



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MECİDİYEKÖY-MAHMUTBEY METROSU TBM
GÜZERGAHLARINDAKİ ZEMİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ
İLE YÜZEY DEFORMASYONLARININ İLİŞKİSİ**

Tülay ÇİNAR

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ**

Aralık, 2016

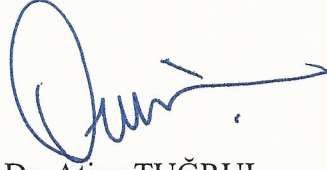
İSTANBUL

Bu çalışma 29.12.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Atiye TUĞRUL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Hayrettin KORAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca çalışmalarımnda bana yardımcı olan ve her türlü katkıyı sunan tez danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ'a

Tezimin hazırlanması sırasında gerekli her türlü bilgiyi ve yardımı benden esirgmeden paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Gökhan ASLANTAŞ'a

Çalışmam sırasında bana yol gösteren ve değerli zamanlarını benimle paylaşan Jeoloji Mühendisi Serhat SEVİMLİ'ye

Değerli katkılarından dolayı Sayın Jüri Üyeleri'ne

Tezimin başlangıç aşamasında gerekli tüm kolaylıkları gösteren İBB Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü'nden Maden Mühendisi Yasin YEŞİLDAĞ ve Personel Şefi İbrahim YALÇINKAYA'ya

Varlıklarıyla bana güç veren sevgili arkadaşlarım Arzu, Asuman, Burak, Cavit, Derya, Duygu, Ebru, Fatih, Hasancan, İbrahim, İhsan, Manolya, Saygın, Seda ve Taylan'a

Bu çalışmada fikirleri ve yaklaşımlarıyla beni yönlendiren, sabırla destek olan sevgili arkadaşım Ufuk ÇATALKAYA'ya

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, yaptığım tüm çalışmalarda beni destekleyen, her zaman yanımda olan aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını yarınların umudu olacağına inandığım canım yeğenlerim Işık Deniz, Meliz Ada ve Zeynep Duru'ya ithaf ediyorum.

Aralık 2016

Tülay ÇİNAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	xiv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET.....	xviii
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ.....	1
1.1. PROJENİN TANITILMASI.....	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	5
1.3. ÇALIŞMA ALANININ KONUMU.....	5
2. GENEL KISIMLAR	7
2.1. TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ	7
2.1.1. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM).....	8
2.1.2. Tünel Açma Makineleri (TBM) İle Tünel Açma Yöntemi.....	8
2.1.2.1. Kazı sistemi	9
2.1.2.2. İtme ve Tutunma Sistemi	10
2.1.2.3. Pasa Toplama ve Taşıma Sistemi.....	10
2.1.2.4. Destekleme (Tahkimat) Sistemi	11
2.1.3. EPB TBM İle Tünel Açılması.....	12
2.1.4. TBM Kullanımının Olumlu Yönleri	16
2.1.5. TBM Kullanımının Olumsuz Yönleri	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	17
3.1. MEKANİK SONDAJ	18
3.1.1. Arazi Testleri.....	18
3.1.1.1. Standart Penetrasyon Testi	18
3.1.1.2. Presiyometre Deneyi	19
3.1.1.3. Basıncılı Su Testi.....	19

3.1.1.4. RQD ve TCR Değerleri	20
3.1.2. Laboratuvar Testleri	20
3.1.2.1. Nokta Yükleme Deneyleri	20
3.1.2.2. Tek Eksenli Basınç Deneyi	21
3.1.2.3. Su Muhtevası	23
3.1.2.4. Elek Analizi	23
3.1.2.5. Hidrometre Analizi	23
3.1.2.6. Kıvam Limitleri	23
3.1.3. Kaya Birimlerin Tünelcilik Açısından Sınıflandırılması	26
3.2. JEOTEKNİK ÖLÇÜMLER	27
3.2.1. Presizyonlu Geometrik Nivelman Yöntemi	27
3.2.1.1. Bina Oturma Bulonları Ölçümleri	28
3.2.1.2. Yüzey Oturma Bulonları Ölçümleri	29
3.2.2. Jeodezik Kontrol Ağı Yöntemi	30
3.2.2.1. Bina Yatay Deplasman Reflektörü Ölçümleri	31
3.3. TÜNEL KAZILARINA BAĞLI GELİŞEN YÜZEY OTURMALARI	33
3.4. OTURMALARLA İLGİLİ TEKNİK ŞARTNAME GEREKLERİ	34
3.4. ZEMİN ENJEKSİYONU	36
3.5. EPB AYNA BASINCI HESABI	37
4. BULGULAR	39
4.1. JEOLJİ	39
4.1.1. Önceki Çalışmalar	39
4.1.2. Genel Jeoloji	40
4.1.3. İnceleme Alanının Stratigrafisi	42
4.1.3.1. Trakya Formasyonu (Ct)	43
4.1.3.2. Çukurçeşme Formasyonu (Tç)	45
4.1.3.3. Güngören Formasyonu (Tg)	47
4.1.3.4. Kuşdili Formasyonu	49
4.1.3.5. Yapay Dolgu	50
4.1.4. Yapısal Jeoloji	50
4.1.5. Depremsellik	51
4.1.6. Hidrojeoloji	54
4.1.6.1. İklim ve Bitki Örtüsü	54
4.1.6.2. Yüzeysel Su Kaynakları	55

4.1.6.3. Jeohidrolik Ortamlar.....	55
4.2. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ DEĞERLENDİRMELERİ.....	56
4.2.1. Mekanik Sondaj Bulguları	56
4.2.2. İncelenen Güzergahta Yapılan Arazi Testleri.....	59
4.2.2.1. Standart Penetrasyon Test Sonuçları.....	59
4.2.2.2. Pressiometre Deney Sonuçları.....	61
4.2.2.3. Basıncılı Su Testleri Sonuçları (BST, Paker Testi)	63
4.2.2.4. RQD ve TCR Değerleri	64
4.2.3. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deney Sonuçları.....	64
4.2.4. Zemin Mekaniği Laboratuvar Deney Sonuçları.....	66
4.2.4.1. Su Muhtevası Sonuçları.....	66
4.2.4.2. Elek Analizi Sonuçları.....	69
4.2.4.3. Hidrometre Analizi Sonuçları	69
4.2.4.4. Kıvam Limitleri Analizi Sonuçları.....	69
4.2.5. RMR Kaya Kütle Sınıflaması Sonuçları	73
4.2.6. İncelenen Hat Üzerindeki Birimlerin Projelendirme Parametreleri.....	73
4.3. JEOTEKNİK ÖLÇÜM DEĞERLENDİRMELERİ	74
4.3.1. Trakya Formasyonu'nda Yüzey Deformasyonlarının İncelenmesi	75
4.3.2. Trakya-Güngören Formasyonları Arası Sınır Bölgesinde Yüzey Deformasyonlarının İncelenmesi	82
4.3.3. Güngören Formasyonu'nda Yüzey Deformasyonlarının İncelenmesi.....	84
4.3.4. Güngören-Çukurçeşme Formasyonları Arası Sınır Bölgesinde Yüzey Deformasyonlarının İncelenmesi	91
4.3.5. Çukurçeşme Formasyonu'nda Yüzey Deformasyonlarının İncelenmesi.....	94
4.3.6. Çukurçeşme-Trakya Formasyonları Arası Sınır Bölgesinde Yüzey Deformasyonlarının İncelenmesi	100
4.4. TÜNEL KAZILARINA BAĞLI GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARIN HESAPLANMASI.....	102
4.5. YENİMAHALLE-KARADENİZ İSTASYONLARI ARASI GÜZERGAHTA YAPILAN ENJEKSİYON ÇALIŞMALARI	105
4.6. YENİMAHALLE-KARADENİZ İSTASYONLARI ARASI GÜZERGAHTA YERALAN BİRİMLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ VE YÜZEY DEFORMASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	107
4.6.1. Trakya Formasyonu'ndaki Oturmaların Yorumlanması.....	107
4.6.2. Trakya-Güngören Formasyonları Arası Sınır Bölgedeki Oturmaların Yorumlanması	109
4.6.3. Güngören Formasyonu'ndaki Oturmaların Yorumlanması	111

4.6.4. Güngören-Çukurçeşme Formasyonları Arası Sınır Bölgedeki Oturmaların Yorumlanması	113
4.6.5. Çukurçeşme Formasyonu'ndaki Oturmaların Yorumlanması	115
4.6.5. Çukurçeşme-Trakya Formasyonları Arası Sınır Bölgedeki Oturmaların Yorumlanması	117
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	122
KAYNAKLAR	125
EKLER.....	129
ÖZGEÇMİŞ.....	159



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: İnceleme alanı yer bulduru haritası.	3
Şekil 1.2: Mecidiyeköy-Mahmutbey metro hattı genel yerleşim planı ve istasyonlar.	4
Şekil 1.3: Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası hat.	6
Şekil 2.1: Zemin dane boyutuna göre kullanılan makine tipi.	7
Şekil 2.2: TBM'in ana unsurları (Zhao, 2009).	9
Şekil 2.3: Kesici kafa yapısı (Herrenknecht, 2012).	9
Şekil 2.4: Kazılan malzemeyi taşıyıcı vagonlara aktaran taşıyıcı bant.....	13
Şekil 2.5: TBM için kullanılan segmentler.	13
Şekil 2.6: Sol hattın açımında kullanılan Lovat marka TBM.	15
Şekil 2.7: Sağ hattın açımında kullanılan Herrenknecht marka TBM.	15
Şekil 3.1: Nokta yükleme deneyi.	21
Şekil 3.2: Eksenli Basınç altında kayalarda görülen kırılma şekilleri.	22
Şekil 3.3: Güzergah üzerinde mevcut bir binaya yerleştirilen bina otuma bulonu (BB).....	28
Şekil 3.4: Güzergah üzerinde bulunan bina otuma bulonu (BB) ölçümü.	29
Şekil 3.5: Güzergah üzerinde asfalt üzerine yerleştirilen yüzey otuma bulonu (SMP- Y).	29
Şekil 3.6: Güzergah üzerinde bulunan yüzey otuma bulonu (SMP-Y) ölçümü.	30
Şekil 3.7: Güzergah üzerinde bulunan binalara ait bina yatay deplasman reflektörü ölçüm noktalarının konumu.	32
Şekil 3.8: Güzergah üzerinde bulunan reflektör (BMP-R) ölçümü.	32
Şekil 3.9: Tek tüplü tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanına ait tipi profil.....	33
Şekil 3.10: Kritik durum değerlendirmeleri.	35

Şekil 3.11: Tünel kazısından kaynaklanan oturma tasarımı.	35
Şekil 3.12: Enjeksiyon sisteminin sistematik gösterimi.	36
Şekil 3.13: Kabul edilen kayma mekanizması.	37
Şekil 4.1: İnceleme alanının bulunduğu bölgenin jeoloji haritası (İBB-İstanbul'un Jeolojisi Çalışmaları).....	41
Şekil 4.2: İnceleme alanı ve yakın civarının ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti.....	42
Şekil 4.3: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Trakya Formasyonu'na ait km 15+507,526 ayna görüntüsü.	44
Şekil 4.4: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Trakya Formasyonu'na ait km 16+837,107 ayna görüntüsü.	44
Şekil 4.5: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Çukurçeşme Formasyonu'na ait km 16+157,130 ayna görüntüsü.	46
Şekil 4.6: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Çukurçeşme Formasyonu'na ait km 16+312,460 ayna görüntüsü.	46
Şekil 4.7: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Güngören Formasyonu'na ait km 15+762,280 ayna görüntüsü.	48
Şekil 4.8: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Güngören Formasyonu'na ait km 16+985,435 ayna görüntüsü.	48
Şekil 4.9: Mecidiyeköy-Mahmutbey metro çalışmasında gözlenen yapay dolgu (yamaç molozu, çakıl, kum).	50
Şekil 4.10: Deprem kaynağı Kuzey Anadolu Fayının (KAF) Marmara Denizi içindeki konumu.	53
Şekil 4.11: İstanbul ili deprem bölgeleri haritası.	53
Şekil 4.12: Güzergahta gözlenen Güngören killeri N_{30} değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.	60
Şekil 4.13: Güzergahta gözlenen Çukurçeşme kumları N_{30} değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.	60
Şekil 4.14: Güzergahta gözlenen Trakya kumtaşlarının Pressiometre değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.	61
Şekil 4.15: Güzergahta gözlenen Güngören killerin Pressiometre değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.	62
Şekil 4.16: Güzergahta gözlenen Çukurçeşme kumlarının Pressiometre değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.	62

Şekil 4.17: Kaya numunelere ait lugeon test değerlerinin derinlikle değişimi.	63
Şekil 4.18: İnceleme alanında gözlenen Trakya Formasyonu'na ait RQD değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.	64
Şekil 4.19: Kohezyonlu birimlere ait su muhtevası değerlerinin derinlikle değişimi.	69
Şekil 4.20: Numunelerin plastisite kartı diyagramı üzerindeki yerleri.	70
Şekil 4.21: Likit limit ve derinlik ilişkisi.	70
Şekil 4.22: Plastisite indisi ve likit limit ilişkisi.	71
Şekil 4.23: Kıvamlılık indisi ve derinlik ilişkisi.	72
Şekil 4.24: Sıkışma indisi ve derinlik ilişkisi.	72
Şekil 4.25: Km 15+500-15+640 (Trakya Formasyonu) arası yerleştirilen BB ve SMP (Y) noktaları.	75
Şekil 4.26: Trakya Formasyonu km 15+500-15+640 aralığı tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	76
Şekil 4.27: BB-13 (Bina Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	76
Şekil 4.28: Trakya Formasyonu km 15+500-15+660 aralığı tünel hattı boyunca Y (SMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	77
Şekil 4.29: Y-08 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	77
Şekil 4.30: Km 16+700-16+980 (Trakya Formasyonu) arası yerleştirilen BB, Y (SMP) ve R (BMP) noktaları.	78
Şekil 4.31: Trakya Formasyonu km 16+700-16+980 aralığı tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	79
Şekil 4.32: B-170 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	79
Şekil 4.33: Trakya Formasyonu km 16+700-16+980 aralığı tünel hattı boyunca SMP noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	80
Şekil 4.34: SMP 159 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	80
Şekil 4.35: Trakya Formasyonu km 16+700-16+980 aralığı tünel hattı boyunca R noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	81
Şekil 4.36: R-475 (Bina yatay deplasman reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.	81
Şekil 4.37: Km 15+640 (Trakya-Güngören Formasyonu arası sınır)'da yerleştirilen Y (SMP) noktaları.	82

Şekil 4.38: Trakya-Güngören Formasyonu arası sınır km 15+640 tünel hattı boyunca Y (SMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.....	83
Şekil 4.39: Y-20 (yüzey oturma bulonu) ve TBM'lerin hareketi.	83
Şekil 4.40: Km 15+640-16+070 (Güngören Formasyonu) arası yerleştirilen BB, SMP (Y) ve BMP (R) noktaları.	84
Şekil 4.41: Güngören Formasyonu km 15+640-16+070 aralığı tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.....	85
Şekil 4.42: B-54 (Bina Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	85
Şekil 4.43: Güngören Formasyonu km 15+640-16+070 aralığı tünel hattı boyunca SMP (Y) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	86
Şekil 4.44: Y-42 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	86
Şekil 4.45: Güngören Formasyonu km 15+640-16+070 aralığı tünel hattı boyunca BMP (R) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	87
Şekil 4.46: R-04 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.	87
Şekil 4.47: 16+980-17+085 (Güngören Formasyonu) arası yerleştirilen Y ve R noktaları.	88
Şekil 4.48: Güngören Formasyonu km 16+980-17+085 aralığı tünel hattı boyunca Y noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	89
Şekil 4.49: Y-128 (Yüzey Oturma Bulonu) ve TBM'lerin hareketi.....	89
Şekil 4.50: Güngören Formasyonu km 16+980-17+085 aralığı tünel hattı boyunca R noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	90
Şekil 4.51: R-470 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.	90
Şekil 4.52: Km 16+070 (Güngören-Çukurçeşme Formasyonu arası sınır)'da yerleştirilen BB, SMP (Y) noktaları.	91
Şekil 4.53: Güngören-Çukurçeşme Formasyonu arası sınır km 16+070 tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	92
Şekil 4.54: BB-78 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	92
Şekil 4.55: Güngören-Çukurçeşme Formasyonu arası sınır km 16+070 tünel hattı boyunca Y noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	93
Şekil 4.56: Y-66 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	93
Şekil 4.57: Km 16+070-16+700 (Çukurçeşme Formasyonu) arası yerleştirilen Y ve BB noktaları.	94

Şekil 4.58: Çukurçeşme Formasyonu km 16+070-16+700 tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.....	95
Şekil 4.59: B-148 (Bina Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	95
Şekil 4.60: Çukurçeşme Formasyonu km 16+070-16+700 tünel hattı boyunca Y(SMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.	96
Şekil 4.61: Y-144 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.	96
Şekil 4.62: Km 16+070-16+700 (Çukurçeşme Formasyonu) arası yerleştirilen Y ve R noktaları.....	98
Şekil 4.63: Çukurçeşme Formasyonu km 16+070-16+700 tünel hattı boyunca R (BMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.....	99
Şekil 4.64: R-59 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.	99
Şekil 4.65: Km 16+720 (Çukurçeşme-Trakya Formasyonu arası sınır)'da yerleştirilen R (BMP) noktaları.....	100
Şekil 4.66: Çukurçeşme-Trakya Formasyonu arası sınır km 16+720 tünel hattı boyunca R (BMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.....	101
Şekil 4.67: R-59 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.	101
Şekil 4.68: Trakya Formasyonu'nda gözlenen yüzey deformasyon eğrisi.	103
Şekil 4.69: Güngören Formasyonu'nda gözlenen yüzey deformasyon eğrisi.	103
Şekil 4.70: Çukurçeşme Formasyonu'nda gözlenen yüzey deformasyon eğrisi.	104
Şekil 4.71: Km 16+250 civarında gerçekleştirilen bina altı enjeksiyon çalışmaları...	106
Şekil 4.72: Km 16+500 civarında gerçekleştirilen bina altı enjeksiyon çalışmaları...	106
Şekil 4.73: Bina oturma bulonlarında yapılan ölçümlere göre güzergahta geçilen formasyonlarda belirlenen oturmalar.	119
Şekil 4.74: Yüzey oturma bulonlarında yapılan ölçümlere göre güzergahta geçilen formasyonlarda belirlenen oturmalar.	119
Şekil 4.75: Bina yatay deplasman reflektörlerinde yapılan ölçümlere göre güzergahta geçilen formasyonlarda belirlenen oturmalar.	120
Şekil 4.76: Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası jeolojik formasyon-yüzey deformasyon ilişkisi.	121

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Herrenknecht ve Lovat marka EPB-TBM makinelerinin teknik özellikleri.	16
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan veri toplama yöntemi.	18
Tablo 3.2: N ₃₀ değerlerinin ince daneli ve iri daneli birimlerdeki değerleri (Terzaghi ve Peck, 1968).	19
Tablo 3.3: Kayaçların Lugeon yöntemine göre geçirimsizlik sınıflaması.....	20
Tablo 3.4: Kaya kalite sınıflaması (Deere, 1968).....	20
Tablo 3.5: Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1975).	21
Tablo 3.6: Kayaçların tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılması (Deer ve Miller, 1966).	23
Tablo 3.7: Plastisite derecesinin plastisite indisine göre sınıflandırılması (Leonards, G.A.,1972).....	25
Tablo 3.8: İnce taneli zeminlerin kıvamlılık indeksine göre sınıflandırılması.....	25
Tablo 3.9: İnce taneli zeminlerin sıkışma indeksine göre sınıflandırılması (Sowers, G.F., 1979).	26
Tablo 3.10: Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli (Chen, 1965).	26
Tablo 3.11: Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası için hesaplanan EPB ayna basınçları.	38
Tablo 4.1: İstanbul iline ait uzun yıllar (1954 – 2013) içinde gerçekleşen meteorolojik veriler (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi Web Sayfası).	54
Tablo 4.2: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası hat üzerinde yapılan sondajlar.	57
Tablo 4.3: İnceleme alanında yer alan birimler üzerinde yapılan arazi-laboratuvar deney ve ölçümleri.	58
Tablo 4.4: Formasyonlara göre SPT sonuçları toplu tablosu.	59
Tablo 4.5: Formasyonlara göre Pressiometre deneyi sonuçları toplu tablosu.	61

Tablo 4.6: Güzergahta yer alan kaya ayrışma seviyelerine göre elde edilmiş ortalama geçirimsizlik değerleri.....	63
Tablo 4.7: Kaya numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme ve tek eksenli basınç deneyleri sonuçları.....	65
Tablo 4.8: İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan zeminlerin fiziksel özellikleri.....	67
Tablo 4.9: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergahta kaya kesimlerine ait kaya kütle sınıflaması.....	73
Tablo 4.10: Tünel güzergahında yer alan zemin-kaya birimlere ait projelendirme parametreleri.....	74
Tablo 4.11: Trakya Formasyonu'nda meydana gelen oturma değerleri.....	108
Tablo 4.12: Trakya-Güngören Formasyonları arası sınır bölgede meydana gelen oturma değerleri.....	110
Tablo 4.13: Güngören Formasyonu'nda meydana gelen oturma değerleri.....	113
Tablo 4.14: Güngören-Çukurçeşme Formasyonları arası sınır bölgede meydana gelen oturma değerleri.....	115
Tablo 4.15: Çukurçeşme Formasyonu'nda meydana gelen oturma değerleri.....	116
Tablo 4.16: Çukurçeşme-Trakya Formasyonları arası sınır bölgede meydana gelen oturma değerleri.....	118

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
B_a	: Basınç Dayanımı
C_t	: Trakya Formasyonu
d	: Örnek Kalınlığı
D	: Tünelin Eşdeğer Çapı
E_P	: Elastik Modül
E_y	: Yerinde Elastisite Modülü
G_s	: Özgül Ağırlık
h	: İki BMP (R) arasındaki yükseklik
I_{s50}	: Nokta Yüğü Dayanımı İndeksi
N_{30}	: Son iki 15 cm çakma işlemi için gerekli vuruş sayısı
P	: Noktasal Yüğü
P_{ek}	: Yapı veya Trafik Yüğünden Kaynaklanan İlave Yüğü Miktarı
P_o	: Zemin İçsel Basıncı
q_u	: Tek Eksenli Basınç Direnci
S_{maks}	: Maksimum Yüzey Tasmanı
$\tan \phi$: Binalarda gerçekleşen açısal bozulma değeri
$T_{çç}$: Çukurçesme Formasyonu
$T_{çg}$: Güngören Formasyonu
W_n	: Doğal Su Muhtevası
Z_0	: Tünel Aks Derinliği
γ_n	: Doğal Birim Hacim Ağırlık
ϕ	: İçsel Sürtünme Açısı
μ	: Poisson Oranı

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM D	: American Society for Testing and Materials
BB	: Bina Oturma Bulonu
BMP (R)	: Bina Yatay Deplasman Reflektörü
BST	: Basınçlı Su Testi
C_c	: Sıkışma İndeksi
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
CI	: Orta Plastisiteli Kil
EPB	: Arazi Dengeleme Makinesi
I_c	: Kıvamlılık İndeksi
IL	: Likidite İndeksi
IP	: Plastisite İndeksi
NATM	: Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi
P₁	: Limit Basınç
RMR	: Eklemlili Kaya Kütlelerinin Jeomekanik Sınıflaması
RQD	: Kaya Kalitesi Tanımı
SC	: Killi Kum
SM	: Siltli Kum
SMP (Y)	: Yüzey Oturma Bulonu
SP	: Kötü Derecelenmiş Kum
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
TBM	: Tünel Açma Makinesi
TCR	: Toplam Karot Yüzdesi
W_L	: Likit Limit
W_P	: Plastik Limit
W_S	: Büzülme Limiti

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MECİDİYEKÖY-MAHMUTBEY METROSU TBM GÜZERGAHLARINDAKİ ZEMİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ ile YÜZEY DEFORMASYONLARININ İLİŞKİSİ

Tülay ÇİNAR

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ

Bu çalışmada, Mecidiyeköy-Mahmutbey Metrosu Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergahta karşılaşılan zemin ve kaya ortamlarda gerçekleştirilen arazi ölçüm, gözlem ve deneyleri ile laboratuvar verileri kullanılarak güzergahın mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilip, yüzey deformasyonlarının irdelenmesi amaçlanmıştır.

İncelenen tünel güzergahının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile derinlikleri 30-38 m. arasında değişen 12 adet araştırma sondajından elde edilen SPT deneyleri, sondajların farklı derinliklerinde uygulanan pressiometre ve basınçlı su testi deneyleri, sondaj manevra boyları için hesaplanan RQD değerleri ile laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır.

Araştırma deney ve gözlem amaçlı sondaj loglarından yararlanılarak hattın 1/1000 ölçekli boy kesiti hazırlanmıştır. Tünel güzergahı çift hat olup, toplamda 3122 m. uzunluğundadır ve örtü kalınlığı yaklaşık olarak 15 m ile 22 m arasında değişkenlik göstermektedir.

Tünel Açma Makinesi kullanımının gerçekleştirildiği projede bu türden ortamlara uygun olan EPB-TBM tercih edilmiştir. İnceleme güzergahı boyunca 2 adet TBM makinesi Yenimahalle İstasyonu'ndan girerek Karadeniz Mahallesi İstasyonu'nda tünel kazısını tamamlamışlardır.

İnceleme yapılan güzergahta Trakya, Güngören ve Çukurçeşme Formasyonlarına ait zemin ve kaya niteliğinde birimlerden geçilmiş olup, yüzeyde yer alan yapılarda meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir.

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

Tünel kazı seviyesinde Trakya Formasyonu'na ait kaya niteliğindeki birimler RQD değerlerine göre yapılan sınıflamada çok zayıf - zayıf kaya olarak nitelendirilmiştir. Güngören Formasyonu'na ait killerin SPT sonuçlarına göre üst seviyelerde orta katı-katı, alt seviyelerde sert kıvamda olarak değerlendirilmiştir. Çukurçeşme Formasyonu'na ait kuvarların SPT sonuçlarına göre üst seviyelerde orta sıkı-sıkı, alt seviyelerde sıkı-çok sıkı olarak değerlendirilmiştir.

Tünel kazısının sığ olduğu kesimlerde daha yoğun yerleştirilmiş olan bina ve yüzey izleme ölçümlerine göre deformasyon ve oturma miktarları bazı bölgelerde projede öngörülen sınır değer üzerinde olduğu görülmüştür. Deformasyonların yoğun olarak gözlemlendiği Çukurçeşme Formasyonu üzerinde bulunan binalar denetim altına alınmış ve güzergah boyunca gerekli görülen alanlarda enjeksiyon yapılmıştır. Enjeksiyon uygulanan bölgelerde olumlu sonuç alınmış ve mevcut tünel açma yöntemi (TBM) ile devam edilmiştir.

Sonuç olarak, metro kazısı sırasında oluşan yüzey deformasyonlarının incelenen güzergahta yer alan Çukurçeşme formasyonunun geçildiği kesimlerde stabilite ve yüzey yapılarının hasarı açısından sorun oluşturduğu ve başlangıçta öngörülen kazı ve destekleme projesine ilave önlem gerektirdiği anlaşılmıştır.

Aralık 2016, 180 sayfa.

Anahtar kelimeler: Tünel, TBM, Deformasyon, Oturma, Aletsel Gözlem.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

RELATION of SURFACE DEFORMATION and GEOTECHNICAL PROPERTIES of SOIL on TBM LINE in MECIDIYEKOY-MAHMUTBEY METRO PROJECT LİNES

Tülay ÇİNAR

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ

In this thesis, it is aimed to evaluate the study area with the principals of engineering geology by using field measurement, observation and tests with laboratory data realized in soil and rock environment of the tunnel route in Mecidiyekoy and Mahmutbey Metro Project between Yenimahalle-Karadeniz Stations line.

In order to determine engineering properties of the analyzed tunnel line, 12 investigation boring which have depht from 30 m to 38 m are drilled. By using the investigation boring results, the SPT tests, pressiometer performed to the diffrent depth of boring and hydraulic water pressure tests, RQD values calculated for the length of boring maneuver and laboratory test were performed. In the thesis the results of the test were used.

1/1000 scaled cross-section of the tunnel route was prepared by using the boreholes having the specified goals such observation and test. The tunnel route has double line, 3122 m length and the soil thickness from 15 m to 22 m.

At this project which used a Tunnel Boring Machine, EPB – TBM was chosen due to its suitability for this kind of ground conditions. Throughout the project, 2 TBM machines started drilling from Yenimahalle Station and finished the tunnel boring in Karadeniz Station.

The investigated route includes Trakya sandstone, Güngören clay and Çukurçeşme sand formations ground and rock sections. Superstructure deformations were investigated on this route.

In order to monitor the tunnel induced deformations a series of monitoring systems had been set up 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.

In the tunnel excavation level, Trakya Formation's rock section were described very weak/weak rock according to RQD values. Güngören Formation's clay section were evaluated on the upper levels middle stiff-stiff on the ground levels rigid consistency according to SPT results. Çukurçeşme Formation's sand were evaluated on the upper levels middle dense-dense, on the ground levels dense-very dense according to SPT results.

According to the results of the measurements of building and surface monitoring points that are placed especially densely because of shallow depth, deformation and settlement values observed over the limit (value) that Deformation and settlement values observed over the limit (value) that predicted on the project. Because of the high deformation values which are occurred some regions, the risky buildings are demolished and the injection is performed to these places. As injection method returns good results in performed region, the tunnel excavation continued with existing method (TBM).

In conclusion, inner tunnel or surface deformations which are occurred during the tunnel excavation in the parts of Çukurçeşme Formation are caused problems according to the stability and damage of the surface buildings and understood to take an additional precaution to the excavation and supporting Project which was foreseen at the beginning.

December 2016, 180 pages.

Keywords: Tunnel, TBM, Deformation, Settlement Instrumental Observation.

1. GİRİŞ

Her geçen gün gelişen ve değişen dünya, artan nüfus yoğunluğu ve şehirleşmeyle beraber ciddi ulaşım sorunlarıyla karşı karşıya kalmıştır. Özellikle büyük göç alan metropollerde zaman insanlar için çok değerli hale gelmiş, günlük yolculuk sürelerini en aza indirmek ve trafik sorunuyla başa çıkmak için çözüm yolları aranmıştır. Sanayileşmenin gelişmesi ve raylı sistem teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla beraber toplu taşıma yer üstü raylı sistem araçlarıyla sağlanmıştır, bu şekilde yolculuk süreleri azaltılmıştır. Fakat, yer üstü raylı sistemlerinde yer sorunları ve diğer ulaşım modlarıyla entegrasyon problemleri oluşunca, daha önceleri sadece zorlu dağ engellerini aşmak için kullanılan tünelcilik, şehir içi ulaşımın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Büyük metropoller birbiriyle tam entegre raylı sistem hatlarını (metro) yer altına indirerek, yer üstündeki trafik sorunuyla başa çıkmayı büyük oranda başarmıştır. Gelişmekte olan ülkelerin büyük şehirleri de trafiği yer altına indirmek konusunda ciddi çalışmalara başlamıştır. Tüm bunlarla birlikte, özellikle büyük şehirlerin kanalizasyon gibi altyapı sorunlarıyla da şehir içinde açılan tünellerle çözümler sağlanmıştır.

Şehir içi tünelciliğin tüm dünyada yaygınlaşması beraberinde teknolojik gelişmeleri de getirmiştir. Artık tüneller geçmişe oranla daha hızlı kazılmakta ve kazı sırasında yer üstü gözlem teknolojileri kullanılmaktadır. Çünkü büyük kentlerde bu yeraltı projeleri (tüneller, metrolar) kent içinde çoğunlukla yoğun yerleşim bölgelerinden geçmek zorunda kalmaktadır. Yoğun yerleşim yerlerinden geçerken yeraltı yapılarının inşaatı ve işletmesi sırasında civar yapılar üzerindeki etkilerinin önceden kestirilmesi olası bir felaketi önlemek açısından hayati öneme sahip olup, aletsel gözlemler yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Şehir içi yeraltı yapılarında (tüneller, metrolar) yapı hangi jeolojik formasyondan geçiyor olursa olsun, yer altındaki kazı ve daha sonraki işletmesi sırasında yapının hem kendisinde, hem de yer üstündeki etki alanında kalan yapılardaki üç boyutlu deformasyonlarının kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığını kontrol etmek bu işin ayrılmaz bir parçasıdır.

Metro tünelleri ve derin kazıların inşası sırasında jeolojik ortamda ve komşu yapılarda oluşan hareketlerin aletsel gözlemler ile izlenmesi, alınan ölçümlerin irdelenerek kazı yapılan ortamın ve civar yapıların davranışının belirlenmesi ortaya çıkabilecek zarar ve felaketlerin önceden kestirilmesi ve uygun önlemler alınması açısından büyük bir öneme sahiptir.

1.1. PROJENİN TANITILMASI

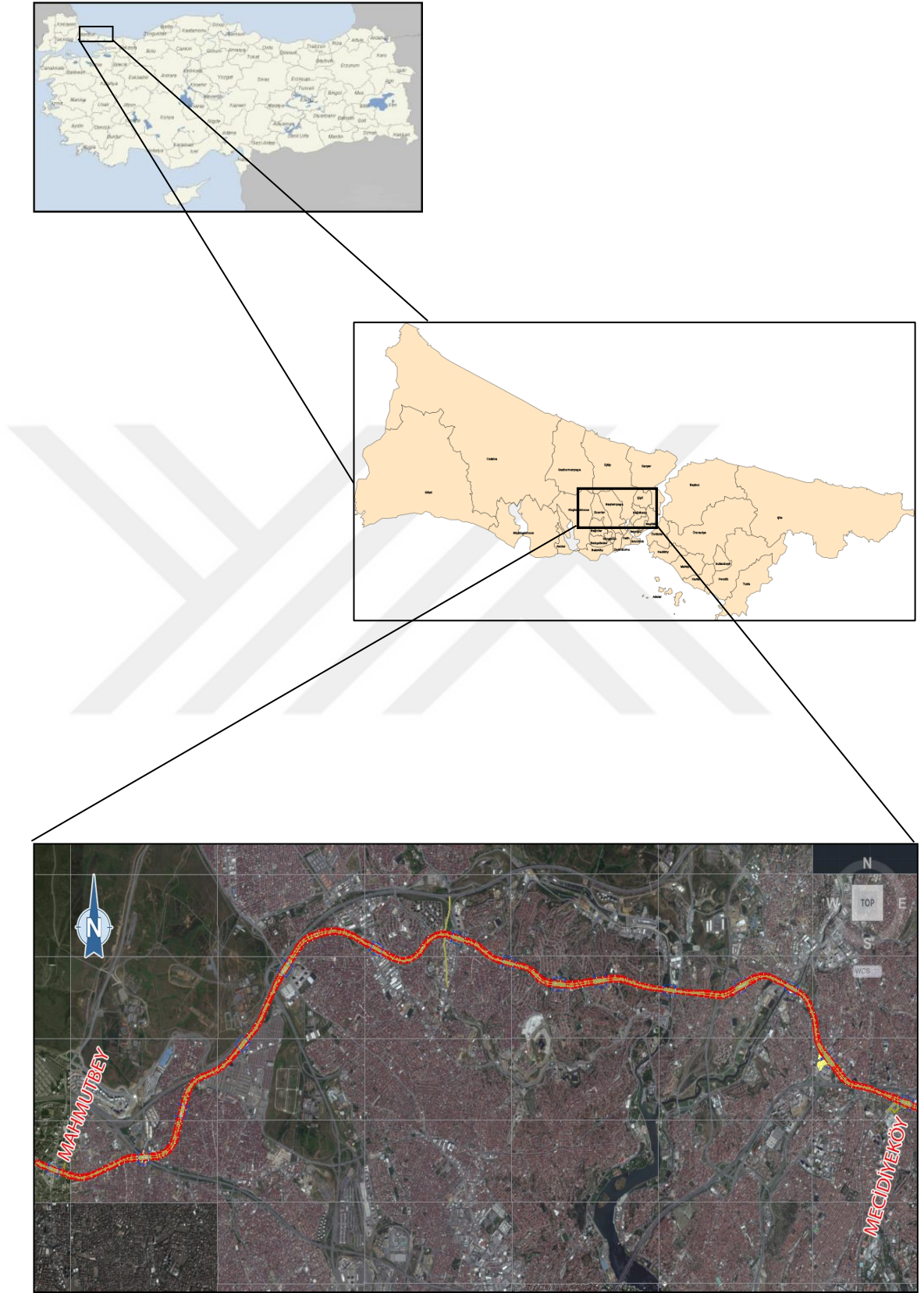
Ulaşım Ana Planı öngörülere doğrultusunda projeleri yapılan ve Devlet Planlama Teşkilatının Yatırım Programı kapsamında da yer alan, İstanbul'un önemli hatları içinde bulunan Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı Projesi bir raylı toplu taşıma sistemidir.

İstanbul, Avrupa Yakası'nda yapımı devam eden Mecidiyeköy-Mahmutbey metro hattı Şişli-Kağıthane-Eyüp-Gaziosmanpaşa-Esenler ve Bağcılar İlçeleri arasında yer almaktadır. İnceleme alanının yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir. Bu hat, Mecidiyeköy'de mevcut istasyona entegre olacak olan Mecidiyeköy İstasyonu'ndan başlayarak yaklaşık 17,5 km'lik güzergah TBM/EPB ve NATM yapım tekniğiyle gerçekleştirilecek tünel ve viyadükleri ile mevcut Mahmutbey İstasyonu'na entegre olacak şekilde Mahmutbey İstasyonu'nda sonlanacaktır.

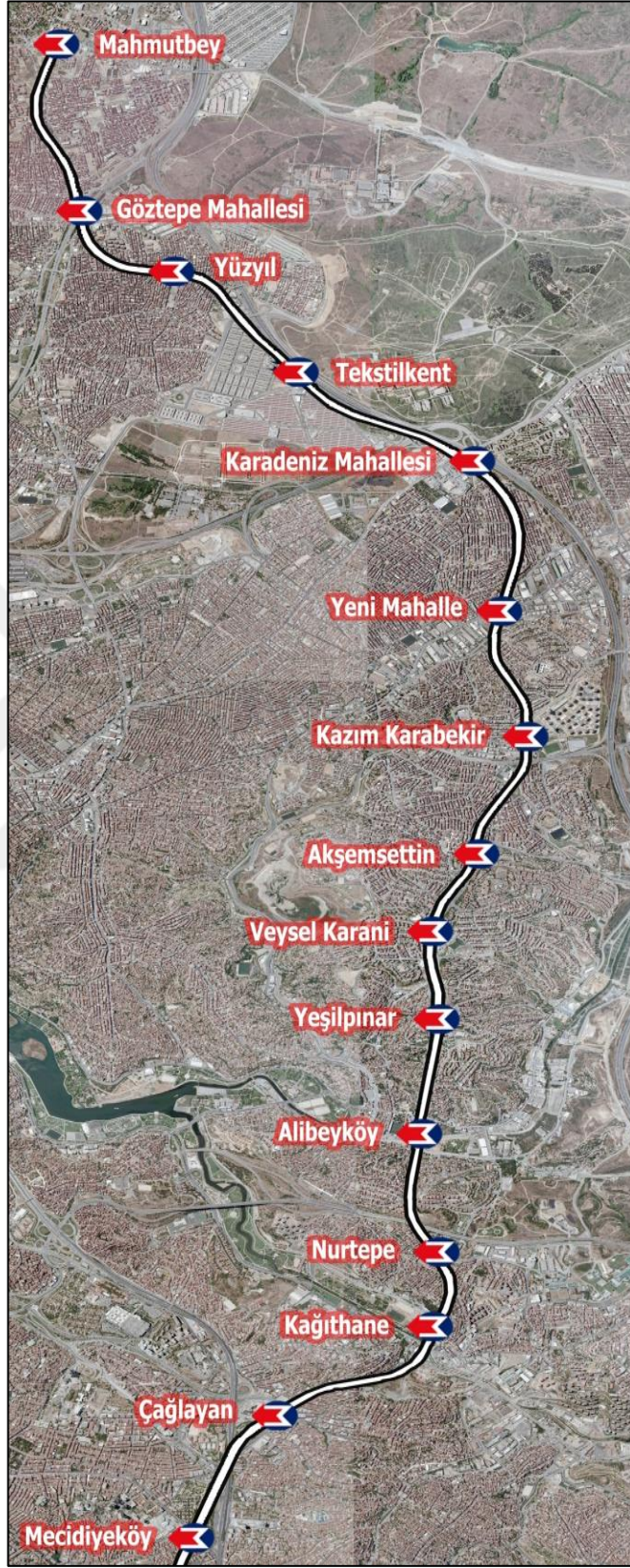
17,5 km uzunluğundaki Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı (Şişli-Kağıthane-Eyüp Gaziosmanpaşa-Esenler-Bağcılar İlçeleri) ana hat tünelleri ve viyadükleri, delme, aç kapa ve viyadük tipinde 13'ü yer altı, 2'si yer üstü olmak üzere toplam 15 adet istasyondan oluşmaktadır.

Mecidiyeköy'den Mahmutbey'e yapılmış olan hat sırasıyla; Mecidiyeköy, Çağlayan, Kağıthane, Nurtepe, Alibeyköy, Yeşilpınar, Veysel Karani, Akşemsettin, Kazım Karabekir, Yenmahalle, Karadeniz, Tekstilkent, Yüzyıl, Göztepe ve Mahmutbey İstasyonlarından geçmektedir (Şekil 1.2).

Mecidiyeköy-Mahmutbey (Şişli – Kağıthane – Eyüp – Gaziosmanpaşa – Esenler – Bağcılar İlçeleri) Metro Hattı saatte bir yönde 70.000 kişi taşıma kapasitesinde olacaktır. Hat, şehir ve şehir merkezi ile ilçeler arasında Haliç'in kuzeyinde doğu-batı aksında önemli bir bağlantı temsil etmektedir.



Şekil 1.1: İnceleme alanı yer bulduru haritası.



Şekil 1.2: Mecidiyeköy-Mahmutbey metro hattı genel yerleşim planı ve istasyonlar.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Projesi kapsamında TBM/EPB yapım tekniğiyle Yenimahalle-Veysel Karani İstasyonları arası ve Yenimahalle-Mahmutbey İstasyonları arası güzergahlarda kazı işlemi yapılması planlanmıştır. Bu projede Terratec, Herrenknecht ve Lovat marka olmak üzere 3 adet TBM kullanılmaktadır. Terratec TBM, Yenimahalle-Veysel Karani İstasyonları arası güzergahlarda Hat 1 tünel kazısını tamamlamış olup, Hat 2 tünel kazısına devam etmektedir. Yenimahalle-Mahmutbey İstasyonları arası güzergahlarda ise Hat 1 tünel kazısını Herrenknecht ve Hat 2 tünel kazısını Lovat TBM'ler gerçekleştirmektedir.

Bu tez çalışmasında, Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Projesi kapsamında farklı jeolojik formasyonların bir arada yer aldığı ve kazı sırasında çeşitli problemlerle karşılaşılan Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arasındaki bölge ele alınmıştır.

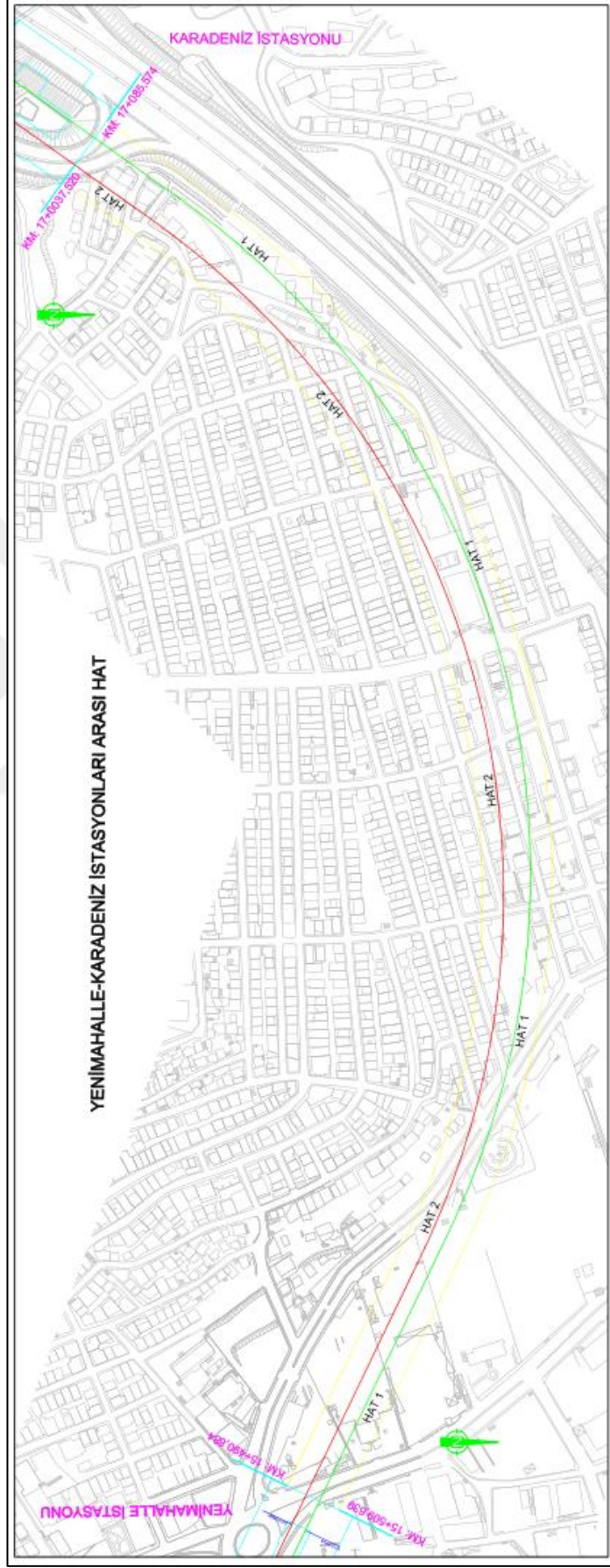
İncelemenin amacı, TBM tünel kazısı sırasında söz konusu bölgede yer alan zeminin jeoteknik özellikleri ile yüzey deformasyon ilişkilerini değerlendirmektir.

Bu kapsamda 29.01.2015 – 22.04.2016 tarihleri arasında yapılan tünel kazı çalışmaları sırasında ve sonrasında belirli bir program çerçevesinde jeoteknik ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler sonucunda elde edilen sayısal veriler kullanılarak, çizilen grafiklerle jeolojik formasyonlar ve yüzey deformasyon ilişkileri ortaya konmuştur.

1.3. ÇALIŞMA ALANININ KONUMU

Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Projesinde yer alan Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergah, İstanbul'un Avrupa yakasında Gaziosmanpaşa ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır.

Tünel güzergahı çift hat olup, toplamda 3122,571 m uzunluğundadır (Şekil 1.3). Yapılaşmanın yoğun olarak gözlemlendiği bu bölgede tünel binaların altından geçmektedir. Ayrıca, inceleme alanında bulunan yapıların çoğu mühendislik açısından oldukça güçsüz, yaşlı yapılardır.



Şekil 1.3: Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası hat.

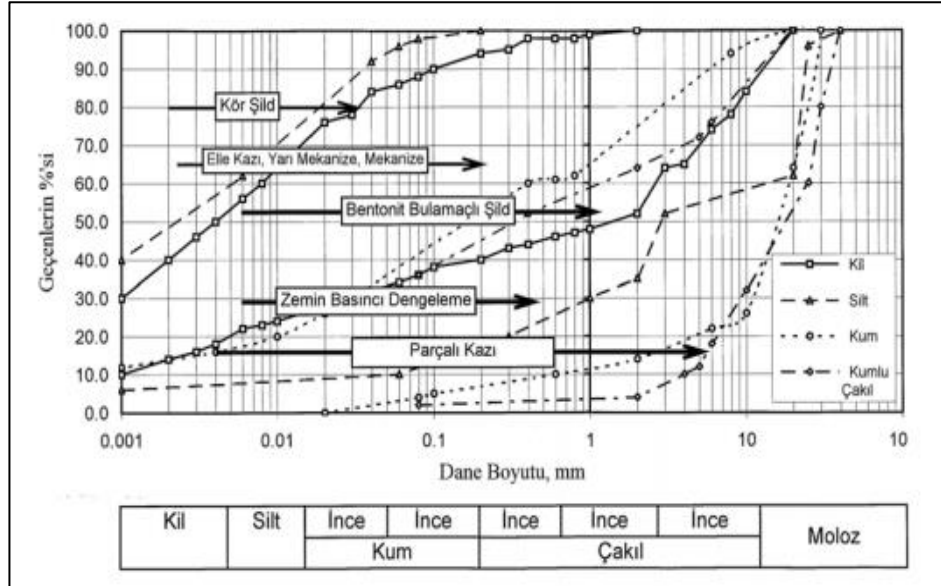
2. GENEL KISIMLAR

2.1. TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Günümüzde madencilik ve yeraltı yapılarının inşasında kullanılan çeşitli tünel açma yöntemleri mevcuttur. Bir tünel inşaatı için en uygun yöntemin seçimi öncelikle tünelin açılacağı zeminin özelliklerine bağlıdır. Kazı yönteminin seçiminde rol oynayan en önemli zemin parametreleri aşağıda verilmektedir (DAUB,1997 ve AFTES, 2000);

- Dane boyutu dağılımı,
- Kohezyon değeri-Kıvam durumu,
- Geçirimlilik,
- Kaya/zemin mineralojik yapısı.

Bu konuda Mori vd.,1995, tarafından verilen bir sınıflama zeminin dane boyutu dağılımına dayanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Zemin dane boyutuna göre kullanılan makine tipi.

Yaklaşık 40 yıl öncesine kadar dünyada metro inşaatlarında açık kazı yöntemi tercih edilmekte iken daha sonraki yıllarda artan bir şekilde kapalı inşa yöntemleri ön plana çıkmıştır.

Günümüzde NATM (Yeni Avusturya Tünel yöntemi) ve özellikle TBM (Tünel Açma makinesi) yöntemleri kullanılan en yaygın kapalı tünel açma yöntemleridir.

2.1.1. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM)

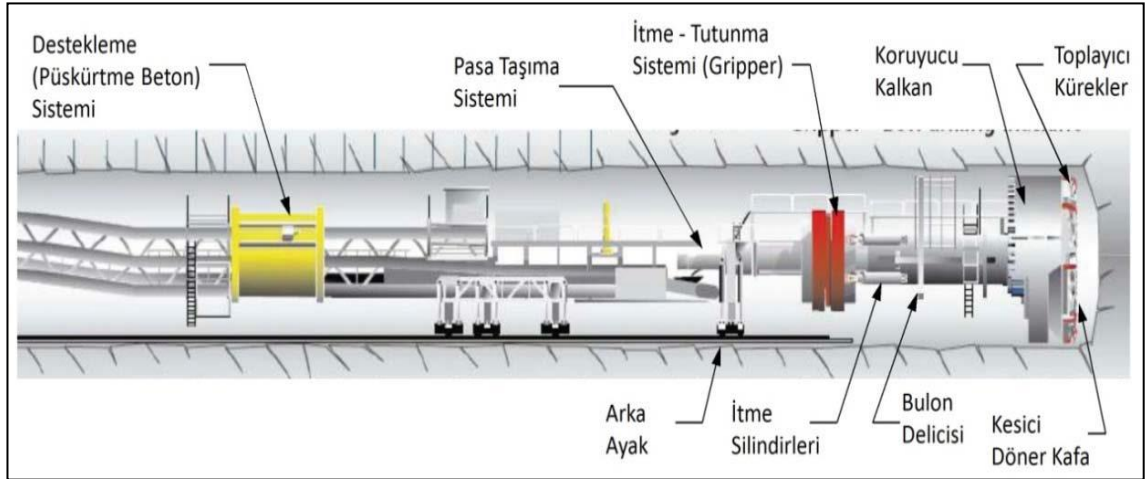
Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nin amacı, zeminin mukavemetini korumak, tüneli çevreleyen zeminde kendi kendini destekleyen geniş bir zon oluşturmaktır. Diğer bir deyişle, bu yöntemde jeolojik ortamda iksasız veya ekonomik iksa kullanımı ile tünel açılmaktadır. Tünel açılımı sonucu meydana gelecek deformasyonlar dolayısıyla çatlakların en aza indirilmesi için tünel açıldıktan sonra kısa zamanda bir ön kaplama yapılması gereklidir. Bunun için pasif iksa yerine esnek iksa denilen aktif iksa sisteminin kullanılması günümüzde daha yaygındır. Bu uygulamada shotcrete (püskürtme beton) ve bulonlar kullanılarak, iksa ortamının mukavemetinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Vardar, 1977).

2.1.2. Tünel Açma Makineleri (TBM) İle Tünel Açma Yöntemi

Tünel açma makinesi (Tunnel Boring Machine=TBM) ile tünel açma teknolojisi son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve buna paralel olarak TBM teknolojisi önemli gelişmeler kaydetmiştir. TBM, inşa edilmesi tasarlanan boyutta dairesel bir silindirik formu olan, ring içerisinde tünel yapımı için gerekli teknolojiyi barındıran bir tünel yapım makinesidir. TBM makinelerinin yapısal özellikleri olarak kesici kafa, itme silindirleri, yönlendirme silindirleri, kilitleme pabuçları (gripper), kesici kafayı döndüren motorlar ve beton tahkimat elemanlarını yerleştiren erektörler sayılabilir. TBM arkasında bulunan back-up sistemler olarak adlandırılan kısımda ise hidrolik güç üniteleri, elektrik trafoları, tavan civataları için bir delici, havalandırma fanları, pasa nakliyatı için bant konveyörler ve vagonlar bulunmaktadır. TBM makinelerinin tasarımı, tünel iç kaplama cinsi, zemin ve proje koşullarına göre belirlenmektedir.

Bir TBM kazı makinesi başlıca şu temel unsurlardan oluşmaktadır (Şekil 2.2):

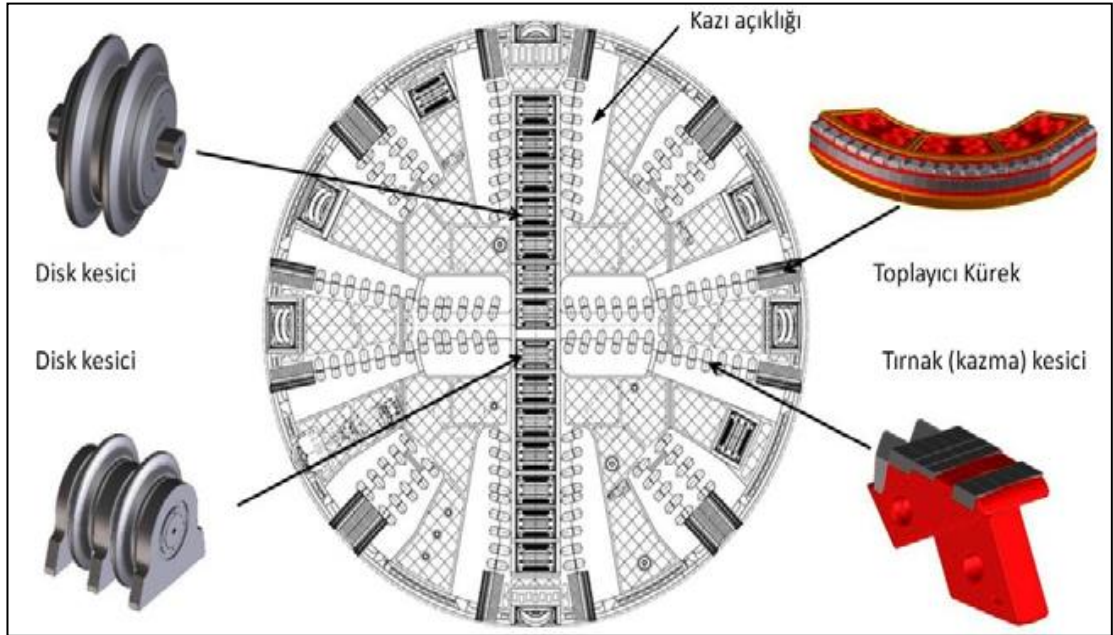
- Kazı Sistemi
- İtme ve Tutunma Sistemi
- Pasa Toplama ve İletme Sistemi
- Destekleme Sistemi.



Şekil 2.2: TBM'in ana unsurları (Zhao, 2009).

