°
	-16.70	-20.45	3.75	34	38°
	-20.45	-22.15	1.70	16	34°
	-1.65	-6.15	4.50	31	37.5°
	-6.15	-13.15	7.00	21	35°
	-13.15	-25.15	12.00	28	37°
BH146E	-25.15	-26.85	1.70	34	38°
	-26.85	-27.65	0.80	>50	>40°

Çizelge B.5: Kumlu birimin dane boyutu dağılımını gösterir çizelge.

Kuyu No.	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Toprak	Silt+Kil (%)	İnce kum (%)	Orta Kum (%)	Kaba Kum (%)	Çakıl (%)
BH144B	2.05	-2.15	İyi Boylanmış Killi Kum	8	26	45	9	12
BH145B	0.35	-0.65	Killi Kum					
	-0.65	-1.75	Killi Kum	-	-	-	-	-
	-1.75	-3.85	İyi Boylanmış Kum	11	18	39	15	17
	-3.85	-4.85	Killi Kum	*	-	“	-	-
	-4.85	-8.85	Killi Kum	14	19	43	15	9
	-8.85	-10.15	Zayıf Boylanmış Kum	4	17	79	0	0
	-10.15	-12.15	İyi Boylanmış Kum	11	42	47	0	0
	-12.15	-14.15	Killi Kum	12	18	27	13	30
	-14.15	-15.15	Zayıf Boylanmış Kum	4	5	77	10	4
	-15.15	-16.15	Zayıf Boylanmış Kum	6	3	35	50	6
BH146	-4.19	-5.49	Killi Kum(Sc)	13	13	26	20	25
	-5.49	-8.49	İyi Boylanmış Kum(SW-SC)	10	9	34	25	22
	-8.49	-12.49	Killi Kum	24	10	18	18	30
BH146A	3.35	1.35	Killi Kumlu Çakıl	32	12	12	7	37
	1.35	0.35	İyi Boylanmış Kum	-	-	-	-	-
	0.35	-2.90	İyi Boylanmış Kum	10	23	56	6	5
	-2.9	-4.65	Kötü Boylanmış Kum	5	12	83	0	0

Çizelge B.5 (Devam): Kumlu birimin dane boyutu dağılımını gösterir çizelge.

Kuyu No.	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Toprak	Silt+Kil (%)	İnce kum (%)	Orta Kum (%)	Kaba Kum (%)	Çakıl (%)
BH146C	1.4	-0.9	Killi Kum	21	13	18	11	37
	-0.9	-2.9	Siltli Kum	-	-	-	-	-
	-2.9	-5.9	Zayıf Boylanmış Kum	4	14	67	13	2
	5.90	-8.9	Siltli Killi Kum	47	4	12	11	26
	-8.9	-11.9	Zayıf Boylanmış Kum	6	8	65	18	3
	-11.9	-12.9	İyi Boylanmış Kum	-	-	-	-	-
	-12.9	-13.9	Zayıf Boylanmış Kum	3	7	69	17	4
BH146D	-0.4	-1.7	İyi Boylanmış Kum	-	-	-	-	-
	-1.7	-3.2	Siltli Kum	22	11	21	25	21
	3.2	-8.7	Zayıf Boylanmış Kum	6	16	66	11	1
	-8.7	-11.7	İyi Boylanmış Kum	5	7	24	43	21
	-11.70	-14.7	İyi Boylanmış Kum	3	21	63	12	1
	-14.7	-15.7	Siltli Kum	12	37	48	3	0
	-15.7	-16.7	İyi Boylanmış Çakıl	-	-	-	-	-
BH146E	-16.7	-20.45	Siltli Kum	27	34	18	6	15
	-20.45	-22.15	Zayıf Boylanmış Kum	15	22	73	0	0
	-1.65	-6.15	Killi Kum	16	12	32	18	22
	-6.15	-13.15	İyi Boylanmış Kum	6	8	37	30	19
	-13.15	-25.15	Zayıf Boylanmış Kum	5	15	59	15	6
	-25.15	-26.85	İyi Boylanmış Çakıl	-	-	-	-	-
	-26.85	-27.65	Killi Kum	19	21	49	10	1

Çizelge B.6: Ana Kaya'ya ait TCR, RQD ve SCR değerlerini gösterir çizelge.

Kuyu Adı	Kaya	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	TCR (%)	RQD (%)	SCR (%)
BH144A	Kum Taşı	9.45	-16.05	95	26	32
	Çamur Taşı	-16.05	-30.2	100	50	60
	Kum Taşı	-30.2	-49.70*	99	37	43
BH144B	Kum Taşı	-2.15	-14.6	85	2	3
	Kum Taşı	-14.6	-36.65	99	16	27
	Kum Taşı	-36.65	-48.45*	61	0	0
BH145B	Kum Taşı	-16.15	-35.15	94	9	18
	Kum Taşı	-35.15	-51.15*	73	0	5
BH146	Çamur Taşı	-12.49	-16.09	-	-	-
	Kum Taşı	-16.09	-35.5	88	0	4
	Kum Taşı	-35.5	-48.49*	12	0	0
BH146A	Kum Taşı	-4.65	-13.3	79	15	20
	Kum Taşı	-13.3	-23.9	96	28	41
	Çamur Taşı	-23.9	-48.90*	89	6	17
BH146C	Kum Taşı	-13.9	-15.90*	56	0	0
BH146D	Silt Taşı	-22.15	-23.20*	10	0	5
BH146E	Çamur Taşı	-27.65	-28.15	50	0	0

*Kuyu son derinliği.

Çizelge B.7: Ana Kaya'ya ait Jeoteknik Parametreleri gösterir çizelge.

Kuyu No.	Örnek No.	Kuyu Kotu (m.)	Pilot Tünel Tavan Derinliği (m.)	Pilot Tünel Taban Derinliği (m.)	Kuyu Derinlik (m.)	Kuru Ağırlık (gr.)	Doygun Ağırlık (gr.)	Hacim (cm ³)	Kuru Birim Ağırlık γ_{kuru} (gr/cm ³)	Doygun Birim Ağırlık γ_{doygun} (gr/cm ³)	Porozite (%)
BH 144A	C 1	22.3	53.73	58.73	14.60 – 14.70	832.07	855.68	338.71	2.46	2.53	6.97
BH 144A	C 2	22.3	53.73	58.73	18.10 – 18.15	173.40	178.19	67.55	2.57	2.64	7.09
BH 144A	C 5	22.3	53.73	58.73	25.00 – 25.05	973.28	982.82	370.20	2.63	2.65	2.58
BH 144A	C 7	22.3	53.73	58.73	32.80 – 32.95	87.70	87.92	32.53	2.70	2.70	0.68
BH 144A	C 11	22.3	53.73	58.73	37.35 – 37.45	79.93	80.67	29.39	2.72	2.74	2.52
BH 144A	C 12	22.3	53.73	58.73	39.80 – 39.90	89.32	90.06	32.86	2.72	2.74	2.25
BH 144A	C 17	22.3	53.73	58.73	50.00 – 50.10	467.75	472.18	172.38	2.71	2.74	2.57
BH 144A	C 23	22.3	53.73	58.73	60.40 – 60.50	338.48	341.32	124.38	2.72	2.74	2.28
BH 144B	C 1	13.55	44.98	49.98	20.00 – 20.10	526.34	548.19	214.45	2.45	2.56	10.19
BH 144B	C 3	13.55	44.98	49.98	30.20 – 30.30	166.61	170.82	65.40	2.55	2.61	6.44
BH 144B	C 4	13.55	44.98	49.98	30.30 – 30.40	320.13	325.80	124.22	2.58	2.62	4.56
BH 144B	C 6	13.55	44.98	49.98	42.00 – 42.05	163.34	166.24	60.84	2.68	2.73	4.77

Çizelge B.7 (Devam): Ana Kaya'ya ait Jeoteknik Parametreleri gösterir çizelge.

Kuyu No.	Örnek No.	Kuyu Kotu (m.)	Pilot Tünel Tavan Derinliği (m.)	Pilot Tünel Taban Derinliği (m.)	Kuyu Derinlik (m.)	Kuru Ağırlık (gr.)	Doygun Ağırlık (gr.)	Hacim (cm ³)	Kuru Birim Ağırlık γ_{kuru} (gr/cm ³)	Doygun Birim Ağırlık γ_{doygun} (gr/cm ³)	Porozite (%)
BH 144B	C 10	13.55	44.98	49.98	47.90 – 47.95	142.68	143.76	53.59	2.66	2.68	2.02
BH 146	C 1	8.51	39.94	44.94	25.85 – 25.90	735.91	751.37	282.91	2.60	2.66	5.46
BH 146	C 3	8.51	39.94	44.94	32.35 – 32.40	330.16	333.57	124.65	2.65	2.68	2.74
BH 146	C 5	8.51	39.94	44.94	37.20 – 37.25	89.01	89.80	32.77	2.72	2.74	2.41
BH 146	C 6	8.51	39.94	44.94	41.90 – 41.95	161.34	165.14	62.64	2.58	2.64	6.07
BH 146	C 7	8.51	39.94	44.94	42.30 – 42.35	267.77	272.17	100.74	2.66	2.70	4.37
BH 146	C 8	8.51	39.94	44.94	47.00 – 47.05	298.09	300.31	109.76	2.72	2.74	2.02
BH 146	C 9	8.51	39.94	44.94	48.40 – 48.45	189.17	190.83	69.66	2.72	2.74	2.38
BH 146A	C 1	10.54	41.97	46.97	17.30 – 17.40	198.58	206.87	80.77	2.46	2.56	10.26
BH 146A	C 4	10.54	41.97	46.97	25.50 – 25.55	161.86	165.52	63.03	2.57	2.63	5.81

Çizelge B.7 (Devam): Ana Kaya'ya ait Jeoteknik Parametreleri gösterir çizelge.

Kuyu No.	Örnek No.	Kuyu Kotu (m.)	Pilot Tünel Tavan Derinliği (m.)	Pilot Tünel Taban Derinliği (m.)	Kuyu Derinlik (m.)	Kuru Ağırlık (gr.)	Doygun Ağırlık (gr.)	Hacim (cm ³)	Kuru Birim Ağırlık γ_{kuru} (gr/cm ³)	Doygun Birim Ağırlık γ_{doygun} (gr/cm ³)	Porozite (%)
BH 146A	C 6	10.54	41.97	46.97	26.60 – 26.65	426.57	433.51	165.49	2.58	2.62	4.19
BH 146A	C 11	10.54	41.97	46.97	33.10 – 33.15	218.84	222.54	84.59	2.59	2.63	4.37
BH 146A	C 15	10.54	41.97	46.97	46.65 – 46.70	176.76	178.50	65.60	2.69	2.72	2.65
BH 146A	C 16	10.54	41.97	46.97	53.75 – 53.80	341.69	345.11	126.65	2.70	2.72	2.70

Çizelge B.8: Ana Kaya'ya ait Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülünü gösterir çizelge.

