İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SARIYER – ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELİ'NİN MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

Mehmet Okay ŞAHİN

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Programı

Danışman

Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ

TEMMUZ, 2010

İSTANBUL

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SARIYER – ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELİ'NİN MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

Mehmet Okay ŞAHİN

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Programı

Danışman

Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ

TEMMUZ, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 19/07/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Uygulamalı Jeoloji programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Namık YALÇIN
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Malik GÖZÜBOL
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL
İstanbul Üniversitesi

Yard. Doç. Fethi Ahmet YÜKSEL
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışma T.C. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konusu belirlememde ve tez çalışmalarım süresince yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Süleyman DALGIÇ'a, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca değerli görüş ve bilgilerini paylaşan hocam Prof. Dr. Ali Malik GÖZÜBOL'a, arazi ve büro çalışmalarımda yardımlarını eksik etmeyen hocam Yard. Doç. Dr. Namık AYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tünel şantiyesinde araştırmalarım, çalışmaları takibim ve bilgi teminim sırasında her zaman yardımcı olan İnşaat Yük. Müh. Hamdi Türedi ve tüm Türedi Mühendislik çalışanlarına ve Öztaş İnşaat Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş.'den İnşaat Mühendisi Gökhan AYDIN, Harita Mühendisi İzzet DİLLİ, Jeoloji Mühendisi Derya KARATAŞ'a, bana her zaman destek olan İBB Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü Konservasyon ve Restorasyon Laboratuarındaki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda tez çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Derya ALBAYRAK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i

İÇİNDEKİLER ii

ŞEKİL LİSTESİ v

TABLO LİSTESİ vii

ÖZET viii

SUMMARY x

1. GİRİŞ 1

1.1. ÇALIŞMANIN VE PROJENİN AMACI 1

1.2. İNCELEME ALANININ TANITIMI 2

1.2.1. Konumu, Ulaşım ve Nüfus 2

1.2.2. Morfoloji 4

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü 4

1.3. TÜNELİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ 5

2. MATERYAL VE YÖNTEM 8

3. GENEL JEOLOJİ 9

3.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 9

3.2. STRATİGRAFİ 11

3.2.1. Gözdağ Formasyonu (Osg) 12

3.2.2. Baltalimanı Formasyonu (Kb) 15

3.2.3. Trakya Formasyonu (Ct) 15

3.2.4. Sarıyer Formasyonu (Krs) 20

3.2.5. Belgrad Formasyonu (Nb) 22

3.2.6. Diyabaz Daykları 22

3.2.7. Alüvyon (Qal) 25

3.3. YAPISAL JEOLOJİ VE TEKTONİK 26

3.4. DEPREMSELLİK 27

4. MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ 29

4.1. SONDAJLAR 29

4.2. TÜNEL GÜZERGÂHINDA GEÇİLEN ZEMİN VE KAYA ORTAMLARIN MÜHENDİSLİK PARAMETRELERİ 42

4.2.1. Alüvyal Zeminler 42

4.2.2. Neojen Çökeller 42

4.2.3. Trakya Formasyonu 43

4.2.4. Baltalimanı Formasyonu 44

4.2.5. Gözdağ Formasyonu 45
4.3. TÜNEL GÜZERGÂHINDA KARŞILAŞILAN ZEMİN VE KAYA ORTAMLARIN TÜNELCİLİK AÇISINDAN SINIFLANDIRILMASI..... 46
4.3.1. RMR Kaya Kütlesi Sınıflaması (Bienawski 1989) 47
4.3.2. Q Sistemi 49
4.3.3. GSI Jeolojik Dayanım İndeksi 50
4.3.4. Birimlerin Kaya Sınıflama Sistemleri Işığında Değerlendirilmesi 51
4.4. SARIYER – ÇAYIRBAŞI TÜNELİNDE KULLANILAN TAHKİMAT ELEMANLARI 54
4.4.1. Püskürtme Beton ve Çelik Hasır 54
4.4.2. Kaya Bulonları 57
4.4.3. Çelik İksa 61
4.4.4. Sürenler 62
4.4.5. Ayna Püskürtme Betonu 64
4.4.6. İnvert Betonu 64
4.4.7. Jeomembran 64
4.4.8. İç Kaplama Betonu 65
4.5. SARIYER – ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELİ İNŞASINDA UYGULANAN TİP KESİTLER 67
4.5.1. Standart Tip Kesit 69
4.5.2. Zayıf Zemin Tip Kesit 74
4.5.3. Zayıf Zemin Geniş Kesit 78
4.5.4. Tranzisyon ve Rakortman Kesitler 80
4.6. KAZI ŞEKLİ 83
4.7. T2 TÜNELİ 0+170 – 0+370KM'LERİ ARASININ AYRINTILI MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ DEĞERLENDİRMESİ 84
4.8. JEOTEKNİK ÖLÇÜMLER VE DEFORMASYONLAR 94
4.8.1. Jeoteknik Ölçümlerin ve Deformasyonların Takibinin Önemi 94
4.8.2. Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli'nde Kullanılan Deformasyon Ölçüm Ekipmanları 96
4.8.3. Tekel Lojmanları Bölgesine Denk Gelen 1+650 – 1+800km'leri Arası Deformasyon Verilerinin Değerlendirilmesi 98
4.8.3.1. Tekel Lojmanları Bölgesinin Konumu ve Tanıtımı 100
4.8.3.2. T1 Tüneli 1+650 – 1+800km'leri Arası Tünel İçi Konverjans Ölçümleri 105
4.8.3.3. T1 Tüneli 1+650 – 1+800km'leri Arası Tünel İçi Optik Deformasyon Ölçümleri 116
4.8.3.4. T1 Tüneli 1+650 – 1+800km'leri Arası Yüzey Nivelman Ölçümleri 124
4.8.3.5. Lojman Binalarında Gerçekleşen Deformasyonlar (Oturmalar) 131
4.8.4. Tüm Deformasyon Değerlerinin Değerlendirilmesi 135
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 138
6. KAYNAKLAR 142
7. EKLER 145
7.1. BÖLGESEL JEOLOJİ HARİTASI 145
7.2. JEOLOJİK ENİNE KESİT 146
7.3. TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLOJİK ENİNE KESİTİ 147

7.4. T2 TÜNELİ 0+170 – 0+370 KM'LERİ ARASI TÜNEL AÇILIM KESİTİ 148

7.5. T1 TÜNELİ 1+650 -1+800KM'LERİ ARASI YÜZEY DEFORMASYONLARI ENİNE VE BOYUNA KESİTLERİ..... 149

ÖZGEÇMİŞ.....150

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1 Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli yer bulduru haritası ve tünel güzergâhının gösterimi 3
Şekil 1. 2 Sarıyer – Çayırbaşı Karayolları Tüneli Standart Tip Kesiti 6
Şekil 1. 3 Çırçır Deresi Şantiyesi Tünel Girişlerinin Görünümü 6
Şekil 1. 4 Çırçır Deresi T2 Tüneli Girişi 7
Şekil 1. 5 Çayırbaşı Şantiyesi T1 tüneli kazı başlangıcı 7

Şekil 3. 1 Sarıyer – Çayırbaşı dolayının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti 11
Şekil 3. 2 Kocataş Tepe'de mostraları gözlenen Gözdağ formasyonuna ait kuvarsitler 13
Şekil 3. 3 Kuvarsitlere ait polarizan mikroskop görüntüleri 14
Şekil 3. 4 Çırçır Deresi mevkiinde gözlenen grovaklar 17
Şekil 3. 5 Trakya formasyonunda gözlenen ezik zon 17
Şekil 3. 6 Trakya formasyonuna ait grovaklar 18
Şekil 3. 7 Trakya formasyonuna ait grovak ve şeyllerin polarizan mikroskop görüntüleri 19
Şekil 3. 8 Sarıyer Formasyonuna ait birimler 21
Şekil 3. 9 Maden mevki güneyinde yol yarmasında Sarıyer formasyonu 21
Şekil 3. 10 Tekel Şantiyesi T1 Tünelinde görülen Belgrad formasyonu birimleri 22
Şekil 3. 11 Diyabaz örneğinin polarizan mikroskoptaki tek nikol görüntüsü 23
Şekil 3. 12 Diyabaz örneğinin polarizan mikroskop çift nikoldeki görüntüsü 24
Şekil 3. 13 Tekel şantiyesinde T2 tünelinin ilk metrelerindeki ayna kazı işlemi sırasında geçilen alüvyon birim 25
Şekil 3. 14 KAF'ın Marmara Denizi içindeki konumu (ESONET NoE - Marmara Sea Observatory, 2006) 28
Şekil 3. 15 İstanbul ili deprem bölge haritası (www.depremhaber.com) 28

Şekil 4. 1 Z-1 sondajı 0 – 12,75 ve 26,20 – 31,50 metreleri arası sondaj karotları 30
Şekil 4. 2 Z1 sondaj logu 31
Şekil 4. 3 Z-1A sondajı 0 -12,00 ve 27,50 – 30,00 metreleri arası sondaj karotları 31
Şekil 4. 4 Z1-A sondaj logu 32
Şekil 4. 5 Z-2 sondajı 21,00 -28,50 ve 28,50 – 35,00 metreleri arası sondaj karotları 32
Şekil 4. 6 Z2 sondaj logu 33
Şekil 4. 7 Z-3 sondajı 0 -9,40 ve 36,00 – 42,00 metreleri arası sondaj karotları 34
Şekil 4. 8 Z3 sondaj logu 34
Şekil 4. 9 Z-4 sondajı 0 -12,00 ve 34,00 – 43,00 metreleri arası sondaj karotları 35
Şekil 4. 10 Z4 sondaj logu 35
Şekil 4. 11 Z-5 sondajı 25,30 -33,50 ve 54,00 – 60,00 metreleri arası sondaj karotları 36
Şekil 4. 12 Z5 sondaj logu 36
Şekil 4. 13 Z-6 sondajı 9,50 - 15,20 ve 26,00 – 31,50 metreleri arası sondaj karotları 37
Şekil 4. 14 Z6 sondaj logu 37
Şekil 4. 15 Z-7 sondajı 0 -14,50 ve 63,00 – 69,50 metreleri arası sondaj karotları 38
Şekil 4. 16 Z-7 sondajı 104,00 -112,00 ve 118,5 – 125,0 metreleri arası sondaj karotları 38
Şekil 4. 17 Z7 sondaj logu 39

Şekil 4. 18 Z-8 sondajı 141,20 -150,30 ve 174,5 – 180,30 metreleri arası sondaj karotları 40
Şekil 4. 19 Z8 sondaj logu 41
Şekil 4. 20 Beton hazırlama tesisi 55
Şekil 4. 21 Çelik hasır üzerine püskürtme beton uygulaması 55
Şekil 4. 22 Aynaya püskürtme beton uygulaması 56
Şekil 4. 23 Çelik hasırlar 57
Şekil 4. 24 SN tip kaya bulonu (Training Lectures, GEOCONSULT/TEKFEN, 1994) 58
Şekil 4. 25 IBO tip kaya bulonu (Training Lectures, GEOCONSULT/TEKFEN, 1994) 59
Şekil 4. 26 Tünelde kullanılan kaya bulonları 59
Şekil 4. 27 Bulon delgi işlemi 60
Şekil 4. 28 Tünel tavanında bulon delgi işlemi 60
Şekil 4. 29 Çelik iksa 62
Şekil 4. 30 Süren çakılma işlemi 63
Şekil 4. 31 Membran ve iç kaplama betonu donatısı 65
Şekil 4. 32 Kemer beton kalıbı 66
Şekil 4. 33 Sarıyer – Çayırbaşı Karayolları Tüneli boyunca uygulanan tip kesitler 68
Şekil 4. 34 Standart tip kesit 71
Şekil 4. 35 Standart tip kesitte bulon yerleşimi 72
Şekil 4. 36 Standart tip kesitte iksa yerleşimi 73
Şekil 4. 37 Zayıf zemin tip kesit 75
Şekil 4. 38 Zayıf zemin tip kesitte bulon yerleşimi 76
Şekil 4. 39 Zayıf zemin tip kesitte iksa yerleşimi 77
Şekil 4. 40 Zayıf zemin geniş kesit 79
Şekil 4. 41 Tranzisyon kesit 81
Şekil 4. 42 Rakortman kesit 82
Şekil 4. 43 İlerleme kesiti 83
Şekil 4. 44 Ayna kazı işlemi 83
Şekil 4. 45 Dar kesitle geçilen bölüm (Pilot tünel) 86
Şekil 4. 46 Pilot tünel tip kesiti 87
Şekil 4. 47 T2 tüneli 0+335 – 0+368km'leri arasında aynada göbek bırakılarak kazı devam etmekte 88
Şekil 4. 48 Optik kelebek ve bulonu 97
Şekil 4. 49 Optik konverjans bulonu ve kancası 97
Şekil 4. 50 Tünel içi optik konverjans ölçümü 98
Şekil 4. 51 Tekel, Yaklaşım şantiyeleri ve Tekel lojmanları arazisi 99
Şekil 4. 52 Lojman binalarının konumu 100
Şekil 4. 53 Tünel ayna kazılarının birleştiği nokta 101
Şekil 4. 54 Lojman binaları arazisi içerisindeki derenin suyunun verildiği kanal 102
Şekil 4. 55 Yönü değiştirilen derenin yeni güzergahı 103
Şekil 4. 56 Tekel Lojmanları civarında tünel dışında yapılan ölçümlerin yerleri 104
Şekil 4. 57 Tünel içerisinde konverjans ölçüm noktaları 105
Şekil 4. 58 Tünel içi optik deformasyon ölçüm noktaları 116
Şekil 4. 59 Umbrella Arch uygulanan bölgelerdeki tip kesit 126
Şekil 4. 60 Umbrella Arch kesiti 127
Şekil 4. 61 1 nolu lojman binası deformasyon okuma noktaları 132
Şekil 4. 62 1 nolu lojman binası önünde zeminde oturma sebebiyle yağış sonrası oluşan su birikintisi 133
Şekil 4. 63 1 nolu lojman binası girişinde oturmaya bağlı oluşan çatlak 133
Şekil 4. 64 Lojman binaları üzerindeki okuma noktaları 135

TABLO LİSTESİ

Tablo 4. 1 Tünel güzergahında yapılan sondajlara ait veriler 30
Tablo 4. 2 Alüvyon çökellere ait mühendislik parametreleri 42
Tablo 4. 3 Neojen çökellere ait mühendislik parametreleri 43
Tablo 4. 4 Trakya formasyonuna ait mühendislik parametreleri 44
Tablo 4. 5 Baltalimanı formasyonuna ait mühendislik parametreleri 45
Tablo 4. 6 Gözdağ formasyonuna ait mühendislik parametreleri 45
Tablo 4. 7 RMR Sınıflama Sistemine Ait Değerlendirme Tabloları (Bienawski, 1989) 48
Tablo 4. 8 Q Sistemi Değerlendirme Tablosu 49
Tablo 4. 9 GSI Jeolojik Dayanım İndeksi 50
Tablo 4. 10 Tünel Güzergâhında Karşılaşılan Birimlerin Mühendislik ve Tünelcilik Açısından Sınıflandırılması 53
Tablo 4. 11 T2 tüneli 0+185 – 0+285km'leri arası kazı destekleme formu 89
Tablo 4. 12 T2 tüneli 0+285 – 0+320km'leri arası kazı destekleme formu 90
Tablo 4. 13 T2 tüneli 0+320 – 0+335km'leri arası kazı destekleme formu 91
Tablo 4. 14 T2 tüneli 0+335 – 0+363,75km'leri arası kazı destekleme formu 92
Tablo 4. 15 T2 tüneli 0+363,75 – 0+373,75km'leri arası kazı destekleme formu 93
Tablo 4. 16 T1 tüneli km 1+650,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği 107
Tablo 4. 17 T1 tüneli km 1+667,50'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği 108
Tablo 4. 18 T1 tüneli km 1+676,00'da yapılan konverjans ölçümleri grafiği 109
Tablo 4. 19 T1 tüneli km 1+686,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği 110
Tablo 4. 20 T1 tüneli km 1+706,00'da yapılan konverjans ölçümleri grafiği 111
Tablo 4. 21 T1 tüneli km 1+726,00'da yapılan konverjans ölçümleri grafiği 112
Tablo 4. 22 T1 tüneli km 1+737,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği 113
Tablo 4. 23 T1 tüneli km 1+753,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği 114
Tablo 4. 24 T1 tüneli km 1+770,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği 115
Tablo 4. 25 T-1 Km:1+650.00 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği 118
Tablo 4. 26 T-1 Km:1+661.50 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği 119
Tablo 4. 27 T-1 Km:1+686.00 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği 120
Tablo 4. 28 T-1 Km:1+706.00 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği 121
Tablo 4. 29 T-1 Km:1+753.50 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği 122
Tablo 4. 30 T-1 Km:1+793.00 (Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği 123
Tablo 4. 31 Tekel Lojmanları Bölgesi Tünel Güzergahı Ekseni Yüzey Nivelman Ölçümleri . 130
Tablo 4. 32 1 Nolu Lojman Binasına Ait Düşey Deformasyon Değerleri 131
Tablo 4. 33 2 Nolu Lojman Binasına Ait Düşey Deformasyon Değerleri 134
Tablo 4. 34 3 Nolu Lojman Binasına Ait Düşey Deformasyon Değerleri 134

ÖZET

SARIYER – ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELİ'NİN MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışma içerisinde "Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli" mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında öncelikle tünel güzergâhı ve bölgenin jeolojik durumu ortaya konmuştur. Bu amaçla arazi çalışmaları yapılmış, tünel güzergâhında karşılaşılacak olan birimlerin arazideki ilişkileri tespit edilmiştir. Yapılan sondajlar ve arazi çalışmaları ışığında tünel güzergâh kesiti oluşturulmuştur.

Tünel güzergâhı boyunca uygulanan tahkimat elemanları ve tip kesitler, bunların değişen litoloji ve bu litolojilerin mühendislik parametreleriyle ilişkileri incelenmiştir. Ayrıca tünel açımına zorluk çıkaran durumlar, bunların sebepleri ve sonuçları ortaya konmuştur.

Bu kapsamda ilk olarak "Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli"nde T2 tüneli 0+170 – 0+370km'leri arasındaki mesafenin ayrıntılı mühendislik jeolojisi çalışması yapılmıştır. Bu aralıkta tünel açımı adına sorun yaratan bölüm 0+320 – 0340km'leri arasında Trakya Formasyonu içindeki ezik zondur. Güzergâhın bu kesiminin etüdünün iyi, deformasyon ölçümlerlinin düzenli takibinin yapılmamış olmasından dolayı bu sorunla karşılaşılmıştır. Göçük yaşandıktan sonra tünel kazısı pilot tünel ile devam etmiş. Kazı genişliği düşürülmüş, tahkimat elemanları arttırılmıştır. Püskürtme beton kalınlığı 25cm'den 30cm'ye çıkarılmış, SN tür kaya bulonu yerine IBO kaya bulonları kullanılmış, 2inç'lik kalınlığında 8m'lik sürenlerden 45 adet çakılarak tünel kazısının tepe noktasında gelebilecek malzemeler önlemiştir. Kazı güvenliği açısından round boyu 75cm'ye düşürülmüştür.

İkinci olarak ise T1 tünelinin Tekel Lojman binaları arazisi içerisine denk gelen 1+650 – 1+800km'leri arasında tünel içerisinde, yüzeyde ve lojman binalarındaki deformasyonlar incelenmiştir. Bu km'ler arasında tünel içerisinde meydana gelen hareketler tümüyle tolere edilen değer olan 10cm'nin altında kalmıştır. Üst örtü yükünün azlığı, üst yapı yüklerinin olması ve kazı yapılan birimin zemin özellikli olması sebebiyle tünel açımı açısından zor olan bu bölgede yeterli tahkimat elemanlarının kullanımı, Umbrella Arch uygulaması, deformasyonların takibi ve doğru yorumlanması, zemin özelliklerinin doğru belirlenmesi gibi sebeplerden dolayı tünel içinde kazı güvenli bir şekilde yapılmış ve herhangi bir sorun oluşmamıştır. Yüzeyde tünel güzergâhı çevresinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Tünel eksen doğrultusunda yaklaşık 15 – 20cm olan düşey hareketler eksenin sağında ve solunda kalan kısımlarda kazı etkisine bağlı olarak azalmıştır. Lojman binalarının bulunduğu, tünel eksen doğrultusunun sağında kalan alanda deformasyon değerleri, eksenin solunda kalan alana oranla daha çabuk sönümlenmiştir. Bu zeminin küçük bir alanda heterojen özellikte olduğunu göstermektedir. Lojman binalarında meydana gelen düşey hareketler en çok T1 tünel güzergahına en yakın olan 1 nolu lojman binasında görülmüştür. En fazla 2,6cm'lik bir düşey hareketin görüldüğü lojman binasında güvenlik açısından sorun yaratacak bir durum oluşmamıştır.

SUMMARY

ENGINEERING GEOLOGY OF SARIYER – ÇAYIRBAŞI HIGHWAY TUNNEL

Within this academic study that is completed as a master degree thesis in Institute of Science of İstanbul University, "Sarıyer-Çayırbaşı Highway Tunnel" is evaluated in terms of engineering geology. In the context of this evaluation, first of all, tunnel route and the geologic situation of the region have been put forward. To this end, field works have been done, the relations of the units in the field that will be encountered in the tunnel route have been determined. In light of all drillings and field works, tunnel route section has been generated.

The fortification components and type sections which have been applied throughout the tunnel route, their changing lithology and the relations of these lithologies with the parameters of engineering geology have been examined. In addition, the cases that are obstructive to tunneling, their reasons and results have been introduced.

In this context, a detailed engineering geology study of the distance between T2 tunnel between 0+170 – 0+370 km within "Sarıyer-Çayırbaşı Highway Tunnel" is done. In this range, the part causing problem in tunnelling is the squashed zone in Trakya Formation between 0+320 – 0340 km. The reason why a problem occurred is that the study of this section of the route has not been done well and a regular pursuance for deformation measurements has not been performed. After the dent is happened, tunnel drilling has continued by pilot tunnel. Drilling width has been decreased, fortification components have been increased. Shotcrete thickness has been raised from 25 cm to 30 cm, instead of SN type rock bolt IBO rock bolts have been used, the materials that would come from the top point of tunnel drilling have been prevented by sticking 45 rock bolts, each

one of which has 2 inch thickness and 8 m length. In terms of drilling security, the round length has been decreased to 75 cm.

Secondly, in the tunnel between the 1+650 – 1+800 km of T1 tunnel that comes up to the field of TEKEL Housing buildings, deformations have been examined on the surface and in the housing buildings. Between these km, the movements happened in the tunnel has been under 10 cm which is the completely tolerable rate. Due to the reasons such as the lack of upper cover burden; the use of sufficient fortification components in this area (which is rough in terms of tunneling) because of the presence of upper structure burdens and of that the drilling unit has ground characteristics; the application of Umbrella Arch; the pursuance and right evaluation of deformations; the accurate determination of ground characteristics, the drilling in the tunnel has been safely done and there happened no problem to come across. Around the tunnel route on the surface have occurred deformations. Vertical movements of some 15-20 cm in line of tunnel axis have diminished in the right and left parts of the axis depending on drilling effect. Within the area on the right side of the tunnel axis which the housing buildings are located, the deformation rates have been amortized faster than the area on the left side of the axis. It shows that the ground has heterogeneous characteristics in a small field. The vertical movements happening in housing buildings have been observed mostly in the housing building No:1 which is the closest one to T1 tunnel . In the housing building in which a maximum 2.6 cm vertical movement has been seen, there occurred no situation that could lead to a problem.

1.GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN VE PROJENİN AMACI

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans bitirme tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konusu olarak "Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli" seçilmiştir. Bu tüneller üçer şeritli iki tüpten meydana gelmektedir. Yüksek lisans tezi olarak "Sarıyer – Çayırbaşı Otoyol Tünelleri" seçilmesindeki amaç; tünelin NATM'a uygun olarak açılması ve böylece tünelcilik ile ilgili birçok uygulamanın rahat bir şekilde takip edilebilmesine olanak tanımasıdır. Tünel kazı çalışmaları esnasında bölgedeki zemin ve kaya ortamlarında, karşılaşılan sorunlara çözümüne yönelik tünelcilik adına yapılan uygulamaların görülme imkânı bulunmuştur.

Proje, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Altyapı Hizmetler Müdürlüğü tarafından Öztaş İnşaat Malzemeleri San. Ve Tic. A.Ş.'ye ihale edilmiştir. Tünel inşasının kontrolörlüğünü ise Türedi Mühendislik yapmıştır. Bu tünel, İstanbul çapında gerçekleştirilen "7 Tepe 7 Tünel" projesi kapsamındadır. Tünelin yapılmasının amacı Sarıyer girişindeki trafiği hafifletmektir. Tünel, Çırçır Suyu mevki ile sahil yolunu birleştirmekte ve bu güzergâhtaki yolu kısaltmaktadır.

1.2. İNCELEME ALANININ TANITIMI

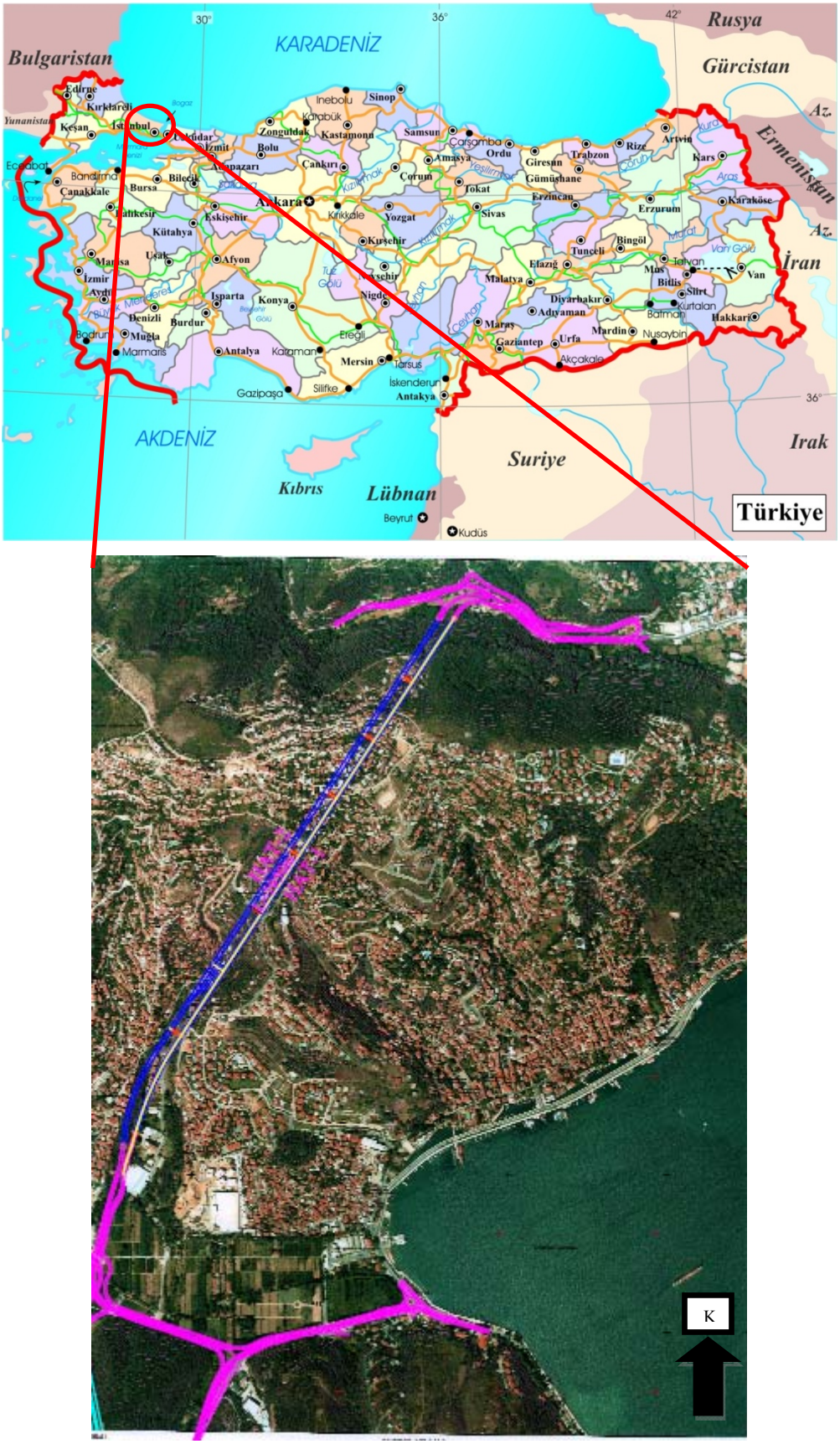
1.2.1. Konumu, Ulaşım ve Nüfus

Tünelleri açıldığı ilçe olan Sarıyer, İstanbul ili sınırları içerisinde olup Avrupa yakasındadır. Boğaza sahili olan bu semt bölgenin kuzeyinde kalmaktadır. Güneyinde Beşiktaş ilçesi, batısında ise Eyüp ilçesi vardır. Semtin doğusunda İstanbul Boğazı uzanırken kuzeyinde ise Karadeniz vardır.

Tüneller ise hemen hemen ilçenin güneydoğusunda ve sahilden yaklaşık 1 – 1,5 km içerde yer almakta olup KD-GB istikametinde uzanmaktadır (Şekil 1.1).

Şehir merkezinden bölgeye ulaşım sahil yolu ile ve Mecidiyeköy – Levent istikametinden sağlanabilmektedir.

İlçenin nüfusu 2007 yılında yapılan yaptığı sayım sonucu 276.407 olarak tespit edilmiştir (www.sariyer.bel.tr).