2.1.2.1. Kazı sistemi

Kazı sistemi esas olarak disk kesiciler ve kazma uçları, bu kesicilerin monte edildiği yuvalar ve bu yuva kesicilerin de üzerinde bulunduğu dairesel biçimli kafadan oluşur. Kesici kafa üzerindeki disk kesici ya da kazma türü kesiciler, kazı ortamının cinsine ve özelliklerine göre değişik oranlarda bulunabilir. Ancak çok genel bir kural olarak, sert kaya ortamlarda ağırlıklı olarak disk kesiciler, zemin ortamlarda kazma türü kesiciler, çok çatlaklı, yumuşak kayalarda ise her iki tip kesiciler birlikte kullanılmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Kesici kafa yapısı (Herrenknecht, 2012).

Kesici kafaya takılmış disk kesiciler, kesici kafanın dönmesi sırasında dairesel bir yörüngede kaya yüzeyinde yuvarlanırken; aynaya doğru yapılan itme hareketi sonucu diske iletilen kuvvet diskin kaya yüzeyine değdiği noktada basınç yığılması meydana getirir. Bu basıncın yoğunlaşması ile diskin hemen altındaki kaya ezilirken, komşu iki disk arasında kalan bölgede oluşan çekme gerilmesinin etkisiyle kaya oval levhalar şeklinde yüzeyden çatlayarak kopmaktadır. Disk kesiciler vasıtasıyla ayna yüzeyinde gerçekleşen bu olay, kaya ortamlarda TBM ile kazı işleminin temelini oluşturmaktadır.

2.1.2.2. İtme ve Tutunma Sistemi

İtme ve tutunma sistemi TBM'in kazı sırasında ileriye doğru hareketini sağlayan elemanlardır. Uygun değerdeki itme kuvveti TBM'in performansı üzerinde etkili olan en önemli parametrelerden biridir. İtme kuvveti makinenin arka bölümündeki itme tutunma sistemine dayanan hidrolik pistonlar vasıtası ile sağlanır. Desteklemenin (tahkimat) hemen yapılması gerektiği; zayıf kaya ve zemin ortamlarında kullanılan kalkanlı makinelerde ise itme silindirlerinden oluşan itme sistemi ön döküm (precast) beton destekleme halkalarına dayanarak reaksiyon sağlamaktadır. Toplam itme kuvveti, her bir diske gelen kuvvet ve ileri hareket sırasında kalkan yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetinin toplamına eşittir.

2.1.2.3. Pasa Toplama ve Taşıma Sistemi

Aynadan kazılan kaya ya da zemin parçaları, kesici kafa yüzeyindeki açıklıkların (Şekil 2.2) kenarında bulunan sıyrıcılar tarafından toplanarak kesici kafanın arkasına geçer. Kesici kafanın arka yüzeyinde merkeze doğru yönelmiş olan toplayıcı kürekler bulunur. Kesici kafanın dönmesiyle kazı malzemesi makine gerisinden kesici kafanın merkez kısmına kadar uzanan kısa bantlı bir taşıyıcıya, sonra da makinenin arka kısmına kadar uzanan diğer bir banta dökülür.

Zemin ve zayıf kaya ortamlarda, kısa bant yerine zemin basıncının dengesini kontrol ederek pasayı dışarı alan burgulu bir konveyör yer alır. Pasa, bant ile makinenin arka kısmında bulunan vagonlara iletilir; vagon ile şaft veya portala kadar taşınıp, tünel dışına atılır. Vagon dizisi, geri dönüşte enjeksiyon ve destekleme segmentlerini taşımak için kullanılır. Bazı TBM'lerde pasa malzemesi tünel içerisine boydan boy monte edilen bantlar veya pasa kamyonları ile de iletilmektedir. Bulamaçlı tip makinelerde ise pasa, borular ile bulamaç halinde tünel dışına gönderilir.

2.1.2.4. Destekleme (Tahkimat) Sistemi

Açılan bir tünelin kazı duvarı, ikincil gerilmelerin oluşması sonucu çevre kayacın kendi kendini tutma kapasitesinin azalmasına paralel olarak zaman içerisinde içe doğru kapanma eğilimine sahiptir. Dahası ortamın çatlaklılığına bağlı olarak, geçen zamanla tünel cidarında oluşan gevşeme ve sökülme sonucu kaya parçası ve blok düşmesi meydana gelir. Bu nedenle gerek deformasyonun önlenmesi gerekse iş güvenliğinin sağlanması için tünel duvarının kendini tutma süresi içerisinde desteklenmesi gereklidir. Çok sağlam ve sağlam kaya koşullarında TBM gövdesi cidarında herhangi bir koruyucu (kalkan) gerekmez. Ancak uzun vadedeki güvenliğin sağlanması için tünel cidarında hafif veya lokal şekilde destekleme önlemleri alınmalıdır. Bu önlem genellikle koruyucu, kapatacıcı nitelikte ince bir tabaka halinde püskürtme beton ve lokal kaya bulonu uygulaması şeklinde olabilir.

Kaya koşullarının kötüleşmesi ile birlikte kayanın kendi kendini tutma süresi kısaldığından tavadan ve yanlardan düşebilecek kaya parçalarını tutmak için tünelin tavan kısmında, kesici kafanın arkasına ve yanlara kadar uzanan koruyucu bir kalkan (sheild) gerekir. Kısmen daha kısa süre içinde olmak üzere tünel duvarının püskürtme beton, hasır çelik, çelik iksa, kaya bulonu elemanlarından bazıları veya hepsi birden uygulanarak desteklemesi yapılır.

Kayanın kendi kendini tutma süresinin daha da kısa olduğu, kötü-çok kötü kaya kaliteli kaya veya zemin ortamlarda, makine gövdesini çepeçevre ve uzunlamasına tamamen kapatan silindirik tüp şeklinde bir kalkan bulunur. Bu gereklilik destekleme işlevinin yanı sıra, yanal tutunma ve itme sisteminin işlevsiz kalması nedeniyle de ortaya çıkmaktadır. Zira böylesi durumlarda tutunma sisteminin (gripper) tünel duvarına basan ayakların oluşturduğu gerilme zeminin/kayanın taşıma gücünden daha büyük olmakta ve duvara basan bu ayaklar tünel cidarına gömülmektedir.

Kalkanlı TBM'lerde destekleme işlemi kalkanın en arka bölümündeki kuyruk kısmının içinde yapılmaktadır. Kalkanın iç yüzeyi, ön döküm beton veya çelik segment parçaların birleştirilmesi ile oluşturulan iksa halkasına (ring) kılavuzluk eder. Ancak, makinenin ilerlemesi sonrasında kazı yüzeyi ile destek elemanı arasında kalan boşluğun çimentolu bir enjeksiyon harcı ile doldurulması gerekir.

2.1.3. EPB TBM İle Tünel Açılması

Arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan EPB makineleri ilk olarak Japonya'da 1960-70'li yıllarda görülmeye başlamıştır (Maidle, 1996). Yapışkan olmayan ortamlarda ve yeraltı su seviyesi altında bulunan zeminlerde ilerlemeler sırasında stabilite kaybı kaçınılmazdır. Genellikle bu gibi alanlarda ve kendini kısa süreli bile tutamayan kayaçların kazısında bu makineden faydalanılır. Temel çalışma prensibi su geliri veya arazi akmasını kontrol etmek amacıyla ayna boşluğunun kapalı bir hacim haline getirilerek basınç altında tutulması, "bizzat arazi ve içindeki su basıncı etkisiyle, kesme kafası ve ayna boşluğunda doğal bir basıncın oluşmasına imkan verilmesi" diye tanımlanabilir (Friant, 1994). Bir başka deyişle amaç kazılan malzemenin kesici kafa haznesini doldurması ve tüm yüzeyi desteklemesidir. Bu destekleme basıncının tünel kalınlığındaki doğal arazi basıncını karşılayacak bir değerde ayarlanması gerekir. Bu makineler 10 bara (1 MPa) kadar ulaşan basınç altında çalışabilecek şekilde yapılabilirler. En iyi çalışma koşulları arazi nemlilik oranının % 10-15 veya daha az olduğu durumlardır.

Kazma işleminin gerçekleşmesi için iki önemli kuvvet vardır. Kesici kafanın aynaya doğru itilmesi ve bu itilme sırasında kafanın dönmeye başlaması kazı olayını gerçekleştirir. Aynadan kazılan malzeme kesici kafa üzerinde bulunan kanatçıklar tarafından kesici kafa arkasındaki hazneye aktarılır. Hazne içerisinde bulunan konveyör çıkan pasanın nakliyatını yapar.

Kazıcı diskin bulunduğu kalkan bölgesinde kazı odası olarak tanımlanan ve atmosferik basınç altında bulunan bölgeler bir basınç duvarı tarafından ayrılırlar. Kazıcı diskteki kazıcı aletler vasıtası ile gevşetilen zemin, kesici dikteki açıklıklardan kazı odasına dökülerek, burada mevcut bulunan plastik özellikteki zeminle karıştırılır. Zeminde meydana gelebilecek herhangi bir kontrol kaybı ise kazı odasında bulunan hidrolik krikolar vasıtası ile aynaya uygulanan kuvvet ile önlenir (Herrenknecht, 2007).

Kazılmış olan bu malzeme, kazı odasından bir burgulu taşıyıcı vasıtası ile taşınır. Buradan alınan kazılı zemin miktarı, burgulu taşıyıcının dönüş hızı ve ağız açıklığı gibi parametrelerle ilişkilidir (Herrenknecht, 2007). Sistemin baş kısmında kazılması planlanan zemin koşullarına göre tasarlanmış bir kazıcı kafa ile kazılan malzemenin dışarıya taşınmasını sağlayan bir sistem mevcuttur (Şekil 2.4).

Tünel normalde atmosferik basınç koşulları altında bulunan ve kaldırıncı vinç olarak tanımlanan bir araç yardımıyla konumlandırılıp yerlerine yerleştirilen çelik destekli segmentler ile desteklenir (Herrenknecht, 2007) (Şekil 2.5).



Şekil 2.4: Kazılan malzemeyi taşıyıcı vagonlara aktaran taşıyıcı bant.



Şekil 2.5: TBM için kullanılan segmentler.

TBM güzergahı boyunca kazılacak tünel kazı ortamında çatlaklılık, tabakalanma, kıvrımlanma, fay zonları, su geliri gibi jeolojik özellikler ve dayanım, sertlik, aşındırıcılık gibi jeomekanik özellikler önemli rol oynamaktadır. Seçilecek Kazı sırasında TBM'in bu değişkenlikleri karşılayabilmesi için kazı ortamı iyi modellenmeli ve tanımlanmalıdır. Bu, güzergahta yapılacak jeolojik ve jeoteknik araştırmaların yeterli ayrıntıda ve kaliteli yapılmasını gerektirmektedir. Dahası, projenin ekonomik sınırlar içinde kalması için öngörülen sürede bitirilmelidir. Burada kritik olan husus, mevcut jeolojik ve jeoteknik koşullar çerçevesinde TBM'in performans parametrelerini (penetrasyon, ilerleme hızı gibi) öngörmek olduğu kadar, optimum çalışma koşullarını sağlayacak; itme kuvveti, tork gibi işletme parametrelerinin de öngörülmesidir (Yüksel, 2014).

Jeolojik durumun aniden değiştiği zayıflık bölgelerine yaklaşıırken itme kuvveti, tork, penetrasyon gibi makine işletme parametrelerinde anormal dalgalanmalar meydana geldiği bilinmektedir (Bilgin ve diğ., 2009). Böylesi zonlara yaklaşıırken genellikle itme kuvveti ve tork değeri artarken penetrasyonda azalma görülmektedir.

Tünel kazısı sırasında, TBM için uygun çalışma parametrelerinin uygulanabilmesi için jeolojik durumun takip edilmesi yanında kazı kayıtlarının da dikkatle izlenmesi ve yorumlanması gerekmektedir. Günümüzde imal edilen TBM'lerde her kazı adımında makinenin işletme parametreleri kayıt altına alınarak raporlanabilmektedir. Ayrıca, operatör bu kayıtları sürekli olarak takip ederek kazı sırasındaki gerekli sürüş/ilerleme koşullarını denetleyebilmektedir. Ancak, optimum işletme koşullarının oluşturulması için jeolojik koşulları da dikkate alarak bu verilerin yorumlanması gerekir (Yüksel, 2014).

Tüm bunların yanında TBM seçiminde proje için sağlanan jeoteknik veriler bazen yeterli olmayabilir. Birçok projede TBM performans tahminleri bu yetersiz jeoteknik veriler kullanılarak yapılmaktadır. Makine kullanım süresinin tahmini ve makine performansının tanımlanması tünel kazısının planlanmasında ve kazı performansında önemli rol oynamaktadır (Ocak ve Bilgin, 2009).

Projede TBM makineleri markalarıyla anılmaktadır. Yenimahalle İstasyonu'ndan Karadeniz Mahallesi İstasyonu yönüne doğru sol hat tüneli Lovat (Şekil 2.6), sağ hat tüneli ise Herrenknecht (Şekil 2.7) firması tarafından üretilmiş EBP TBM ile açılmıştır.



Şekil 2.6: Sol hattın açımında kullanılan Lovat marka TBM.



Şekil 2.7: Sağ hattın açımında kullanılan Herrenknecht marka TBM.

Her iki hatta da kullanılan Tünel Açma Makinelerine ait teknik veriler Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1: Herrenknecht ve Lovat marka EPB-TBM makinelerinin teknik özellikleri.

TBM Üreticisi/Modeli	Lovat RME257SE Series 18000	Herrenknecht S325
Kazı Çapı	6,57 m	6,55 m
İtme Kuvveti	55000 kN	32000 kN
Tork	4500 kNm	4400 kNm
Disk sayısı ve çapı	38x15,5” 5x16”, 3x16,5”	41x17”
Kesici kafa motorları	8 adet, hidrolik	8 adet, hidrolik
Kesici kafa hızı	0-4 rpm	0-3,8 rpm
Kesici Kafa Gücü	Karışık Zemin	Karışık Zemin
Maksimum İtme Hızı	150 mm/dk	80 mm/dk
Burgulu Konveyör Tipi/İç Çap	Şaftlı 851 mm	Şaftlı 700 mm
Burgulu Konveyör Gücü	225 kW	110 kW
Burgulu Konveyör Dönüş Hızı	0-18 rpm	0-19 rpm
Burgulu Konveyör Kapasitesi	400 m ³ /h	275 m ³ /h
Maksimum Taş Blok Boyutu	300 mm	250 mm
Erektör Tipi	Halka Tipi	Halka Tipi

2.1.4. TBM Kullanımının Olumlu Yönleri

Tünelde duraylılık sorunlarının olmadığı durumlarda TBM’in kullanılması halinde kazı, yükleme ve taşıma işlemi birlikte yapılabildiği için kazı hızı oldukça yüksektir. Dolayısıyla, çalışan işçi sayısı oldukça az olmakta ve işçiliğin pahalı olduğu ülkelerde oldukça ekonomik bir kazı işlemi gerçekleştirilmektedir. TBM kullanımıyla tünel içinde oluşması mümkün toz miktarı önemli derecede azalmakta ve dolayısıyla işçi sağlığı açısından olumlu bir çalışma ortamı elde etmek mümkün olmaktadır.

2.1.5. TBM Kullanımının Olumsuz Yönleri

TBM kullanılarak kazı yapılmasının yaratabileceği sakınca ve sınırlamaların önemli bir bölümü genellikle zayıf kaya kütlelerinde, fay zonlarında ve sık aralıklı süreksizliklerle bölünmüş kaya kütlelerinde açılan tünellerde görülmektedir. Bu tür ortamlarda kayacın zayıflığına bağlı olarak TBM’in kayacı tam olarak kavrayamamasından dolayı delme işlemi sırasında yan duvarların yeterli taşıma kapasitesinin olmaması nedeniyle, TBM’in kazı yapabilmesi ve ilerleyebilmesi için yeterli itme kuvveti de sağlanamamaktadır. Bu nedenle bazı ek önlemlerin alınması gerekmekte ve bu da maliyeti arttırmaktadır.

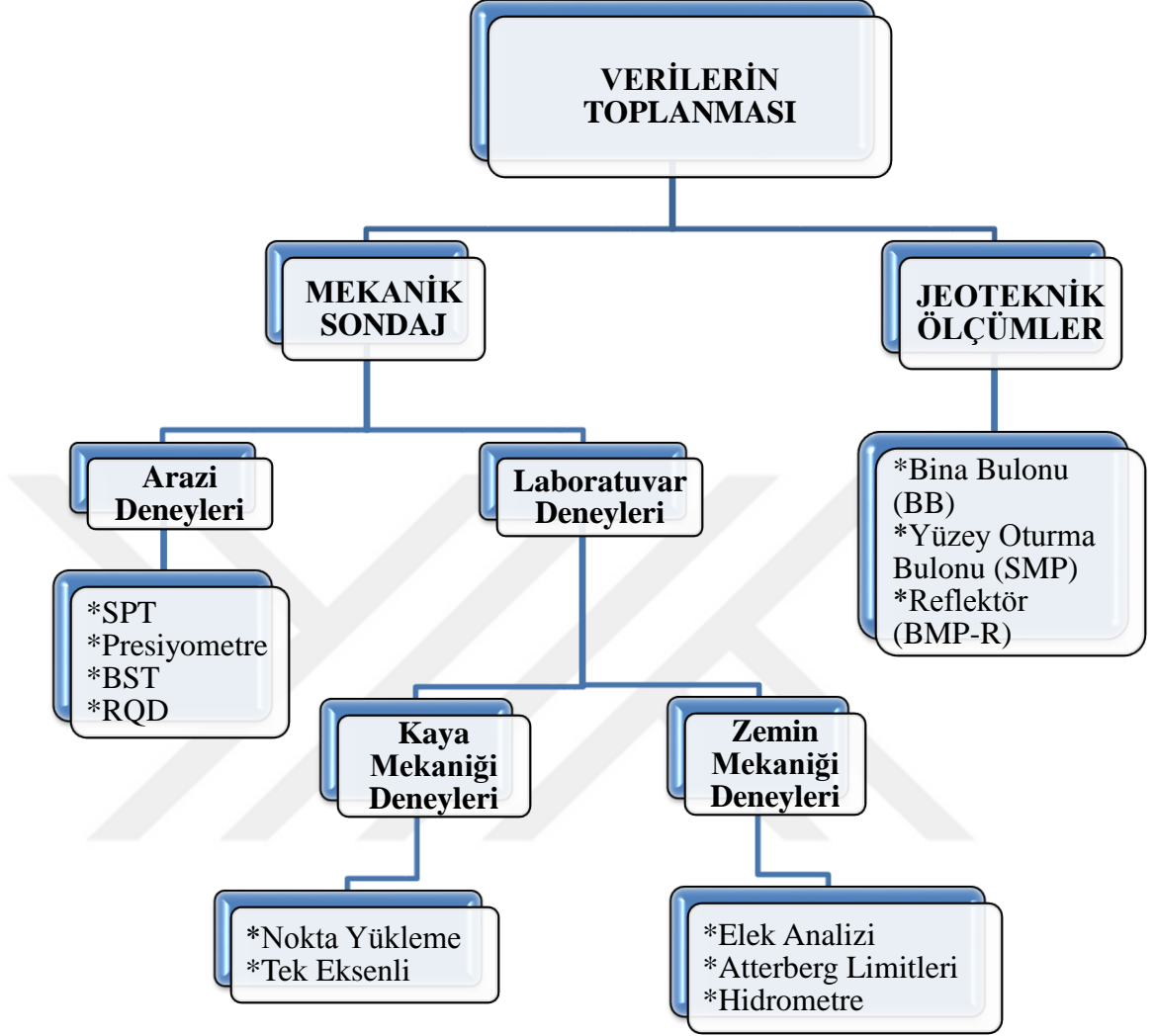
3. MALZEME VE YÖNTEM

3,12 km (çift hat) uzunluğundaki Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası hat tüneli EPB – TBM yapım yöntemi ile kazılmıştır. Proje kapsamında kazılar eş zamanlı olacak şekilde yapılarak, iki TBM arasında güvenli bir mesafe bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Kazı sırasında ise gerek tünel aynasının desteklenmesine katkıda bulunmak gerekse malzemenin alınmasını kolaylaştırma amacıyla EPB – TBM’lerde kullanılan katkı maddelerinden köpük tercih edilmiştir.

Tünel kazı çalışmaları başlamadan önce tünel güzergahının jeolojisini belirlemek amacıyla mekanik sondajlar yapılmıştır. Güzergah üzerinde mevcut zeminlerin mühendislik özelliklerinin ve parametrelerinin belirlenmesinde arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır. Arazi deneyleri kapsamında SPT, BST, presiyometre, RQD deneyleri; laboratuvar deneylerinde ise Atterberg limitleri, doğal birim hacim ağırlık tayini, elek analizi, hidrometre, su muhtevası tayini, tek eksenli basınç ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır.

Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası hat tünel kazı çalışmaları, yoğun şehirleşmenin olduğu bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle tünel kazı çalışmaları sırasında, gerek binalarda gerekse yüzeyde meydana gelen deformasyonlar sürekli takip edilip, değerlendirilmiştir. Binalarda gerçekleşen deformasyonlar BB ve BMP (R) yüzeyde gerçekleşen deformasyonlar ise SMP (Y) ölçümleri ile kayıt altına alınmaktadır. Bina cephelerine ve güzergah üzerine yerleştirilen bu malzemelerden ölçüm alınmaktadır. BMP (R) ölçümlerinde binalarda gerçekleşen düşey hareketler (oturma veya kabarma) ile meydana gelen açısız bozulmalar belirlenmektedir. BB ve SMP (Y) ölçümlerinde ise binalarda ve yüzeyde gerçekleşen düşey hareketler (oturma veya kabarma) tespit edilmektedir.

İnceleme alanında yapılan çalışmalarda kullanılan veri toplama yöntemleri Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan veri toplama yöntemi.

3.1. MEKANİK SONDAJ

3.1.1. Arazi Testleri

3.1.1.1. Standart Penetrasyon Testi

Standart Penetrasyon Testi (SPT), kum zeminlerin sıklığı, kil zeminlerin ise kıvamlarının tespiti amacı ile yapılır. ASTM standardına göre, test 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76 cm yükseklikten düşürülerek sondaj dizisinin ucundaki penetrasyon tüpünün zemin içine 30 cm batması için gerekli darbe sayısının (N_{30} veya penetrasyon direnci) tespiti esasına dayanır. Yüksek N_{30} değerleri sağlam, düşük N_{30} değerleri ise gevşek zeminlere karşılık gelir. N_{30} değerlerine göre ince ve iri daneli birimler aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: N_{30} değerlerinin ince daneli ve iri daneli birimlerdeki değerleri (Terzaghi ve Peck, 1968).

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

3.1.1.2. Presiyometre Deneyi

Presiyometre deneyi, çok yumuşak ve yumuşak zeminlerden başlayarak elastisite modülü, 200.000 kg/cm^2 'ye kadar olan kayaların mekanik karakteristiklerinin belirlenmesi ve jeolojik süreksizliklerin etüdü için yapılır. Deneyin prensibi, sondaj kuyusu içinde belli seviyelerde, aletin kuyuya indirilen kısmı ile meydana getirilen radyal basınçların, kuyu cidarında oluşturduğu deformasyonlara karşıt gelen hacim-basınç grafiğinin değerlendirilmesinden ibarettir. Deney yapıldıktan sonra, OX eksenini basınç cinsinden, OY eksenini ise hacim cinsinden değişimleri göstermek üzere, hacim-basınç diyagramı çizilir. Eğrinin tümsek kısmı, verilen basınç artması ile probun zemine oturması ve zeminin içsel basıncına (P_o) karşılık gelir. P_o 'dan sonra eğri lineer olur. Bu safhaya elastik safha denir. Elastik safhadan sonra eğri yükselmeye başlar. Bu safhaya ise plastik safha denir. Limit Basınç (P_l) hacim artışlarının teorik olarak sonsuza vardığı noktadır ki, bu nokta aynı zamanda teorik olarak zeminin taşıma gücünü gösterir.

3.1.1.3. Basınçlı Su Testi

Basınçlı su testleri genellikle kayaç ortamların geçirimsizliğini belirlemek amacıyla, kayaca basınç altında su verilmesi şeklinde yapılır. Deney, kayacın koşullarına (kırıklılık vb) tek lastikli (tıkaçlı) ve çift lastikli olmak üzere iki şekilde yapılır. Yapılan deney sonuçlarından kayaç ortamın geçirimsizliğinin belirlenmesi değişik yöntemler ile hesaplanabilir. Günümüzde en yaygın kullanılan hesap ve değerlendirme şekli Lugeon yöntemidir. Lugeon, 1 m uzunluğundaki deney zonuna, 10 atmosfer gerçek basınç altında, 1 dakika boyunca litre olarak basılan su miktarıdır. Birimi lt/dakika/metre şeklindedir. Lugeon değerlerine göre kaya birimleri geçirimsizlik düzeylerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Kayaçların Lugeon yöntemine göre geçirimsizlik sınıflaması.

Lugeon Değeri (l/dakika/m)	Geçirimsizlik
< 1	Geçirimsiz
1 – 5	Az geçirimli
5 – 25	Geçirimli
>25	Çok geçirimli

3.1.1.4. RQD ve TCR Değerleri

RQD (Rock quality designation), karotiyerin bir ilerlemesinde içerisine almış olduğu karot parçalarından, doğal süreksizliklerle birbirinden ayrılmış olan ve 10 cm ve daha uzun olan silindirik şeklini koruyabilmiş parçaların toplam uzunluğunun, manevra boyuna oranının yüzde olarak ifadesidir. TCR (Total core recovery) ise tüm karotların uzunluğunun toplam sondaj derinliğine bölünmesi ile bulunur.

İnceleme alanı boyunca hattın önemli bir kısmında Trakya Formasyonu'na ait kumtaşı-kiltaş-şeyl birimleri gözlenmiş olup, TCR ve RQD hesaplamaları yapılmıştır ve kaya kalitesi sınıflaması Deere, 1968'e göre değerlendirilmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4: Kaya kalite sınıflaması (Deere, 1968).

RQD (%)	Kaya Kalitesi
< 24	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

3.1.2. Laboratuvar Testleri

3.1.2.1. Nokta Yükleme Deneyleri

Nokta Yükleme Deneylerinde, kaya örnekleri merkezlerine uygulanan noktasal yük ile kırılmaktadır. Kaya örnekleri üzerine uygulanacak noktasal yükler altındaki davranışları belirlemek ve kayanın tek eksenli basınç direnci hakkında yorum yapabilmek amacıyla düzgün geometriye sahip örnekler ile kalınlıklarına dik yönde uygulanan nokta yüklemeye, deney örneğinin kırıldığı andaki noktasal yük direnci bulunmuştur (Şekil 3.1.).

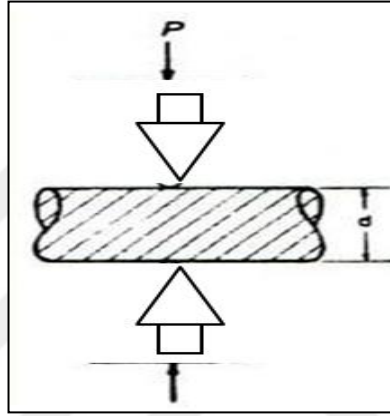
Deney sonuçları;

$$I_s = P/d^2 \quad (3.1)$$

bağıntısıyla değerlendirilmiştir. Burada;

P = Noktasal Yük (kg)

d = Örnek Kalınlığı (cm)'dir.



Şekil 3.1: Nokta yükleme deneyi.

Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması Tablo 3.5'te verilmiştir (Bieniawski, 1975).

Tablo 3.5: Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1975).

Kaya Sınıfı	Nokta Yük Direnci (MPa)
Çok düşük dirençli	< 1
Düşük dirençli	1-2
Orta dirençli	2-4
Yüksek dirençli	4-8
Çok yüksek dirençli	> 8

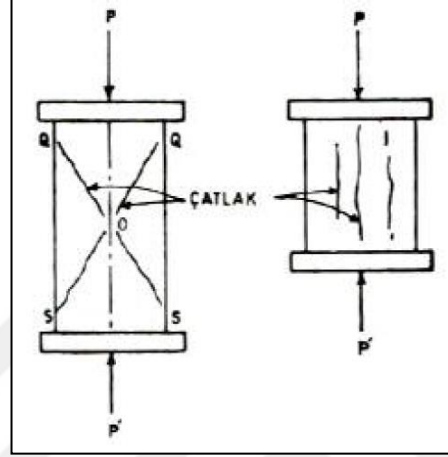
3.1.2.2. Tek Eksenli Basınç Deneyi

Belirli boyutlardaki kayaçların, belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdiklerini dayanıklılıktır. Basınç dayanımı,

$$B_d = P_k/A \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir ve birimi kg/cm^2 'dir.

Gevrek malzemelerde, numune alanında değişme olmadan kırılma meydana gelir. Gevrek özellikte olmayan kayaçlar, tek eksenli basınç altında, şekil değişikliğine uğrarlar. Kırılma yükü altında, kayma çatlakları meydana geldiği anda deney altındaki numunenin kesit alanı büyür (Şekil 3.2). Bundan dolayı, gevrek özellikte olmayan kayaçlarda tek eksenli basınç dayanımı, kırılma yükünün, kırılma anındaki alana oranı olarak tanımlanır.



Şekil 3.2: Eksenli Basınç altında kayaçlarda görülen kırılma şekilleri.

Broch and Franklin (1972), Bieniawski (1975) gibi pek çok araştırmacı I_s ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasında çeşitli ampirik bağıntılar önermişlerdir.

Çok sayıdaki deney verisinden elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki ilişki önerilmiştir.

I_s ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasında;

$$\sigma_c = k \cdot I_{s(50)} \quad (3.3)$$

şeklinde görgül bir ilişki olup, "k" dönüştürme faktörü Broch ve Franklin (1972) tarafından 24 olarak belirlenmiştir. Bu değer uluslararası birçok bilimsel kurum tarafından uygun bulunmuş olmasına rağmen, güncel çalışmalar bu katsayının kayaç türlerine göre değişebileceğini göstermektedir.

Bu nedenle; "k" katsayısının yapılan çalışmalara bağlı olarak 13 ile 24 arasında değiştii de göz ardı edilmemelidir (Ulusay, 2001). Kayaçların tek eksenli basınç dirençlerine göre sınıflandırılması Tablo 3.6'da verilmiştir (Deer ve Miller, 1966).

Tablo 3.6: Kayaçların tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılması (Deer ve Miller, 1966).

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Direnci (MPa)
Çok düşük dirençli	< 25
Düşük dirençli	25-50
Orta dirençli	50-100
Yüksek dirençli	100-200
Çok yüksek dirençli	> 200

3.1.2.3. Su Muhtevası

Zeminin su muhtevası (W_n) zemin içerisindeki su kütlesinin katı parçacıkların kütlesine oranı olarak ifade edilir. Su içeriği kuru ağırlığın yüzdesi olarak belirtilen, zeminin 105°C'de, ısıtılması sonucu bünyesinden verebildiği su miktarıdır. Optimum su muhtevası ise belirli bir mekanik enerji uygulanarak sıkıştırılan zeminde, maksimum kuru birim hacim ağırlığı sağlayan su muhtevasıdır.

3.1.2.4. Elek Analizi

Zemin numunelerinin, iri ve ince taneli kısımlarının ayrımını yapmak ve standartta belirtilen yöntemlerle tane çaplarının bulunması esasına dayanır. Ayrıca çakıl-kum boyutu, silt-kil boyutu yüzdeleri belirlenmektedir. Laboratuvar ortamına gelen numunelerin iri kısımlarının tanı çapı yüzdelerinin belirlenmesi için elek analizi (ıslak analiz) yapılmaktadır.

3.1.2.5. Hidrometre Analizi

Zemin numunelerinin, ince taneli kısımlarının ayrımını yapmak ve standartta belirtilen yöntemlerle tane çaplarının bulunması esasına dayanır. Silt-kil boyutu yüzdeleri belirlenmektedir. Hidrometre analizi genelde ince dane yüzdesi önemli olan ($FC > 50\%$) zeminler üzerinde ve kil boyutu yüzdesini bulmak için yapılır.

3.1.2.6. Kıvam Limitleri

Kıvam limitleri, değişik su içeriğine sahip killerin direncinin bir göstergesidir. Killerin kıvamında su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen değişimleri deneysel olarak saptayabilmek için bazı sınır su muhtevası değerleri tanımlanmıştır. Kıvam limitleri olarak bilinen bu su muhtevası değerlerini belirlemek için kullanılan deney yöntemleri üç kıvam limiti (veya Atterberg Limiti) tanımı kullanılmaktadır.

Bunlar Likit limit (WL), Plastik limit (WP) ve Büzülme limiti (WS)'dir. Doğal su içeriğinin kıvam limitleri ile karşılaştırılması, zeminin kesme direnci hakkında bir fikir vermektedir. Killerin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta, geçirgenliği azalmaktadır (Özaydın, 1999).

Sıkışma ve şişme davranışları yüzeydeki yapılarda oturmalara, tünel içinde çeşitli yönlerde deformasyonlara, geçirgenliğin azalması ise ortamın akifer özelliklerinin artmasına ve suyu tutmasına dolayısıyla kazı esnasında problemlere yol açmaktadır.

Yüksek şişme potansiyeli hesaba katılmaksızın, kilin su muhtevası değişmeden kalırsa herhangi bir hacim değişimi gerçekleşmez. Kilin su muhtevası değiştiğinde ise hem yatay hem de düşey yönde doğrultuda hacim genişlemesi meydana gelir. Su muhtevasındaki % 1-2'lik bir artış bile zararlı nitelikte bir şişmenin meydana gelebilmesi için yeterlidir.

Başlangıç su muhtevası, şişmenin miktarını kontrol eden bir parametredir. % 15'in altında su içeren kuru killer genellikle tehlike gösterirler, öyle ki, bu tip killer % 35'e kadar su adsorbe edebilirler. Buna karşın; % 30 un üzerinde su içeren killer şişmenin çoğunu tamamlamışlardır ve daha sonraki şişme az olur (Acar, 1994).

Likit limit ile plastik limit arasında kalan zemin plastik davranış gösterdiği için, bu iki limitin farkı plastisite indeksi (IP);

$$IP (\%) = (WL - WP) \quad (3.4)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Burada;

WL (%) = Likit Limit

WP (%) = Plastik Limit'dir.

İnce taneli zeminlerin plastisite indeksine göre sınıflandırılmasında, Leonards, G.A., 1972 sınıflaması kullanılmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7: Plastisite derecesinin plastisite indisine göre sınıflandırılması (Leonards, G.A.,1972).

Plastisite İndeksi, PI (%)	Plastisite Derecesi	Kuru Dayanımı
0	Plastik Değil	Çok Düşük
5-15	Az Plastik	Düşük
15-40	Plastik	Orta
>40	Çok Plastik	Yüksek

Zeminin tabii su muhtevasının kıvam limitleri ile karşılaştırılması yapılırken bazı boyutsuz katsayılar kullanılmaktadır. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılan iki tanesi; likidite indeksi ve kıvamlılık indeksidir.

Kıvamlılık İndeksi;

$$IC = (WL - W_n) / (WL - WP) = (WL - W_n) / IP \quad (3.5)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

İnce taneli zeminlerin kıvamlılık indeksine göre sınıflandırılması Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8: İnce taneli zeminlerin kıvamlılık indeksine göre sınıflandırılması.

Kıvamlılık İndeksi, Ic	Tanım
< 0	Akışkan (Çamur)
0 – 0.25	Çok yumuşak
0.25 – 0.50	Yumuşak
0.50 – 0.75	Orta
0.75 – 1.00	Katı
> 1.00	Çok Katı

İnce taneli zeminlerde zeminin sıkışabilirliğini ifade eden parametrelerden sıkışma indeksi ile likit limit arasında bazı ampirik ilişkiler mevcuttur. Bunlardan Sowers, G.F. (1979) sınıflamasına göre hesaplanan değerler Tablo 3.9’da verilmiştir.

Sıkışma İndeksi Cc (aşırı konsolide killere için);

$$C_c = 0,007 (WL - 10) \quad (3.6)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Tablo 3.9: İnce taneli zeminlerin sıkışma indeksine göre sınıflandırılması (Sowers, G.F., 1979).

Tanım	Sıkışma İndeksi (Cc)	W _L (%)
Düşük Sıkışabilir	0 - 0.19	0 - 30
Orta Sıkışabilir	0.20 - 0.39	31 - 50
Yüksek Sıkışabilir	> 0.40	> 51

Zeminlerin şişme özelliklerinden kaynaklanan temel hareketleri üzerlerindeki yapının elemanlarını kırmakta, çatlatmakta ve deformasyonlar oluşturmaktadır. Zeminler, farklı mineralojik, dokusal, kimyasal bileşim ve konsolidasyon özelliklerine bağlı olarak değişik şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerine sahiptirler. Zeminlerin bazı özelliklerine bağlı olarak gelişen şişme özellikleri Tablo 3.10'da verilmiştir (Chen, 1965).

Tablo 3.10: Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli (Chen, 1965).

Laboratuvar ve Arazi Verileri			Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı (kN/m ²)	Şişme Derecesi
200'nolu Elekten Geçen	Likit Limit (W _L %)	SPT N ₃₀			
> 95	> 60	> 30	> 10	> 1000	Çok Yüksek
60 - 95	40 - 60	20 - 30	5 - 10	250 - 1000	Yüksek
30 - 60	30 - 40	10 - 20	1 - 5	150 - 250	Orta
< 30	< 30	< 30	< 1	50	Düşük

3.1.3. Kaya Birimlerin Tünelcilik Açısından Sınıflandırılması

Günümüz modern tünelciliğinde projelendirmeye esas teşkil eden kaya sınıflandırmalarında, kayanın kütle özelliği dikkate alınmaktadır. Kaya kütleli puanlama sistemi (RMR) veya eklemli kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflandırılması Bieniawski 1989'a göre yapılmış olup, kayaçların jeomekanik açıdan sınıflandırılmasında kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Bu sistemde 6 kayaç özelliği, sınıflandırma parametresi olarak kullanılmaktadır:

- Kayacın tek eksenli ya da nokta yükleme direnci,
- Kayacın RQD % değeri,
- Çatlak takımları ve çatlak ara uzaklığı,
- Çatlakların durumu,
- Yeraltısuyu durumu,
- Çatlakların doğrultu, eğimi ve bunların şev doğrultusuyla olan ilişkileri.

Bu parametrelerden ilk beşi kayacı nitelik açısından sınıflandırmasında kullanılır. Altıncı parametre de, mühendislik projesinin türüne bağlı olarak daha önce bulunan toplam değere göre düzeltilir (EK 10).

Farklı ayırışma düzeylerine ait kaya kesimleri, saha gözlemleri ve yer altı suyu koşulu birlikte değerlendirilerek Kaya Kütleli Puanlama Sistemi (RMR)'ne göre sınıflandırılmıştır. Sınıflamada yer altı su seviyesi (ıslak ile damlama arası) için 6, süreksizlik yönelim düzeltmesi için ise -5 (orta) alınmıştır. 0-100 aralığında değişen puan sistemine dayalı RMR sınıflaması, çok iyi ile çok kötü olmak üzere 5 kaya sınıfını temsil etmektedir (Polat, 2014).

3.2. JEOTEKNİK ÖLÇÜMLER

Son yıllarda uygulama projelerinde vazgeçilmez bir unsur olarak yerini alan jeoteknik ölçümler, zemin ve kaya mekaniği ile ilgili problemlerin çözümünde önemli bir yer teşkil etmektedir. İnşaat süresince, yer altı kazılarının davranışlarını izleme bugün önem ve gereklilik taşımakta, kazı inşaatı ve tasarımına büyük katkı sağlamaktadır.

Yerinde izleme ölçümlerinin başlıca amacı destekleme ve zemin davranışı üzerinde nitelikli verilerin elde edilmesiyle yer altı kazılarının duraylılık koşullarının sağlanmasıdır. Bunun sonucunda, yer altı kazılarının tasarımının temelinde yer altı destekleme sistemlerinin tasarımı yatmaktadır (Hook ve Brown, 1980).

3.2.1. Presizyonlu Geometrik Nivelman Yöntemi

Noktalar arasındaki düşey uzaklık farklarının, yani yükseklik farklarının, nivo adı verilen ölçme donanımları kullanılarak belirlenmesi işlemine geometrik nivelman adı verilir. Presizyonlu geometrik nivelmanda, hassas yatay gözlemler yapabilen nivo ile yükseklik farkları bulunacak noktalar üzerinde düşey olarak tutulan ve mira adı verilen latalara ölçmeler yapılır.

Büyük mühendislik yapılarında meydana gelebilecek düşey yöndeki deformasyonların yüksek doğrulukla belirlenmesinde presizyonlu geometrik nivelman yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem sabit nivelman noktalarının tesisi ile başlar. Sabit noktaların uzun süre konum değiştirmeden yaşamını sürdürmesi çok önemlidir. Noktalar sağlam kalmadıkça özenle yapılan ölçmelerin bir anlamı kalmaz.

Ölçmeler sabah ve akşam saatlerinde, gidiş-dönüş olarak yapılmalıdır. Ölçmelerin yüksek doğrulukla yapılabilmesi için, nivelmana etki eden hata kaynaklarının belirlenip elimine edilmesi gerekmektedir. Ölçmeler sonucu obje noktalarının yükseklikleri hesaplanıp olması gereken yükseklikten farklarına bakılarak deformasyon miktarı belirlenmektedir.

3.2.1.1. Bina Oturma Bulonları Ölçümleri

Bina oturma bulonları (BB) kazıya bağlı gelişen deformasyonların yüzeyde mevcut bulunan binalardaki etkisini izlemek amacıyla yerleştirilen deformasyon ölçüm noktalarıdır.

Nivelman ölçümleri ile bu noktaların yukarı veya aşağıya doğru hareketleri belirlenerek, yapılara ait deformasyonlar gözlemlenmektedir. BB noktalarında ölçümlenen oturma değerlerine ait tüm veriler EK 11’de verilmiştir. Şekil 3.3’te güzergah üzerinde mevcut bulunan bir binaya yerleştirilen bina oturma bulonu ve Şekil 3.4’te bina bulonuna ait ölçüm gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Güzergah üzerinde mevcut bir binaya yerleştirilen bina oturma bulonu (BB).



Şekil 3.4: Güzergah üzerinde bulunan bina oturma bulonu (BB) ölçümü.

3.2.1.2. Yüzey Oturma Bulonları Ölçümleri

Yüzey oturma bulonları (SMP veya Y) 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 gerçekleştirilir. Şekil 3.5'te güzergah üzerinde mevcut bulunan bir noktaya yerleştirilen yüzey oturma bulonu ve Şekil 3.6'da yüzey oturma bulonuna ait ölçüm gösterilmektedir. SMP (Y) noktalarında ölçümlenen oturma değerlerine ait tüm veriler EK 11'de verilmiştir.



Şekil 3.5: Güzergah üzerinde asfalt üzerine yerleştirilen yüzey oturma bulonu (SMP-Y).



Şekil 3.6: Güzergah üzerinde bulunan yüzey otuma bulunu (SMP-Y) ölçümü.

3.2.2. Jeodezik Kontrol Ağı Yöntemi

Deformasyonların belirlenmesi için kullanılan en presizyonlu yöntem nirengi ağı yöntemidir. Bunun için deformasyon ölçmeleri yapılacak alanı kapsayacak şekilde bir yatay ve düşey kontrol ağı oluşturulur. Bu ağda, ölçme-obje-yöneltme ve sigorta noktaları olmak üzere dört çeşit nokta kullanılmaktadır.

Kontrol ağı oluşturulduktan sonra deformasyon ölçmelerinin yapılma aşamasına geçilir. Bu ölçümler Total Station cihazı ile gerçekleştirilir ve ölçme yapılmadan önce, ölçme yapılacak donanımın kalibrasyon işlemleri kontrol edilmelidir. Ölçmeler atmosfer etkilerinin en az olduğu saatlerde yapılmalıdır. Ayrıca ölçme esnasında deformasyonların gerçekleşmediği varsayıldığından ölçme işleri mümkün olduğunca kısa sürede tamamlanmalıdır. Deformasyon ölçmeleri yapılacak donanım, beklenen deformasyonun büyüklüğü, talep edilen doğruluk, alet ve insan gücünün maliyeti göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Ölçme işlemi esnasında daha sonra değerlendirme kriteri olması açısından hava sıcaklığı, rüzgar hızı, yapının ısı ve ölçme saati not edilmelidir.

3.2.2.1. Bina Yatay Deplasman Reflektörü Ölçümleri

Bina izleme noktaları, binalara yerleştirilen bina yatay deplasman reflektörleri (BMP-R) aracılığıyla binaların eğilme ve bükülmelerinin belirlenmesini takip eden izleme elemanlarıdır. Bina reflektörleri bina cephelerine, yapısal olarak temel nitelikteki noktalara ve bina yüksekliğine göre farklı seviyelere sıkıca sabitlenmelidir.

Binalarda meydana gelen açısal bozulmalar, aynı bina üzerindeki birden fazla reflektör noktası yardımı ile geometrik olarak hesaplanır.

$$DX1 = |X_0 - X1| \quad (3.5)$$

$$DY1 = |Y_0 - Y1| \quad (3.6)$$

$$Dx1 = |x_0 - x1| \quad (3.7)$$

$$Dy1 = |y_0 - y1| \quad (3.8)$$

Burada belirtilen DX1, DY1, Dx1 ve Dy1 bina üzerinde bulunan reflektör ölçüm noktalarından alınan baz okumaları ile son okumalar arasındaki farkın mutlak değerini temsil etmektedir.

X0, Y0, x0 ve y0 bina üzerindeki iki reflektör noktasının baz okumalarını temsil etmektedir. X1, Y1, x1 ve y1 ise bina üzerindeki reflektör noktalarından alınan son okumayı temsil etmektedir. Binada meydana gelen açısal bozulmadaki açı ise belirlenen bu değerlerin arasındaki formülde yerlerine konulmasıyla elde edilir.

$$\tan \phi = \frac{\sqrt{(DX_1^2 - DY_1^2)} - \sqrt{(Dx_1^2 - Dy_1^2)}}{h} \quad (3.9)$$

Buradaki “h” bina üzerinde mevcut olan iki reflektör ölçüm noktası arasındaki yüksekliği temsil etmektedir. ϕ ise binanın düşey ile yaptığı açığı temsil etmektedir.

BMP (R) noktalarında ölçümlenen oturma değerlerine ait tüm veriler EK 11’de verilmiştir. Şekil 3.7’de üç boyutlu ölçüm için bir binaya yerleştirilmiş okuma noktalarının konumları gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Güzergah üzerinde bulunan binalara ait bina yatay deplasman reflektörü ölçüm noktalarının konumu.

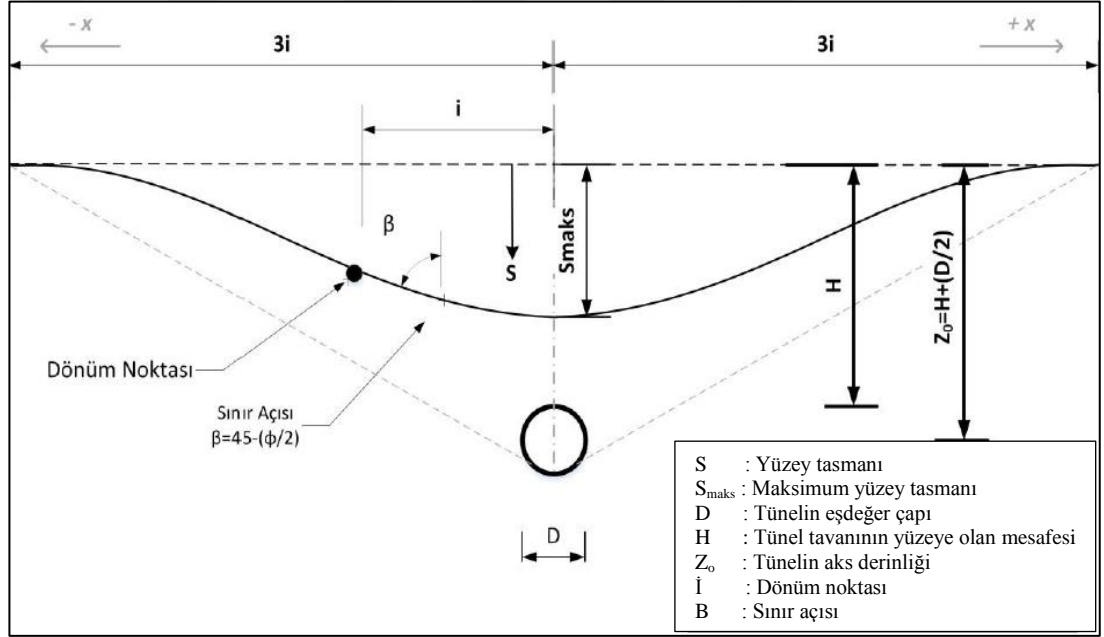


Şekil 3.8: Güzergah üzerinde bulunan reflektör (BMP-R) ölçümü.

3.3. TÜNEL KAZILARINA BAĞLI GELİŞEN YÜZEY OTURMALARI

Hızla artan kentleşme oranı nedeniyle projelendirilen yeraltı mühendislik yapıları yerleşim alanlarının bulunduğu zonların altından geçmektedir. Bu yapıların inşaatı sırasında oluşan yer değiştirmelerden kaynaklanan yüzey deformasyon hareketlerinin parametrelerinin önceden kestirimi üst yapıların emniyeti açısından önem taşımaktadır.

Martos (1958), maden kazılarına bağlı gelişen yüzey deformasyonlarının oturma formunun Gauss veya normal dağılım eğrisi ile tanımlanabileceğini önermiştir. Schmidt ve Peck (1969)'da aynı formun tek tünel kazıları üzerinde oluşabileceğini belirtmiştir. O'Reilly ve New (1982)'de Gauss modelini geliştirerek tek tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanına ait tipik profil Şekil 3.9'da belirtilmiştir.



Şekil 3.9: Tek tünel kazılarına bağlı gelişen yüzey tasmanına ait tipi profil.

Yüzey deformasyonu parametrelerinin kestirimi için ampirik yarı teorik bağıntılar kullanılmıştır. Bu parametreler;

Yüzey çökme teknesinin dönüm noktasının absisi (i) (Arioğlu ve Yüksel, 2002);

$$i = 1,81 \cdot \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{Z_0}{D}\right)^{0,78} \quad (3.10)$$

Yüzey çökme teknesinin eksenindeki oturma miktarı (S_{max}) (Schmidt, 1969 ve Arioğlu, 1992);

$$S_{max} = 0,628 \cdot \frac{D^2}{i} \cdot \left(\frac{P_{ek+\gamma \cdot Z_0}}{E_y} \right) \cdot (1 + \mu) \quad (3.11)$$

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

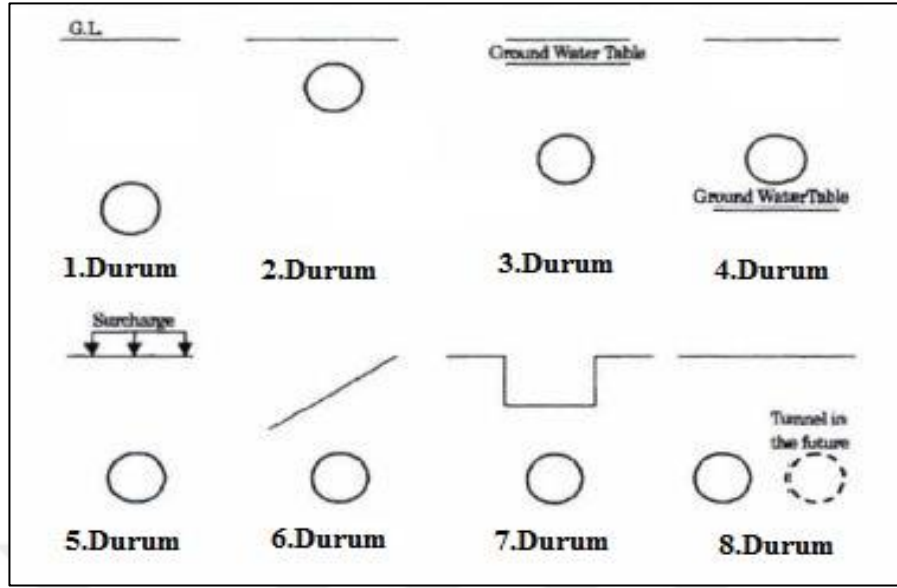
Pek=Yapı veya trafik yükünden kaynaklanan ilave yük miktarını tanımlamaktadır.

3.4. OTURMALARLA İLGİLİ TEKNİK ŞARTNAME GEREKLERİ

Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro projesi kapsamında 5 km'lik NATM (Mecidiyeköy-Alibeyköy İstasyonları arası) ve 11,6 km'lik EPB/TBM (Alibeyköy-Mahmutbey İstasyonları arası) tünel kazılarına bağlı olarak yüzeyde ve yapılarda meydana gelecek oturma izleme tasarım yöntemleri inşaat proje grubu tarafından hazırlanmıştır.

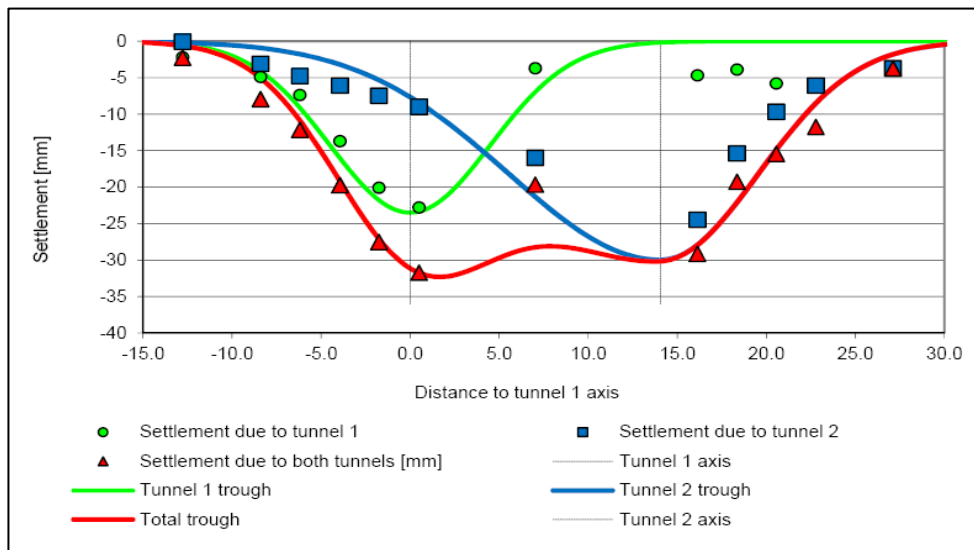
Bu oturmaların değerlendirilmesinde Beton Yapılarının Tasarımı (EN 1992 Eurocode 2), Geoteknik Tasarımlar (EN 1997 Eurocode 7), Yer altı Yapılarının Sismik Tasarımı ve Analizi (ITA yayınları-2001), Yer altı Yapılarının Depreme Göre Tasarlanması ve Korunmasına Yönelik AFTES Talimatları, Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılara İlişkin Şartnameler, Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı Depo Bakım Sahası ve Depo Bağlantı Hatları İnşaat İşleri Teknik Şartnameler gibi yönetmelik ve standartlar baz alınmıştır (Yüksel Proje, 2014).

Zemin yükleri seçilen tünel kesitlerinde su, fazla yük geometrisi (kalıcı yükler-tesadüfi yükler-değişken yükler) ve laboratuvar-yerinde yapılan test sonuçlarına göre belirlenen zemin parametreleri (elastisite modülü-poisson oranı-kohezyon-sürtünme açısı-doğal birim hacim ağırlığı) de dahil olası en kötü şartlar kombinasyonu dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu durum Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Zemin izleme kapsamında tünel kazısından kaynaklanan oturma tasarımı da Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.10: Kritik durum değerlendirmeleri.

- 1.Durum: Derinde fazla yüklenmiş bölümleri,
- 2.Durum: Sığ durumda fazla yüklenmiş bölümleri,
- 3.Durum: Yer altı suyu tablası seviyesi yüksek bölümleri,
- 4.Durum: Yer altı suyu tablası seviyesi düşük bölümleri,
- 5.Durum: Belirli sürşarj yükleme durumundaki bölümleri,
- 6.Durum: Eksantrik yükleme durumundaki bölümleri,
- 7.Durum: Düzgün yüzeyli olmayan bölümleri,
- 8.Durum: Mevcut ve planlanmış bitişik tünel bölümlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.11: Tünel kazısından kaynaklanan oturma tasarımı.