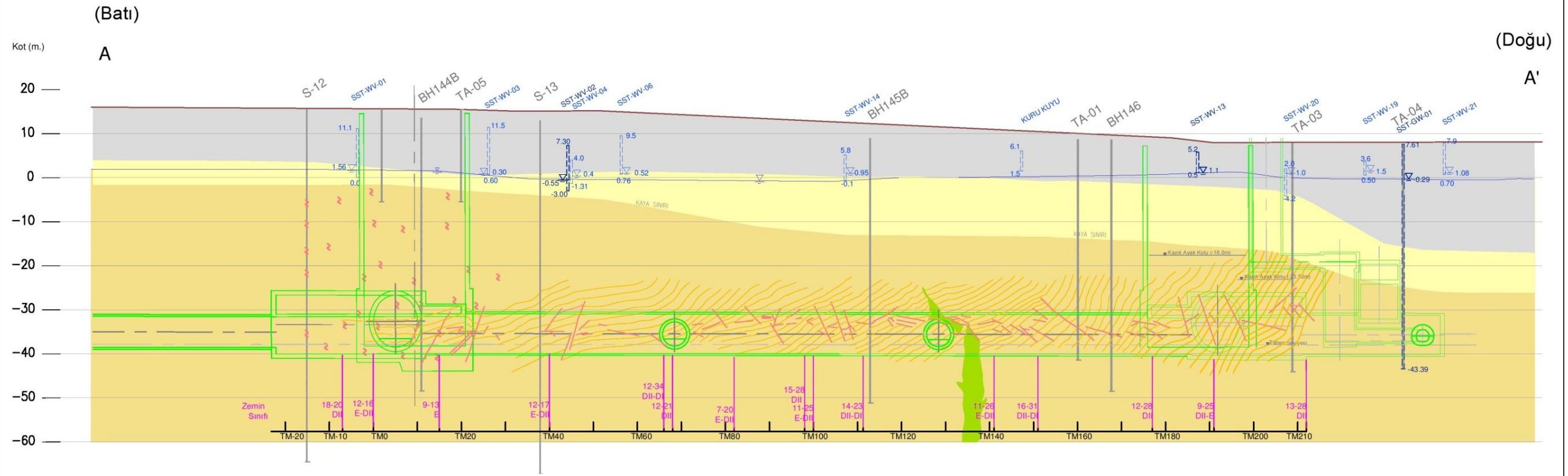
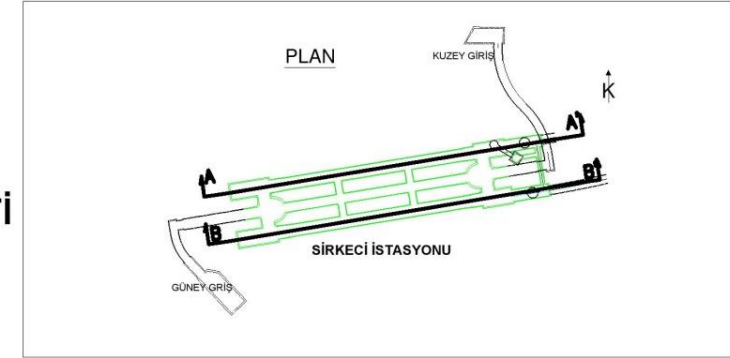
Kuyu No	Örnek No	Kuyu Kotu (m.)	Pilot Tünel Tavan Derinliği (m.)	Pilot Tünel Taban Derinliği (m.)	Kuyu Derinlik (m.)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Açıklama
BH 144A	C 3	22.3	53.73	58.73	18.20 – 18.30	83	10408	
BH 144A	C 4	22.3	53.73	58.73	18.40 – 18.55	34	9007	*
BH 144A	C 6	22.3	53.73	58.73	30.00 – 30.35	477	59997	
BH 144A	C 8	22.3	53.73	58.73	33.50 – 33.70	506	67705	
BH 144A	C 9	22.3	53.73	58.73	34.40 – 34.60	486	61810	
BH 144A	C 10	22.3	53.73	58.73	35.60 – 35.90	669	82925	
BH 144A	C 13	22.3	53.73	58.73	42.50 – 42.80	828	102626	
BH 144A	C 14	22.3	53.73	58.73	43.20 – 43.40	153	22349	*
BH 144A	C 15	22.3	53.73	58.73	43.40 – 43.55	351	54216	*
BH 144A	C 18	22.3	53.73	58.73	51.10 – 51.25	421	48495	
BH 144A	C 20	22.3	53.73	58.73	52.00 – 52.10	449	52529	
BH 144A	C 21	22.3	53.73	58.73	57.10 – 57.60	298	48117	
BH 144A	C 21	22.3	53.73	58.73	57.10 – 57.60	446	43983	
BH 144B	C 2	13.55	44.98	49.98	27.80 – 27.95	44	9812	*

Çizelge B.8 (Devam): Ana Kaya'ya ait Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülünü gösterir çizelge.

Kuyu No	Örnek No	Kuyu Kotu (m.)	Pilot Tünel Tavan Derinliği (m.)	Pilot Tünel Taban Derinliği (m.)	Kuyu Derinlik (m.)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Açıklama
BH 144B	C 5	13.55	44.98	49.98	31.40 – 31.55	78	21392	*
BH 146A	C8	10.54	41.97	46.97	28.00 – 28.20	239	38535	
BH 146A	C 9	10.54	41.97	46.97	30.20 – 30.35	143	40549	
BH 146A	C 13	10.54	41.97	46.97	33.80 – 34.00	47	18440	*
BH 146A	C 14	10.54	41.97	46.97	43.80 – 44.00	172	25418	

* Örnekler zayıflık düzlemleri boyunca yenilmişlerdir.

SİRKECİ İSTASYONU KUZEY PİLOT TÜNEL JEOLojİK BOY KESİTİ



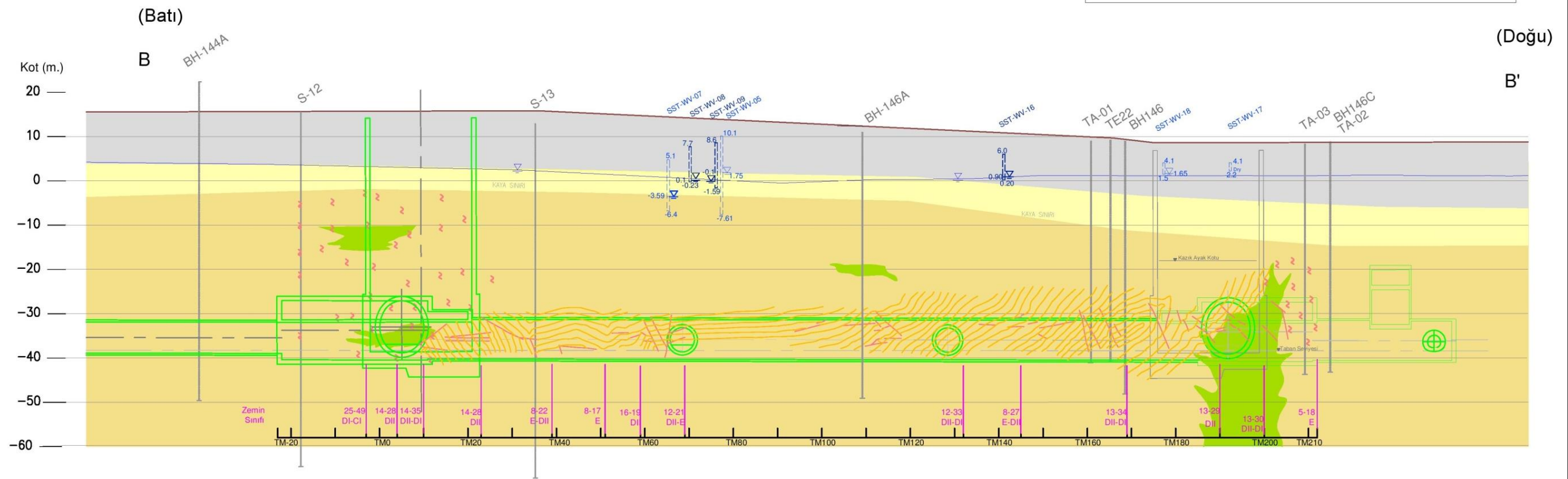
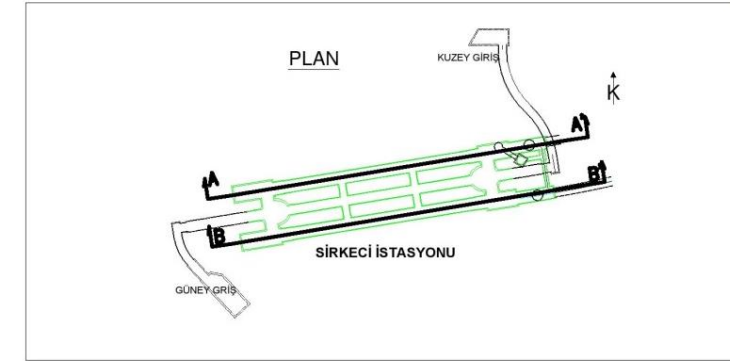
LEJAND

- Kum, Çakıl, Kıl (Arkeolojik Dolgu)
- Killi siltli Deniz kabuklu Kum (Sığ Denizel Çökel)
- Diyabaz
- Çamurtaşı - Kumtaşı - Kilitaşı
- Tabakalaşma
- Makaslanma/Fay Zonu
- Fay
- BH-01 Araştırma Kuyuları
- SST-WV-01 Su Kuyuları
- TM Tünel Mesafesi (m.)

0 m. 10 m. 20 m. 30 m. 40 m. 50 m.

MARMARAY PROJESİ-SİRKECİ İSTASYONU KUZEY PİLOT TÜNEL BOY KESİTİ		
YAPAN	Candaş TOPAL	EK C
TARİH	EYLÜL 2009	
İTÜ MADEN FAKÜLTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ UYGULAMALI JEOLOJİ ANABİLİM DALI		