Şekil 1. 1 Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli yer bulduru haritası ve tünel güzergâhının gösterimi

1.2.2. Morfoloji

Sarıyer semti boğaza kıyısı olması ve sınırları iç kesimlere doğru ulaşması sebebiyle geniş bir yükselti aralığına sahiptir. Sıfır metreden yaklaşık 250m'ye ulaşan noktaları olan ilçedeki belli başlı yükseltiler Kocataş Tepe (233m), Tabya Tepe (219m), Sivri Tepe (194m), Hünkar Tepe (193m), Soğuksu Tepe (133m), Fundalık Tepe (127m)'dir. Bölgede, tünel güzergâhının geçtiği alanda kuzeye bakan yamaç ormanlık iken güneye bakan yamaç sahil kısmına kadar yerleşimin yoğun olduğu bir bölge portresi çizmektedir.

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İstanbul'da hâkim iklim Marmara iklimidir. Ancak coğrafi yapısı dolayısıyla farklılıklar göstermekte olan bu şehir Akdeniz ve Karadeniz iklimleri yanı sıra Balkanlardan gelen hava akımlarının da etkisinde kalmaktadır.

İstanbul'da yıllık ortalama yağış miktarı 665mm'dir. Yılın yaklaşık 129 günü yağışlı geçerken en çok yağışın düştüğü aylar Aralık (101,3mm), Ocak (83,9mm) ve Ekim (72,4mm) şeklinde sıralanmaktadır. Sıcaklık değerlerine baktığımızda ise yaz aylarında ortalama sıcaklığın 23^{o}C olduğunu görmekteyiz. Kışın ise ortalama sıcaklık ortalama 6,6^{o}C'dir. (Devlet Meteoroloji İşleri, Kartal Ölçüm İstasyonu 1975 – 2008 Yılları Arası Verileri)

İstanbul'un asıl doğal bitki örtüsü sık olarak kıyı bitkileri olmak üzere, ormandır. Yaklaşık 2500 civarında doğal bitki türüne sahip olan İstanbul, bu özelliğiyle dünya kentleri arasında önemli bir yere sahiptir. Bu ayrıca Türkiye'de doğal olarak yetişen on binden fazla bitki türünün, yaklaşık dörtte birinin İstanbul'da yetiştiği anlamına geliyor; bu bitkilerden bazıları endemiktir, yani tüm dünya üzerinde sadece İstanbul'da yaşamaktadır. Genellikle ormanları oluşturan ağaçlar, İstanbul'un kuzeydoğusu, Alemdağ'ın kuzeyi ve Polonezköy çevresinde görülen kayın, kestane ve saplı meşedir. Bitki örtüsüne iklimin etkisinin yanında toprağında etkisi vardır. Kayın ağaç topluluğun

bulunduğu alanları kireçsiz kahverengi orman toprakları kaplarken, meşe ve kestane topluluğunda bu topraklar kireçsizdir (www.wikipedia.org).

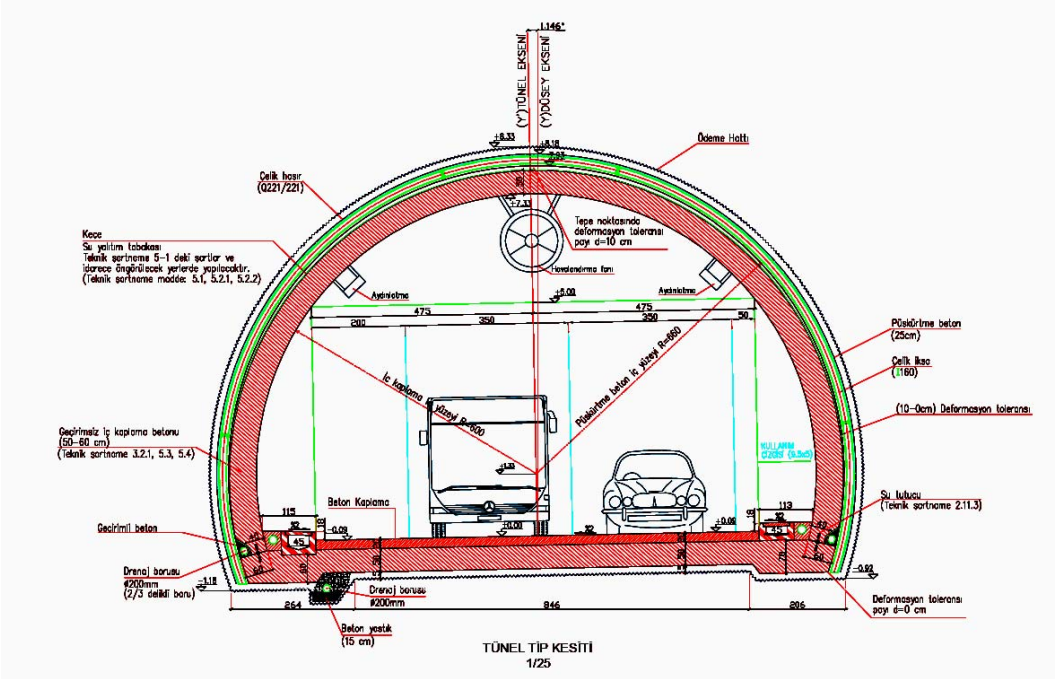
1.3. TÜNELİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Sarıyer – Çayırbaşı Arası Karayolu Tünel İnşaatı "7 Tepe 7 Tünel" projesi kapsamında inşa edilmiştir. Sarıyer – Çayırbaşı Tünelleri üçer şeritli iki tüpten meydana gelmektedir. T1 tünelinin yaklaşık uzunluğu 1920 metre, T2 tünelinin yaklaşık uzunluğu ise 1950 metredir. İki tüp arasındaki mesafe ise tünelin farklı bölgelerinde değişikler sunmakta olup genel olarak 24–25 metre arasındadır.

Tünel güzergâhı üzerindeki örtü yükü, tünellerin farklı bölgelerinde farklı değerler vermektedir. Tünellerin Çayırbaşı girişlerinde yani sahile yaklaştığı bölgede üst örtü kalınlığı kalmamakta iken bazı kesimlerde (ormanlık bölgeye denk gelmekte) 235m'ye kadar ulaşmaktadır.

Tünelin kaplamasız kazı genişliği 13,16 m yüksekliği ise 8,33 metredir. Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli NATM'a (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu) göre projelendirilmiş ve açılmıştır.

Tünel kazısı üç şantiyeden yapılmıştır. Bunların birincisi Çırçır Deresi mevkiindeki "Çırçır Şantiyesi"(Şekil 1.3), diğeri tünelin çıkış ucu olan "Tekel Şantiyesi" (Şekil 1.5) , bir diğeri de hemen Tekel lojmanlarının güneyindeki "Yaklaşım Şantiyesi"dir. Bu şantiyeler sayesinde tünel kazısı 8 aynada yapılmıştır.



Şekil 1. 2 Sarıyer – Çayırbaşı Karayolları Tüneli Standart Tip Kesiti

Şekil 1. 3 Çırçır Deresi Şantiyesi Tünel Girişlerinin Görünümü

Şekil 1. 4 Çırçır Deresi T2 Tüneli Girişi

Şekil 1. 5 Çayırbaşı Şantiyesi T1 tüneli kazı başlangıcı

2. MATERYAL VE YÖNTEM

"Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli" geneli itibariyle kaya zonu içerisinden –ki bunun büyük kısmını İstanbul Paleozoyiğine ait olan Trakya ve Gözdağ Formasyonları oluşturmaktadır- geçmektedir. Tekel girişi kısmında ise Belgrad formasyonuna ait Neojen çökeller ile güncel alüvyal çökeller geçilmiştir.

Tünel inşası öncesi jeolojik ortamı belirlemek amacıyla güzergâhı boyunca 9 adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde laboratuarda deneyler yapılarak ortamın mühendislik özellikleri ve parametreleri belirlenmiştir. Bunların yanında saha çalışmaları da gerçekleştirilerek tünel güzergâhı boyunca geçilecek jeolojik ortamın yapısı ortaya konulmuştur.

Çalışma yöntemi olarak önce bölgenin jeolojisi, tünel güzergâhında karşılaşılacak birimler, bölgenin stratigrafisi ve kullanılan tahkimat elemanları hakkında bilgi edinilmiştir. Çırçır ve Tekel şantiyelerinde ayna kazıları, uygulanan tahkimat elemanları ve uygulama yöntemleri gözlenmiştir. Tünel inşası sırasında güvenli kazıyı sağlayabilmek amacıyla tünel içerisinde deformasyon ölçümleri yapılmış ve bunlar yorumlanmıştır. Ayrıca üst örtü yükünün azaldığı ve bununla beraber yapılaşmanın mevcut olduğu bölgelerde yüzeyde ve yapılarda meydana gelebilecek deformasyonları gözlemlemek amacıyla ölçümlemeler yapılmıştır. Bu ölçümlemeler ışığında yapılarda oturmaya bağlı oluşabilecek deformasyonlar takip edilmiştir. Ayrıca T1 tünelinin 1+650 – 1+800km'leri arasındaki bölüme ait zemindeki düşey deformasyonlara ait enine ve boyuna kesitler oluşturulmuştur. Bu kesitler değerlendirilerek zeminde, tünelde ve yapılarda meydana gelen hareketler yorumlanmıştır.

3. GENEL JEOLOJİ

3.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tchihatcheff ve Abdullah Bey (1864), Tchihatcheff'in "Le Bosphore et Constantinople" adlı eserinde yayınladıkları çalışmada Paleozoyik istifinin Devoniyen yaşında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yine bu çalışmada Bakırköy kireçtaşlarının gölsel kökenli olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışma İstanbul bölgesindeki ilk ciddi çalışma sayılabilir.

Penck (1919) çalışmasında Trakya Serisi'ni Pendik ve Boğaziçi'ndeki fosilli seviyelerin karşılığı olarak görmüştür. Daha sonraları Karbonifer yaşlı olduğu tespit edilecek bu birimi Devoniyen yaşlı olarak belirlemiştir. Ayrıca çalışmasında Paleozoyik arazisinin sınırlarını çizmiştir.

Paeckelmann (1938) bölgedeki arkoz ve kuvarsitlerin, grovak – şistlerin altında olduğunu ve bunlarını ilişkilerinin faylı olduğunu belirtmiştir.

Yalçınlar (1951) çalışmasında yeni arazilerin ve strüktürlerin, coğrafi mevki ve paleocoğrafya şartları bakımından daha eski formasyon ve strüktürlere bağlı olduğunu görerek araştırmalarını nispeten meçhul kalmış prekambriyen ve yaşı tespit edilememiş, eski temel arazi üzerinde yoğunlaştırmış ve tanınmış bilim adamlarına keşif olarak kabul edilen sonuçlar almıştır.

Abdüsselamoğlu (1963) çalışmasında Trakya Formasyonunun yaşının Vizeen – Karbonifer olduğunu tespit etmiştir. İstanbul Boğazının doğusunda yaptığı çalışmalarda; arkoz kumtaşı ve konglomeraları, Silüriyen yaşlı ortokuvarsiti, Alt Devoniyen yaşlı killi şist ve grovağı, Orta Devoniyen yaşlı kireçtaşı birimini ve Üst Devoniyen yaşlı yumrulu kireçtaşı seviyelerinin ayırtlamıştır.

Baykal ve Kaya (1963) ve Abdüsselamoğlu (1963), yapmış oldukları çalışmada Trakya formasyonunun Vizeen - Karbonifer yaşında olduğunu belirtmişlerdir.

Kaya (1971) çalışmasında İstanbul bölgesindeki Karboniferi ayrıntılı çalışmış ve Trakya formasyonuna ait 4 üye belirlemiştir. Ayrıca Devoniyen, Silüriyen ve Ordovisiyene ait birimlerin ilişkilerine yönelik tespitlerde bulunmuştur. Bu çalışmalar ışığında Paleozoyik istifini; Kurtköy arkoz birimi, Aydos kuvarsarenit birimi, Büyükdere şeyl birimi, İstinye kireçtaşı, Büyükada formasyonu, Kartal formasyonu, Baltalimanı formasyonu, Trakya formasyonu, Belgrad formasyonu olarak belirlemiştir.

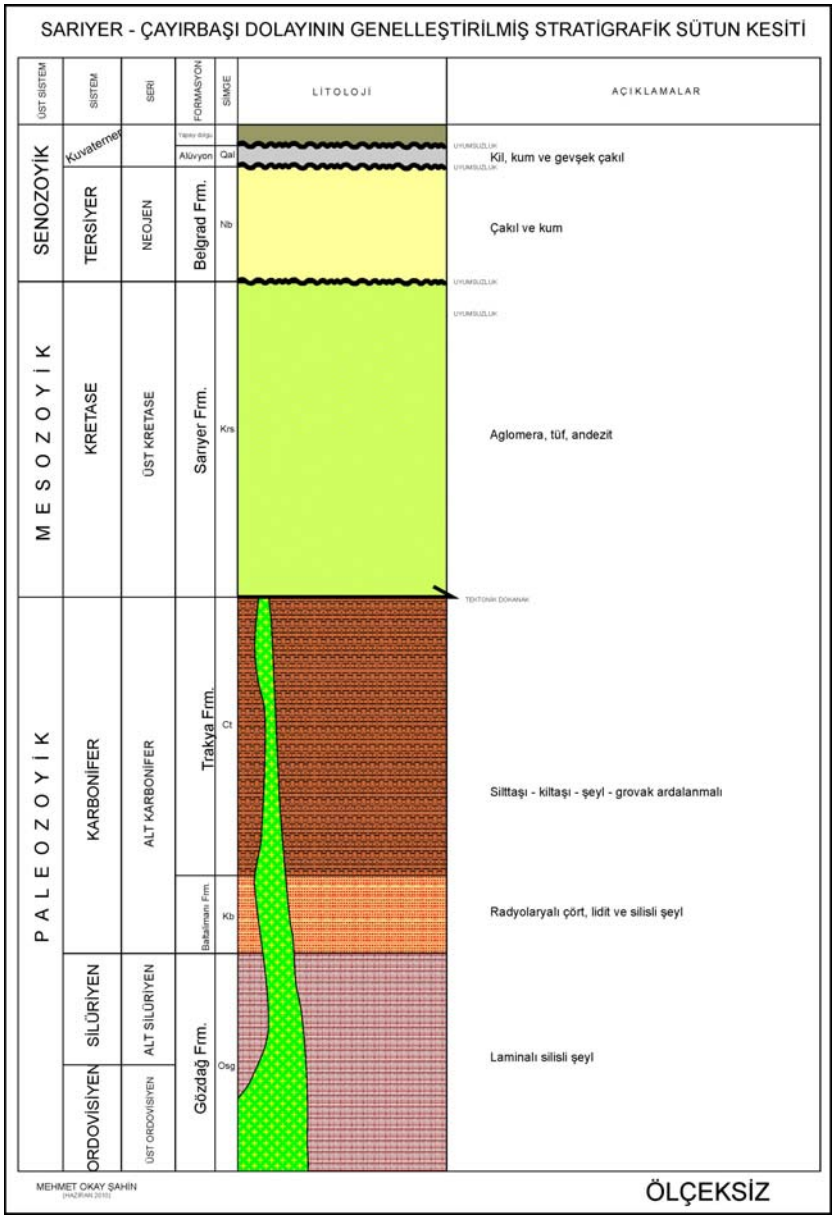
Önalan (1981) çalışmasında Trakya formasyonunun yaşının Vizeen – Alt Karbonifer olduğunu tespit etmiştir. Bostancı, Maltepe, Kartal, Pendik, Tuzla, Kurtköy, Büyükbakkalköy ve Adalar'da yapmış olduğu çalışmasında Paleozoyik yaşlı birimlerin sedimantolojisini incelemiş ve çökelme ortamlarını belirlemiştir. Kurtköy ve Aydos formasyonlarında eski akıntı yönü ölçümleri yapmış, kırıntı geliminin (beslenmenin) kuzey-kuzeydoğudan granitik ve metamorfik bir kaynak araziden (temelden) olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca İstanbul Paleozoyik istifinin çökelme ortamlarını inceleyerek istifi; Kurtköy formasyonu, Aydos formasyonu, Gözdağ formasyonu, Aydınlı formasyonu, Dolayoba formasyonu, Sedefadası formasyonu, İstinye formasyonu, Kaynarca formasyonu, Kartal formasyonu, Kozyatağı formasyonu, İçerenköy şeyli, Tuzla formasyonu, Baltalimanı formasyonu, Trakya formasyonu, Belgrad formasyonu olarak belirlemiştir.

Ketin ve Güner (1989) çalışmalarında Trakya formasyonunun grovak, silttaşı, kiltaşı ve şeylerden oluşmakta olduğunu ve bu istifin yer yer andezit ve diyabaz dayklarıyla kesildiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca bu birimin ileri derecede metamorfizmaya bağlı olarak çok sayıda çatlak ve eklem takımı, kayma düzlemi içerdiğini, kıvrılmış, ezilmiş, devrilmiş zonlarının olduğunu vurgulamışlardır.

Seymen (1995), Trakya formasyonunun, bol serizit pulcukları içeren grovak-şeyl ardalanmasından oluştuğunu belirtmiştir.

3.2. STRATİGRAFİ

Tünel kazısı boyunca İstanbul Paleozoyiğine ait olarak Gözdağ, Baltalimanı ve Trakya Formasyonları geçilirken, Senozoyik döneme ait Belgrad Formasyonu ile güncel alüvyal çökellerin olduğu birim geçilmiştir (Şekil 3.1). Stratigrafi bölümünde bu birimlerin yanı sıra Sarıyer bölgesinde geniş bir sahada yayılım gösteren kırıntılı ve volkanik kayaçlardan oluşan Kretaseye ait Sarıyer Formasyonu hakkında da bilgi verilmiştir.



Şekil 3. 1 Sarıyer – Çayırbaşı dolayının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti

3.2.1. Gözdağ Formasyonu (Osg)

Bu formasyon laminalı silisli şeyllerden oluşmaktadır. Ayrıca bu birimde yer yer kil laminalarına ve kireçtaşı merceklerine rastlanmaktadır. Tipik olarak Gözdağ civarlarında görülmesinden dolayı ÖNALAN (1981) tarafından bu şekilde tanımlanmıştır. Bu birimin taze yüzeyleri yeşilimsi – gri, ayrışmaya uğramış yüzeyleri kahverengimsi renktedir. Gözdağ formasyonu tünel güzergâhı boyunca önemli bir mesafe boyunca (yaklaşık 800m) geçilmektedir.

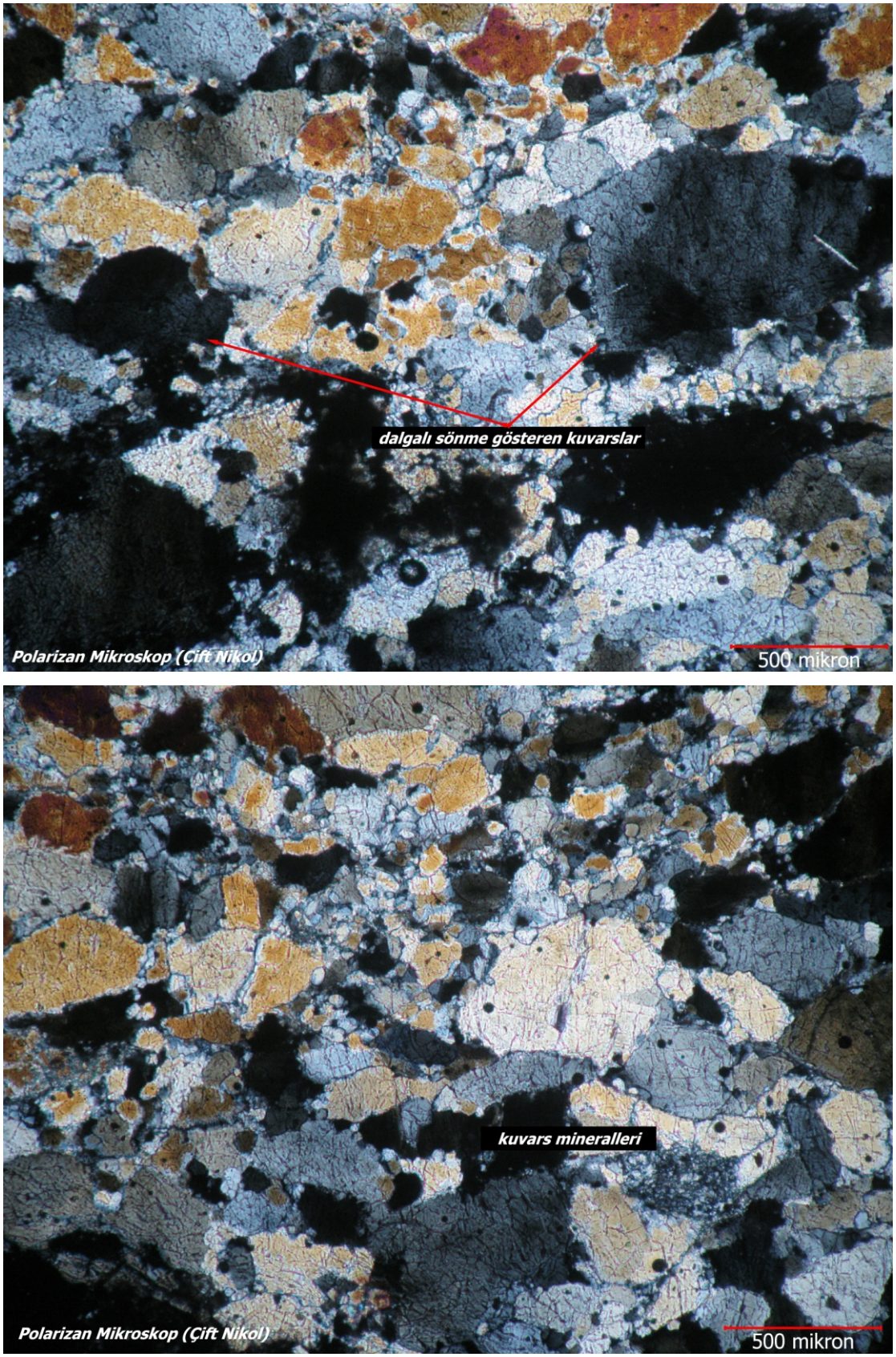
Gözdağ formasyonu üstteki Dolayoba formasyonu ile düşey ve yanal geçişlidir. Formasyonun Büyükdere çevresinde alt sınırı görülmemesine karşın 720m'lik stratigrafik kalınlığı mevcuttur (Akyüz, 1987). Gözdağ çevresinde ise 700m kalınlığında olduğu ifade edilmiştir (Önalan, 1982).

Yalçınlar (1956) bu birim içerisinde graptolitler bularak yaşını Üst Vaslisyen olarak belirlemiştir. Sayar (1962) bu formasyonda Conuloria fosilleri bularak yaşını Orto Ordovisiyen olarak belirlemiştir. Formasyonun lagün ortamında çökeldiğini tespit etmiştir.

Gözdağ formasyonu bölgede Kocataş Tepe civarlarındakademeli geçiş göstererek kuvarsit mostraları vermektedir.

Şekil 3. 2 Kocataş Tepe'de mostraları gözlenen Gözdağ formasyonuna ait kuvarsitler

Saha çalışmaları sırasında bu formasyondan alınan örneklerin ince kesitleri laboratuar ortamında hazırlanmıştır. Analizleri yapılan kesitler sonucunda kayacın kuvarsarenit olduğu tespit edilmiştir. Örneğin tamamı kuvarslardan oluşmakta olup kuvarsların hemen hemen büyük kısmı dalgalı sönme göstermektedir. Bu da metamorfik kaynaklı olduklarını göstermektedir. Taneler arası çimentosunun da silis içerikli olduğu görülen kayacı oluşturan kuvarsların yuvarlaklığı orta ve kötüdür.



Şekil 3. 3 Kuvarsitlere ait polarizan mikroskop görüntüleri

3.2.2. Baltalimanı Formasyonu (Kb)

Baltalimanı formasyonu radyolaryalı çört, lidit ve silisli şeylerden oluşmaktadır. Bu birim ilk kez Kaya (1973) tarafından "Baltalimanı Formasyonu" olarak tanımlanmıştır. Bu formasyon üst kısımlarına doğru silisli şeyl ara katkılıdır. Formasyonun büyük kısmını meydana getiren radyolaritler siyah renkli, ince tabakalı ve taze kırılma yüzeylerinde opalimsidirler. İnce kesitte bol miktarda radyolarya fosilleri içeren çok ince kristalli silis agregatı içerirler ve bu silis yumruları elipsoidal şekilli ve fosfatça zengindirler. Bu birimin mostraları gravite kaymalarının sık olmasından dolayı kıvrımlı bir yapı ortaya koymaktadır.

Baltalimanı formasyonu altındaki Büyükada ve üzerindeki Trakya formasyonları ile dereceli geçişlidir. Birimin ortalama kalınlığı 30 – 50 metre kadardır.

Paeckelmann (1938) birimi Orta Devoniyen'e ait "Nirenkalk Seri" içerisinde değerlendirmiştir. Okay (1947) bu birim içerisinde ilk defa radyolarya varlığını tespit ederek birimin yaşını Orta Devoniyen olarak vermiştir. Abdüsselamoğlu (1963) çalışmasında ince kesitlerde radyolaryaları tespit ederek bunların Alt Vizeen yaşında olduklarını belirtmiştir. Kaya (1971) çalışmasında formasyona ismini vermiş ve Alt Vizeen yaşlı olduğunu belirtmiştir.

3.2.3. Trakya Formasyonu (Ct)

Formasyon İstanbul Paleozoyiğinin üst kısmını oluşturmaktadır. Baltalimanı Formasyonu üzerine gelen bu birim genel itibariyle yeşilimsi – gri renklidir. Birimin genelini grovaklar oluşturmakta olup alt kısımlarında daha killi ve şeyli bir yapı sergilenmektedir. Grovaklar bu alt tabakaları çatlaklı olup çatlak araları kalsit ve kil dolguludur.

Literatürde Trakya Formasyonu için birçok tanımlama yapılmıştır. Bu formasyon önceki çalışmalar ışığında "Acıbadem Üyesi" , "Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi" , "Kartaltepe Üyesi" , "Küçükköy Üyesi" olmak üzere dört üyeye ayırtlanabilir.

- *Acıbadem Üyesi;* Killi, siltli şeyllerden oluşan birim Kaya (1971) tarafından isimlendirilmiştir. Ayrıca seyrek olarak silttaşı ve ince tane boylu kum içeren kumtaşı ara katmanları içermektedir.
- *Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi;* Başlıca şelf tipi neritik kireçtaşından oluşur. Birim, Kaya (1971;1973) tarafından Cebeci kireçtaşı adıyla formasyon aşamasında adlandırılmıştır (Özgül, 2005).
- *Kartaltepe Üyesi;* Lidit arakatkılı şeylleri kapsayan bu birim Kaya (1971) tarafından Kartaltepe Üyesi adıyla incelenmiştir.
- *Küçükköy Üyesi;* Bol mikalı kaba kumtaşı – şeyl ardalanmasından oluşan birim Kaya (1971) tarafından Küçükköy Üyesi adıyla incelenmiştir (Özgül, 2005).