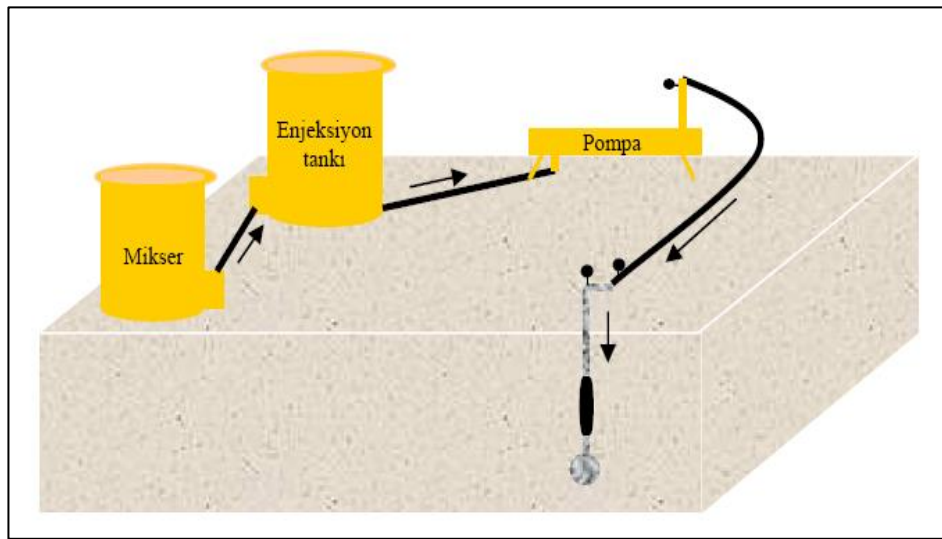
Sonuçta, proje kapsamında tünel inşaatı sırasında yapılarda ve yüzeyde düşey koordinatların okunması ile hesaplanan azami toplam oturmanın 25 mm'yi geçmemesi, bununla beraber binalarda yatay koordinatların okunması ile hesaplanan farklı oturmalar ve binalardaki açısız bozulmaların ise 1/500'i aşmaması istenmektedir. Yine düşey koordinatların okunması ile hesaplanan toplam kabarmanın da 25 mm'den fazla olmaması ve yine yatay koordinatların okunmasından hesaplanan kabarmaya bağlı açısız bozulmanın da 1/500'i aşmaması talep edilmektedir.

3.4. ZEMİN ENJEKSİYONU

Son yıllarda metro tünel projelerinde zeminle ilgili karşılaşılan sorunların çözümünde enjeksiyon sıkça kullanılan bir yöntemdir. Zemin enjeksiyonu, zeminin permeabilite değerinin düşürülmesi, kayma mukavemetlerinin artırılması veya deformasyonların azaltılması için kullanılır. Zeminde açılan delikten harcın basınç ile verilerek zemin içerisindeki boşlukların doldurulması şeklinde uygulanır (Nonveiller, 1989).

Enjeksiyon, hem uygulama ve mobilizasyondaki kolaylık hem de daha ekonomik olması sebebiyle çok yaygın olarak kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem ile kayaların çatlaklarını veya kum çakıl gibi granüler zeminlerin boşluklarını doldurarak zemin daha yoğun ve sıkı hale getirilir.

Enjeksiyon sisteminin sistematik gösterimi Şekil 3.12'de gösterilmektedir.

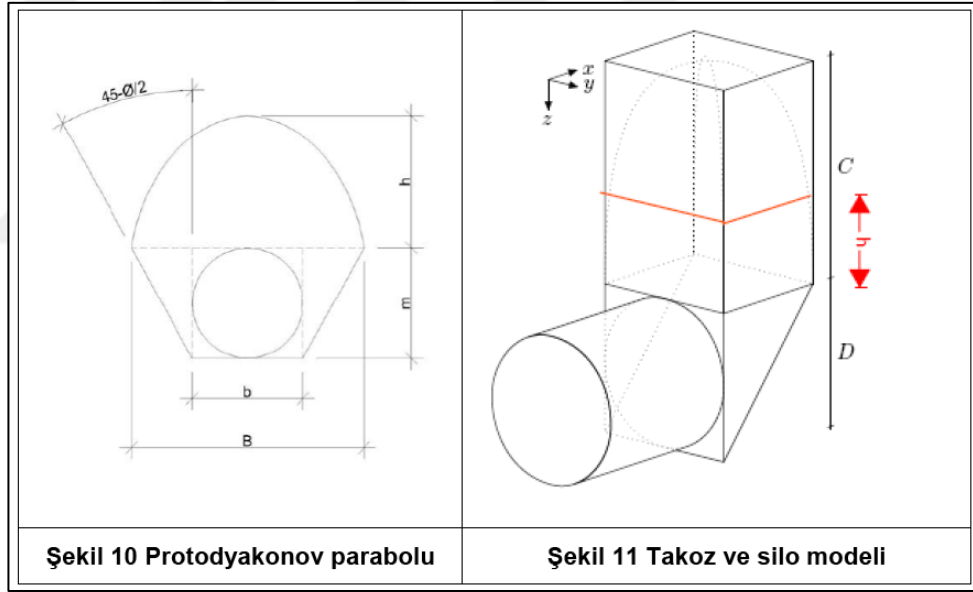


Şekil 3.12: Enjeksiyon sisteminin sistematik gösterimi.

3.5. EPB AYNA BASINCI HESABI

Metro tüneli projelerinde TBM ayna stabilitesini sağlamak amacıyla EPB basıncı hesaplamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hesaplamalarda jeolojik koşullar, örtü kalınlığı ve yer altı suyu basıncı gibi etkenler önemli rol oynamaktadır. EPB ayna basıncı hesaplamalarında genellikle Singapur, COB (Dutch Centre Ondergroun Bowen) ve Anagnostou-Kovari gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Mecidiyeköy-Mahmutbey metro projesi kapsamında TBM tüneller için yapılan EPB ayna basıncı hesaplamalarında, uluslararası projelerde kabul görmüş Anagnostou-Kovari yöntemi kullanılmıştır. Anagnostou-Kovari homojen zeminler için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu nedenle tünel ilerlemeleri sırasında yüzey deformasyonları devamlı kontrol edilerek, hesaplanan değerlerin gerektiğinde kalibre edilmesi önerilmektedir.



Şekil 3.13: Kabul edilen kayma mekanizması.

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi homojen zeminde ayna stabilitesi, bir prizmatik zemin kütle tarafından yüklenen bir kama şeklindeki zemin kütlelerinin sınır dengesi dikkate alınarak değerlendirilir. Bu kayma mekanizması aslında Horn (1961) tarafından önerilmiştir ve sık tünellerde çok sık meydana gelen ayna göçüklerinde gözlenen kayma yüzeylerinin oluşumunu dikkate alır. Bu durumun oluşmasında, Mohr-Coulomb yenilme kriteri ve drenajlı koşulların geçerli olduğu kabul edilir. Prizma yükü, aktif kama üzerinde etkiyen düşey efektif gerilmeleri kemerlenme nedeniyle azaltıcı etkisi olan silo teorisine dayanarak hesaplanır.

Bir EPB-TBM'in basınç (kazı, çalışma) odası, kazılan pasa ile basınçlı olarak doldurulmuş olduğundan aynaya etki eden toplam ve efektif gerilmeler arasında ayırım olmalıdır. Sadece efektif normal gerilme, kazı aynasına etkileyen gerçek ayna (destek) basıncı olarak ifade edilebilir. Bu parametre efektif destek basıncı olarak adlandırılır ve σ' ile gösterilir.

Sınır dengesinde bulunan efektif destek basıncı σ' , tünel çapı D , örtü tabakası derinliği H , basınç odasındaki piezometrik basınç hF , yer altı suyu seviyesi H_0 , kesme mukavemeti parametreleri (c ve ϕ) ve zeminin suya doymun birim hacim ağırlığına γ' bağlıdır. Boyut analizi kullanarak denge ve yenilme denklemlerinin doğrusallığını dikkate alarak, sınır denge durumu için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Anagnostou & Kovari, 1996).

$$S' = FO \cdot \gamma' \cdot D - F1 \cdot c + F2 \cdot \gamma' \cdot \Delta h - F3 \cdot c \cdot \Delta h / D \quad (3.10)$$

Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro projesi kapsamında yer alan Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası TBM tünel hattında yer alan formasyonlara göre hesaplanan EPB ayna basınçları Tablo 3.11'de verilmiştir (Bilgin, 2015).

Tablo 3.11: Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası için hesaplanan EPB ayna basınçları.

Km (Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası)	Formasyon	Ayna basıncı S' (bar)
15+534-15+614	Trakya Fm.	<1
15+614-15+694	Trakya-Güngören Fm. geçişi	1,3
15+694-15+800	Güngören Fm.	1,0
15+800-16+040	Güngören-Çukurçeşme Fm. geçişi	<1
16+040-16+220	Çukurçeşme Fm.	1,4
16+220-16+420	Çukurçeşme Fm.	1,4
16+420-16+660	Çukurçeşme Fm.	1,4
16+660-16+780	Çukurçeşme-Trakya Fm. geçişi	1,6
16+780-16+940	Trakya Fm.	0,7
16+940-17+100	Güngören Fm.	2,4

4. BULGULAR

4.1. JEOLJİ

4.1.1. Önceki Çalışmalar

İstanbul ve çevresinin jeolojisi üzerinde yapılan çalışmalar geçen yüzyılın ortalarına doğru başlatılmıştır. Bunlar arasında İstanbul'un şehir içi ile Haliç ve civarlarını kaplayan alandaki başlıca önemli jeolojik araştırma ve yayınlar tarih sırasına göre şöyledir:

Paeckelmann (1938) yaptığı incelemeye göre, Trakya Formasyonu'nun yaşını Üst Devoniyen, çökel ortamının denizel ortam olduğunu belirtmiştir. Yumrulu kalkerlere 'Nierenkalk' adını vererek Orta Devoniyene dahil etmiştir.

Yalçınlar (1951) Trakya Formasyonu'nun yaşının Karbonifer olduğunu belirtmiştir. 1956'da ilk defa Gözdağ Formasyonu'nda bazı Graptolitler bulmuş ve üst Valensiniyen yaşını vermiştir.

Baykal ve Kaya (1963) 'Thrazische Serie' tabakalarından derlenmiş fosillere dayanarak Vizeyen yaşını ileri sürmüşlerdir.

Abdüselamoğlu (1963) yaptığı çalışmada Vizeyen'i lititler şeklinde bulmuş ve bunlar üzerine gelen Trakya Formasyonu'nun Karbonifer Yaşlı olduğunu görmüştür. 1963'te İstanbul Boğazı'nın doğusunda yaptığı çalışmalarda arkoz, kumtaşı ve konglomeraları, onlarla geçişli Silüriyen yaşlı ortokuvarsiti, Alt Devoniyen yaşlı killi şist ve grovağı, Orta Devoniyen yaşlı kireçtaşı birimi ve üst Devoniyen yaşlı yumrulu seviyelerini belirlemiştir.

Haas (1968) birimi Trakya Serisi olarak ayırmış, alttaki kireçtaşları mercekli ve kumtaşlı istifli radyolaritlerle birlikte Yelkentepe Tabakaları olarak tanımlamış, birimin üst kesimini Üst Trakya serisi olarak Namuriyen yaşında olduğunu belirtmiştir.

Kaya (1971) boğazın batı yakasında yaptığı çalışmada İstanbul Karbonifer istifinin ana çizgilerini ortaya koymuştur. Özgül stratigrafi ve yapısal özelliklerine göre Trakya alanını İstinye, Kağıthane, Cebeciköy ve Zekeriyaköy as alanlarına bölmüştür.

Önalın (1981) İstanbul dolayında yaptığı çalışmada Trakya Formasyonu'nun Pleorodictyum ve Helicolithus gibi derin denizde dış yelpazede yaşayan fosil izlerini gördüğünü ve formasyonun derin denizin beslenme alanında oluştuğunu ortaya koymuştur. Trakya Formasyonu'nun üst seviyelere doğru ise daha sığ sularda oluşmuş çökellerden oluştuğunu söylemiştir.

Ketin (1988) İstanbul Bölgesi'nde Karbonifer Yaşlı Trakya Formasyonu'nun yapısal özelliklerini araştırmıştır. Yalçın (1994) İstanbul Metrosu'nda 1992-1993 döneminde yapılan çalışmaları Büyükşehir Belediyesi adına derlemiştir.

4.1.2. Genel Jeoloji

İstanbul'un jeolojisi birçok araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalarda ele alınmış ve incelenmiştir (Abdüsselamoğlu, 1963; Baykal ve Kaya, 1963; Baykal ve Kaya, 1965; Kodamanoğlu, 1977; Ketin, 1991; Seymen, 1995).

İstanbul kenti ve yakın çevresi; çok faylı, kıvrımlı ve bindirmeli Paleozoyik, Mesozoyik kaya birimleri ile bunlar üzerinde yer alan düzensiz Tersiyer çökellerinden oluşur (Şekil 4.1). Paleozoyik birimler Karbonifer ve Kretase'de magmatik sokulumlar ile kesilmiştir. Bu magmatizma olayları sırasında kaya birimleri içine yaygın olarak andezit ve diyabaz daykları yerleşmiştir.

İstanbul bölgesinde Paleozoyik temeli, özellikle Anadolu yakasında yaygın olan Ordovisiyen, Silüriyen ve Devoniyen yaşlı kaya toplulukları ile Rumeli yakasında yaygın olan Karbonifer serileri oluşturur. Jeoloji literatüründe bu birimlere "İstanbul Paleozoik İstifi" adı verilir. İstif, Ordovisiyen'den Karbonifer'e kadar birkaç bin metre kalınlığa sahiptir. Mesozoyik (Kretase) birimleri, İstanbul'un her iki yakasında, yalnız Karadeniz'e yakın kesimlerde bulunmaktadır. Buzul dönemlerinde denizlerdeki su seviyesinin düşmesi sonucu, Marmara Denizi'ne ulaşan dereler, geçmişte, günümüze oranla daha derin kazılmışlardır. Buzul dönemi sonrası deniz seviyesinin yükselmesi ile birlikte bu derelerin denize yakın kesimleri haliç halini almış ve kalın haliç çökelleri ile dolmuşlardır. Derelerin denize uzak kesimlerinde ise alüvyal çökeller birikmiştir.

4.1.3. İnceleme Alanının Stratigrafisi

İnceleme alanı ve çevresinin jeolojisi, başlıca kahverengi renkli kumtaşı, kıltaşı ve şeyl birimlerinden oluşan Alt Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu ile başlamaktadır. Karbonifer birimleri üzerine aşıl uyumsuzlukla tutturulmuş, çakıl, kum ve siltten oluşan akarsu ürünü olan Çukurçeşme Formasyonu gelmektedir. Çukurçeşme Formasyonu üzerinde geçişli olarak yeşil renkli, ince laminalı, plastik killerden meydana gelen Güngören Formasyonu bulunmaktadır. Tüm bu birimler üzerine Haliç ve Tarihi Yarımada kıyılarında alüvyon ve güncel dolgular altında çakıl, kum ve kilden oluşan Kuşdili Formasyonu yer almaktadır. Alüvyonel alanlar genellikle vadiler içinde sınırlı kalınlıklardadır. Dolgu malzemesi ise birçok alanda çeşitli kalınlıklarda gözlenmektedir. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit Şekil 4.2’de verilmiştir.

Üst Sistem	Sistem	Alt Sistem	Seri	Formasyon	Litoloji	Litolojik Özellik
SENOZOYİK	Kuvaterner			Yapay Dolgu		Kiremit parçaları, asfalt, kil, kum, çakıl
				Kuşdili Formasyonu		Çakıl, Kum, Silt ve Kil
	Tersiyer	Miyosen	Üst Miyosen	Güngören Formasyonu		Marn aratabakalı kil
				Çukurçeşme Formasyonu		Silt, Killi kum, Kum
PALEOZOYİK	Karbonifer		Alt Karbonifer	Trakya Formasyonu		Kumtaşı, Kıltaşı, Siltaşı,

Şekil 4.2: İnceleme alanı ve yakın civarının ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti.

4.1.3.1. Trakya Formasyonu (Ct)

Haas (1968) birimi Trakya serisi olarak ayırmış, alttaki mercekli ve kumtaşı istifli radyolaritlerle birlikte Yelkentepe tabakaları olarak tanımlamıştır. Abdüsselamoğlu (1963), Grovak şistleri, Kaya (1973) ve Önalın (1982), Trakya Formasyonu adlarını kullanmışlardır ve birimin yaşını alt karbonifer yaşlı olarak belirtmiştir.

Genellikle grovak ve şeyllerden oluşmuştur. Grovaklar çoğunlukla orta-kalın tabakalı olup, bazı kesimlerde şeyllerle aralanmalıdır. Taze yüzeyleri açık yeşilimsi, bozumsu ve kurşuni, aşınma yüzeyleri açık kahve ve kirli sarımsı renkler gösteren çökeller inceden kalına doğru değişen tabakalanmalıdır. Birimi oluşturan grovak ve şeyller taze iken orta sertlikte, fakat ayrıştıkları zaman oldukça yumuşaktırlar (Önalın, 1982). Bu formasyondaki kumtaşlarını temsil eden grovaklar genellikle ince, orta kum taneli ve çoğunlukla orta-kötü boylanmıştır. İçerisinde bol miktarda küt köşeli, düzensiz dağılmış düz ve ondüleli sönümlü kuvars taneleri bulunur. Bazı grovaklar ise bol miktarda mika ile çok seyrek olarak çört, kaya kırıntısı ve feldspat da kapsar. Taneler killi ve silisli bir çimento ile tutturulmuştur. Grovaklar içindeki demirli maddelerin limonite dönüşmesi, özellikle ayrışmış kesimlerde taşa kirli sarımsı bir renk vermiştir. Şeyllerde ise bol miktarda kilden başka, %25-30 civarında rastgele dağılmış, ince kum boyu kuvars tanelerine rastlanır. Bu killi şeyller bol miktarda serisit de kapsar (Önalın, 1982).

Trakya Formasyonu'nu 10-20 cm ile 1-2 m bazen de 30-40 m kalınlıkta genellikle çok ayrışmış, bozuşmuş kirli sarımsı kahve andezit ile taze yüzeyleri açık mavimsi yeşilimsi gri, sert, diyabaz daykları kesmektedir (Kaya 1973). Dayklar genelde fay, eklem ve kırık düzlemlerine paralel sokulmuşlardır. Formasyonda küçük ölçekli çapraz tabakalanma, katmana paralel levhamsı yarıma özellikleri türbidit akıntı çökelleri olduğunu gösterir.

Tünel güzergahında Trakya Formasyonu, orta - kalın tabakalı, sert-orta sert, genellikle orta-ince taneli, kötü boylanmış, bol mika, kuvars ve kayaç kırıntılarında oluşur. Taneler demirli ve silisli çimento ile bağlanmıştır. Çok ayrışmış kesimleri sarı, orta ayrışmış kesimleri boz, sarımsı boz ve ayrışmamış kesimlerde açık gri, mavimsi gri renkli olduğu gözlenmiştir. Trakya Formasyonu, inceleme alanının tabanını oluşturmakta ve Miyosen yaşlı birimler tarafından açılı uyumsuzlukla örtülmektedir. İnceleme yapılan tünel güzergahı boyunca Trakya Formasyonu'na ait TBM aynasından çekilmiş fotoğraflar Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Trakya Formasyonu'na ait km 15+507,526 ayna görüntüsü.



Şekil 4.4: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Trakya Formasyonu'na ait km 16+837,107 ayna görüntüsü.

4.1.3.2. *Çukurçeşme Formasyonu (Tç)*

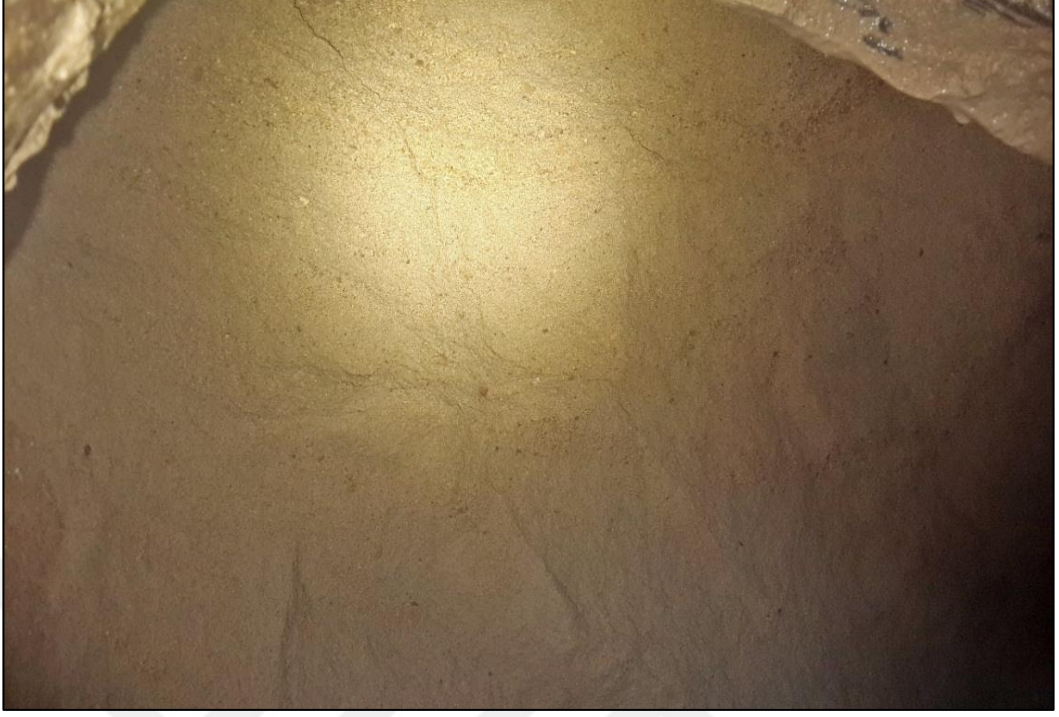
Rami kuzeyindeki Çukurçeşme mevkiinde Trakya Formasyonu üzerine diskordan oturan ve yaygınca yüzeylenen kumlu litolojilerin tamamı Arıç (1955) tarafından Çukurçeşme Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim blok, çakıl ve kumdan oluşur. Bu litolojiler birbiriyle aşınmalı yüzeylerle ilişkili mercekler şeklinde ve büyük ölçekli düzlemsel ya da tekne tipi çapraz tabakalıdır. Bazı merceklerin en üst kesimlerinde ince kil tabakaları bulunmaktadır. Karasal örgül akarsu ortamında çökelmiş, bu kesimde maksimum tane boyu 35 cm'yi bulan çakıltaşları yer alır. Bu örgülü akarsu fasiyesinin kalınlığı ortalama 35-40 m civarındadır. Fakat yersel olarak büyük farklılıklar gözlenebilir. Bu fasiyesin üstünde devresel gelişmiş bir diğer akarsu fasiyesi daha mevcuttur. Devreler menderesli akarsularda izlendiği gibi alt yüzleri aşınmalı ve kanallı yaygın olarak büyük ölçekli düzlemsel çapraz tabakalı, kum matriksli çakıl ve bloklarla başlar. Çapraz tabakalanmanın yukarı doğru ölçeği küçülür. Litolojide çakıllı kum halini alır.

İçlerinde Pelcypod, gastropod, bitki fosilleriyle yer yer silisleşmiş ağaç görülür. Bazı kesimlerinde bolca mika mineralleri vardır. Kum içerisinde kuvars, kuvarsit, opal, kalsedon, mikalı kumtaşı, andezit, trakit, arkoz ve mikaşist çakıl çepleri gözlenebilir. Az köşeli, az yuvarlak olan taneler, süt beyaz, kırmızı, yeşilimsi ve kahverengi renklidir. Çakıllar kuvars, kuvarsit, opal, kalsedon, mikalı kumtaşı, andezit, trakit, arkoz ve mikaşisttir. Birimin kalınlığı kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Birimde tane boyu da kuzeye doğru büyümektedir.

Çukurçeşme Formasyonu, Trakya Formasyonu üzerine açılı uyumsuzlukla gelir. Üzerine gelen Güngören Formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Kalınlığı paleotopografyaya göre değişir. Arıç (1955), en fazla kalınlığın 40-50 m'yi bulduğunu, bazen de 2-3 m kadar incelendiğini belirtir. Delta ortamında oluştuğunu ve Sarmasiyen yaşlı olduğunu ifade eder.

Tünel güzergahında Çukurçeşme Formasyonu, esas olarak iki farklı seviyeden oluşur. Üstte sarı, beyaz, mika pullu ince kum ve bunlarla ardalanan silt, kil tabaka ve merceklerinden, altta ise zayıf tutturulmuş killi kumtaşı-kumlu kıltaşı seviyelerinden oluşur. Taban kısmında yaygın çakıl katkıları gözlenir.

İnceleme yapılan tünel güzergahı boyunca Çukurçeşme Formasyonu'na ait TBM aynasından çekilmiş fotoğraflar Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Çukurçeşme Formasyonu'na ait km 16+157,130 ayna görüntüsü.



Şekil 4.6: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Çukurçeşme Formasyonu'na ait km 16+312,460 ayna görüntüsü.

4.1.3.3. *Güngören Formasyonu (Tg)*

Güngören Formasyonu, Yedikule Kazlıçeşme Osmaniye, Rami, Atışalanı-Esenler arası ve Güngören doğusunda görülür (Arıç, 1955). Ayrıca Şirinevler-Yenibosna-Kocasinan-Mahmutbey sırtının doğu ve batı yamaçlarında Şenlökköy-Sefaköy-Halkalı sırtının doğu ve batı yamaçlarında yüzeyler.

Genellikle yeşil-mavi renkli üst seviyelerinde kirli beyaz renkli Mactra'lı kireçtaşı ara seviyeli, kum cepli kil ve marnlardan oluşur. Sarımsı esmer-yeşil renkli kil, beyaz renkli marnlar ile bunlar arasında ince düzensiz tabakalı Mactra'lı kalker, beyaz tebeşirimsi kalker seviyelerinden oluşur. Killer içinde marnlı kalker topakları vardır. Killer içinde ayrıca bitki sap ve yaprak izleri, silt ve kum mercikleri gözlenir. Killi kireçtaşı-kil araldanması Bakırköy kireçtaşına geçişte çoğalır. Killer ince tabakalı olup laminalıdır. Ayrıca içlerinde kum mercikleri bulunur. Yüzeye yakın yerlerde organik madde zenginleşmesiyle kahverengiye dönüşmektedir.

Güngören Formasyonu ayırtlandığı kesimlerde altına gelen Çukurçeşme Formasyonu ve üstüne gelen Bakırköy Formasyonu'yla dereceli geçişlidir. Güngören Formasyonu ile Çukurçeşme Formasyonu geçişinde killerde kırıntılı malzeme oranı artar. Ayrıca Çukurçeşme Formasyonu içerisindeki bazı kil tabakaları ile Güngören Formasyonu benzer özellikler gösterebilir. Bu litolojik benzerlik Güngören-Çukurçeşme sınırını belirlemeyi zorlaştırabilir.

Arıç (1955) çalışmasında Güngören Formasyonu içinde bulduğu mactra, Helix, omurgalı diş ve omurları göre Sarmasiyen yaşını vermiştir. Güngören Formasyonu, karadan kaba malzemenin kıt olarak geldiği, ince-çok ince terrijen malzemenin geldiği göl ortamında çökelmiştir. Güngören Formasyonu'nun en fazla 30 m kalınlığı bulunmaktadır.

Tünel güzergahında Güngören Formasyonu, mavimsi açık yeşil, yeşilimsi gri – kahve, beyaz – kirli beyaz ve yer yer bej renkli, az siltli, yerel olarak ince çakıllı, siltli ve kum bantlıdır. Ender olarak karbonatlı silt – kum ve orta kesimlerinde bazen maktra fosilli marn ve killi kireçtaşı ara ince ara tabakalıdır. Killer hakim litolojiyi oluşturur.

İnceleme yapılan tünel güzergahı boyunca Güngören Formasyonu'na ait TBM aynasından çekilmiş fotoğraflar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Güngören Formasyonu'na ait km 15+762,280 ayna görüntüsü.



Şekil 4.8: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası Güngören Formasyonu'na ait km 16+985,435 ayna görüntüsü.

4.1.3.4. Kuşdili Formasyonu

İstanbul il alanında, Marmara ve Boğaz'a dökülen derelerin, akış aşağı kısımlarında, vadi tabanlarında biriken koyu renkli kalın haliç ortamı çökelleri (silt ve siltli killer) Kuşdili Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon kara-koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil, genellikle organik kapsamı yüksek, yer yer, kömürleşmiş bitki parçalı haliç-kıyı gölü çökellerinden oluşur. Başlıca kil, mil, kum boyu gereç kapsar; tane boylarının görelî oranı yerden yere değişir. Seyrek olarak, yarı yuvarlanmış çakıl ve çakılcıklı kum mercek ve ara düzeyleri ihtiva eder. İnce kavkılı denizel lamellibrans, gastropod vb. makrofosil kavkılıdır.

İstanbul'un boğaza açılan büyük akarsuların akış aşağı (mansap) kesiminde kalınlığı yer yer 70-80 m'ye varan başlıca killi kum-mil türü ince malzeme kapsayan birikintiler yer alır. İstanbul'un Kadıköy semtinde yer alan Kurbağalı Dere'nin mansap kesiminde Kuşdili Çayırı olarak bilinen bu tür birikintileri kapsayan düzlükte yapılan sondaj verilerini inceleyen Meriç (1990) tarafından, birim Kuşdili Formasyonu adıyla tanımlanmıştır.

Formasyon koyu mavimsi kül rengi, kahverengimsi, yer yer siyahımsı, haliç çökellerinden oluşur. Başlıca kuvars, kuvarsit vb. killi mil-kum boyu malzeme kapsar, tane boylarının oranı yerden yere değişir. Seyrek olarak, yarı köşeli yarı yuvarlanmış çakıl ve çakıllı kum mercek ve ara düzeylerini kapsar. Özgür ve diğ. tarafından incelenen sondajlarda yer yer bitki kırıntılı ya da bunların ayrışmasından oluşan organik kapsamı yüksek siyahımsı killi ince düzeyler kesildiği, Kuşdili Çayırı yöresinde yapılan iki adet sondajın karotlarında, tabanda pirit ve piritleşmiş kavkı parçalarıyla organik kapsamı yüksek olan kesimlerde mollusk kavkı ve kavkı kırıntılarının bulunduğunu belirtilmektedir. Yüzeylemeleri güncel aşınmaya açık olduğundan bilinmemektedir. Yaklaşık 30-40 metre kalınlıkta örtüler oluşturur.

Kurbağalı Dere dolayında Fenerbahçe Stadyumunun batısında DSİ tarafından yapılan sondaj karotlarının fosil kapsamını inceleyen Meriç (1990), formasyon için Geç Holosen yaşını öngörür ve ortamını göl ortamı olarak belirlemişlerdir.

4.1.3.5. Yapay Dolgu

İncelenen tünel hattında kalınlığı 0,20-5,50 m. arasında değişen yamaç moloz, çakıl, kum ve bitkisel topraktan oluşan yapay dolgular mevcuttur (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Mecidiyeköy-Mahmutbey metro çalışmasında gözlenen yapay dolgu (yamaç molozu, çakıl, kum).

4.1.4. Yapısal Jeoloji

İstanbul'da jeolojik olarak yapı oldukça karmaşıktır. Bunun başlıca sebebi stratigrafik istifte birbirine çok benzeyen birimlerin tekrarlanması, kılavuz düzeylerinin seyrek ve kolay tanınır olmaması, üstlenen orojenik hareketler, çok sayıda faylar ile andezit veya diyabaz dayklarının sokulması olarak sıralanabilir. Ayrıca yerleşim bölgelerindeki örtü veya dolgular da yapısal unsurların izlenmesini güçleştirir. Konkordan bir istif oluşturan İstanbul Paleozoik ökelleri Hersiniyen Orojenezi ile birlikte kıvrımlanmıştır. Bölge üzerinde etkili olan Alpin Orojenezinde tüm yaşlı birimler Üst Kretase-Paleosen ve Alt Eosen yaşlı birimler üzerine itilmişlerdir. Bu hareketlerle Paleozoyik yaşlı birimler yeniden, Mesozoyik-Alt Tersiyer yaşlı birimler ise ilk kez kıvrımlanmışlardır.

Alt Eosen sonrasında günümüze kadar gelişen sedimentler alttaki temelin kırılmalarına bağlı olarak açık kıvrımlar oluşturmuşlardır. Paleozoik birimlerini açısız diskordansla örten Miyosen çökelleri, çoğu yerde düşük eğimli veya yataydır.

Tünel açılımında, tünelin içine açılacağı jeolojik ortamın yapısal özellikleri, tünel inşaatını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Tabakaların veya süreksizliklerin konumlarına bağlı olarak tünel açılımında zorluklar yaşanabilir.

Tünel güzergahında yer alan Trakya Formasyonu, geçmiş dönemde hem doğu-batı, hem de kuzey-güney sıkışmaya maruz kalmıştır. Bunun sonucu olarak, yaygın şekilde eklemli, çatlaklı ve kıvrımlı olmanın yanı sıra, sıkça makaslanma ve fay zonları ile kesilmiştir. Fay zonları genellikle paralanmış-milonitleşmiş, bazen killeşmiştir. Bazen de bu fay zonlarına, ince – orta kalınlıklı, kabaca doğu-batı doğrultulu ve düşeye yakın eğimde, andezit – diyabaz daykları yerleşmiştir. Bu süreksizlik ve zonlar, tünelin yersel doğrultusuna bağlı olarak, dik, verrev veya paralel şekilde kesilebilir.

Kaya mostralalarının sınırlı şekilde izlenebildiği güzergahta, tabaka eğimleri ve diğer süreksizlikler (en az iki sistematik eklem ve bir düzensiz eklem gurubu) yer yer değişiklik göstermekle beraber, ağırlıklı olarak güney-güney batı, daha az oranda da kuzeydoğu ve kuzeybatı yönde eğimlidir. Süreksizliklere ait eğim değerleri, 25 derece ile 85 derece arasında değişim göstermekle birlikte, tabakalar %65 oranında 20-45 derece arasında, %35 oranında ise 45 ile 90 derece arasında eğimlidir. Eklemler ise %25 oranında 20-45 derece aralığında %75 oranında ise 45-90 derece arasında eğimlere sahiptir (Polat, 2014).

4.1.5. Depremsellik

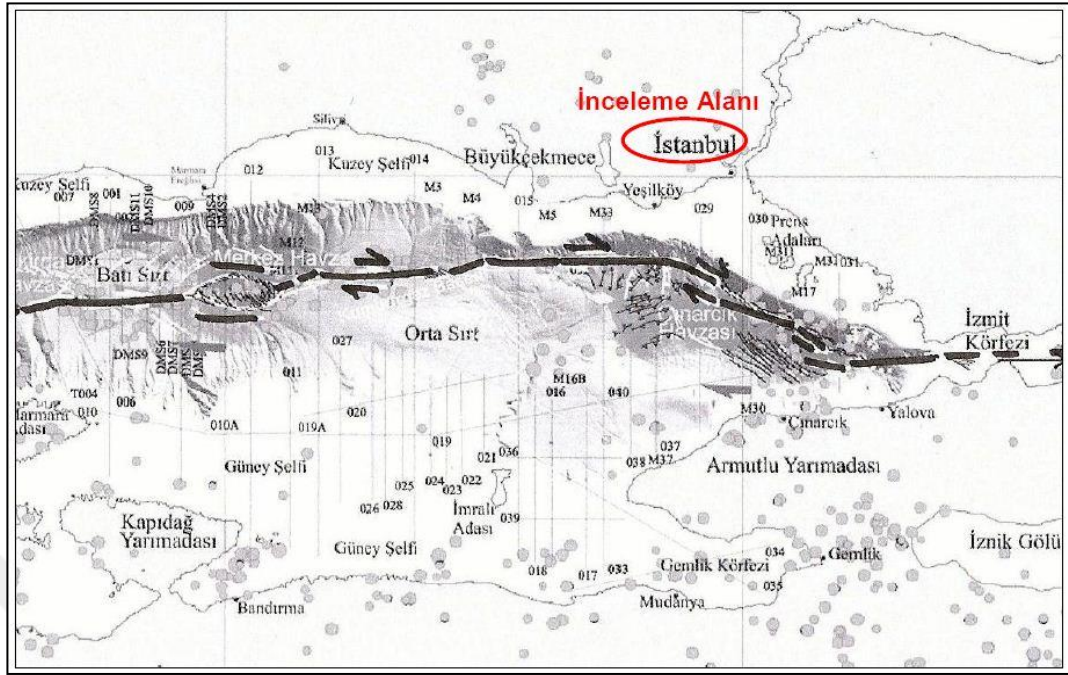
Türkiye, Alp Orojenezinin ve paleotektonik dönemin sona erdiği ve neotektonik dönemin başladığı süreçle birlikte güneydeki Arap levhasının etkisiyle sıkışıp yükselmiş bir dağ kuşağından meydana gelmektedir. Anadolu Levhası bu formu yaklaşık olarak 11 milyon yıl önce meydana gelmiş olup, güneydeki Arap Levhasının hareketiyle birlikte, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca gelişen batıya doğru hareketi günümüzde de devam etmektedir. Bu aktif tektonik yapının neticesinde, Türkiye'nin hemen hemen tamamına yakını deprem riski altında bulunmaktadır.

İnceleme alanının bulunduğu İstanbul ili yerleşim alanının tamamı, İzmit Körfezi ve Marmara Denizi tabanında doğu batı doğrultuda uzanan, büyük bir kırık sisteminin (Kuzey Anadolu Fayı) etkisinde olup yüksek depremselliğe sahiptir. İstanbul ve çevresinde, tarihsel ve aletsel dönemde çok sayıda orta ve büyük şiddette deprem meydana gelmiş ve bunların birçoğu önemli can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Deprem kaynağı Kuzey Anadolu Fayı'nın, proje alanına olan mesafesi 21 ile 23 km arasında değişim gösterir (Şekil 4.10). Kuzey Anadolu Fayı üzerinde İstanbul ve civarında 1500 yıldan beri meydana gelen 12 tane yıkıcı depremin zamansal dağılımı ve 1999 yılında meydana gelen İzmit ve Düzce depremlerinin Marmara denizi içindeki faylara aktardığı stres birikimi de göz önünde bulundurularak, İstanbul için yapılan deprem olasılığı hesaplarında (Mayıs 2000). 2000 yılı itibari ile İstanbul'da meydana gelebilecek büyük bir depremin 30 yıl içinde olma olasılığı % 62 ± 15 , on yıl içinde olma olasılığı ise % 32 ± 12 hesaplanmıştır. (Parsons, Barka vd 2000). Meydana gelecek deprem büyüklüğü ise Rihcter ölçeğine göre 7,2 ile 7,5 arasında öngörülmektedir.

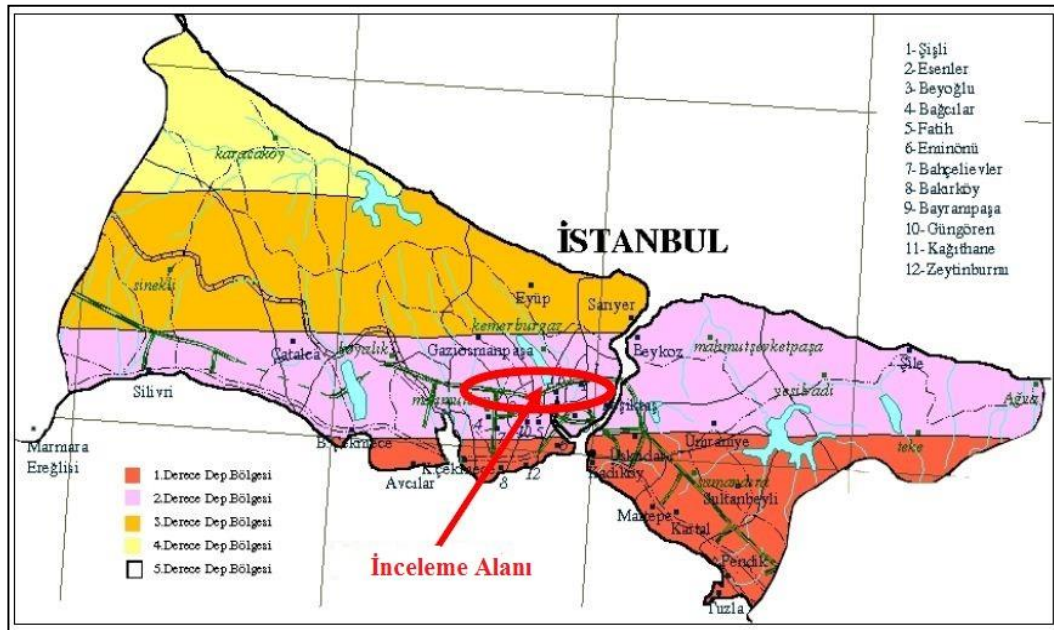
Son araştırmalara göre Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içindeki kısmının 70 km (Doğu Marmara Fayı) ve 130 km (Batı Marmara Fayı) olmak üzere iki parçadan oluştuğu düşünülmektedir. Doğu Marmara kısmının kırılması halinde meydana gelecek deprem büyüklüğünün $M = 7,2$, Batı Marmara kısmının kırılması halinde, $M = 7,5$ ve iki parçanın birlikte kırılması halinde ise meydana gelecek deprem büyüklüğünün en az $M = 7,6$ olması tahmin edilmektedir.

Tünel kazısı sırasında değişik ölçeklerde fay zonları ile karşılaşılması olasıdır. Ancak bunların aktif ve deprem üretme kapasitesine sahip olmadıkları düşünülmektedir. Türkiye diri fay haritasına göre de güzergâh üzerinde veya güzergâha yakın mesafede herhangi bir aktif fay mevcut değildir.

Genel olarak, derine inildikçe zemin koşullarının iyileşmesi nedeni ile deprem ivmesinin küçüldüğü, dolayısı ile tünellerin yer üstü yapılarına göre çok daha güvenli oldukları, bununla birlikte tünellerin sığ kesimlerinin, derin kesimlerine oranla depremden daha fazla etkilendikleri bilinmektedir.



Şekil 4.10: Deprem kaynağı Kuzey Anadolu Fayının (KAF) Marmara Denizi içindeki konumu. İnceleme alanını oluşturan Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları tünел güzergahı Gaziosmanpaşa ilçesi sınırları içinde kalmaktadır. İstanbul İli deprem bölgeleri haritası Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları tünел güzergahı İstanbul içerisinde 2. Dereceden deprem bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 4.11: İstanbul ili deprem bölgeleri haritası.

4.1.6. Hidrojeoloji

4.1.6.1. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanının yer aldığı İstanbul ili, Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklim tiplerinin birbirine geçişi şeklinde karakterize edilebilen Marmara iklim tipinin etkisindedir. Yazlar sıcak ve nispeten kurak, bahar ve kış ayları ise yağışlı geçer. Yağışların hemen hemen tamamı yağmur şeklinde olup, çok sınırlı şekilde kar yağışı söz konusudur. Kışlar genel olarak yarı ılımandır. Yıllık ortalama yağış miktarı 650 mm dolayındadır. İstanbul iline ait 1971 – 2008 yılı arasına ait meteorolojik veriler aşağıda Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: İstanbul iline ait uzun yıllar (1954 – 2013) içinde gerçekleşen meteorolojik veriler (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi Web Sayfası).

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.1	6.0	7.9	12.2	16.9	21.7	23.9	23.8	20.1	15.7	11.4	8.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.0	9.3	11.8	16.8	21.7	26.4	28.7	28.7	25.0	20.0	15.0	10.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.6	3.3	4.8	8.4	12.6	17.1	19.6	19.8	16.3	12.5	8.4	5.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	2.6	4.5	6.0	8.0	9.7	10.3	9.3	7.8	5.1	3.1	2.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17.2	15.2	13.2	10.7	7.4	6.2	3.8	5.2	7.3	11.5	13.3	16.8
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m ²)	87.3	69.6	62.7	45.4	29.4	27.5	25.7	34.2	39.6	81.6	91.7	105.6
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.4	24.0	26.2	32.9	35.1	40.6	39.7	38.8	36.6	34.2	27.2	24.9
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.9	-8.0	-6.9	0.6	3.6	9.0	13.5	12.2	9.2	3.2	-1.0	-3.4

Tablo 4.1’de görüleceği üzere proje alanı için yoğun yağış dönemi, Ekim-Mart arası, en kurak dönem ise Mayıs-Eylül arasındır. Ancak son yıllarda bu genel tablonun bir miktar değiştiği, yağışlı dönemlerin geçmişe oranla daha düzensiz seyrettiği, zaman zaman ani ve şiddetli yağışların yaşandığı, ortalama yağış miktarının ise nispeten azaldığı gözlemlenmektedir.

Metro güzergahı ve çevresindeki yoğun şehirleşme dolayısı ile yağışların çok önemli bir kısmı akışa geçmekte ve şehrin alt yapı hatları vasıtası ile derelere veya denize ulaşmaktadır. Dolayısı ile yağışın çok az bir miktarı yer altına sızabilmektedir. Yer altına sızan miktarın ise yeraltı suyu beslenmesi için yeterli olamayacağı açıktır.

Hakim rüzgarlar birinci derecede kuzeyden esen Poyraz, ikinci derecede güneybatıdan esen Lodos, üçüncü derecede ise kuzeydoğudan esen Karayel'dir. Hakim yağış yönü de kuzey-kuzeybatı ve güneybatıdır. Tüm güzergâh boyunca yoğun yapılaşma söz konusu olup, bahse değer bir bitki örtüsü mevcut değildir.

4.1.6.2. Yüzeysel Su Kaynakları

Metro tünelleri güzergâhı boyunca, akarsu niteliğinde Alibeyköy Deresi ile bu dereye ait daha güneybatıda kalan önemsiz bir dere kolu geçilmektedir. Şehirleşme ve sanayi dolayısı ile tamamen kirlenmiş haldeki Alibeyköy deresi yüzeysel su kaynağı olma özelliğini tümü ile yitirmiştir. Önemsiz bir debiye sahip daha güneybatıdaki dere kolu da aynı şekilde tümü ile kirlenmiştir. Bunların dışında güzergahta her hangi bir yüzeysel su kaynağı (akar halde dere, göl veya deniz) mevcut değildir.

4.1.6.3. Jeohidrolik Ortamlar

Tünel güzergahının önemli bir kısmını oluşturan Trakya Formasyonu ilksel olarak geçirimsizdir. Ancak, tektonik süreçler sonucu sonradan kazanmış olduğu kırıklı yapısı ve yüzeye yakın kesimlerinin ayrışması sonucu, zayıfta olsa ikincil bir geçirimsizlik kazanmıştır. Genel olarak az geçirimli, kısmen (kumtaşı yoğun kesimler, fay ve diğer aşırı kırıklı kesimler) yarı geçirimli kabul edilebilir.

Güngören Formasyonu, ağırlıklı olarak kil ve siltli killerden kurulu olup, esas olarak geçirimsizdir. Ancak özellikle üst kesiminde yer yer içerdiği kum seviye ve mercleklerinin nispeten geçirimli olması beklenir. Çukurçeşme Formasyonu ise ağırlıklı olarak kum ve siltli kumlardan kurulu olup, yarı geçirimli-geçirimli olması beklenir (Polat, 2014).

4.2. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ DEĞERLENDİRMELERİ

Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı tünel güzergahı boyunca, jeolojik-jeoteknik çalışmalar doğrultusunda toplamda 182 adet araştırma sondajı yapılmıştır.

Yapılan sondaj çalışmaları sonucunda, tünel güzergahı boyunca Trakya Formasyonu (Ct), Güngören Formasyonu (Tg), Çukurçeşme Formasyonu (Tç), Kuşdili Formasyonu ve yapay dolgu birimleri gözlenmiştir.

Bu bölümde tezin inceleme alanı olan Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası güzergahta yapılan sondajlarda gözlenen birimlere ait mühendislik parametrelerin tanımlanabilmesi için zemin ve kaya numuneler üzerinde yapılan arazide testleri (SPT- Standart Penetrasyon Testleri, Pressiyometre, BST-Basınçlı Su Testleri), laboratuvar testleri (Atterberg Limitleri, Elek Analizi, Su Muhtevası, Doğal Birim Hacim Ağırlık, Özgül Ağırlık, Tek Eksenli Basınç, Nokta Yükleme deneyleri), ve birimlerin içerisindeki kaya-zemin ortamlarına ait kaya-zemin sınıfları incelenmiştir.

4.2.1. Mekanik Sondaj Bulguları

Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergahta yer alan birimlerin mühendislik parametrelerini belirlemek amacıyla tünelin kazı kotu altına kadar inen ve toplam uzunluğu 399 m. olan 12 adet araştırma sondajı yapılmıştır. Sondaj kuyularının derinlikleri 30-38 m. arasındadır. İnceleme yapılan güzergah boyunca açılan sondajlara ait derinlik, koordinat, litoloji ve yer altı su seviyeleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Araştırma sondajları uygulama aşamasında karşılaşılabilecek birimlerin yapısal ve litolojik özelliklerini, yeraltı suyu durumunu ve kaya kalitesini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Tünel güzergahı üzerinde açılan mekanik sondajlardan elde edilen verilere dayanılarak, Trakya Formasyonu’nu oluşturan kumtaşı, kıltaşı ve şeyl, Çukurçeşme Formasyonu’nu oluşturan kum ve çakıl, Güngören Formasyonu’nu oluşturan kil birimleri ve yapay dolgu olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.2: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası hat üzerinde yapılan sondajlar.

Sondaj No	Koordinat X	Koordinat Y	Kot Z (m)	Derinlik (m)	Litoloji	Yeraltı Su Seviyesi (m)
MMT-49A	4550528,00	406847,00	73,79	0,00-5,50	Yapay Dolgu	3,40
				5,50-34,00	Kiltaşı-Şeyl	
MMT-49B	4550538,00	406847,00	73,52	0,00-3,00	Yapay Dolgu	4,20
				3,00-9,00	Çakıllı Kumlu Kil	
				9,00-18,00	Kumtaşı-Kiltaşı	
				18,00-34,00	Kumtaşı-Şeyl	
MMT-49	4550542,70	406750,04	73,76	0,00-0,30	Asfalt Dolgusu	2,90
				0,00-10,50	Kil	
				10,50-18,00	Kumlu Kil	
				18,00-19,50	Kum	
				19,50-22,50	Kil	
				22,50-26,00	Kumtaşı	
				26,00-29,50	Andezik Dayk	
				29,50-33,00	Kumtaşı	
MMT-50	4550638,36	406664,73	76,74	0,00-1,00	Beton-Asfalt Dolgusu	2,50
				1,00-5,00	Kil	
				5,00-28,50	Kumlu Siltli Kil	
				28,50-32,00	Kumtaşı-Kiltaşı	
MMT-51	4550688,07	406529,27	76,95	0,00-1,50	Yapay Dolgu	11,60
				1,50-3,00	Beton-Asfalt Dolgusu	
				3,00-4,50	Yapay Dolgu	
				4,50-10,50	Kumlu Kil	
				10,50-28,50	Siltli Kil	
				28,50-32,00	Kiltaşı-Siltaşı	
MMT-52	4550711,70	406351,70	80,59	0,00-0,30	Bitkisel Toprak	13,90
				03,0-8,70	Kum	
				8,70-13,50	Kil	
				13,50-28,50	Kum	
				28,50-30,00	Kumtaşı	
				30,00-34,00	Çakıltaşı-Konglomera	
MMT-53	4550711,70	406271,56	79,09	0,00-1,50	Yapay Dolgu	28,50
				1,50-3,00	Kil	
				3,00-30,00	Kum	
MMT-54	4550676,21	406020,91	84,85	0,00-1,50	Yapay Dolgu	22,90
				1,50-7,50	Siltli Kil	
				7,50-10,50	Killi Kum	
				10,50-33,00	Kum	

Tablo 4.2 (devam): Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası hat üzerinde yapılan sondajlar.

Sondaj No	Koordinat X	Koordinat Y	Kot Z (m)	Derinlik (m)	Litoloji	Yeraltı Su Seviyesi (m)
MMT-55	4550662,83	405916,83	85,97	0,00-2,50	Beton-Asfalt Dolgusu	6,90
				2,50-9,00	Kil	
				9,00-30,00	Kum	
MMT-56	4550564,24	405754,94	93,68	0,00-1,60	Yapay Dolgu	5,20
				1,60-13,00	Kil	
				13,00-16,50	Kumtaşı-Kiltaşı	
				16,50-21,00	Kumtaşı-Şeyl	
				21,00-23,25	Diyabaz Sokulumu	
				23,25-31,00	Kumtaşı	
MMT-57	4550462,86	405680,61	99,45	0,00-0,20	Beton-Asfalt Dolgusu	6,60
				0,0-7,50	Çakıllı Kumlu Kil	
				7,50-37,00	Kiltaşı-Kumtaşı	
MMT-58	4550378,04	405594,93	99,52	0,00-0,50	Yapay Dolgu	3,60
				0,50-21,00	Siltli Kil	
				21,00-24,30	Kiltaşı-Kumtaşı	
				24,30-38,00	Kiltaşı	

Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası güzergahta irdelenen arazi ve laboratuvar deneyleri Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3: İnceleme alanında yer alan birimler üzerinde yapılan arazi-laboratuvar deney ve ölçümleri.

DENEYLER		Trakya Formasyonu	Güngören Formasyonu	Çukurçeşme Formasyonu
Arazi Deneyleri	SPT		+	+
	Pressiometre	+	+	+
	BST	+		
	TCR-RQD	+		
Laboratuvar Deneyleri	Nokta Yükleme	+		
	Tek Eksenli Basınç	+		
	Doğal Birim Hacim Ağırlığı		+	+
	Özgül Ağırlık		+	+
	Su Muhtevası	+	+	+
	Elek Analizi			+
	Hidrometre		+	+
	Kıvam Limitleri		+	

4.2.2. İncelenen Güzergahta Yapılan Arazi Testleri

Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası tünel güzergahı boyunca yapılan sondaj çalışmalarında birimlerin mühendislik özelliklerinin tanımlanabilmesi için arazi testleri kapsamında standart penetrasyon testi (SPT), presiyometre, basınçlı su testleri (BST) ve kaya kalite göstergesi (RQD) deneyleri yapılmıştır.

4.2.2.1. Standart Penetrasyon Test Sonuçları

Çalışma kapsamında, tünel güzergahı boyunca yürütülen sondaj çalışmalarında zemin (dolgu, alüvyon, kum, kil, tamamen ayrılmış kaya vb.) niteliğindeki seviyelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile Standart Penetrasyon Testleri yapılmıştır.

İncelenen güzergah üzerinde açılan araştırma sondajlarında 81 adet SPT deneyi yapılmıştır (EK-1). Genellikle 1,50 m. aralıklarla tekrarlanan bu deneylerin formasyonlara ait ortalama değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

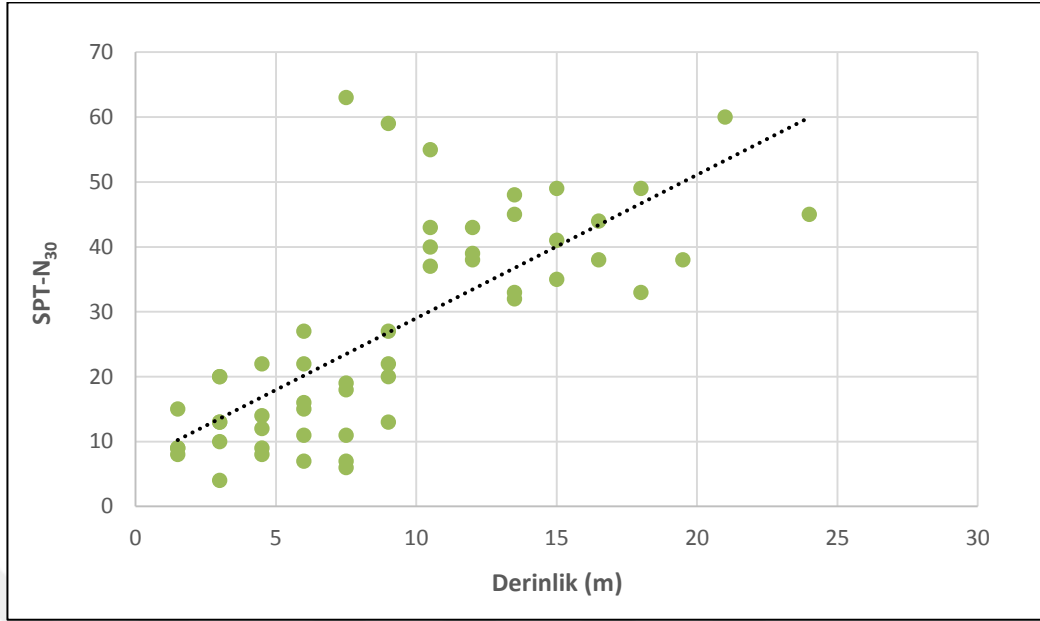
Tablo 4.4: Formasyonlara göre SPT sonuçları toplu tablosu.