SİRKECİ İSTASYONU GÜNEY PİLOT TÜNEL JEOLojİK BOY KESİTİ

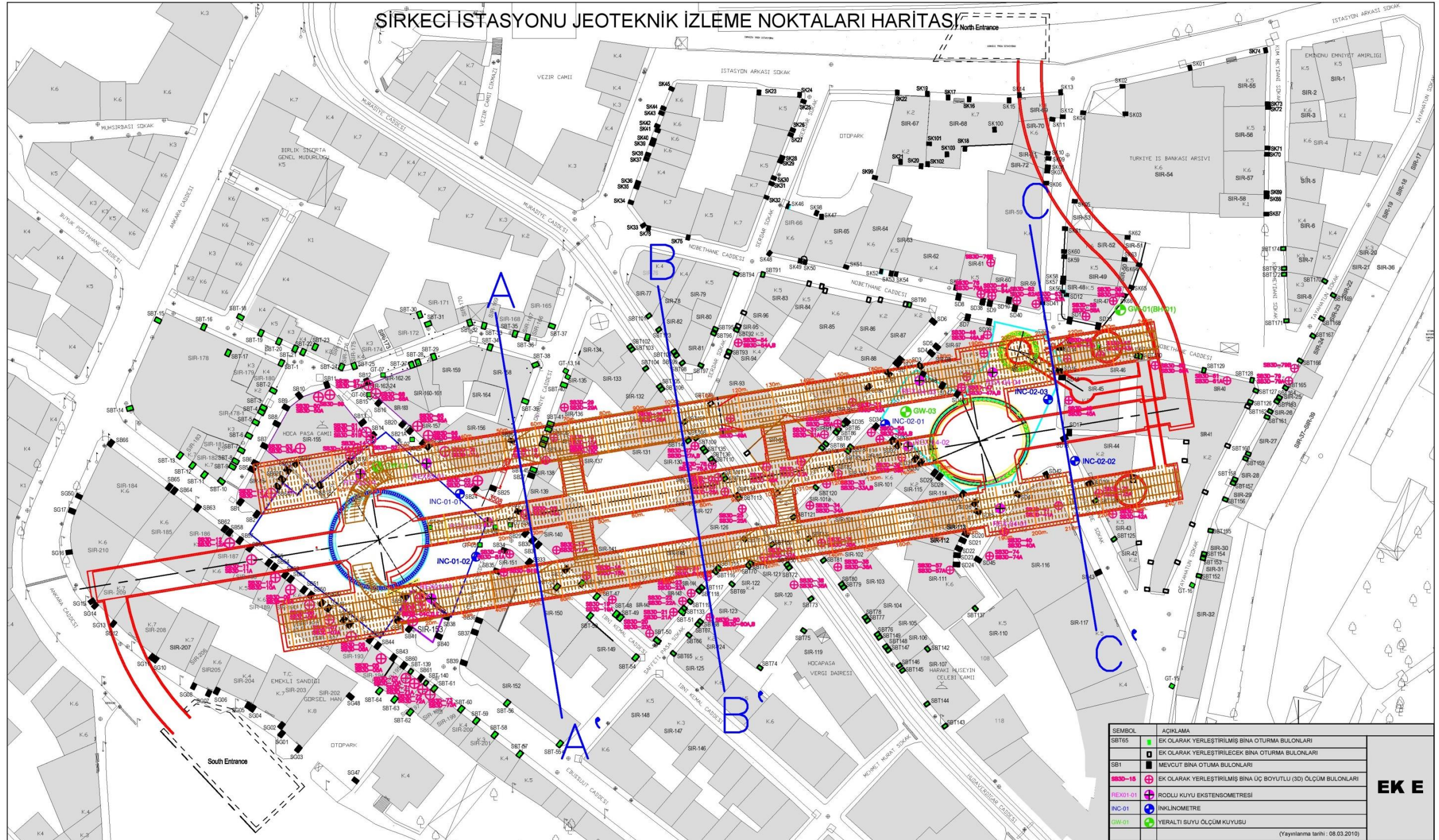


LEJAND

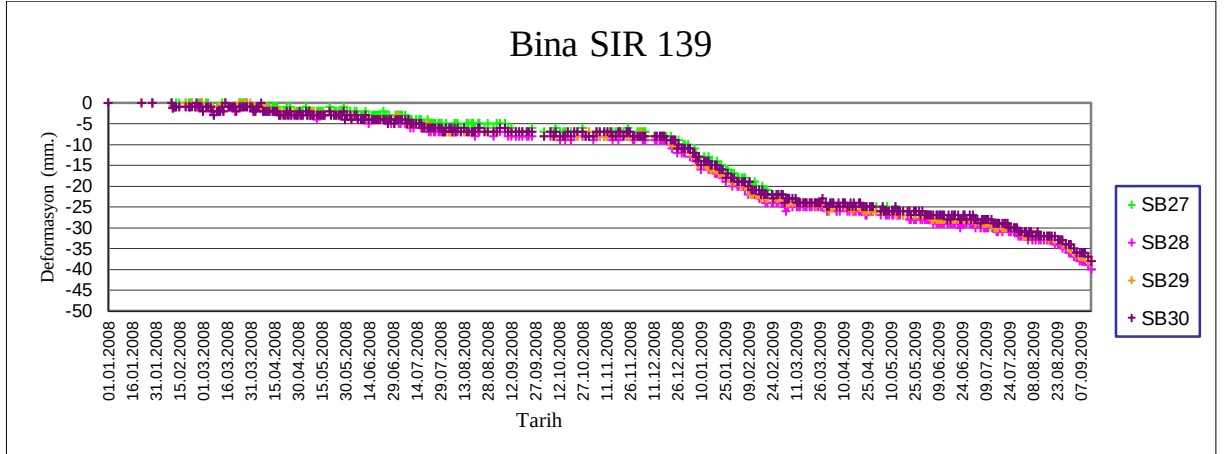
- Kum, Çakıl, Kıl (Arkeolojik Dolgu)
- Kilitli siltli Deniz kabuklu Kum (Sığ Denizel Çökel)
- Diyabaz
- Çamurtaşı - Kumtaşı - Kilitaşı
- Tabakalaşma
- Makaslanma/Fay Zonu
- Fay
- BH-01 Araştırma Kuyuları
- SST-WV-01 Su Kuyuları
- TM Tünel Mesafesi (m.)

0 m. 10 m. 20 m. 30 m. 40 m. 50 m.

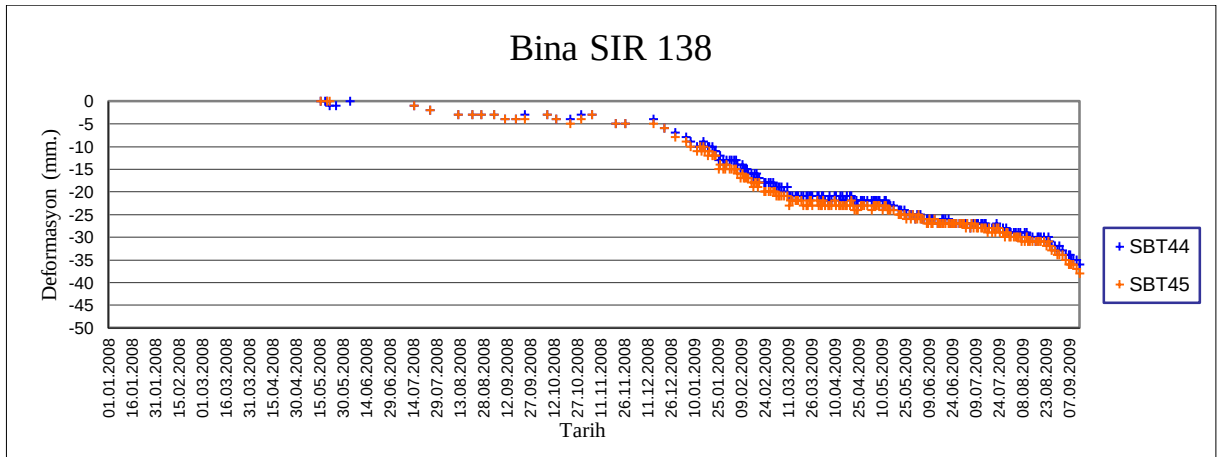
MARMARAY PROJESİ-SİRKECİ İSTASYONU GÜNEY PİLOT TÜNEL BOY KESİTİ		
YAPAN	Candaş TOPAL	EK D
TARİH	EYLÜL 2009	
İTÜ MADEN FAKÜLTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ UYGULAMALI JEOLJİ ANABİLİM DALI		



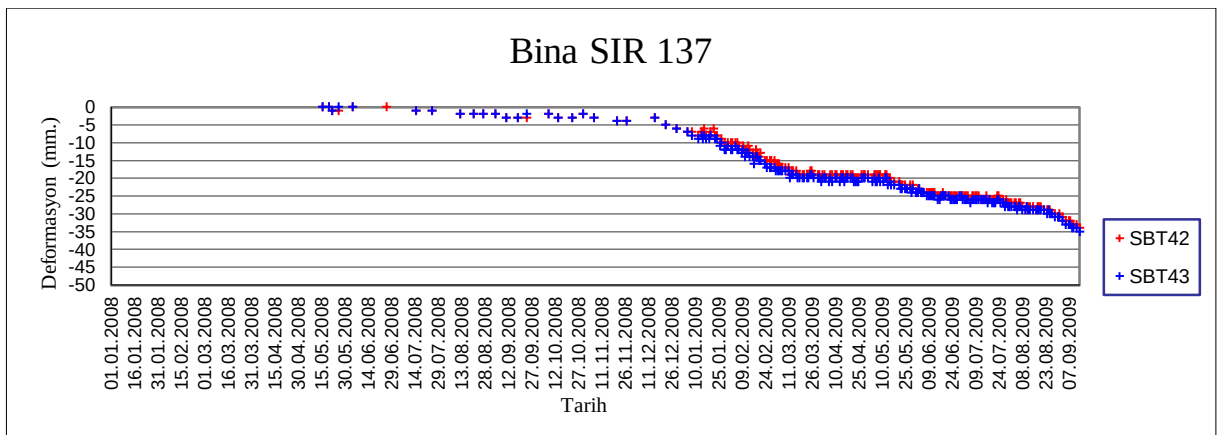
EK F



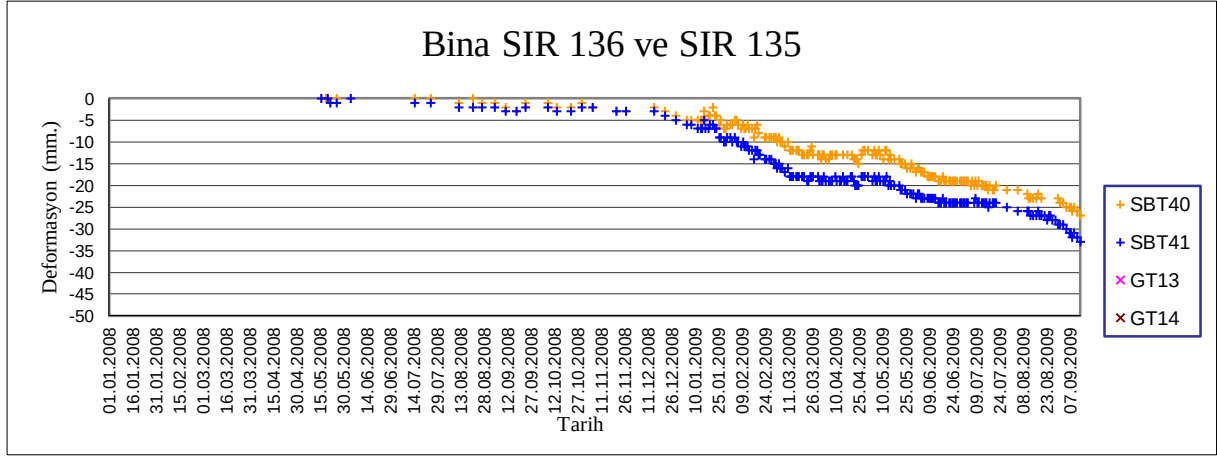
Şekil F.1: SIR 139 numaralı binanın yüzey oturmaları.



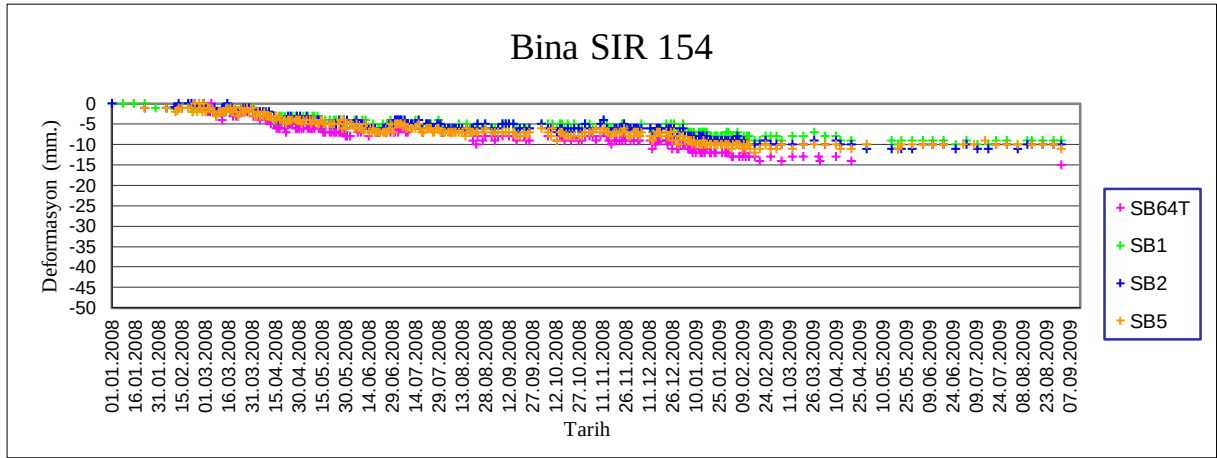
Şekil F.2: SIR 138 numaralı binanın yüzey oturmaları.



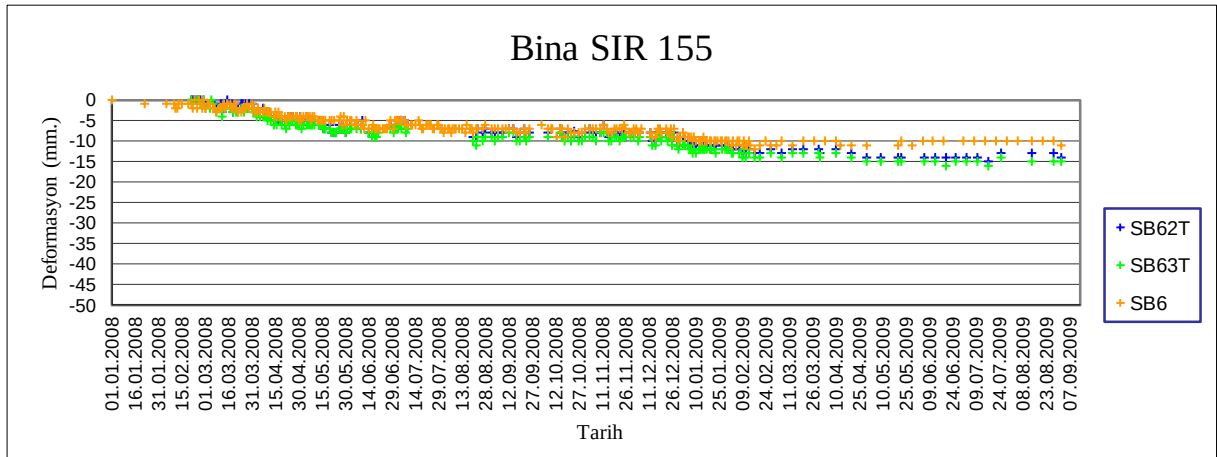
Şekil F.3: SIR 137 numaralı binanın yüzey oturmaları.