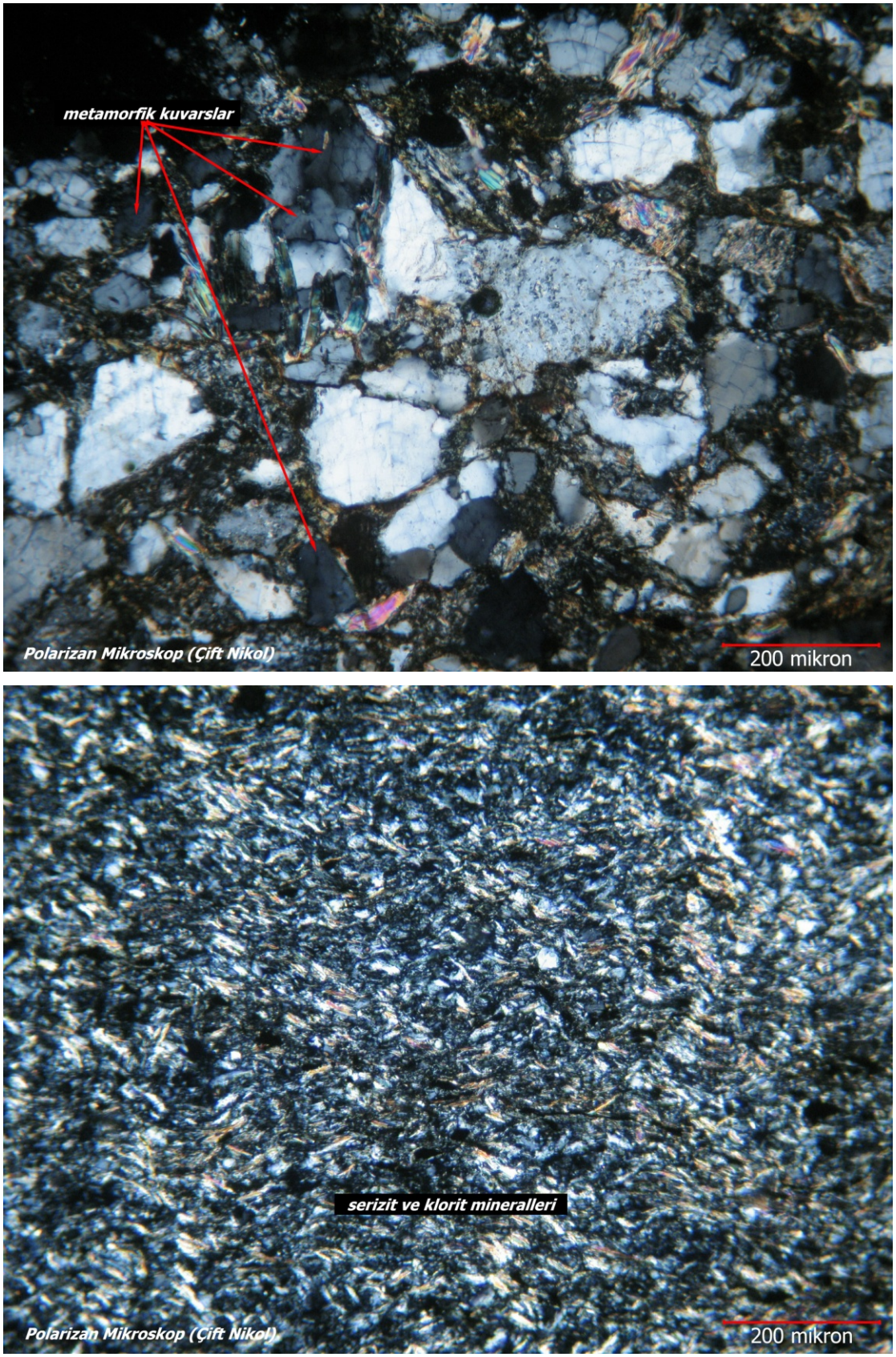
Trakya formasyonu altındaki Baltalimanı formasyonu ile düşey dereceli geçişli olup üzerine gelen Belgrad Formasyonu ve alüvyonlarla uyumsuz bir sınır sergilemektedir. Trakya formasyonu önce Hersiniyen orojenez döneminde ve daha sonra Alpin dönemde yoğun deformasyona uğramış, kıvrılmış, kırılmış, farklı doğrultularda çatlak sistemleri ve kayma düzlemleri ile parçalanmıştır (Kaya, 1971). Kalınlığı bir-iki bin metreden daha fazla olduğu sanılan Trakya formasyonunun yaşı Vizeen'dir (Ketin, 1983). Trakya formasyonunun ve diğer Paleozoyik birimlerin Triyas yaşlı konglomeralar tarafından açılı uyumsuzluk ile örtülmesi ve bir magmatik yay gelişimini belgeleyen kalk-alkali bileşimli derinlik ve sığ sokulum kayaçları tarafından kesilmesinin, Trakya formasyonunun fliş fasiyesinde geliştiğinin göstergeleri olduğunu savunmaktadırlar **(**Seymen, 1995). Tchihatcheff (1864) Trakya Formasyonu hakkında şeyl ve kumtaşı ayırtlamasını yapmış ve yaşının devoniyen olduğunu belirtmiştir. Penck (1919) birimi "Thrazische Serie" olarak tanımlamış ve Devoniyen yaşlı olduğunu söylemiştir. Paeckelmann (1938) birimin denizel kökenli olduğunu ve Karadeniz kıyılarındaki "Nierenkalk – Kieselschiefer Serie" nin karşılığı olduğunu belirtmiştir. Birimin alt – orta Devoniyende başladığını belirtmiştir. Yalçınlar (1951) birimin Karbonifer yaşlı olabileceğini önermiştir. Baykal ve Kaya (1963), Abdüsselamoğlu (1963) birimin Vizeen – Karbonifer yaşlı olduklarını belirtmişlerdir. Kaya (1971) bu birime ismini vermiş olup çalışmasında bu birimin yaşını Acıbadem Üyesine dayanarak geç Turnesiyen olarak belirtmiştir.

Şekil 3. 4 Çırçır Deresi mevkiinde gözlenen grovaklar

Şekil 3. 5 Trakya formasyonunda gözlenen ezik zon

Şekil 3. 6 Trakya formasyonuna ait grovaklar

Saha çalışmaları sırasında bölgede Trakya Formasyonuna ait örnekler alınmış, mostralarda doğrultu – eğim ölçümlemeleri yapılmıştır. Örneklerden hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Şeyllerden yapılan kesitlerde bunların çok ince tabakalı (laminalı) oldukları, serizit, klorit ve epidot mineralleri içerdikleri gözlenmiştir. Grovak özelliğindeki örneklerde ise bunların matriksini oluşturan tanelerde serizit ve klorit mineralleri gözlenirken kayacı oluşturan taneler ise kuvarslar olarak tespit edilmiştir. Kuvarsların hemen hemen tümü dalgalı sönme göstermekte olup kaynak alanlarının metamorfik kayaçlar olduğunu düşünülmektedir.



Şekil 3. 7 Trakya formasyonuna ait grovak ve şeyllerin polarizan mikroskop görüntüleri

3.2.4. Sarıyer Formasyonu (Krs)

Çalışma bölgesinde Trakya formasyonunu üzerler şekilde bulunan birim aglomera, tüf, andezit ve kireçtaşı merceklerinden oluşmaktadır. Kırıntılı ve volkanik kayaçlardan oluşan bu birim boğazın her iki yakasında Şile – Karaburun arasında Karadeniz sahili boyunca uzanmaktadır. Birim üst Kretase yaşlı olup farklı araştırmacılar tarafından farklı isimlerle adlandırılmıştır. Pehlivan (1990) "Sarıyer Formasyonu", Bayrak ve Murat (1990) "İstanbul Volkanitli Flişi ve İstanbul Volkaniti", Yurtsever (1996) "Kilyos Volkanitli Flişleri", Gedik vd. "İsaklı Formasyonu ve Riva Formasyonu'nu kapsayan Yemişliçay Gurubu", Keskin vd. ise Bozhane Formasyonu, Garipçe Formasyonu ve Kısırkaya Formasyonu'nu kapsayan Kavaklar Gurubu adları ile tanımlamışlardır (Özgül vd. 2005)

Sarıyer formasyonu alt birimlerinde magmatik kökenli kayaçlar, üst birimlerinde ise volkanik tüflerden oluşmuş olup yer yer kireçtaşı mercekleri bulunmaktadır. Birim kendi içerisinde yanal ve düşey geçişlidir.

Bölgede geniş yayılım gösteren bu birim genel itibariyle beyaz ve sarımsı renklidir.

Şaryaj hattı boyunca, tüflerle dereceli olan kireçtaşı merceklerinin, Üst Kretaseyi temsil eden fosilleri bünyesinde bulundurması, bölgedeki tüflerin de kireçtaşları ile ayın yaşta olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda bu birimin kalınlığı yaklaşık olarak 2500 – 3000 metre olarak düşünülmektedir. Birimin, bu kalınlığa Karadeniz kıyılarına yakın yerlerde ulaştığı bölgenin batı ve doğusuna doğru inceldiği ve diğer yaşıt birimler içerisinde kamalandığı belirtilmiştir. Bu formasyon çalışma sahasında Trakya formasyonu ile tektonik bir sınır arz etmektedir.

Şekil 3. 8 Sarıyer Formasyonuna ait birimler

Şekil 3. 9 Maden mevki güneyinde yol yarmasında Sarıyer formasyonu

3.2.5. Belgrad Formasyonu (Nb)

Birim genel itibariyle kum ve çakıllardan oluşmakta olup bunlar çoğunlukla kırmızı nadiren sarı ve kırmızı – pembe renklidirler. Ancak ayrışmaya uğramış kısımları sarımsı kızıl renklidir.

Konglomeraların hemen hemen tümü kuvars ve kuvarsitlerden oluşmuştur. Bunlar genel itibariyle yuvarlak, yarı yuvarlak ve köşeli formdadırlar. Ayrıca çapraz tabakalıdırlar.

Birim oluşturan sedimenter kayaçlar zayıf tutturulmuş, kötü boylanmalı ve az çimentoludur. Killi seviyeler ise yeşilimsi renkli olup bu seviyeler içerisinde kömür bantlarına rastlanılmaktadır.

Belgrad formasyonu çalışma bölgesinde Trakya formasyonu ile faylı bir sınıra sahiptir. Üzerindeki Kuvaterner yaşlı birimler ise bu birimi açısal diskordans ile örtmektedir.

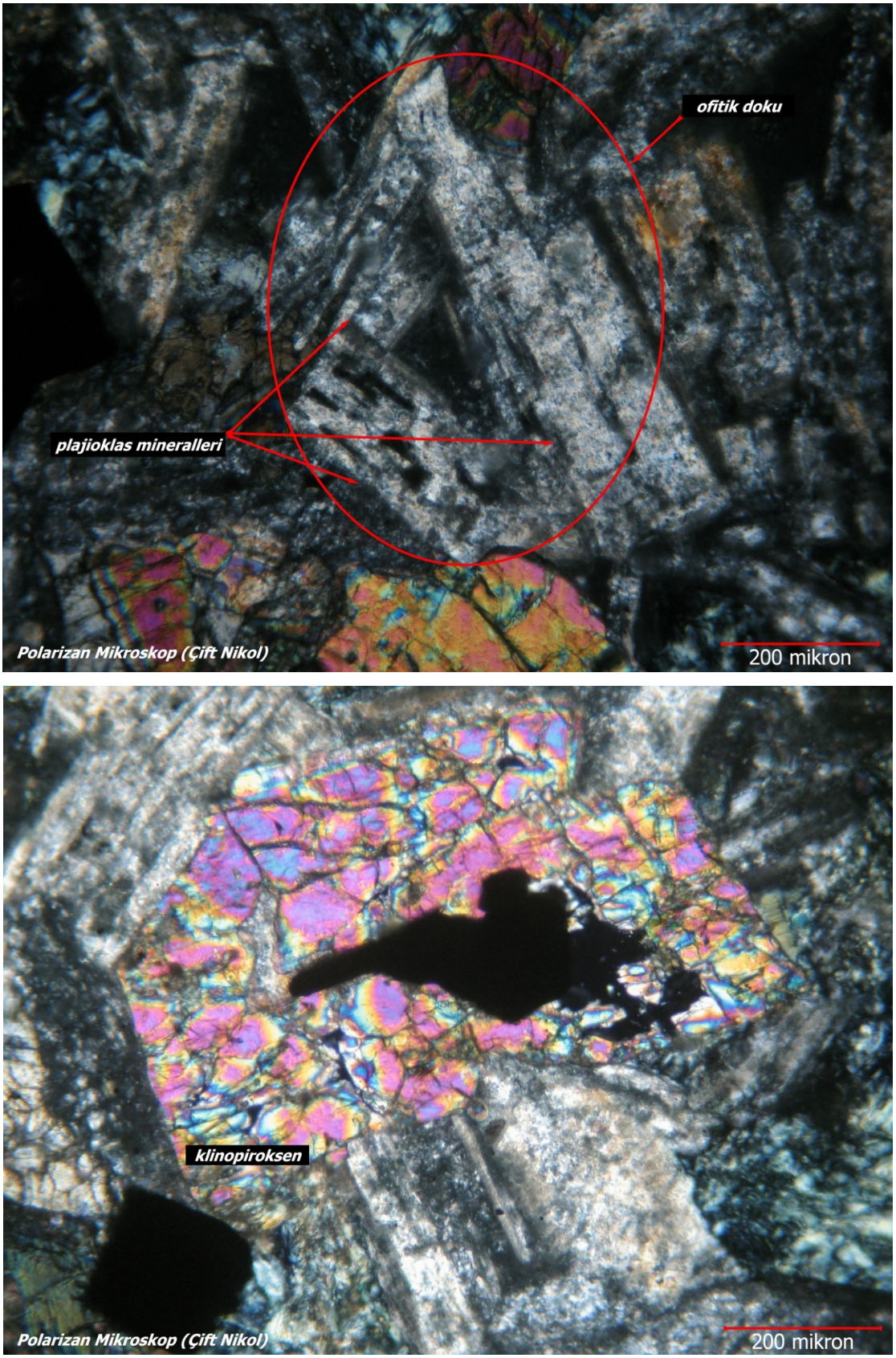
Şekil 3. 10 Tekel Şantiyesi T1 Tünelinde görülen Belgrad formasyonu birimleri

3.2.6. Diyabaz Daykları

Yeşil, yeşilimsi gri renkli olan kayaç genel itibariyle ayrışmamıştır. Ancak ayrışmaya bağlı yer yer killeşmiş kısımları bulunmamaktadır. Tünel açılımı sırasında görülen bu kayaçlar yer altında kaldıklarından dolayı daha korunmuş şekildedirler. Diyabaz daykları farklı kalınlıklardaki sokulumlar, dayklar şeklinde İstanbul Paleozoyiğini kesmektedirler.

Tünel aynasından alınan diyabazlardan hazırlanan ince kesit örnekleri polarizan mikroskopta incelenmiştir. Örnekte yarı özşekilli ve özşekilsiz plajioklas mineraleri bulunmaktadır. Genel olarak mostradan alınan örneklerde plajioklaslar killeşmiş olarak görülürken tünel aynasından alınan bu örnekler daha korunmuş durumdadırlar. Ayrıca klinopiroksen mineralleri gözlenmiştir. Örnek ofitik dokudadır.

Şekil 3. 11 Diyabaz örneğinin polarizan mikroskoptaki tek nikol görüntüsü



Şekil 3. 12 Diyabaz örneğinin polarizan mikroskop çift nikoldeki görüntüsü

3.2.7. Alüvyon (Qal)

Kil, kum ve çakıl gibi malzemelerin çevredeki akarsular tarafından taşınıp vadi kısımlarda biriktirmesiyle oluşmuştur. Tünel güzergâhında Tekel Şantiyesindeki kazılarda geçilen alüvyon birimi genel itibariyle kil ve çamurtaşı şeklinde iken yer yer çakıllı birimlerde gözlenmiştir. Tünel ekseninde rastlanılan kumlu birimler kazı açısından sorunlar oluşturmuştur. Çalışma alanında Sarıyer ve Çayırbaşı dereleri civarlarında alüvyon birime rastlanılmıştır.

Şekil 3. 13 Tekel şantiyesinde T2 tünelinin ilk metrelerindeki ayna kazı işlemi sırasında geçilen alüvyon birim

3.3. YAPISAL JEOLOJİ VE TEKTONİK

İstanbul Paleozoyik istifi geçirdiği Hersiniyen ve Alpin orojenezleri etkisi sonucunda karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu istifte çok çeşitli yönlerde ve doğrultularda eklem takımları ve tabaka düzlemleri gelişmiştir. Ancak eklem takımlarının sıklığını belirleyen bir etmen de tabi ki formasyon özellikleri ve birimlerin dayanımlarıdır.

İstanbul ve Marmara bölgesi tektonik olarak hareketli bir noktada yer almaktadır. Arap ve Afrika levhalarının hareketleri sonucunda sıkışan Anadolu plakası üzerinde gelişen 2 büyük fay sisteminden biri olan KAF (Kuzey Anadolu Fayı) Marmara Denizi'ne kadar ulaşır. Marmara Denizi'ndeki devamı üzerinde farklı senaryolar ve görüşler olsa da ortak varılan sonuç fayın burada birkaç kola bölünerek devam ettiğidir. Bölgedeki önemli tektonik unsur ve KAF'a bağlı gelişen ikincil fay sistemleri genel itibariyle yaklaşık doğu – batı uzanımlıdır.

İnceleme alanındaki en önemli tektonik unsur ise Sarıyer bindirme kuşağıdır. Bu bindirme kuşağının varlığı ilk kez Chaput ve Hovasse (1930) tarafından saptanmış ve Sarıyer – Şile arasındaki bu kuşak "Sarıyer – Şile Bindirmesi" olarak isimlendirilmiştir. Bu bindirme ile Sarıyer formasyonu ile Trakya formasyonu yan yana gelmiştir.

Ayrıca Hünkar Tepe'nin kuzey eteklerinde Gözdağ formasyonunun Trakya formasyonuna bindirdiği gözlenmektedir. Aynı zamanda tünel güzergâhı boyunca Baltalimanı – Gözdağ ve Trakya – Belgrad formasyonlarının normal faylı bir sınır ilişkisi gösterdikleri tespit edilmiştir.

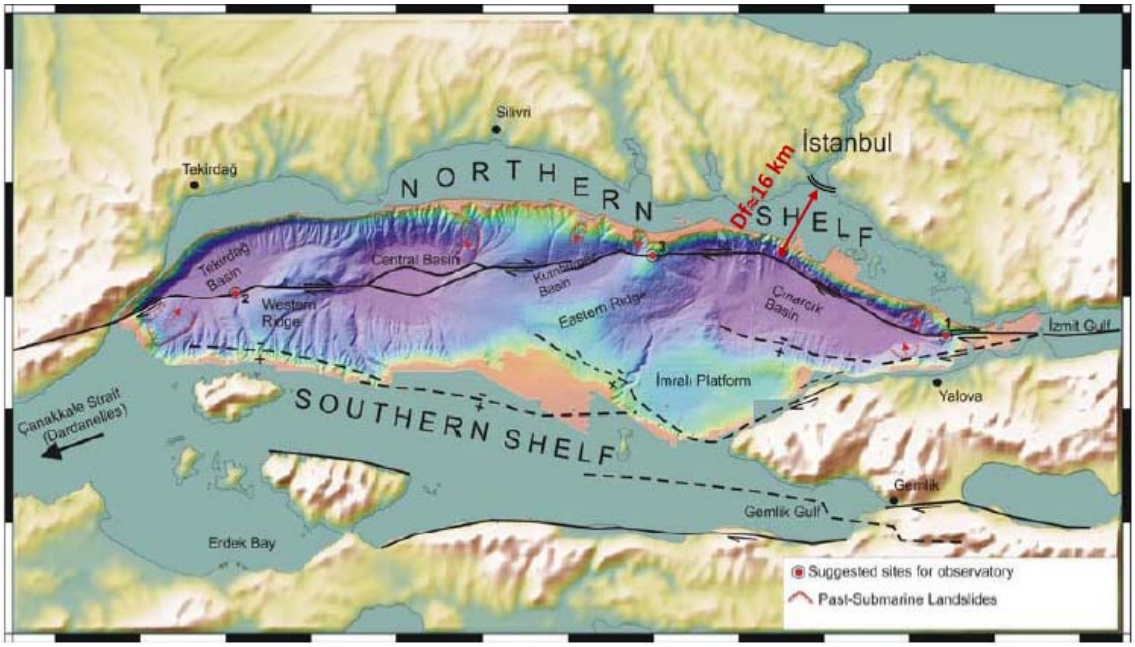
3.4. DEPREMSELLİK

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin ortaya çıkardığı tektonik ve sismolojik veriler bize Türkiye'nin e yoğun yerleşimin ve endüstrinin yer aldığı İstanbul'dan Bolu'ya değin uzanan bir bölgenin depremselliğini ortaya koyar. 1999 yılı depremlerinin ortaya çıkardığı bu verilerin daha ayrıntılı şekilde açıklanması hayati önemdedir (Üşümezsoy, 2001).

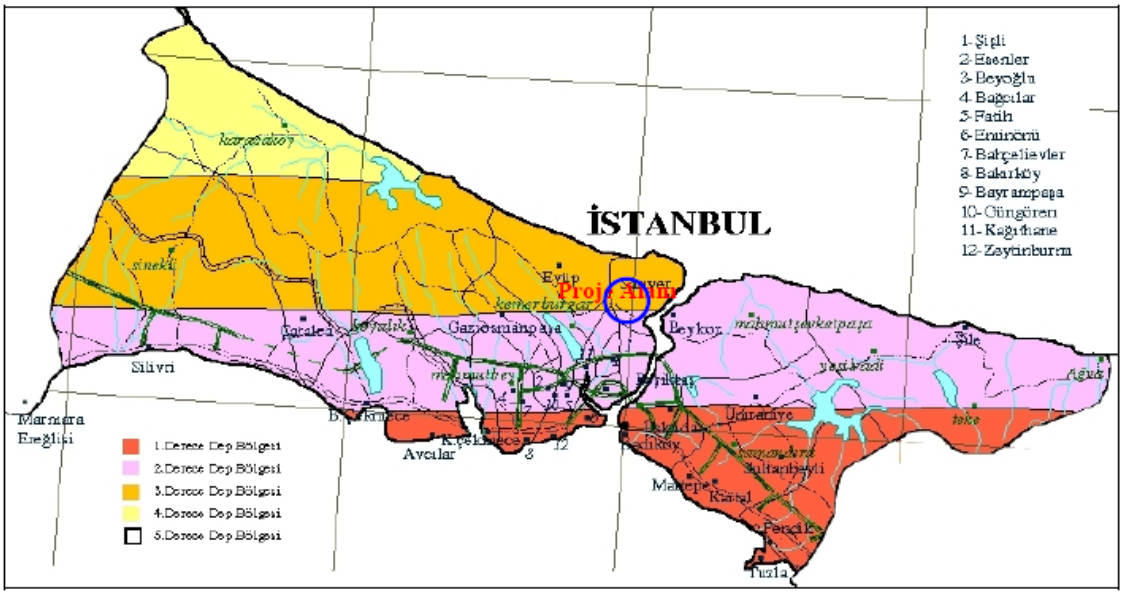
İstanbul ili sınırları içerisinde ve çalışma bölgesinde aktif bir fay bulunmamakla birlikte Marmara Denizi içerisinden geçen KAF'ın (Kuzey Anadolu Fay Hattı) kollarının yaratacağı büyük ölçekli depremler çevrede etkili olacaktır (Şekil 3.14).

Bu bilgiler ışığında gelecekte hasar verici depremlerin olması kaçınılmazdır. Her ne kadar Sarıyer bölgesi İstanbul geneline ve Marmara Denizi sahilinde bulunan semtlere nazaran daha güvenli bir alanda görülse de (hem aktif faylara olan uzaklığı hem de nispeten daha sağlam bir kaya ortamında bulunması açısından) bu tarz mühendislik yapılarının inşası tedbirsizliği kabul edemeyecek düzeyde önemlidir.

Çalışma alanı Proje ve İskan Bakanlığı tarafından 1998'de yayınlanan Deprem Bölgeleri Haritasına göre 2. ile 3. Derece deprem bölgesi sınırına yakın, 3. derece deprem bölgesinde kalmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3. 14 KAF'ın Marmara Denizi içindeki konumu (ESONET NoE - Marmara Sea Observatory, 2006)



Şekil 3. 15 İstanbul ili deprem bölge haritası (www.depremhaber.com)

4. MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

Bu bölümde "Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli"nin mühendislik jeolojisi bakımından incelenmiştir. Bu kapsamda tünel güzergâhı boyunca yapılan sondajlar, geçilen birimlere ait mühendislik parametreleri ve bu birimlerin içerisindeki kaya ortamların ait olduğu kaya sınıfları, tünelde uygulanan tahkimat elemanları ve tip kesitler anlatılmış, tünel açımı açısından sorun yaratan T2 tüneli 0+170 – 0+370km'leri arası ve T1 tüneli 1+650-1+800km'leri arasındaki bölümler ayrıntılı olarak mühendislik açısından incelenmiştir. Bu aralıklardaki sorunların sebepleri, çözüm yolları, çözüm yollarının uygunluğu ve sonuçları irdelenmiştir.

4.1. SONDAJLAR

Tünel jeolojisini tanımlamak amacıyla tünelin geçeceği güzergah boyunca belli aralıklarla 9 adet sondaj yapılmıştır (Tablo 4.1). Sondajlar Crealius 500 tipi sondaj makineleri ile rotari – sulu sondaj tekniği uygulanarak yapılmıştır.

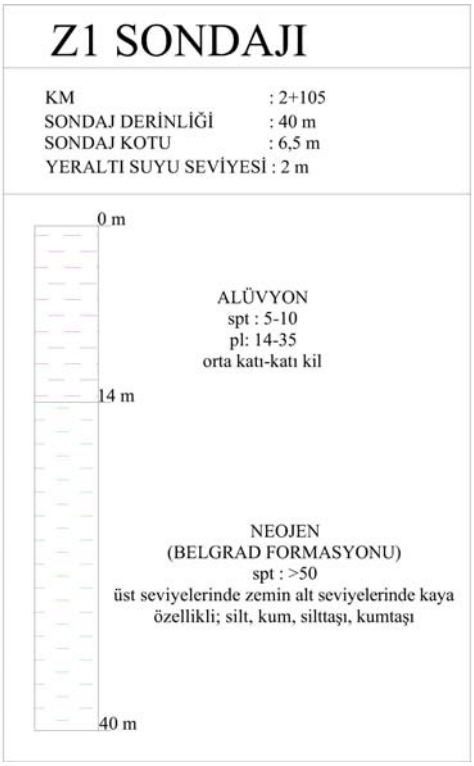
Sondajlardan elde edilen veriler ışığında tünel güzergâhının jeolojik kesitinin çıkarılabilmesi için tünelin tapografik kesiti üzerinde sondaj noktaları belirlenmiş, daha sonra sondaj logları işlenmiştir. Saha gözlemleri ve önceki araştırmalardan da yararlanılarak tünelin kesit güzergâhında karşılaşılacak birimler ve bunların özellikleri, davranışları öngörülmüştür. Ancak tüm tünel boyunca geçilecek ortamların metre metre tam tespit edilmesi mümkün değildir. Tünel açımı sırasında karşılaşılan tüm birimlerin özellikleri ve türleri ayna raporlarının bir araya getirilmesi sonucunda net bir şekilde ortaya konabilir.

Tablo 4. 1 Tünel güzergahında yapılan sondajlara ait veriler

Sondaj No	Kilometre (Hat 1)	Yatay (x)	Düşey (y)	Kuyu Kotu (z)	Kuyu Derinliği (m)	Yer altı Su Seviyesi
Z 1	2+105.00	421883.95	4559362.64	6.50	40,00	2,00
Z 1 A	2+080.00	421859.42	4559370.68	10.50	30,00	5,00
Z 2	1+890.00	421674.46	4559416.69	33.50	45,00	8,50
Z 3	1+780.00	421569.16	4559400.24	25.00	51,50	4,00
Z 4	1+570.00	421349.10	4559421.12	35.50	43,00	5,00
Z 5	1+495.00	421274.42	4559439.59	45.10	60,00	11,50
Z 6	1+320.00	421099.31	4559457.72	54.00	58,00	
Z 7	0+990.00	420774.34	4559623.41	137.00	125,00	
Z 8	0+465.00	420229.49	4559776.54	214.66	187,00	

Z–1 Sondajı tünel güzergâhının 2+105km'sinde 6,5m kotunda yapılmıştır. Sondajın derinliği 40m'dir. Yer altı su seviyesi 2m olan sondajın ilk 25cm'lik kısmı bitkisel topraktır. 7m'ye kadar olan kısımda spt değerleri düşük olup (5-8), bu bölüm orta katı kil olarak adlandırılmış ve alüvyon olarak gösterilmiştir. Spt değerleri 9-10 arasında değişen katı kil birimi de yine alüvyon olarak tanımlanmıştır. 14m'den kuyu sonu olan 40m'ye kadar olan kısımda kiltaşı, kumtaşı, silttaşı gibi farklı özellikteki genel itibariyle sarı – kahve renkli birimler Neojen yaşlı birim olarak tespit edilmiş olup spt değerlerinin çoğunluğu (biri dışında) 50 üzerinde darbe sayısı vermiştir. Sondaj boyunca zemin ve yarı pekişmiş kaya ortamlar geçilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2).

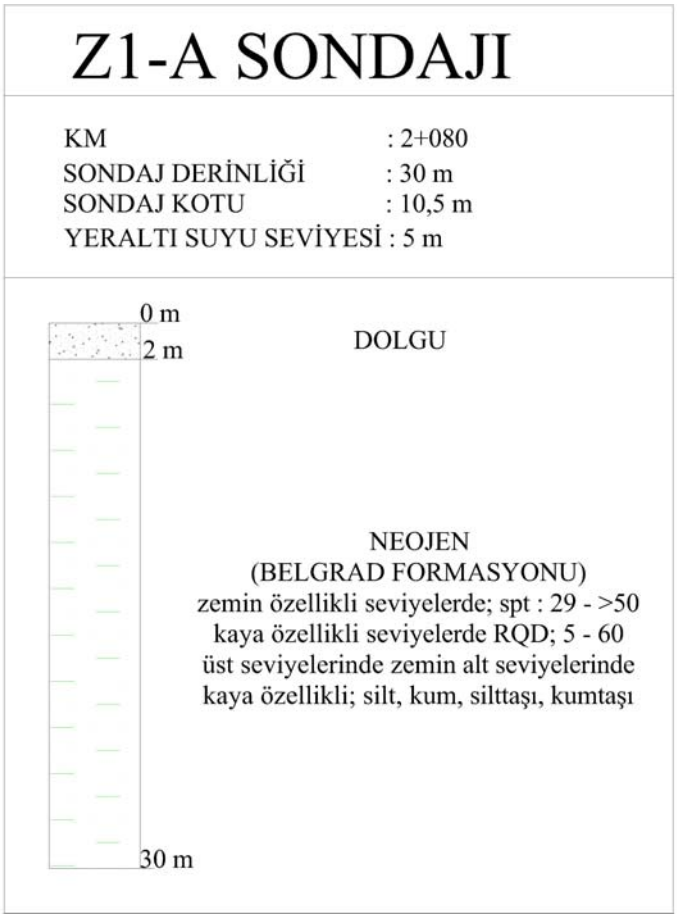
Şekil 4. 1 Z-1 sondajı 0 – 12,75 ve 26,20 – 31,50 metreleri arası sondaj karotları



Şekil 4. 2 Z1 sondaj logu

Z-1A Sondajı tünel güzergâhının 2+080km'sinde 10,50m kotunda yapılmıştır. Bu sondajın derinliği 30 metre olup yer altı su seviyesine 5m'de ulaşılmıştır. Sondajın ilk 2m'lik kısmında dolgu birim geçilmiş olup 2 – 5m arası orta sıkı özellikteki Neojen yaşlı birim olarak değerlendirilmiştir. Kuyu sonuna kadar geçilen birimler ise Neojen yaşlı birim ait çok sıkı özellikteki birimler olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3, Şekil 4.4).