Formasyon	SPT N ₃₀ (minimum)	SPT N ₃₀ (maksimum)	Açıklama
Yapay Dolgu	>50		-
Güngören Fm.	6	63	Orta Katı-Katı-Çok Katı-Sert
Çukurçeşme Fm.	21	68	Orta Sıkı-Sıkı-Çok Sıkı
Trakya Fm. (W ₅)	25	>50	-

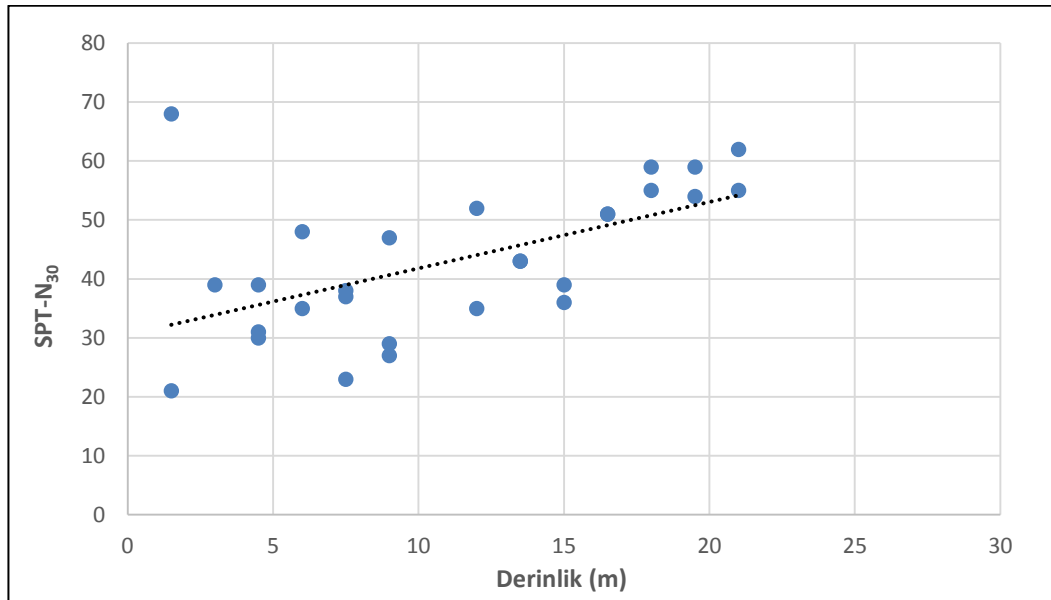
İnceleme alanında yer alan dolgulara ait N₃₀ değerleri >50 (refü) vermiştir. Tane boyu ve türü açısından oldukça heterojen nitelikteki bu dolgular beton-asfalt ve yapay dolgulardan oluşmaktadır.

Sınırlı olarak rastlanan tamamen ayrılmış kaya kesiminde penetrasyon direnci değerleri 25 ile >50 (refü) arasında değişim göstermekle beraber, genellikle 40 ile >50 aralığında değişmektedir.

Güngören killerinin penetrasyon direnci (N₃₀) yüzeye yakın kesimlerde 6-30 arasında, derin kesimlerde 30->50 arasında değişmektedir. Buna göre, üst seviyelerde yer alan killerin orta katı-katı-çok katı; alt seviyelerde yer alan killerin sert kıvamda oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Güzergahta gözlenen Güngören killeri N_{30} değerlerinin derinliğe bağlı değişimi. Çukurçeşme kumlarının penetrasyon direnci (N_{30}) yüzeye yakın kesimlerde 21-40 arasında, derin kesimlerde 40->50 arasında değişmektedir. Buna göre, üst seviyelerde yer alan kumların orta sıkı-sıkı; alt seviyelerde yer alan kumların sıkı-çok sıkı oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Güzergahta gözlenen Çukurçeşme kumları N_{30} değerlerinin derinliğe bağlı değişimi. Yüzeye yakın kesimlerde nispeten düşük değerler elde edilmiş olması, birimlerin yüzeye yakın kesimlerinin atmosferik etkilerle bozuşmasından kaynaklanmaktadır.

4.2.2.2. Pressiometre Deney Sonuçları

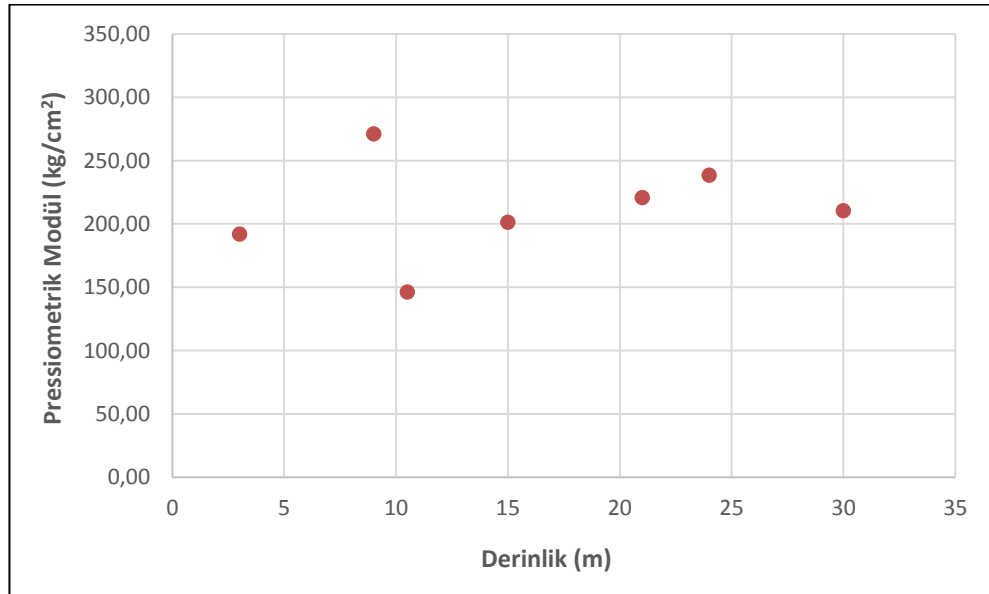
Tünel güzergahı boyunca açılmış olan sondaj kuyularında, zemin ve kaya birimlerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile yerinde deney olan pressiometre deneyleri yapılmıştır.

Yenimahalle-Karadeniz Mahallesi istasyonları arası güzergahta açılan 12 sondajın farklı derinliklerinde pressiometre deneyleri yapılmıştır (EK 2). Deneyler Trakya, Çukurçeşme ve Güngören Formasyonlarına ait birimlerde gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin formasyonlara ait değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Formasyonlara göre Pressiometre deneyi sonuçları toplu tablosu.

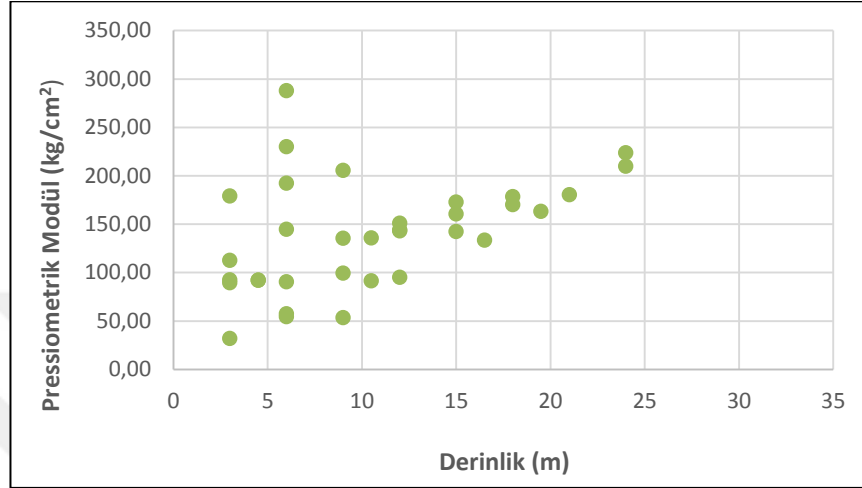
Formasyon	Limit Basınç (PL) kg/cm ² (minimum)	Limit Basınç (PL) kg/cm ² (maksimum)	Pressiometrik Modül (EP) kg/cm ² (minimum)	Pressiometrik Modül (EP) kg/cm ² (maksimum)
Trakya Fm.	21,00	30,00	146,17	271,00
Güngören Fm.	12,00	30,00	32,16	287,87
Çukurçeşme Fm.	18,00	30,00	108,36	296,64

Trakya Formasyonu'nda yapılan deneylerde 21,00-30,00 kg/cm²'lik basınç uygulanmış olup, yenilme gözlenmemiştir. Bu kesimde ana kayanın pressiometrik modül değerleri derinliğe bağlı 146,17-271 kg/cm² arasında değişmektedir (Şekil 4.14).



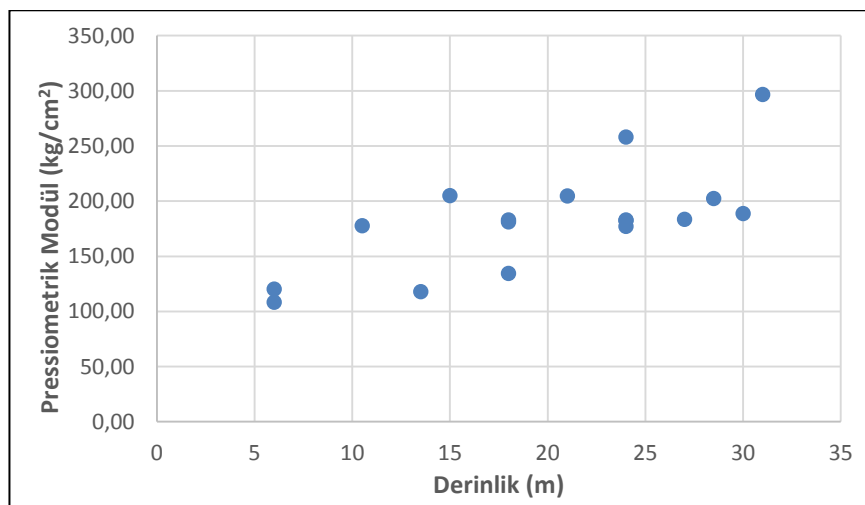
Şekil 4.14: Güzergahta gözlenen Trakya kumtaşlarının Pressiometre değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.

Güngören killeri üzerinde yapılan pressiometre deneylerinden, limit basınç değerlerinde 12,00-30,00 kg/cm²'lik basınç uygulanması sırasında yenilme gözlenmemiştir. Pressiometrik Modül değerleri derinliğe bağlı olarak 32,16-287,87 kg/cm² arasında değişmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Güzergahta gözlenen Güngören killerin Pressiometre değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.

Çukurçeşme kumları üzerinde yapılan pressiometre deneylerinden, limit basınç değerlerinde 18,00-30,00 kg/cm²'lik basınç uygulanması sırasında yenilme gözlenmemiştir. Pressiometrik Modül değerleri derinliğe bağlı olarak 108,36-296,64 kg/cm² arasında değişmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Güzergahta gözlenen Çukurçeşme kumlarının Pressiometre değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.

Tüm bu değerler, kil ve kum birimlere ait mekanik özelliklerinin, güzergahın farklı noktalarında lokal olarak değiştiğini açıkça göstermektedir.

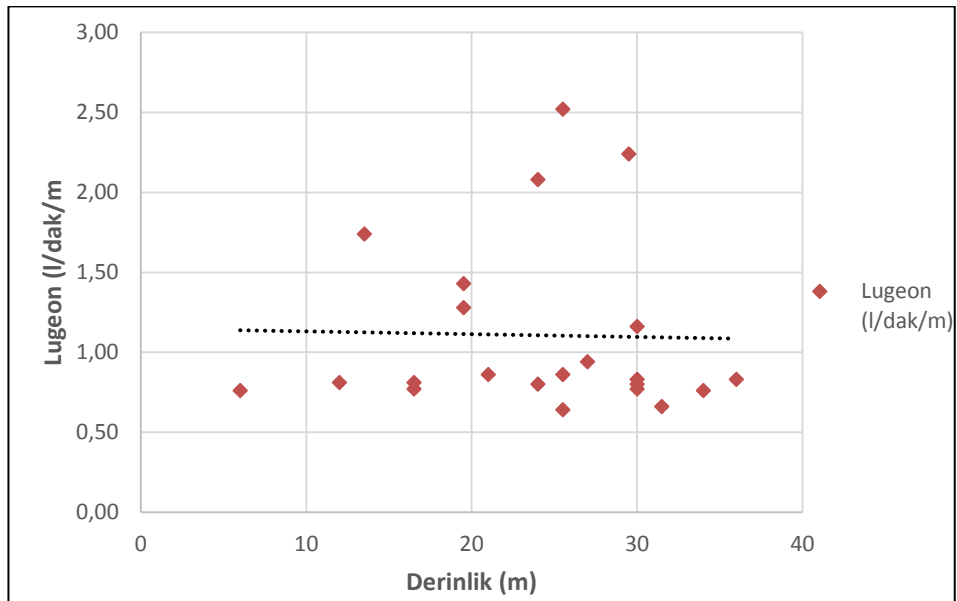
4.2.2.3. Basıncılı Su Testleri Sonuçları (BST, Parker Testi)

Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası güzergahta kaya seviyesi içinde 22 adet Basıncılı Su Testi (BST) yapılmıştır (EK 3). Yapılan deneylerde elde edilen Lugeon değerleri ve kaya guruplarına göre dağılımı Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6: Güzergahta yer alan kaya ayrışma seviyelerine göre elde edilmiş ortalama geçirimsizlik değerleri.

Formasyon	Ayrışmaya Bağlı Geçirimsizlik Dağılımı		
	Kaya Grubu	Lugeon Değer Aralığı (l/dak/m)	Değerlendirme
Trakya Fm.	W ₄	0,76-1,74	Geçirimsiz-Az geçirimli
	W ₃	0,66-2,52	Geçirimsiz-Az geçirimli
	W ₁ -W ₂	0,76-2,08	Geçirimsiz-Az geçirimli

Testlerde elde edilen Lugeon değerleri ağırlıklı olarak 1’den küçük, çok az sayıda ise 1 ile 5 arasında değer almaktadır (Şekil 4.17). Buna göre güzergahta karşılaşılabilecek kaya birimlerinin genelde geçirimsiz, nadir olarak az geçirimli olması beklenmektedir.

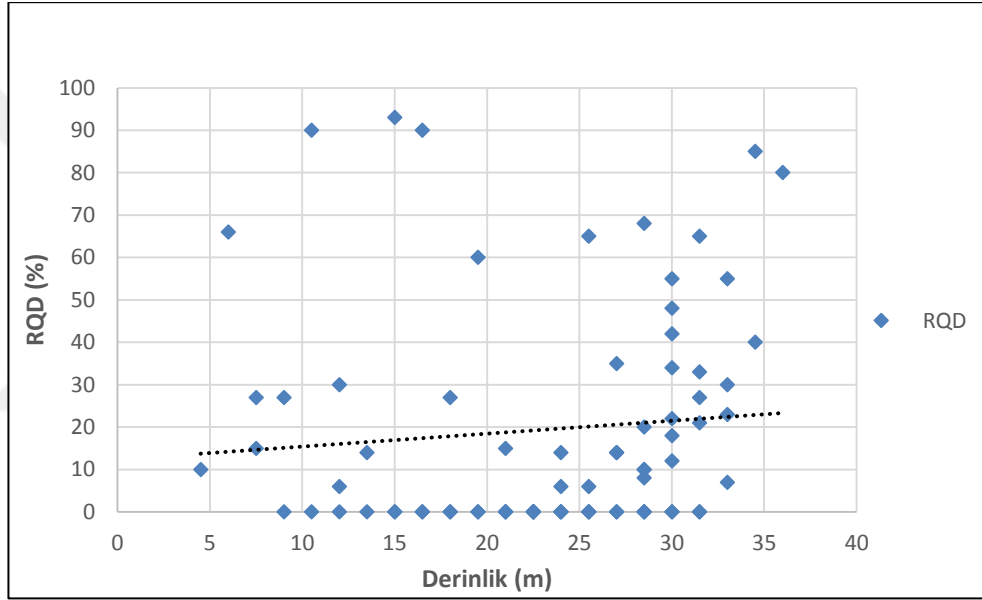


Şekil 4.17: Kaya numunelere ait lugeon test değerlerinin derinlikle değişimi.

4.2.2.4. RQD ve TCR Değerleri

Tünel güzergahında açılan 12 adet sondajın değişik derinliklerinde Trakya Formasyonu'na ait kumtaşı-kiltaşı-şeyl birimleri gözlenmiş olup, RQD değerleri hesaplanmıştır.

Deere (1968) tarafından önerilen kaya kalite tanımlamasına göre genellikle çok zayıf-zayıf kaya olduğu, az oranda ise orta-iyi kaya olduğu belirlenmiştir (EK 4). İnceleme alanında gözlenen kaya birimlere ait RQD değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18: İnceleme alanında gözlenen Trakya Formasyonu'na ait RQD değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.

4.2.3. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deney Sonuçları

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sırasında farklı derinliklerinden alınmış 60 adet karot numuneler üzerinde 60 adet nokta yükleme ve 12 adet tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası güzergahta yapılan deney sonuçlarına göre kaya numuneleri nokta yük direnci açısından 'çok düşük-düşük-orta-yüksek' dirençli olup, tek eksenli basınç dirençleri açısından ise 'çok düşük-düşük' dirençli olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.7). Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığı ve ayrılmış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.7: Kaya numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme ve tek eksenli basınç deneyleri sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Nokta Yükleme IS ₅₀ (Mpa)	Tek Eksenli Basınç Direnci q _u (Mpa)	Kaya Sınıfı
MMT-49A	4,50-6,00	3,51	-	Orta dirençli
	6,00-7,50	2,83	20,22	Çok düşük-Orta dirençli
	9,00-10,50	2,64	22,49	Çok düşük-Orta dirençli
	12,00-13,50	2,34	-	Orta dirençli
	15,00-16,50	2,82	10,76	Çok düşük-Orta dirençli
	18,00-19,50	2,09	7,32	Çok düşük-Orta dirençli
	21,00-22,50	1,27	6,23	Çok düşük-Düşük dirençli
	24,00-25,50	2,24	-	Orta dirençli
	27,00-28,50	2,86	-	Orta dirençli
	30,00-31,50	3,08	-	Orta dirençli
	31,50-33,00	2,45	-	Orta dirençli
MMT-49B	12,00-13,50	0,70	-	Çok düşük dirençli
	13,50-15,00	1,67	-	Düşük dirençli
	16,50-18,00	1,11	-	Düşük dirençli
	19,50-21,00	2,71	-	Orta dirençli
	22,50-24,00	2,12	-	Orta dirençli
	25,50-27,00	2,30	-	Orta dirençli
	18,50-30,00	2,88	-	Orta dirençli
	31,50-33,00	2,90	6,76	Çok düşük-Orta dirençli
MMT-49	22,50-24,00	1,88	-	Düşük dirençli
	25,50-26,25	3,00	-	Orta dirençli
	26,25-27,00	4,54	-	Yüksek dirençli
	27,00-28,50	7,93	17,58	Çok düşük-Yüksek dirençli
	28,50-29,25	5,85	-	Yüksek dirençli
MMT-50	28,95-30,00	0,34	-	Çok düşük dirençli
	30,00-31,50	3,92	-	Orta dirençli
	31,50-32,00	5,31	-	Yüksek dirençli
MMT-51	28,50-30,00	0,24	-	Çok düşük dirençli
	30,00-32,00	0,34	1,33	Çok düşük dirençli
	15,45-16,50	0,21	-	Çok düşük dirençli
	24,00-25,50	1,69	-	Düşük dirençli
MMT-52	28,50-30,00	1,35	-	Düşük dirençli
	30,00-31,50	2,69	-	Orta dirençli
	31,50-33,00	2,18	-	Orta dirençli

Tablo 4.7 (devam): Kaya numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme ve tek eksenli basınç deneyleri sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Nokta Yükleme IS_{50} (Mpa)	Tek Eksenli Basınç Direnci q_u (Mpa)	Kaya Sınıfı
MMT-56	16,50-18,00	1,57	-	Düşük dirençli
	18,00-18,75	3,28	-	Orta dirençli
	18,75-19,50	3,13	-	Orta dirençli
	21,00-21,75	6,76	-	Yüksek dirençli
	21,75-22,50	5,70	-	Yüksek dirençli
	23,25-24,00	3,23	-	Orta dirençli
	25,50-26,25	2,98	-	Orta dirençli
	28,00-28,50	3,51	-	Orta dirençli
	28,50-29,25	3,47	-	Orta dirençli
MMT-57	7,50-9,00	0,19	-	Çok düşük dirençli
	10,5-12,00	0,43	-	Çok düşük dirençli
	12,00-13,50	0,73	-	Çok düşük dirençli
	21,00-22,50	1,20	-	Düşük dirençli
	24,00-25,50	5,95	-	Yüksek dirençli
	25,50-27,00	6,24	-	Yüksek dirençli
	27,00-28,50	3,36	-	Orta dirençli
	28,50-30,00	5,10	-	Yüksek dirençli
	30,00-31,50	6,44	-	Yüksek dirençli
	31,50-33,00	5,88	-	Yüksek dirençli
	33,00-34,50	3,21	9,48	Çok düşük-Orta dirençli
MMT-58	24,75-25,50	3,04	-	Orta dirençli
	25,50-27,00	2,58	10,33	Çok düşük-Orta dirençli
	28,50-30,00	1,57	-	Düşük dirençli
	33,00-34,50	3,03	2,30	Çok düşük-Orta dirençli
	36,00-37,00	4,97	31,27	Düşük-Orta dirençli

4.2.4. Zemin Mekaniği Laboratuvar Deney Sonuçları

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sırasında farklı derinliklerinden alınmış kesilen kil, silt ve kumlardan alınan örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır.

4.2.4.1. Su Muhtevası Sonuçları

İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan çok sayıdaki kil, silt ve kum örneklerinin özgül ağırlıkları, birim hacim ağırlıkları ve su içerikleri belirlenmiştir.

Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arasındaki bölgede açılan sondajların farklı derinliklerinden alınan mevcut birimlerde % 8,0-51,0 arasında değişen su muhtevası; 1,78-2,06 t/m³ arasında değişen doğal birim hacim ağırlığı değerleri saptanmıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan zeminlerin fiziksel özellikleri.

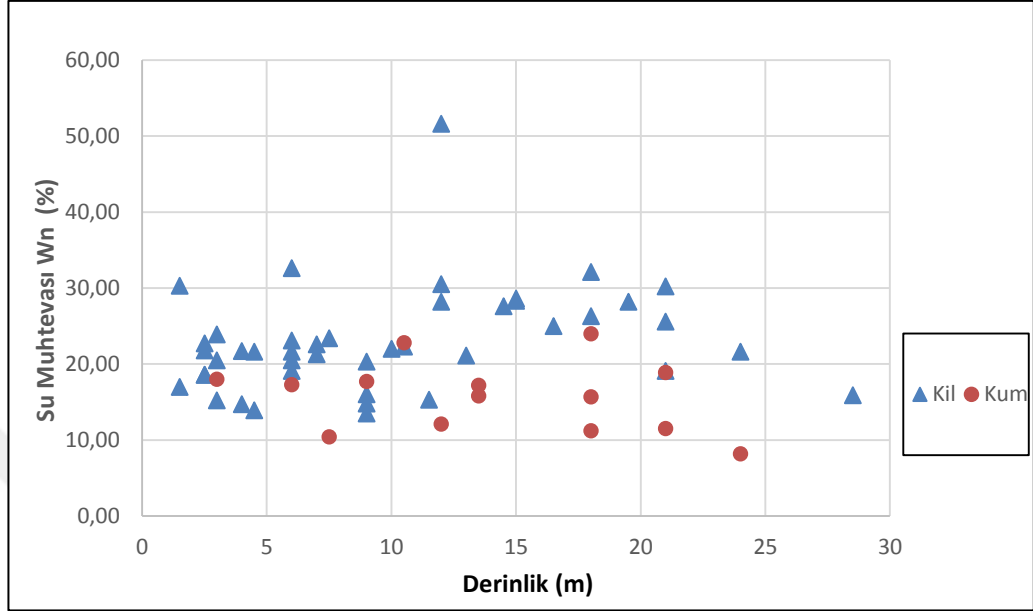
Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (g/cm ³)	Özgül Ağırlık G_s	Su Muhtevası W_n (%)	Litoloji
MMT-49B	4,50-4,95	-	2,73	13,90	Kum
	6,00-6,45	-	2,64	20,50	Kum
MMT-49	2,50-3,00	1,78	2,55	21,80	Kil
	3,00-3,45	-	2,65	23,90	Kil
	6,00-6,45	-	2,49	32,60	Kil
	9,00-9,45	-	2,50	14,80	Kil
	12,00-12,45	-	2,65	51,60	Kil
	16,50-16,95	-	2,65	25,00	Kil
	21,00-21,45	-	2,65	19,10	Kil
MMT-50	2,50-3,00	1,92	2,58	18,60	Kil
	6,00-6,45	-	2,70	23,10	Kil
	9,00-9,45	-	2,71	16,00	Kil
	12,00-12,45	-	2,68	30,50	Kil
	15,00-15,45	-	2,70	28,30	Kil
	18,00-18,45	-	2,69	32,10	Kil
	21,00-21,45	-	2,66	30,20	Kil
	24,00-24,45	-	2,70	21,60	Kil
28,50-28,95	-	2,72	15,90	Kil-Kiltaşı geçişi	
MMT-51	1,50-1,95	-	2,73	26,50	Dolgu
	7,00-7,50	1,95	2,58	22,60	Kil
	9,00-9,45	-	2,77	13,50	Kil
	13,00-13,50	1,92	2,68	21,10	Kil
	14,50-15,00	1,90	2,66	27,60	Kil
	18,00-18,45	-	2,76	26,30	Kil
	21,00-21,45	-	2,74	25,60	Kil
MMT-52	3,00-3,45	-	2,73	18,00	Kum
	6,00-6,45	-	2,58	17,30	Kum
	9,00-9,45	-	2,53	20,30	Kil-Kiltaşı geçişi
	15,00-15,45	1,99	-	-	Kil-Kiltaşı geçişi
	18,00-18,45	-	-	-	Kil-Kiltaşı geçişi

Tablo 4.8 (devam): İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan zeminlerin fiziksel özellikleri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (g/cm ³)	Özgül Ağırlık G_s	Su Muhtevası W_n (%)	Litoloji
MMT-53	1,50-1,95	-	2,78	17,00	Kil
	2,50-3,00	1,94	2,70	18,60	Kil
	7,50-7,95	-	2,39	10,40	Kum
	12,00-12,45	-	2,58	12,10	Kum
	18,00-18,45	-	2,54	11,20	Kum
	24,00-24,45	-	2,70	8,20	Kum
MMT-54	4,00-4,50	1,96	2,66	21,70	Kil
	6,00-6,45	-	2,52	21,60	Kil
	9,00-9,45	-	2,65	17,70	Kum
	13,50-13,95	-	2,67	15,80	Kum
	18,00-18,45	-	2,54	15,70	Kum
	21,00-21,45	-	2,65	11,50	Kum
MMT-55	4,00-4,50	1,95	2,67	14,70	Kil
	4,50-4,95	-	2,65	21,60	Kil
	7,00-7,50	1,96	2,65	21,30	Kil
	10,50-10,95	-	2,64	22,80	Kum
	13,50-13,95	-	2,66	17,20	Kum
	18,00-18,45	-	2,65	24,00	Kum
	21,00-21,45	-	2,53	18,90	Kum
MMT-56	2,50-3,00	1,86	2,56	22,70	Kil
	7,50-7,95	-	2,64	23,40	Kil
	10,50-10,95	-	2,67	22,30	Kil
	11,50-12,00	2,00	2,65	15,30	Kil
MMT-57	1,50-1,95	-	2,67	30,30	Kil
	3,00-3,45	-	2,68	15,20	Kil
MMT-58	3,00-3,45	-	2,64	20,50	Kil
	6,00-6,50	1,71		19,10	Kil
	10,00-10,50	2,06		22,00	Kil
	12,00-12,45	-	2,66	28,20	Kil
	15,00-15,45	-	2,58	28,60	Kil
	19,50-19,95	-	2,64	28,20	Kil

En yüksek su muhtevası değeri % 51,60 olan MMT-49 numaralı sondajda geçilen Güngören Formasyonu killlerinde, en düşük % 8,20 olan MMT-53 numaralı sondajda geçilen Çukurçeşme Formasyonu kumlarında belirlenmiştir (Tablo 4.8).

İncelenen tünel güzergahı boyunca kil ve kum birimlerin su muhtevası değerleri-derinlik arasındaki ilişki Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19: Kohezyonlu birimlere ait su muhtevası değerlerinin derinlikle değişimi.

4.2.4.2. Elek Analizi Sonuçları

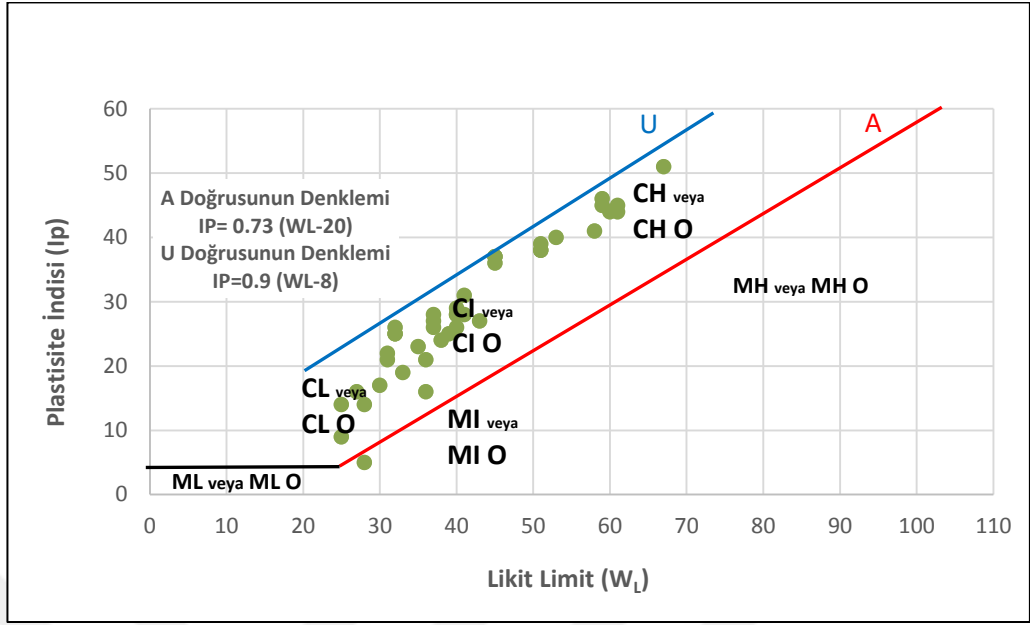
Tünel güzergahı boyunca zemin özelliği taşıyan Çukurçeşme Formasyonu’ndan alınan numuneler üzerinde elek analizi deneyleri sonucunda iri taneli bileşenlerin oluşturduğu zemin sınıfının genelde SM (Siltli kum, kum-silt karışımı) ve SC (Killi kum, kum-kil karışımı) olduğu, yer yer de az oranda SP (Kötü derecelenmiş kum, çakıllı kum) olduğu görülmüştür (EK 5).

4.2.4.3. Hidrometre Analizi Sonuçları

Tünel güzergahı boyunca yapılan sondajlardan alınan ince taneli zeminlerin (siltler ve killer) tane çapı dağılımını deneysel olarak saptamak amacıyla hidrometre deneyi yapılmış olup, analiz sonucunda $FC > 50$ 'ye göre çoğunlukla kil birimlerden oluştuğu belirlenmiştir (EK 5).

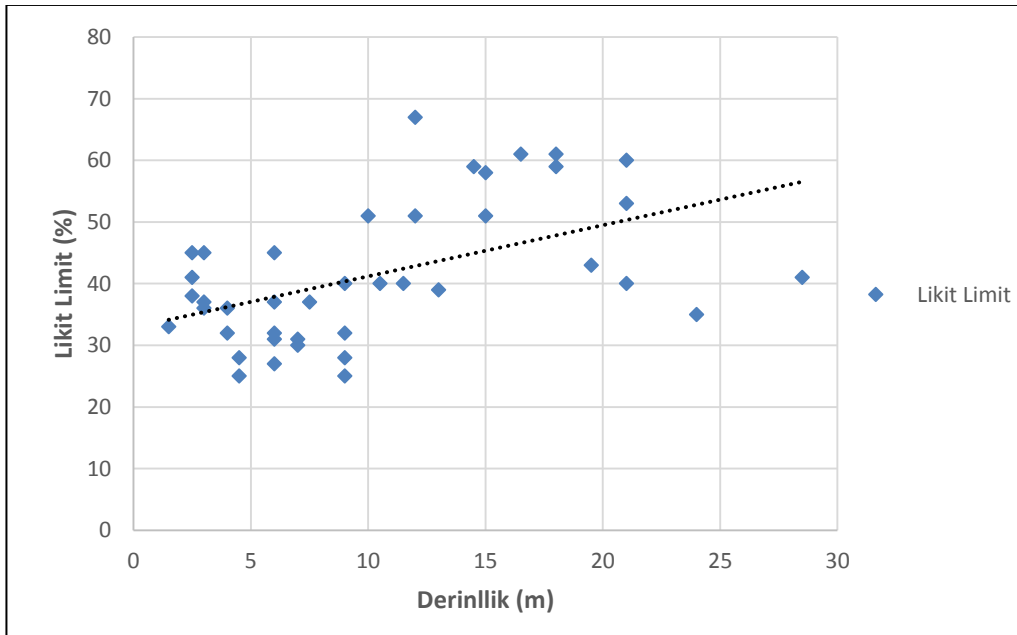
4.2.4.4. Kıvam Limitleri Analizi Sonuçları

Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası yapılan sondajlardan alınan zemin örnekleri üzerinde deneyler uygulanmış ve Casagrande plastisite kartı diyagramına aktarılarak numunelerin ait oldukları zemin sınıfları belirtilmiştir (Şekil 4.20). TS 1500'e göre Casagrande plastisite kartı ile yapılan zemin sınıflandırılması EK 9'da gösterilmiştir.



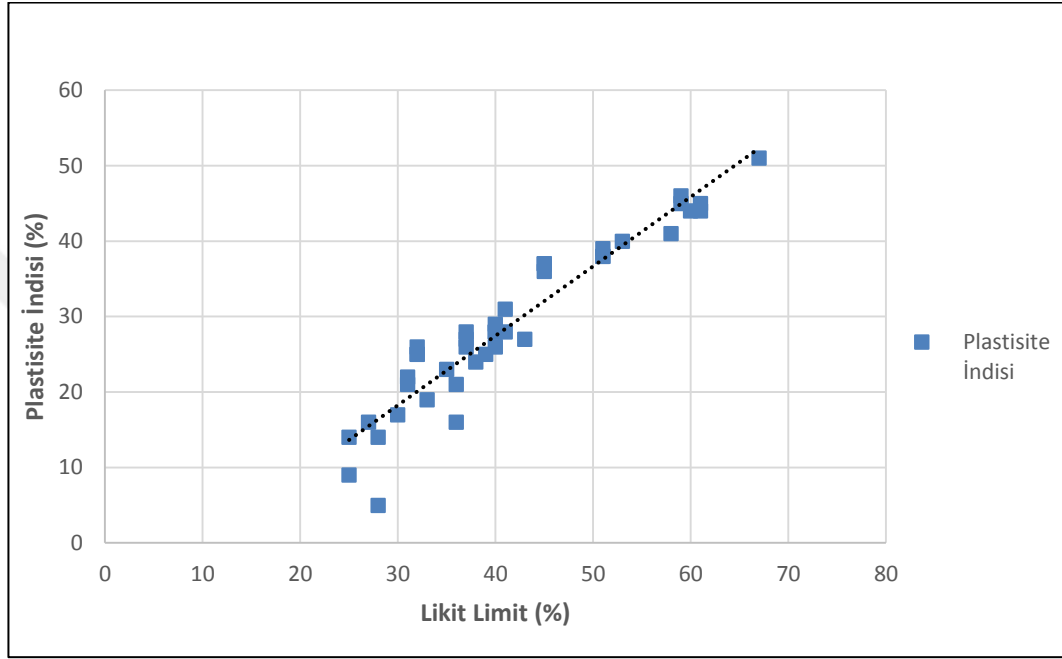
Şekil 4.20: Numunelerin plastisite kartı diyagramı üzerindeki yerleri.

Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası güzergahta açılan sondajlardan alınan zemin örnekleri üzerinde uygulanan deney sonuçlarına göre kohezyonlu düzeylerin zemin sınıflarının büyük bir bölümünün CL-CI (Düşük-Orta plastisiteli kil), diğer bir bölümünün ise CH (Plastisitesi yüksek inorganik kil, şişen kil) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.21: Likit limit ve derinlik ilişkisi.

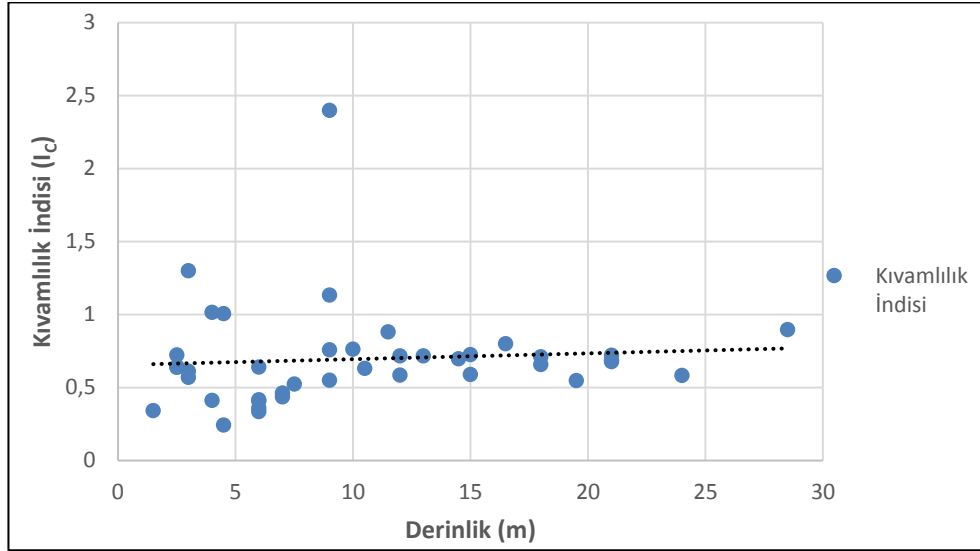
İnceleme alanında yapılan atterberg limitleri sonuçlarına göre likit limit değerleri 25,0-67,0 arasında, plastik limit değerleri 6,0-25,0 arasında ve plastisite indisinin değerleri ise 5,0-51,0 arasında değişmektedir (EK-5). Tünel hattı boyunca elde edilen likit limit değerlerinin derinlikle birlikte kısmen azaldığı dikkati çekmektedir (Şekil 4.21). Likit limit ve plastisite indisi arasındaki ilişki de Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22: Plastisite indisi ve likit limit ilişkisi.

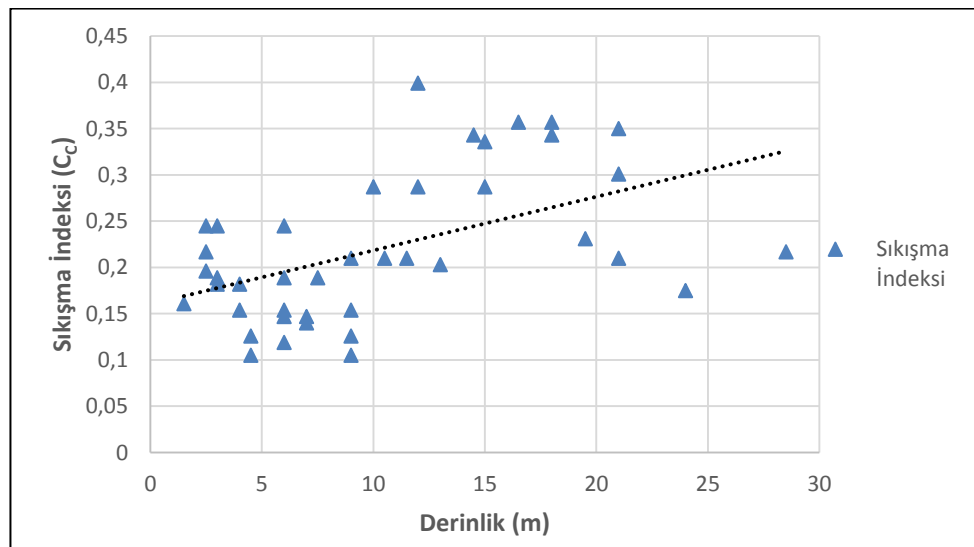
Leonards, G.A. (1972) tarafından önerilen tabloya göre ince taneli zeminlerin plastisite derecesinin genellikle "plastik" olduğu, buna bağlı olarak kuru dayanımının da "orta" olduğu belirlenmiştir. Bazı seviyelerde az oranda "az plastik" ve "çok plastik" plastisite dereceleriyle de karşılaşmış olup, kuru dayanımlarının "düşük" ve "yüksek" olduğu belirlenmiştir.

Tünel güzergahı boyunca açılan araştırma sondajlarından elde edilen ince daneli zemin numuneleri üzerinde yapılmış olan kıvam limitleri deneylerinin sonucunda elde edilen verilerden kıvamlilik indisileri hesaplanmıştır (EK 6). Buna göre; ince daneli zeminlerin kıvamlilik indisine göre ortalama 0,5-1,0 arasında (Şekil 4.23) ve "orta" - "katı" kıvamda olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan kıvamlilik indisi en düşük değeri (0,33) MMT-49 numaralı sondajda 6,0-6,45 m arasındaki ve en yüksek değeri (2,4) MMT-50 numaralı sondajda 9,0-9,45 m arasındaki Güngören Formasyonu killerinde tespit edilmiştir.



Şekil 4.23: Kıvamlilik indisi ve derinlik ilişkisi.

Güzergah boyunca ince taneli zeminlerde zeminin sıkışabilirliğini ifade eden parametrelerden sıkışma indeksi ile likit limit arasında bazı ampirik ilişkiler mevcuttur. Bunlardan Sowers, G.F. (1979) sınıflamasına göre güzergah boyunca belirlenen ince taneli zeminlerin sıkışma indeks değerleri hesaplanmış ve sınıflandırılmıştır (EK 7). Sowers, G.F. (1979) sıkışma indeksi sınıflamasına göre güzergahta yer alan killi düzeyler 0,10-0,39 aralığında olup; "düşük-orta sıkışabilir" özellikte olduğu anlaşılmıştır. Güzergahta yer alan zeminlerin sıkışma indekslerinin derinlikle olan değişimi Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24: Sıkışma indeksi ve derinlik ilişkisi.

Chen (1965) tarafından önerilen tabloya göre numunelerin likit limit değerlerinin yorumlanması sonucunda elde edilen şişme yüzdeleri, şişme basınçları ve şişme dereceleri EK 8’de verilmiştir. Buna göre inceleme alanında yer alan killerin genellikle %1-5 ve %5-10 aralığında şişme yüzdesine, 150-250 kN/m² ve 250-1000 kN/m² aralığında şişme basıncına, orta ve yüksek aralığında şişme derecesine sahip olduğu belirlenmiştir.

MMT-49 numaralı sondajda 9,0-9,45 m aralığında yer alan Güngören Formasyonu killeri düşük şişme derecesi, yine aynı sondajda 16,50-16,95 aralığında yer alan Güngören Formasyonu killeri çok yüksek şişme derecesinde olduğu tanımlanmıştır. Buna göre; likit limit ve SPT N₃₀ verileri kullanılarak, Chen (1965) sınıflamasına göre yapılan ampirik şişme potansiyeli değerlendirme sonuçları önceki çalışma sonuçları ile uyumludur.

4.2.5. RMR Kaya Kütle Sınıflaması Sonuçları

Tezin inceleme alanı olan Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası güzergahta yer alan az ayrışmış veya ayrışmamış, orta derecede ayrışmış ve çok ayrışmış kaya kesimine ait kaya kütle sınıflaması Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9: Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergahta kaya kesimlerine ait kaya kütle sınıflaması.

Formasyon	Km	Kaya Grubu	RMR Değerleri	
			Minimum	Maksimum
Trakya Fm.	15+535-15+620	W ₁ -W ₂	38	60
	15+620-15+690	W ₄	17	30
	16+720-17+000	W ₃	29	49

Bu tabloda RMR kaya sınıflamasına göre, az ayrışmış-ayrışmamış kaya kesimleri Orta-İyi Kalite arasında, orta derecede ayrışmış kaya kesimleri Çok Zayıf-Orta Kalite arasında ve çok ayrışmış (W₄) kaya kesimleri Çok Zayıf tanımlanmasına karşılık gelmektedir.

4.2.6. İncelenen Hat Üzerindeki Birimlerin Projelendirme Parametreleri

Bu çalışmada Mecidiyeköy-Mahmutbey metro hattının Yenimahalle-Karadeniz istasyonları kesimi incelenmiştir. Bölge tamamen yoğun bir yapılaşma ile örtülmüş olup, güzergah araştırmaları genellikle sondajlar ve yakın çevre arazi gözlemlerine dayandırılmıştır.

İnceleme alanını kapsayan bölgede Trakya Formasyonu'nu oluşturan kumtaşı, kıltaşı ve şeyl, Çukurçeşme Formasyonu'nu oluşturan kum ve çakıl, Güngören Formasyonu'nu oluşturan kil birimleri ve yapay dolgu bulunmaktadır.

Zemin niteliğindeki birimlere ait parametreler SPT, elek analizi, kıvam limitleri; kaya niteliğindeki birimlere ait parametreler ise nokta yükleme ve tek eksenli basınç dayanım deney sonuçları kullanılarak belirlenmiştir.

Projelendirmeye esas jeoteknik parametreler (γ_n , ϕ , c , E_m , μ) literatürden yararlanılarak, kısmen güvenli tarafta kalacak şekilde düzenlenmiş olup, Tablo 4.10'da sunulmuştur (Polat, 2014).

Tablo 4.10: Tünel güzergahında yer alan zemin-kaya birimlere ait projelendirme parametreleri.

Formasyon	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (kN/m ³)	Kayma Mukavemet Parametreleri		Elastisite Modülü E_m (MPa)	Poisson Oranı μ
		C (kPa)	ϕ (°)		
Trakya Fm. (W ₁ -W ₂)	26	150	36	1860	0,30
Trakya Fm. (W ₃)	26	110	33	1325	0,30
Trakya Fm. (W ₄)	24	60	26	540	0,30
Muhtemel Ezik (fay vb.) Zon	23	0,10	32	120	0,32
Güngören Fm.	21	150	0	35	0,32
Çukurçeşme Fm.	19,5	5	32	25	0,33

4.3. JEOTEKNİK ÖLÇÜM DEĞERLENDİRMELERİ

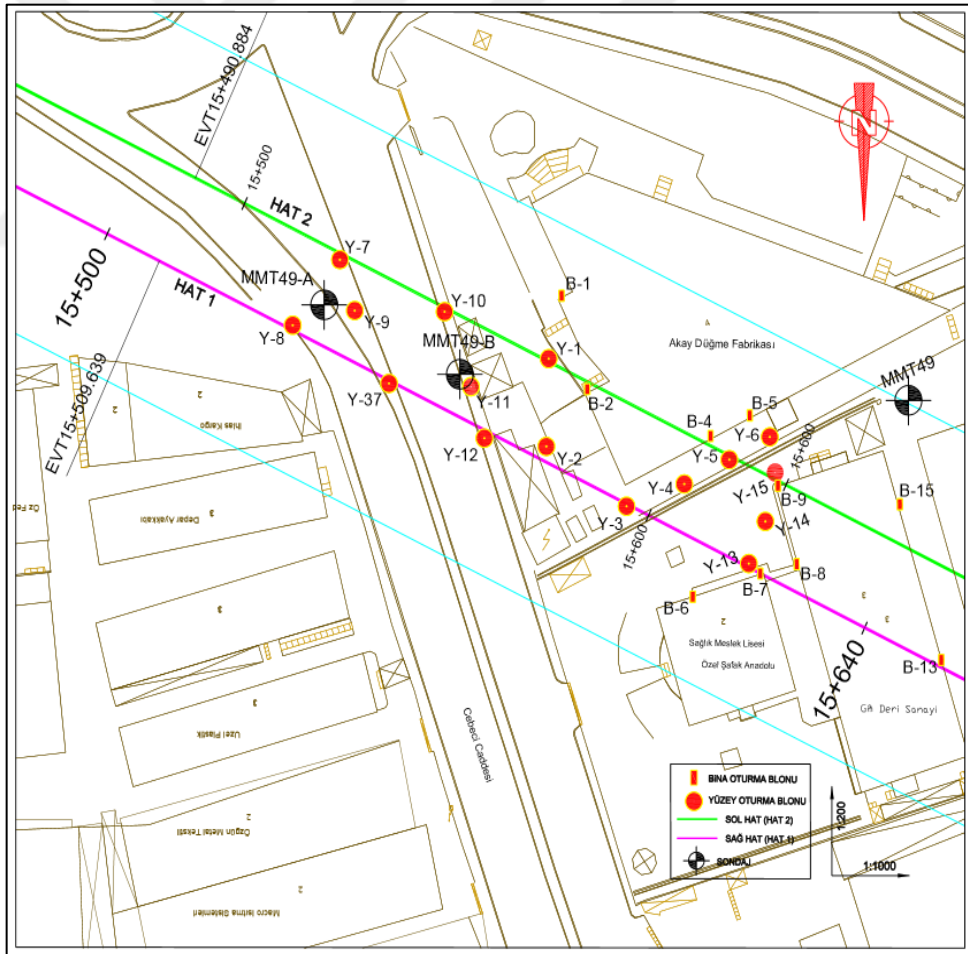
Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergah, yerleşimin oldukça yoğun olduğu bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle tünel kazısı işlerinin tünel üstü örtü kalınlığının az olduğu kısımlarda yoğun bir izleme planı uygulanmıştır.

Güzergah boyunca kazı sırasında ve sonrasında yüzeyde ve çevre binalarda olabilecek değişimleri izlemek amacıyla, 177 adet bina oturma bulonu (BB), 171 adet yüzey oturma bulonu Y-SMP) ve 494 adet bina yatay deplasman reflektörü (R) montajı yapılmış ve ölçümler alınmıştır.

4.3.1. Trakya Formasyonu'nda YüzeY Deformasyonlarının İncelenmesi

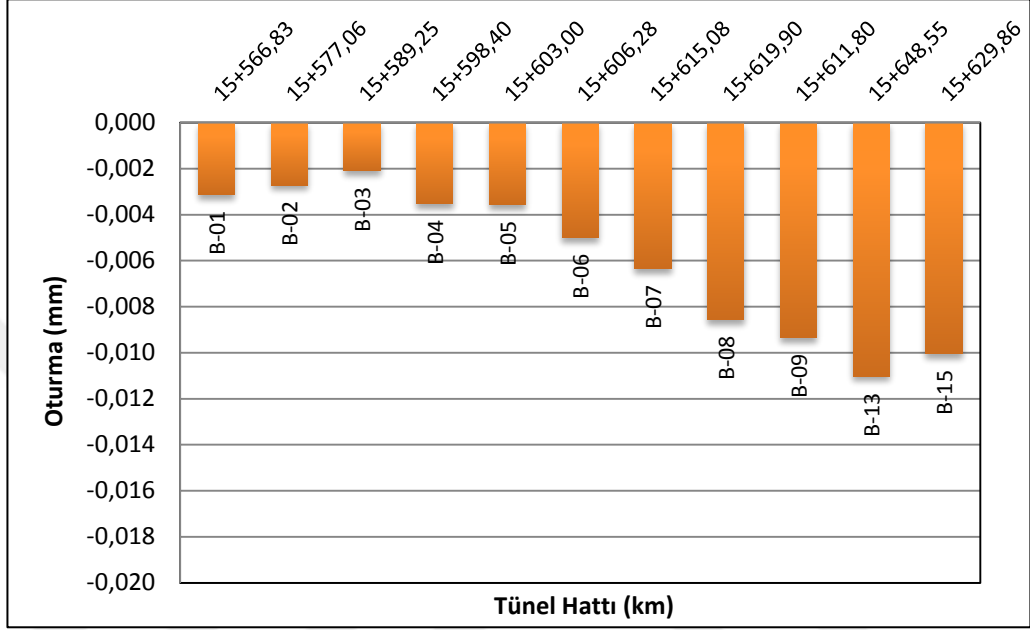
İnceleme yapılan tünel güzergahında km 15+500-15+640 ve km 16+700-16+980 arasında Trakya Formasyonu'na ait kaya birimlerde kazı yapılmıştır. Örtü kalınlığının yüzeyden yaklaşık 22 m olduğu km 15+500-15+640 aralığında 13 adet bina oturma bulonu (BB) ve 18 adet yüzeY oturma bulonu (SMP-Y) yerleştirilmiş olup, ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Örtü kalınlığının yüzeyden yaklaşık 20 m olduğu km 16+700-16+980 aralığında 50 adet bina yatay deplasman reflektörü (R) ve 28 adet yüzeY oturma bulonu (SMP-Y) yerleştirilmiş olup, ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Km 15+500-15+640 arası TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeyde olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen BB ve SMP (Y) noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.25'te verilmiştir.

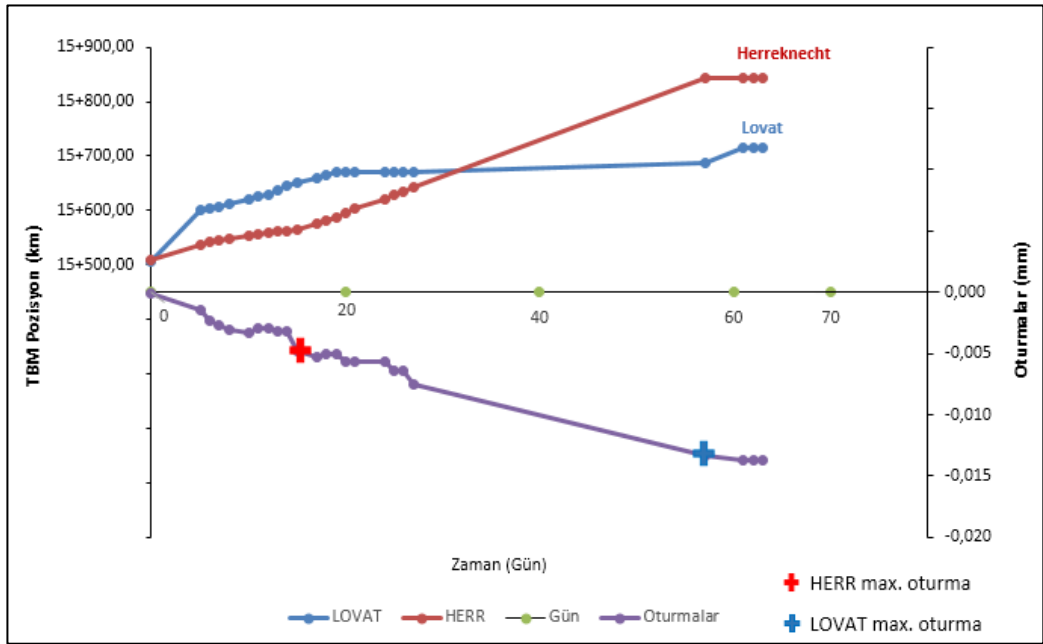


Şekil 4.25: Km 15+500-15+640 (Trakya Formasyonu) arası yerleştirilen BB ve SMP (Y) noktaları.

Bina oturma bulonlarına ait 3 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 2-11 mm aralığında gözlenmiştir (Şekil 4.26). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise B-13 noktasında 11 mm. ölçülmüş olup, TBM kazı ilerlemesine bağlı olarak Şekil 4.27’de gösterilmiştir.