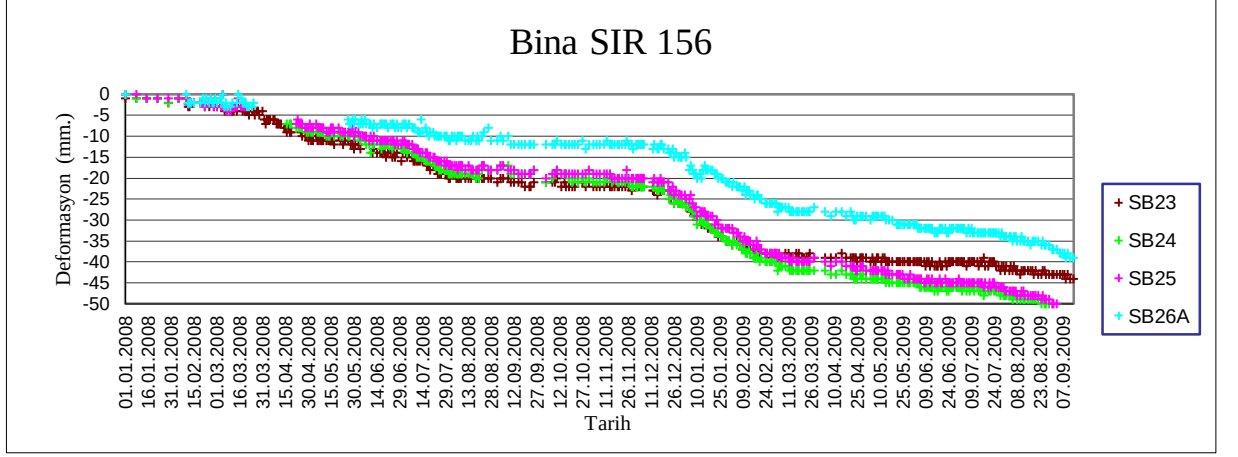
Şekil F.4: SIR 136 ve SIR 135 numaralı binaların yüzey oturmaları.



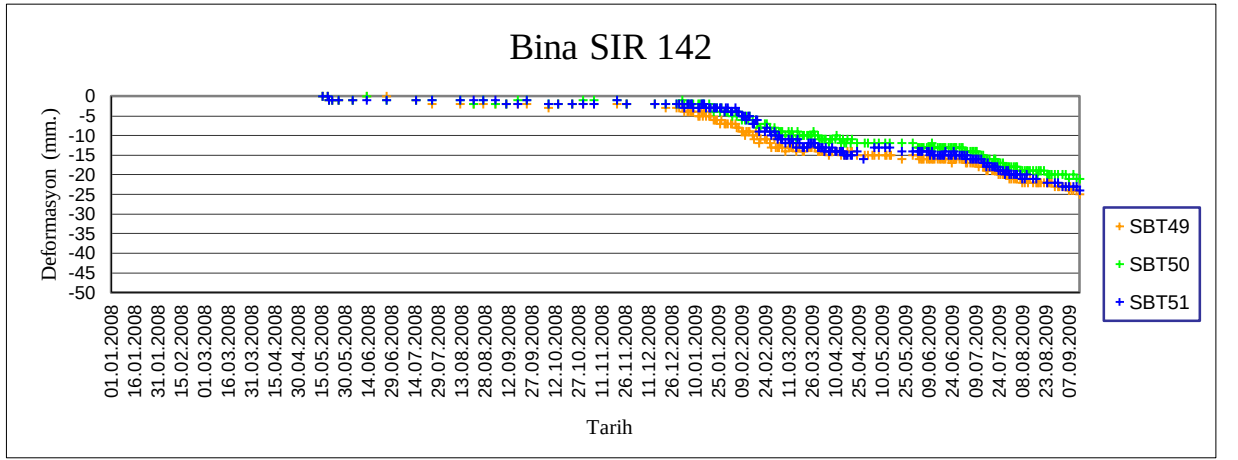
Şekil F.5: SIR 154 numaralı binanın yüzey oturmaları.



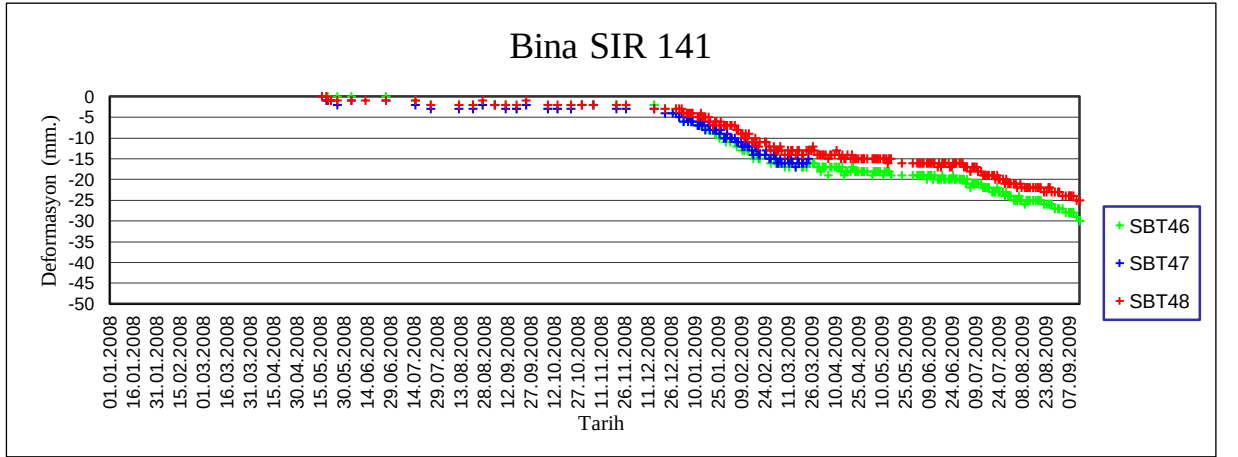
Şekil F.6: SIR 155 numaralı binanın yüzey oturmaları.



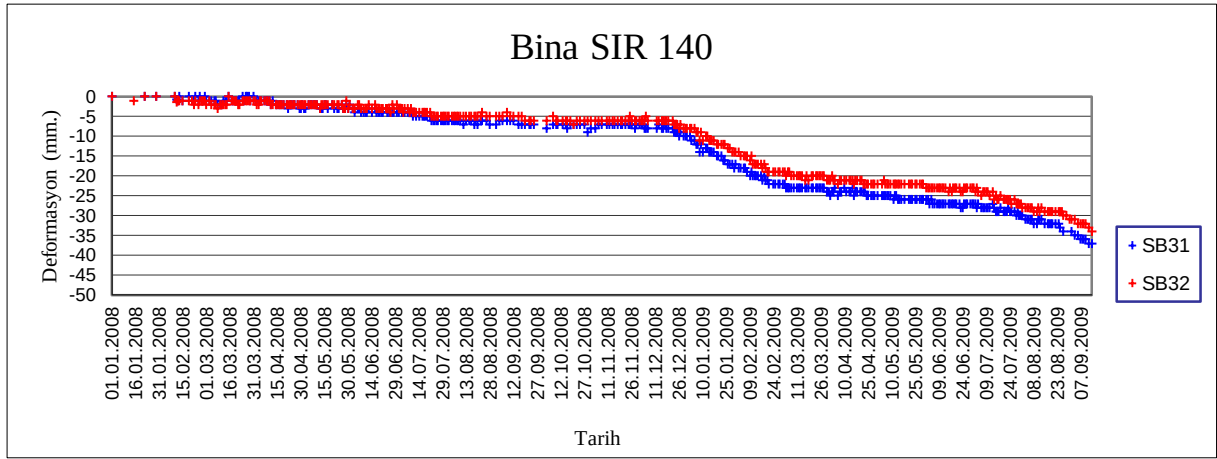
Şekil F.7: SIR 156 numaralı binanın yüzey oturmaları.



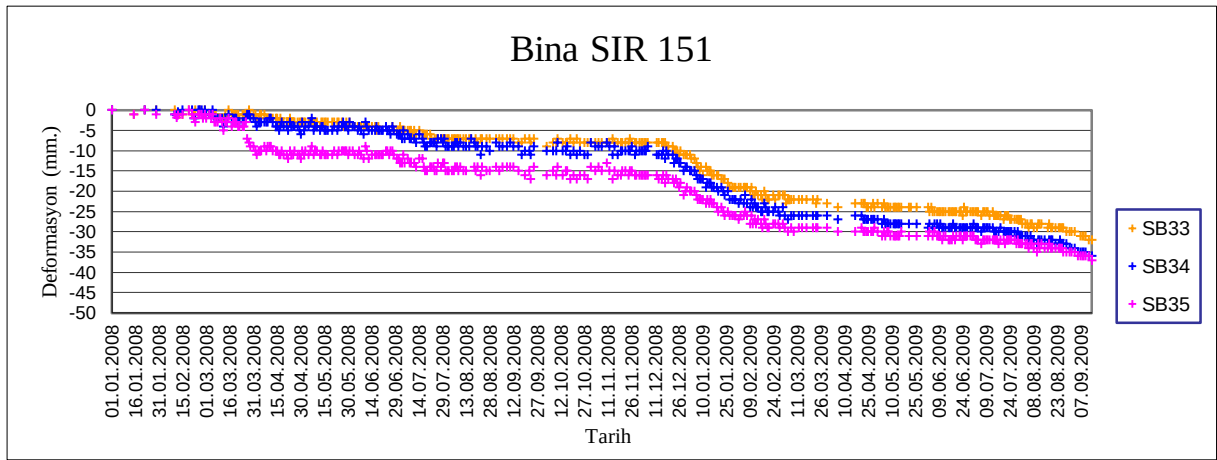
Şekil F.8: SIR 142 numaralı binanın yüzey oturmaları.



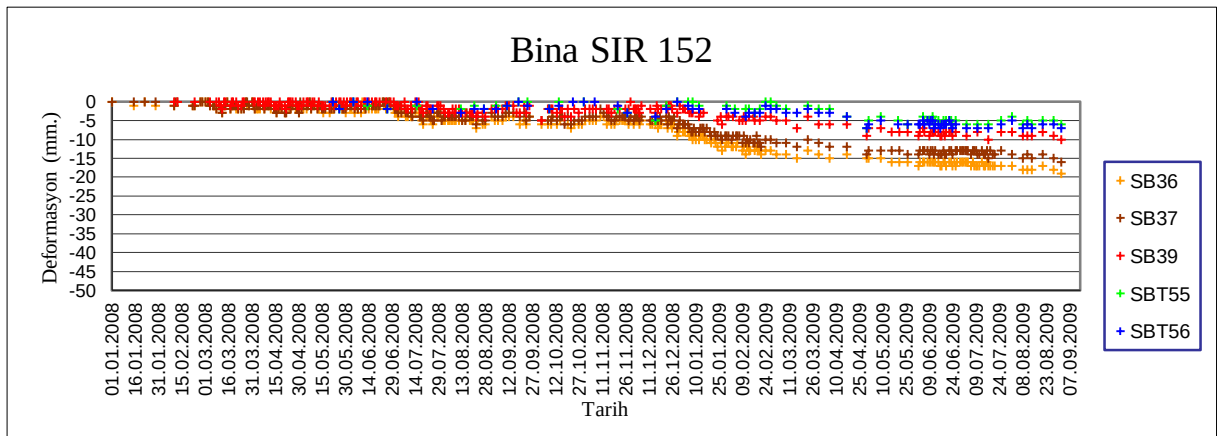
Şekil F.9: SIR 141 numaralı binanın yüzey oturmaları.



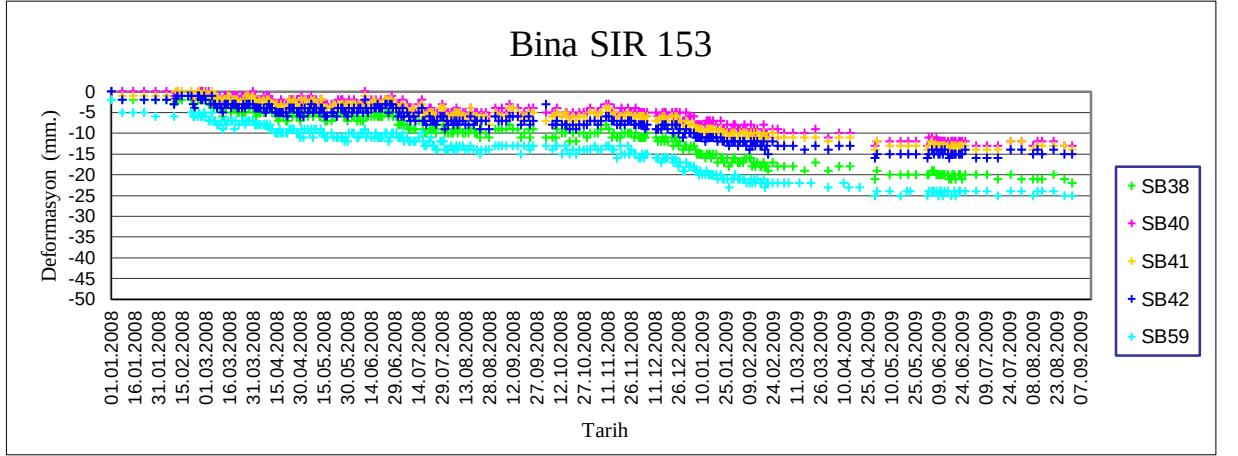
Şekil F.10: SIR 140 numaralı binanın yüzey oturmaları.