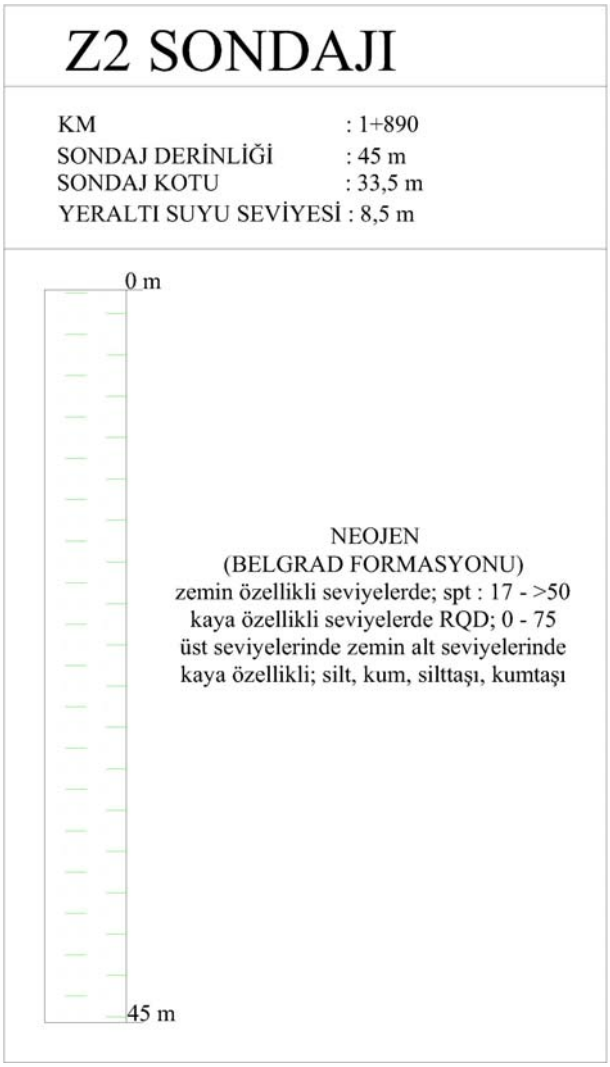
Şekil 4. 3 Z-1A sondajı 0 -12,00 ve 27,50 – 30,00 metreleri arası sondaj karotları



Şekil 4. 4 Z1-A sondaj logu

Z–2 Sondajı tünel güzergâhının 1+890km'sinde 33,50m kotunda yapılmış olup derinliği 45m'dir. Bu sondajda yer altı su seviyesi 8,5m'de tespit edilmiştir. İlk 8m'si orta sıkı özellikteki Neojen yaşlı birimde geçen sondajın kalan kısmı tamamıyla çok sıkı ve sert özellikteki Neojen yaşlı birimde devam etmiş ve kuyu sonlandırılmıştır (Şekil 4.5, Şekil 4.6).

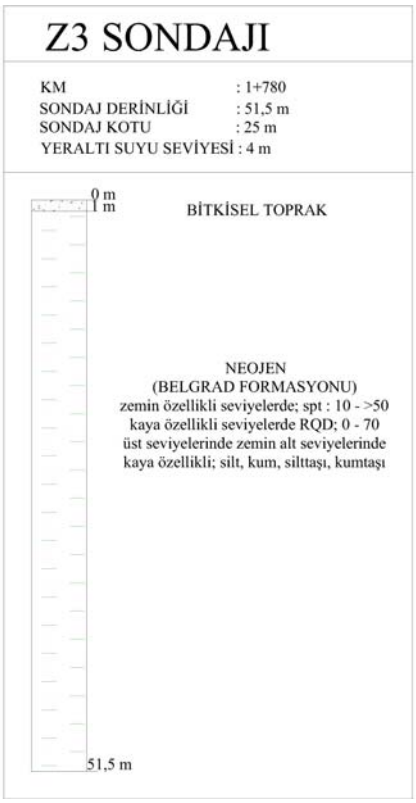
Şekil 4. 5 Z-2 sondajı 21,00 -28,50 ve 28,50 – 35,00 metreleri arası sondaj karotları



Şekil 4. 6 Z2 sondaj logu

Z–3 Sondajı tünel güzergâhının 1+780km'sinde 25m kotunda yapılmıştır. Sondajın derinliği 51,5m olup yer altı su seviyesine 4. metrede ulaşılmıştır. Sondajın ilk 1m'sinde bitkisel toprak katmanı kesilmiş olup 6m'ye kadar devam kısım sarı renkli çakıl ve kum ihtiva eden katı kil olarak tanımlanmış ve neojen tabakasına dâhil edilmiştir. Bu birimde yapılan spt deneylerinde alınan değerler 10-13 arasında değerler vermiştir. 6. metreden sonra kuyu sonu olan 51,5m'ye kadar geçilen birimler genel itibariyle çakıllı kum-kumtaşı olup yer yer kumlu silt-silttaşı ve siltli kum birimler de geçilmiştir. Zemin özellikli bölgelerde yapılan spt deneylerinde 50 darbe sayısı aşılmıştır. Kaya özellikli birimlerde ise RQD değerleri 0 ile 70 arasında değişmiştir (Şekil 4.7, Şekil 4.8).

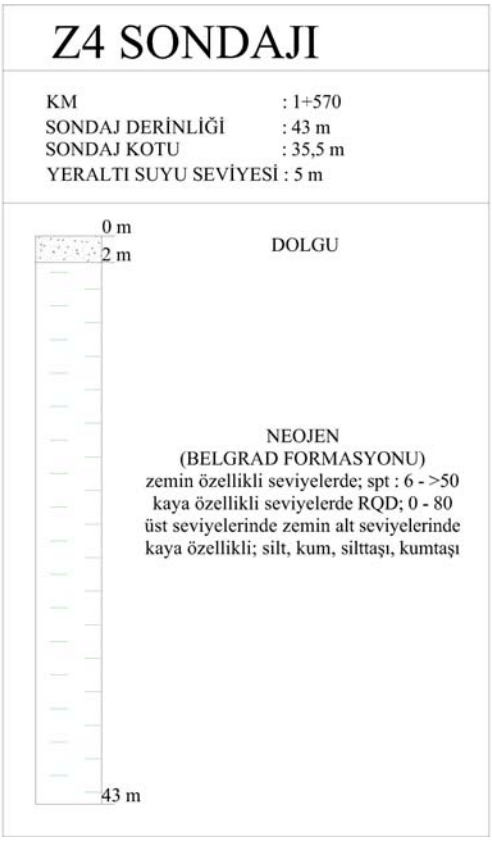
Şekil 4. 7 Z-3 sondajı 0 -9,40 ve 36,00 – 42,00 metreleri arası sondaj karotları



Şekil 4. 8 Z3 sondaj logu

Z–4 Sondajı tünel güzergahının 1+570km'sinde 35,5m kotunda yapılmıştır. Sondajın derinliği 43m olup yer altı su seviyesi 5m derinlikte tespit edilmiştir. İlk 2m'si dolgu olarak geçilen sondajın 2 ila 5m arası spt değerleri sonuçları itibariyle gevşek – orta sıkı killi kum birimi olarak tanımlanmıştır. Sondajın 5. metresinden sonuna kadar geçilen 38m'lik kısımda siltli kum – kumlu sil ardalanması, killi çakıllı kumtaşı siltli kumtaşı – kumlu silttaşı ardalanması gibi birimler gözlenmiş olup bunlar neojenin daha sağlam özellik sergileyen alt birimi olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10).

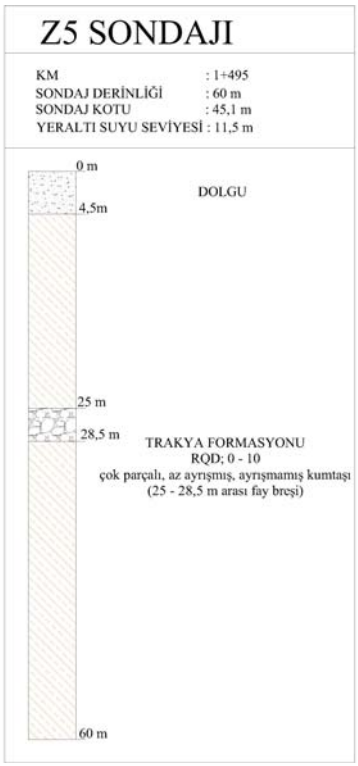
Şekil 4. 9 Z-4 sondajı 0 -12,00 ve 34,00 – 43,00 metreleri arası sondaj karotları



Şekil 4. 10 Z4 sondaj logu

Z–5 Sondajı tünel güzergâhının 1+495km'sinde 45,1m kotunda yapılmıştır. Sondajın derinliği 60m olup yer altı su seviyesi 11,5m derinlikte tespit edilmiştir. İlk 4,5 metresi kayaç parçaları ve toprak matriksten oluşan dolgu olarak geçilmiş olup 4,5 - 8m arası kayaç parçaları içeren tamamen ayrışmış siltli kum olarak tespit edilmiştir. Sondajın kalan metrelerinde kumtaşı ve son 10 metresinde kumtaşı – şeyl ardalanması kesilmiş olup tüm bu birimler Trakya Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu sondajda Trakya Formasyonu boyunca geçilen kumtaşı birimleri zaman zaman çok ayrışmış, sık kırıklı zaman zaman da az ayrışmış özellikler sunmakla birlikte 25 – 28,5m'leri arasında fay zonuna bağlı çok parçalı kumtaşı ve fay breşi şeklinde yoğun killeşmiş bir bölge geçilmiştir (Şekil 4.11, Şekil 4.12).

Şekil 4. 11 Z-5 sondajı 25,30 -33,50 ve 54,00 – 60,00 metreleri arası sondaj karotları



Şekil 4. 12 Z5 sondaj logu

Z-6 Sondajı tünel güzergâhının 1+320km'sinde ve 54m kotunda yapılmıştır. Sondaj derinliği 58m'dir. Sondajın ilk 5m'sinde kaya, beton ve toprak dolgu geçilmiştir. Dolgudan sonra girilen kalkerli şeyl birimi az ayrışmış, çok çatlaklı bir yapı sergilemiştir. Bu birimde 5–10 m aralığında RQD değeri sıfır iken son iki metrede 10 olarak tespit edilmiştir. 12 – 20,5 m aralığında orta-sık kırıklı, ayrışmamış ince şeyl ara seviyeli yumrulu kireçtaşı birimi kesilmiştir. Bu birimin RQD değeri ise ortalama 43'tür. Sonraki 16,5m (37m derinliğe kadar) boyunca orta-sık kırıklı ayrışmamış kalkerli şeyl katmanı bulunmaktadır. Bu birimde hesaplanan RQD değeri ise ortalama 30 civarındadır. 37,00 – 58,00 m aralarında ise fay breşi kesilerek sondaj sonlandırılmıştır (Şekil 4.13, Şekil 4.14).

Şekil 4. 13 Z-6 sondajı 9,50 - 15,20 ve 26,00 – 31,50 metreleri arası sondaj karotları

Şekil 4. 14 Z6 sondaj logu

Z-7 Sondajı tünel güzergahının 0+990km'sinde 137m kotunda yapılmıştır. Sondajın derinliği 125 metre olup yer altı suyuna rastlanmamıştır. Sondajın ilk 2 metresi dolgu olarak geçilmiş olup 5m'ye kadar devam eden kesitte tamamen ayrışmış özellikli kaya ortamı olarak tespit edilmiştir. 5m derinlikten sondaj sonu olan 125m derinliğe kadar olan kısımda silttaşı birimi gözlenmiştir. Bu birim Gözdağ Formasyonuna aittir. Farklı derinliklerde farklı özellikler sergileyen birim 14,5m derinliğe kadar çok ayrışmış bir özellik gösterirken bu derinlikten sonra sondaj sonuna kadar ayrışmamış özellik göstermiştir. Silttaşları, 14,5m derinliğe kadar olan kısımda orta – sık kırıklı iken bu derinlikten sonra yine orta – sık kırıklı bölgeler olmakla birlikte çok sık kırıklı ve parçalı özellik göstermiştir (Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17).

Şekil 4. 15 Z-7 sondajı 0 -14,50 ve 63,00 – 69,50 metreleri arası sondaj karotları

Şekil 4. 16 Z-7 sondajı 104,00 -112,00 ve 118,5 – 125,0 metreleri arası sondaj karotları

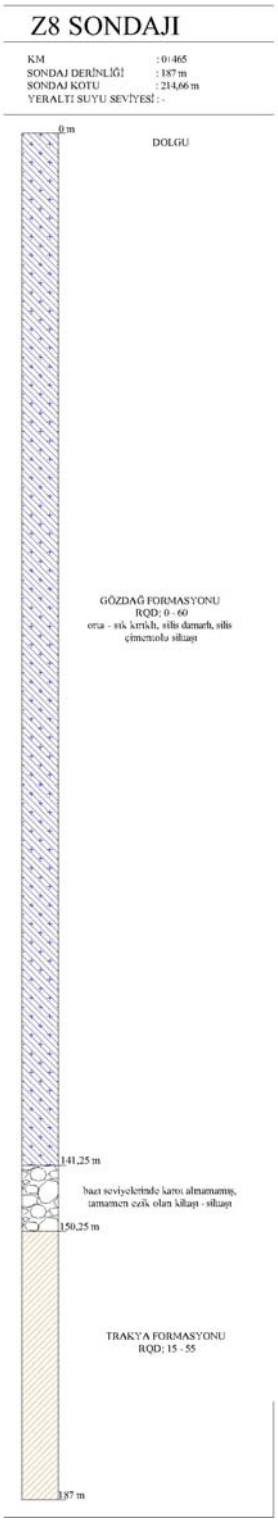
Şekil 4. 17 Z7 sondaj logu

Z-8 Sondajı tünel güzergahının 0+465km'sinde 211,66 metre kotunda yapılmıştır. Sondajın derinliği 187 metre olup yer altı su seviyesine rastlanılmamıştır. Bu sondaj tünel güzergahı araştırlamalarında açılan en derin sondajdır. Z-8 Sondajının ilk 3

metresi tamamen ayrışmış kaya ürünü olan kumlu silt birimiyle geçilmiştir. Bu birimdeki RQD değeri sıfırdır. 3. metreden sonra 21,5m derinliğe kadar "sarı renkli, çok ayrışımış, orta – sık kırıklı, yer yer parçalı silttaşı" birimi geçilmiştir. Bu birimde RQD değerleri derinliğe göre 0 ile 30 arasında değişmiştir. 21,5 – 48 m arasında "gri renkli, çatlak yüzeyleri kahverengi, orta derecede ayrışmış, sık kırıklı – parçalı kumtaşı" birimi geçilmiştir. RQD değerleri ise 0 ila 25 arasında değerler vermiştir. Daha sonraki 4 metrede "açık gri renkli, orta – seyrek kırıklı silttaşı" birimi geçilmiştir. Bu silttaşında TCR 95, RQD 45 olarak hesaplanmıştır. 52 – 64 metreleri arasında "açık gri renkli az ayrışmış, orta – sık kırıklı kiltaşı" birimi geçilmiştir. RQD değerleri ise 0 ila 30 arasında değişiklik göstermiştir. Bu derinlikten 141,25m'ye kadar genel itibariyle silttaşı birimi geçilmiş olup bu birimin genel özelliği yeşilimsi gri renkli, orta – sık kırıklı oluşudur. Birim silis damarlı, silis çimentolu olduğu derinliklerde ayrışmamış durumda gözlenmiştir. 141,25m'den 160m derinliğe kadar zayıf özellikler sergileyen silttaşı – kiltaşı ardalanması şeklindeki birim geçilmiştir. 160 – 167m derinlik aralığında silis damarlı silttaşı geçilmiş olup bu derinlikten kuyu sonuna kadar çamurtaşı kiltaşı ardalanmalı birim tespit edilmiştir (Şekil 4.18, Şekil 4.19).

Şekil 4. 18 Z-8 sondajı 141,20 -150,30 ve 174,5 – 180,30 metreleri arası sondaj karotları

NOT: Sondajlar ve geçilen birimlerin tanımlamaları "ZEMAR Zemin Araştırma ve Mühendislik ve Teknik Danışmanlık Ltd. Şti."nin "Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli Jeoteknik Değerlendirme Raporu"ndan alınmıştır.



Şekil 4. 19 Z8 sondaj logu

4.2. TÜNEL GÜZERGÂHINDA GEÇİLEN ZEMİN VE KAYA ORTAMLARIN MÜHENDİSLİK PARAMETRELERİ

4.2.1. Alüvyal Zeminler

Tünelin Tekel şantiyesi girişinde Çayırbaşı deresinin getirdiği alüvyonlar mevcuttur. Bu alüvyon tabakası Z1 sondajında kesilmiştir. Ayrıca Z4 sondajında da sınırlı ölçüde alüvyon tabakasına rastlanılmıştır. Alüvyon birimden alınan örnekler üzerinde laboratuarda yapılan analizler sonucunda birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre üst kesimi orta yüksek plastisiteli (CI – CH) orta katı kil – siltli kil, alt kesimi ise yine orta - yüksek plastisteli (CI - CH) Katı Siltli Kil olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 4. 2 Alüvyon çökellere ait mühendislik parametreleri

Parametre	Üst Seviye (0,00 – 6,00 m arası)	Alt seviye (6,00 – 14,00 m arası)
Penetrasyon Direnci N30	5 – 8 (6)	8 – 10 (9)
Penetrometre Direnci q_u	50 - 75 kPa	75 – 125 kPa
Likit Limit	43 - 56	33 - 58
Plastik Limit	19 – 25	19 – 23
Plastisite İndisi	24 - 31	14 - 35

4.2.2. Neojen Çökeller

Belgrad formasyonuna ait olan neojen çökeller yaklaşık 5 – 6 m kalınlığındaki üst kesimlerinde tamamen zemin özelliği sergilemektedir. Bu seviyedeki birimler tutturulmamış ve granüler şekildedir.

Daha derinlerdeki seviyeleri ise zayıf çimentolu yer yer yarı taşlaşmış özellikte olup hem kaya hem de zemin özelliği sergilemektedirler.

Neojen çökeller mühendislik özellikleri açısından “yüzeye yakın kısımlar”, “killi seviyeler” ve “kumlu seviyeler” olmak üzere üç grup altında ele alınabilir (Tablo 4.3).

Tablo 4. 3 Neojen çökellere ait mühendislik parametreleri

Parametreler	Yüzey Kesimi	Killi Kesimler	Kumlu Kesimler
Penetrasyon Direnci N_{30}	24	>50	>50
Toplam Karot Verimi %	-	55	50
RQD Oranı %		25	17
Çakıl Oranı %	10	3	26
Kum Oranı %	29	33	32
Kil+Silt Oranı %	61	64	42
Likit Limit %	38	37	29
Plastik Limit %	17	17	16
Plastisite İndisi %	21	20	13
Kohezyon (c) kPa	-	250	185
İçsel Sürtünme Açısı º	-	15	30
Serbest Basınç Dayanımı (kPa)	-	1100	1000
Birim Hacim Ağırlık (gn) gr/cm^3	-	22,5	22
Elastisite Modülü Es MPa	-	175	100

4.2.3. Trakya Formasyonu

Trakya formasyonu tünel güzergâhı boyunca yaklaşık 650m boyunca geçilmiştir. Birim genel olarak sık kırıklı – parçalı, yumuşak orta sert kaya sınıfındadır.

Süreksizlik düzlemleri; kumtaşı seviyelerinde dalgalı ve pürüzlü, nadiren kil dolgulu, çamurtaşı – kiltaşı ve grovak seviyelerinde düzlemsel – düz ve yaygın olarak kil dolguludur. Yine kumtaşı seviyelerinde çatlak aralıkları nispeten fazla ve çatlaklar az da olsa açık, kiltaşı – çamurtaşı ve grovak seviyelerinde çatlaklar daha sık ve kapalıdır.

Tünel güzergâhı boyunca zaman zaman diyabaz dayklarıyla kesilmiş olan Trakya formasyonuna Z5 ve Z8 sondajlarında denk gelinmiştir. Bu sondajlardan Trakya formasyonuna ait örneklerden yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4. 4 Trakya formasyonuna ait mühendislik parametreleri

Parametreler	Minimum	Maksimum	Ortalama
Toplam Karot Verimi (TCR)	0	90	48 (95)*
Solid Karot Verimi (SCR)	0	90	31(80)*
Kaya Kalite Tasarımı (RQD)	0	48	3(40)*
Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	25	87	60
Elastisite Modülü (Es) (MPa)	9.130	32.090	20.000
Birim Hacim Ağırlık (□n) (kN/m3)	24,97	26,29	25,5
Nokta Yük İndisi (Ic_{50}) (MPa)	2,62(60,4)**	4,83(111)**	3,5(80,5)**

**Parentez içindeki değerler kuzey tarafta Silttaşları altında kesilen kesimine aittir.*
***Parantez içindeki değerler serbest basınç eşdeğerleridir.*

4.2.4. Baltalimanı Formasyonu

Baltalimanı formasyonu tünel güzergâhının yaklaşık 150m'lik kısmında geçilmiştir. Tünel güzergâhında genellikle Gözdağ formasyonundan sonra faylanma sonucu karşılaşılan formasyonun bu kısımlarda çok kırıklı ve paralanmış şekildedirler. Bazen de nispeten daha sağlam seviyeler halindedir. Genel olarak bakıldığında ise orta - sık kırıklı bazen parçalı, yumuşak - orta sert kaya özelliğindedir.

Süreksizlik düzlemleri; kireçtaşı, çört ve silisli şeyl baskın seviyelerde genellikle dalgalı ve pürüzlü, kalkerli şeyl seviyelerinde düzlemsel, düz ve kil dolgulu olabilir. Yine kireçtaşı çört ve silisli şeyl baskın seviyelerde süreksizlikler nispeten açık, kalkerli şeyl seviyelerinde nispeten sıkıdır.

Tablo 4. 5 Baltalimanı formasyonuna ait mühendislik parametreleri

Parametreler	Minimum	Maksimum	Ortalama
Toplam Karot Verimi (TCR)	0	90	45
Solid Karot Verimi (SCR)	0	85	41
Kaya Kalite Tasarımı (RQD)	0	60	19
Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	23	92	40
Elastisite Modülü (Es) (MPa)	7.310	30.900	19.000
Birim Hacim Ağırlık (□n) (kN/m3)	25	28	26
Nokta Yük İndisi (Ic_{50}) (MPa)	0,47(10,7)*	1,35(30,9)*	1(23)*

**Parantez içindeki değerler serbest basınç eşdeğerleridir.*

4.2.5. Gözdağ Formasyonu

Tünel kazısı boyunca en fazla (yaklaşık 800 metre) görülen birim Gözdağ formasyonudur. Birim ayrışmamış, sert, orta - sık kırıklı, yer yer parçalı silttaşı ve nadiren şeylerden oluşur.

Süreksizlik düzlemleri; genel olarak az dalgalı ve pürüzlü, nadiren kil dolguludur. Çatlaklar kısmen sürekli ve az açık, kısmen süreksiz ve sıkıdır.

Tablo 4. 6 Gözdağ formasyonuna ait mühendislik parametreleri

Parametreler	Minimum	Maksimum	Ortalama
Toplam Karot Verimi (TCR)	5	95	75
Solid Karot Verimi (SCR)	0	85	60
Kaya Kalite Tasarımı (RQD)	0	30	24
Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	4	54	35
Elastisite Modülü (Es) (MPa)	10.330	79.600	36.000
Birim Hacim Ağırlık (□n) (kN/m3)			26,00

NOT: Formasyonlara ait mühendislik parametreleri "ZEMAR Zemin Araştırma ve Mühendislik ve Teknik Danışmanlık Ltd. Şti."nin "Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli Jeoteknik Değerlendirme Raporu"ndan alınmıştır.

4.3. TÜNEL GÜZERGÂHINDA KARŞILAŞILAN ZEMİN VE KAYA ORTAMLARIN TÜNELCİLİK AÇISINDAN SINIFLANDIRILMASI

Bir tünel inşası öncesinde kazının güvenli ve ekonomik olması, projelendirmenin doğru yapılabilmesi için sondajlardan ve diğer jeolojik araştırmalardan yola çıkılarak güzergâh boyunca karşılaşılacak zemin ve kaya ortamların özellikleri belirlenerek sınıflamaları yapılır. Bu sayede uygulanacak destek sınıfları ve tahkimat elemanları belirlenmiş olur.

Kaya kütlesi sınıflamalarının kullanılmasının tünelcilik açısından birçok yararı vardır. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin kullanılmasındaki başlıca amaçlar;

- Kaya kütlesi davranışını etkileyen en önemli parametreleri tayin etmek,
- Kaya kütlelerini kendi içlerinde benzer özellikler gösteren bölgelere ayırarak değişik kaya kütlesi sınıflarını belirlemek,
- Her kaya kütlesi sınıfının karakteristiklerini anlamak amacıyla bir esas oluşturmak,
- Bir sahadaki kaya koşullarıyla ilgili kazanılan deneyimi diğer sahalarda karşılaşılan koşullarla karşılaştırıp ilişki kurmak,
- Mühendislik tasarımı için sayısal veri ve bir kılavuz elde etmek,
- Mühendisler arasında ortak bir temele dayalı bilimsel ve teknik anlamda iletişim sağlamak,

şeklinde sıralanabilir (Ulusay 2001) .

Tünel kazısı öncesinde yapılan sondajlar ışığında çeşitli sınıflama sistemlerine ait mühendislik parametreleri belirlenmiş ve kaya ortamlar sınıflandırılmıştır. Bu kaya birimleri RMR, GSI ve Q sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmıştır.

Sonuç olarak “Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli”nde kaya destek sistemi “ÖNORM B 2203” kaya sınıflama sistemine göre oluşturulmuştur. RMR ve Q kaya sınıflama sistemleriyle karşılaştırılarak kullanılan sistemde kaya ortamları “B3 taneli” , Belgrad Formasyonu “C2 baskılı” , fay zonları ise “C3 çok baskılı” olarak belirlenmiştir.

4.3.1. RMR Kaya Kütlesi Sınıflaması (Bienawski 1989)

1972 – 1973 yılları arasında Bienawski tarafından oluşturulan bu sınıflama sistemi, yıllar içerisinde yeni verilerle revize edilerek 1989 yılında yine Bienawski tarafından son halini almıştır.

Bu sınıflama sisteminde kayaca ait 6 parametre değerlendirilir. Bunlar;

- Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)
- RQD değeri (%)
- Süreksizlik aralığı
- Süreksizliklerin durumu (devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık)
- Yeraltı suyu koşulları
- Süreksizliklerin yönelimi

Uygulama alanında kullanılan jeomekanik sınıflamada dikkat edilecek nokta, tasarlanan mühendislik projesine bakılmaksızın önce kaya kütlesinin niteliği hakkında genel bir değerlendirmeye gidilmesidir. Bu da sınıflama parametrelerinin ilk beş tanesini kullanarak elde edilir. Daha sonra değerlendirmeler tünel, yamaç (şev) ya da temellerle ilgili olup olmamasına bağlı olarak, çatlakların doğrultu ve eğim yönlerine göre düzeltilir.

Tablo 4. 7 RMR Sınıflama Sistemine Ait Değerlendirme Tabloları (Bienawski, 1989)

1*	Kayaç malzemesinin dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Puan		15	12	7	4	2	1	0
2*	Kayaç kalite göstergesi, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3*	Süreksizlik aralığı		> 2 m	0.6-2m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Puan		20	15	10	8	5		
4**	Süreksizliklerin durumu		Çok kaba yüzeyler Sürekli değil Ayrılma yok Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1 mm Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1 mm Yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu < 5 mm veya 1-5 mm açık eklemler, sürekli eklemler	Yumuşak fay dolgusu > 5 mm kalınlıkta veya açık eklemler > 5 mm devamlı süreksizlikler		
	Puan		30	25	20	10	0		
5	Yeraltı-suyu	Tünelin 10m'lik kısmından gelen su	Yok	10 lt/dk	< 25 lt/dk	25-125 lt/dk	> 125 lt/dk		
		Eklemdeki su basıncı / En büyük asal gerilim — ORANI	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		

Parametre	Puanlar				
Süreksizliğin uzunluğu (devamlılık)	< 1 m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 (1)	> 20 m (0)
Süreksizlik açıklığı	Yok (6)	< 0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu		Sert dolgu		Yumuşak dolgu	
	Yok (6)	< 5 mm (4)	> 5 mm (2)	< 5 mm (2)	> 5 mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az bozunmuş (5)	Orta derecede bozumuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok bozunmuş (0)

Parametre puanları parantez içinde verilmiştir.

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Doğrultuya bakılmaksızın, eğim 0⁰-20⁰ arasında
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme				
Eğim 45⁰-90⁰	Eğim 20⁰-45⁰	Eğim 45⁰-90⁰	Eğim 20⁰-45⁰	Eğim 45⁰-90⁰	Eğim 20⁰-45⁰	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20

4.3.2. Q Sistemi

Barton vd. tarafından 1974'te geliştirilen bu yöntem Q veya NGI (Norwegian Geotechnical Institu) sistemi olarak bilinir. Bu sistemde kayacı sınıflandırabilmek için 6 adet parametre gereklidir.

- RQD=Kaya kalitesi
- Jn=çatlak sistemi
- Jr=Çatlak pürüzlülük değeri
- Ja=Çatlak ayrışma değeri
- Jw=Çatlak suyu azaltma faktörü
- SRF=Gerilim azaltma faktörü

Gerekli tablolardan bu kayacın bu parametrelerine ait değerler tespit edilerek aşağıdaki formül uygulanır.

$Q = (RQD/Jn) \times (Jr/Ja) \times (Jw/SRF)$

Sonuç olarak elde edilen değere göre kayacın Q sistemine göre sınıflaması yapılmış olur (Şekercioğlu, 2007).