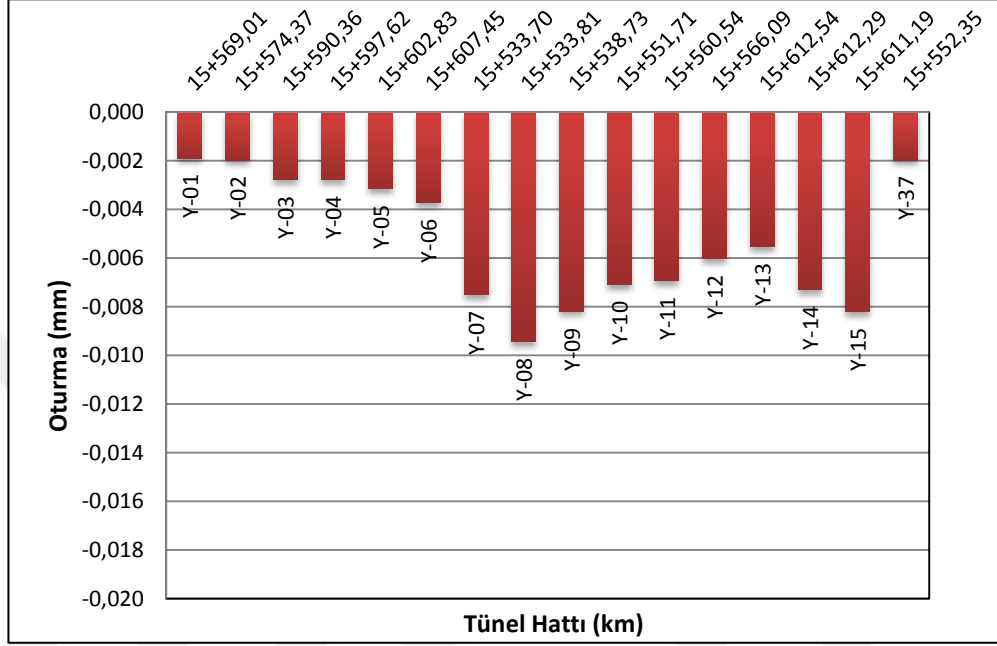


Şekil 4.26: Trakya Formasyonu km 15+500-15+640 aralığı tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

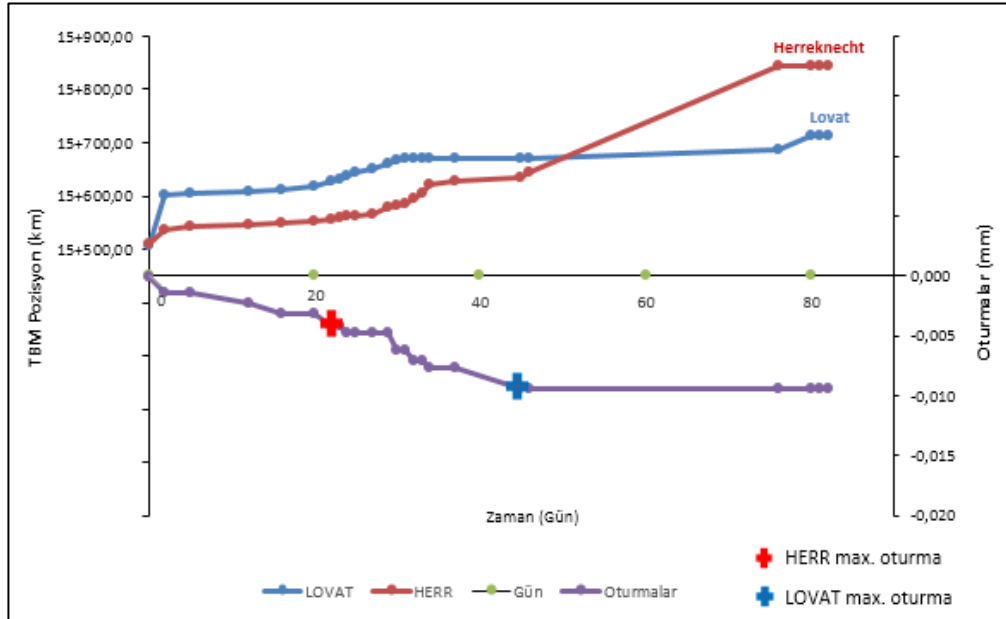


Şekil 4.27: BB-13 (Bina Oturma Noktası) ve TBM’lerin hareketi.

Yüzey oturma bulonlarına ait 3 aylık süre içinde yapılan ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 2-9 mm. aralığında gözlenmiştir (Şekil 4.28). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise Y-08 noktasında 9 mm. olarak ölçülmüş olup, TBM kazı ilerlemesine bağlı olarak Şekil 4.29’da gösterilmiştir.

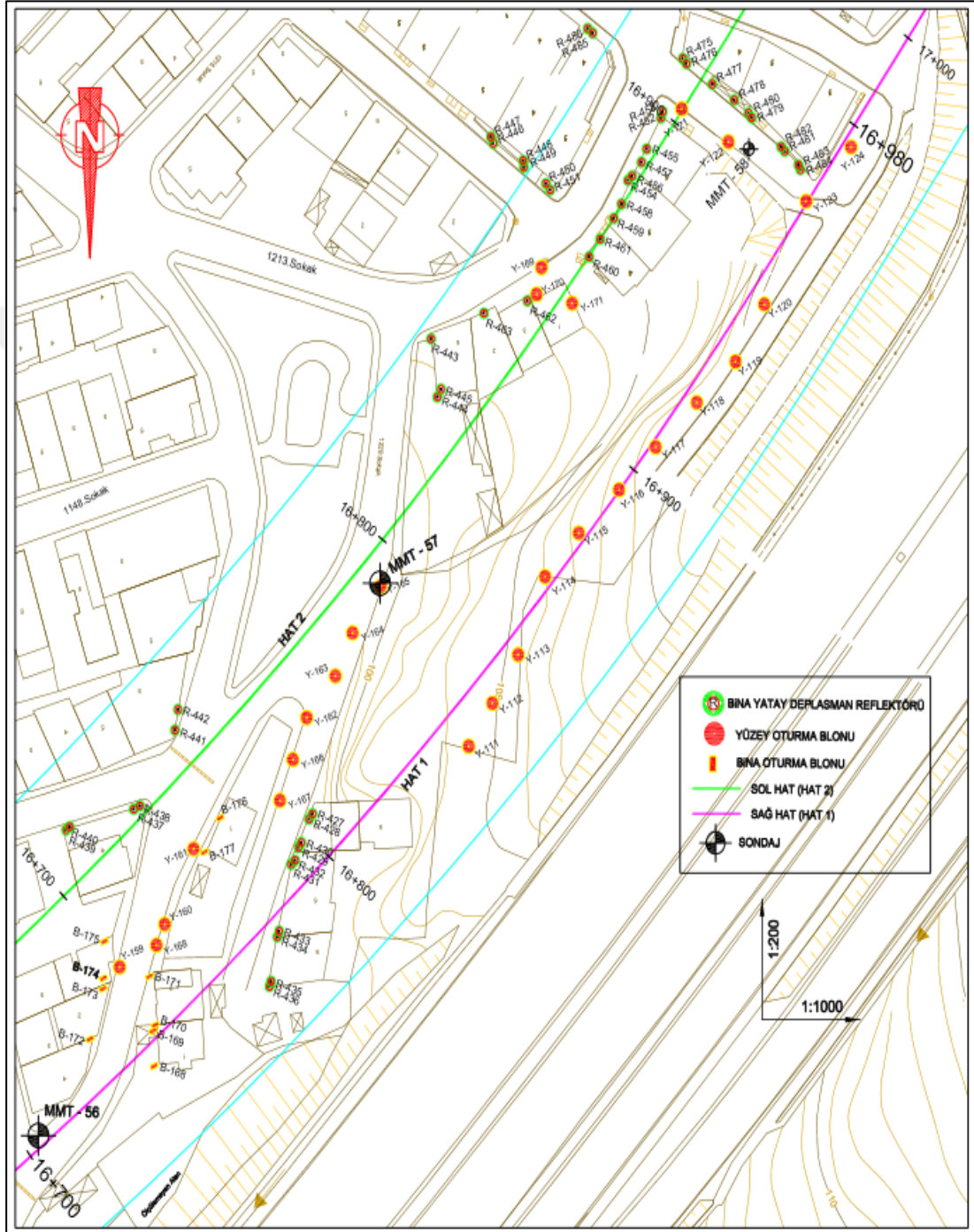


Şekil 4.28: Trakya Formasyonu km 15+500-15+660 aralığı tünel hattı boyunca Y (SMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.



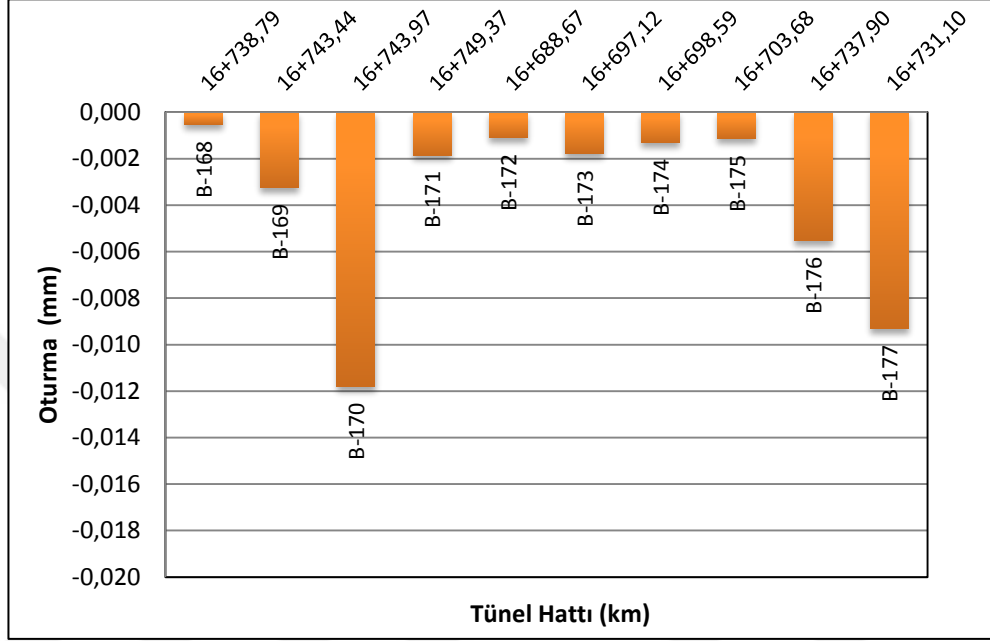
Şekil 4.29: Y-08 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM’lerin hareketi.

Km 16+700-16+980 arası TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeyde ve çevre binalarda olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen BB, Y (SMP) ve R (BMP) deplasman noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.30'da sunulmuştur.

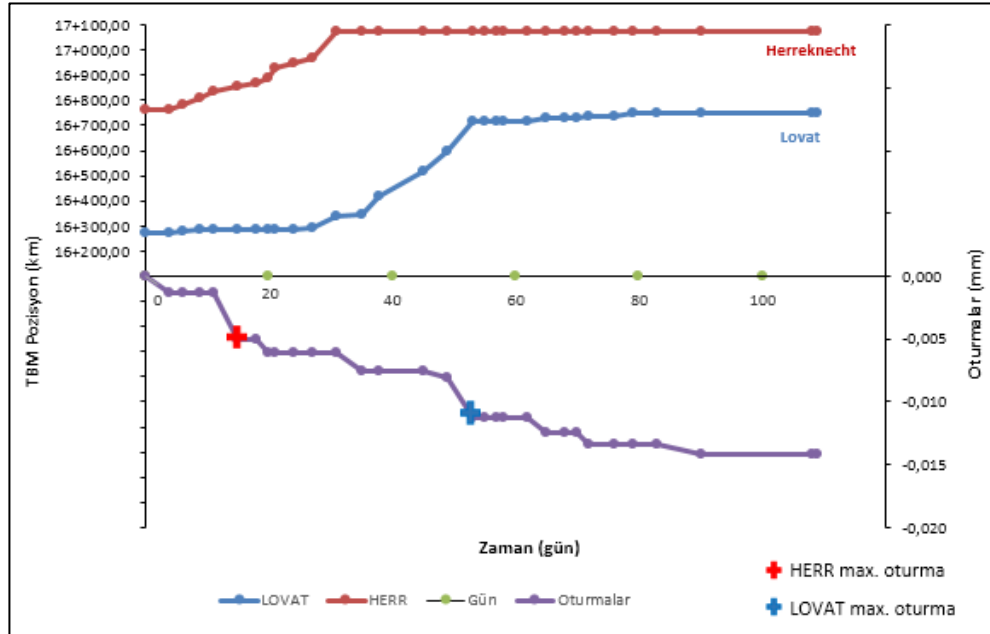


Şekil 4.30: Km 16+700-16+980 (Trakya Formasyonu) arası yerleştirilen BB, Y (SMP) ve R (BMP) noktaları.

Bina oturma bulonlarına ait 3 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-12 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.31). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise B-170 noktasında 12 mm. olarak ölçülmüş olup, TBM kazı ilerlemesine bağlı olarak Şekil 4.32’de gösterilmiştir.

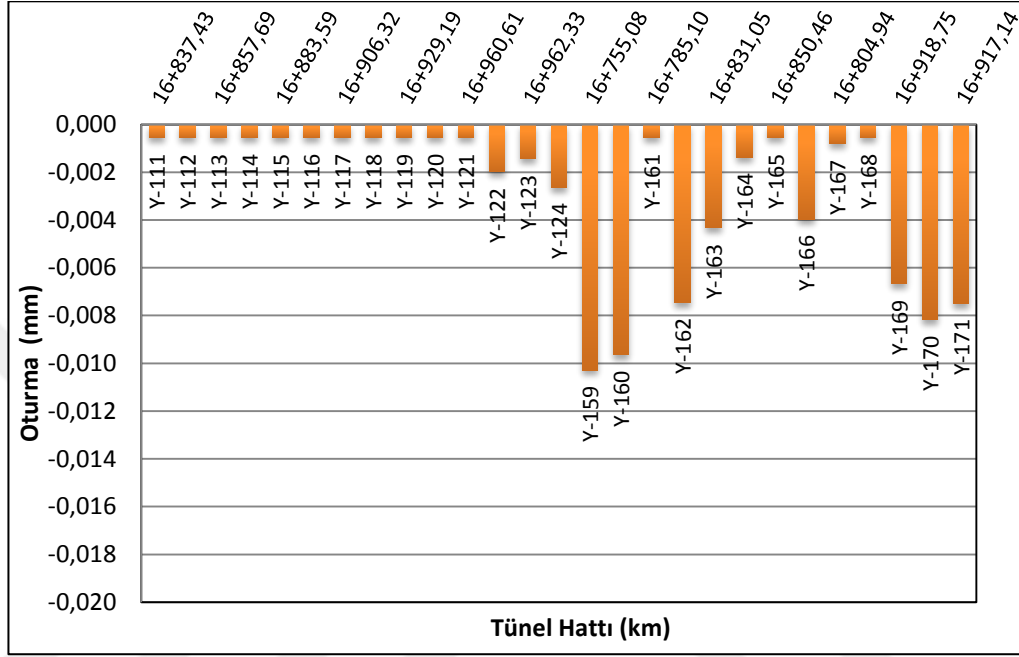


Şekil 4.31: Trakya Formasyonu km 16+700-16+980 aralığı tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

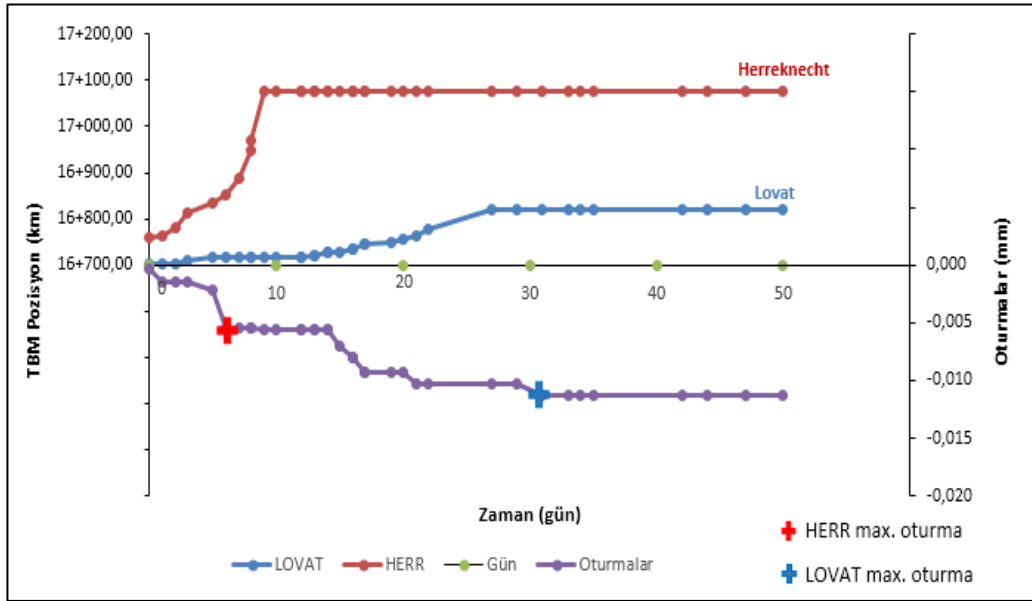


Şekil 4.32: B-170 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

Yüzey oturma bulonlarına ait 2 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-10 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.33). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise Y-159 noktasında 10 mm. olarak ölçülmüş olup, TBM kazı ilerlemesine bağlı olarak Şekil 4.34'te gösterilmiştir.

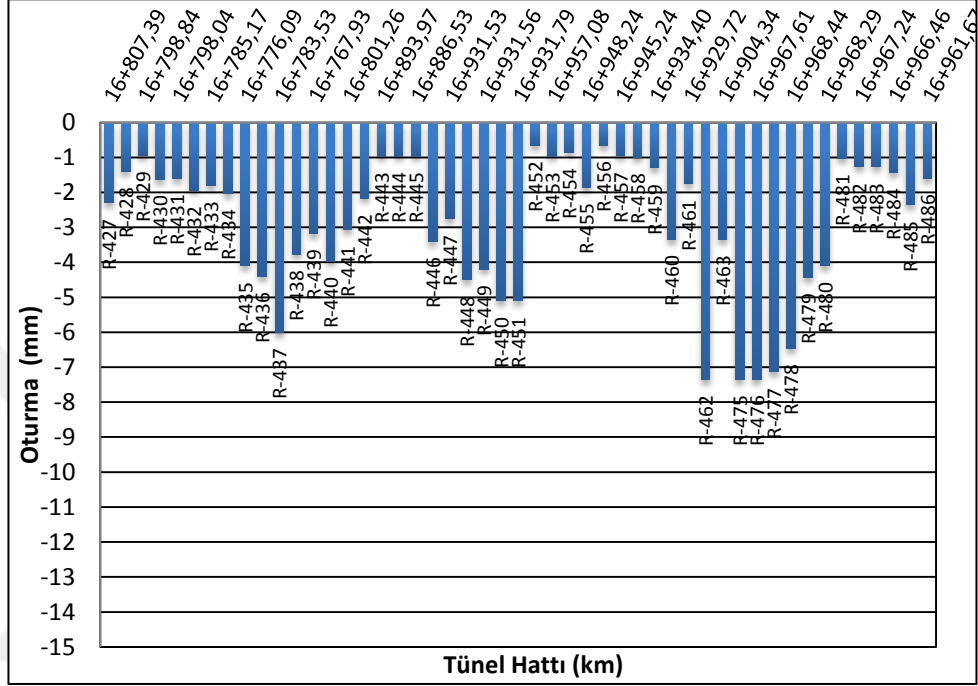


Şekil 4.33: Trakya Formasyonu km 16+700-16+980 aralığı tünel hattı boyunca SMP noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

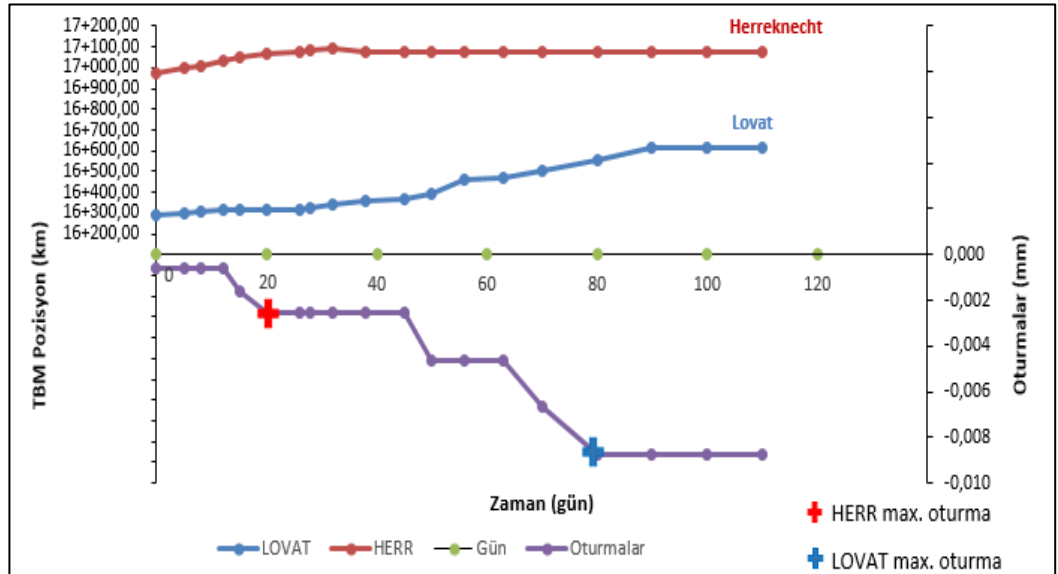


Şekil 4.34: SMP 159 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

Bina yatay deplasman reflektörlerine (R) ait 4 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-9 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.35). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise R-475 noktasında 9 mm. olarak ölçülmüş olup, TBM kazı ilerlemesine bağlı olarak Şekil 4.36’da gösterilmiştir.



Şekil 4.35: Trakya Formasyonu km 16+700-16+980 aralığı tünel hattı boyunca R noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

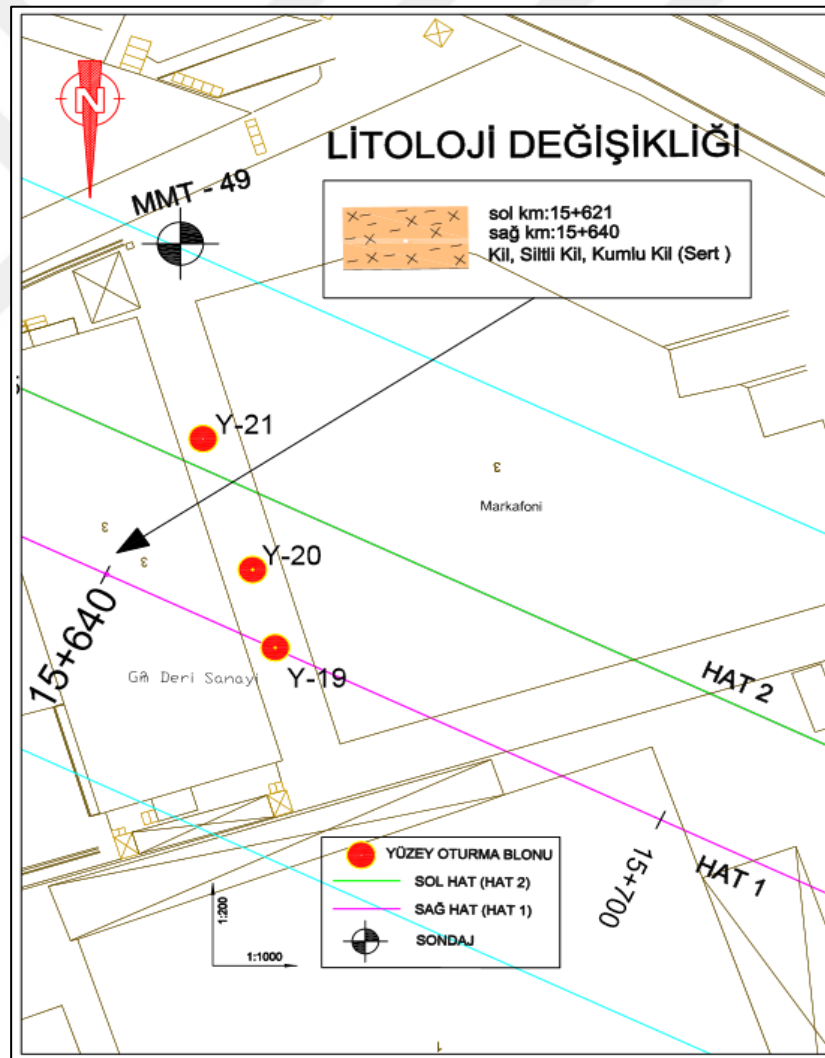


Şekil 4.36: R-475 (Bina yatay deplasman reflektörü) ve TBM’lerin hareketi.

4.3.2. Trakya-Güngören Formasyonları Arası Sınır Bölgesinde YüzeY Deformasyonlarının İncelenmesi

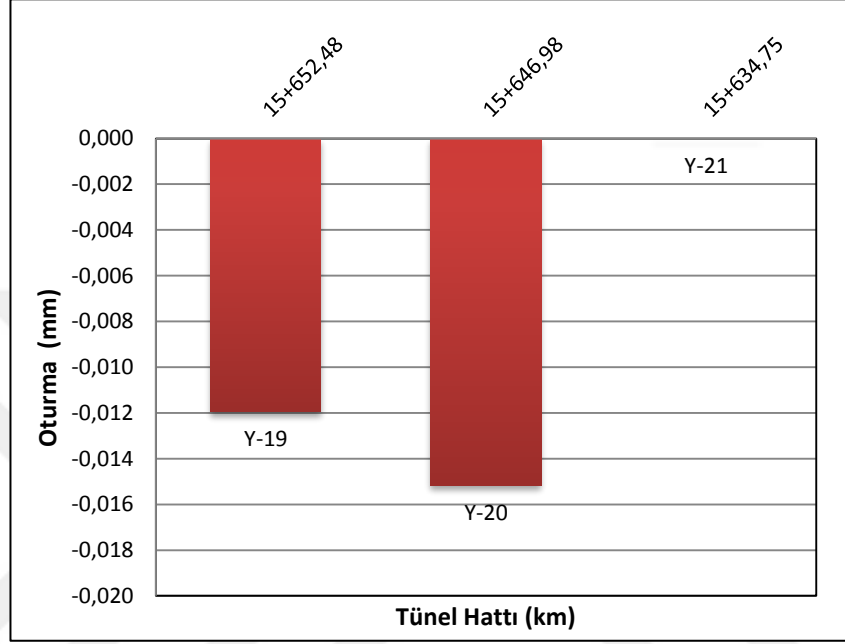
İncelenen tünel güzergahı boyunca km 15+640'da litoloji değişikliği, Trakya Formasyonu'na ait kumtaşı-şeyl birimleri ile Güngören Formasyonu'na ait kil-siltli kil-kumlu kil birimleri arasında sınır olduğu gözlenmiştir. Örtü kalınlığının yüzeYden yaklaşık 21 m olduğu bu bölgede 3 adet yüzeY oturma bulonu (SMP-Y) yerleştirilmiş olup, ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Km 15+640 TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeYde olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen SMP (Y) noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.37'de sunulmuştur.

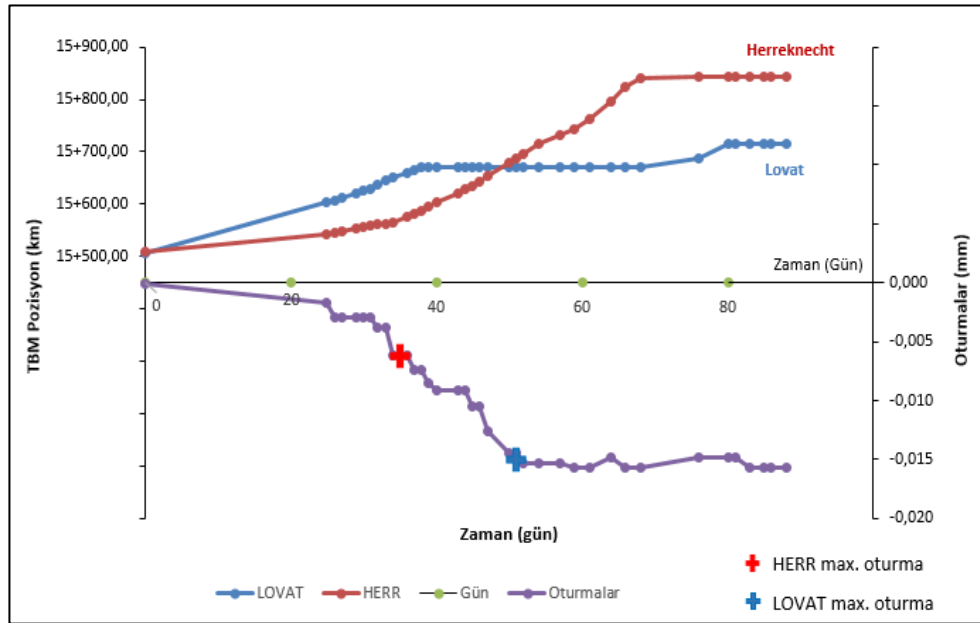


Şekil 4.37: Km 15+640 (Trakya-Güngören Formasyonları Arası Sınır) da yerleştirilen Y (SMP) noktaları.

Yüzey oturma bulonlarına ait 3 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 2-15 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.38). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise Y-20 noktasında 15 mm. olarak ölçülmüş olup, Şekil 4.39'da gösterilmiştir.

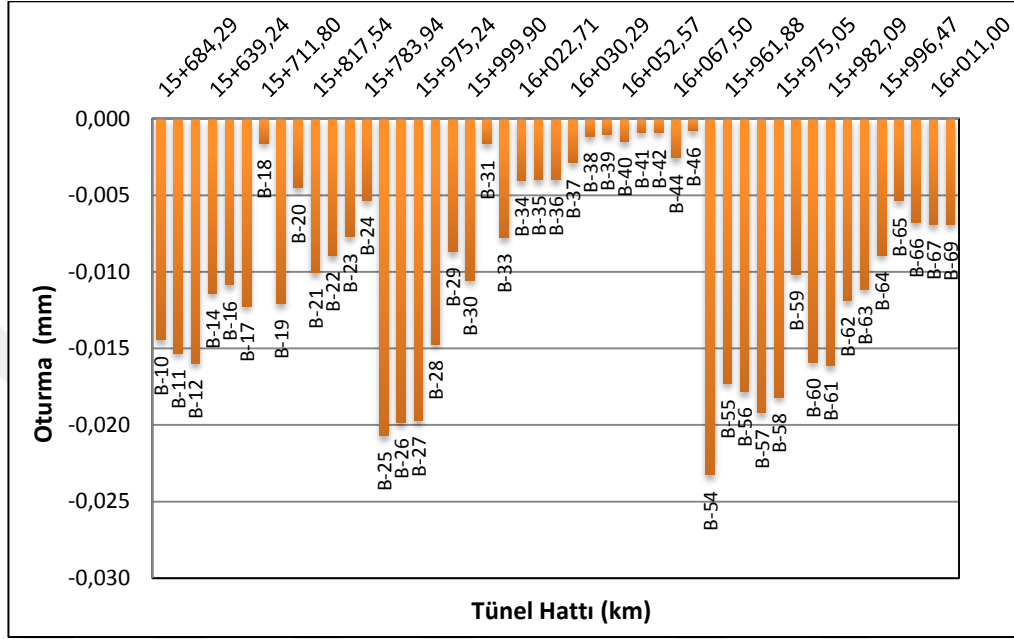


Şekil 4.38: Trakya-Güngören Formasyonu arası sınır km 15+640 tünel hattı boyunca Y (SMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

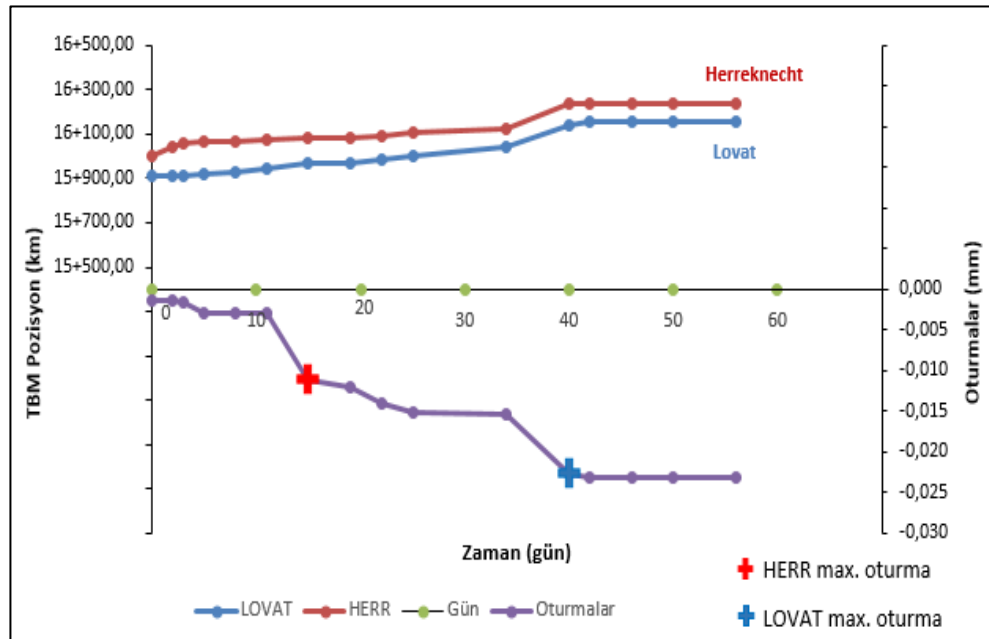


Şekil 4.39: Y-20 (yüzey oturma bulonu) ve TBM'lerin hareketi.

Bina oturma bulonlarına ait 2 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-23 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.41). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise B-54 noktasında 23 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.42).

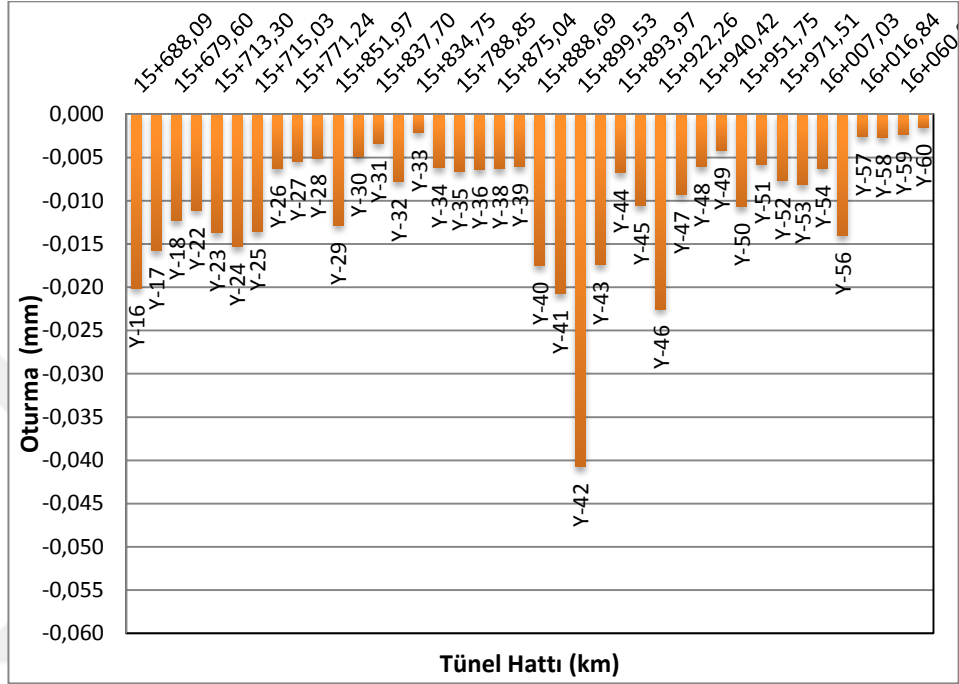


Şekil 4.41: Güngören Formasyonu km 15+640-16+070 aralığı tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

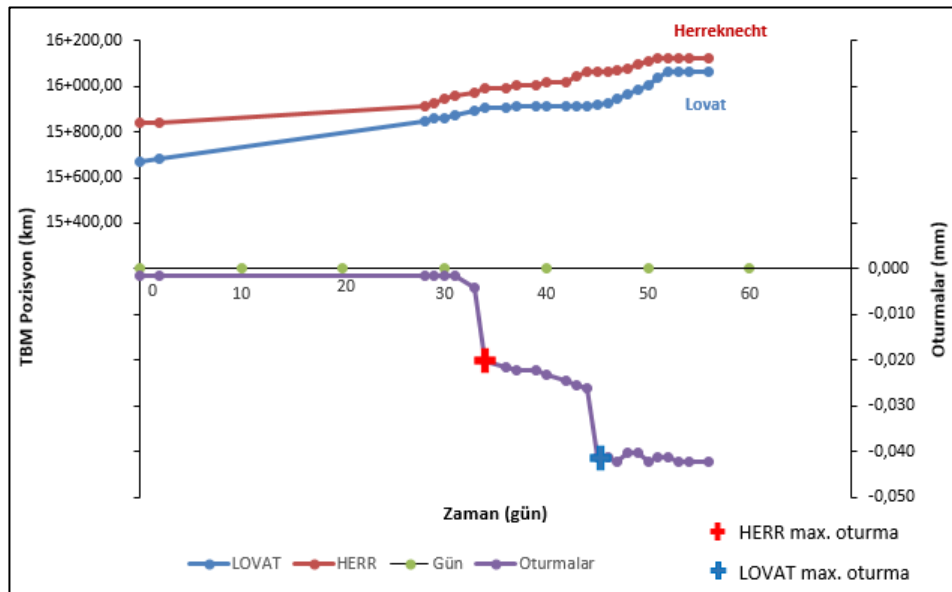


Şekil 4.42: B-54 (Bina Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

Yüzey oturma bulonlarına ait 2 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 2-41 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.43). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise Y-42 noktasında 41 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.44).

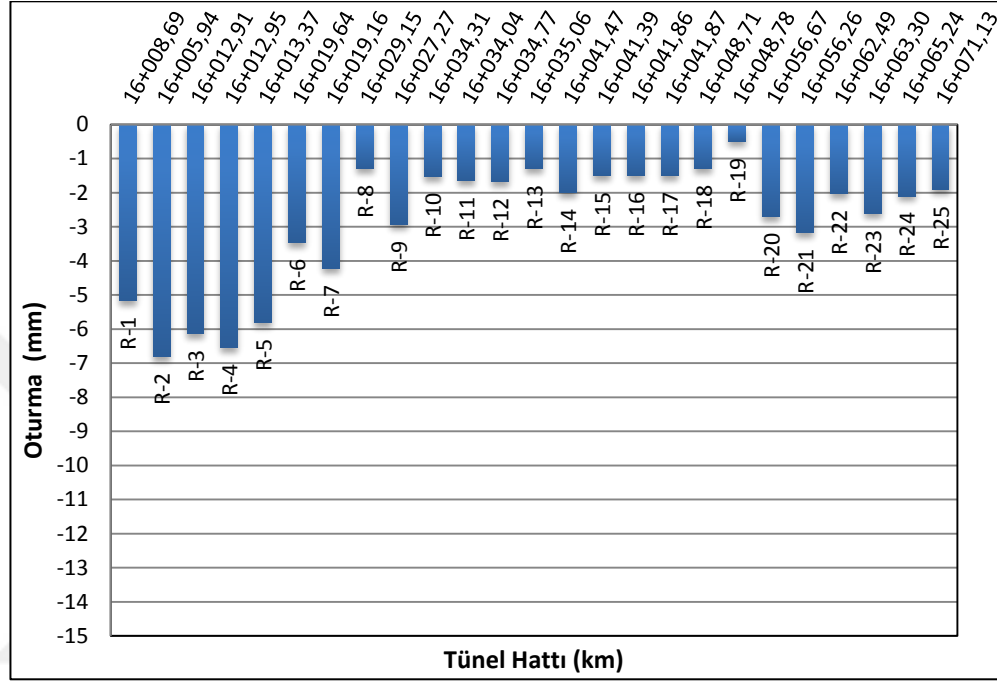


Şekil 4.43: Güngören Formasyonu km 15+640-16+070 aralığı tünel hattı boyunca SMP (Y) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

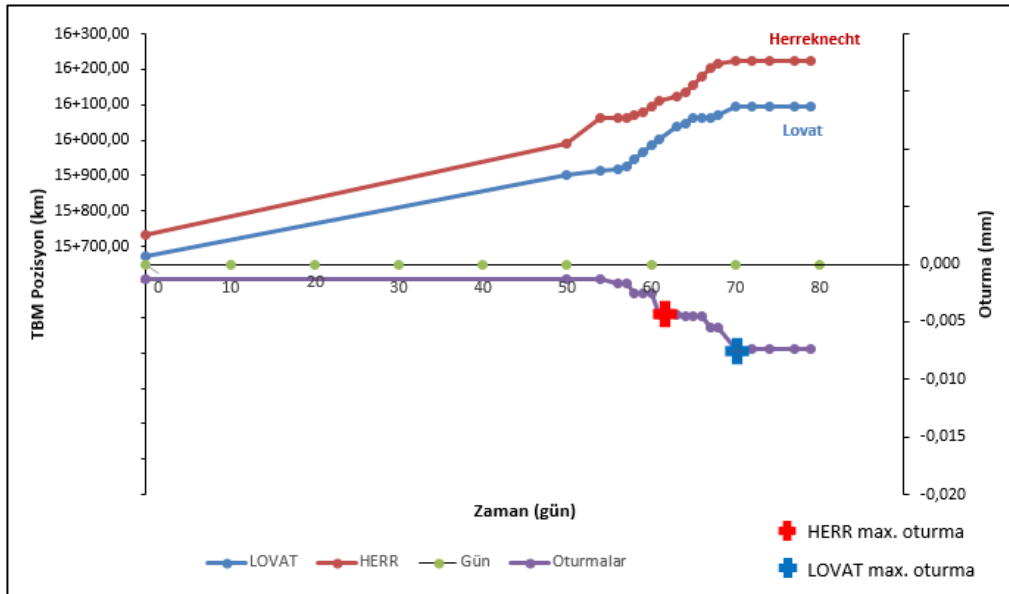


Şekil 4.44: Y-42 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

Bina yatay deplasman reflektörlerine (R) ait 3 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-7 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.45). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise R-04 noktasında 7 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.46).

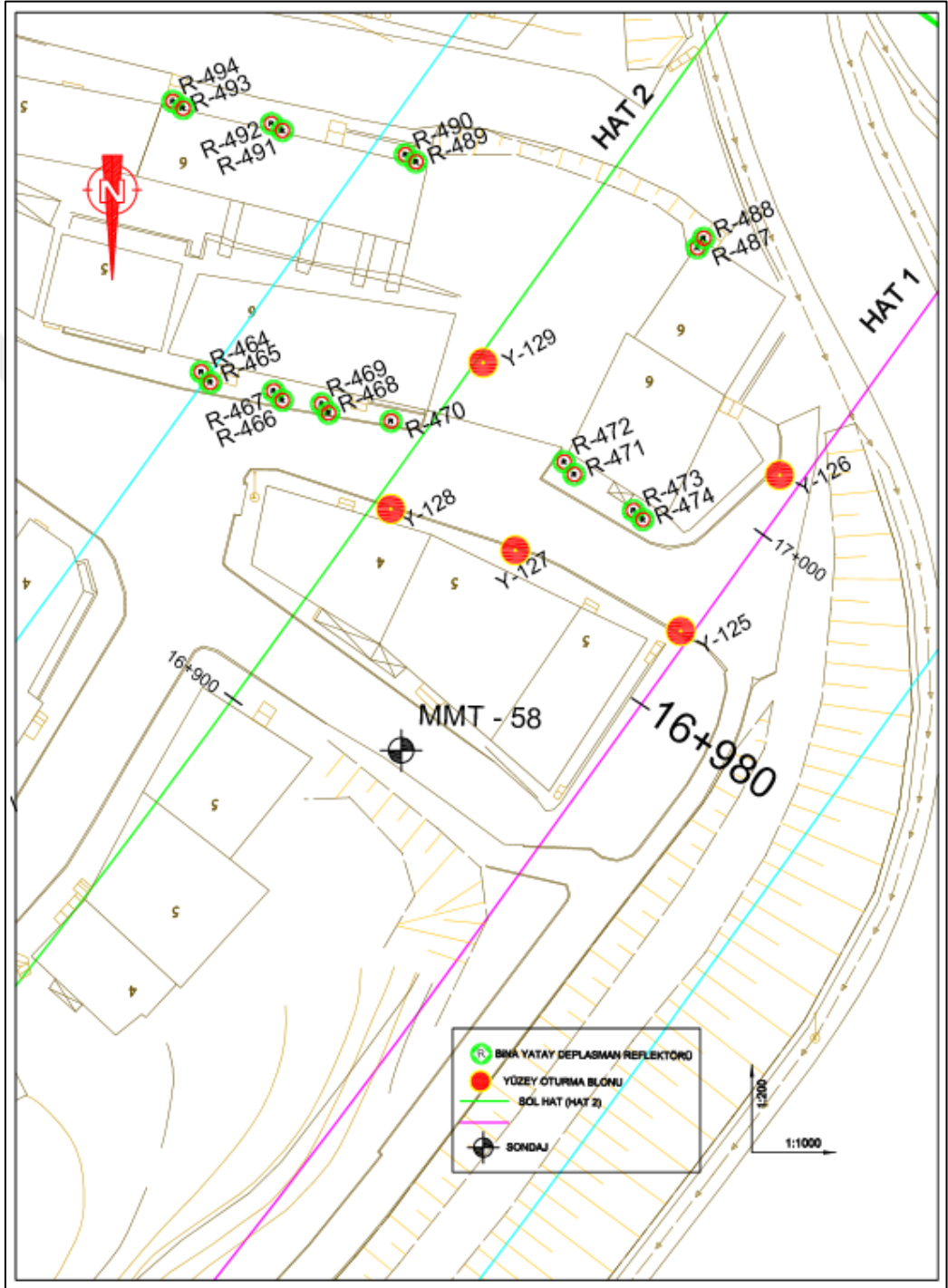


Şekil 4.45: Güngören Formasyonu km 15+640-16+070 aralığı tünel hattı boyunca BMP (R) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.



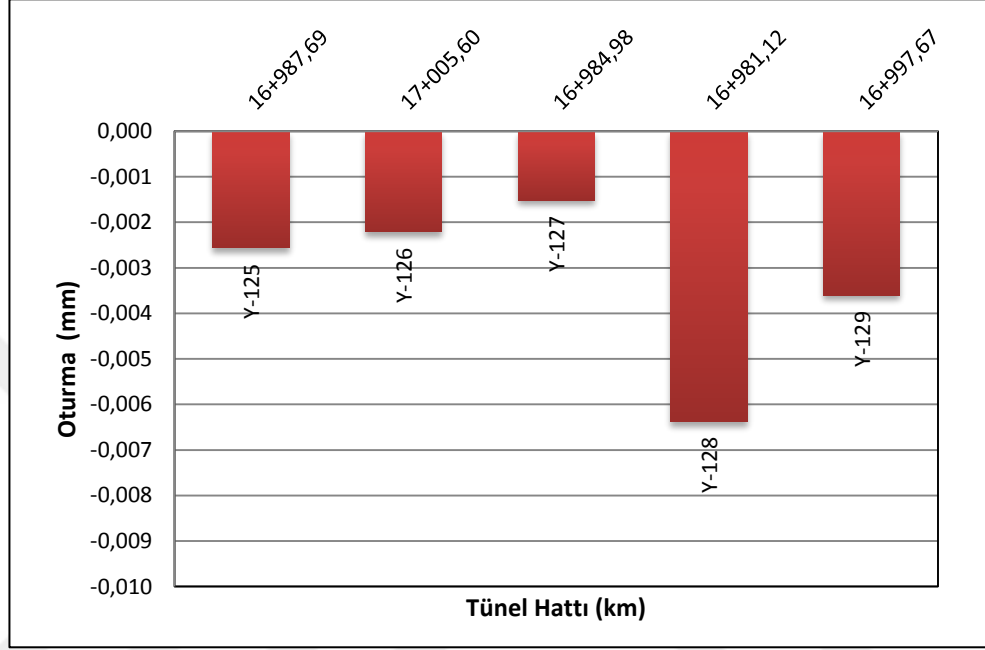
Şekil 4.46: R-04 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.

Km 16+980-17+085 arası TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeyde ve çevre binalarda olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen SMP (Y) ve BMP (R) noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.47’de sunulmuştur.

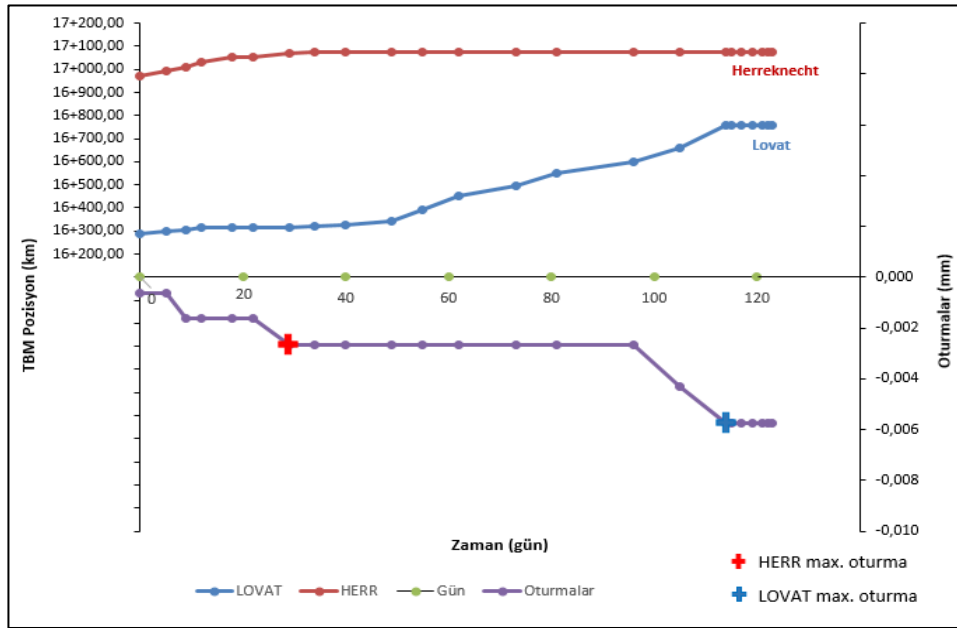


Şekil 4.47: 16+980-17+085 (Güngören Formasyonu) arası yerleştirilen Y ve R noktaları.

Yüzey oturma bulonlarına ait 4 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 2-6 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.48). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise Y-128 noktasında 6 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.49).

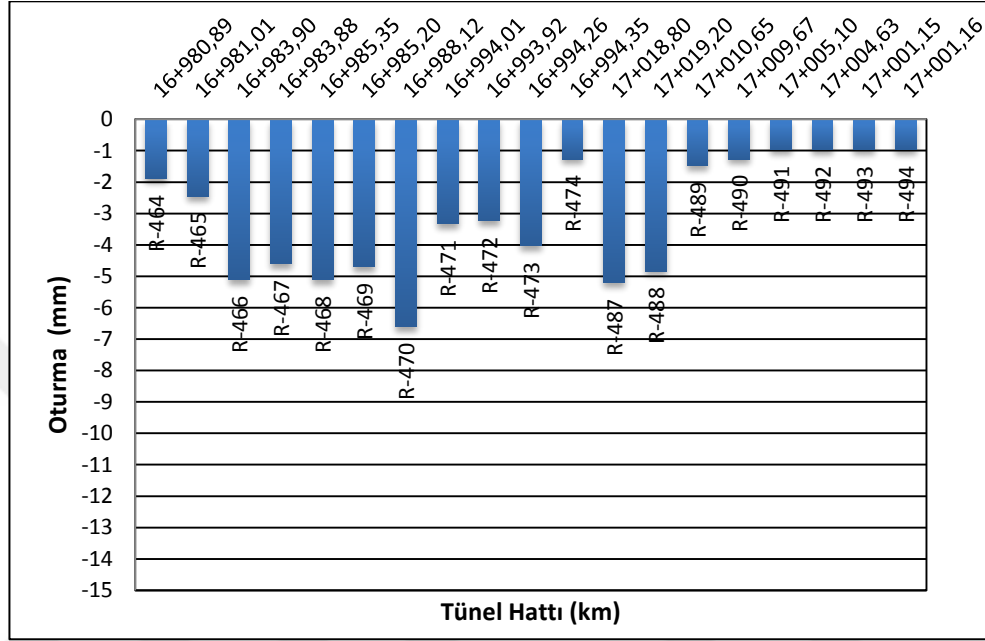


Şekil 4.48: Güngören Formasyonu km 16+980-17+085 aralığı tünel hattı boyunca Y noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

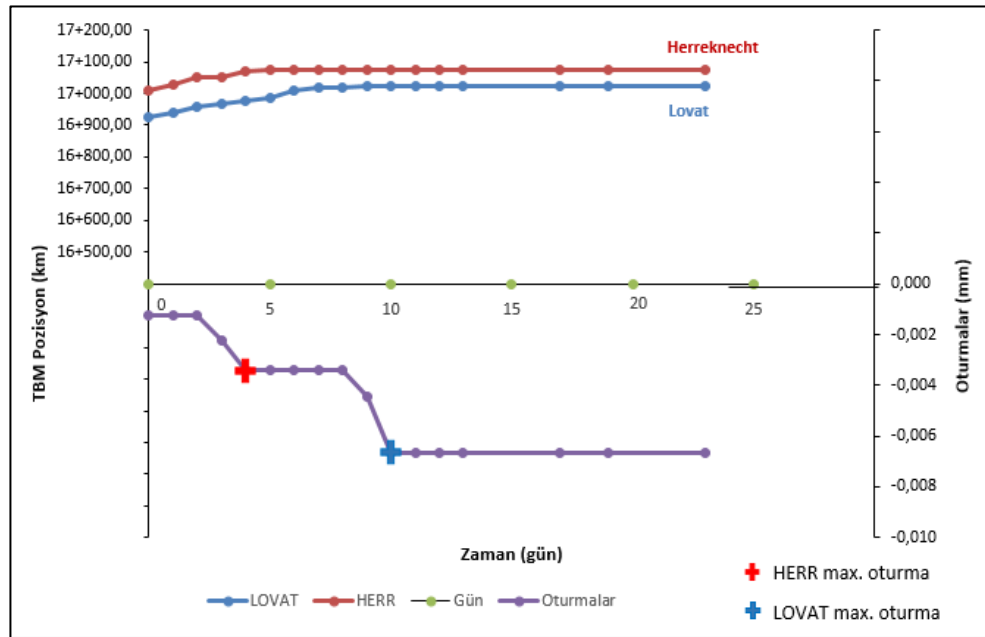


Şekil 4.49: Y-128 (Yüzey Oturma Bulonu) ve TBM'lerin hareketi.

Bina yatay deplasman reflektörlerine (R) ait 1 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 2-7 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.50). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise R-470 noktasında 7 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.51).



Şekil 4.50: Güngören Formasyonu km 16+980-17+085 aralığı tünel hattı boyunca R noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

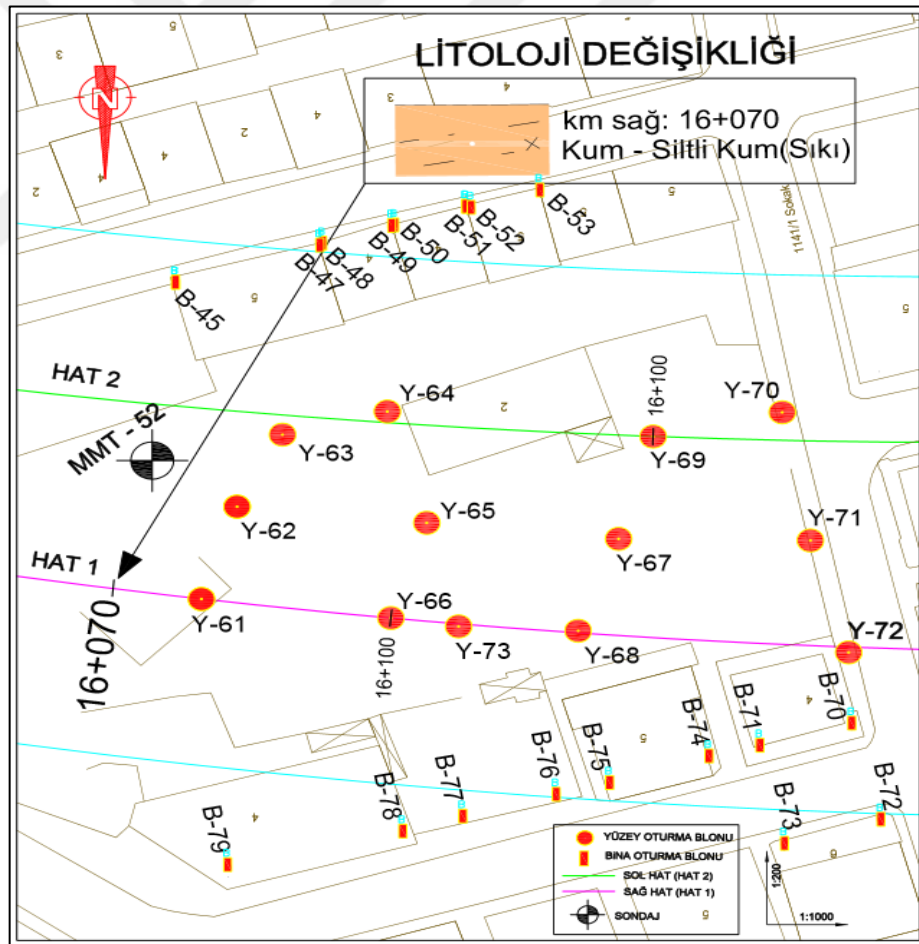


Şekil 4.51: R-470 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.