Şekil F.11: SIR 151 numaralı binanın yüzey oturmaları.

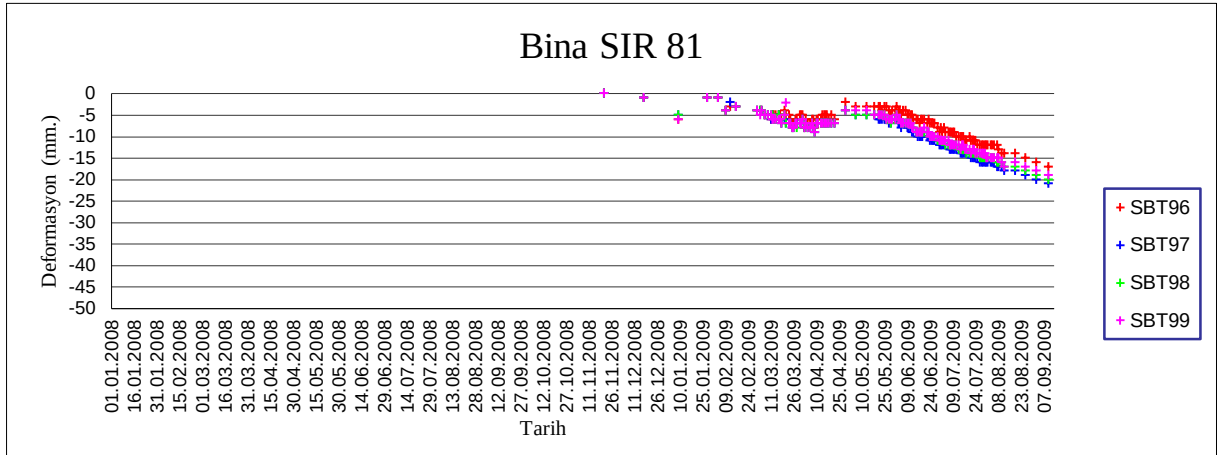


Şekil F.12: SIR 152 numaralı binanın yüzey oturmaları.

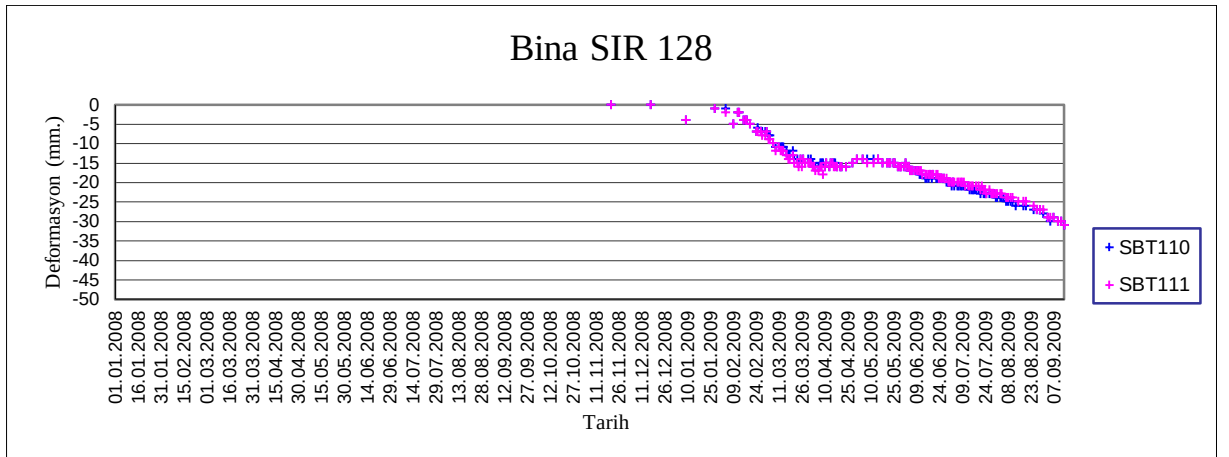


Şekil F.13: SIR 153 numaralı binanın yüzey oturmaları.

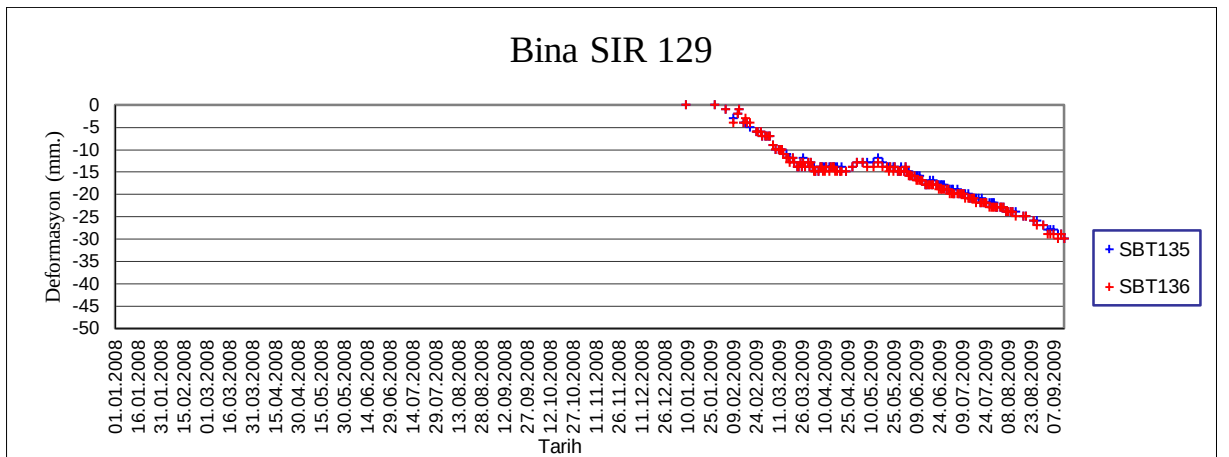
EK G



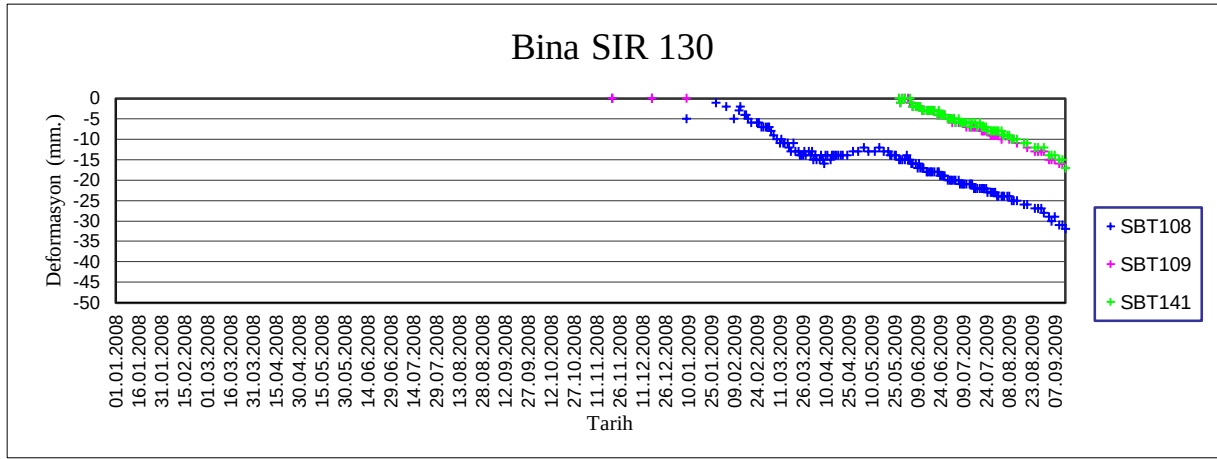
Şekil G.1: SIR 81 numaralı binanın yüzey oturmaları.



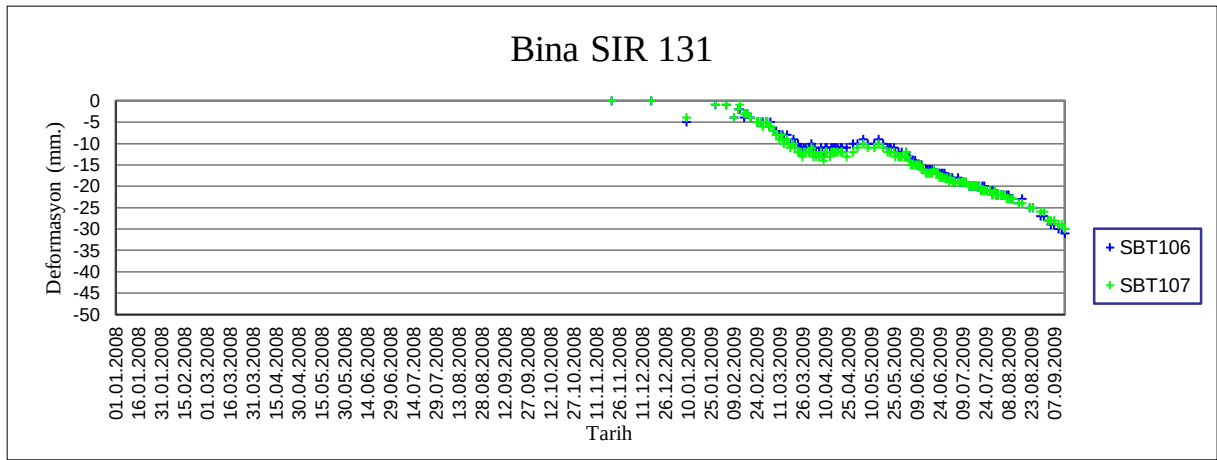
Şekil G.2: SIR 128 numaralı binanın yüzey oturmaları.



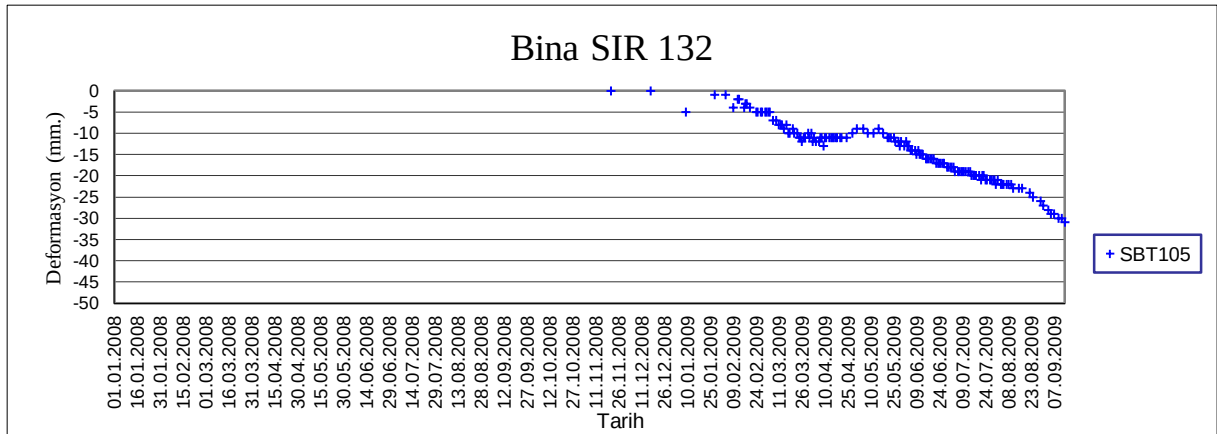
Şekil G.3: SIR 129 numaralı binanın yüzey oturmaları.