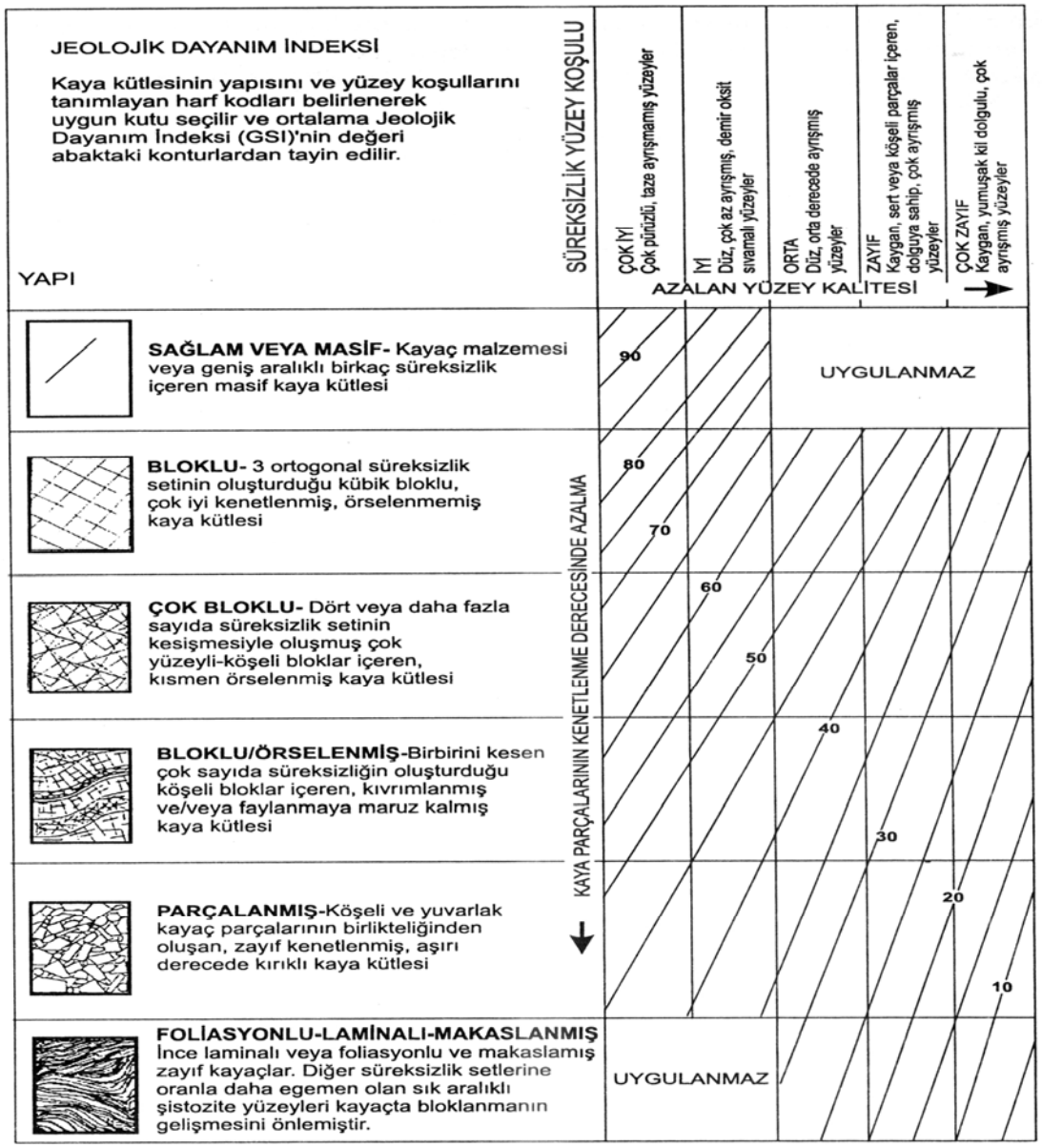
Tablo 4. 8 Q Sistemi Değerlendirme Tablosu

Q Değeri	Kaya Kütlesi Sınıfı
1000 - 400	son derece iyi
400 - 100	pek çok iyi
100 - 40	çok iyi
40 - 10	iyi
10 - 4	orta
4 - 1	zayıf
1 - 0,1	çok zayıf
0,1 - 0,01	çok fazla zayıf
0,01 - 0,001	son derece zayıf

4.3.3. GSI Jeolojik Dayanım İndeksi

GSI'da, farklı jeolojik koşullardaki kaya kütlesi dayanımındaki azalmayı tahmin etmek hedeflenmiştir. Sistem, kaya kütlesi yapısı ve kaya süreksizlik yüzeyi durumundan hesaplanan bir GSI değeri verir. Bu değer süreksizliklerin yüzey koşulları ve kayacın bünyesindeki bir ve daha fazla sayıdaki süreksizliklerin durumuna göre belirlenir.

Tablo 4. 9 GSI Jeolojik Dayanım İndeksi



4.3.4. Birimlerin Kaya Sınıflama Sistemleri Işığında Değerlendirilmesi

Tablo 4.10'da da gördüğümüz gibi tünel boyunca geçilen tüm birimler elde edilen parametreler ışığında RMR, Q ve GSI sınıflama sistemlerinde değerlendirildiğinde benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Tünel güzergâhının yaklaşık ilk 500 – 550m'sinde geçilmiş olan Trakya Formasyonu ile bunun ardından yaklaşık 800 mm boyunca geçilen Gözdağ Formasyonu farklı sınıflama sistemlerinde aynı kategoride yer almıştır. Trakya formasyonun RMR değeri 45 olarak hesaplanırken Gözdağ formasyonunun değeri 43 olarak bulunmuştur. Bu değerler ışığında birimler "orta kaliteli kaya (III)" sınıfındadırlar. Ancak görüldüğü üzere bulunan bu değerler orta kaliteli kaya sınıfının hemen hemen alt değerleridir. Bu iki birimin Q sınıflama sistemindeki değerleri ise Trakya formasyonu 0,83, Gözdağ formasyonu 0,8'dir. Bu değerler Q sınıflama siteminde zayıf kaya sınıfına denk gelmektedir. GSI sınıflama sistemindeki değerlerine bakacak olursak Trakya formasyonunun 40, Gözdağ formasyonunun 38 olduğunu görmekteyiz.

Gözdağ formasyonundan sonra tünel güzergâhında faylanmayla birlikte Baltalimanı ve ona uyumlu şekilde tekrar Trakya formasyonu gelmektedir. Bu iki birim ise nispeten daha sık kırıklı ve çok parçalı özelliktedir. Keza sondajlarda gözlenen bu durum kaya sınıflama sistemlerinde değerlendirildiğinde de bu birimlerin dayanımının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Baltalimanı formasyonunun RMR sınıflamasındaki değeri 38 olup bu değer "zayıf kaliteli kaya" sınıfına karşılık gelmektedir. Trakya formasyonu da benzer bir durum sergilemekte olup RMR değeri 34'tür ve aynı sınıfa dahildir. Q kaya sınıflama sisteminde ise bu iki formasyon sırasıyla 0,63 ve 0,17 değerlerini alarak "çok zayıf kaya" olarak değerlendirilmiştir. GSI sınıflamasında ise sırasıyla 35 ve 29 değerlerini almışlardır.

Güzergâh boyunca en zayıf kaya ortamı sergileyenler ise fay zonları ve Belgrad formasyonunun kaya ortamı olarak değerlendirilen kısımlarıdır. Fay zonları RMR sınıflamasında çok zayıf kaya (11), Q sınıflamasında son derece fazla zayıf kaya (0,007), GSI sınıflamasında ise çok zayıf kaya (9) olarak tanımlanmıştır. Fay zonları, bu bölgelerde harekete bağlı kayaçlarda meydana gelen birçok süreksizlik düzlemleri,

çatlaklar ve bunlara bağlı olarak bölgede bulunan yer altı sularının bu noktalara hareketi ile kaya sınıflama sistemlerinde tünel güzergahı boyunca rastlanan birimler arasında en düşük değerleri almıştır. Belgrad formasyonunun kaya özelliği gösteren kısımları ise RMR sınıflamasında çok zayıf kaya (19), Q sınıflamasında çok fazla zayıf kaya (0,07), GSI sınıflamasında ise çok zayıf kaya (14) olarak tanımlanmıştır. Bu formasyonun düşük değerler vermesi ise, güncel bir çökel istif olması sebebiyle zaman zaman zemin, zaman zamansa kaya ortamı özelliği sergilemektedir.

Tablo 4. 10 Tünel Güzergâhında Karşılaşılan Birimlerin Mühendislik ve Tünelcilik Açısından Sınıflandırılması

KM ARALIĞI	FORMASYON	LİTOLOJİ	CSIR 89 (RMR)	KAYA SINIFI	NGI (Q)	KAYA SINIFI	GSI Hoek 99	NATM 94 ÖNORB B 2203
0+000 - 0+545	Trakya	Kumtaşı – çamurtaşı – kiltaşı - grovak	45	orta kaliteli kaya (III)	0,83	zayıf kaya	40	B3 TANELİ
0+545 - 1+335	Gözdağı	Laminalı – silisli şeyl	43	orta kaliteli kaya (III)	0,8	zayıf kaya	38	B3 TANELİ
1+335 - 1+445	Baltalimanı	Radyolaryalı çört – lidit – silisli şeyl	38	zayıf kaliteli kaya (IV)	0,63	çok zayıf kaya	35	B3 TANELİ
1+445 - 1+560	Trakya	Kumtaşı – çamurtaşı – kiltaşı - grovak	34	zayıf kaliteli kaya (IV)	0,17	çok zayıf kaya	29	B3 TANELİ
1+560 - 2+125	Neojen	Çakıl - kum	19	çok zayıf kaya (V)	0,07	çok fazla zayıf kaya	14	C2 BASKILI
1+560 - 2+263	Fay Zonu	Fay breşi, kili ve çok parçalı kaya	11	çok zayıf kaya (V)	0,007	son derece fazla zayıf kaya	9	C3 ÇOK BASKILI

4.4. SARIYER – ÇAYIRBAŞI TÜNELİNDE KULLANILAN TAHKİMAT ELEMANLARI

4.4.1. Püskürtme Beton ve Çelik Hasır

Püskürtme beton uygulaması tünel destekleme elemanları içerisinde en sık kullanılan destek elemanlarından biridir.

Püskürtme beton çok iyi hazırlanmış portland çimentosu, su ve kum karışımından ibaret harçtır ve basınca dayanıklı lastik veya özel imal edilmiş saç borularla kullanım yerine iletilen ve önceden hazırlanmış yüzeye basınç altında püskürtülür (Bekişoğlu, 1993).

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tanımına göre; püskürtme harç veya betonun bir yüzeye yüksek hızda hava basıncıyla püskürtülmesidir (Zaffaroni, 2001).

(Anonim, 1995) ise püskürtme betonu; "Püskürtme beton, onarım veya yapım amacı ile önceden hazırlanmış olan betonun hava basıncı yardımı ile yüksek hızla uygulama yüzeyi veya uygulama alanına püskürtülerek elde edilen betondur" şeklinde tarif etmiştir (Anon, 2005).

Püskürtme beton uygulamasının amacı, tünelde uygulandıkları bölgeye göre değişiklikler göstermektedir. Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli'nin yapımında püskürtme beton uygulaması tünel duvarlarının yanında tünel aynasında da yapılmıştır. Tünel aynasında püskürtme beton sadece aynanın üst kısmına uygulanmıştır. Tünel duvarlarında ise bazen tek kat bazen de iki kat hasır tel ile birlikte püskürtme beton uygulaması yapılmıştır(Şekil 4.21 ve Şekil 4.22).

Genel olarak püskürtme beton kalınlığı uygulanan tip kesitlere göre değişiklik göstermektedir. Tip kesitlerde kararlaştırılan püskürtme beton kalınlığı 25 ve 30 olmakla birlikte özellikle Belgrad formasyonuna ait birimler ve alüvyon birim geçilirken normalden daha zayıf olan sorunlu bölgelerde bu kalınlıklar arttırılmıştır.

Şekil 4. 20 Beton hazırlama tesisi

Şekil 4. 21 Çelik hasır üzerine püskürtme beton uygulaması

Şekil 4. 22 Aynaya püskürtme beton uygulaması

Ayrıca bu tünellerde püskürtme beton içerisine katılan kimyasallar sayesinde priz alma süresi düşürülmüştür. Tünelde kullanılan püskürtme betonlar yaklaşık 3 dakika içerisinde priz almakta olup çalışma güvenliği arttırılmıştır.

Püskürtme beton uygulamasının yapılması esnasında üzerinde önemle durulması gereken hususlar da mevcuttur. Bu işlem doğru şekilde yapılmadığı takdirde beklenen verimin alınması da mümkün değildir.

Püskürtme beton ile kaya yüzeyi ve püskürtme beton tabakaları arasında herhangi bir boşluk bulunmamasının gerekli olmasıdır. Aksi halde zeminde gevşemeler meydana gelebilmektedir. Beton ile kaya yüzeyi ve katmanları arasında boşluk oluşumunun önlenebilmesi için;

1- Hasır çelik mümkün olduğunca yüzeye yapıştırılmalıdır,
2- Uygun katkı malzemesi ve hızlandırıcı kullanılmalıdır.
3- Püskürtme beton hazırlandıktan sonra en kısa sürede yüzeye uygulanmalıdır.
4- Püskürtme beton en uygun ekipmanla yüzeye uygulanmalıdır (Aygar 2000).

Ayrıca tabancanın püskürtme yüzeyine imkân nispetinde dik ve uygun uzaklıkta tutulması gerekir. Tabanca, uygulamaya göre değişmek üzere 0.50 m–1.50 m mesafede tutularak uygun sonuç alınabilir. Uzak tutulan tabanca donatının arkasını yeterli betonla dolduramayacağı için, zayıf kesitler meydana gelir ve buralarda kalan malzeme ilerde beton yüzünde çatlaklara sebep olabilir. Fazla yakın tutulan tabancada ise, yüzeye yapışmadan sıçrayan beton fazla olur (Celep vd. 2000).

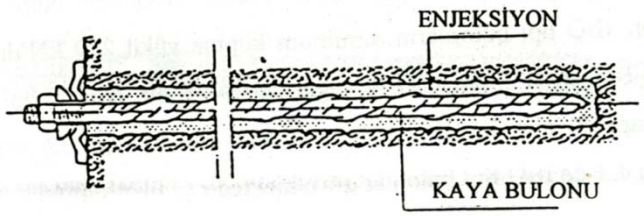
Şekil 4. 23 Çelik hasırlar

4.4.2. Kaya Bulonları

Kaya bulonları tünel tahkimat elemanları içerisinde en önemlilerinden biridir. Tünel çevresine çakılan bu bulonlar sayesinde tünel kaya veya zemin ortama bağlanıp birlikte hareketi sağlarlar.

Sarıyer – Çayırbaşı tünellerinde 3 tip kaya bulonu kullanılmıştır. Bunlar SN, IBO, ve PG tip kaya bulonlarıdır. Ayrıca bunlar ortamın şartlarına göre farklı uzunluklarda kullanılmışlardır.

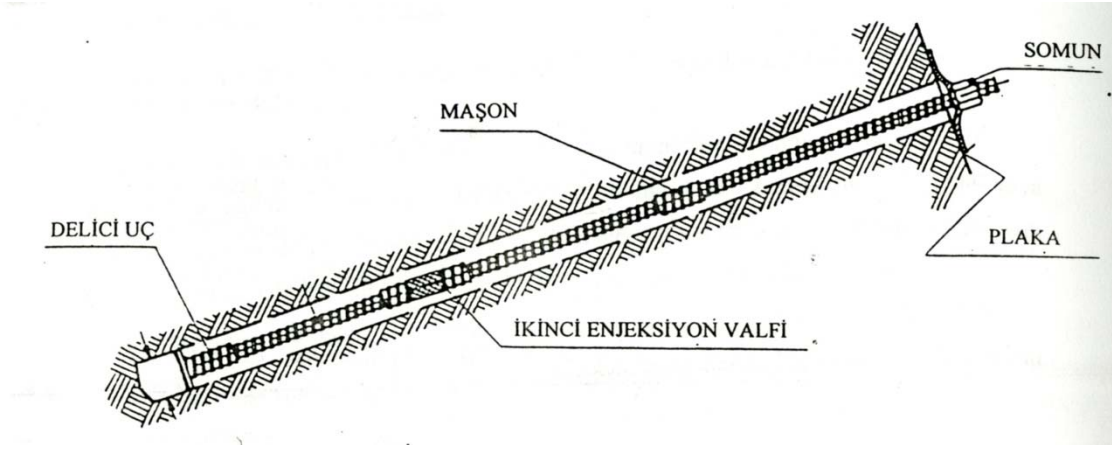
SN tip kaya bulonu uygulamasında öncelikle bulonun yerleştirileceği delik delinir. Daha sonra delik tabanından başlayarak enjeksiyon işlemi yapılır. En sonunda da SN bulon buraya yerleştirilir. SN bulonlar nervürlü çelik çubuklardan oluşmaktadır. SN kısaltması ilk kullanıldığı Stone Norfors çukurundan gelmektedir. İlk olarak İsviçre'de hidroelektrik santrallerinin yapımında kullanılmıştır (Aygar 2000).



Şekil 4. 24 SN tip kaya bulonu (Training Lectures, GEOCONSULT/TEKFEN, 1994)

PG tip kaya bulonunda ise yine öncelikle bulonun uygulanacağı delik açılır. Daha sonra bulon deliğe sürülür ve içerisinden yaklaşık 2 – 3 bar basınçla enjeksiyon verilir. Bulon boyunca bulunan deliklerden enjeksiyon çıkışı olurken, bulon ucundaki hazneden de kayacın boşluklarına enjeksiyonun ulaşması sağlanır. Bulonun yerleştiği delikten enjeksiyon gelimi olduğundan beton basımı durdurulur ve delik kapatılır.

IBO tip bulon uygulaması ise diğerlerine göre daha farklıdır. Bu bulonlar delik enjeksiyonlu ankrajlar olarak bilinmektedir. Kaya bulonu ve delme başlığından ibaret olan kombine bir sistemdir (Aygar 2000). Delme sırasında bulon, ucunda delme parçası bulunan bir delme çubuğu olarak kullanılır. Bulonun delme işlemi sırasında içerisinden enjeksiyon da verilerek bulonun ilerlediği her noktanın iyice enjeksiyonla dolması sağlanır. IBO bulonu destek elemanı olarak diğer bulon tiplerine göre daha fazla mukavemet sağlamaktadır.



Şekil 4. 25 IBO tip kaya bulonu (Training Lectures, GEOCONSULT/TEKFEN, 1994)

Şekil 4. 26 Tünelde kullanılan kaya bulonları

Şekil 4. 27 Bulon delgi işlemi

Şekil 4. 28 Tünel tavanında bulon delgi işlemi

4.4.3. Çelik İksa

Çelik iksaların en önemli görevi tünel geometrisini oluşturmaktır. Aynı zamanda püskürtme betonun priz alma süresi boyunca oluşabilecek deformasyonları karşılar. Ayrıca kazı sonrası oluşabilecek ani deformasyonları önleme açısından da çelik iksalar önemli bir görev teşkil eder. Ancak tünele gelen yükleri asıl taşıyan elemanlar püskürtme beton ve kaya bulonlarıdır. Çelik iksalar ise bu tahkimat elemanlarına yardımcı olurlar.

Çelik iksaların montajı sırasında bunların kazı yüzeyine en yakın olacak şekilde konumlandırılmaları önemlidir. Çünkü priz almamış olan püskürtme betonunun oluşak deformasyonlarla zarar görmemesi gerekmektedir. Kazı sırasında oluşabilecek aşırı sökülmeler dolayısıyla bu durumlarda iksa ile kazı yüzeyi arasında boşluk oluşacaktır. Bu boşluklar püskürtme beton ile doldurulacağından priz alana kadar geçen sürede deformasyonlara bağlı olarak betonun mukavemetinde sıkıntılar oluşabilecektir.

Sarıyer – Çayırbaşı tünellerinde kafes tip çelik iksalar kullanılmıştır. Bunlar zeminin durumuna göre 3 adet Φ 26'lık, 2 adet Φ 26'lık – 1 adet Φ 32'lik ve 3 adet Φ 32'lik olarak uygulanmıştır.

Şekil 4. 29 Çelik iksa

4.4.4. Sürenler

Sürenler kazı öncesi uygulanan tahkimat elemanlarıdır. Sürenlerin görevi kazı esnasında eksenin tavan bölümünde oluşabilecek çökme, sökülme, malzeme gelimi gibi durumları engelleyip kazı güvenliğini sağlamaktır.

Sarıyer – Çayırbaşı tünellerinde süren uygulaması kaya ve zemin ortamlarının özelliklerine göre farklılıklar göstermiştir. Bu farklılıklar hem uygulanan malzemenin çapı hem uzunluğu hem de sayısı bakımındadır. Gerekli noktalarda uzun sürenler gerekli noktalarda kısa sürenler uygulanmıştır.

Uzun sürenler; delgi ve enjeksiyon işlerinin uzun olması dezavantajları dışında birçok avantajı bulunmaktadır. Her yeni kazılan yeni roundun kendini tutma süresini arttırdığından işçilerin daha emniyetli ortamlarda çalışmalarını sağlamaktadır. Ayna ilerisinde gevşemeyi önlemek için ayna bulonlaması ile birlikte çalışmaktadır ve dolayısıyla toplam deformasyonu azaltmaktadır. Uzun süren uygulamasında hava ile delme sistemi uygulanmaktadır (Aygar 2000).

Kısa sürenler; çok kısa sürmesi açısından avantajlı olmasına rağmen birçok dezavantaja sahiptir. Sulu delgi ile çakılmasından dolayı ayna ilerisindeki zeminin özelliklerini büyük ölçüde kötüleştirir. Süren çakılmasından hemen sonra kazıya başlanmasından dolayı aynanın göçmesine neden olmaktadır. Özellikle zemin şartlarının çok kötü olduğu durumlarda çok tehlikeli göçmelere neden olmaktadır (Aygar 2000).

Şekil 4. 30 Süren çakılma işlemi

4.4.5. Ayna Püskürtme Betonu

Ayna püskürtme betonu tünel içi geçici tahkimat elemanlarındandır. Kazı sonrası tünelde yapılan çalışmalar esnasında çalışanların güvenliğini sağlamak amacıyla uygulanır. Aynadan herhangi bir sebeple gelebilecek olan malzemenin hareketi önleyen bir destek elemanıdır. Ayna bulonu ile birlikte uygulanan püskürtme betonu Sarıyer – Çayırbaşı tünellerinde de bu şekilde uygulanmıştır. Tünel güzergahında gerekli bölgelerde yapılan bu uygulamada aynanın tümü püskürtme beton ile kaplanmamıştır. Aynada göbek bırakılarak göbek dışında kalan kısımlar püskürtme beton ile kaplanmıştır. Püskürtme beton ile kaplanan kısımlara IBO bulonları çakılmıştır.

4.4.6. İnvert Betonu

İnvert kazısı ile tünel geometrisi sağlanmış olur. Böylece tünele etkiyen yükler ve kuvvetler eşit şekilde dağıtılmış olarak daha güvenli bir stabilizasyon sağlanmış olur.

İnvert kazısı yapıldıktan sonra bu alanda kafes yapısı oluşturulur. Demir donatılar ve beton sayesinde mukavemetli bir ortam oluşturulur.

4.4.7. Jeomembran

Jeomembran, püskürtme beton ve kaya bulonları tünel tavan ve yan duvarlarına uygulandıktan ve buradaki deformasyonlar durduktan sonra uygulanır. Jeomembran en son yapılan kaplama betonuna herhangi bir şekilde gelebilecek olan yer altı suyunu engellemek, bunun tünel içine ulaşmasını önlemek amacıyla yapılan kullanılan bir malzemedir.

Sarıyer – Çayırbaşı tünellerinde püskürtme betondaki deformasyonlar sönümlendikten sonra keçe kalıbının üzerine jeomembran konularak suyun tünele gelme olasılığı önlenmiştir.

Şekil 4. 31 Membran ve iç kaplama betonu donatısı

4.4.8. İç Kaplama Betonu

Tünel destek elemanları içerisinde en son uygulanan iç kaplama betonudur. Teknik anlamda hiçbir taşıyıcı özelliği olmayan iç kaplama betonu, tünel çeperlerindeki deformasyonlar sönümlendikten sonra uygulanır. Her ne kadar taşıyıcı özelliği olmadığı düşünülse de tünel güzergahındaki zayıf zeminlerde tünele etkiyen yüklerin bir miktarını karşıladığı düşünülmektedir. Bu durum NATM'a aykırıdır.

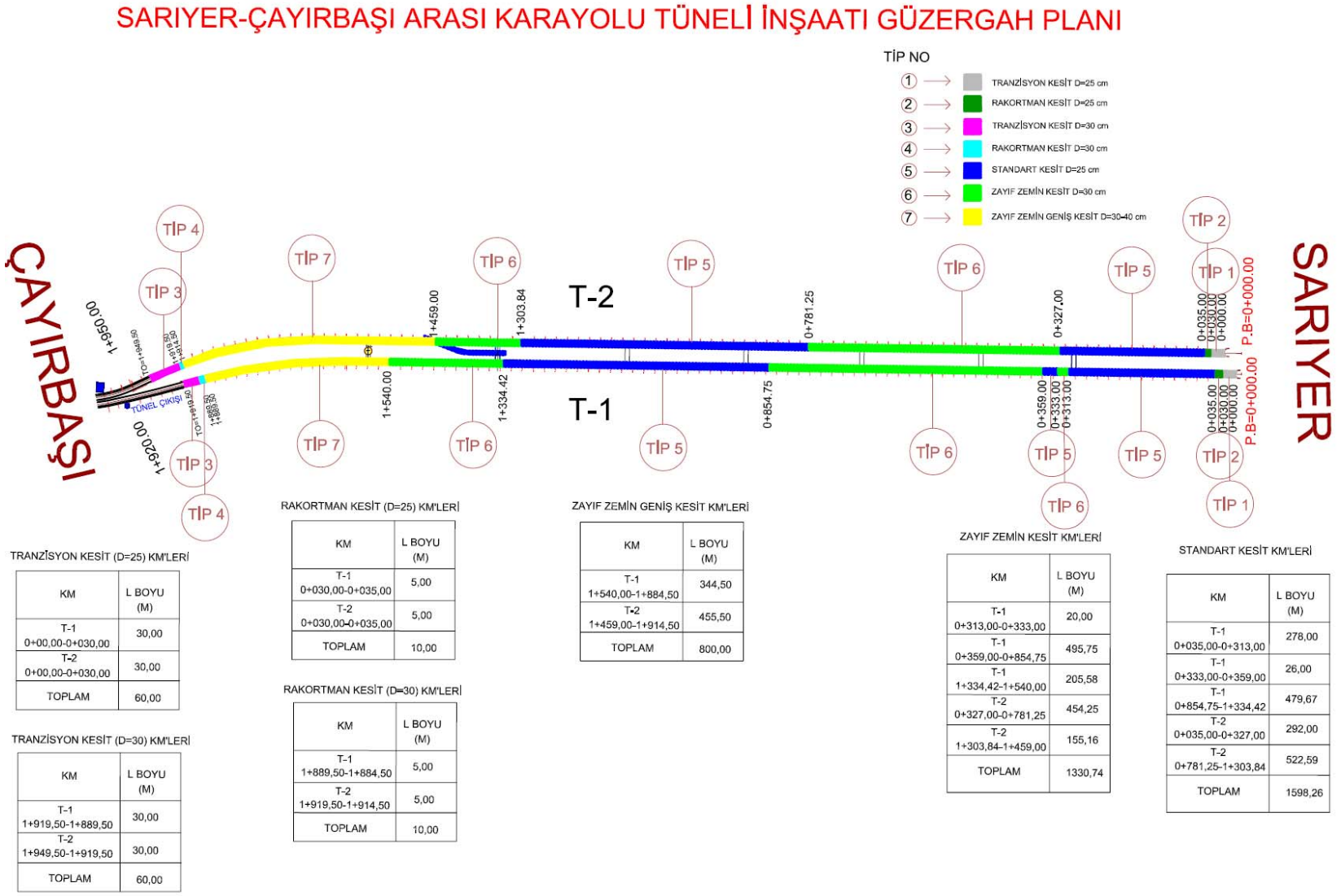
Sarıyer – Çayırbaşı tünellerinde standart ve zayıf zemin tip kesitlerinde tavanda 50 cm, yanlarda 60 cm olacak şekilde uygulanırken zayıf zemin geniş kesitte kaplama betonunun kalınlığı 1 m'ye çıkmaktadır. Buna mukabil bu durumda invert betonunun kalınlığı da 1 m olacak şekilde yapılmıştır.

Şekil 4. 32 Kemer beton kalıbı

4.5. SARIYER – ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELİ İNŞASINDA UYGULANAN TİP KESİTLER

Sarıyer – Çayırbaşı Karayolları Tünelleri inşası öncesinde yapılan etüt çalışmaları ve kazı süresince yapılan tespitler ışığında zemin ve kaya türlerine, litolojilerine, bunların belirlenen ve beklenen fiziksel özelliklerine, bu özelliklere etkiyen diğer faktörlerin (yer altı suyu durumu, fay zonu gibi) durumlarına göre 3 farklı kesit tipi oluşturulmuştur. Bu kesit tipleri "Standart Tip Kesit" , "Zayıf Zemin Tip Kesit" ve "Zayıf Zemin Geniş Tip Kesit" olarak isimlendirilmişlerdir. Tünel kazısı süresince kaya veya zeminin davranışına göre bu tip kesitlerden biri seçilerek uygulanmış ve tünelin güvenli bir şekilde açılması sağlanmıştır.

Bu üç tip kesiti birbirinden farklı olduğunu noktalar genel itibariyle uygulanan tahkimat elemanlarının sayısının değişmesi, bazen de türlerinin değişmesidir. Bazı durumlarda da zayıf ortamlarda duraylılığı sağlayabilmek adına ek uygulamalar yapılmıştır.