4.3.4. Güngören-Çukurçeşme Formasyonları Arası Sınır Bölgesinde YüzeY Deformasyonlarının İncelenmesi

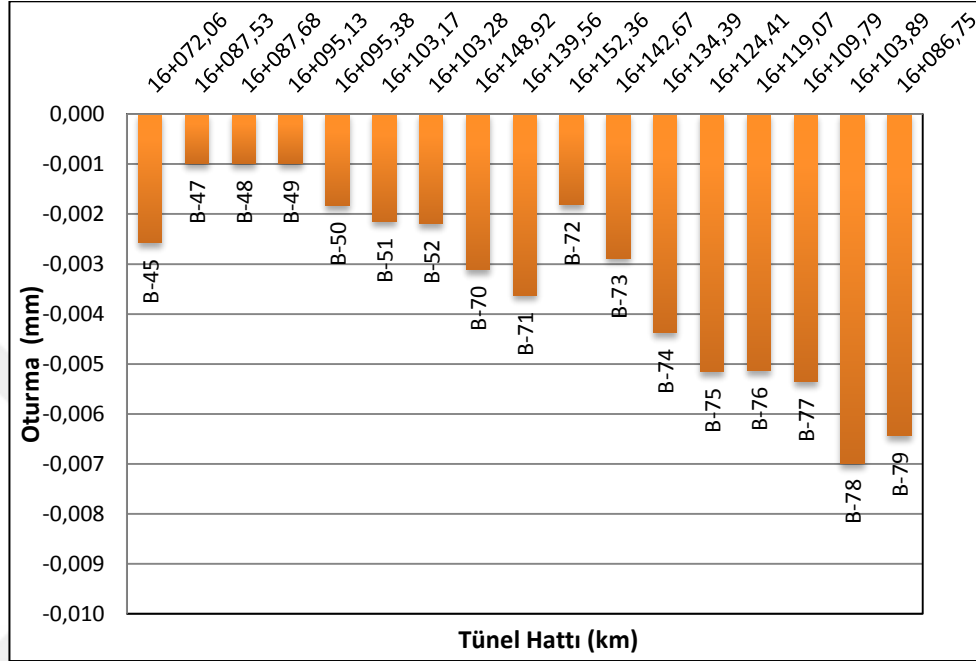
İncelenen tünel güzergahı boyunca km 16+070'te litoloji değişikliği, Güngören Formasyonu'na ait kil, kumlu siltli kil, kiltası birimleri ile Çukurçeşme Formasyonu'na ait kum-siltli kum birimleri arasında sınır olduğu gözlenmiştir. Örtü kalınlığının yüzeyden yaklaşık 19 m olduğu km 16+070 aralığında 18 adet bina oturma bulonu (BB) ve 13 adet yüzeY oturma bulonu (SMP-Y) yerleştirilmiş olup, ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Km 16+070'te TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeyde olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen BB, SMP (Y) noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.52'de sunulmuştur.

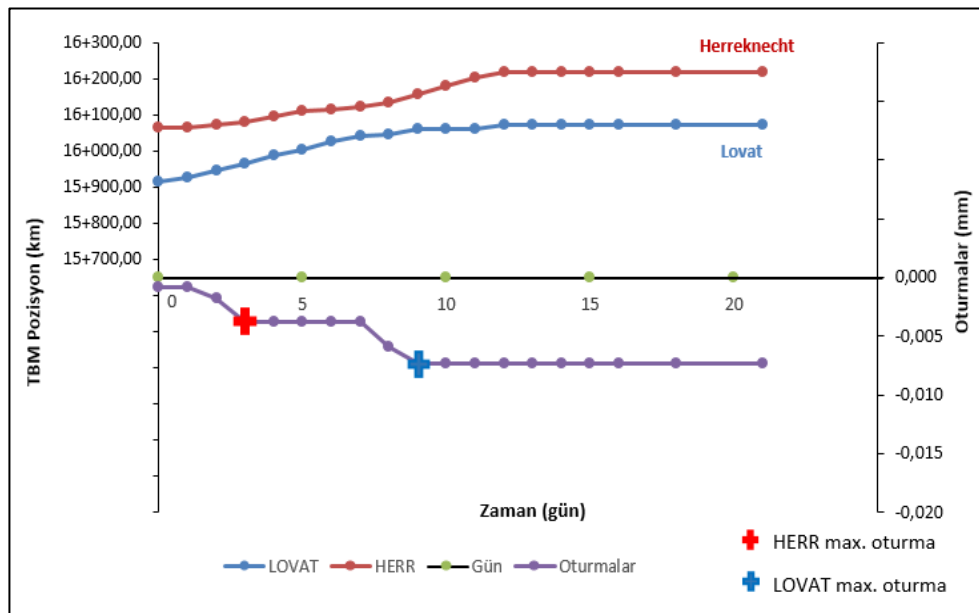


Şekil 4.52: Km 16+070 (Güngören-Çukurçeşme Formasyonları Arası Sınır) da yerleştirilen BB, SMP (Y) noktaları.

Bina oturma bulonlarına ait 1 aylık süre içinde yapılan bina oturma bulonları deformasyon ölçüm değerlerine ait oturma miktarı 1-7 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.53). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise BB-78 noktasında 7 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.54).

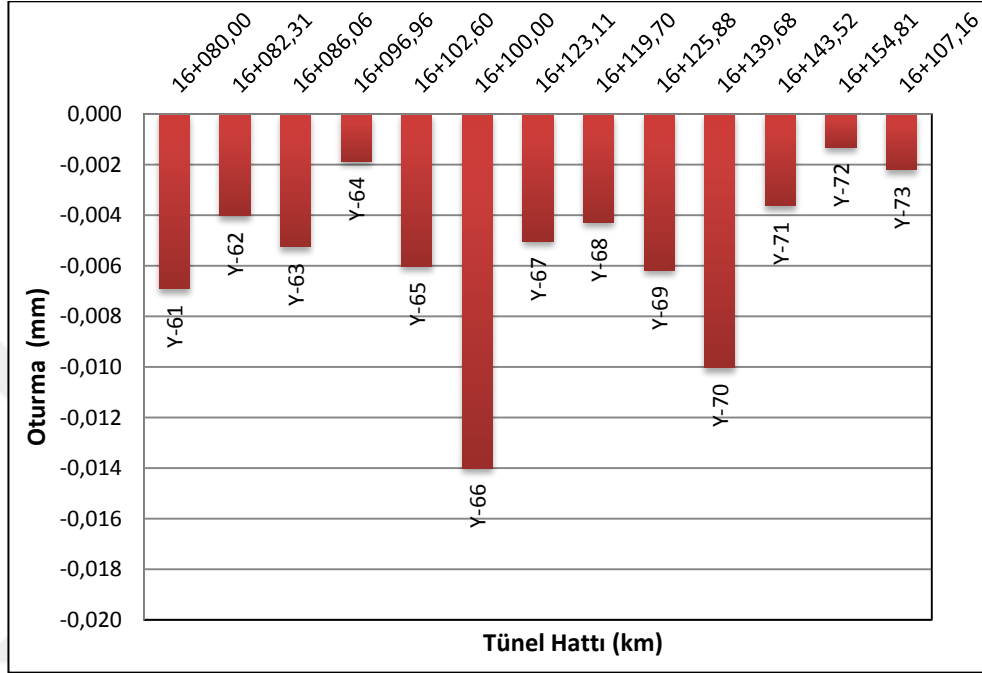


Şekil 4.53: Güngören-Çukurçeşme Formasyonu arası sınır km 16+070 tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

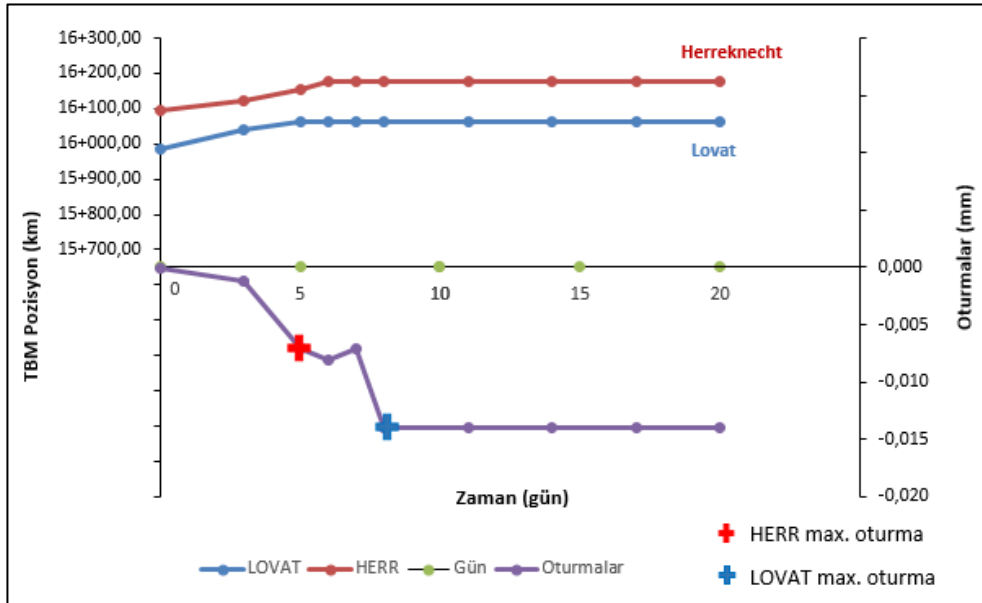


Şekil 4.54: BB-78 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

Yüzey oturma bulonlarına ait 1 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-14 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.55). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise Y-66 noktasında 14 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.56).



Şekil 4.55: Güngören-Çukurçeşme Formasyonu arası sınır km 16+070 tünel hattı boyunca Y noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

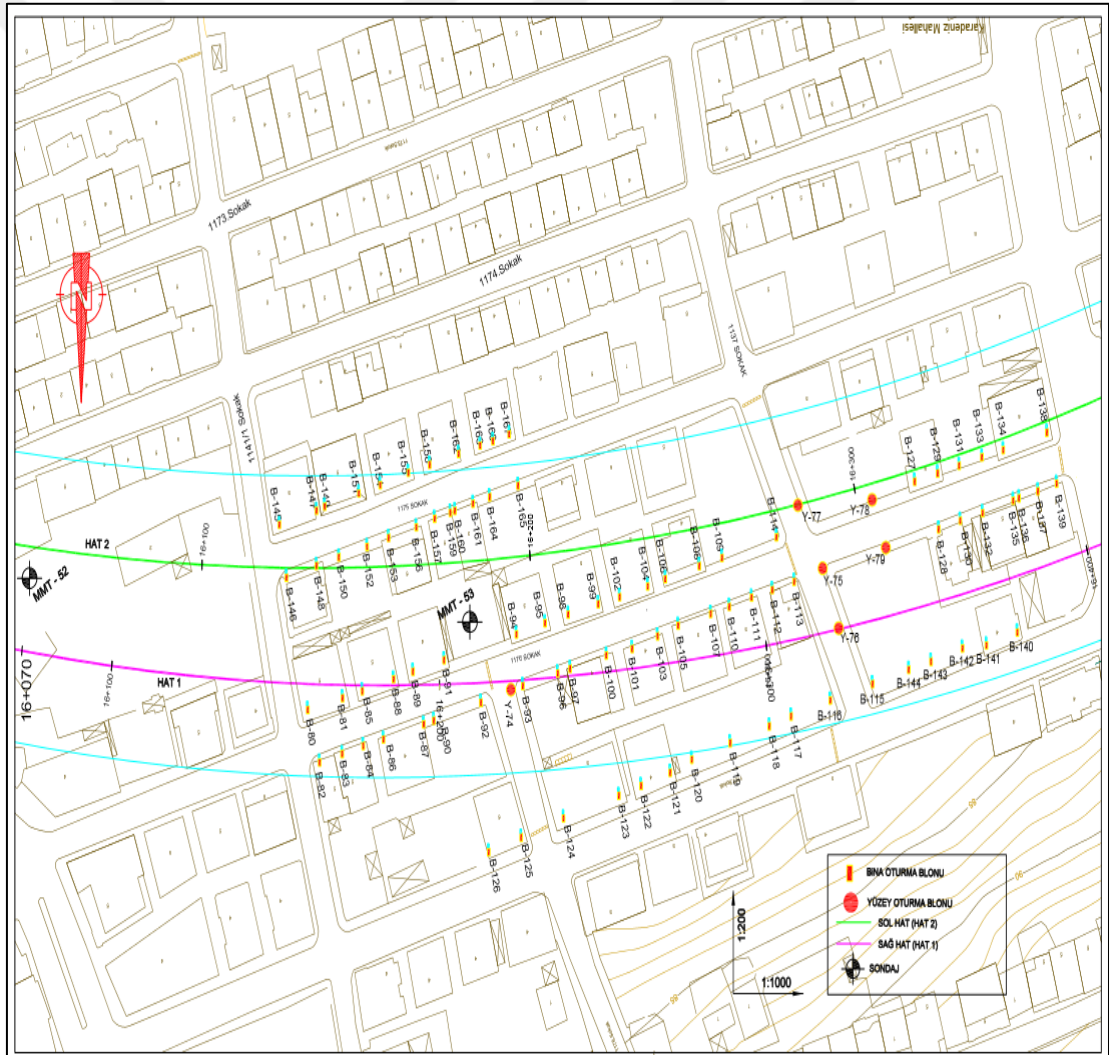


Şekil 4.56: Y-66 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

4.3.5. Çukurçeşme Formasyonu'nda Yüzey Deformasyonlarının İncelenmesi

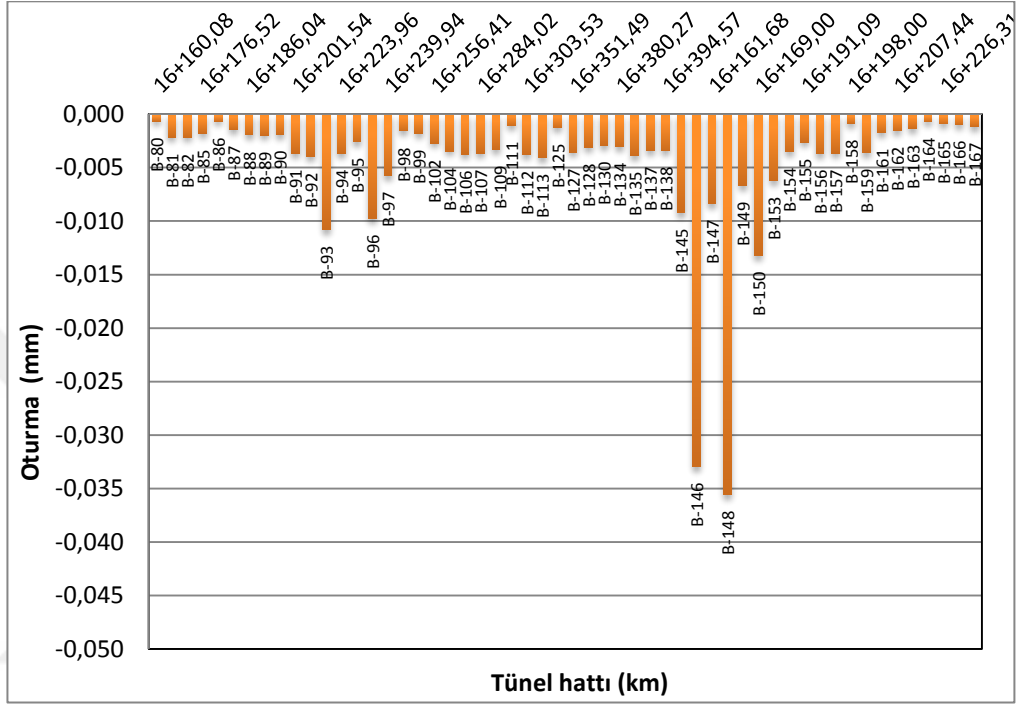
İncelenen tünel güzergahı boyunca km 16+070-16+700 arasında Çukurçeşme formasyonuna ait kum, siltli kum, çakıllı kum birimleri içinde kazı yapılmıştır. Örtü kalınlığının yüzeyden yaklaşık 15-20 m aralığında değişen bu bölgede 88 adet bina oturma bulonu (BB), 66 adet yüzey oturma bulonu (SMP-Y) yerleştirilmiş olup, ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Km 16+070-16+700 arası TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeyde olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen SMP (Y) ve BB noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.57'de sunulmuştur.

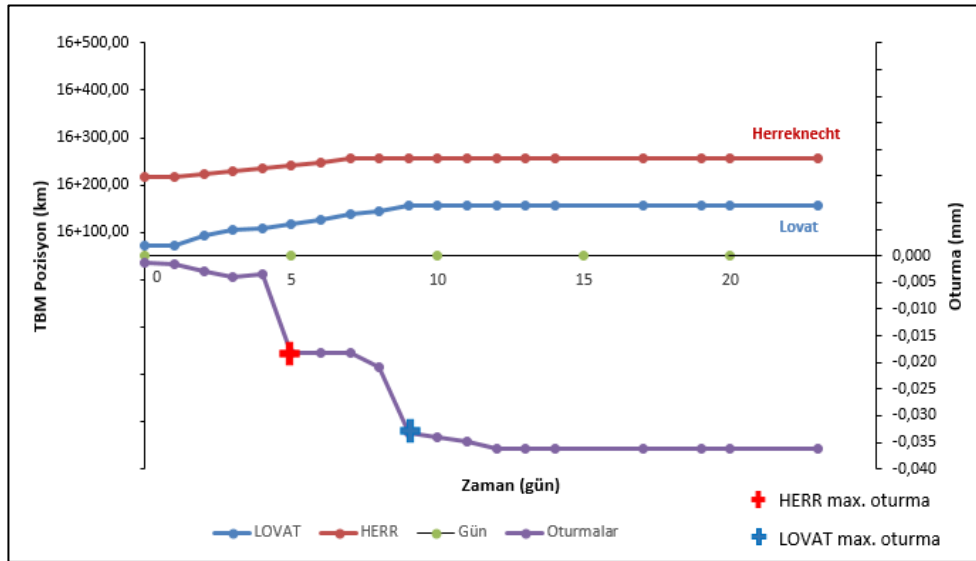


Şekil 4.57: Km 16+070-16+700 (Çukurçeşme Formasyonu) arası yerleştirilen Y ve BB noktaları.

Bina oturma bulonlarına ait 1 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-36 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.58). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise B-148 noktasında 36 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.59).

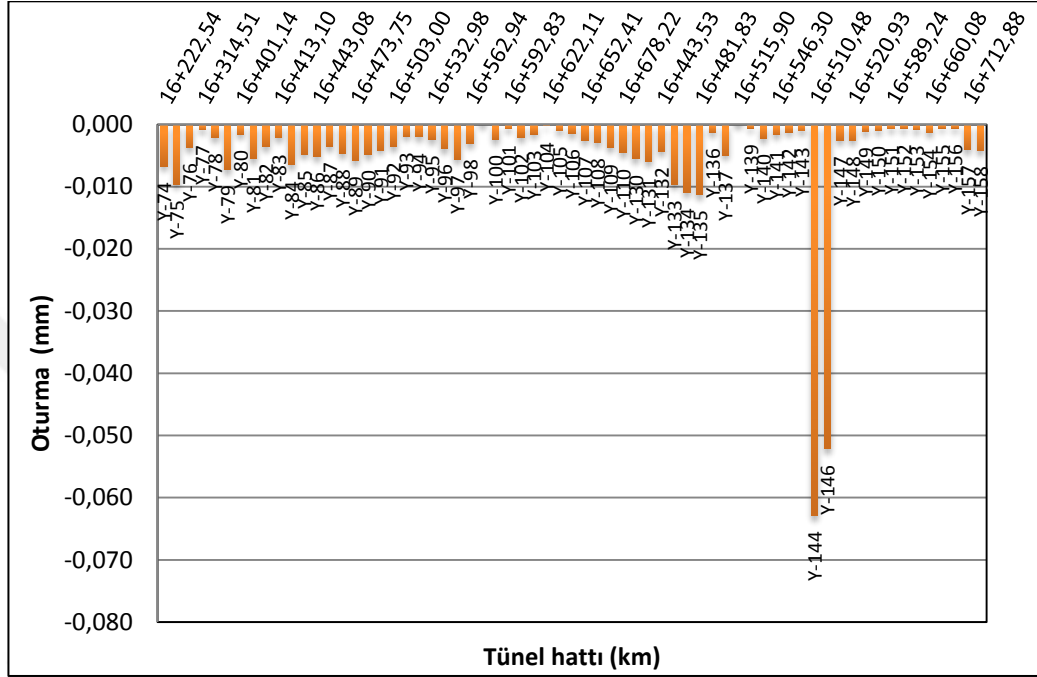


Şekil 4.58: Çukurçeşme Formasyonu km 16+070-16+700 tünel hattı boyunca BB noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

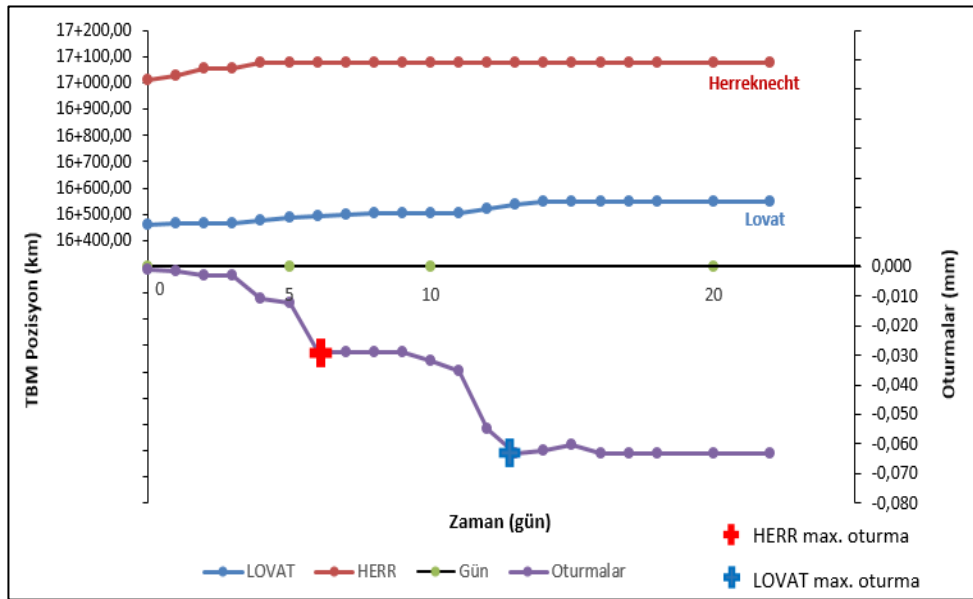


Şekil 4.59: B-148 (Bina Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

Yüzey oturma bulonlarına ait 1 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-63 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.60). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise Y-144 noktasında 63 mm. olarak ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.61).



Şekil 4.60: Çukurçeşme Formasyonu km 16+070-16+700 tünel hattı boyunca Y(SMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.



Şekil 4.61: Y-144 (Yüzey Oturma Noktası) ve TBM'lerin hareketi.

Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası güzergahta yer alan 1175. sokakta bulunan bina oturma bulonlarından B-146 ve B-148 noktalarında okumanın başladığı 4. güne karşılık gelen oturma miktarı 33-36 mm. aralığında olup, sınır değeri aşmıştır. Bu durumda tünel kazı çalışmaları durdurulmuştur. Bölgedeki diğer ölçüm noktalarında belirlenen toplam oturma miktarları 1-13 mm arasında kalmıştır. Sorun yaşanan bölgede tünel açımı yaklaşık 3-4 ay kadar durdurulduktan sonra mevcut tünel yapım yöntemi olan EPB-TBM ile kazıya tekrar devam edilmiştir.

İnceleme alanında kazılmakta olan raylı sistem tünelinin inşasının önemli bir bölümü zemin şartları altında gerçekleştirilmektedir. Bununla beraber özellikle km 16+170-16+500 aralığında gerek Çukurçeşme Formasyonu'nun litolojik özelliği gerekse örtü kalınlığının azalması tünel inşasının ilerlemesinde önemli bir olumsuzluk faktörü oluşturmaktadır. Tüm bunların yanı sıra üst yapıların kalitelerindeki yetersizlikler de sorunlardaki ana unsurlardandır.

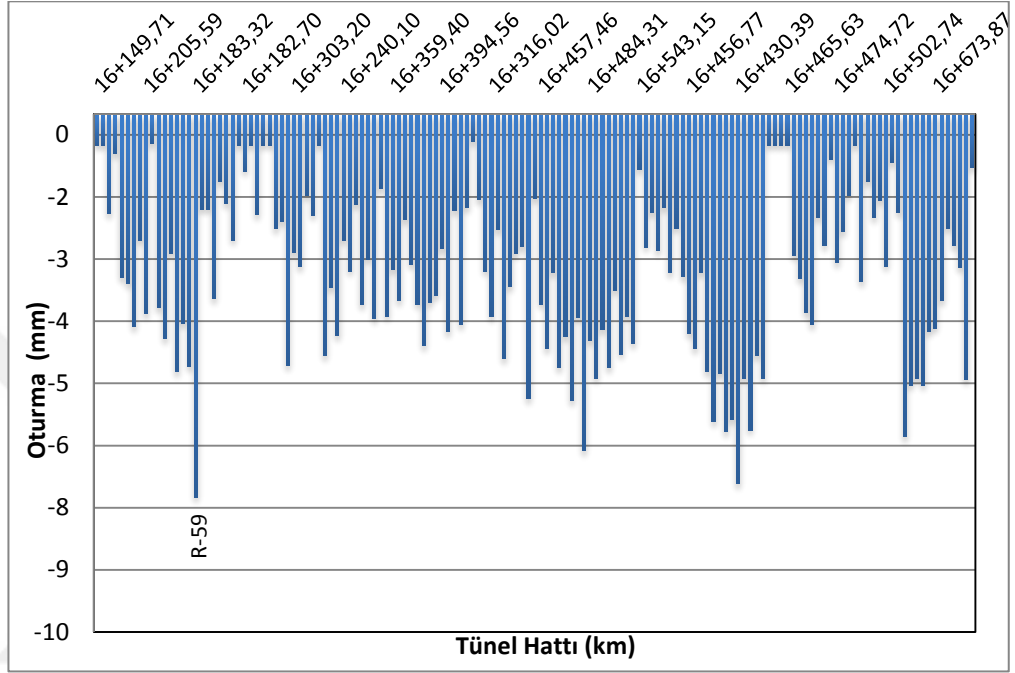
Ayrıca, tünel güzergahı boyunca eskiden kalma su kuyusu ve atık su ihtiyaçlarının giderilmesi amacıyla açılmış kuyuların varlığı saptanmıştır. Bu kuyular tünel inşasının olduğu gibi aynı zamanda üst yapılarında güvenliğini tehdit etmektedir.

Oturmaların yaşandığı bölgede çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Yapılan bu enjeksiyon çalışmaları sadece zemin içerisindeki belirlenen boşlukların doldurulmasını değil, aynı zamanda bölgedeki zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirmesine de katkıda bulunarak deformasyonların çok daha kontrol altında tutulmasına yardımcı olmuştur.

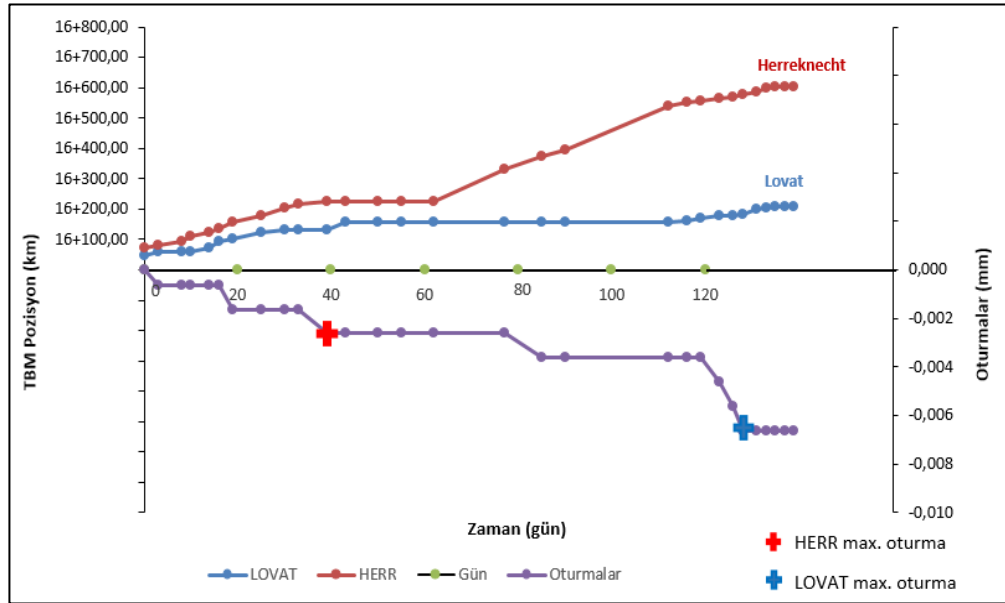
Yaşanan bu problemden sonra bölgede yer alan binalardaki açılal dönmeleri değerlendirmek amacıyla bina oturma bulonları iptal edilip; 384 adet bina yatay deplasman reflektörleri (BMP-R) imalatları yapılmıştır.

Km 16+070-16+700 arası TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeyde olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen SMP ve R noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.62'de sunulmuştur.

Bina yatay deplasman reflektörlerine (R) ait 4 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-7 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.63). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise R-60 noktasında 7 mm. ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.64).



Şekil 4.63: Çukurleşme Formasyonu km 16+070-16+700 tünel hattı boyunca R (BMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.

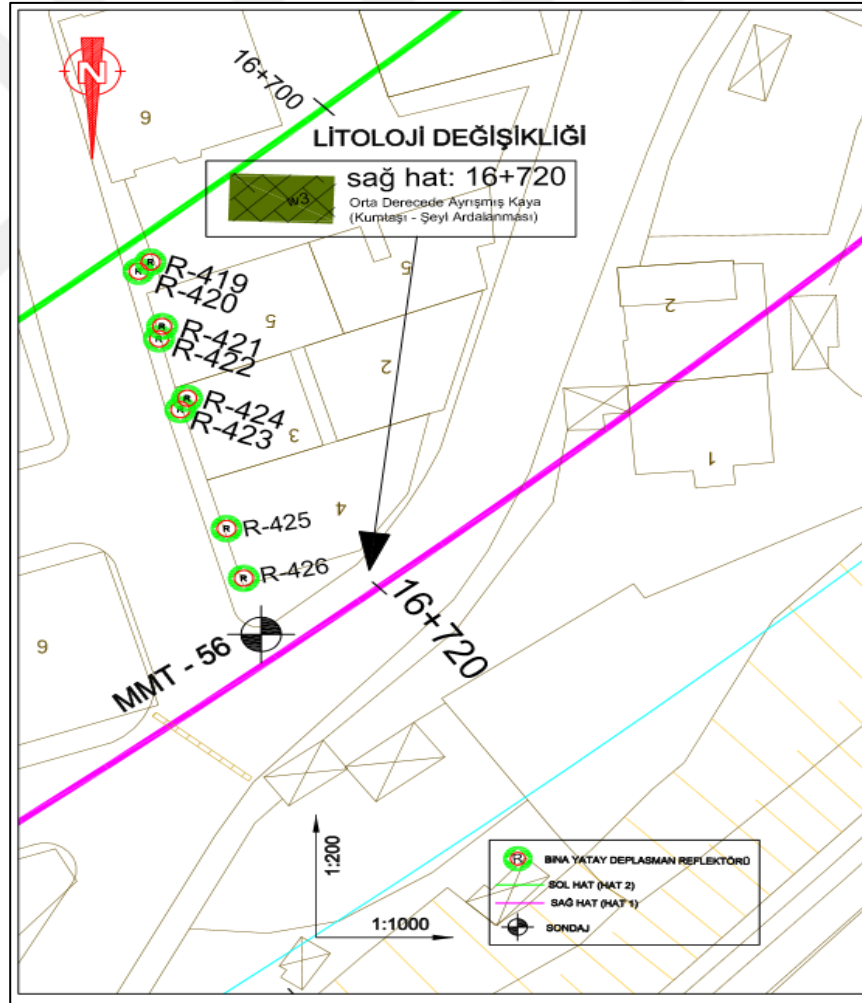


Şekil 4.64: R-59 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.

4.3.6. Çukurçeşme-Trakya Formasyonları Arası Sınır Bölgesinde YüzeY Deformasyonlarının İncelenmesi

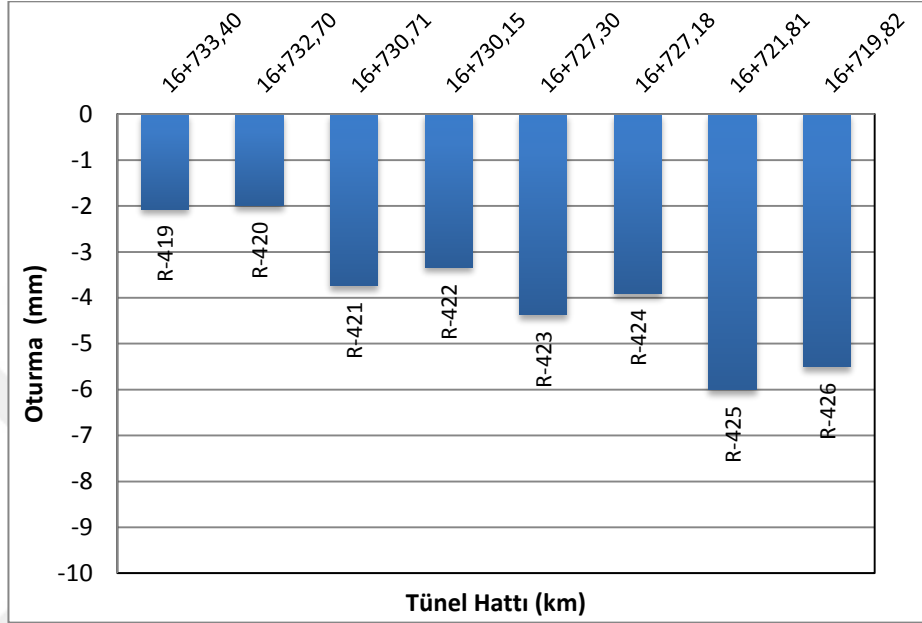
İncelenen tünel güzergahı boyunca km 16+720’de litoloji değişikliği, Çukurçeşme Formasyonu’na ait kum-siltli kum birimleri ile Trakya Formasyonu’na ait orta derecede ayrılmış (W_3) kumtaşı-şeyl, silttaşı birimleri arasında sınır olduğu gözlenmiştir. Örtü kalınlığının yüzeYden yaklaşık 19 m olduğu km 16+720’de 8 adet bina yatay deplasman reflektörü yerleştirilmiş olup, ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Km 16+720’de TBM kazısı sırasında ve sonrasında yüzeYde olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yerleştirilen BMP (R) noktalarına ait yerleşim planı Şekil 4.65’te sunulmuştur.

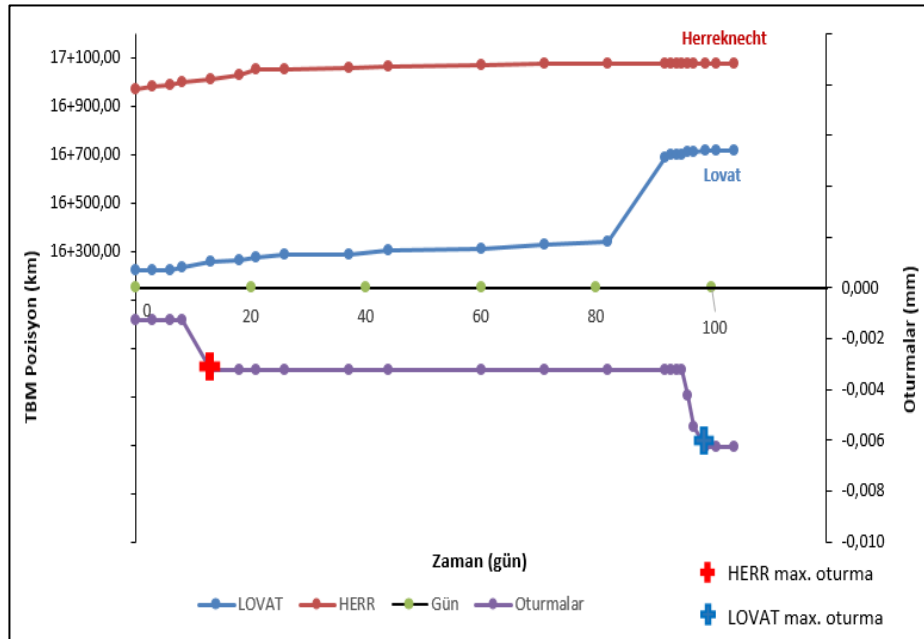


Şekil 4.65: Km 16+720 (Çukurçeşme-Trakya Formasyonları Arası Sınır)’da yerleştirilen R (BMP) noktaları.

Bina yatay deplasman reflektörlerine (R) ait 4 aylık süre içinde yapılan deformasyon ölçüm değerlerine göre oturma miktarı 1-6 mm. aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.66). Bölgede elde edilen en yüksek oturma miktarı ise R-425 noktasında 6 mm. ölçülmüş olup, grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.67).



Şekil 4.66: Çukurçeşme-Trakya Formasyonu arası sınır km 16+720 tünel hattı boyunca R (BMP) noktalarından elde edilen maksimum oturma değerleri.



Şekil 4.67: R-59 (Bina Yatay Deplasman Reflektörü) ve TBM'lerin hareketi.

4.4. TÜNEL KAZILARINA BAĞLI GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARIN HESAPLANMASI

Yüzey deformasyonlarının hesaplanması-oturma analizleri yarı ampirik yöntemler kullanılarak tünel kazısı sebebiyle meydana gelecek olan yüzey deformasyonlarını belirlemek amacıyla uygulanmaktadır.

Mecidiyeköy-Mahmutbey metro projesi kapsamında Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergahta yer alan Trakya, Güngören ve Çukurçeşme Formasyonları için Tablo 4.9'da elde edilen jeoteknik parametreler yardımı ile tahmini yüzey deformasyon değerleri hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalarda,

- Kaya ortamın elastisite modülü için ayrışma durumu ve farklı birimler barındıran bir fay zonu bulunması nedeni ile azaltılmış değer olan 120 MPa kullanılmıştır.
- Pek: Sürşaj yükü ve trafik yükü dahil tünel üzerindeki yük 50 kN/m^2 alınmıştır (Yüksel Proje, 2014).

Trakya Formasyonu

Yüzey çökme teknesinin dönüm noktasının absisi (i) :

$$i = 1,81 \times 5,70 / 2 \times (22 / 5,70)^{0,78} = 14,8 \text{ m}$$

Maksimum yüzey tasmanı S_{maks} :

$$S_{\text{maks}} = 0,628 \times (5,70)^2 / 14,8 \times ((5+2,4 \times 22) / 120) \times (1+0,32) = 9,0 \text{ mm}$$

Güngören Formasyonu

Yüzey çökme teknesinin dönüm noktasının absisi (i) :

$$i = 1,81 \times 5,70 / 2 \times (20 / 5,70)^{0,78} = 13,7 \text{ m}$$

Maksimum yüzey tasmanı S_{maks} :

$$S_{\text{maks}} = 0,628 \times (5,70)^2 / 13,7 \times ((5+2,1 \times 20) / 35) \times (1+0,32) = 24,0 \text{ mm}$$

Çukurçeşme Formasyonu

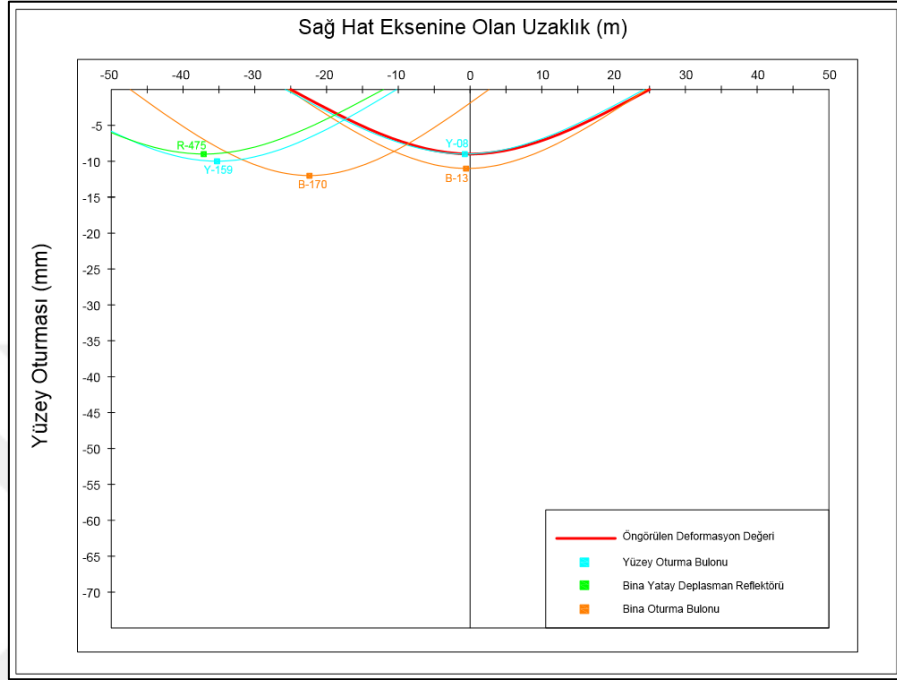
Yüzey çökme teknesinin dönüm noktasının absisi (i) :

$$i = 1,81 \times 5,70 / 2 \times (15 / 5,70)^{0,78} = 11,0 \text{ m}$$

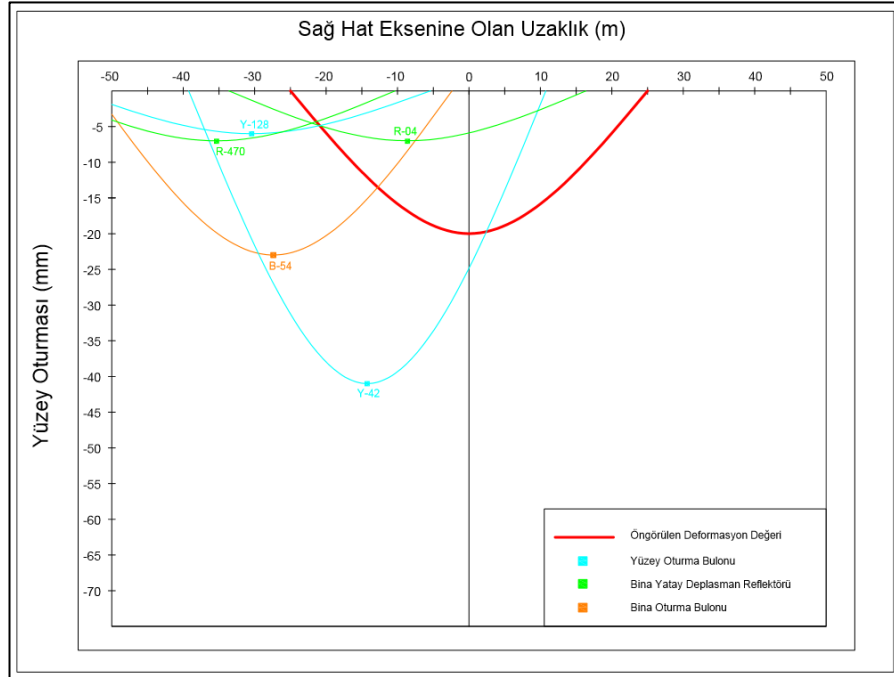
Maksimum yüzey tasmanı S_{maks} :

$$S_{\text{maks}} = 0,628 \times (5,70)^2 / 11,0 \times ((5+1,9 \times 15) / 25) \times (1+0,32) = 30,0 \text{ mm}$$

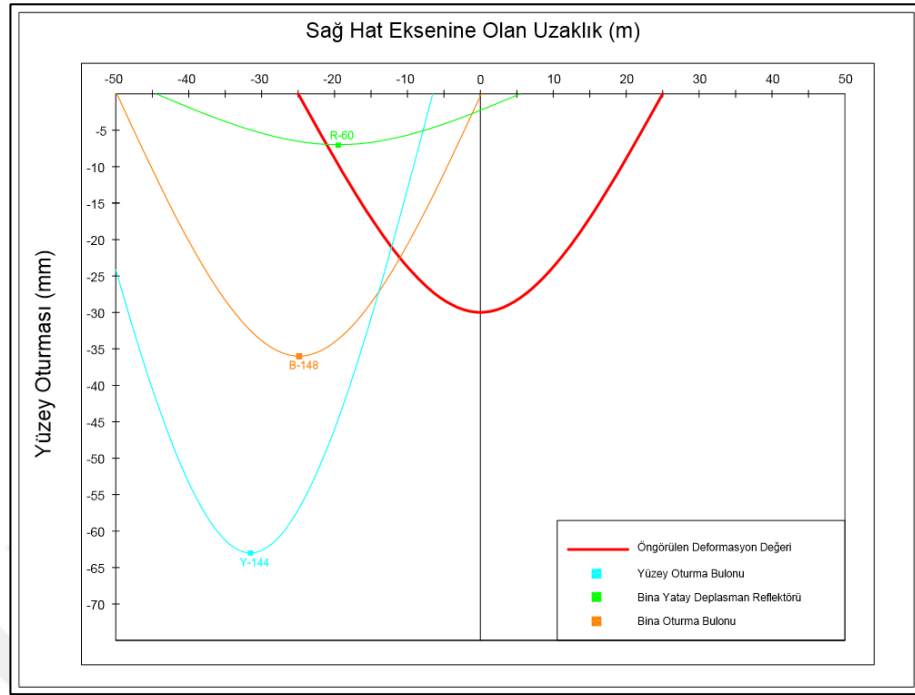
İnceleme alanında yer alan her bir formasyon için öngörülen oturma miktarları ile gerçekte meydana gelen maksimum oturma miktarları Şekil 4.68, Şekil 4.69, Şekil 4.70'de verilmiştir.



Şekil 4.68: Trakya Formasyonu'nda gözlenen yüzey deformasyon eğrisi.



Şekil 4.69: Güngören Formasyonu'nda gözlenen yüzey deformasyon eğrisi.



Şekil 4.70: Çukurçeşme Formasyonu'nda gözlenen yüzey deformasyon eğrisi.

Tezin inceleme alanı olan Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası hat, tünel kazı çalışmalarının farklı jeolojik birimlerde yapılması nedeniyle kritik bir bölgedir. Ampirik-yarı teorik yöntemlerle hesaplanan maksimum yüzey oturma değerleri, Trakya Formasyonu için 9,0 mm; Güngören Formasyonu için 24,0 mm ve Çukurçeşme Formasyonu için 30,0 mm olarak öngörülmüştür.

Tünel kazı çalışmaları sırasında ve sonrasında alınan gerçek okumalar Trakya Formasyonu'na ait kaya birimler için öngörülen oturma değerlerine çok yakın çıkmıştır. Güngören Formasyonu'na ait killer için alınan gerçek okumalar öngörülen oturma değerlerini bir miktar aşmış olup, herhangi bir sorun teşkil etmemiştir. Ancak, Çukurçeşme Formasyonu'na ait kumlar için alınan gerçek okumalar öngörülen oturma değerlerini çok aştığından kritik bir bölgedir. Bunun nedeni Çukurçeşme Formasyonu'nun kum mercekli boşluklar içermesi olup, oturmaların ani olarak yüzeye yansımalarıdır.

Bölgede zemin iyileştirmeye yönelik yapılan enjeksiyon çalışmaları sonrasında alınan gerçek oturma miktarları sınır değerler içinde kalmış, herhangi bir sorunla karşılaşmamıştır.

4.5. YENİMAHALLE-KARADENİZ İSTASYONLARI ARASI GÜZERGAHTA YAPILAN ENJEKSİYON ÇALIŞMALARI

Tünel inşaatları sırasında yer içerisindeki boşluklar oluşan deformasyonlar üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu tür boşlukların etkisi, inşaat kalitesi ve tünel inşaatının gerçekleştiği bölgeden bölgeye farklılık gösterebilir (Chou ve Bobert, 2001).

Zemin enjeksiyonu, zamanla sertleşen akışkan bir harcın basınç ile zemin ya da çatlaklı kaya içerisine enjekte edilmesi şeklinde uygulanan bir yöntemdir. Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi, temel takviyesi, oturma ve deformasyonların azaltılması için enjeksiyon uygulaması, özellikle çatlaklı kaya ve granüler zeminlerde, yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası tünel güzergahında atık su ihtiyaçlarının giderilmesi amacıyla açılmış eskiden kalma su kuyularının olduğu gözlenmiştir. Bu su kuyuları hem tünel kazı çalışmalarını, hem de üst yapıların güvenliğini olumsuz yönde etkileyen unsurlar haline almışlardır.

Bu doğrultuda gerek boşlukların doldurulması gerekse iyileştirme amacıyla km 16+150,00-16+780,00 aralıklarında belirli bölgelerde enjeksiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.71, Şekil 4.72).

Bu çalışma 01.08.2015-03.02.2016 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş olup, gerek bölgede zemin içerisindeki boşlukları doldurmak, gerekse bölgedeki zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Bu uygulama 76 mm'lik delik çaplarında ve tünel üst kotunun 1,0 m altına incek şekilde gerçekleştirilmesi kararlaştırılmıştır. Enjeksiyon uygulamalarında ağırlıkça su/çimento oranının 1/3 olması, alış olduğu takdirde 1/1 ve 7/5'lik karışım oranlarıyla refü verene kadar devam edilmesine karar verilmiştir. Enjeksiyon uygulaması ile ilgili basıncın ise 0-5 bar arasında olması gerektiği belirtilmiştir. İnceleme alanında gerçekleştirilen enjeksiyonlarda 1104 adet delgi yapılmış olup, toplamda 11371 torba çimento kullanılmıştır. Yapılan delgilere 751,95 m³ enjeksiyon ve 247,50 m³ grout verilmiştir.



Şekil 4.71: Km 16+250 civarında gerçekleştirilen bina altı enjeksiyon çalışmaları.



Şekil 4.72: Km 16+500 civarında gerçekleştirilen bina altı enjeksiyon çalışmaları.

4.6. YENİMAHALLE-KARADENİZ İSTASYONLARI ARASI GÜZERGAHTA YERALAN BİRİMLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ VE YÜZEY DEFORMASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kent içi sığ tünel imalatı yüzeyde oluşturacağı deformasyonlar açısından önem arz eder. Bu tip tünel inşaatlarının çok iyi tasarlanması ve gerekli destekleme sistemlerinin iyi seçilmesi gerekir. Sığ tünellerde yüzeyde oluşacak deformasyonları belirleyen etmenlerin başında tünel kazısının içinden geçmiş olduğu litoloji ve tünelin üzerindeki örtü kalınlığı gelir. Tünelin içerisinden geçtiği birimler ne kadar sağlam (ne kadar kaya niteliği taşıyorlarsa) tünel kazısının oluşturacağı deformasyonlar o denli az olur.

4.6.1. Trakya Formasyonu'ndaki Oturmaların Yorumlanması

İncelenen tünel güzergahı boyunca Trakya Formasyonu km 15+500-15+640 ve km 16+700-16+980 aralıklarında gözlenmiştir.

Km 15+500-15+640 aralıklarında yapılan 34,0 m derinliklerindeki MMT-49A ve MMT-49B sondajlarına göre, üstte kalınlığı 3,0-5,50 m arasında değişen yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 34,0 m seviyelerine varan Trakya Formasyonu'nun açık gri-gri-kahverengi renkli kumtaşı-kiltaşı-şeyl birimleri bulunmaktadır. Örtü kalınlığının yaklaşık 22,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı az ayrılmış veya ayrılmamış (W_1 - W_2), nispeten sağlam kaya içinde yapılmıştır.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan Pressiometre deney sonucunda limit basınç değeri 21,0 kg/cm²; pressiometrik modül değerleri ise 146,17-192,00 kg/cm² olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir. Basınçlı su testi sonuçlarına göre kaya birimleri 0,17-2,08 aralığında olup, geçirimsiz-az geçirimli özelliktedir. Sondajlardan alınan karotların ortalama RQD değerleri 8-25 aralığında olup, yapılan sınıflamada çok zayıf-zayıf kaya olarak tanımlanmıştır.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan nokta yükleme deney sonuçlarında I_{s50} değerleri 0,70-3,51 MPa, tek eksenli basınç direnci q_u 6,23-22,49 MPa aralıklarında olup, kaya birimleri çok düşük-düşük-orta dirençli özelliktedir. Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Km 16+700-16+980 aralıklarında yapılan 37,0 m derinliğindeki MMT-57 sondajına göre, üstte 0,20 m kalınlığında yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 21,0 m seviyelerine varan Trakya Formasyonu'nun üst seviyeleri kahverengi-alt seviyeleri gri renkli orta derecede ayrılmış kumtaşı-kiltaşı birimleri ve bunların altında 21,0-37,0 m aralığında koyu gri-gri renkli az ayrılmış kumtaşı-kiltaşı birimleri bulunmaktadır. Örtü kalınlığının yaklaşık 22,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı orta derecede ayrılmış (W_3), kaya birimleri içinde yapılmıştır.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan Pressiometre deney sonucunda limit basınç değerleri 21,0-30,0 kg/cm²; pressiometrik modül değerleri ise 179,19-271,00 kg/cm² aralıklarında olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir. Basınçlı su testi sonuçlarına göre kaya birimleri 0,64-1,74 aralığında olup, geçirimsiz-az geçirimli özelliğindedir. Sondajlardan alınan karotların ortalama RQD değerleri 0-40 aralığında olup, yapılan sınıflamada çok zayıf-zayıf kaya olarak tanımlanmıştır.

Laboratuvar deneyleri kapsamında kumtaşı-kiltaşı birimleri üzerinde yapılan nokta yükleme deney sonuçlarında I_{s50} değerleri 0,19-6,44 MPa aralığında, tek eksenli basınç direnci q_u 9,48 MPa olup, çok düşük-orta-yüksek dirençli özelliğindedir. Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığı ve ayrılmış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu bölgede yer alan Trakya Formasyonu'na ait TBM geçişi ve sonrasında ölçülen deformasyon değerleri Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11: Trakya Formasyonu'nda meydana gelen oturma değerleri.

Km	Herrenknecht Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sağ Hat) mm			Lovat Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sol Hat) mm			Makine Geçiş Sonrasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu mm		
	BB	SMP	R	BB	SMP	R	BB	SMP	R
15+500-15+640	3,0	3,0	-	6,0	5,0	-	11,0	9,0	-
16+700-16+980	3,0	5,0	3,0	6,0	7,0	7,0	12,0	10,0	9,0

Tablo 4.11'e göre maksimum oturma değerleri iki TBM geçişi sonrasında görülmüştür. Bunun nedeni Trakya Formasyonu'na ait kırıklı-çatlaklı birimlerde meydana gelen oturmaların geniş bir zaman diliminde yüzeye yansımından kaynaklanmaktadır.

Trakya Formasyonu'nu oluşturan birimler, yer yer çok kırıklı-çatlaklı olmalarına karşın kaya niteliklerini korumakta ve teknik girişimler için sorun teşkil etmeyen, iyi bir ortamı oluşturmaktadırlar. Ancak kaya direnç tanımlamalarının geniş bir değişim aralığı göstermesi lokal olarak önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle kazı ve destekleme aşamalarında stabiliteyi sağlamaya yönelik gerekli mühendislik işlem ve yöntemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Tüm bu verilere göre, tünel hattı boyunca bölgedeki binalarda okunan oturma değerleri sınırın altında kalmakta olup, ciddi oturma problemleri yaşanmamıştır.