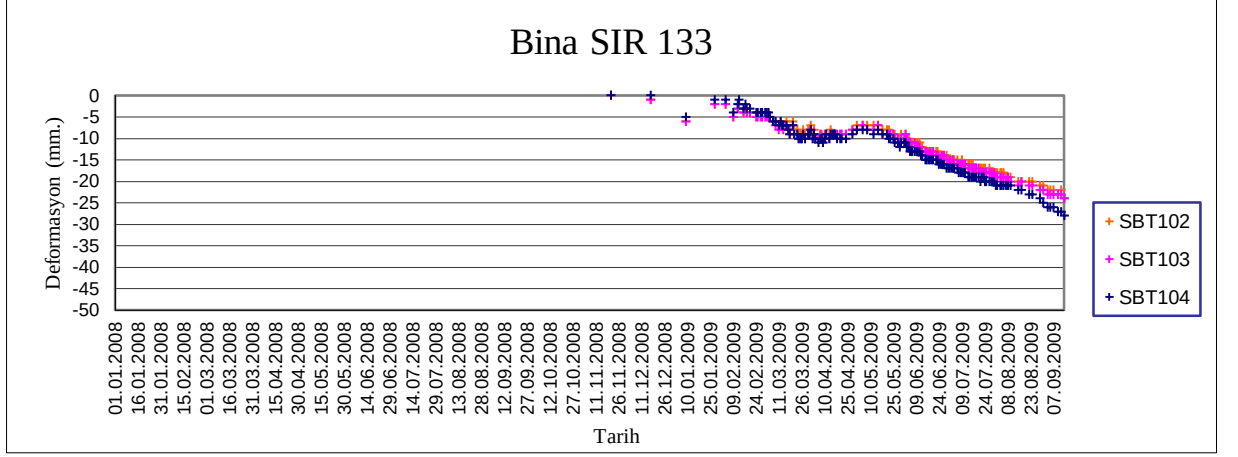
Şekil G.4: SIR 130 numaralı binanın yüzey oturmaları.



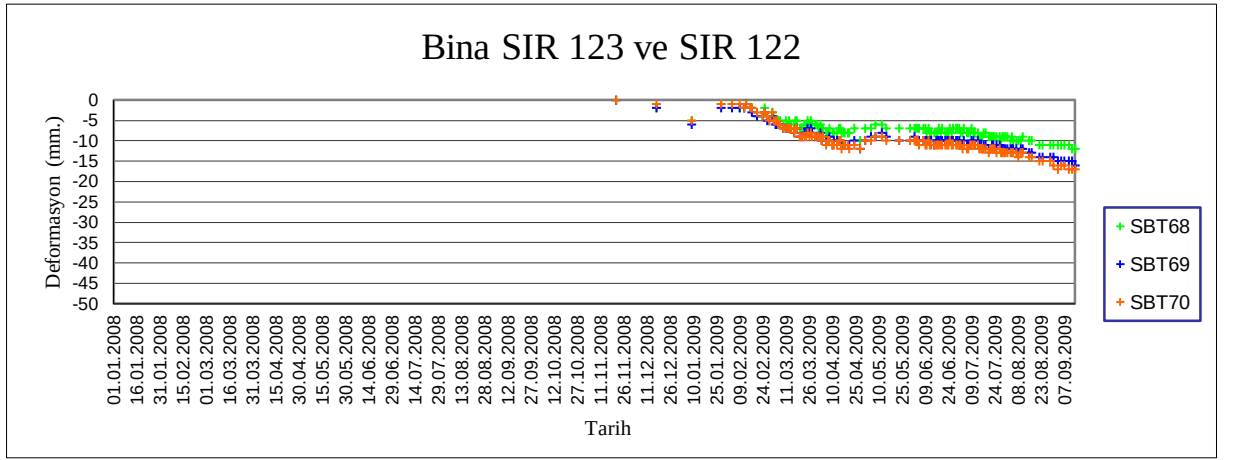
Şekil G.5: SIR 131 numaralı binanın yüzey oturmaları.



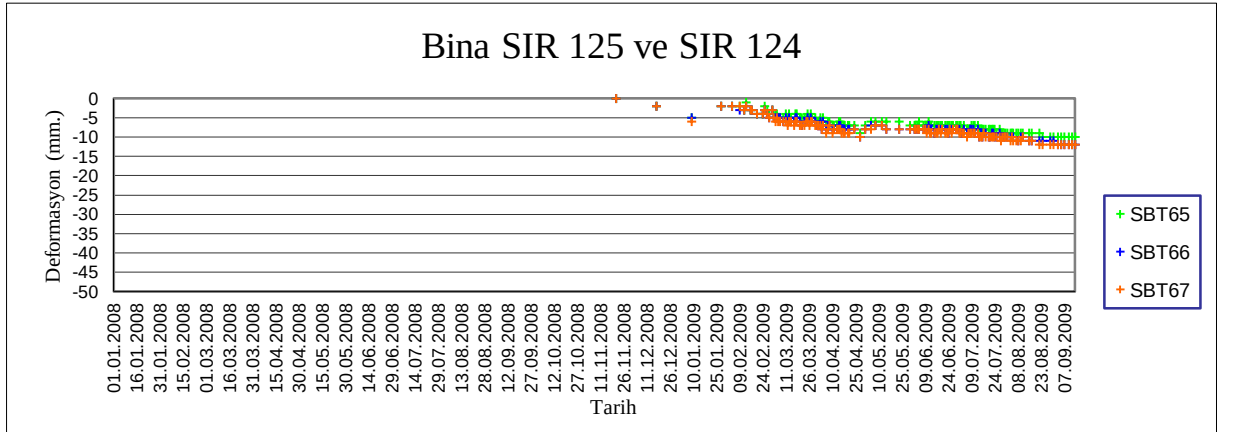
Şekil G.6: SIR 132 numaralı binanın yüzey oturmaları.



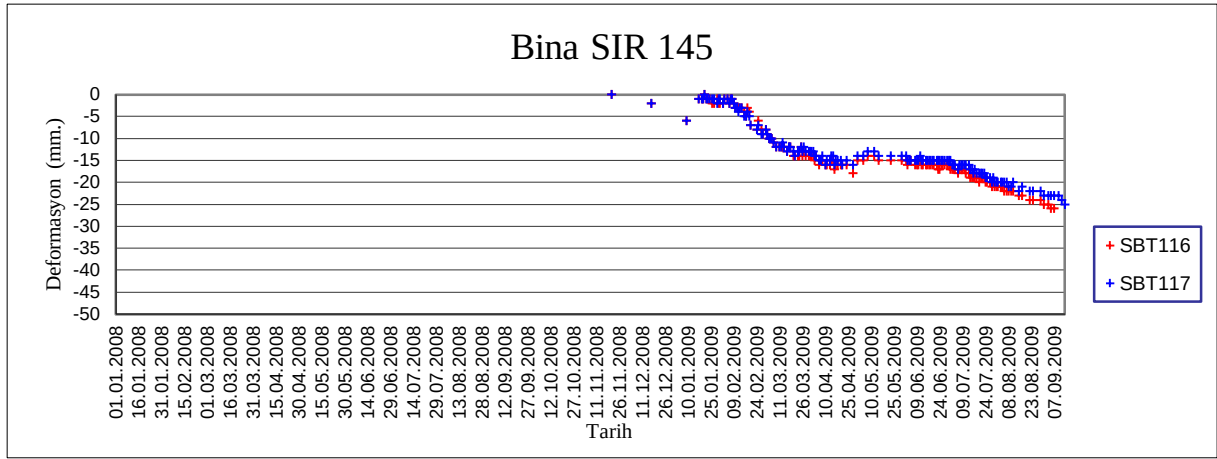
Şekil G.7: SIR 133 numaralı binanın yüzey oturmaları.



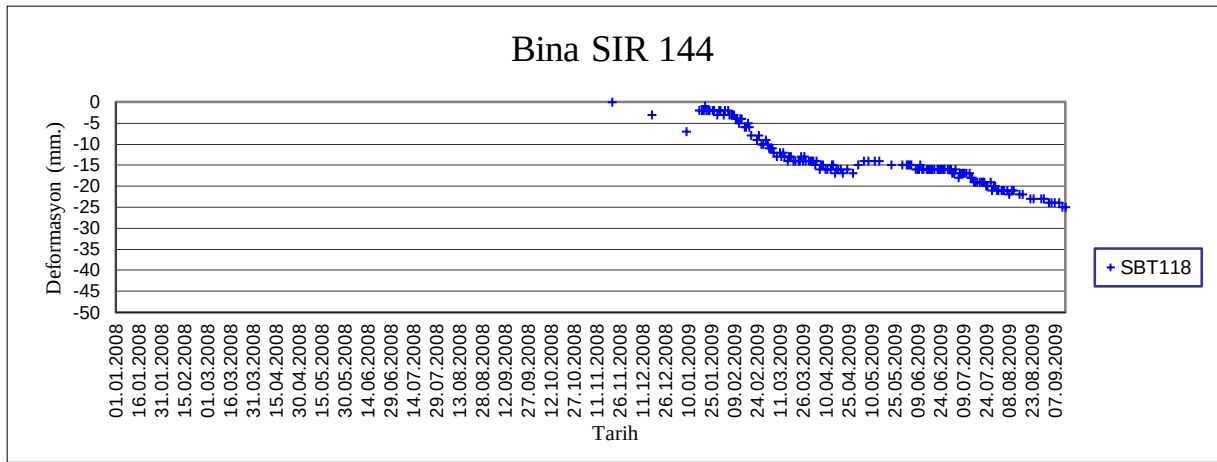
Şekil G.8: SIR 123 ve SIR 122 numaralı binaların yüzey oturmaları.



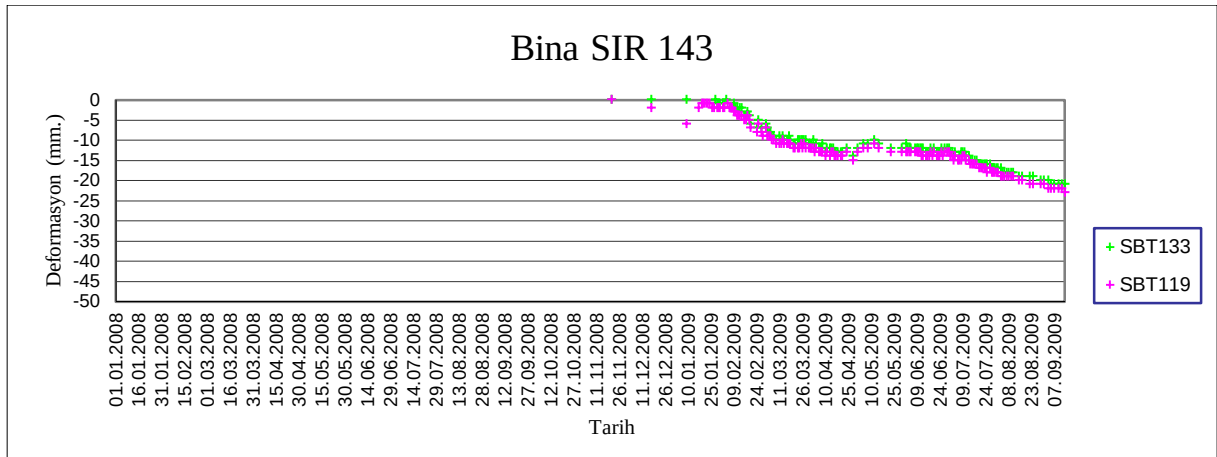
Şekil G.9: SIR 125 ve SIR 124 numaralı binaların yüzey oturmaları.



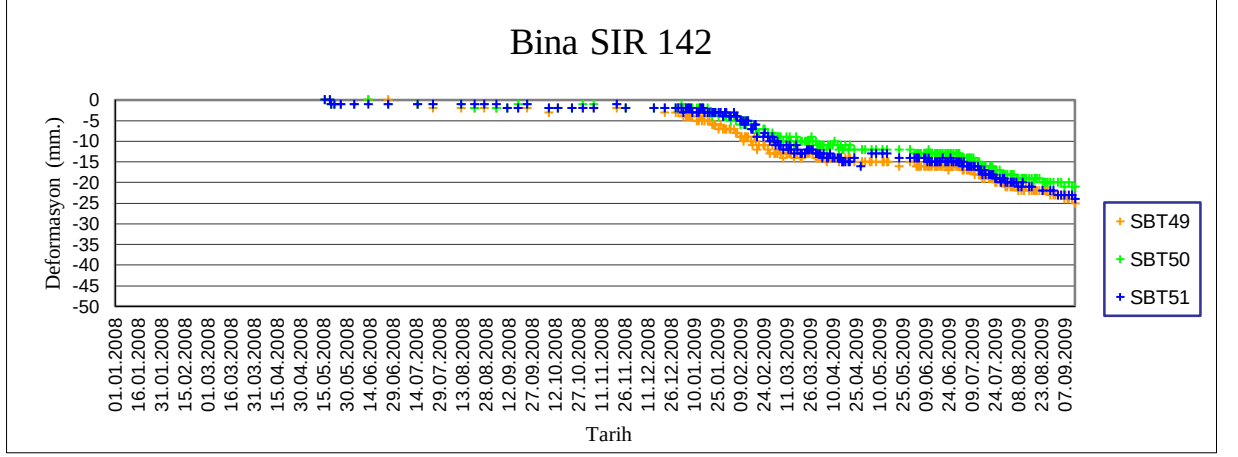
Şekil G.10: SIR 145 numaralı binanın yüzey oturmaları.