TRANZİSYON KESİT (D=25) KM'LERİ

KM	L BOYU (M)
T-1 0+00,00-0+030,00	30,00
T-2 0+00,00-0+030,00	30,00
TOPLAM	60,00

TRANZİSYON KESİT (D=30) KM'LERİ

KM	L BOYU (M)
T-1 1+919,50-1+889,50	30,00
T-2 1+949,50-1+919,50	30,00
TOPLAM	60,00

RAKORTMAN KESİT (D=25) KM'LERİ

KM	L BOYU (M)
T-1 0+030,00-0+035,00	5,00
T-2 0+030,00-0+035,00	5,00
TOPLAM	10,00

RAKORTMAN KESİT (D=30) KM'LERİ

KM	L BOYU (M)
T-1 1+889,50-1+884,50	5,00
T-2 1+919,50-1+914,50	5,00
TOPLAM	10,00

ZAYIF ZEMİN GENİŞ KESİT KM'LERİ

KM	L BOYU (M)
T-1 1+540,00-1+884,50	344,50
T-2 1+459,00-1+914,50	455,50
TOPLAM	800,00

ZAYIF ZEMİN KESİT KM'LERİ

KM	L BOYU (M)
T-1 0+313,00-0+333,00	20,00
T-1 0+359,00-0+854,75	495,75
T-1 1+334,42-1+540,00	205,58
T-2 0+327,00-0+781,25	454,25
T-2 1+303,84-1+459,00	155,16
TOPLAM	1330,74

STANDART KESİT KM'LERİ

KM	L BOYU (M)
T-1 0+035,00-0+313,00	278,00
T-1 0+333,00-0+359,00	26,00
T-1 0+854,75-1+334,42	479,67
T-2 0+035,00-0+327,00	292,00
T-2 0+781,25-1+303,84	522,59
TOPLAM	1598,26

Şekil 4. 33 Sarıyer – Çayırbaşı Karayolları Tüneli boyunca uygulanan tip kesitler

4.5.1. Standart Tip Kesit

Bu tip kesit, genel olarak tünel güzergâhında geçilen birimler arasında diğerlerine göre hem litolojik hem de fiziksel özellikler ve davranış bakımından daha sağlam olan bölgelerde kullanılmıştır.

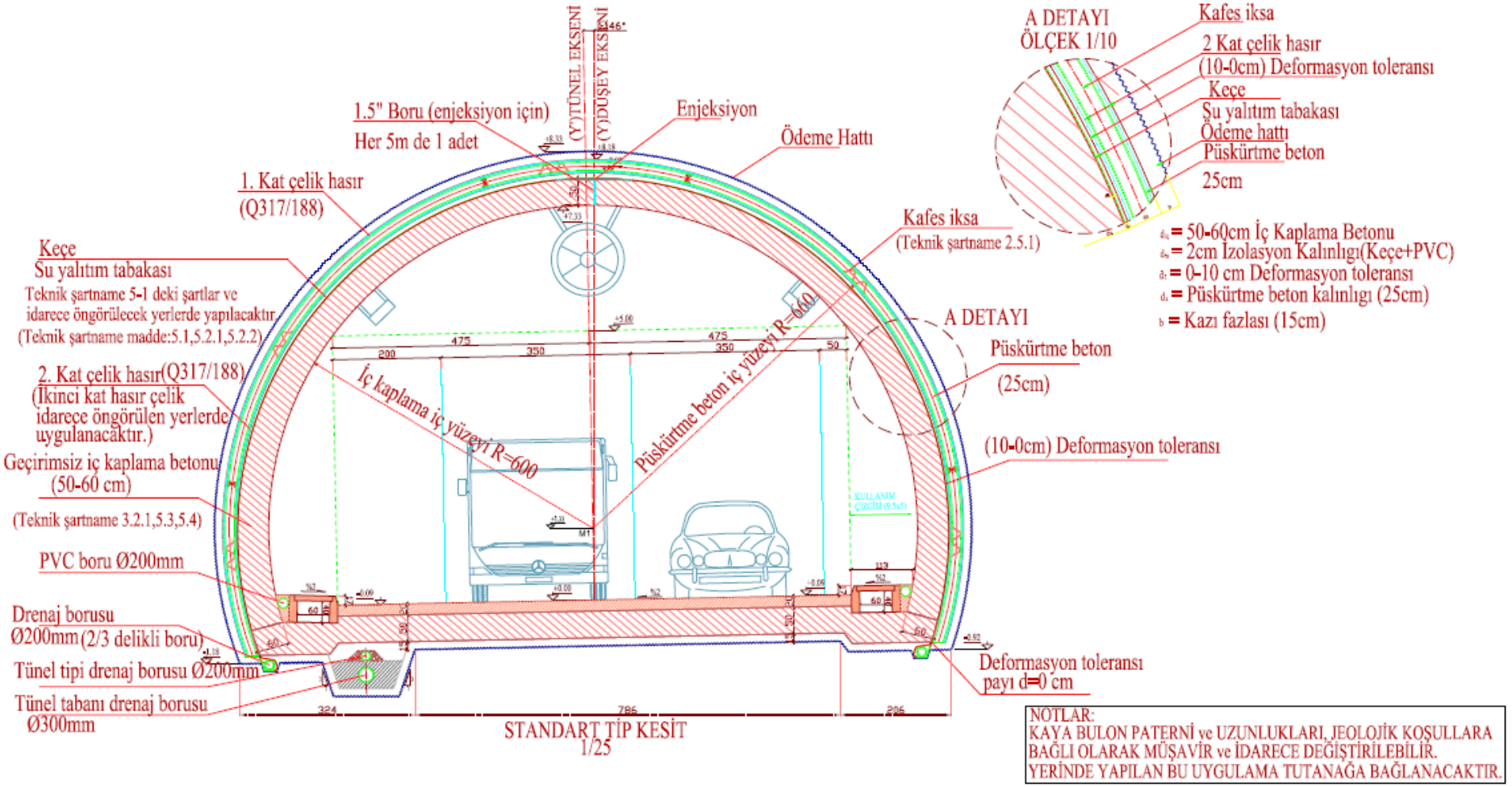
Tüm tünel güzergâhına baktığımızda, T1 tünelinde 0+035 – 0+313, 0+333 – 0+359 ve 0+854,75 – 1+334,42 km'leri arası standart tip kesitte tünel açılmıştır. 0+035 – 0+313 ve 0+333 – 0+359km'leri arasında Trakya formasyonu geçilmiştir. 0+313 – 0+333km'leri arasında kalan kısım Trakya formasyonu, içerisindeki ezik zondan dolayı zayıf özeliklidir. Yine 0+359 – 0+854,75km'leri arasında Gözdağ formasyonunun Trakya formasyonunu üzerlediği ters fay bulunan bölgeden dolayı kaya ortamları zayıf özellik göstermiş ve bu sebeple tünel standart tip kesitle açılmamıştır.

T2 tünelinde ise 0+035 – 0+327 ve 0+781,25 – 1+303,84 km arasında standart tip kesit uygulanmış olup sebepleri T1 tünelindeki ortaya konan sebeplerle aynıdır.

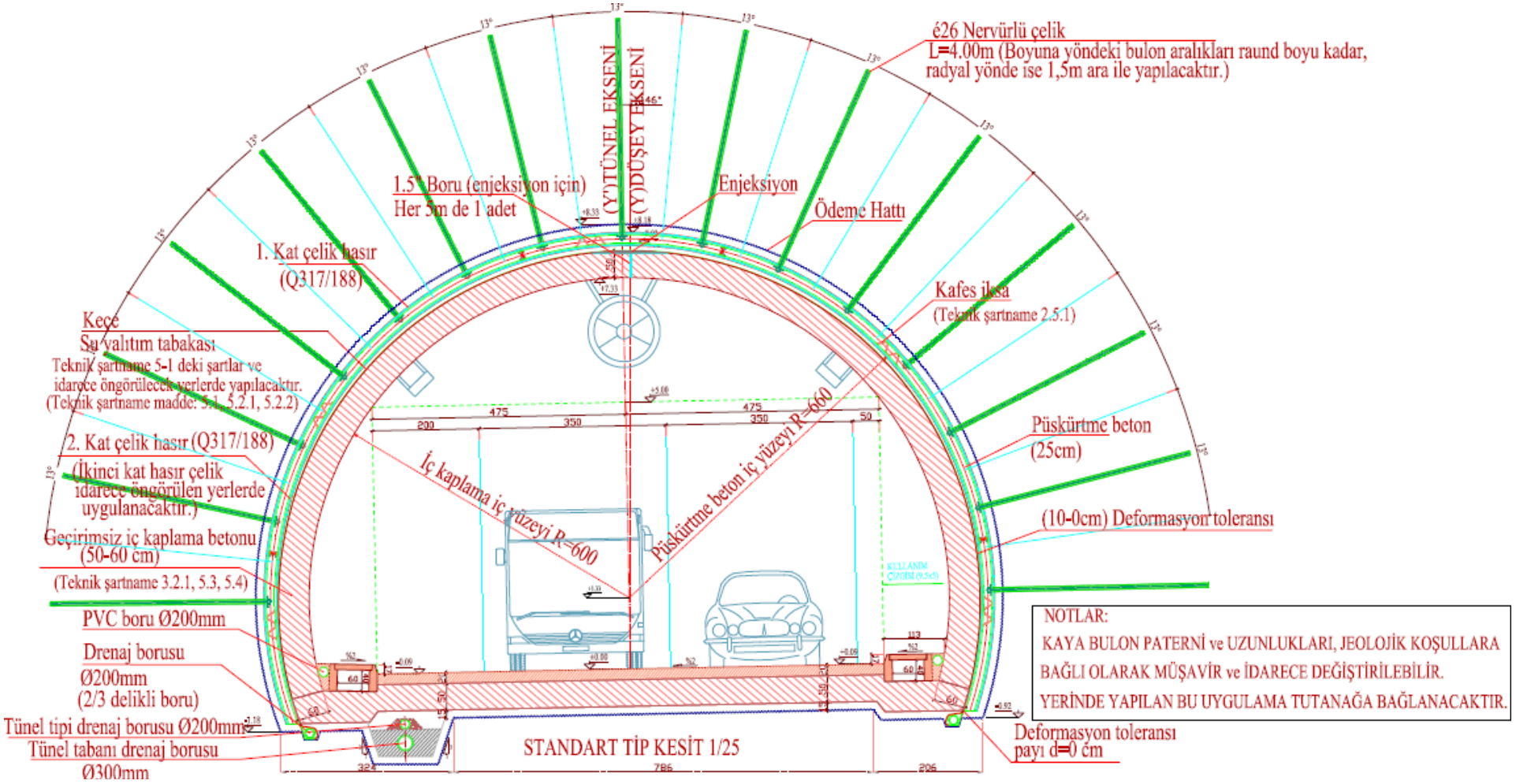
Tahkimat elemanları açısından baktığımız zaman öncelikle kaya bulonu olarak SN türü bulon kullanıldığını görmekteyiz. Bulonlar genel olarak üst yarıda 11x12, alt yarıda ise 2x3 şeklinde uygulanmaktadır. Alt yarıdaki sayı değişmemekle birlikte üst yarıdaki bulon sayısı zeminin kısa ölçeklerdeki değişimine göre tünel açımı sırasında farklılıklar göstermiştir. Kaya ortamının sağlam görüldüğü kısımlarda zaman zaman adet olarak 7x8 şeklinde kullanılmıştır. Zayıf olduğu durumlarda bulon adeti 12x13 yapılarak tünel güvenliği sağlanmıştır. Bulon sıraları arası 2m olup yer yer 1,5m'ye düşürüldüğü noktalar olmuştur.

Standart tip kesitte kazı esnasında tavan kısımdan gelebilecek malzemeleri engellemek için 6m boyunda 1,5 inçlik 25 adet süren kullanılmıştır. Bu sürenler 2m bindirmeli olarak aynanın üst kısmına uygulanmıştır. Çelik iksa uygulamasında ise 3 adet Φ26'lık iksalar kullanılmıştır.

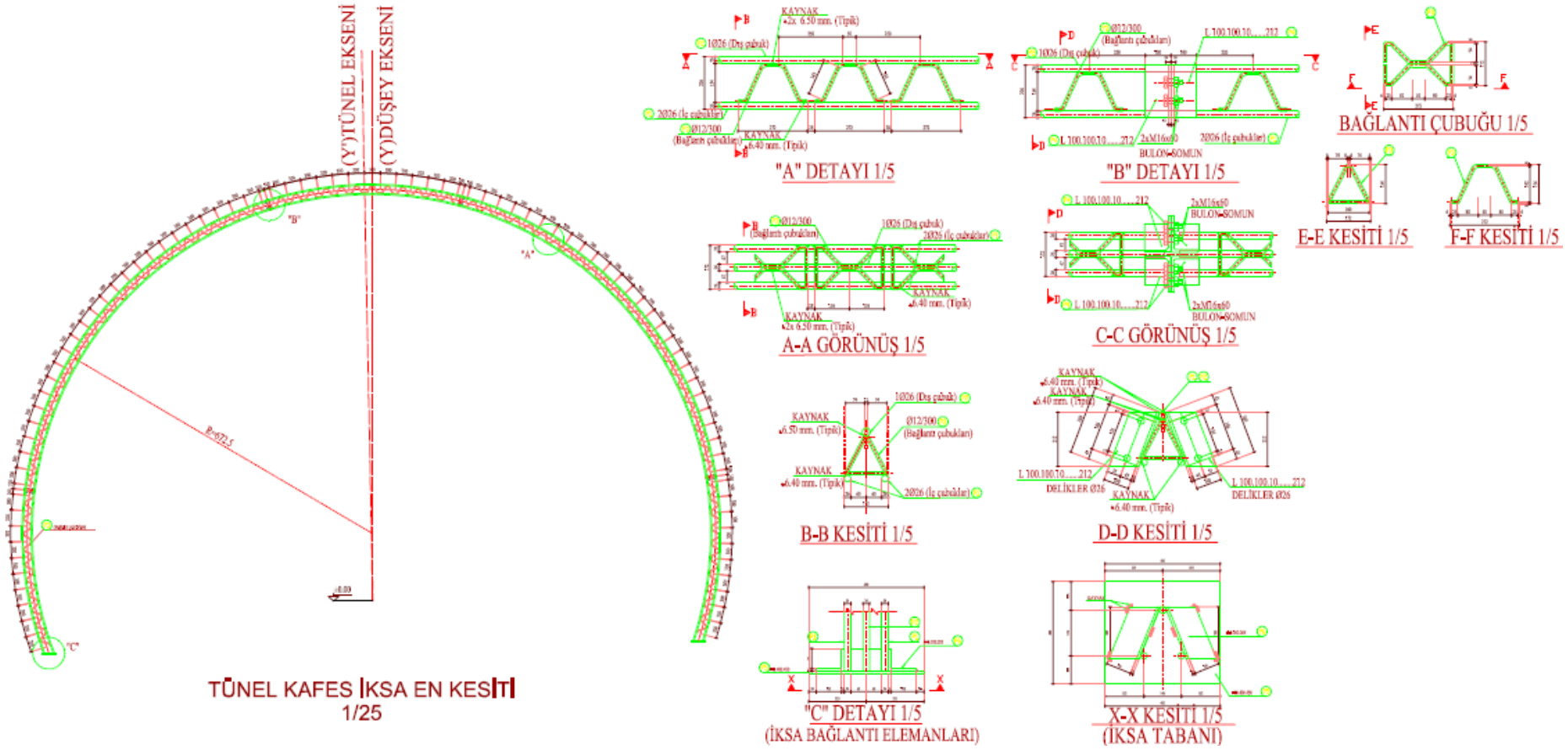
Püskürtme beton kalınlığı 25cm olarak belirlenmiştir. Çelik hasır ise bir kat kullanılmıştır. İç kaplama betonu, kalınlığı tavanda 50cm, kenarda 60cm olacak şekilde uygulanmıştır.



Şekil 4. 34 Standart tip kesit



Şekil 4. 35 Standart tip kesitte bulon yerleşimi



Şekil 4. 36 Standart tip kesitte iksa yerleşimi

4.5.2. Zayıf Zemin Tip Kesit

Zayıf zemin tip kesiti T1 tünelinde 0+313 – 0+333, 0+359 – 0+854,75 ve 0+1334,42 – 1+540km'leri arasında uygulanmıştır. T2 tünelinde ise 0+327 – 0+781,25, 1+303,84 – 1+459km'leri arasında kullanılmıştır.

T1 tünelindeki 0+313 – 0+333km'leri arasındaki kullanım dışında diğer km'lerde iki tünelde de benzer aynı sebepler bu tip kesitin uygulanmasını sağlamıştır. Yaklaşık 450 – 500 metrelik ilk kullanım standart tip kesitin açıklamasında belirtildiği gibi Gözdağ formasyonunun Trakya formasyonu üzerine bindirdiği fay zonundan kaynaklıdır. İkinci 150 – 200 metrelik kısımda ise Gözdağ formasyonu ile Baltalimanı formasyonu arasındaki fay zonu zayıf bir bölge oluşturmuştur. Bu sebeple bu bölgede kaya özellikleri zayıflık göstermiş olup tünel açımında standart tip kesitten zayıf tip kesite geçilmiştir.

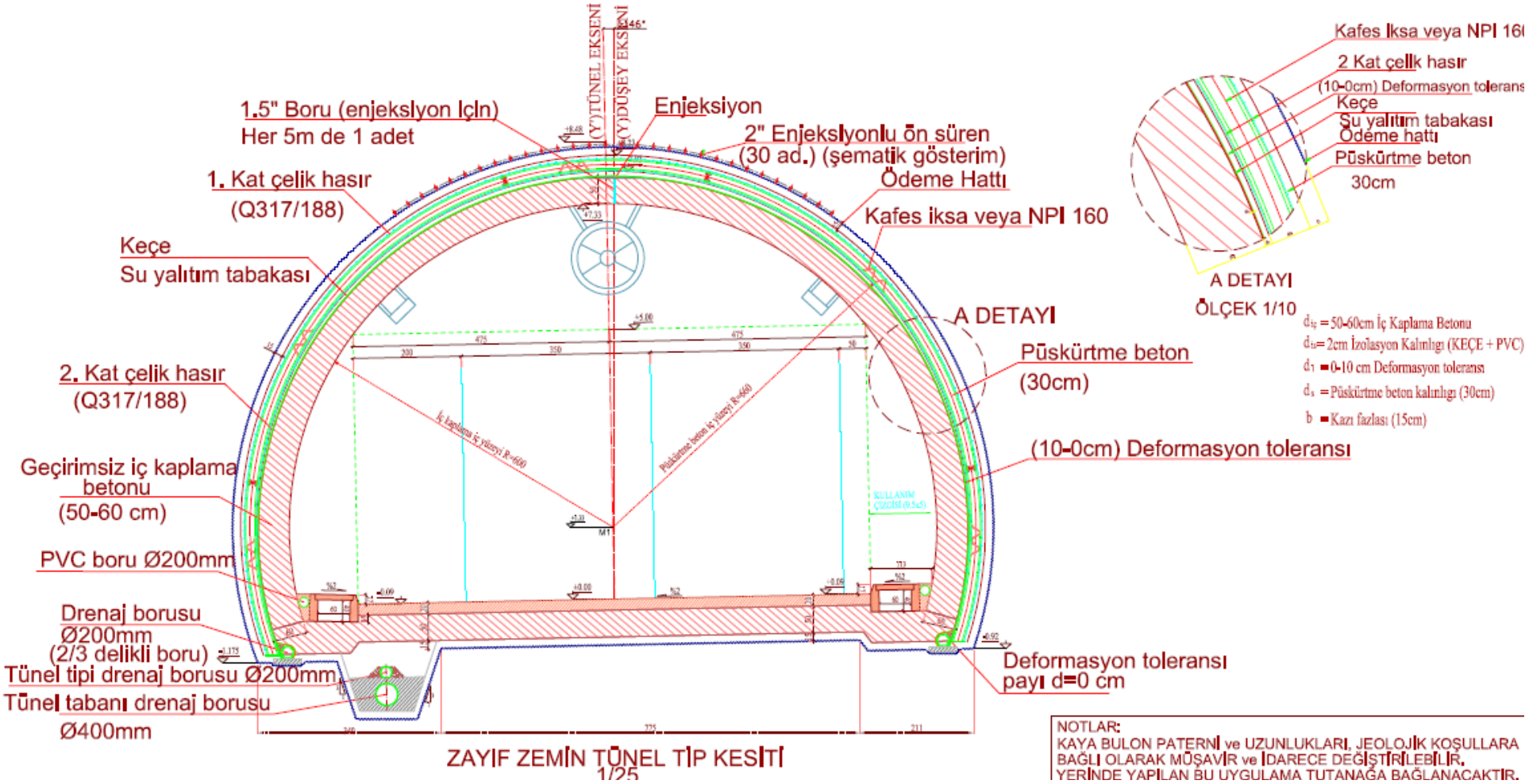
Zayıf zemin tip kesitte kaya bulonu olarak IBO ve PG tip bulonlar kullanılmıştır. Bunlar genel itibariyle 13x14'er adet olarak kullanılmıştır. Ancak standart tip kesitte olduğu gibi küçük değişimler gösteren koşullara göre sayı adedinde değişimler olmuştur.

Süren sayıları 25 ile 30 arasında değişmekte olup yine 6m'lik fakat 2inç kalınlığında sürenler kullanılmıştır.

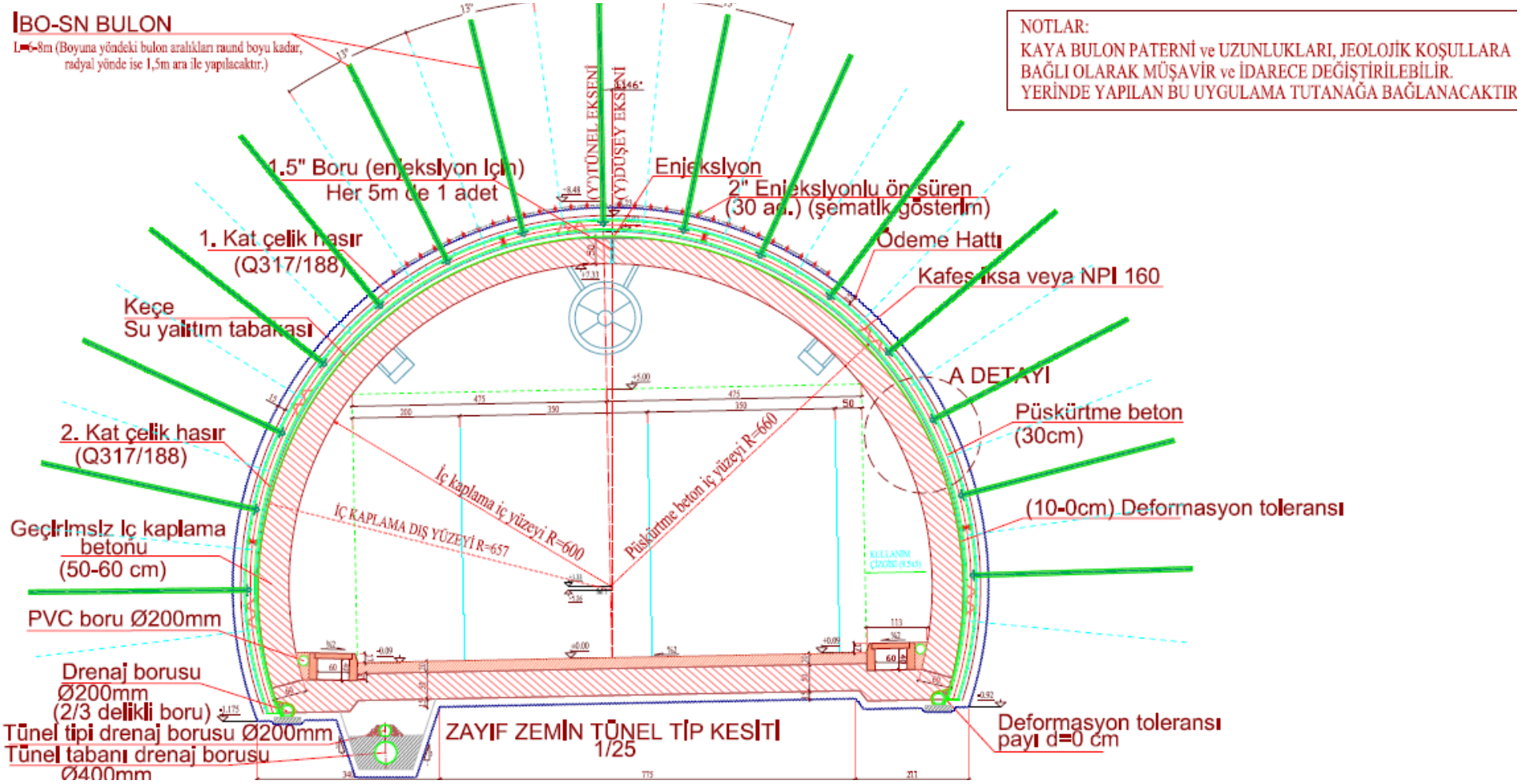
Çelik iksa uygulamasında ise bu tip kesitte tünel açımı yapılan bölgelerdeki kayaçlar daha zayıf özellik sergilediğinden dolayı 2 adet Φ26'lık, 1 adet Φ32'lik kafes tipi iksalar kullanılmıştır.

Püskürtme beton kalınlığı standart tip kesite göre 5 cm daha arttırılarak 30cm'ye çıkarılmış ve ayrıca 2 kat çelik hasır kullanılmıştır.

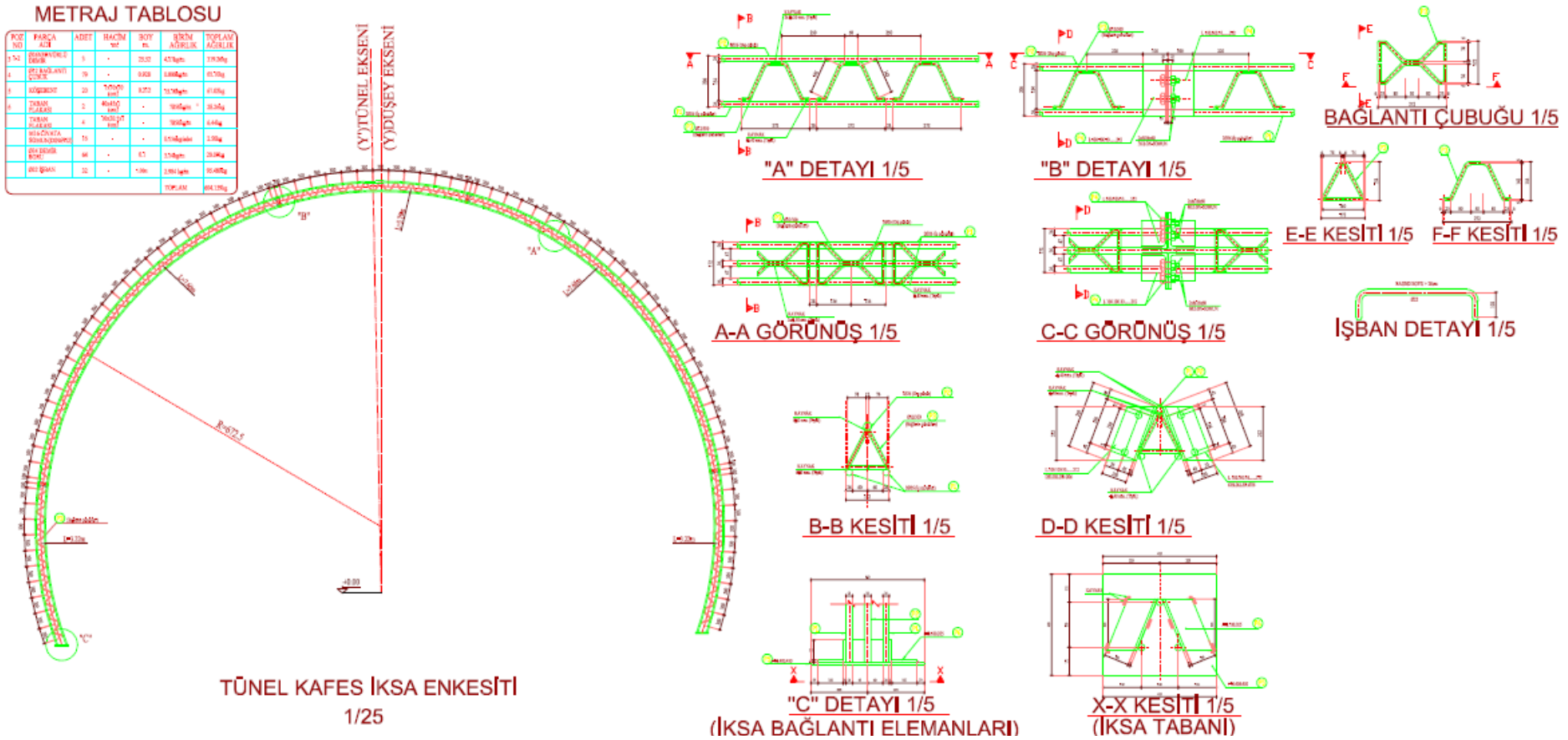
Zayıf zemin tip kesitte, standart tip kesitte olduğu gibi kaplama betonu kalınlığı tavan kısmında 50cm, yanlarda ise 60cm olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 4. 37 Zayıf zemin tip kesit



Şekil 4. 38 Zayıf zemin tip kesitte bulon yerleşimi



Şekil 4. 39 Zayıf zemin tip kesitte iksa yerleşimi

4.5.3. Zayıf Zemin Geniş Kesit

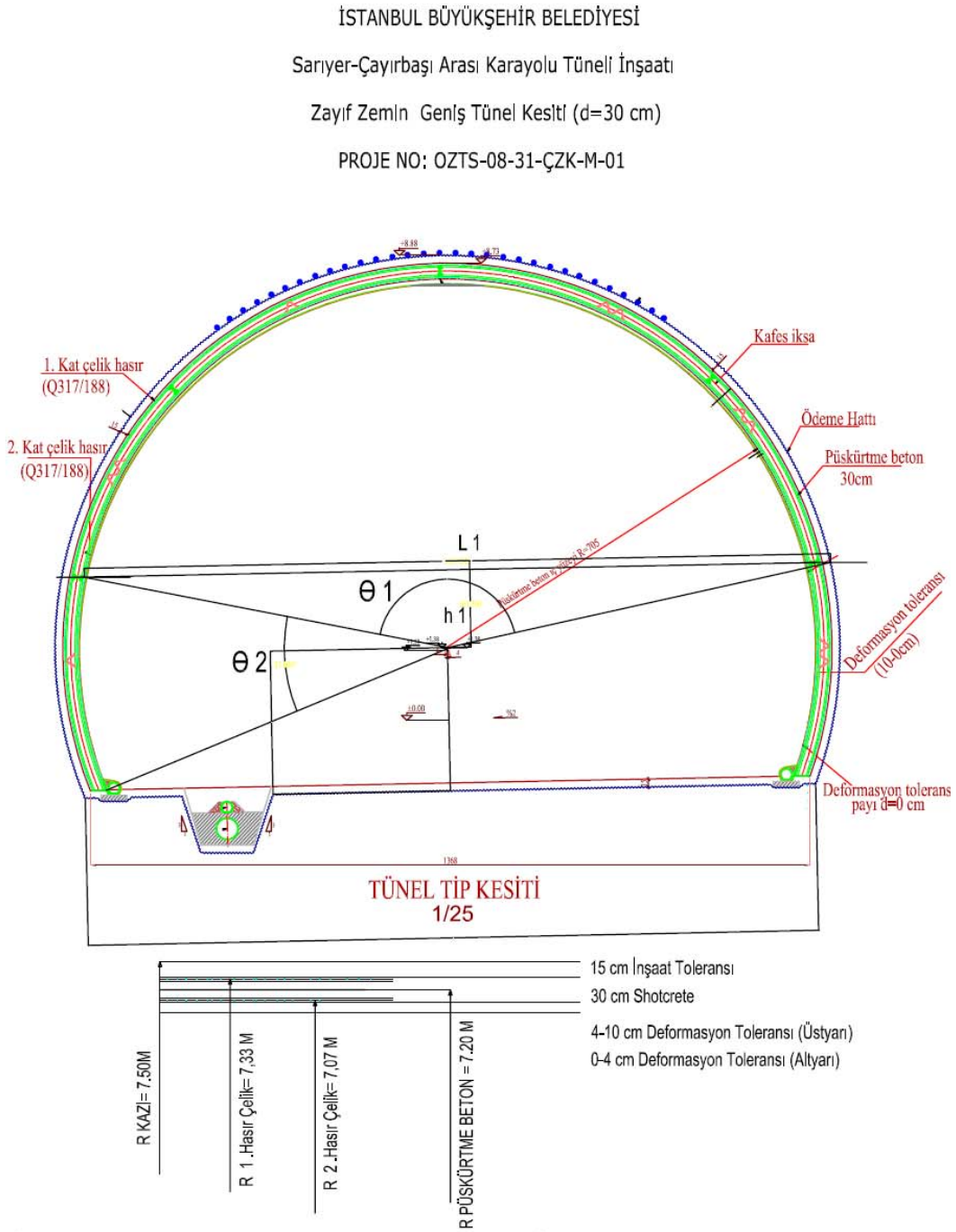
Zayıf zemin geniş kesitle tünel açımı T1 tünelinde 1+540,00 – 1884,50km'leri arasında T2 tünelinde ise 1+459,00 – 1+914,50km'leri arasında uygulanmıştır. Genel olarak neojen çökelleri içerisinde geçilen bu bölüm yer yer zemin özelliği göstermektedir. Bu birim orta sıkı – çok sıkı çakıllı kum (çakıllı kumtaşı) ve çok katı kil, sert kumlu silt (kumlu silttaşı) birimi olarak tanımlanmıştır.