4.6.2. Trakya-Güngören Formasyonları Arası Sınır Bölgedeki Oturmaların Yorumlanması

İncelenen tünel güzergahı boyunca km 15+640'da litoloji değişikliği, Trakya Formasyonu'ndan Güngören Formasyonu'na, kumtaşı-şeyl birimlerinden kil-siltli kil-kumlu kil birimlerine geçiş olduğu gözlenmiştir.

Km 15+640'da yapılan 35,0 m derinliğindeki MMT-49 sondajına göre, 0,30 m kalınlığında yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 22,50 m seviyelerine varan Güngören Formasyonu'nun koyu yeşil-mavimsi gri renkli az kumlu kil birimleri ve bunların altında 22,50-33,0 m aralığında kahverengi-gri renkli orta derecede ayrılmış kumtaşı birimleri bulunmaktadır. Örtü kalınlığının yaklaşık 19,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı az ayrılmış (W_2) kumtaşı birimlerinden az kumlu kil birimleri içine geçiş yapmıştır.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan SPT deneylerine ait kil birimlerin N_{30} değerleri 6- >50 aralığında değişmekte olup, ortalama 45 alınabilir. Bu durumda kil birimleri orta katıdan serte kadar geniş bir kıvam aralığına sahiptir. Pressiometre deney sonucunda killerin limit basınç değerleri 12,0-30,0 kg/cm^2 ; kumtaşlarının limit basınç değerleri 21,0-25,0 kg/cm^2 aralığında değişmektedir.

Hesaplanan pressiometrik modül değerleri ise killere için 32,16-287,87 kg/cm², kumtaşı için 220,91-238,48 kg/cm² olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir. Basıncılı su testi sonuçlarına göre kaya birimleri 0,66-0,94 aralığında olup, geçirimsiz özelliğindedir. Sondajlardan alınan kumtaşı karotlarının ortalama RQD değerleri 0-34 aralığında olup, yapılan sınıflamada çok zayıf-zayıf kaya olarak nitelendirilmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kil örneklerinin su içeriği % 13,90-20,50; doğal birim hacim ağırlığı 1,78 g/cm³, özgül ağırlık 2,49-2,65; likit limit (WL) % 25,0-61,0; plastik limit (WP) % 8,0-16,0 ve plastisite indisi (IP) % 9,0-45,0 değerleri aralığında değişmektedir. Bu kesimdeki kohezyonlu zeminlerin kıvamlilik indeksi 0,33-1,13 aralığında olup, genellikle çok sert-sert kıvamda daha az oranda ise yumuşak kıvamlı olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar deneyleri kapsamında kumtaşı birimleri üzerinde yapılan nokta yükleme deney sonuçlarında I_{s50} değerleri 1,88-7,93 MPa aralığında, tek eksenli basınç direnci q_u 17,58 MPa olup, düşük-orta dirençli özelliktedir. Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığı ve ayrılmış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu bölgede yer alan geçiş zonuna ait TBM geçişi ve sonrasında ölçülen deformasyon değerleri Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12: Trakya-Güngören Formasyonları arası sınır bölgede meydana gelen oturma değerleri.

Km	Herrenknecht Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sağ Hat) mm			Lovat Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sol Hat) mm			Makine Geçiş Sonrasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu mm		
	BB	SMP	R	BB	SMP	R	BB	SMP	R
15+640	-	6,0	-	-	8,0	-	-	15,0	-

Tablo 4.12’ye göre maksimum oturma değerleri iki TBM geçişi sonrasında görülmüştür. Bu değerlerin TBM geçişi sonrasında oluşmasının nedeni Trakya Formasyonu’na ait kırıklı-çatlaklı kumtaşı birimlerinden Güngören Formasyonu’na ait kil birimlere geçiş sırasındaki litolojik farklılıkta yüzeye yansıyan oturmaların zamana bağlı gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

4.6.3. Güngören Formasyonu'ndaki Oturmaların Yorumlanması

İncelenen tünel güzergahı boyunca Güngören Formasyonu km 15+640-16+070 ve km 16+980-17+085 aralıklarında gözlenmiştir.

Km 15+640-16+070 aralıklarında 32,0 m derinliklerinde yapılan MMT-50 ve MMT-51 sondajlarına göre, üstte kalınlığı 1,0-1,50 m arasında değişen yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 28,50 m seviyelerine varan Güngören Formasyonu'nun yeşilimsi kahverengi-mavimsi gri renkli yer yer kum ve silt içerikli kil birimleri ve bunların altında 28,50-32,0 m aralığında yeşilimsi kahverengi-koyu gri renkli ayrıışmış-orta derecede ayrıışmış kumtaşı-kiltaşı birimleri bulunmaktadır. Örtü kalınlığının yaklaşık 20,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı kum ve silt içerikli kil birimleri içinde yapılmıştır.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan SPT deneylerine ait kil birimlerin N_{30} değerleri 7- >50 aralığında değişmekte olup, ortalama 45 alınabilir. Bu durumda kil birimleri orta katıdan serte kadar geniş bir kıvam aralığına sahiptir. Pressiometre deney sonucunda killerin limit basınç değerleri 12,0-25,0 kg/cm² aralığında değişmektedir. Kumtaşı-kiltaşı birimlerinin ise limit basınç değerleri 21,0 kg/cm²'dir. Hesaplanan pressiometrik modül değerleri ise killer için 53,36-223,77 kg/cm², kumtaşları için 210,38 kg/cm² olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir. Sondajlardan alınan kumtaşı-kiltaşı karotlarının ortalama RQD değerleri 0-48 aralığında olup, yapılan sınıflamada çok zayıf-zayıf kaya olarak nitelendirilmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kil örneklerinin su içeriği % 13,50-30,50; doğal birim hacim ağırlığı 1,95 g/cm³, özgül ağırlık 2,58-2,77; likit limit (WL) % 28,0-67,0; plastik limit (WP) % 9,0-18,0 ve plastisite indisi (IP) % 5,0-46,0 değerleri arasında değişmektedir. Bu kesimdeki kohezyonlu zeminlerin kıvamlılık indeksi 0,34-2,4 aralıklarında değişmekte olup, genellikle orta katı-çok katı kıvamlı, az oranda ise yumuşak kıvamlı olduğu belirlenmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında kumtaşı-kiltaşı birimleri üzerinde yapılan nokta yükleme deney sonuçlarında I_{s50} değerleri 0,34-5,31 MPa aralığında, tek eksenli basınç direnci q_u 1,33 MPa olup, çok düşük-düşük-orta dirençli özelliktedir. Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığı ve ayrıışmış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Km 16+980-17+085 aralıklarında yapılan 38,0 m derinliğindeki MMT-58 sondajına göre, üstte 0,50 m kalınlığında yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 21,0 m seviyelerine varan Güngören Formasyonu'nun yeşilimsi kahverengi-koyu gri renkli yer yer kum ve silt içerikli kil birimleri ve bunların altında 21,0-38,0 m arasında gri-koyu gri renkli ayrıışmış-orta derecede ayrıışmış kumtaşı-kiltaşı birimleri bulunmaktadır. Örtü kalınlığının yaklaşık 20,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı kum ve silt içerikli kil birimleri içinde yapılmıştır.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan SPT deneylerine ait kil birimlerin N_{30} değerleri 8- >50 aralığında değişmekte olup, ortalama 30 alınabilir. Bu durumda kil birimleri katı-çok katı-sert kıvam aralıklarına sahiptir. Pressiometre deney sonucunda killerin limit basınç değeri $18,0 \text{ kg/cm}^2$, pressiometrik modül değeri ise $89,57-135,71 \text{ kg/cm}^2$ arasında olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir. Basınçlı su testi sonuçlarına göre kaya birimleri 0,83-2,08 aralığında olup, geçirimsiz-az geçirimli özelliğindedir. Sondajlardan alınan kumtaşı-kiltaşı karotlarının ortalama RQD değerleri 0-85 aralığında olup, yapılan sınıflamada çok zayıf-zayıf-orta-iyi aralıklarında geniş bir kaya kalitesinde olduğu belirtilmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kil örneklerinin su içeriği % 19,10-28,60; doğal birim hacim ağırlığı $1,71-2,06 \text{ g/cm}^3$, özgül ağırlık 2,58-2,64; likit limit (WL) % 37-51; plastik limit (WP) % 9,0-16,0 ve plastisite indisi (IP) % 27,0-39,0 değerleri arasında değişmektedir. Bu kesimdeki kohezyonlu zeminlerin kıvamlilik indeksi 0,55-0,76 aralığında olup, orta kıvamlı olduğu belirlenmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında kumtaşı-kiltaşı birimleri üzerinde yapılan nokta yükleme deney sonuçlarında I_{s50} değerleri 1,57-4,97 MPa, tek eksenli basınç direnci q_u 2,30-31,27 MPa aralıklarında olup, çok düşük-düşük-orta dirençli özelliktedir. Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığı ve ayrıışmış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Güngören killeri üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına göre, direnç açısından arazi deneylerinden elde edilen sonuçların laboratuvar deney sonuçlarından daha yüksek oldukları ortaya çıkmıştır. Bu durumun nedeni laboratuvar deneylerinde kullanılan örneklerin örselenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu bölgede yer alan Güngören Formasyonu'na ait TBM geçişi ve sonrasında ölçülen deformasyon değerleri Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13: Güngören Formasyonu'nda meydana gelen oturma değerleri.

Km	Herrenknecht Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sağ Hat) mm			Lovat Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sol Hat) mm			Makine Geçiş Sonrasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu mm		
	BB	SMP	R	BB	SMP	R	BB	SMP	R
15+640-16+070	11,0	4,0	2,0	18,0	32,0	5,0	23,0	41,0	7,0
16+980-17+085	-	2,0	3,0	-	5,0	6,0	-	6,0	7,0

Tablo 4.13'e göre maksimum oturma değerleri iki TBM geçişi sonrasında görülmüştür. Bu değerlerin TBM geçişi hemen sonrasında oluşmasının nedeni Güngören Formasyonu'na ait kohezyonlu zeminlerde meydana gelen oturmaların kaya birimlere göre kısa bir zaman diliminde yüzeye yansımından kaynaklanmaktadır.

Bölgede enjeksiyon yapılmadan önce, Güngören Formasyonu'nu oluşturan killi birimlerde ölçülen maksimum oturma değerleri, aynı koşullarda bulunan anakaya için saptanan değerlerin yaklaşık 3-4 katı aralığında olup, sınır değerlere ulaşmıştır. Ancak enjeksiyon sonrası bölgede yapılan ölçümlerde oturma miktarları sınır değerler içinde kalmıştır.

4.6.4. Güngören-Çukurçeşme Formasyonları Arası Sınır Bölgedeki Oturmaların Yorumlanması

İncelenen tünel güzergahı boyunca km 16+070'te litoloji değişikliği, Güngören Formasyonu'ndan Çukurçeşme Formasyonu'na, kil, kumlu siltli kil, kıltaşı birimlerinden kum-siltli kum birimlerine geçiş olduğu gözlenmiştir.

Km 16+070'te yapılan 34,0 m deriliğindeki MMT-52 sondajına göre, 0,30 m kalınlığında yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 9,0 m seviyelerine varan Çukurçeşme Formasyonu'nun sarımsı kahverengi renkli az siltli kum, 9,0-30,0 m aralığında Güngören Formasyonu'nun açık kahverengi renkli yer yer kumlu kil birimleri, 30,0-34,0 m aralığında Trakya Formasyonu'nun açık kahverengi renkli az ayrılmış çakıltaşı-konglomera birimleri bulunmaktadır.

Örtü kalınlığının yaklaşık 20,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı yer yer kumlu kil birimlerinden az siltli kum birimleri içine geçiş yapmıştır.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan SPT deneylerine ait kil birimlerin N_{30} değerleri >50 , kum birimlerin 21-39 aralığında değişmektedir. Kil birimlerin kıvamları çok sert, kum birimlerin sıklık dereceleri ise orta sıkı-sıkı aralıkta değişmektedir.

Pressiometre deney sonucunda killerin limit basınç değerleri $21,0 \text{ kg/cm}^2$; kumların limit basınç değerleri $18,0-25,0 \text{ kg/cm}^2$ aralığında değişmektedir. Hesaplanan pressiometrik modül değerleri ise killer için $144,14 \text{ kg/cm}^2$, kumlar için $108,36-296,64 \text{ kg/cm}^2$ olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir. Sondajlardan alınan kumtaşı karotlarının ortalama RQD değerleri 0-18 aralığında olup, yapılan sınıflamada çok zayıf kaya olarak nitelendirilmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kil örneklerinin su içeriği % 20,30; doğal birim hacim ağırlığı $1,99-2,35 \text{ g/cm}^3$ aralığında, özgül ağırlık 2,53; likit limit (WL) % 40,0; plastik limit (WP) % 14,0 ve plastisite indisi (IP) % 26,0 değerlerindedir. Bu kesimdeki kohezyonlu zeminlerin kıvamlilik indeksi 0,75 olup orta kıvamlı olduğu belirlenmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kum örneklerinin su içeriği % 18,0; özgül ağırlık 2,73 değerlerindedir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında çakıltası birimleri üzerinde yapılan nokta yükleme deney sonuçlarında I_{s50} değerleri $0,78-2,69 \text{ MPa}$ aralığında olup, çok düşük-düşük-orta dirençli özelliktedir. Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığı ve ayrılmış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu bölgede yer alan geçiş zonuna ait TBM geçişi ve sonrasında ölçülen deformasyon değerleri Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14: Güngören-Çukurçeşme Formasyonları arası sınır bölgede meydana gelen oturma değerleri.

Km	Herrenknecht Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sağ Hat) mm			Lovat Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sol Hat) mm			Makine Geçiş Sonrasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu mm		
	BB	SMP	R	BB	SMP	R	BB	SMP	R
16+070	3,0	12,0	-	7,0	14,0	-	7,0	14,0	-

Tablo 4.14'e göre maksimum oturma değerleri ikinci TBM geçişi sırasında görülmüştür. Bunun nedeni birinci TBM geçişi sırasında zeminin örselenmiş olmasından ve litolojik farklılık gösteren bölgede Güngören Formasyonu ve Çukurçeşme Formasyonu'nun birbiriyle geçişli olmasına bağlı olarak killi ve kumlu birimlerde meydana gelen oturmaların kısa sürede yüzeye yansımından kaynaklanmaktadır.

4.6.5. Çukurçeşme Formasyonu'ndaki Oturmaların Yorumlanması

İncelenen tünel güzergahı boyunca Çukurçeşme Formasyonu km 16+070-16+700 aralıklarında gözlenmiştir. Bu bölgede 30,0-33,0 m derinliklerinde yapılan MMT-53, MMT-54 ve MMT-55 sondajlarına göre, üstte kalınlığı 1,50-2,50 m arasında değişen yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 9,0 m seviyelerine varan Güngören Formasyonu'nun sarımsı açık kahverengi renkli az kumlu kil birimleri; 9,0-33,0 m arasında Çukurçeşme Formasyonu'nun sarımsı kahverengi-koyu kahverengi-bej renkli yer yer killi, siltli kum birimleri bulunmaktadır. Örtü kalınlığının yaklaşık 15,0-20,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı yer yer killi, siltli kum birimleri içinde yapılmıştır. Yüzey deformasyonlarının en fazla görüldüğü ve buna bağlı olarak yer üstü yapılarda hasarların meydana geldiği formasyondur.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan SPT deneylerine ait kil birimlerin N_{30} değerleri 4-27, kum birimlerin 9->50 aralığında değişmektedir. Kil birimlerin kıvamları yumuşak-orta katı-katı-çok sert aralıkta, kum birimlerin sıklık dereceleri gevşek-orta sıkı-sıkı-çok sıkı gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. Pressiometre deney sonucunda killerin limit basınç değerleri 8,0-18,0 kg/cm²; kumların limit basınç değerleri 21,0-30,0 kg/cm² aralığında değişmektedir. Hesaplanan pressiometrik modül değerleri ise killer için 32,16-99,54 kg/cm², kumlar için 108,36-296,64 kg/cm² olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kil örneklerinin su içeriği % 10,40-21,70; doğal birim hacim ağırlığı 1,94 g/cm³, özgül ağırlık 2,39-2,78; likit limit (WL) % 25,0-41,0; plastik limit (WP) % 7,0-35,0 ve plastisite indisi (IP) % 14,0-31,0 değerleri arasında değişmektedir. Bu kesimdeki kohezyonlu zeminlerin kıvamlilik indeksi 0,24-1,01 olup, genellikle çok yumuşak-yumuşak kıvamlı, az oranda ise katı-çok katı kıvamlı olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kum örneklerinin su içeriği % 8,20-24,0 ve özgül ağırlık 2,54-2,70 aralıklarında değerlerindedir.

Bu bölgede yer alan Çukurçeşme Formasyonu'na ait TBM geçişi ve sonrasında ölçülen deformasyon değerleri Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15: Çukurçeşme Formasyonu'nda meydana gelen oturma değerleri.

Km	Herrenknecht Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sağ Hat) mm			Lovat Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sol Hat) mm			Makine Geçiş Sonrasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu mm		
	BB	SMP	R	BB	SMP	R	BB	SMP	R
16+070-16+700	2,0	29,0	2,0	36,0	63,0	7,0	36,0	63,0	7,0

Tablo 4.15'te göre maksimum oturma değerleri ikinci TBM geçişi sırasında görülmüştür. Bunun nedeni Çukurçeşme Formasyonu'na ait kohezyonsuz birimlerin yer yer kum mercekli boşluklar içermesine bağlı olarak meydana gelen oturmaların ani olarak yüzeye yansımından kaynaklanmaktadır.

Bu ani oturmaların ardından km 16+160-16+510 aralıklarında yer alan Çukurçeşme Formasyonu'nun bulunduğu 1175. sokakta önemli jeoteknik sorunlarla karşılaşmıştır. 1175. sokakta yer alan BB-148 no'lu bina oturma bulonu okumasının 4.güne karşılık gelen oturma miktarları sınır değeri aşmış ve sorun yaşanmıştır. Bu durumda tünel kazı çalışmaları durdurulmuştur. Bölgedeki B-148 no'lu oturma bulonunun yer aldığı bina tehlikeli görüldüğü için kontrollü bir şekilde yıkılmıştır ve çevre binalar kontrol altına alınmıştır. Oturmaların yaşandığı bölgeye çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. 3-4 ay sonra kazıya tekrar tünel açma makineleriyle (TBM) devam edilmiştir. Bölgedeki diğer ölçüm noktalarında belirlenen toplam oturma miktarları 2-13 mm arasında olmuştur.

TBM'in uzun süreler boyunca durması gerektiği gibi durumlarda TBM'in sıkışması ihtimali bulunmaktadır. Shang ve diğ. (2003) farklı jeolojik koşullardaki bir durumda sıkışma problemi ile karşı karşıya kalınması ile TBM'i sıkışan bölgeden kurtarabilmek için mekanik kazıların yapılmasının ihtiyacı doğduğunu belirtmişlerdir. Yenimahalle-Karadeniz tüneline, bu bekleme süresi boyunca böyle bir problemle karşılaşılmamıştır.

Yaşanan bu sorunların ardından binalarda meydana gelecek açılmalarda dönmeleri değerlendirmek amacıyla bölgedeki bina bulon imalatları iptal edilip, bina yatay deplasman reflektörü montajı yapılmıştır. Jeoteknik sorunların yaşandığı bu bölgede enjeksiyon çalışması sonrasında başlayan tünel kazıları sırasında ve sonrasında okunan oturma miktarları 2-7 mm aralığında olup, sınır değerler altında kalmıştır.

Tüm bu verilere göre, tünel hattı boyunca bölgedeki binalarda okunan oturma değerlerinin diğer birimlere oranla çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bölgede kumlar sıkı olmakla birlikte hızlı dökülme ve suyun varlığında akma davranışı gösterebilir özelliktedir. Bu durum Çukurçeşme Formasyonu kumlarının tünel mühendisliği açısından sorunlu bir ortam niteliğinde olduğunu ve bu nedenle başlangıçta öngörülen kazı ve destekleme projesine ilave önlem gerektirdiğini göstermiştir.

4.6.5. Çukurçeşme-Trakya Formasyonları Arası Sınır Bölgedeki Oturmaların Yorumlanması

İncelenen tünel güzergahı boyunca km 16+720'de litoloji değişikliği, Çukurçeşme Formasyonu'ndan Trakya Formasyonu'na, kum-siltli kum birimlerinden orta derecede ayrılmış (W_3) kumtaşı-şeyl, silttaşı birimlerine geçiş olduğu gözlenmiştir.

Km 16+720'de yapılan 31,0 m derinliğindeki MMT-56 sondajına göre, 1,60 m kalınlığında yapay dolgu bulunmaktadır. Yapay dolgu altında kalınlığı 13,0 m seviyelerine varan Güngören Formasyonu'nun açık kahverengi renkli yer yer kumlu kil birimleri; 13,0-31,0 m aralığında Trakya Formasyonu'nun kahverengi, gri, koyu gri renkli orta derecede ayrılmış kumtaşı-kiltaşı birimleri bulunmaktadır. Örtü kalınlığının yaklaşık 19,0 m olduğu bu kesimde tünel kazısı yer yer kumlu kil birimlerinden orta derecede ayrılmış kumtaşı-kiltaşı birimleri içine geçiş yapmıştır.

Arazi deneyleri kapsamında yapılan SPT deneylerine ait kil birimlerin N_{30} değerleri 43- >50 aralığında olup, sert kıvamlı olarak tanımlanmıştır. Pressiometre deney sonucunda killerin limit basınç değerleri 25,0-30,0 kg/cm^2 ; kumtaşı-kiltaşı birimlerinin ise limit basınç değerleri 30,0 kg/cm^2 'dir. Hesaplanan pressiometrik modül değerleri killer için 142,98-287,87 kg/cm^2 aralığında, kumtaşı-kiltaşı birimleri ise 201,49 kg/cm^2 olup, ortamda yenilme gözlenmemiştir. Basınçlı su testi sonuçlarına göre kaya birimleri 1,28-2,52 aralığında olup, az geçirimli özelliğindedir. Sondajlardan alınan kumtaşı-kiltaşı karotlarının ortalama RQD değerleri 0-42 aralığında olup, yapılan sınıflamada çok zayıf-zayıf kaya olarak nitelendirilmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kil örneklerinin su içeriği % 15,30-23,40 aralığında; doğal birim hacim ağırlığı 1,86 g/cm^3 , özgül ağırlık 2,56-2,67; likit limit (WL) % 37,0-40,0; plastik limit (WP) % 11,0-14,0 ve plastisite indisi (IP) % 24,0-28,0 değerlerindedir. Bu kesimdeki kohezyonlu zeminlerin kıvamlılık indeksi 0,52-0,88 aralığında olup, orta kıvamlı olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar deneyleri kapsamında kumtaşı-kiltaşı birimleri üzerinde yapılan nokta yükleme deney sonuçlarında I_{s50} değerleri 01,57-6,76 MPa aralığında olup, düşük-orta-yüksek dirençli özelliktedir. Bunun nedeni örneklerin litolojik farklılığı ve ayrılmış olmalarından kaynaklanmaktadır.

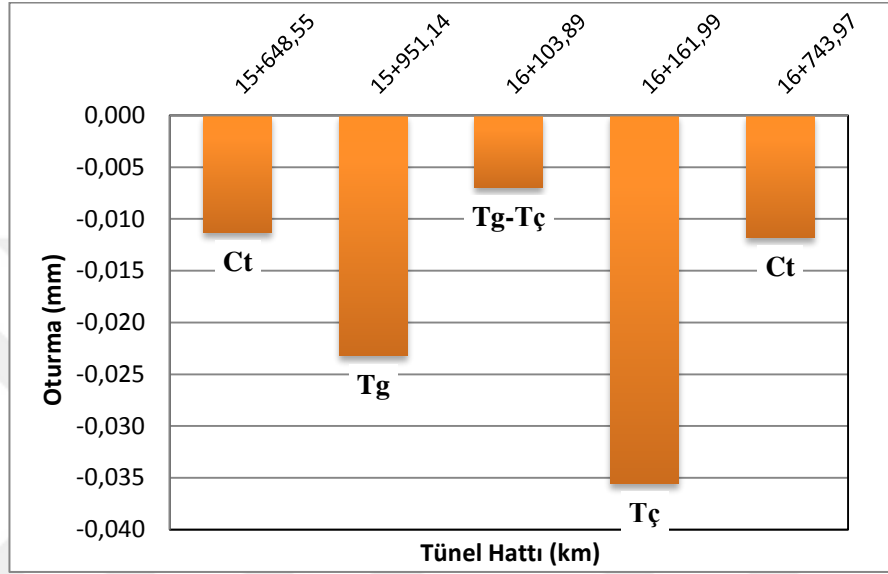
Bu bölgede yer alan geçiş zonuna ait TBM geçişi ve sonrasında ölçülen deformasyon değerleri Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16: Çukurçeşme-Trakya Formasyonları arası sınır bölgede meydana gelen oturma değerleri.

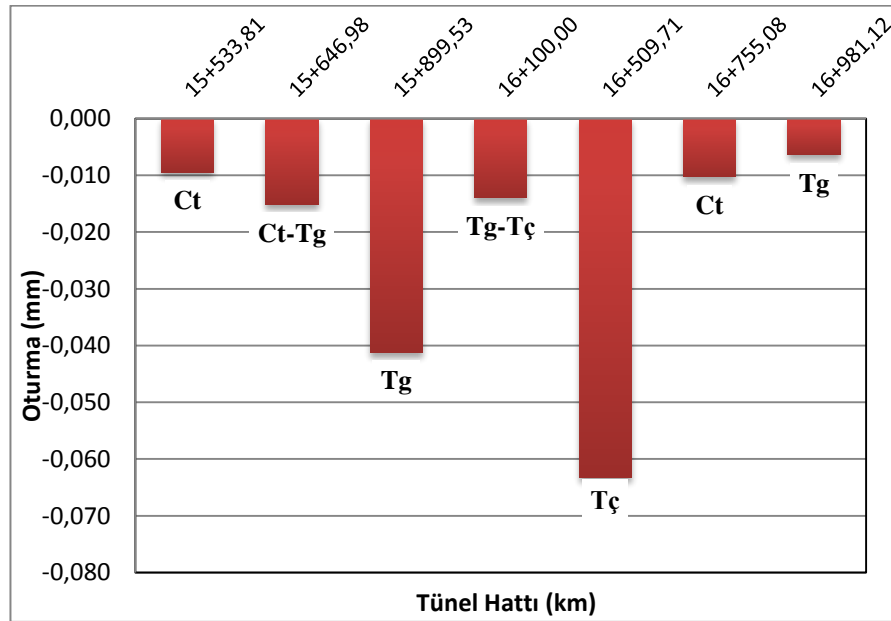
Km	Herrenknecht Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sağ Hat) mm			Lovat Geçiş Sırasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu (Sol Hat) mm			Makine Geçiş Sonrasında Ölçülen Yüzey Deformasyonu mm		
	BB	SMP	R	BB	SMP	R	BB	SMP	R
16+720	-	-	2,0	-	-	6,0	-	-	6,0

Tablo 4.16'ya göre maksimum oturma değerleri iki TBM geçişi sonrasında görülmüştür. Bunun nedeni litolojik farklılık gösteren bu bölgede yüzeye yansıyan oturmaların zamana bağlı gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

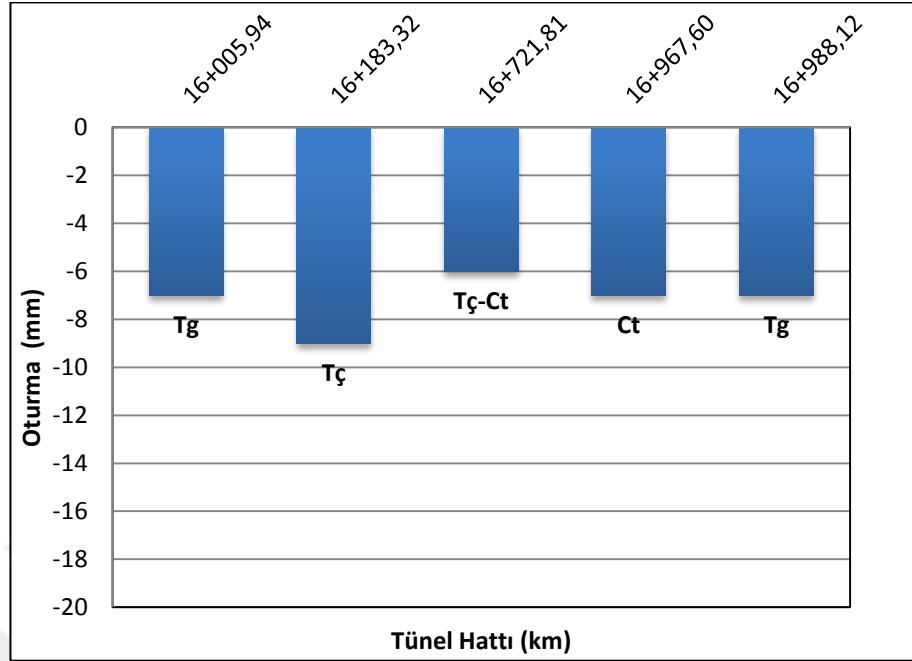
Metro hattının 3,12 km'lik kesimi incelenen bu çalışmada, Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası tünel güzergahında ölçülen oturmalarda zemin veya kaya ortamlarının geçtiği formasyonların yapısal özellikleri büyük önem taşımaktadır. Söz konusu bölgede Çukurçeşme ve Güngören Formasyonlarında ölçülen oturma miktarları Trakya Formasyonuna göre daha yüksektir (Şekil 4.73, Şekil 4.74, Şekil 4.75).



Şekil 4.73: Bina oturma bulonlarında yapılan ölçümlere göre güzergahta geçilen formasyonlarda belirlenen oturmalar.



Şekil 4.74: Yüzey oturma bulonlarında yapılan ölçümlere göre güzergahta geçilen formasyonlarda belirlenen oturmalar.

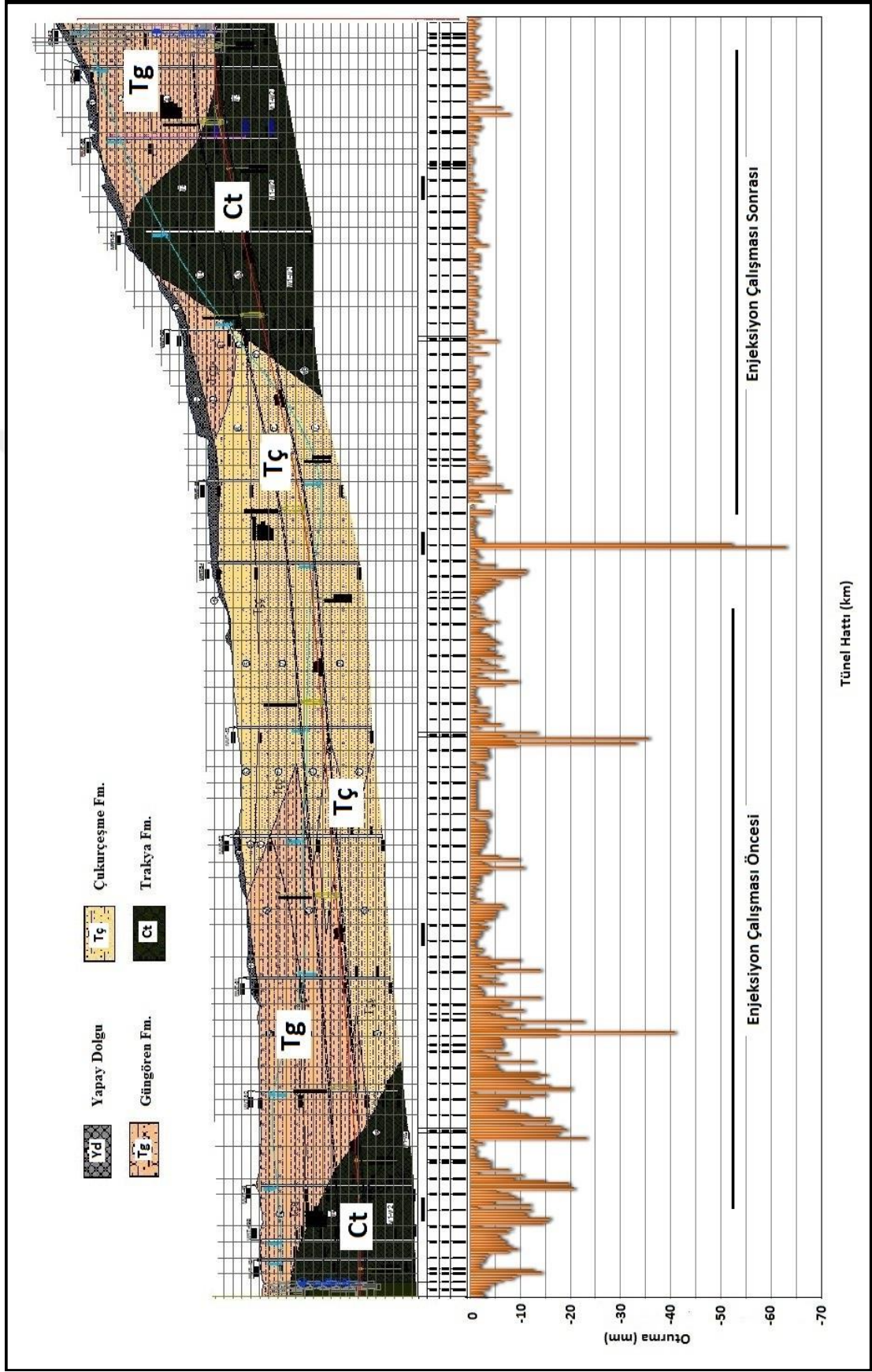


Şekil 4.75: Bina yatay deplasman reflektörlerinde yapılan ölçümlere göre güzergahta geçilen formasyonlarda belirlenen oturmalar.

Proje kapsamında yüzeydeki binaların oturma eğrileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tünel kazı çalışmaları sırasında ve sonrasında ölçülen maksimum oturma değerlerinin sol hattın üstüne denk gelen binalarda olduğu gözlenmiştir. Bu durum ilk kazılan sağ hattın geçişi sırasında jeolojik ortamın örselendiğini göstermektedir. Bu örselenme ikinci kazılan hattın geçişi sonrasında ortamı daha da örseleyerek, ikinci hat üzerinde tek hat kazısının oluşturacağından daha fazla bir deformasyona mahal vermiştir.

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.

Proje kapsamında gerekli görülen lokasyonlarda enjeksiyon çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.65'te tünel hattı boyunca enjeksiyon yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra geçilen bölgelerde meydana gelmiş maksimum oturma miktarlarının değişimi verilmektedir. Bu şekle göre, tünel kazı çalışmaları sırasında enjeksiyon yapılmadan önce bölgedeki formasyonlarda yüzey oturma miktarlarının sınır değerleri çok aştığı, ancak enjeksiyon yapıldıktan sonra aynı özellikteki formasyonlardan geçilip, oturma miktarlarının sınır değerler altında kaldığı görülmektedir. Bu durum inceleme alanında zemin iyileştirmeye yönelik yapılan enjeksiyon çalışmalarının olumlu sonuç verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.76: Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası jeolojik formasyon-yüzey deformasyon ilişkisi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı, Depo-Bakım Sahası ve Depo Bağlantı Hatları İnşaat İşleri kapsamında yer alan Yenimahalle-Karadeniz istasyonları arası incelenip, güzergah boyunca yer alan tüm sondaj verileri, arazi ve laboratuvar deney sonuçlarını kapsayan bir mühendislik jeolojisi bilgi bankası oluşturulmuştur.

17,5 km'lik metro projesi inşaatında birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile toplamda 182 adet araştırma sondajı yapılmış olup, tezin inceleme alanı (çift hat 3,12 km) içinde yer alan 12 adet sondaj verileri değerlendirilmiştir.

Yapılan sondaj çalışmaları sonucunda Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu, Miyosen yaşlı Güngören ve Çukurçeşme Formasyonları, Kuvaterner yaşlı Kuşdili Formasyonu ve yapay dolgular bulunmaktadır. Ancak açılan tünel düzeyinde Trakya, Güngören ve Çukurçeşme Formasyonları ve yapay dolgu kesilmiştir.

Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu kumtaşı, kıltaşı ve şeyllerden oluşmaktadır. Bu formasyon kaya niteliğinde olup, çalışma alanında bulunan en sağlam birimdir. İnceleme alanında açılan sondajlardan alınan karotların RQD değerlerine göre yapılan sınıflamada Trakya Formasyonu çok zayıf-zayıf kaya olarak tanımlanmıştır. Yer yer çok kırıklı-çatlaklı olmalarına karşın kaya niteliklerini korumakta ve teknik girişimler için sorun teşkil etmeyen, iyi bir ortamı oluşturmaktadırlar. Ayrıca yüzey deformasyonlarının en az gözlemlendiği birimdir.

Miyosen yaşlı Çukurçeşme Formasyonu Trakya Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Hakim litolojisini gri, grimsi beyaz, omurgalı fosilli kum ve çakılların oluşturduğu bu formasyon zemin özelliğinde olup, kalınlığı yaklaşık olarak 35-40 m. civarındadır. Yüzey deformasyonlarının en fazla görüldüğü ve buna bağlı olarak yer üstü yapılarda hasarların meydana geldiği formasyondur. Sondaj kuyularında yapılan SPT deneyleri sonucunda birim, orta sıkı-sıkı-çok sıkı olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanına bulunan diğere bir Miyosen yaşlı çökel olan Güngören Formasyonu, yer yer marn ara katkılı yeşil-mavi renkli killerden meydana gelmiştir. Bu formasyon zemin özelliğinde olup kalınlığı en fazla 30 m. civarındadır. Sondaj kuyularında yapılan SPT deneyleri sonucunda birim için orta katı-katı-çok katı-sert tanımlaması yapılmıştır. Bu durum birimin mühendislik özelliklerinin kısa mesafelerde, geniş bir aralıkta çok değişebildiğini göstermektedir. Yüze deformasyonlarının artış gösterdiği formasyondur.

İnceleme alanında bulunan jeolojik birimlerin üzerleri yer yer yapay dolgularla örtülmüştür. Bu dolgular heterojen bir yapıya sahip olup yamaç molozu, çakıl, kum ve bitkisel topraktan oluşmaktadır.

Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergahta açılan 12 adet sondaj kuyularında yeraltı su seviyesi ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonuçlarına göre yeraltı su seviyesi 2,50-28,50 m arasında değişmektedir. Güzergahta temeli oluşturan Trakya Formasyonu'nun geçildiği kesimlerde önemli sayılabilecek su geliri ile karşılaşılmasıdır. Güngören Formasyonu geçirimsiz olup, üzerinde bulunan birimlerde depolanan suyun aşağılara doğru sızmasını engellemektedir. Ancak Çukurçeşme Formasyonu suyun varlığında akma davranışı gösterebilir özelliktedir.

Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları arası güzergah, yerleşimin oldukça yoğun olduğu bir bölgede yer almaktadır. Güzergah boyunca kazı sırasında ve sonrasında yüze ve çevre binalarda olabilecek değişimleri izlemek amacıyla yoğun bir izleme planı uygulanmıştır.

Yapılan gözlemler sonucunda km 16+070-16+700 aralıklarında yer alan Çukurçeşme Formasyonu'nda önemli jeoteknik sorunlarla karşılaşılmasıdır.

Önemli jeoteknik sorunların yaşandığı km 16+070-16+700 aralıklarında açılan araştırma sondajlarından elde edilen Çukurçeşme Formasyonu'na ait yerinde yapılan deneyler kapsamında SPT N_{30} değerlerinin ortalaması 26 olup, birimler orta sıkı özelliktedir. Bölgedeki kumlarda yapılan pressiometre deneylerinden elde edilen pressiometrik modül değerleri $118,06 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan sondajlarda kum örneklerinin su içeriği % 8,20-24,0 ve özgül ağırlık 2,54-2,70 aralıklarında değişmektedir. Elde edilen bu değerler güzergah geneli ortalamasına göre sorunsuz geçilen bölgelerdeki değerlerin altında kalmıştır.

Tünel güzergahı boyunca yapılan deformasyon ölçümlerinde Çukurçeşme Formasyonu'nda meydana gelen oturma miktarları diğer formasyonlara oranla çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu formasyonda gerek yer altı kazılarına gerekse bölgede sonradan tespit edilen mevcut su kuyularına bağlı olarak yüzeyde meydana gelen oturma miktarları maksimum değere ulaşmış olup, tünel kazı çalışmaları durdurulmuştur. Bu oturmalara bağlı olarak 1175. sokakta tehlikeli görülen bir adet bina kontrollü olarak yıkılmıştır ve çevre binalar kontrol altına alınmıştır. Oturmaların yaşandığı bölgeye çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. 3-4 ay sonra kazıya yine tünel açma makineleriyle (TBM) devam edilmiştir.

Enjeksiyon çalışmaları zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ve saptanan mevcut kuyuların doldurulması amacıyla yapılmıştır. İnceleme alanında gerçekleştirilen enjeksiyonlarda 1104 adet delgi yapılmış olup, toplamda 11371 torba çimento kullanılmıştır. Yapılan delgilerde 751,95 m³ enjeksiyon ve 247,50 m³ grout verilmiştir. Bu bölgedeki çalışmalar hat genelinde yapılmış olup, herhangi bir deformasyona mahal vermeden tamamlanmıştır. Bu tür çalışmaların endişe duyulan bölgelerde sekteye uğramaması için tünel inşaatından önce gerçekleştirilmesinde yarar vardır.

İnceleme alanında litoloji değişikliği görülen kısımlarda meydana gelen oturmalar yüzeyde veya tünel içinde herhangi bir mühendislik sorununa yol açmamış, sakıncalı bir durum yaratmamıştır.

Çukurçeşme Formasyonu kumlarının tünel mühendisliği açısından sorunlu bir ortam niteliğinde olduğu ve bu nedenle başlangıçta öngörülen kazı ve destekleme projesine ilave önlem gerektirdiği anlaşılmıştır.

Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda tünel güzergahlarının jeolojik ve mühendislik özelliklerin kapsamlı bir şekilde araştırılması ve sondaj sayılarının bu tip projeler için arttırılması gerektiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdüselamoğlu, M.Ş., 1963, *İstanbul Boğazı Doğusunda Mostra Veren Paleozoyik Arazide Stratigrafik ve Paleontolojik Yeni Müşahadeler*, M.T.A Dergisi, 60.
- Acar, C., 1994, *Killi Zeminlerin Şişme Davranışına Ön Yüklemenin Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s.8-10.
- AFTES.,(2000), *Choising Mechanized Tunneling Techniques*, web:www.aftes.fr/FicherPDF/mechanised.pdf.
- Anagnostou, G. ve Kovari, K., 1996, Face Stability Conditions with Earth Pressure Balanced Shields, *Tunneling and Undergroud Space Technlogy*, 11,No.2 (in print).
- Arıç, C., 1955, *Haliç-Küçükçekmece Gölü Bölgesinin Jeolojisi*, Doktora Tezi, İ.T.Ü Maden Fakültesi, İstanbul, 45 s.
- Arıoğlu, B., Yuksel, A. ve Arıoğlu 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.
- Baykal, F., ve Kaya, O., 1963, *İstanbul Bölgesinde Bulunan Karboniferin Genel Stratigrafisi*, M.T.A Dergisi, 61.
- Baykal, F. ve Kaya, O., (1965), İstanbul silüryeni hakkında. *MTA Dergisi*, 64, 1-8.
- Bieniawski, Z.T., 1975, The Point Load Test in Geotechnical Practice, *Engineering Geology*, 9, p.1-11.
- Bieniawski, Z., T.,1989, *Engineering Rock Mass Classification: A New Complete Manual For Engineers And Geologists In Mining, Civil And Petroleum Engineering*. New York, USA: A-Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons.
- Bilgin, N., 2015. *Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı EPB Ayna Basıncı Hesapları* (Yayınlanmamış Rapor).
- Bilgin, N., Özbayır, T., Sözak, N. ve Eyigün, Y., 2009, Factors affecting the economy and the efficiency of metro tunnel drivage with two TBM's in Istanbul in very fractured rock, *ITA-AITES World Tunnel Congress 2009 Safe Tunnelling for the City and Environment*, (10 p.). Budapest, Hungary, May 23-28.
- Broch., E., and Franklin, J.A., 1972, The point load strength test. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 9, 669-697pp.

- Chen, F. H., 1965, Engineering Effects of Moisture Change in Soils, Concluding Proceedings *International Research and engineering Conference on Expansive Clay Soils*, Texas A & M Press.
- Chou, W. I., Bobert, A., 2001, Predictions Of Ground Deformation In Shallow Tunnels *In Clay, Tunneling And Underground Space Technology*, 17, 3 – 19.
- Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. *Classification and index Properties of Intact Rock*. Tech. Report AFWL-TR-65-116, AF Special Weapons Center, Kirtland Air Force Base, New Mexico.
- DUAB.,(1997), *Recommendations for Selecting and Evaluating Tunnel Boring Machines*, Alman Yer Altı İnşaatları Birliği, Tunnel 5/97.
- Friant, J.E., 1994, Tünel Açma Teknolojisi Bugün ve Yarın, *İTÜ Maden Fakültesi Tünel ve Galeri Açma Meslek İçi Semineri* (Çeviren: Prof. Dr. Ş. Eskikaya).
- Haas. W., 1968, *Das Alt Paleozoikum von Bithynien* (Nordwest Türkei): N.Jb.Geol. Paleont. Abh., 131-2.60-68.
- Herrenknecht AG., 2007, *S363 ve S360 EPB/TBM Kataloğu*, İstanbul.
- Herrenknecht A.G., 2012, *Doha Metro cutting toolbox Qatar integrated railway*, Schwanau, Germany: Tender Proposal Documents.
- Hoek E. And Brown, E.T., 1980, *Underground Excavations in Rock, Institutions of Mining and Metallurgy*, London p.32.
- İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 2008, *Marmara Bölgesi iklimi* [online], İstanbul, <http://istanbul.meteor.gov.tr/marmaraiklimi.htm>.
- Kaya, O., 1971, *İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, s. 56.
- Kaya, O., 1973, *Paleozoic of İstanbul (The Devonien and Lower Carboniferous Stratigraphy of the İstinye, Bostancı and Büyükkada subareas)*, E.Ü.F.F. Kitaplar Serisi, İzmir.
- Ketin, İ., 1988, İstanbul Bölgesi'nde Karbonifer Yashlı Trakya Formasyonu'nun Yapısal Özelliği, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 11, 5-12.
- Ketin, İ., 1991, *İstanbul ve Gebze çevresinin 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hakkında kısa açıklama*, İstanbul: STFA:İç Rapor.
- Kodamanoğlu, T., 1977, İstanbul-Beykoz civarının jeolojik incelenmesi, *MTA Dergisi*, 88, 32-43.
- Leonards, G.A., 1972, *Foundation engineering*, Mc. Graw Hill Book Comp. 1136s.
- Maild, B., Herrenknecht, M. ve Anheuser, L., 1996, *Mechanized Shield Tunneling*. Berlin, Germany: Ernst & Sohn.

- 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.
- Meriç, E., 1990, *İstanbul Boğazı Güneyi ve Haliç'in Geç Kuvaterner (Holosen) Dip Tortulları*, İst.Teknik Üniv. Vakfı, 1-114, 975-7463-00-0.
- Mori, H., Nomoto, T, Matsumoto, M., 1995, Overview on Ground Movements During the Schield Tunnellin-A Srvey on Japanes Scheild Tunnelling, *Underground Construction in soft Ground*, Fujitsa and Kusabeeke (end), Balkema.
- Nonnveiller, E., 1989, Grouting Theory and Practice, *Elsevier Science Publishing Company*.
- 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.
- Ocak, İ., and Bilgin, N., 2009, The Performance of Two EPB Machines in Istanbul Metro Tunnel Drivages in Soft and Shallow Ground. *ITA-AITES World Tunnel Congress*, Budapest, Hungary.
- Önalın, M., 1981, İstanbul Ordovisyen ve Siluryen istifinin çökelleme ortamları, *Yerbilimleri Dergisi* 3-4, s. 161-177.
- Önalın, M., 1982, *Pendik bölgesi ile Adalar'ın jeolojisi ve sedimanter özellikleri*, Doktora Tezi, İ.Ü. Yerbilimleri Fak., 193 s.
- Özaydın, K., 1999, *Zeminlerin Sınıflandırılması, Zemin Mekaniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, s.143-163.
- Paeckelmann, W., 1938, Neue Beiträge zur Kenntnis der Geologie, Paläontologie und Pétrographie der Umgegend von Konstantinopel Abh. Preuss Geol. L-A., N. F. 186.
- Parson, T., Toda, S., Sten, R., Barka, A., 2000, Heightened Odds of Large Earthquakes Near İstanbul: An Interaction-Based Probability Calculation Science, 288, 661-665.
- 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.
- Polat, F., 2014, Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı, Depo Bakım Sahası ve Depo Bağlantı Hatları İnşaat İşleri, Yenimahalle-Mahmutbey İstasyonları arası Jeolojik ve Jeoteknik Etütü Raporu, İstanbul (Yayınlanmamış Rapor).
- Seymen, İ., 1995, İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojisi, Meriç, E. (Ed.), İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi, (pp.1-23). Kocaeli: Kocaeli Valiliği Çevre Koruma Vakfı.

- Shang, Y., Xue, J., Wang, S., Yang, Z., Yang, J., 2003, A case history of Tunnel Boring Machine jamming in an inter-layer shear zone at the Yellow River Diversion Project in China, *Engineering Geology*, 71,199 – 211.
- Schmidt, B., 1969, *Settlements and ground movements associated with tunnelling in soils*. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana.
- Sowers, G. F., 1979. Introductory Soil Mechanics and Foundations, *Geotechnical Engineering*, 621 sf., 4th edition, Macmillan, New York.
- Terzaghi, K., and Peck, R., 1968, Soil Mechanics in Engineering Practice, *John Wiley*, New York.
- TS 1500, 2000, *İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması*, TSE, Ankara.
- Ulusay, R., 2001, *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 38, Ankara.
- Vardar M., 1977, *Yer altı Kaya Yapıları Mekaniğinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin Ana İlkeleri*, İ.T.Ü.
- Yalçın, A., 1994, İstanbul Metrosu yapımında 1992- 1993 dönemi çalışmaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.
- Yalçınlar, İ., 1951. İstanbul civarının Paleozoik arazisine dair yeni müşahedeler. T. Jeol. K. Bült. V. III, No: 1, Ankara, p. 125-12.
- Yüksel, A. 2014, *TBM Makinelerinde Kayaç Özellikleri ve Makro Süreksizliklerin Kazı Performansına Etkilerinin Araştırılması*, Doktor Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3 s.
- Yüksel Proje, 2014, *Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı TBM Tünel Tasarım El Kitabı* (Yayınlanmamış Rapor).
- Zhao, J., 2009, *Tunnel engineering design and analysis*,. *Laboratoire de Mecanique des Roches, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*, Course Lecture 2009.

EKLER**EK 1. SPT N₃₀ Değerleri.**

Sondaj No	Derinlik (m)	SPT-N ₃₀ Darbe Sayıları	Litoloji
MMT- 49A	1,50-1,95	R	Dolgu
MMT- 49B	1,50-1,95	R	Dolgu
	4,50-4,95	30	Kum
	6,00-6,45	48	Kum
	9,00-9,45	R	Kum-Kumtaşı geçişi
MMT-49	1,50-1,95	15	Kil
	3,00-3,45	13	Kil
	4,50-4,95	8	Kil
	6,00-6,45	7	Kil
	7,50-7,95	6	Kil
	9,00-9,45	27	Kil
	10,50-10,95	43	Kil
	12,00-12,45	38	Kil
	13,50-13,95	32	Kil
	15,00-15,45	41	Kil
	16,50-16,95	44	Kil
	18,00-18,45	50	Killi kum
	19,50-19,95	R	Kil
	21,00-21,45	60	Kil
22,50-22,95	R	Kil-Kiltaşı geçişi	
MMT-50	1,50-1,95	9	Kil
	3,00-3,45	13	Kil
	4,50-4,95	12	Kil
	6,00-6,45	22	Kil
	7,50-7,95	7	Kil
	9,00-9,45	22	Kil
	10,50-10,95	40	Kil
	12,00-12,45	R	Kil
	13,50-13,95	33	Kil
	15,00-15,45	R	Kil
	16,50-16,95	R	Kil
	18,00-18,45	49	Kil
	19,50-19,45	R	Kil
21,00-21,45	R	Kil	

EK 1 (devam). SPT N₃₀ Değerleri.

MMT-50	22,50-22,95	R	Kil
	24,00-24,45	45	Kil
	25,50-25,95	R	Kil
	27,00-27,45	R	Kil
	28,50-28,95	R	Kil-Kiltaşı geçişi
MMT-51	1,50-1,95	R	Dolgu
	4,50-4,95	R	Dolgu
	6,00-6,45	11	Kil
	7,50-7,95	11	Kil
	9,00-9,45	13	Kil
	10,50-10,95	R	Kil
	13,50-13,95	48	Kil
	15,00-15,45	49	Kil
	16,50-16,95	R	Kil
	18,00-18,45	R	Kil
	19,50-19,45	R	Kil
	21,00-21,45	R	Kil
	25,50-25,95	R	Kil
	27,00-27,45	R	Kil
MMT-52	1,50-1,95	21	Kum
	3,00-3,45	39	Kum
	4,50-4,95	39	Kum
	6,00-6,45	35	Kum
	7,50-7,95	37	Kum
	9,00-9,45	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	10,50-10,95	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	13,50-13,95	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	15,00-15,45	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	16,50-16,95	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	18,00-18,45	R	Kil-Kiltaşı geçişi
19,50-19,45	R	Kil-Kiltaşı geçişi	
MMT-53	1,50-1,95	9	Kil
	3,00-3,45	20	Kil
	4,50-4,95	31	Kum
	6,00-6,45	R	Kum
	7,50-7,95	38	Kum
	9,00-9,45	47	Kum
	10,50-10,95	R	Kum
	12,00-12,45	R	Kum
	13,50-13,95	R	Kum
	15,00-15,45	R	Kum

EK 1 (devam). SPT N₃₀ Değerleri.

Sondaj No	Derinlik (m)	SPT-N ₃₀ Darbe Sayıları	Litoloji
MMT-53	16,50-16,95	R	Kum
	18,00-18,45	R	Kum
	19,50-19,45	R	Kum
	21,00-21,45	R	Kum
	22,50-22,95	R	Kum
	24,00-24,45	R	Kum
MMT-54	4,50-4,95	22	Kil
	6,00-6,45	27	Kil
	7,50-7,95	23	Kum
	9,00-9,45	27	Kum
	12,00-12,45	52	Kum
	13,50-13,95	43	Kum
	15,00-15,45	39	Kum
	16,50-16,95	51	Kum
	18,00-18,45	59	Kum
	19,50-19,45	59	Kum
21,00-21,45	62	Kum	
MMT-55	3,00-3,45	4	Kil
	4,50-4,95	9	Kil
	6,00-6,45	16	Kil
	7,50-7,95	19	Kil
	9,00-9,45	29	Kum
	12,00-12,45	35	Kum
	13,50-13,95	43	Kum
	15,00-15,45	36	Kum
	16,50-16,95	51	Kum
	18,00-18,45	55	Kum
	19,50-19,45	54	Kum
21,00-21,45	55	Kum	
MMT-56	1,50-1,95	R	Dolgu
	3,00-3,45	R	Kil
	7,50-7,95	63	Kil
	9,00-9,45	59	Kil
	10,50-10,95	55	Kil
	12,00-12,45	43	Kil
	13,50-13,95	R	Kil-Kiltaş geçişi

EK 1 (devam). SPT N₃₀ Değerleri.