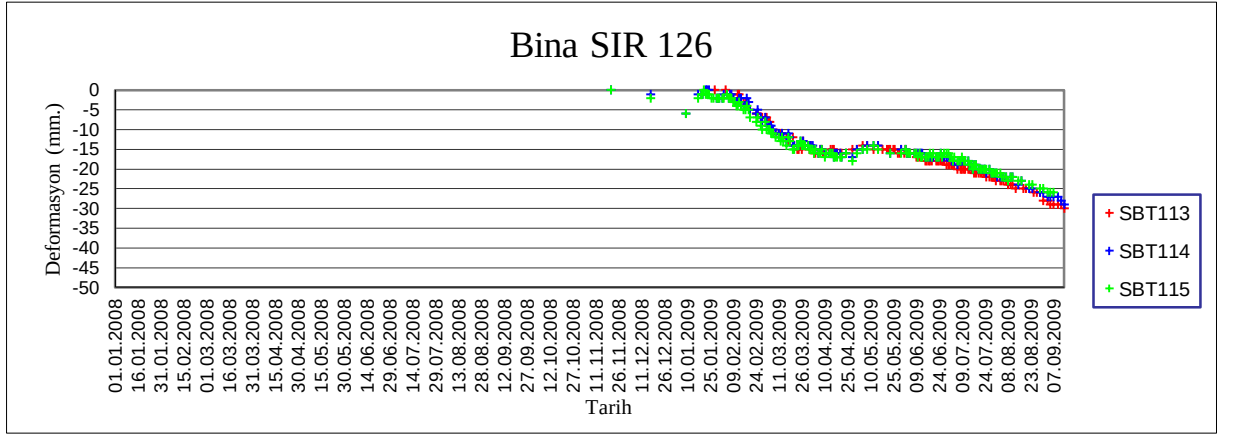
Şekil G.11: SIR 144 numaralı binanın yüzey oturmaları.



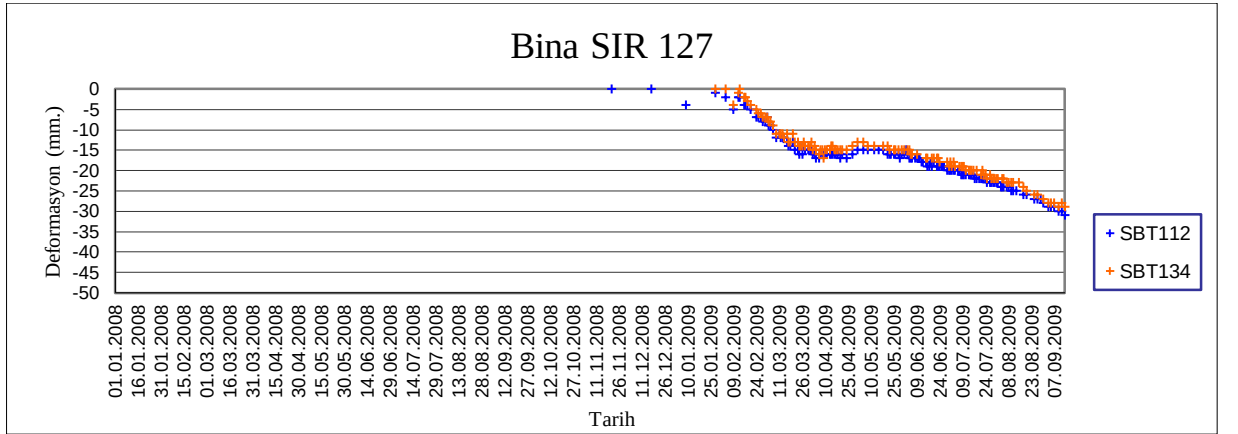
Şekil G.12: SIR 143 numaralı binanın yüzey oturmaları.



Şekil G.13: SIR 142 numaralı binanın yüzey oturmaları.

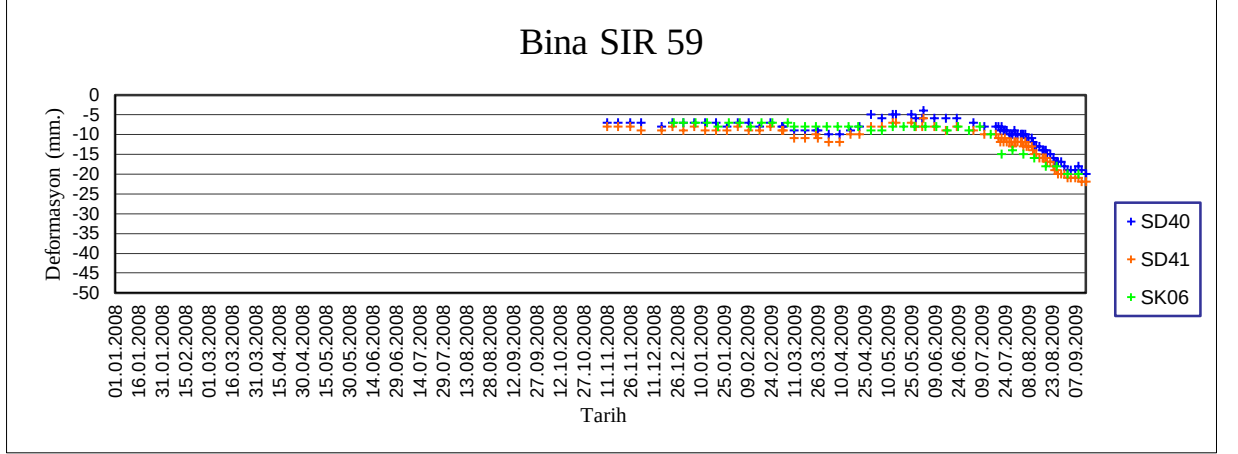


Şekil G.14: SIR 126 numaralı binanın yüzey oturmaları.

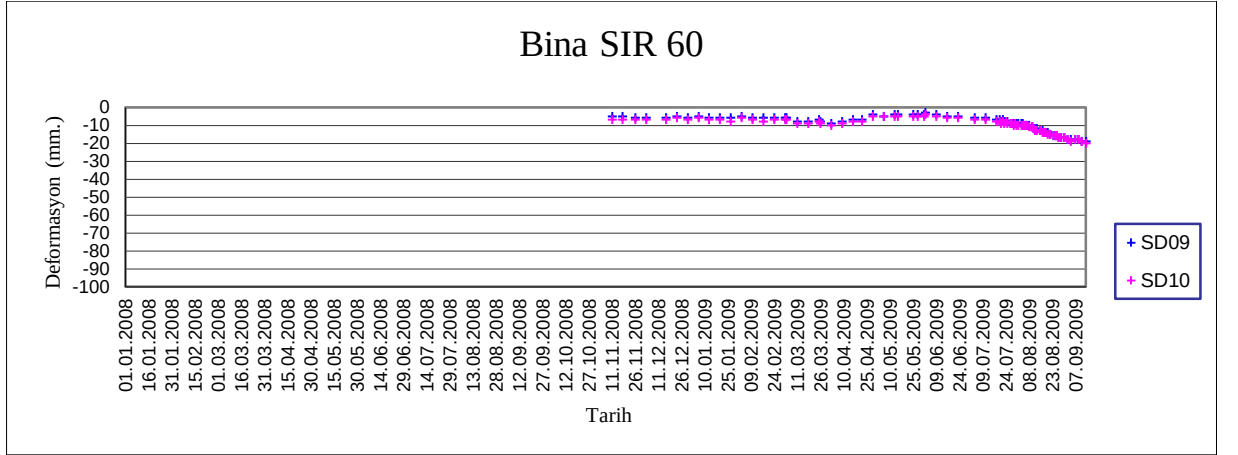


Şekil G.15: SIR 127 numaralı binanın yüzey oturmaları.

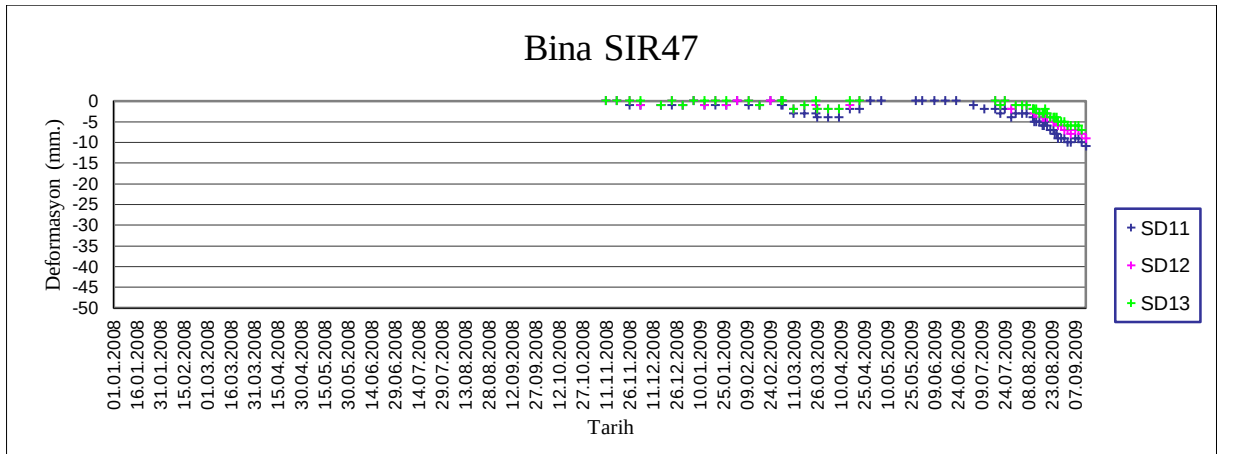
EK H



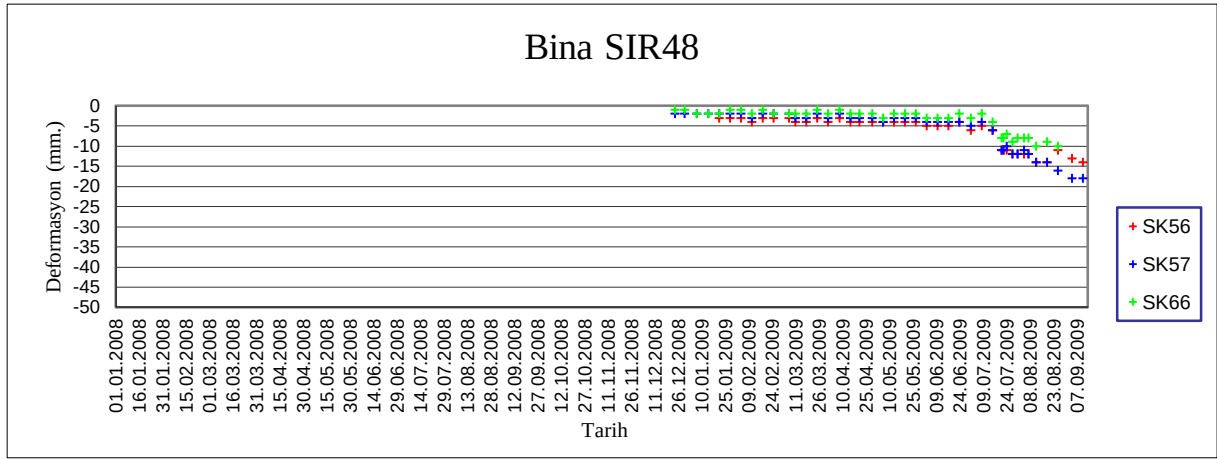
Şekil H.1: SIR 59 numaralı binanın yüzey oturmaları.