Zayıf zemin geniş kesitte, zayıf zemin tip kesitte olduğu gibi PG ve IBO bulonları kullanılmıştır. Ancak geçilen birimin zayıf özellikli kaya ve yer yer zemin özellikli olması sebebiyle daha sık olarak mukavemet özelliği daha fazla ola IBO bulonları tercih edilmiştir. Bulon sayılarında ise zayıf zemin tip kesite göre çok fazla değişiklik yapılmamıştır.

Bu tip kesitte püskürtme beton kalınlığı 30cm'dir. Çelik hasır ise genelde 2 kat kullanılmış olup çok zayıf bölgelerde zaman zaman 3 kat çelik hasırın kullanıldığı olmuştur.

Sürenler yine 25 ile 30'ar adet şeklinde uygulanmıştır. Bunlar 2inç'lik sürenlerdir. Zeminin tutturulmamış olup çok zayıf özellik sergilediği bölümlerinde (örneğin; 1+739,00 – 1+760,50km'leri arasında) ise "Umbrella Arch" uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamada tünel ekseni tavanına altlı üstlü olacak şekilde 60'ar adetten 120 adet süren çakılmıştır. Bu sürenler 4inç kalınlığında ve 9m uzunluğunda olup 4,5m bindirmeli olacak şekilde konumlandırılmışlardır.

3 adet 32'lik kafes tipi çelik iksa kullanılan örnekte kaplama beton kalınlığı diğer tip kesitlerden farklı olarak 50 – 60cm'den 1m'ye çıkarılmıştır. Aynı şekilde kaplama betonu karşılayan invert betonunun kalınlığı da 1m'ye çıkarılmıştır.



Şekil 4. 40 Zayıf zemin geniş kesit

4.5.4. Tranzisyon ve Rakortman Kesitler

Tranzisyon kesit tünel açımına ilk başlandığı tünel girişlerinde uygulanır. Normal kazı genişliğinden daha fazla bir genişliğe sahiptirler. Sarıyer – Çayırbaşı tünellerinde hem Sarıyer hem de Çayırbaşı girişinde ilk 30m'lik kısım tranzisyon kesitle açılmıştır.

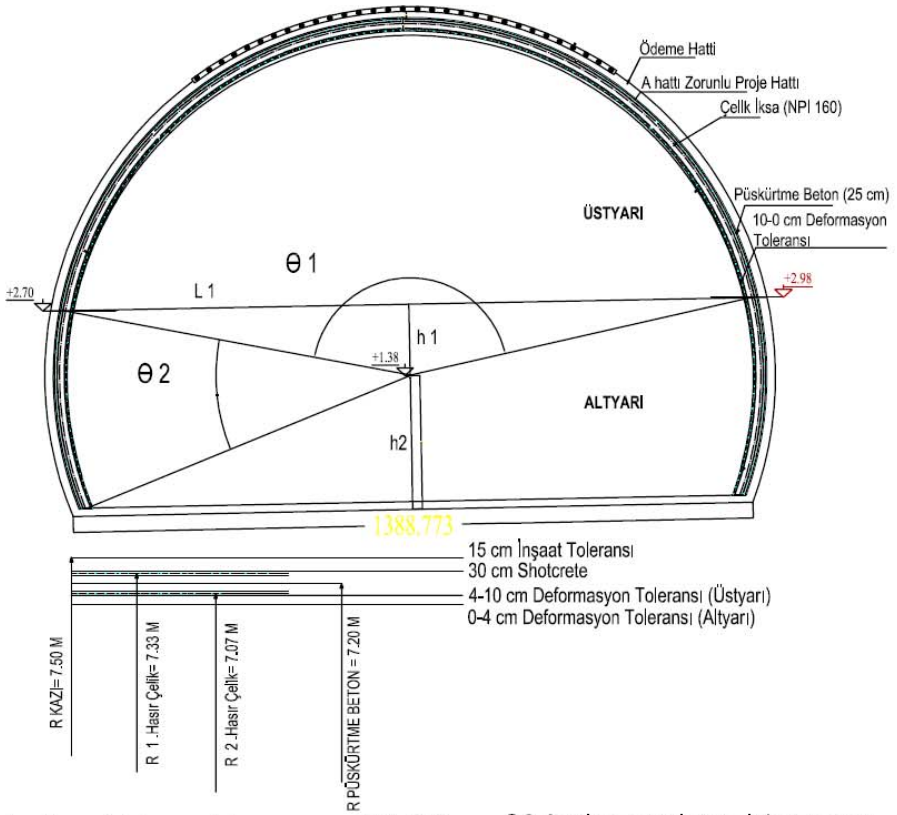
Rakortman kesit ise tranzisyon kesitin normal tünel kazı kesitine geçişini sağlar. Tünelin her iki girişinde ve her iki tüpte de tranzisyon kesitten sonraki 5'er metrelik bölgeler rakortman kesitle geçilmiştir.

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ

Sarıyer-Çayırbaşı Arası Karayolu Tüneli İnşaatı

Sarıyer T1-T2 Tünelleri Tranzisyon Kesiti (d=30 cm)

Proje No: OZTS-08-31-TT-M-01



Θ1 Açı inşaat toleranslı kazı sınırı 157.569

Θ1 Açı 1. Hasır Çelik için 157.034

Θ1 Açı 2. Hasır Çelik için 156.179

Θ1 Açı d=25cm püskürtme b. için 156.621

h1=1.459m

L1=14.638 m

Θ2 Açı inşaat toleranslı kazı sınırı 32.874

Θ2 Açı 1. Hasır Çelik için 32.367

Θ2 Açı 2. Hasır Çelik için 33.350

Θ2 Açı d=25cm püskürtme b. için 32.912

h2=2.731m

L2=13.888 m

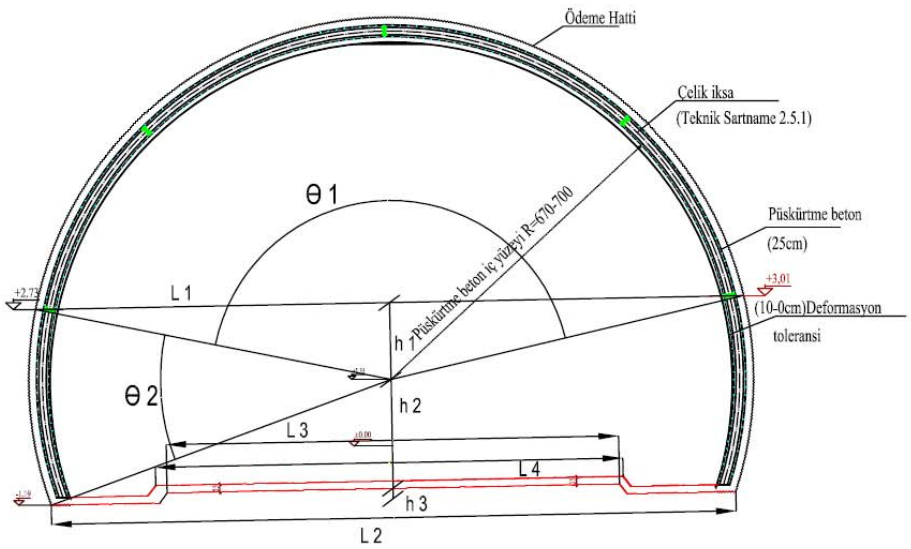
Şekil 4. 41 Tranzisyon kesit

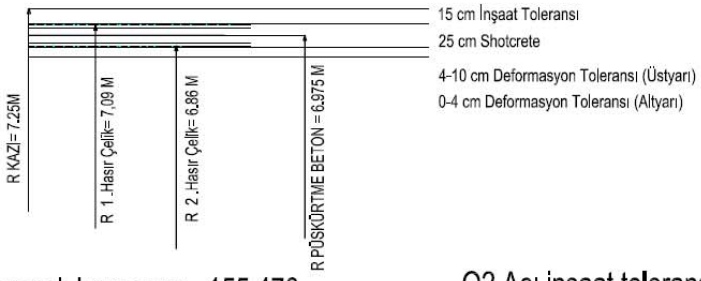
İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ

Sarıyer-Çayırbaşı Arası Karayolu Tüneli İnşaatı

Sarıyer Giriş Portalı T1-T2 Tünelleri Rakortman Tip Kesiti (d=25 cm)

Proje No: OZTS-08-31-RT-M-01





Θ1 Açı inşaat toleranslı kazı sınırı 155.476

Θ1 Açı 1. Hasır Çelik için 154.919

Θ1 Açı 2. Hasır Çelik için 154.078

Θ1 Açı d=25cm püskürtme b. için 154.508

h1=1,532m

L1=14.157 m

Θ2 Açı inşaat toleranslı kazı sınırı 31.458

Θ2 Açı 1. Hasır Çelik için 30.787

Θ2 Açı 2. Hasır Çelik için 31.849

Θ2 Açı d=25cm püskürtme b. için 31.311

h2=2,187m

L2=13.693 m

h3=0,20m

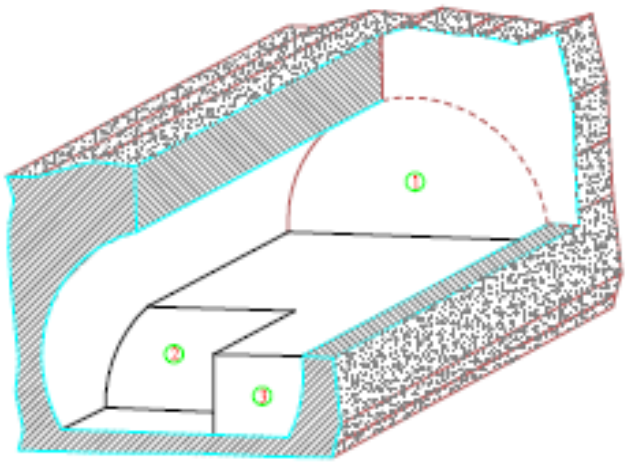
L3=9.050 m

L4=9.350 m

Şekil 4. 42 Rakortman kesit

4.6. KAZI ŞEKLİ

Sarıyer – Çayırbaşı tünelleri kazısı üç parçalı şekilde yapılmıştır. Bunlar üst yarı kazısı (ayna kazısı Şekil 4.44), alt yarı kazısı ve invert kazısıdır. Ayna kazısı ile alt yarı kazısı arasındaki uzaklık birimlerin durumlarıyla da alakalı olmak üzere 60 ila 100m arasında değişmiştir. İnvert kazısını uzaklığı ise çok farklılıklar göstermiştir. Ayrıca alt yarı kazısı iki parçalı şekilde yapılmıştır.



Şekil 4. 43 İlerleme kesiti

Şekil 4. 44 Ayna kazı işlemi

4.7. T2 TÜNELİ 0+170 – 0+370KM'LERİ ARASININ AYRINTILI MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ DEĞERLENDİRMESİ

T2 tünelinin 0+170 – 0+370km'leri arasının mühendislik jeolojisi açısından ayrıntılı olarak incelenmesindeki asıl sebep bu bölümde Trakya formasyonu içerisindeki ezik zonda tünel açımı sırasında göçük yaşanmasına bağlı olarak oluşan sorunun çözüm yönteminin incelenmesi ve irdelenmesidir. Bu inceleme sırasında kazı sırasında geçilen birimler, bu birimlerin jeolojik ve yapısal özellikleri, uygulanan tahkimat elemanlarıyla karşılaştırılmıştır.

T2 tünelinde ayrıntılı olarak irdelenecek bu kısımda genel itibariyle Trakya formasyonu geçilmiştir. İlk 15 – 20m'lik kısımda düşey atımlı normal fayların sıklığı dikkat çekmektedir. Bu bölümde bu özellikte 5 adet fay geçilmiştir. Faylar silttaşı ve grovak olarak ardalanan birimler içerisinde bulunmaktadır. Geçilen birimlerin eğimleri GB istikametindedir. Bu birimlerin yapısal özellikleri değerlendirilerek (ayna kazısı sırasında yapılan gözlemlerle) kaya tanımlaması orta çatlaklı olarak değerlendirilmiştir.

0+190m itibariyle yaklaşık 20m boyunca yine kumtaşı ve silttaşı tabakalarından oluşan istif geçilmiştir. Bu tabakalar birbirine uyumlu bir şekilde konumlanmakta olup eğimleri GB yönündedir. Bu bölüm genel itibariyle az çatlaklıdır.

0+250km'ye kadar yine uyumlu devam eden tabakalar yer yer (0+220 ve 0+240 km'lerinde) diyabaz dayklarıyla kesilmiştir. Trakya formasyonu içerisindeki diyabaz sokulumlarını sıkça görülmektedir. 0+220km'sindeki diyabaz sokulumundan sonra yaklaşık 10m boyunca şist özellikli birim kesilmiştir. Şist birimi çok çatlaklı bir yapı sergilemektedir. Bu noktada tabakalar arasındaki magmatik sokulum neticesinde oluşan diyabaz daykı çevresindeki tabakaları sıkıştırmış ve bunların çok çatlaklı bir yapı sergilemelerine neden olmuştur.

0+250km'sinden sonra yaklaşık 35m'lik kısımda yine sık faylı bir yapı görülmektedir. Burada faylar yine düşey atımlı normal faylar şeklindedir. Bu bölümde ince ve orta tabakalı silttaşları ve şeyller bulunmaktadır. Ayrıca 0+250 – 0+260km'leri arasında sık olmakla birlikte diyabaz daykları tünel kazısı sırasında geçilmiştir. Birimler orta çatlaklı

olarak sınıflandırılmıştır. Bu bölümde görülen diyabaz daykları, öncekilere nazaran daha ince sokulumlar halinde olduğundan dolayı çevre tabakalarda çok fazla deformasyona sebebiyet vermediğinden tabakalar orta çatlaklı olarak değerlendirilmiştir.

0+170 – 0+285km'leri arasında 25cm'lik püskürtme beton 1 kat çelik hasırla birlikte uygulanmıştır. Diğer tahkimat elemanlarına bakacak olursak bulon türü olarak SN bulonlar kullanılmıştır. Bunlar kazının üst yarısında 7x8, alt yarıda ise 2x3 adette çakılmıştır. Bulon sıraları arası 4m'dir. Kafes iksa olarak 3 adet Φ26'lık iksalar kullanılmış ve bunlar 6m arayla konumlandırılmışlardır. Bu bölümde round boyu 2m olarak belirlenmiştir.

Yaklaşık olarak 0+285km'sinden itibaren birimler çok çatlaklı özellik sergilemeye başlamıştır. İnce ve orta tabakalı silt taşları ve şeyl ardalanmasından oluşan istif GB'ya eğimli olup düşey atımlı normal faylarla kesilmiş durumdadır. Aynı zamanda yine yer yer (0+310 – 0+320km'leri arası) diyabaz daykları tünel aynasında görülmüştür.

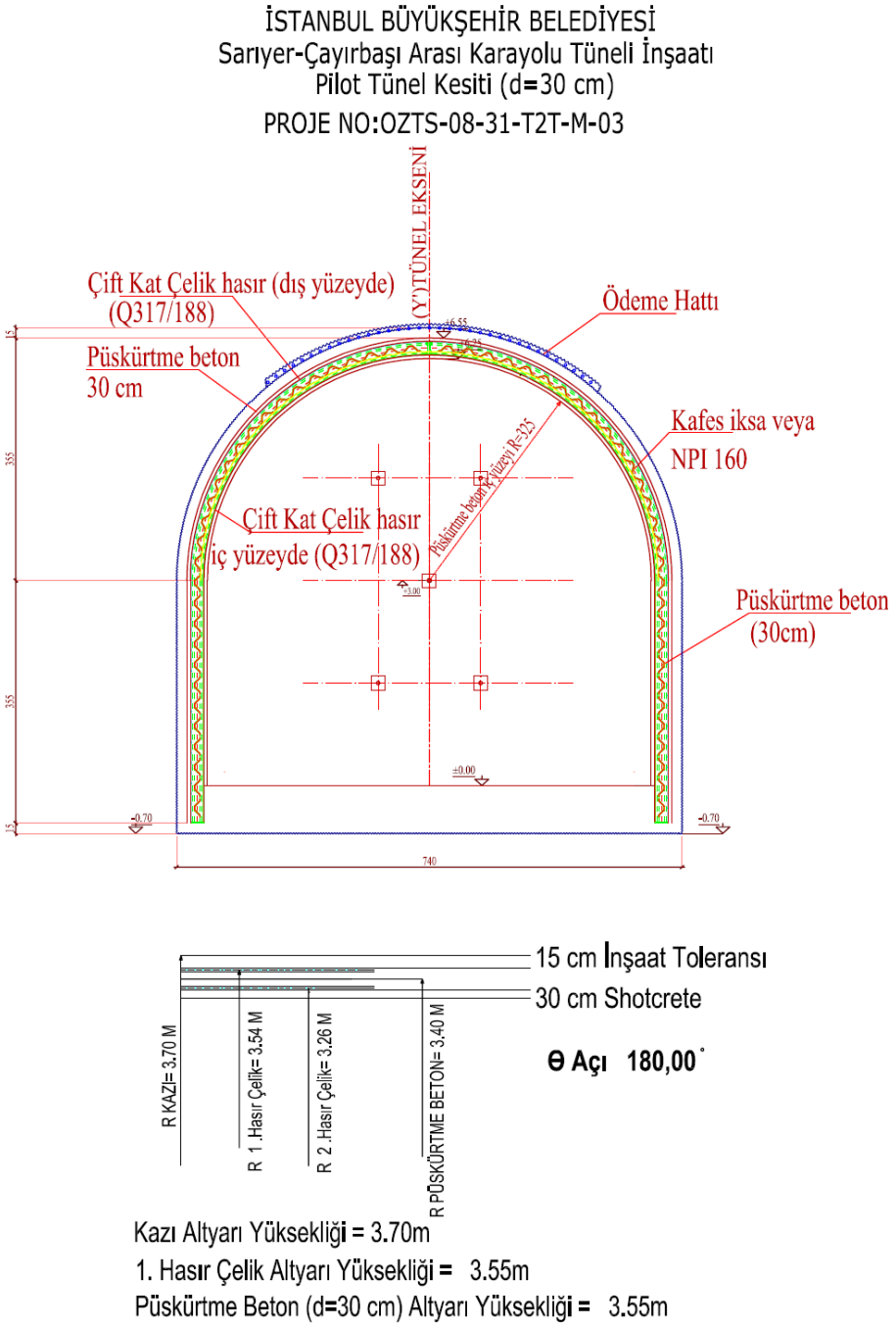
Bu bölümde kaya ortamın fiziksel özelliklerinin zayıflamasına bağlı olarak tahkimat elemanlarında artırıma gidilmiştir. Ancak 0+285 – 0+320km'leri arasında püskürtme beton kalınlığı ve çelik hasır sayısı aynı kalmıştır. Fakat bulon sayılarında değişim olmuştur. Alt yarıda 2x3 adet bulon kullanılırken üst yarıdaki sayı 10x11adete çıkarılmıştır. Boyları ise yine 4m'dir. Tür olarak da yine SN bulonlar kullanılmıştır. Kafes iksa olarak 3 adet Φ26'lık iksalar kullanılmış ancak aralarındaki mesafe 6m'den 2m'ye düşürülmüştür. Bu bölümde ayrıca süren uygulamasına başlanılmıştır. 1,5inç'lik 6m boyundaki sürenlerden 25 adet tünel tavanına çakılmıştır. Bindirme mesafesi ise 2m'dir.

Ayrıntılı incelenen güzergâh boyunca en çok sorun yaratan ve buna bağlı olarak tünel açım hızının en çok yavaşladığı bölge 0+320 – 0+335km'leri arasındaki ezik zondur. Ezik zon sebebiyle hemen hemen tüm tahkimat elemanlarında değişime gidilmiştir. Bu bölgede püskürtme beton kalınlığı 30cm'ye çıkarılmış ve 4 kat çelik hasır kullanılmıştır. Pilot tünel şeklinde geçilen bu bölümde kazı alanı daraltılmıştır (Şekil 4.45). Ayrıca round boyu da 75cm'ye düşürülmüştür. Kaya bulonu olarak 8m'lik IBO bulonları

kullanılmıştır. Fay zonunda tüm tahkimat elemanlarında olduğu gibi süren uygulamasında da büyük değişimler yapılmıştır. Tünel ekseninin tavan kısmına 2inç kalınlığında 8m'lik 45 adet süren çakılmıştır. Kaplama yapıldıktan sonraki meydana gelebilecek ve püskürtme betonda deformasyonlara neden olabilecek durumları en kısa zamanda önlemek amacıyla beton prizlenmesini tamamladıktan hemen sonra kontak enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Ayrıca bu bölümde tünel aynasında bulon uygulaması yapılmıştır. Ayna kazısı göbek bırakılarak yapılmış ve aynaya püskürtme beton yanı sıra 8 adet 9m'lik bulonlardan çakılarak kazı güvenliği sağlanmıştır.

Şekil 4. 45 Dar kesitle geçilen bölüm (Pilot tünel)

Bu bölümde fay zonu olması sebebiyle bölgedeki yer altı sularının kolay hareketi söz konusu olmuş ve tünel kazısına akan özellikte su gelimi olmuştur. Kazı sırasında fay zonunun belli noktalarında yapılan ölçümlerde saniyede 7 ila 10lt arasında su geldiği tespit edilmiştir. Bu suyun tünelde geçilen ezik zonun üzerinde bulunan Kocataş tepede gözlenen Gözdağ formasyonuna ait kuvarsitler içerisindeki sudan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 46 Pilot tünel tip kesiti

0+335 – 0+368km'leri arasında çamurtaşı, silttaşı, şeyl ve yer yer şist ardalanmalı geçen bölüm yine GB'ya eğimli uyumlu bir istif sergilerken yaklaşık 0+360 ve 0+370km'lerinde diğer faylarla benzer özellikte iki adet fayla kesilmiştir. Bu iki fay zonu geçilirken zayıf ortam sebebiyle yapılan kazılarda fazla malzeme gelimi olmuştur.

Bu metrelerde püskürtme beton kalınlığı 30cm olup 2 kat çelik hasır kullanılmıştır. Round boyu yine 75cm olarak belirlenmiştir. Zayıf bölge tamamen geçilene kadar kazı temkinli bir şekilde devam etmiştir.

Kafes iksalarda değişikliğe gidilmemiş olup 3 adet Φ26'lık kafes iksalar kullanılmıştır. Kaya bulonu olarak 32'lik IBO bulonları kullanılmış olup bunlar üst yarıda 11x12, alt yarıda ise 2x3 adet çakılmıştır. Bu bulonların boyları ise 6m'dir.

Fay zonundan çıkıldıktan sonra kaya ortamındaki nispeten iyileşmeden dolayı sürenler 45 adetten 40 adete düşürülmüştür. Ayrıca boyları da 8m'den 6m'ye indirilmiştir. Yine 2inç kalınlığında olan bu sürenler 3m bindirmeli olarak çakılmıştır.

Ayrıca bu bölümde aynada göbek bırakılarak kazı işlemi devam etmiştir (Şekil 4.47). Aynada püskürtme beton ve çelik hasır kullanılmış olup bunlarla birlikte 6 adet 9m'lik IBO bulonları çakılmıştır.

Şekil 4. 47 T2 tüneli 0+335 – 0+368km'leri arasında aynada göbek bırakılarak kazı devam etmekte

Tablo 4. 11 T2 tüneli 0+185 – 0+285km'leri arası kazı destekleme formu

SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ

T2 TÜNELİ KAZI DESTEKLEME BİLGİ FORMU

BAŞLANGIÇ KM'Sİ:	0+185
BİTİŞ KM'Sİ:	0+285
TÜNEL KAZI TİPİ:	STANDART TİP

TAHKİMAT ELEMANLARI VE İMALAT ÖZELLİKLERİ

RAUND BOYU		2m
İKSA CİNSİ		Kafes İksa (3xQ26) - 6m arayla uygulanmıştır-
ÇELİK HASIR CİNSİ		Q317 / 188
HASIR ÇELİK UYGULAMASI		1 kat
PÜSKÜRTME BETON KALINLIĞI		25cm
BULON	CİNSİ	Q26 SN
	ADEDİ	Üst yarı 7+8; Alt yarı 2+3
	UZUNLUĞU	4m
SÜREN	CİNSİ	-
	ADEDİ	-
	UZUNLUĞU	-
	BİNDİRME MESAFESİ	-
GÖBEK DESTEĞİ / BULON		-

Tablo 4. 12 T2 tüneli 0+285 – 0+320km'leri arası kazı destekleme formu

SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ

T2 TÜNELİ KAZI DESTEKLEME BİLGİ FORMU

BAŞLANGIÇ KM'Sİ:	0+285
BİTİŞ KM'Sİ:	0+320
TÜNEL KAZI TİPİ:	STANDART TİP

TAHKİMAT ELEMANLARI VE İMALAT ÖZELLİKLERİ

RAUND BOYU		2m
İKSA CİNSİ		Kafes İksa (3xQ26) - 2m arayla uygulanmıştır-
ÇELİK HASIR CİNSİ		Q317 / 188
HASIR ÇELİK UYGULAMASI		1 kat
PÜSKÜRTME BETON KALINLIĞI		25cm
BULON	CİNSİ	Q26 SN
	ADEDİ	Üst yarı 10+11; Alt yarı 2+3
	UZUNLUĞU	4m
SÜREN	CİNSİ	1,5" Boru Süren
	ADEDİ	25
	UZUNLUĞU	6m
	BİNDİRME MESAFESİ	2m
GÖBEK DESTEĞİ / BULON		-

Tablo 4. 13 T2 tüneli 0+320 – 0+335km'leri arası kazı destekleme formu

SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ

T2 TÜNELİ KAZI DESTEKLEME BİLGİ FORMU

BAŞLANGIÇ KM'Sİ:	0+320
BİTİŞ KM'Sİ:	0+335
TÜNEL KAZI TİPİ:	PİLOT TÜNEL

TAHKİMAT ELEMANLARI VE İMALAT ÖZELLİKLERİ

RAUND BOYU		0,75m
İKSA CİNSİ		Kafes İksa (3xQ26) - 2m arayla uygulanmıştır-
ÇELİK HASIR CİNSİ		Q317 / 188
HASIR ÇELİK UYGULAMASI		4kat
PÜSKÜRTME BETON KALINLIĞI		30cm
BULON	CİNSİ	Q32 IBO
	ADEDİ	Üst yarı 11+12; Alt yarı 2+3
	UZUNLUĞU	8m
SÜREN	CİNSİ	2" Boru Süren
	ADEDİ	45
	UZUNLUĞU	8m
	BİNDİRME MESAFESİ	4m
GÖBEK DESTEĞİ / BULON		çelik hasır + püskürtme beton +8x9 IBO göbek bulonu

Tablo 4. 14 T2 tüneli 0+335 – 0+363,75km'leri arası kazı destekleme formu

SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ

T2 TÜNELİ KAZI DESTEKLEME BİLGİ FORMU

BAŞLANGIÇ KM'Sİ:	0+335
BİTİŞ KM'Sİ:	0+363,75
TÜNEL KAZI TİPİ:	STANDART TİP

TAHKİMAT ELEMANLARI VE İMALAT ÖZELLİKLERİ

RAUND BOYU		0,75m
İKSA CİNSİ		Kafes İksa (3xQ26)
ÇELİK HASIR CİNSİ		Q317 / 188
HASIR ÇELİK UYGULAMASI		2 kat
PÜSKÜRTME BETON KALINLIĞI		30cm
BULON	CİNSİ	ø32 IBO
	ADEDİ	Üst yarı 11+12 Alt yarı 2+3
	UZUNLUĞU	6 m
SÜREN	CİNSİ	2" Boru Süren
	ADEDİ	40
	UZUNLUĞU	6m
	BİNDİRME MESAFESİ	3m
GÖBEK DESTEĞİ / BULON		çelik hasır + püskürtme beton + 6x9 IBO göbek bulonu

EK BİLGİLER: Göbek tahkimatları her 1,5m'de bir yapılmıştır. Göbek bulonlarının bindirmesi 3,5m 'dir. Ayna ilerlemesine paralel olarak su gelen bölgelere 4x8m drenaj delgisi yapılmıştır (50mm delikli perfore boru). Süren delgileri kuru yapılmıştır.