MMT-57	1,50-1,95	68	Kum
	3,00-3,45	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	4,50-4,95	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	6,00-6,45	R	Kil-Kiltaşı geçişi
	7,50-7,95	R	Kil-Kiltaşı geçişi
MMT-58	1,50-1,95	8	Kil
	3,00-3,45	10	Kil
	4,50-4,95	14	Kil
	6,00-6,45	15	Kil
	7,50-7,95	18	Kil
	9,00-9,45	20	Kil
	10,50-10,95	37	Kil
	12,00-12,45	39	Kil
	13,50-13,95	45	Kil
	15,00-15,45	35	Kil
	16,50-16,95	38	Kil
	18,00-18,45	33	Kil
	19,50-19,45	38	Kil
	21,00-21,45	R	Kil-Kiltaşı geçişi

EK 2. Pressiometre Verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Limit Basınç (PL) kg/cm ²	Pressiometrik Modül (EP) kg/cm ²	Formasyon
MMT-49A	3,00	21,00	192,00	Trakya Fm.
MMT-49B	6,00	21,00	144,67	Güngören Fm.
	10,50	21,00	146,17	Trakya Fm.
MMT-49	3,00	12,00	92,48	Güngören Fm.
	6,00	12,00	54,48	Güngören Fm.
	9,00	18,00	135,55	Güngören Fm.
	12,00	21,00	151,17	Güngören Fm.
	15,00	21,00	172,84	Güngören Fm.
	18,00	21,00	178,38	Güngören Fm.
	21,00	21,00	220,91	Trakya Fm.
24,00	25,00	238,48	Trakya Fm.	
MMT-50	4,50	12,00	92,27	Güngören Fm.
	10,50	12,00	91,49	Güngören Fm.
	15,00	21,00	160,64	Güngören Fm.
	19,50	21,00	163,30	Güngören Fm.
	24,00	21,00	210,03	Güngören Fm.
	30,00	21,00	210,38	Trakya Fm.
MMT-51	6,00	12,00	192,41	Güngören Fm.
	9,00	12,00	53,36	Güngören Fm.
	12,00	21,00	95,32	Güngören Fm.
	15,00	21,00	142,50	Güngören Fm.
	18,00	21,00	170,25	Güngören Fm.
	21,00	25,00	180,63	Güngören Fm.
	24,00	25,00	223,77	Güngören Fm.
MMT-52	6,00	18,00	108,36	Çukurçeşme Fm.
	12,00	21,00	144,14	Güngören Fm.
	18,00	21,00	181,33	Çukurçeşme Fm.
	24,00	25,00	258,08	Çukurçeşme Fm.
	31,00	25,00	296,64	Çukurçeşme Fm.
MMT-53	3,00	15,00	112,76	Güngören Fm.
	6,00	18,00	120,21	Çukurçeşme Fm.
	13,50	18,00	118,06	Çukurçeşme Fm.
	18,00	18,00	134,37	Çukurçeşme Fm.
	24,00	21,00	182,25	Çukurçeşme Fm.
	28,50	21,00	202,27	Çukurçeşme Fm.

EK 2 (devam). Pressiometre Verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Limit Basınç (PL) kg/cm ²	Pressiometrik Modül (EP) kg/cm ²	Sınıflama
MMT-54	4,50	12,00	92,08	Güngören Fm.
	10,50	21,00	177,58	Çukurçeşme Fm.
	18,00	21,00	182,87	Çukurçeşme Fm.
	24,00	21,00	177,14	Çukurçeşme Fm.
	30,00	21,00	188,71	Çukurçeşme Fm.
MMT-55	3,00	8,00	32,16	Güngören Fm.
	6,00	12,00	57,63	Güngören Fm.
	9,00	18,00	99,54	Güngören Fm.
	15,00	30,00	205,10	Çukurçeşme Fm.
	21,00	30,00	204,58	Çukurçeşme Fm.
	24,00	21,00	182,92	Çukurçeşme Fm.
	27,00	21,00	183,52	Çukurçeşme Fm.
MMT-56	6,00	30,00	287,87	Güngören Fm.
	9,00	30,00	205,72	Güngören Fm.
	12,00	25,00	142,98	Güngören Fm.
	15,00	30,00	201,49	Trakya Fm.
MMT-57	3,00	21,00	179,19	Güngören Fm.
	6,00	30,00	230,13	Güngören Fm.
	9,00	30,00	271,00	Trakya Fm.
MMT-58	3,00	18,00	89,57	Güngören Fm.
	6,00	18,00	90,49	Güngören Fm.
	10,50	18,00	135,71	Güngören Fm.
	16,50	18,00	133,70	Güngören Fm.

EK 3. Basınçlı Su Testi Verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Lugeon (l/dak/m)	Değerlendirme	Litoloji
MMT-49A	6,00-9,00	0,76	Geçirimsiz	Kiltaşı-Şeyl (W ₄)
	12,00-15,00	0,81	Geçirimsiz	
	16,50-19,50	0,77	Geçirimsiz	
	21,00-24,00	0,86	Geçirimsiz	Kiltaşı-Şeyl (W ₃)
	25,50-28,50	0,86	Geçirimsiz	
	30,00-33,00	0,83	Geçirimsiz	
MMT-49B	16,50-19,50	0,81	Geçirimsiz	Kumtaşı-Kiltaşı (W ₃)
	24,00-27,00	0,80	Geçirimsiz	Kumtaşı-Şeyl (W ₂)
	30,00-33,00	0,77	Geçirimsiz	
MMT-49	27,00-30,00	0,94	Geçirimsiz	Kumtaşı (W ₃)
	31,50-34,50	0,66	Geçirimsiz	
MMT-56	19,50-21,00	1,28	Az Geçirimli	Kumtaşı-Şeyl (W ₃)
	25,50-27,00	2,52	Az Geçirimli	Kumtaşı (W ₃)
	29,50-31,00	2,24	Az Geçirimli	
MMT-57	13,50-16,50	1,74	Az Geçirimli	Kumtaşı-Kiltaşı (W ₄)
	19,50-22,50	1,43	Az Geçirimli	
	25,20-28,50	0,64	Geçirimsiz	Kumtaşı-Kiltaşı (W ₂)
	30,00-33,00	0,80	Geçirimsiz	
	34,00-37,00	0,76	Geçirimsiz	
MMT-58	24,00-27,00	2,08	Az Geçirimli	Kiltaşı (W ₂)
	30,00-33,00	1,16	Az Geçirimli	
	36,00-39,00	0,83	Geçirimsiz	

EK 4. RQD Verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	RQD	Kaya Sınıfı
MMT-49A	4,50-6,00	10	Çok Zayıf
	6,00-7,50	66	Orta
	7,50-9,00	27	Zayıf
	9,00-10,50	27	Zayıf
	10,50-12,00	90	İyi
	12,00-13,50	30	Zayıf
	13,50-15,00	14	Çok Zayıf
	15,00-16,50	93	Çok İyi
	16,50-18,00	90	İyi
	18,00-19,50	27	Zayıf
	19,50-21,00	60	Orta
	21,00-22,50	15	Çok Zayıf
	22,50-24,00	0	Çok Zayıf
	24,00-25,50	6	Çok Zayıf
	25,50-27,00	6	Çok Zayıf
	27,00-28,50	14	Çok Zayıf
	28,50-30,00	0	Çok Zayıf
	30,00-31,50	0	Çok Zayıf
	31,50-33,00	33	Zayıf
	33,00-34,00	23	Çok Zayıf
MMT-49B	12,00-13,50	6	Çok Zayıf
	28,50-30,00	8	Çok Zayıf
	30,00-31,50	12	Çok Zayıf
	31,50-33,00	27	Zayıf
	33,00-34,00	7	Çok Zayıf
MMT-49	22,50-24,00	0	Çok Zayıf
	24,00-25,50	0	Çok Zayıf
	25,50-27,00	0	Çok Zayıf
	27,00-28,50	0	Çok Zayıf
	28,50-30,00	20	Çok Zayıf
	30,00-31,50	34	Zayıf
	31,50-33,00	21	Çok Zayıf
MMT-50	28,50-30,00	0	Çok Zayıf
	30,00-31,50	0	Çok Zayıf
MMT-51	30,00-31,50	48	Zayıf

EK 4 (devam). RQD Verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	RQD	Kaya Sınıfı
MMT-52	28,50-30,00	10	Çok Zayıf
	30,00-31,50	18	Çok Zayıf
	31,50-33,00	0	Çok Zayıf
MMT-56	15,00-16,50	0	Çok Zayıf
	16,50-18,00	0	Çok Zayıf
	18,00-19,50	0	Çok Zayıf
	19,50-21,00	0	Çok Zayıf
	21,00-22,50	0	Çok Zayıf
	22,50-24,00	0	Çok Zayıf
	24,00-25,50	0	Çok Zayıf
	25,50-27,00	0	Çok Zayıf
	27,00-28,50	0	Çok Zayıf
	28,50-30,00	0	Çok Zayıf
	30,00-31,50	42	Zayıf
MMT-57	7,50-9,00	15	Çok Zayıf
	9,00-10,50	0	Çok Zayıf
	10,50-12,00	0	Çok Zayıf
	12,00-13,50	0	Çok Zayıf
	13,50-15,00	0	Çok Zayıf
	15,00-16,50	0	Çok Zayıf
	16,50-18,00	0	Çok Zayıf
	18,00-19,50	0	Çok Zayıf
	19,50-21,00	0	Çok Zayıf
	21,00-22,50	0	Çok Zayıf
	22,50-24,00	0	Çok Zayıf
	24,00-25,50	0	Çok Zayıf
	25,50-27,00	0	Çok Zayıf
	27,00-28,50	14	Çok Zayıf
	28,50-30,00	10	Çok Zayıf
	30,00-31,50	22	Çok Zayıf
	31,50-33,00	0	Çok Zayıf
33,00-34,50	30	Zayıf	
34,50-36,00	40	Zayıf	

EK 4 (devam). RQD Verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	RQD	Kaya Sınıfı
MMT-58	21,00-22,50	0	Çok Zayıf
	22,50-24,00	0	Çok Zayıf
	24,00-25,50	14	Çok Zayıf
	25,50-27,00	65	Orta
	27,00-28,50	35	Zayıf
	28,50-30,00	68	Orta
	30,00-31,50	55	Orta
	31,50-33,00	65	Orta
	33,00-34,50	55	Orta
	34,50-36,00	85	İyi
	36,00-37,50	80	İyi

EK 5. Atterberg limitleri, elek analizi, hidrometre deney sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Su Muhtevası W _n (%)	Atterberg Limitleri			Elek Analizi		Hidrometrik Analiz	Sınıflama
			LL (%)	PL (%)	PI (%)	+4	-200		
MMT-49B	4,50-4,95	13,90	28,00	14,00	14,00	0,98	72,88	58,04	CL
	6,00-6,45	20,50	27,00	11,00	16,00	12,30	46,52	32,38	SC
MMT-49	2,50-3,00	21,80	45,00	9,00	36,00	0,00	98,64	30,96	CL
	3,00-3,45	23,90	45,00	8,00	37,00	0,00	96,24	54,19	CL
	6,00-6,45	32,60	45,00	8,00	37,00	0,00	97,32	77,77	CL
	9,00-9,45	14,80	25,00	16,00	9,00	38,30	22,30	14,68	SC
	12,00-12,45	51,60	NP	NP	NP	0,00	99,78	26,12	CL-ML
	16,50-16,95	25,00	61,00	16,00	45,00	0,00	97,34	25,30	CH
	21,00-21,45	19,10	40,00	11,00	29,00	0,00	90,20	78,47	CL
MMT-50	2,50-3,00	18,60	NP	NP	NP	4,68	80,08	41,49	CL-ML
	6,00-6,45	23,10	31,00	9,00	22,00	0,00	79,32	37,42	CL
	9,00-9,45	16,00	28,00	13,00	5,00	28,14	26,34	22,10	SC
	12,00-12,45	30,50	67,00	16,00	51,00	3,70	90,70	32,71	CH
	15,00-15,45	28,30	58,00	17,00	41,00	0,00	99,28	21,80	CH
	18,00-18,45	32,10	61,00	18,00	44,00	0,00	99,66	19,60	CH
	21,00-21,45	30,20	60,00	15,00	44,00	0,00	99,06	19,12	CH
	24,00-24,45	21,60	35,00	12,00	23,00	0,00	76,18	44,63	CL
	28,50-28,95	15,90	41,00	13,00	28,00	10,36	67,44	32,38	CL
MMT-51	1,50-1,95	26,50	33,00	14,00	19,00	26,46	41,46	18,96	SC
	7,00-7,50	22,60	30,00	13,00	17,00	3,66	65,28	32,79	CL
	9,00-9,45	13,50	NP	NP	NP	20,94	27,50	27,34	SM
	13,00-13,50	21,10	39,00	14,00	25,00	0,00	97,78	70,29	CL
	14,50-15,00	27,60	59,00	14,00	45,00	0,00	99,00	40,93	CH
	18,00-18,45	26,30	59,00	13,00	46,00	0,00	99,28	37,03	CH
	21,00-21,45	25,60	53,00	13,00	40,00	0,00	97,36	50,02	CH
MMT-52	3,00-3,45	18,00	NP	NP	NP	2,98	8,34	8,02	SW-SM
	6,00-6,45	17,30	NP	NP	NP	3,43	17,28	13,49	SM
	9,00-9,45	20,30	40,00	14,00	26,00	4,00	86,66	45,00	CL
	15,00-15,45	-	NP	NP	NP	3,27	41,61	-	SM
	18,00-18,45	-	NP	NP	NP	0,39	18,51	-	SM
MMT-53	1,50-1,95	17,00	NP	NP	NP	0,00	22,26	21,84	SM
	2,50-3,00	18,60	41,00	9,00	31,00	0,00	77,00	29,51	CL-ML
	7,50-7,95	10,40	-	-	-	0,36	57,54	32,32	-
	12,00-12,45	12,10	-	-	-	5,27	78,60	78,44	-
	18,00-18,45	11,20	-	-	-	5,12	77,46	77,04	-
	24,00-24,45	8,20	-	-	-	9,83	60,13	59,97	-

EK 5 (devam). Atterberg limitleri, elek analizi deney sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Su Muhtevası W _n (%)	Atterberg Limitleri			Elek Analizi		Hidrometrik Analiz	Sınıflama
			LL (%)	PL (%)	PI (%)	+4	-200		
MMT-54	4,00-4,50	21,70	32,00	7,00	25,00	0,00	88,26	29,89	CL
	6,00-6,45	21,60	32,00	7,00	25,00	0,00	86,78	33,29	CL
	9,00-9,45	17,70	32,00	6,00	26,00	11,56	39,78	32,22	SC
	13,50-13,95	15,80	NP	NP	NP	0,00	30,85	21,64	SM
	18,00-18,45	15,70	NP	NP	NP	0,00	30,71	22,28	SM
	21,00-21,45	11,50	NP	NP	NP	0,00	37,76	21,09	SM
MMT-55	4,00-4,50	14,70	36,00	35,00	21,00	13,16	53,82	35,39	CL
	4,50-4,95	21,60	25,00	11,00	14,00	0,00	52,06	32,55	CL
	7,00-7,50	21,30	31,00	10,00	21,00	0,00	52,76	29,80	CL
	10,50-10,95	22,80	NP	NP	NP	1,00	21,57	17,79	SM
	13,50-13,95	17,20	NP	NP	NP	0,00	35,31	26,09	SM
	18,00-18,45	24,00	NP	NP	NP	1,05	13,02	10,56	SM
	21,00-21,45	18,90	NP	NP	NP	0,00	33,28	23,98	SM
MMT-56	2,50-3,00	22,70	38,00	14,00	24,00	0,00	97,00	68,15	CL
	7,50-7,95	23,40	37,00	11,00	26,00	4,82	86,58	33,65	CL
	10,50-10,95	22,30	40,00	12,00	28,00	0,74	82,16	33,31	CL
	11,50-12,00	15,30	40,00	12,00	28,00	0,00	82,38	43,83	CL
MMT-57	1,50-1,95	30,30	NP	NP	NP	54,25	9,27	9,11	GP-GM
	3,00-3,45	15,20	36,00	20,00	16,00	6,52	65,30	56,94	CL
MMT-58	3,00-3,45	20,50	37,00	10,00	27,00	0,38	63,16	37,97	CL
	6,00-6,50	19,10	37,00	9,00	28,00	0,00	84,62	46,13	CL
	10,00-10,50	22,00	51,00	13,00	38,00	0,00	97,58	31,95	CH
	12,00-12,45	28,20	51,00	12,00	39,00	0,00	98,64	31,46	CH
	15,00-15,45	28,60	51,00	13,00	38,00	0,00	97,80	33,51	CH
	19,50-19,95	28,20	43,00	16,00	27,00	2,30	89,46	25,36	CL

EK 6. Kıvamlılık indeksi verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Kıvamlılık İndeksi Ic	Tanım
MMT-49B	4,50-4,95	1,00	Katı
	6,00-6,45	0,41	Yumuşak
MMT-49	2,50-3,00	0,64	Orta
	3,00-3,45	0,57	Orta
	6,00-6,45	0,33	Yumuşak
	9,00-9,45	1,13	Çok katı
	16,50-16,95	0,80	Katı
	21,00-21,45	0,72	Orta
MMT-50	6,00-6,45	0,35	Yumuşak
	9,00-9,45	2,4	Çok katı
	12,00-12,45	0,71	Orta
	15,00-15,45	0,73	Orta
	18,00-18,45	0,65	Orta
	21,00-21,45	0,67	Orta
	24,00-24,45	0,58	Orta
	28,50-28,95	0,89	Katı
MMT-51	1,50-1,95	0,34	Yumuşak
	7,00-7,50	0,43	Yumuşak
	13,00-13,50	0,71	Orta
	14,50-15,00	0,69	Orta
	18,00-18,45	0,71	Orta
	21,00-21,45	0,68	Orta
MMT-52	9,00-9,45	0,75	Orta
MMT-53	2,50-3,00	0,72	Orta
MMT-54	4,00-4,50	0,41	Yumuşak
	6,00-6,45	0,42	Yumuşak
	9,00-9,45	0,55	Orta
MMT-55	4,00-4,50	1,01	Çok Katı
	4,50-4,95	0,24	Çok yumuşak
	7,00-7,50	0,46	Yumuşak
MMT-56	2,50-3,00	0,63	Orta
	7,50-7,95	0,52	Orta
	10,50-10,95	0,63	Orta
	11,50-11,95	0,88	Katı

EK 6 (devam). Kıvamlılık indeksi verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	Kıvamlılık İndeksi Ic	Tanım
MMT-57	3,00-3,45	1,3	Çok katı
MMT-58	3,00-3,45	0,61	Orta
	6,00-6,50	0,63	Orta
	10,00-10,50	0,76	Katı
	12,00-12,45	0,58	Orta
	15,00-15,45	0,59	Orta
	19,50-19,95	0,55	Orta

EK 7. Sıkışma indeksi verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	LL	Sıkışma İndeksi	Tanım
MMT-49B	4,50-4,95	28,00	0,126	Düşük Sıkışabilir
	6,00-6,45	27,00	0,119	Düşük Sıkışabilir
MMT-49	2,50-3,00	45,00	0,245	Orta Sıkışabilir
	3,00-3,45	45,00	0,245	Orta Sıkışabilir
	6,00-6,45	45,00	0,245	Orta Sıkışabilir
	9,00-9,45	25,00	0,105	Düşük Sıkışabilir
	16,50-16,95	61,00	0,357	Orta Sıkışabilir
	21,00-21,45	40,00	0,210	Orta Sıkışabilir
	6,00-6,45	31,00	0,147	Düşük Sıkışabilir
	9,00-9,45	28,00	0,126	Düşük Sıkışabilir
	12,00-12,45	67,00	0,399	Orta Sıkışabilir
	15,00-15,45	58,00	0,336	Orta Sıkışabilir
	18,00-18,45	61,00	0,357	Orta Sıkışabilir
	21,00-21,45	60,00	0,350	Orta Sıkışabilir
	24,00-24,45	35,00	0,175	Düşük Sıkışabilir
28,50-28,95	41,00	0,217	Orta Sıkışabilir	
MMT-51	1,50-1,95	33,00	0,161	Düşük Sıkışabilir
	7,00-7,50	30,00	0,140	Düşük Sıkışabilir
	13,00-13,50	39,00	0,203	Orta Sıkışabilir
	14,50-15,00	59,00	0,343	Orta Sıkışabilir
	18,00-18,45	59,00	0,343	Orta Sıkışabilir
	21,00-21,45	53,00	0,301	Orta Sıkışabilir
MMT-52	9,00-9,45	40,00	0,210	Orta Sıkışabilir
MMT-53	2,50-3,00	41,00	0,217	Orta Sıkışabilir
MMT-54	4,00-4,50	32,00	0,154	Düşük Sıkışabilir
	6,00-6,45	32,00	0,154	Düşük Sıkışabilir
	9,00-9,45	32,00	0,154	Düşük Sıkışabilir
MMT-55	4,00-4,50	36,00	0,182	Düşük Sıkışabilir
	4,50-4,95	25,00	0,105	Düşük Sıkışabilir
	7,00-7,50	31,00	0,147	Düşük Sıkışabilir
MMT-56	2,50-3,00	38,00	0,196	Düşük Sıkışabilir
	7,50-7,95	37,00	0,189	Düşük Sıkışabilir
	10,50-10,95	40,00	0,210	Orta Sıkışabilir
	11,50-11,95	40,00	0,210	Orta Sıkışabilir

EK 7 (devam). Sıkışma indeksi verileri.

Sondaj No	Derinlik (m)	LL	Sıkışma İndeksi	Tanım
MMT-57	3,00-3,45	36,00	0,182	Düşük Sıkışabilir
MMT-58	3,00-3,45	37,00	0,189	Düşük Sıkışabilir
	6,00-6,50	37,00	0,189	Düşük Sıkışabilir
	10,00-10,50	51,00	0,287	Orta Sıkışabilir
	12,00-12,45	51,00	0,287	Orta Sıkışabilir
	15,00-15,45	51,00	0,287	Orta Sıkışabilir
	19,50-19,95	43,00	0,231	Orta Sıkışabilir

EK 8. Likit limit değerlerine göre elde edilen şişme basıncı ve şişme derecesi.

Sondaj No	Derinlik (m)	LL	Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı kN/m ³	Şişme Derecesi
MMT-49B	4,50-4,95	28,00	<1	50	Düşük
	6,00-6,45	27,00	<1	50	Düşük
MMT-49	2,50-3,00	45,00	5-10	250-1000	Yüksek
	3,00-3,45	45,00	5-10	250-1000	Yüksek
	6,00-6,45	45,00	5-10	250-1000	Yüksek
	9,00-9,45	25,00	<1	50	Düşük
	16,50-16,95	61,00	>10	> 1000	Çok yüksek
	21,00-21,45	40,00	5-10	250-1000	Yüksek
MMT-50	6,00-6,45	31,00	5-10	250-1000	Yüksek
	9,00-9,45	28,00	<1	50	Düşük
	12,00-12,45	67,00	>10	> 1000	Çok yüksek
	15,00-15,45	58,00	5-10	250-1000	Yüksek
	18,00-18,45	61,00	>10	> 1000	Çok yüksek
	21,00-21,45	60,00	5-10	250-1000	Yüksek
	24,00-24,45	35,00	1-5	150-250	Orta
	28,50-28,95	41,00	5-10	250-1000	Yüksek
MMT-51	7,00-7,50	30,00	<1	50	Düşük
	13,00-13,50	39,00	1-5	150-250	Orta
	14,50-15,00	59,00	5-10	250-1000	Yüksek
	18,00-18,45	59,00	5-10	250-1000	Yüksek
	21,00-21,45	53,00	5-10	250-1000	Yüksek
MMT-52	9,00-9,45	40,00	5-10	250-1000	Yüksek
MMT-53	2,50-3,00	41,00	5-10	250-1000	Yüksek
MMT-54	4,00-4,50	32,00	1-5	150-250	Orta
	6,00-6,45	32,00	1-5	150-250	Orta
MMT-55	4,00-4,50	36,00	1-5	150-250	Orta
	4,50-4,95	25,00	<1	50	Düşük
	7,00-7,50	31,00	1-5	150-250	Orta
MMT-56	2,50-3,00	38,00	1-5	150-250	Orta
	7,50-7,95	37,00	1-5	150-250	Orta
	10,50-10,95	40,00	5-10	250-1000	Yüksek
	11,50-12,00	40,00	5-10	250-1000	Yüksek
MMT-57	3,00-3,45	36,00	1-5	150-250	Orta
MMT-58	3,00-3,45	37,00	1-5	150-250	Orta
	6,00-6,50	37,00	1-5	150-250	Orta
	10,00-10,50	51,00	5-10	250-1000	Yüksek
	12,00-12,45	51,00	5-10	250-1000	Yüksek
	15,00-15,45	51,00	5-10	250-1000	Yüksek
	19,50-19,95	43,00	5-10	250-1000	Yüksek

EK 9. TS 1500/2000 e göre zeminlerin sınıflandırılması.

		SINIFI	
		SİMGE	GRUP ADI ^B
İRİ DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm 75 µm'den büyük)	ÇAKILLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası	Temiz Çakıllar (% 5'ten az ince içeriyor)	$C_u \geq 4$ ve $1 \leq C_r \leq 3$ Düzgün dane dağılımlı çakıl ^C
		Kirli Çakıllar (İncesi % 5'ten fazla) ^A	$C_u < 4$ ve/veya $1 > C_r > 3$ Üniform çakıl ^C
	KUMLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası	Temiz Kumlar (% 5'ten az incesi var)	İnceleri ML, MI veya MH İnceleri CL, CI veya CH $C_u \geq 6$ ve $1 \leq C_r \leq 3$ Düzgün dane dağılımlı kum ^D
		Kirli Kumlar (İncesi % 5'ten fazla) ^A	$C_u < 6$ ve/veya $1 > C_r > 3$ Üniform kum ^D
İNCE DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm'den küçük)	SİLTLER VE KİLLER (Likit limiti 35'ten düşük)	Anorganik	SM Siltli kum ^D SC Killi kum ^D
		Anorganik	CL ^E Düşük plastisiteli kil ML ^E Düşük plastisiteli silt
	SİLTLER VE KİLLER (Likit limiti 35'e eşit veya 50'den küçük)	Anorganik	CI ^E Orta plastisiteli kil MI ^E Orta plastisiteli silt
		Anorganik	CH ^E Yüksek plastisiteli (yağlı) kil MH ^E Yüksek plastisiteli (elastik) silt
ORGANİK ZEMİN	Koyu renkli, Kokulu, Aşırı organik malzeme içeriyor	PT	Turba

EK 11. Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

BİNA OTURMA BULONU (BB) ÖLÇÜMLERİ-TRAKYA FORMASYONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
B-01	15+566,834	-0,003	B-168	16+738,786	-0,001
B-02	15+577,056	-0,003	B-169	16+743,438	-0,003
B-03	15+589,247	-0,002	B-170	16+743,973	-0,012
B-04	15+598,402	-0,004	B-171	16+749,374	-0,002
B-05	15+602,995	-0,004	B-172	16+688,669	-0,001
B-06	15+606,281	-0,005	B-173	16+697,121	-0,002
B-07	15+615,079	-0,006	B-174	16+698,586	-0,001
B-08	15+619,896	-0,009	B-175	16+703,679	-0,001
B-09	15+611,805	-0,009	B-176	16+737,900	-0,006
B-13	15+648,551	-0,011	B-177	16+731,096	-0,009
B-15	15+629,858	-0,010			

BİNA OTURMA BULONU (BB) ÖLÇÜMLERİ GÜNGÖREN-ÇUKURÇEŞME FORMASYONLARI GEÇİŞ ZONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
B-45	16+072,057	-0,003	B-71	16+139,560	-0,004
B-47	16+087,526	-0,001	B-72	16+152,364	-0,002
B-48	16+087,680	-0,001	B-73	16+142,665	-0,003
B-49	16+095,126	-0,001	B-74	16+134,387	-0,004
B-50	16+095,378	-0,002	B-75	16+124,411	-0,005
B-51	16+103,166	-0,002	B-76	16+119,072	-0,005
B-52	16+103,275	-0,002	B-77	16+109,791	-0,005
B-70	16+148,922	-0,003	B-78	16+103,890	-0,007
			B-79	16+086,750	-0,006

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

BİNA OTURMA BULONU (BB) ÖLÇÜMLERİ-GÜNGÖREN FORMASYONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
B-10	15+684,287	-0,014	B-37	16+030,291	-0,003
B-11	15+675,359	-0,015	B-38	16+044,934	-0,001
B-12	15+656,652	-0,016	B-39	16+052,415	-0,001
B-14	15+639,240	-0,011	B-40	16+052,571	-0,001
B-16	15+727,092	-0,011	B-41	16+059,880	-0,001
B-17	15+722,408	-0,012	B-42	16+060,098	-0,001
B-18	15+711,798	-0,002	B-44	16+067,496	-0,003
B-19	15+728,648	-0,012	B-46	16+075,080	-0,001
B-20	15+831,135	-0,005	B-54	15+951,140	-0,023
B-21	15+817,535	-0,010	B-55	15+961,884	-0,017
B-22	15+807,113	-0,009	B-56	15+962,059	-0,018
B-23	15+796,429	-0,008	B-57	15+971,409	-0,019
B-24	15+783,937	-0,005	B-58	15+975,055	-0,018
B-25	15+962,796	-0,021	B-59	15+974,924	-0,010
B-26	15+970,055	-0,020	B-60	15+982,118	-0,016
B-27	15+975,243	-0,020	B-61	15+982,094	-0,016
B-28	15+990,469	-0,015	B-62	15+988,849	-0,012
B-29	15+999,614	-0,009	B-63	15+996,513	-0,011
B-30	15+999,904	-0,011	B-64	15+996,471	-0,009
B-31	16+020,274	-0,002	B-65	16+003,558	-0,005
B-33	16+015,704	-0,008	B-66	16+003,875	-0,007
B-34	16+022,706	-0,004	B-67	16+011,000	-0,007
B-35	16+022,857	-0,004	B-69	16+018,487	-0,007
B-36	16+027,510	-0,004			

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

BİNA OTURMA BULONU (BB) ÖLÇÜMLERİ-ÇUKURÇEŞME FORMASYONU						
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)		Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
B-80	16+160,080	-0,001		B-121	16+267,779	-0,001
B-81	16+170,538	-0,002		B-122	16+258,944	-0,001
B-82	16+163,916	-0,001		B-123	16+252,237	-0,001
B-83	16+170,619	-0,001		B-124	16+235,662	-0,001
B-84	16+176,889	-0,001		B-125	16+223,086	-0,001
B-85	16+176,521	-0,002		B-127	16+351,489	-0,004
B-86	16+182,959	-0,001		B-128	16+356,551	-0,003
B-87	16+195,074	-0,001		B-129	16+358,940	-0,001
B-88	16+186,040	-0,002		B-130	16+363,515	-0,003
B-89	16+191,977	-0,002		B-131	16+365,954	-0,003
B-90	16+198,124	-0,002		B-132	16+370,637	-0,003
B-91	16+201,543	-0,004		B-133	16+373,371	-0,001
B-92	16+212,470	-0,004		B-134	16+380,266	-0,003
B-93	16+225,325	-0,011		B-135	16+380,528	-0,004
B-94	16+223,961	-0,004		B-136	16+382,414	-0,004
B-95	16+232,929	-0,003		B-137	16+388,485	-0,003
B-96	16+236,089	-0,010		B-138	16+394,570	-0,003
B-97	16+239,944	-0,006		B-145	16+149,971	-0,009
B-98	16+240,216	-0,002		B-146	16+152,659	-0,033
B-99	16+249,688	-0,002		B-147	16+161,685	-0,008
B-100	16+251,212	-0,002		B-148	16+161,992	-0,036
B-101	16+258,603	-0,003		B-149	16+164,281	-0,007
B-102	16+256,414	-0,003		B-150	16+169,002	-0,013
B-103	16+267,225	-0,003		B-151	16+175,174	0,005
B-104	16+265,343	-0,003		B-152	16+177,859	-0,002
B-105	16+273,748	-0,003		B-153	16+184,674	-0,006
B-106	16+270,977	-0,004		B-154	16+182,005	-0,004
B-107	16+284,023	-0,004		B-155	16+191,089	-0,003
B-108	16+281,829	-0,003		B-156	16+193,493	-0,004
B-109	16+289,079	-0,003		B-157	16+199,354	-0,004
B-110	16+289,880	-0,003		B-158	16+198,005	-0,001
B-111	16+296,960	-0,001		B-159	16+204,388	-0,004
B-112	16+303,525	-0,004		B-160	16+205,868	-0,001
B-113	16+310,497	-0,004		B-161	16+211,733	-0,002
B-114	16+306,620	-0,004		B-162	16+207,444	-0,002
B-115	16+330,115	-0,001		B-163	16+214,521	-0,001
B-116	16+317,005	-0,001		B-164	16+217,085	-0,001
B-117	16+304,917	-0,001		B-165	16+226,315	-0,001
B-118	16+298,177	-0,001		B-166	16+218,719	-0,001
B-119	16+286,150	-0,001		B-167	16+224,106	-0,001
B-120	16+274,440	-0,001				

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

YÜZEY OTURMA BULONU (SMP-Y) ÖLÇÜMLERİ-TRAKYA FORMASYONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
Y-01	15+569,005	-0,002	Y-111	16+837,433	-0,001
Y-02	15+574,372	-0,002	Y-112	16+847,168	-0,001
Y-03	15+590,358	-0,003	Y-113	16+857,691	-0,001
Y-04	15+597,618	-0,003	Y-114	16+872,768	-0,001
Y-05	15+602,826	-0,003	Y-115	16+883,594	-0,001
Y-06	15+607,447	-0,004	Y-116	16+895,188	-0,001
Y-07	15+533,704	-0,008	Y-117	16+906,315	-0,001
Y-08	15+533,811	-0,009	Y-118	16+918,238	-0,001
Y-09	15+538,728	-0,008	Y-119	16+929,186	-0,001
Y-10	15+551,715	-0,007	Y-120	16+941,474	-0,001
Y-11	15+560,536	-0,007	Y-121	16+960,606	-0,001
Y-12	15+566,092	-0,006	Y-122	16+961,435	-0,002
Y-13	15+612,539	-0,006	Y-123	16+962,332	-0,001
Y-14	15+612,289	-0,007	Y-124	16+976,266	-0,003
Y-15	15+611,191	-0,008	Y-159	16+755,083	-0,010
Y-37	15+552,350	-0,002	Y-160	16+769,011	-0,010
			Y-161	16+785,098	-0,001
			Y-162	16+820,978	-0,007
			Y-163	16+831,053	-0,004
			Y-164	16+839,744	-0,001
			Y-165	16+850,460	-0,001
			Y-166	16+812,360	-0,004
			Y-167	16+804,944	-0,001
			Y-168	16+764,315	-0,001
			Y-169	16+918,747	-0,007
			Y-170	16+913,087	-0,008
			Y-171	16+917,138	-0,007

YÜZEY OTURMA BULONU (SMP-Y) ÖLÇÜMLERİ TRAKYA-GÜNGÖREN FORMASYONLARI GEÇİŞ ZONU		
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
Y-19	15+652,482	-0,012
Y-20	15+646,982	-0,015
Y-21	15+634,753	0,000

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

YÜZEY OTURMA BULONU (SMP-Y) ÖLÇÜMLERİ GÜNGÖREN FORMASYONU						
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)		Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
Y-16	15+688,094	-0,020		Y-125	16+987,690	-0,003
Y-17	15+683,661	-0,016		Y-126	17+005,597	-0,002
Y-18	15+679,596	-0,012		Y-127	16+984,976	-0,002
Y-22	15+716,112	-0,011		Y-128	16+981,123	-0,006
Y-23	15+713,304	-0,014		Y-129	16+997,666	-0,004
Y-24	15+706,681	-0,015				
Y-25	15+715,029	-0,014				
Y-26	15+764,959	-0,006				
Y-27	15+771,244	-0,005				
Y-28	15+775,155	-0,005				
Y-29	15+851,974	-0,013				
Y-30	15+858,273	-0,005				
Y-31	15+837,698	-0,003				
Y-32	15+836,587	-0,008				
Y-33	15+834,750	-0,002				
Y-34	15+794,928	-0,006				
Y-35	15+788,847	-0,007				
Y-36	15+781,603	-0,006				
Y-38	15+875,036	-0,006				
Y-39	15+884,282	-0,006				
Y-40	15+888,687	-0,017				
Y-41	15+887,995	-0,021				
Y-42	15+899,533	-0,041				
Y-43	15+898,596	-0,017				
Y-44	15+893,975	-0,007				
Y-45	15+920,661	-0,011				
Y-46	15+922,259	-0,023				
Y-47	15+939,378	-0,009				
Y-48	15+940,422	-0,006				
Y-49	15+938,723	-0,004				
Y-50	15+951,748	-0,011				
Y-51	15+959,037	-0,006				
Y-52	15+971,505	-0,008				
Y-53	15+996,177	-0,008				
Y-54	16+007,033	-0,006				
Y-56	15+958,310	-0,014				
Y-57	16+016,835	-0,003				
Y-58	16+040,000	-0,003				
Y-59	16+060,000	-0,002				
Y-60	16+062,023	-0,002				

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

YÜZEY OTURMA BULONU (SMP-Y) ÖLÇÜMLERİ ÇUKURÇEŞME FORMASYONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
Y-74	16+222,541	-0,007	Y-106	16+642,522	-0,001
Y-75	16+319,794	-0,010	Y-107	16+652,412	-0,003
Y-76	16+322,403	-0,004	Y-108	16+662,329	-0,003
Y-77	16+314,509	-0,001	Y-109	16+670,308	-0,004
Y-78	16+337,739	-0,002	Y-110	16+678,221	-0,005
Y-79	16+339,892	-0,007	Y-130	16+421,322	-0,006
Y-80	16+401,145	-0,002	Y-131	16+432,693	-0,006
Y-81	16+401,671	-0,005	Y-132	16+443,529	-0,004
Y-82	16+400,307	-0,004	Y-133	16+454,944	-0,010
Y-83	16+413,102	-0,002	Y-134	16+468,342	-0,011
Y-84	16+423,016	-0,007	Y-135	16+481,828	-0,011
Y-85	16+433,008	-0,005	Y-136	16+493,118	-0,001
Y-86	16+443,082	-0,005	Y-137	16+504,229	-0,005
Y-87	16+453,055	-0,004	Y-138	16+515,901	0,003
Y-88	16+463,071	-0,005	Y-139	16+526,605	-0,001
Y-89	16+473,751	-0,006	Y-140	16+535,310	-0,002
Y-90	16+483,754	-0,005	Y-141	16+546,298	-0,002
Y-91	16+493,797	-0,004	Y-142	16+558,108	-0,001
Y-92	16+503,000	-0,004	Y-143	16+569,442	-0,001
Y-93	16+512,986	-0,002	Y-144	16+510,475	-0,063
Y-94	16+523,024	-0,002	Y-146	16+514,705	-0,052
Y-95	16+532,982	-0,002	Y-147	16+520,760	-0,003
Y-96	16+542,943	-0,004	Y-148	16+520,933	-0,003
Y-97	16+552,928	-0,006	Y-149	16+581,912	-0,001
Y-98	16+562,939	-0,003	Y-150	16+585,318	-0,001
Y-99	16+572,938	0,001	Y-151	16+589,240	-0,001
Y-100	16+582,973	-0,002	Y-152	16+642,808	-0,001
Y-101	16+592,830	-0,001	Y-153	16+650,862	-0,001
Y-102	16+602,781	-0,002	Y-154	16+660,082	-0,001
Y-103	16+612,284	-0,002	Y-155	16+668,738	-0,001
Y-104	16+622,113	0,000	Y-156	16+682,826	-0,001
Y-105	16+632,069	-0,001	Y-157	16+712,880	-0,004
			Y-158	16+721,963	-0,004

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

YÜZEY OTURMA BULONU (SMP-Y) ÖLÇÜMLERİ					
GÜNGÖREN-ÇUKURÇEŞME FORMASYONLARI ARASI GEÇİŞ ZONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
Y-61	16+080,000	-0,007	Y-67	16+123,115	-0,005
Y-62	16+082,307	-0,004	Y-68	16+119,701	-0,004
Y-63	16+086,057	-0,005	Y-69	16+125,884	-0,006
Y-64	16+096,962	-0,002	Y-70	16+139,675	-0,010
Y-65	16+102,598	-0,006	Y-71	16+143,516	-0,004
Y-66	16+100,000	-0,014	Y-72	16+154,806	-0,001
			Y-73	16+107,164	-0,002

BİNA YATAY DEPLASMAN REFLEKTÖRÜ (BMP-R) ÖLÇÜMLERİ					
TRAKYA FORMASYONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
R-427	16+807,39	-2	R-451	16+931,79	-5
R-428	16+805,93	-1	R-452	16+956,49	-1
R-429	16+798,84	-1	R-453	16+957,08	-1
R-430	16+799,90	-2	R-454	16+945,36	-1
R-431	16+798,04	-2	R-455	16+948,24	-2
R-432	16+797,99	-2	R-456	16+945,21	-1
R-433	16+785,17	-2	R-457	16+945,24	-1
R-434	16+783,93	-2	R-458	16+937,21	-1
R-435	16+776,09	-4	R-459	16+934,40	-1
R-436	16+775,80	-4	R-460	16+925,81	-3
R-437	16+783,53	-6	R-461	16+929,72	-2
R-438	16+783,14	-4	R-462	16+912,54	-7
R-439	16+767,93	-3	R-463	16+904,34	-3
R-440	16+768,49	-4	R-475	16+967,60	-9
R-441	16+801,26	-3	R-476	16+967,61	-8
R-442	16+804,78	-2	R-477	16+968,10	-7
R-443	16+893,97	-1	R-478	16+968,44	-6
R-444	16+886,17	-1	R-479	16+968,29	-4
R-445	16+886,53	-1	R-480	16+968,29	-4
R-446	16+931,79	-3	R-481	16+967,22	-1
R-447	16+931,53	-3	R-482	16+967,24	-1
R-448	16+931,93	-4	R-483	16+966,50	-1
R-449	16+931,56	-4	R-484	16+966,46	-1
R-450	16+931,81	-5	R-485	16+960,80	-2
			R-486	16+961,67	-2

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

BİNA YATAY DEPLASMAN REFLEKTÖRÜ (BMP-R) ÖLÇÜMLERİ GÜNGÖREN FORMASYONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
R-1	16+008,69	-5	R-464	16+980,89	-2
R-2	16+005,94	-7	R-465	16+981,01	-2
R-3	16+012,91	-6	R-466	16+983,90	-5
R-4	16+012,95	-7	R-467	16+983,88	-5
R-5	16+013,37	-6	R-468	16+985,35	-5
R-6	16+019,64	-3	R-469	16+985,20	-5
R-7	16+019,16	-4	R-470	16+988,12	-7
R-8	16+029,15	-1	R-471	16+994,01	-3
R-9	16+027,27	-3	R-472	16+993,92	-3
R-10	16+034,31	-2	R-473	16+994,26	-4
R-11	16+034,04	-2	R-474	16+994,35	-1
R-12	16+034,77	-2	R-487	17+018,80	-5
R-13	16+035,06	-1	R-488	17+019,20	-5
R-14	16+041,47	-2	R-489	17+010,65	-1
R-15	16+041,39	-1	R-490	17+009,67	-1
R-16	16+041,86	-1	R-491	17+005,10	-1
R-17	16+041,87	-1	R-492	17+004,63	-1
R-18	16+048,71	-1	R-493	17+001,15	-1
R-19	16+048,78	-1	R-494	17+001,16	-1
R-20	16+056,67	-3			
R-21	16+056,26	-3			
R-22	16+062,49	-2			
R-23	16+063,30	-3			
R-24	16+065,24	-2			
R-25	16+071,13	-2			

BİNA YATAY DEPLASMAN REFLEKTÖRÜ (BMP-R) ÖLÇÜMLERİ ÇUKURÇEŞME-TRAKYA FORMASYONLARI ARASI GEÇİŞ ZONU					
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri(mm)	Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri(mm)
R-419	16+733,40	-2	R-423	16+727,30	-4
R-420	16+732,70	-2	R-424	16+727,18	-4
R-421	16+730,71	-4	R-425	16+721,81	-6
R-422	16+730,15	-3	R-426	16+719,82	-5

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

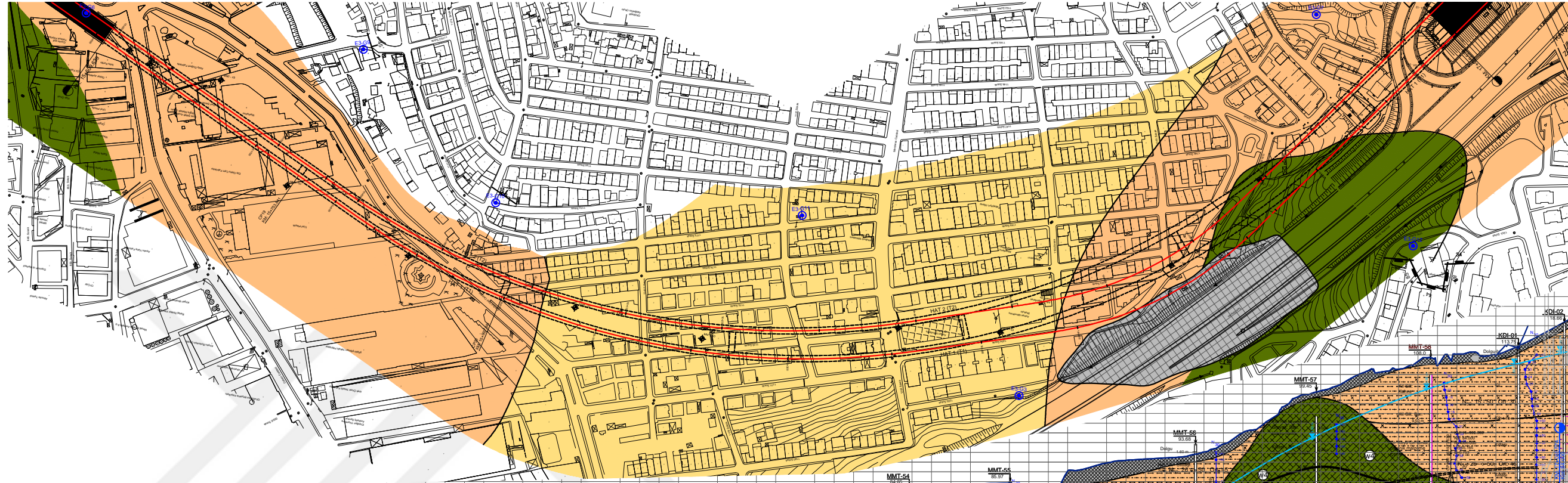
BİNA YATAY DEPLASMAN REFLEKTÖRÜ (BMP-R) ÖLÇÜMLERİ ÇUKURÇEŞME FORMASYONU						
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri(mm)		Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri(mm)
R-26	16+149,71	-1		R-133	16+236,74	-3
R-32	16+175,69	-1		R-134	16+236,46	-2
R-39	16+197,62	-2		R-135	16+225,24	-4
R-40	16+207,11	-1		R-136	16+225,34	-3
R-41	16+214,03	-3		R-137	16+351,06	-4
R-47	16+215,04	-3		R-138	16+351,43	-1
R-48	16+211,52	-4		R-139	16+359,19	-4
R-50	16+205,90	-2		R-140	16+359,40	-3
R-51	16+205,59	-4		R-141	16+364,70	-4
R-52	16+204,62	-1		R-142	16+364,90	-2
R-53	16+204,04	-4		R-143	16+373,77	-3
R-54	16+197,50	-4		R-144	16+374,05	-4
R-55	16+197,45	-3		R-145	16+379,61	-4
R-56	16+192,60	-5		R-146	16+379,62	-4
R-57	16+194,25	-4		R-147	16+394,74	-4
R-58	16+183,68	-5		R-148	16+394,56	-3
R-59	16+183,32	-7		R-149	16+381,55	-4
R-60	16+151,12	-2		R-150	16+379,45	-2
R-61	16+150,47	-2		R-151	16+380,46	-4
R-62	16+153,38	-4		R-152	16+372,53	-2
R-63	16+153,14	-1		R-153	16+372,11	-1
R-64	16+150,08	-2		R-174	16+306,37	-2
R-84	16+192,03	-2		R-175	16+305,79	-3
R-85	16+191,92	-1		R-176	16+316,02	-4
R-86	16+182,70	-1		R-177	16+316,50	-2
R-87	16+184,78	-1		R-178	16+330,52	-5
R-88	16+176,24	-2		R-179	16+330,48	-3
R-89	16+175,68	-1		R-180	16+339,78	-3
R-90	16+164,11	-1		R-181	16+340,31	-3
R-113	16+307,36	-2		R-182	16+348,35	-5
R-114	16+309,79	-2		R-228	16+457,53	-2
R-115	16+303,37	-5		R-229	16+457,46	-4
R-116	16+303,20	-3		R-230	16+470,17	-5
R-117	16+296,71	-3		R-231	16+470,72	-3
R-118	16+296,59	-2		R-232	16+479,53	-5
R-119	16+289,61	-2		R-233	16+479,98	-4
R-120	16+289,56	-1		R-234	16+481,41	-6
R-129	16+250,73	-5		R-235	16+481,81	-4
R-130	16+251,63	-3		R-236	16+484,08	-7
R-131	16+240,01	-4		R-237	16+484,31	-4
R-132	16+240,10	-2		R-238	16+523,13	-5

EK 11 (devam). Bina Oturma Bulonu (BB), Yüzey Oturma Bulonu (SMP-Y) ve Bina Yatay Deplasman Reflektörü (R) Ölçümleri.

BİNA YATAY DEPLASMAN REFLEKTÖRÜ (BMP-R) ÖLÇÜMLERİ ÇUKURÇEŞME FORMASYONU (devam)						
Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)		Nokta Adı	Km	Maksimum Deformasyon Değerleri (mm)
R-239	16+523,00	-4		R-349	16+450,69	-3
R-240	16+525,11	-5		R-350	16+450,76	-3
R-241	16+524,94	-3		R-351	16+461,30	-4
R-242	16+525,66	-5		R-352	16+458,12	-4
R-243	16+525,55	-4		R-353	16+464,93	-2
R-244	16+543,14	-4		R-354	16+465,61	-3
R-245	16+543,15	-1		R-355	16+475,76	-1
R-246	16+571,91	-3		R-356	16+474,72	-3
R-247	16+567,17	-2		R-357	16+477,43	-2
R-248	16+560,07	-3		R-358	16+476,69	-2
R-249	16+421,46	-2		R-359	16+489,13	-1
R-250	16+421,52	-3		R-360	16+489,82	-3
R-251	16+427,94	-2		R-361	16+491,37	-1
R-252	16+427,98	-3		R-362	16+492,51	-2
R-253	16+456,77	-4		R-363	16+503,71	-2
R-254	16+456,87	-5		R-364	16+502,74	-3
R-255	16+462,69	-3		R-365	16+505,52	-1
R-256	16+462,80	-5		R-401	16+678,37	-2
R-257	16+482,81	-6		R-402	16+674,18	-6
R-258	16+482,26	-5		R-404	16+669,95	-5
R-259	16+418,64	-6		R-405	16+660,41	-5
R-260	16+418,57	-6		R-406	16+659,06	-5
R-261	16+430,39	-7		R-407	16+675,10	-4
R-262	16+430,59	-5		R-408	16+673,87	-4
R-263	16+442,73	-6		R-409	16+683,26	-4
R-264	16+440,11	-5		R-410	16+679,96	-2
R-265	16+444,09	-5		R-411	16+690,56	-3
R-266	16+451,69	-1		R-412	16+689,24	-3
R-267	16+456,80	-1		R-413	16+703,25	-5
R-268	16+457,57	-1		R-414	16+700,16	-1
R-270	16+465,63	-1				

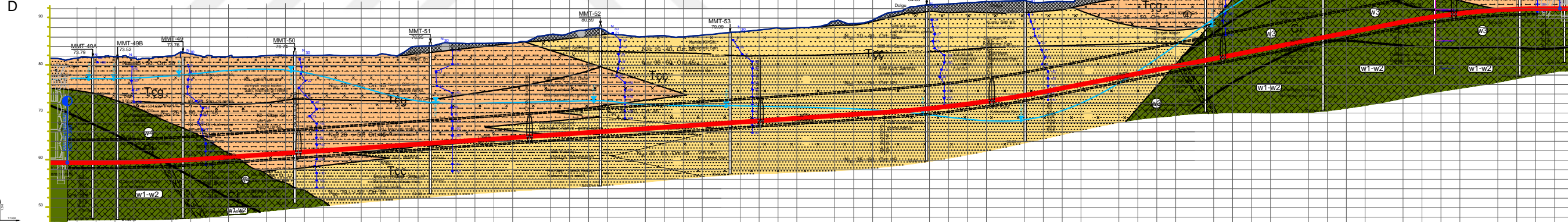
EK 12. Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı Yenimahalle-Karadeniz İstasyonları Arası
Güzergahının Mühendislik Jeolojisi Haritası-Kesiti ve Jeoteknik Bilgi Çizelgesi.





AÇIKLAMALAR

- Yapay Dolgu
- Güngören Formasyonu
Kil - Kilitli, Kumlu Kil, Kumlu Kilitli
- Çukürçeşme Formasyonu
Kum, Kilitli Silt Ara Seviyeli
- Trakya Formasyonu
Kumtaşı - Şeyl Ardalanması
- Sağ Hat
- Sol Hat
- Dokanak
- Zemin İnceleme Sondajı
- Gözlem Noktası
- Tabaka Eğim Doğrultu
- Eklem-Çatlık Eğim Doğrultu
- RQD=10 Ortalama Kaya Kalite Değeri
- N30 Penetrasyon Direnci
- Yeraltı Su Seviyesi
- γ/ρ Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)
- c Kohezyon (kPa)
- ϕ Kayma Mukavemet Açısı (derece)
- Em Deformasyon Modülü (MPa)
- μ Poisson Oranı



YAPIL TÜRÜ	TİM L1-1/1A-1/1B		TİM L1-1/1A-1/1C		TİM L1-1/1A-1/1D		TİM L1-1/1A-1/1E		TİM L1-1/1A-1/1F	
YAPIL KODU										
YAPIL ADI										
KİMLİK										
FORMASYON ÖZNE	Trakya (Ct)	Trakya (Ct)	Çekmece, Güngören - Çukürçeşme (Tçg - Tçç)	Çekmece, Güngören - Çukürçeşme (Tçg - Tçç)	Çekmece, Çukürçeşme (Tçç)	Çekmece, Çukürçeşme (Tçç)	Trakya (Ct)	Çekmece, Güngören-Çukürçeşme (Tçg-Tçç)		
LİTOLOJİK AYRILMA GRUPLARI	Kumtaşı - Silttaşı Ardalanması, w1-w2	Silttaşı - Kumtaşı, w4	Sert Kil, Siltli Kil, Kumlu Kil (4)	Sert Kil, Siltli Kil, Kumlu Kil (4)	Sıkı Kum - Siltli Kum (7)	Sıkı Kum - Siltli Kum (7)	Silttaşı - Kilitli w3(Kamen w4)	Sert Kil, Siltli Kil, Kumlu Kil (4)		
YEREL YEREL DÖNE YEREL DÖNE	+12.60 +12.60	+12.90	+12.20	+3.70	+1.60	-1.50	-6.20 -10.30	+2.40 +12.00 +17.60 +21.00		
GEÇİMLİLİK	0.83 0.79	0.80	---	---	---	---	2.01	0.50 1.35		
TCR (RQD) (%)										
Q										
NO/CO	1.25	0.15	---	---	---	---	---	0.50	---	---
FSR										
CSIR (RMR)	42	23	---	---	---	---	---	36	---	---
CSIR (RMR) (ENGIN 2002)										
CSIR	50	30	---	---	---	---	---	40	---	---
YEREL YEREL YEREL YEREL	$\gamma_n = 24, c=150, \phi=36, Em=1.860, \mu=0.30$	$\gamma_n = 24, c=50, \phi=26, Em=540, \mu=0.30$	$\gamma_n = 21, c=150, \phi=0, Em=30, \mu=0.32$	$\gamma_n = 21, c=150, \phi=0, Em=30, \mu=0.32$	$\gamma_n = 19.5, c=5, \phi=32, Em=30, \mu=0.32$	$\gamma_n = 19.5, c=5, \phi=32, Em=30, \mu=0.32$	$\gamma_n = 26, c=110, \phi=33, Em=1.325, \mu=0.30$	$\gamma_n = 21, c=150, \phi=0, Em=30, \mu=0.32$		

EK-12
MECİDİYEKÖY-MAHUTBEY METRO HATTI
YENİMAHALLE-KARADENİZ İSTASYONLARI ARASI GÜZERGAHIN
JEOLJİ HARİTASI, KESİTİ VE JEOTEKNİK BİLGİ ÇİZELGESİ

Gülermak-Kolin-Kalyon Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Yapım Ortaklığı'ndan değiştirilerek alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Tülay Çınar
Doğum Yeri	Beyoğlu
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokunun.
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	542-4707974
E-Posta Adresi	tuly.cnar@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kocaeli Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Jeoloji Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2009

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Jeoloji Mühendisliği
Programı	Jeoloji Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	2016