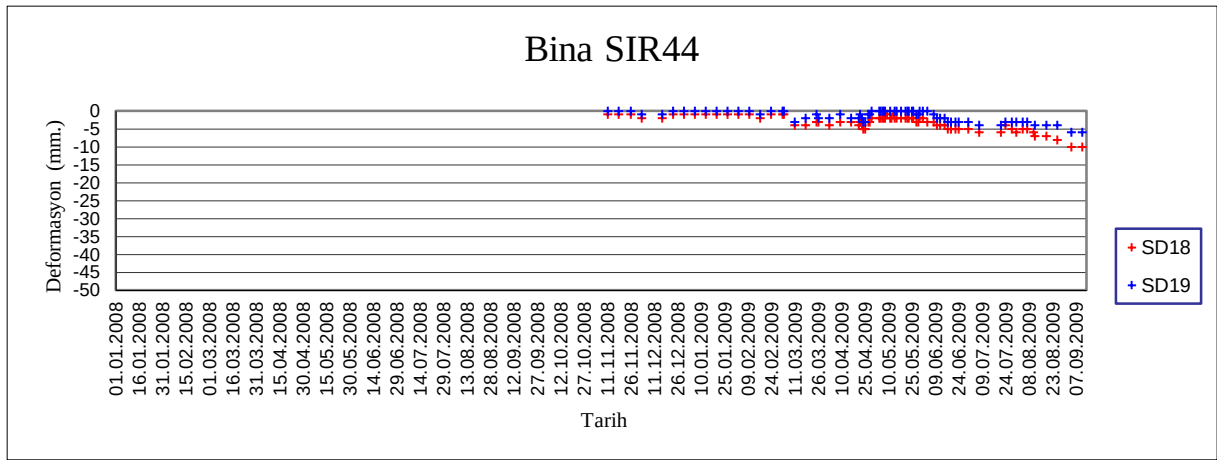
Şekil H.2: SIR 60 numaralı binanın yüzey oturmaları.



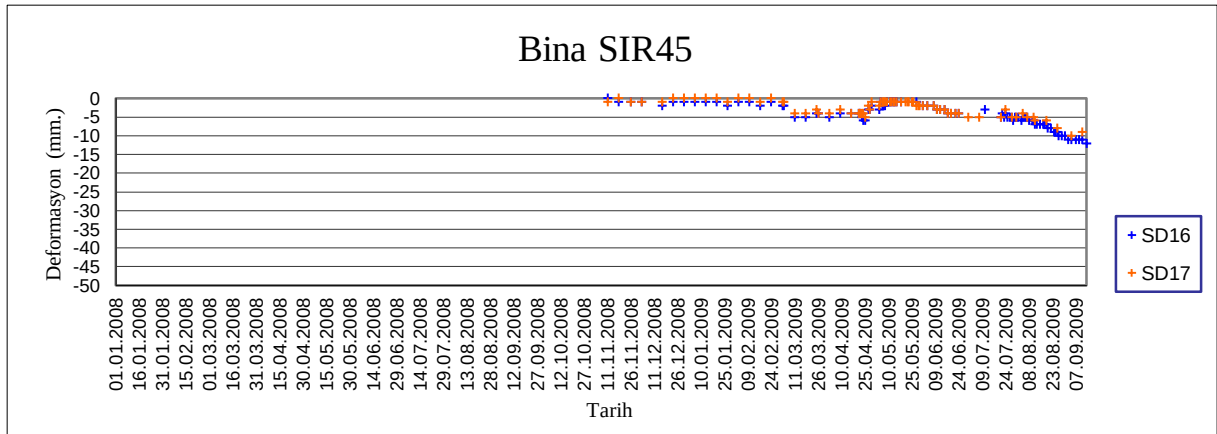
Şekil H.3: SIR 47 numaralı binanın yüzey oturmaları.



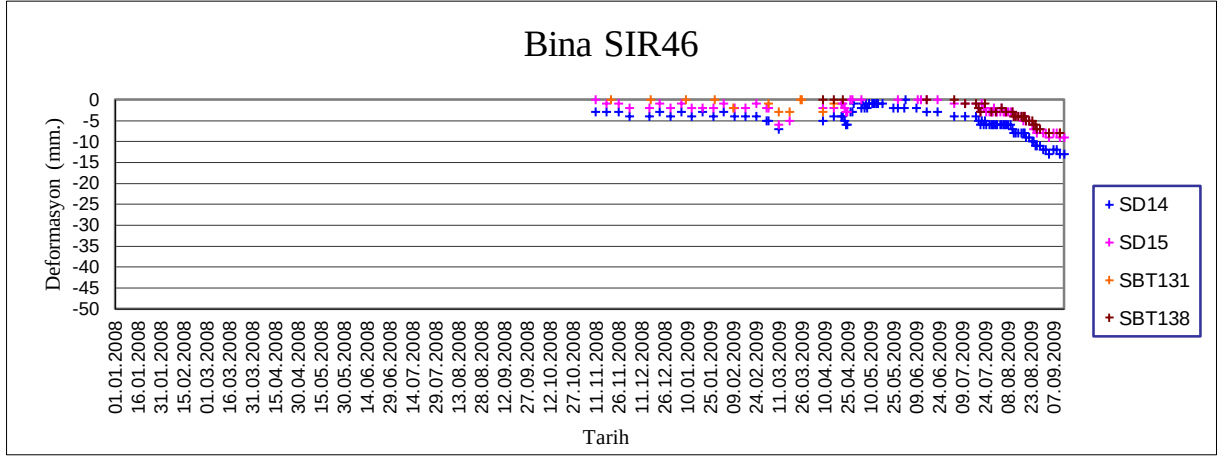
Şekil H.4: SIR 48 numaralı binanın yüzey oturmaları.



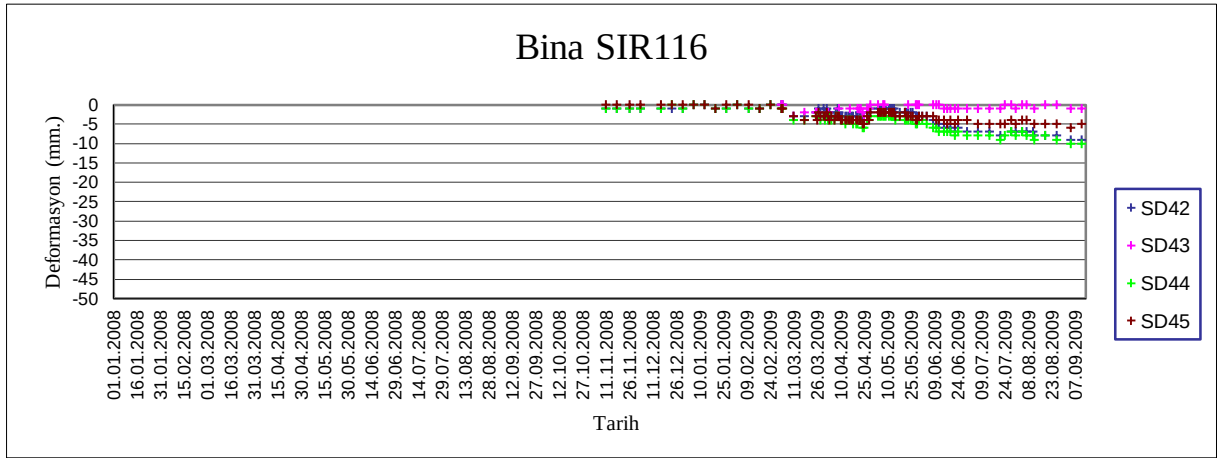
Şekil H.5: SIR 44 numaralı binanın yüzey oturmaları.



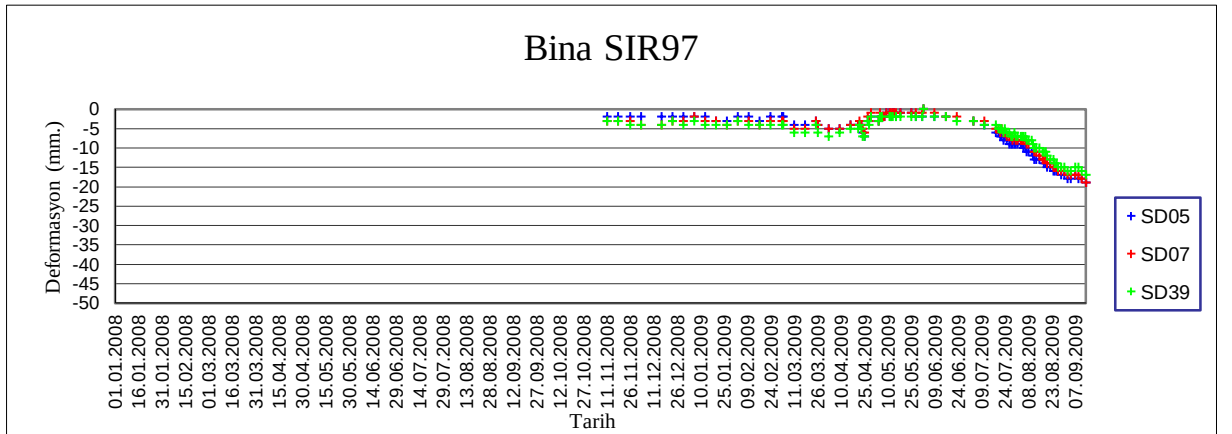
Şekil H.6: SIR 45 numaralı binanın yüzey oturmaları.



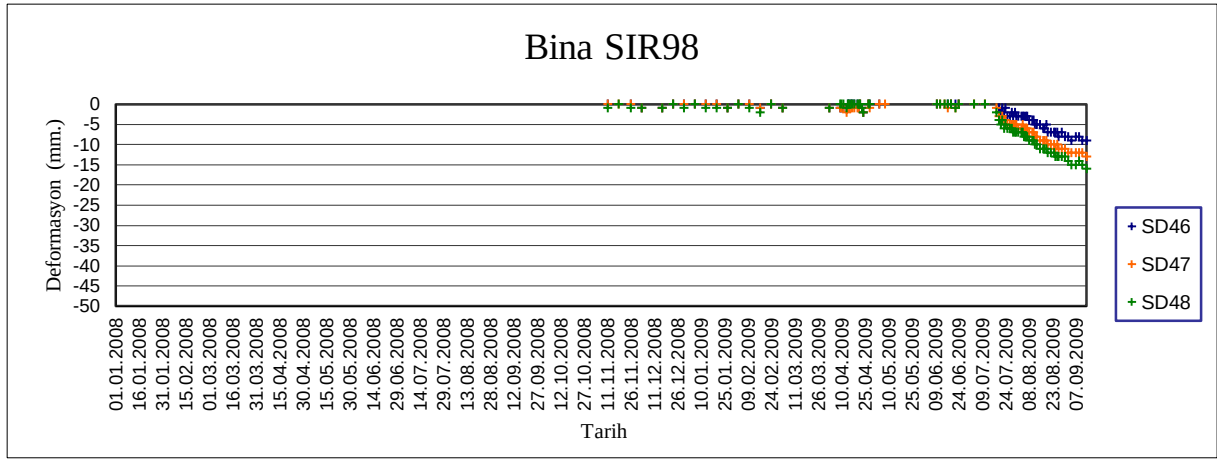
Şekil H.7: SIR 46 numaralı binanın yüzey oturmaları.



Şekil H.8: SIR 116 numaralı binanın yüzey oturmaları.



Şekil H.9: SIR 97 numaralı binanın yüzey oturmaları.



Şekil H.10: SIR 98 numaralı binanın yüzey oturmaları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Candaş TOPAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 21.06.1982 İstanbul
E-posta : candastopal@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **2013 – Devam BORDRILL Sondaj Müteahhitliği ve Ticaret A.Ş**
Görev : Proje Müdürü
- **2010 -2013 GAMA Güç Sistemleri Mühendislik ve Taahhüt A.Ş**
Görev: Sondaj Süpervizörü
İş Tanımı: Ürdünde gerçekleştirilen Disi – Amman Su Taşıma Projesinde sondaj süpervizörlüğü. 55 adet derin su kuyusu ve 9, adet gözlem kuyusu açılmıştır.
- **2008 -2010 TAISEI Corporation**
Görev : Jeoloji Mühendisi
İş Tanımı: Marmara Projesi kapsamında açılan Sirkeci İstasyon Tünellerinin jeolojik ve jeoteknik incelemesi, jeoteknik ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi,tünel içi ve yüzey deformasyonlarının takibi ve analizi, tünel ayna haritalaması faaliyetleri çalışma süresince gerçekleştirilmiştir.