Tablo 4. 15 T2 tüneli 0+363,75 – 0+373,75km'leri arası kazı destekleme formu

SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ

T2 TÜNELİ KAZI DESTEKLEME BİLGİ FORMU

BAŞLANGIÇ KM'Sİ:	0+363,75
BİTİŞ KM'Sİ:	0+373,75
TÜNEL KAZI TİPİ:	STANDART TİP

TAHKİMAT ELEMANLARI VE İMALAT ÖZELLİKLERİ

RAUND BOYU		0,75m
İKSA CİNSİ		Kafes İksa (3xQ26)
ÇELİK HASIR CİNSİ		Q317 / 188
HASIR ÇELİK UYGULAMASI		2 kat
PÜSKÜRTME BETON KALINLIĞI		30cm
BULON	CİNSİ	ø32 IBO
	ADEDİ	Üst yarı 11+12 Alt yarı 2+3
	UZUNLUĞU	8m
SÜREN	CİNSİ	2" Boru Süren
	ADEDİ	40
	UZUNLUĞU	6m
	BİNDİRME MESAFESİ	3m
GÖBEK DESTEĞİ / BULON		

EK BİLGİLER: Gerekli görülen durumlarda göbek desteklemesi yapılmıştır. Ayna ilerlemesine paralel olarak su gelen bölgelere 4x8m drenaj delgisi yapılmıştır (50mm delikli perfore boru). Süren delgileri kuru yapılmıştır.

4.8. JEOTEKNİK ÖLÇÜMLER VE DEFORMASYONLAR

4.8.1. Jeoteknik Ölçümlerin ve Deformasyonların Takibinin Önemi

Jeoteknik ölçümlemeler tünel kazısı sırasında çalışanların ve tünelin güvenliği açısından önemli bir parametredir. Tünelde yapılan tahkimatların yeterli olup olmadığını tespit etmemizde ve meydana gelebilecek beklenmeyen durumların önceden tespit edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Mühendislik yapılarının jeoteknik etüdünün, inşasından daha önemli olduğu günümüzde kabul edilen bir gerçektir. 1984'te yapılan bir araştırmaya göre yıkılan veya hasara uğrayan yapıların %76'sı, yetersiz jeoteknik etütler sonucunda olduğu saptanmıştır. Mühendislik yapısının tahmini maliyetinin % 2-7 tutarında bir jeoteknik etüt yapılması gerekliliği günümüzde benimsenmiştir (Timur, 1994).

Genellikle tünel açılacak güzergâhın tapografyası, zemin koşulları ve açılacak tünelin geometrisi gibi parametreler değerlendirilerek tünel açma yöntemi ve buna bağlı olarak ölçme yöntemleri belirlenebilmektedir (Ünlütepe vd, 2005).

Tünellerde, yer değiştirme ölçümlerinin ayrıntılı ve güvenilir bir şekilde yapılması ve değerlendirilmesiyle, nihai yer değiştirme tahminlerinin yapılmasıyla, önceden yapı güvenliğinin sağlanabilmesi için gerekli destekleme miktarı ve destek sınıfı belirlenebilmekte ve projelerdeki zaman ve para kaybı önlenebilmektedir (Özbek, 2003).

Tünel kazısı boyunca uygulanacak destekleme sisteminin seçimi sadece tünel kazı yüzeyi boyunca geçilen birimlerin jeolojik özelliklerinin durumuna göre değil, benzer koşullar altında tünel açımında elde edilen deformasyon değerleri de göz önüne alınarak yapılır (Peck, 1969b).

Aynı zamanda tünellerdeki sınır koşulları tünel dizaynı ve yapım yaklaşımlarını ve dolayısıyla deformasyon ölçümlerinin rolünü belirler (Schubert vd, 1994).

1960'li yılların başına kadar tünel kazı teknikleri ve geçici destek sistemleri çelik ve ahşap destekler kullanılarak endüstriyel deneyimlere ve maden endüstrisindeki örneklere göre temellendirilerek yapılırdı. Mühendisler, Terzaghi'nin klasik yöntemine dayanan kaya kütlesi yükünü kullanarak nihai tahkimat elemanlarını dizayn etmişlerdir. Bu yaklaşım küçük çaplı ve elverişli yüzey koşullarına sahip sığ tünellerde uygundur. Son 30 yılda tünel uzunlukları ve üst örtü yüklerinin hızla artmasıyla tünel kazılarında, kaya kütlesi destek tekniklerinde, teknolojik gelişmeler ve yer altı yapılarındaki güvenlik ve ekonomikliğin önemli hale gelmesi sonucu dizayn ve yapım teknikleri önemli ölçüde gelişme kaydetti (Kavvadas, 2005).

Daha önceden de belirttiğimiz gibi tünellerde deformasyonların takibi çok dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Ancak en ideal şekilde ölçümleme yapılsa bile tüneldeki asıl deformasyonlar takip edilememektedir. Çünkü tünel kazısı yapıldıktan hemen sonra deformasyonlar başlar. Ancak bu dönemde gelişen deformasyonları önlemek ve kazı güvenliğini sağlamak amacıyla uygulanan tahkimat elemanları bu deformasyonları karşılar. Maalesef geçici destek sistemlerine zarar vermemek adına deformasyon takip ekipmanları tünel aynasından en az 2-4 m geriye yerleştirilir. Bu mesafede ise hemen gerçekleşen deformasyonların %60 ila %80'i gerçekleşmiş olur (Kavvadas, 2005). Aynı zamanda bu ekipmanların yerleştirilmesine kadar da bir süre geçmektedir (Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli'nde 1 ila 2 gün). Sonuç olarak gerçekte meydana gelen tüm deformasyon tespit edilememektedir.

Deformasyonların takibi hususunda bir başka önemli parametre de ölçüm ekipmanlarının kullanımıdır. Ekipmanların bakımı, düzgün kullanımı kadar doğru, gerekli ve kritik yerlere yerleştirilmeleri de çok önemli bir noktadır. Tabi ki güvenilir kararların alınması için asıl en önemli parametre bu değerleri yorumlayan mühendisin, nihayetinde doğru hükümler verebilmesidir.

4.8.2. Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli'nde Kullanılan Deformasyon Ölçüm Ekipmanları

Sarıyer - Çayırbaşı tünellerinde 3 tip jeoteknik ölçüm yapılmıştır. Bunlar "Nivelman Ölçümleri" , tünel içi "Optik Deformasyon Ölçümleri" ve "Optik Konverjans Ölçümleri"dir. Bu ölçüm yöntemleriyle tünel içinde her yönde meydana gelen hareketler ile birlikte tünel güzergâhı boyunca yüzeyde oluşan düşey deformasyon hareketleri (zeminde oturmalar) ve aynı zamanda tünel ekseninin üzerinde bulunan yapılarda meydana gelen hareketler tespit edilmiştir.

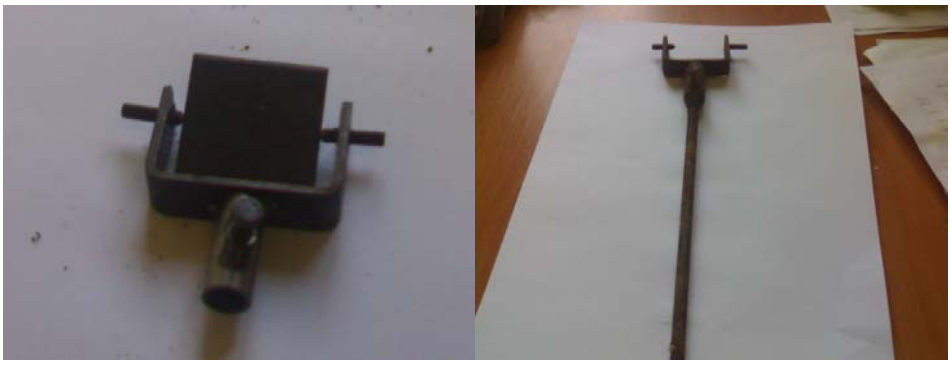
Nivelman ölçümleri ile yeryüzündeki herhangi bir noktanın deniz yüksekliği olan 0 m kotuna göre yüksekliği belirlenir. Bu ölçüm yöntemiyle tünel içi tabanında ve tünel güzergâhı boyunca yüzeyde kazı sonucu meydana gelen düşey hareketler belirlenebilmekteyken, Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli'nde sadece tünel güzergâhı boyunca yüzeyde, zeminde oturma sorunlarının yaşandığı Tekel Lojmanlarının olduğu bölgede kullanılmıştır. Tünel dışında yapılan bu ölçümlerle tünel kazısından etkilenecek zemin ve üzerinde inşa edilmiş yapılardaki hareketler gözlenerek, gerçekleşmesi muhtemel istemeyen durumların önceden tespit edilmesine çalışılmıştır. Bu ölçümlemeler Tekel Lojmanlarının olduğu bölgede T1 tüneli güzergâhı ekseninin yüzeydeki izdüşümünde 10m aralıklarla ve uygun görülen noktalarda eksenin sağında ve solunda farklı uzaklıklarda yapılmıştır.

Konverjans ölçümleri sayesinde ise tünel içerisindeki deformasyon miktarının mm bazında değerlendirmek mümkündür. Konverjans ölçümleri hassas ölçüm değerleri vermesi, kolay uygulanabilir olması, kısa sürede ölçüm değerleri verebilmesi açısından avantaj sağlarken, ölçüm değerlerinin göreceli olması ve okuma değerlerinin sıcaklıkla değişiklikler göstermesi açısından dezavantaj yaratmaktadır. Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli'nde optik konverjans ölçümleri için tünel iç çevresindeki 5 noktadan ölçümler alınmıştır. Buradan alınan değerler, aralarında korele edilerek deformasyon grafikleri çıkarılmıştır. Konverjans ölçümleri için tünel içindeki bu beş noktanın 3'ü üst yarıya, 2'si alt yarıya yerleştirilmektedir. Tünel ekseninin üst yarısına yerleştirilen 3 adet okuma noktasının birbirleri arasındaki hareketleri (1-2, 1-3, 2-3 gibi) değerlendirilerek, tünelin çevre yükler altındaki davranışının ne yönde ve ne kadar

olduğu değerlendirilmiştir. Konverjans ölçümleri tünel güzergâhı boyunca 20m'de bir yapılmıştır.

Optik deformasyon ölçümleri ise tünel iç çevresine yerleştirilen 3 okuma noktasından yapılmaktadır. Bu noktalarda yapılan okumalarla tünel ekseninin sağ, sol ya da düşey yönlü hareketlenmeleri takip edilmiştir.

Optik deformasyonlar ölçümleri ve tünel içi konverjans ölçümleri için püskürtme beton üzerine yerleştirilen aparatlar ve bunlara ait ayrı bulonlar vardır. Deformasyon bulonları çakıldıktan sonra baş taraflarına gerekli aparatlar takarak okumalar alınır. Optik deformasyon ölçümleri tünel güzergâhı boyunca 60m'de bir yapılmıştır.



Şekil 4. 48 Optik kelebek ve bulonu

Şekil 4. 49 Optik konverjans bulonu ve kancası

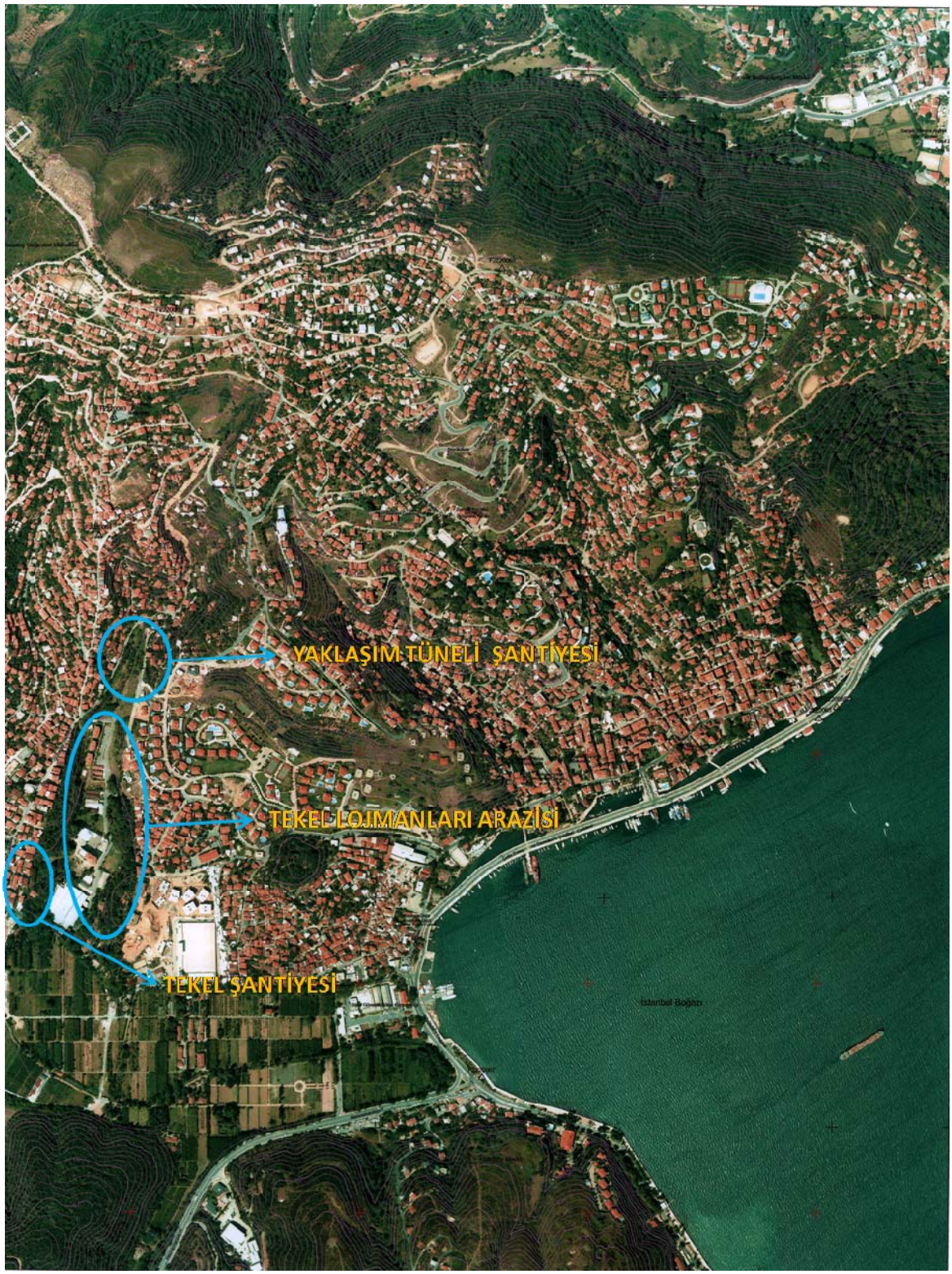
Tünel kazısı boyunca deformasyon toleransı genel olarak 10cm olarak öngörülmüştür. Genel olarak deformasyonlar tolerans değerini geçmemiştir.

Şekil 4. 50 Tünel içi optik konverjans ölçümü

4.8.3. Tekel Lojmanları Bölgesine Denk Gelen 1+650 – 1+800km'leri Arası Deformasyon Verilerinin Değerlendirilmesi

"Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli"nde tünel açımı açısından asıl sorun yaratan bölgeler Tekel şantiyesine yakın bölgelerde gözlemlenen alüvyon birim ve Belgrad formasyonuna ait olan çökellerde yapılan kazıların olduğu kısımlardır. Belgrad formasyonu ve alüvyonların geçildiği bu sıkıntı yaratan bölgede tünel "Zayıf Zemin Geniş Kesit" tip kesitine uygun olarak açılmıştır. Böylece tünel içerisinde oluşabilecek deformasyonlar önlenmiş ve tünelin sağlıklı bir şekilde açılması sağlanmıştır.

Bu bölümde ayrıntılı olarak inceleyeceğimiz kısım tünelin Tekel Şantiyesinin hemen kuzeydoğusunda ve Yaklaşım şantiyesinin güneyinde bulunan ve tünel güzergâhının üzerinde olan Tekel Lojmanları arazisinde, tünel açımı sırasında ve sonrasında yapılarda, tünel içerisinde ve yüzeyde meydana gelen deformasyonlardır (Şekil 4.51). Bu bölgede T2 tüneli yamaç içerisinde kaldığından üst yapı yükleri tünel içerisinde sıkıntı yaratacak ölçüde deformasyon yaratmamışlardır. Ancak T1 tüneli bu yapı yüklerine fazlasıyla maruz kalmıştır. Ancak genel itibariyle bakıldığında tünel içerisinde çok büyük deformasyon değerleri oluşturmamıştır.



Şekil 4. 51 Tekel, Yaklaşım şantiyeleri ve Tekel lojmanları arazisi

4.8.3.1. Tekel Lojmanları Bölgesinin Konumu ve Tanıtımı

Tekel Lojmanlarının inşa edildiği arazi tünelin yaklaşık olarak 1+650 – 1+800km'leri arasına ve ağırlıklı olarak T1 tünel güzergâhının yüzeydeki izdüşümüne denk gelmektedir. Bahçeköy Caddesi üzerindeki tünelin Tekel Şantiyesinin girişinden yaklaşık 50-75m güneydoğusunda (caddenin sahil istikametinde) girişi bulunan Tekel Lojmanları arazisi içerisinde 3 adet lojman binası, 3 adet depo, 1 adet su deposu ve ambar binaları yer almaktadır. Lojman binalarının konumu ise tünel güzergâhına hemen hemen paralellik arz etse de iki tüp arasında bulunmakta olup tünel güzergâhı yönünde, giderek T1 tüneline yaklaşmaktadır. Lojman binaları 4 katlı olup bodrum katları bulunmamaktadır. Temelleri ise 1 metrelik radye temeldir (Şekil 4.52).

Şekil 4. 52 Lojman binalarının konumu

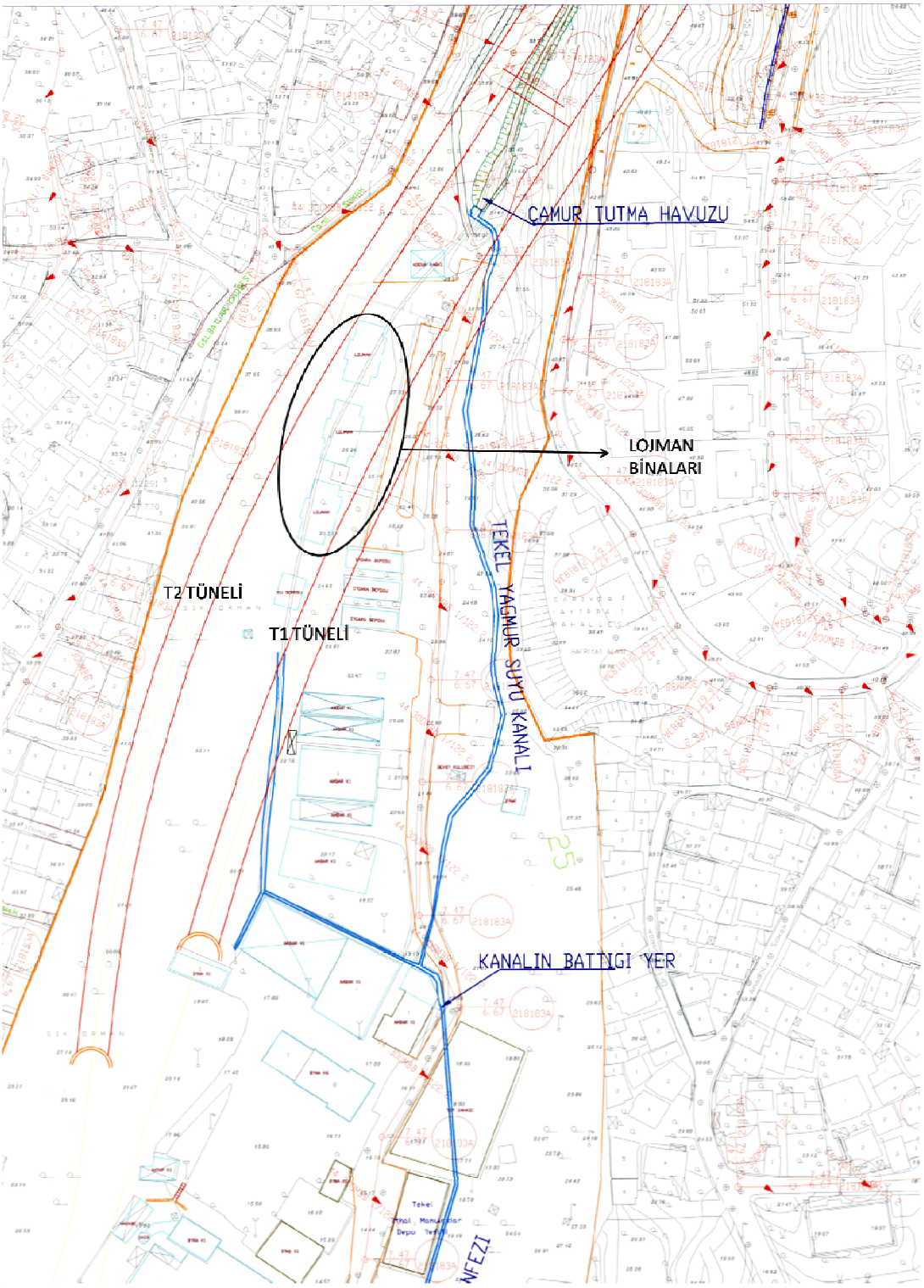
Tünelin 1+760km'si lojman binalarıyla tünel ekseninin en yakın olduğu noktadır. Bu nokta 1 nolu Lojman binasının tünel güzergâhıyla kesiştiği ve aynı zamanda tünel ayna kazılarının da birleştiği noktadır (Şekil 4.53). Burada Tekel Şantiyesi yönünden gelen ayna kazısı deformasyonların artması sebebiyle durdurulmuştur. Yüzeyde meydana

gelen oturmaları ve yapılarda oluşması muhtemel hasarları önlemek amacıyla diğer yönden (Çırçır yönünden) gelen ayna kazısıyla, tünellerin binaların altından geçen kısmı açılmıştır. Önceden bölgenin gösterdiği zayıf durum tespit edildiğinden dolayı buradaki kazı, destek sistemleri arttırılarak tamamlanmıştır.

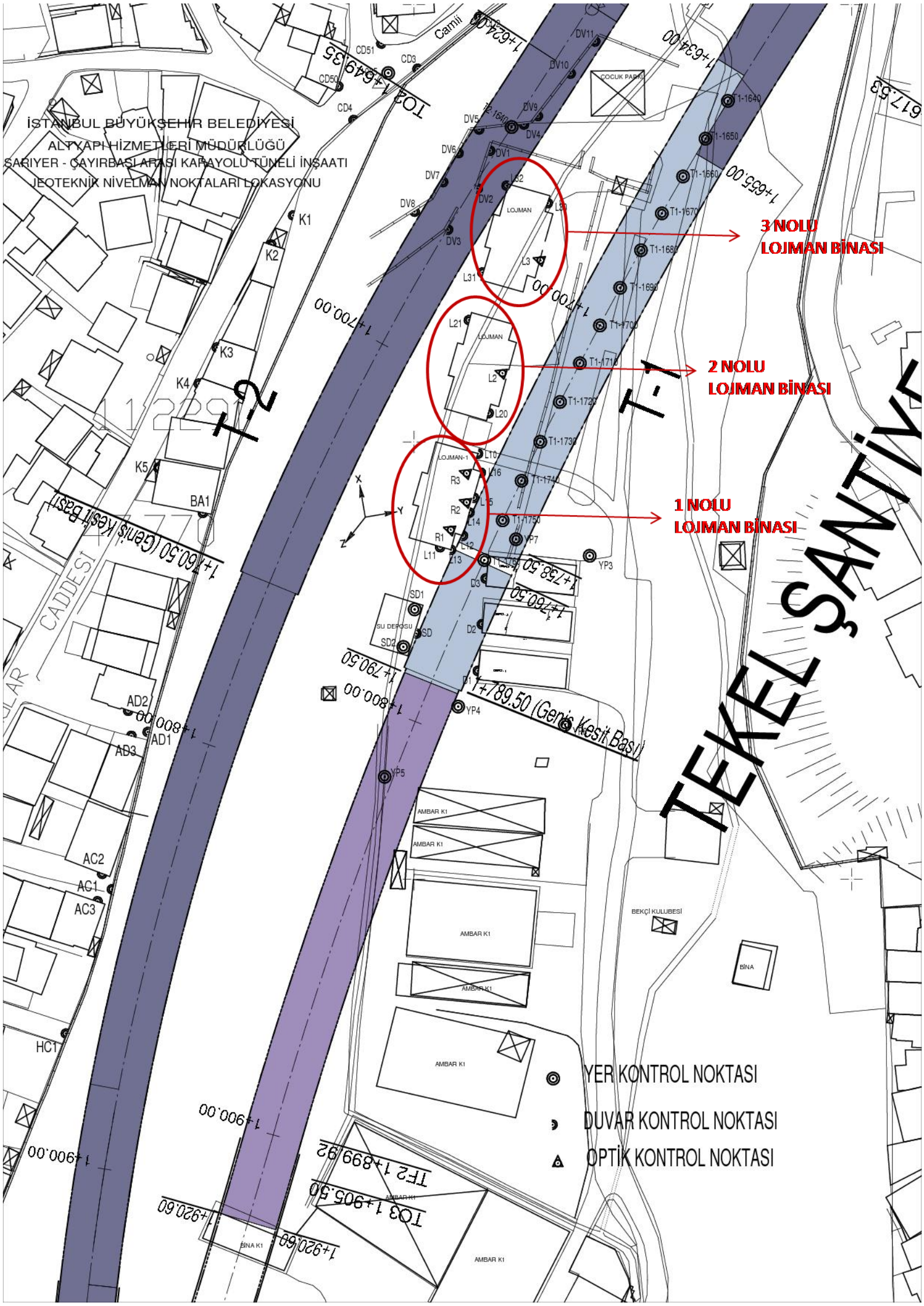
Şekil 4. 53 Tünel ayna kazılarının birleştiği nokta

Hemen hemen iki tüp arasındaki bölgenin yüzeyine denk gelen üç adet lojman binası bu alana inşa edilmeden önce bu bölgede akan bir dere mevcuttu ve bölge dere yatağı durumundaydı. Ancak lojman binalarının inşası sebebiyle derenin yatağı, yine binaların bulunduğu arazi içerisinde açılan bir kanala yönlendirilmiştir (Şekil 4.54, Şekil 4.55). Daha sonra bu kanal vasıtasıyla dereden gelen su bölgeden uzaklaştırılarak yer altındaki su gider kanallarına bağlanmıştır.

Şekil 4. 54 Lojman binaları arazisi içerisindeki derenin suyunun verildiği kanal



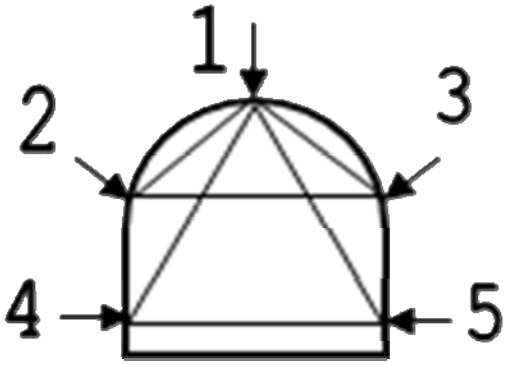
Şekil 4. 55 Yönü değiştirilen derenin yeni güzergahı



Şekil 4. 56 Tekel Lojmanları civarında tünel dışında yapılan ölçümlerin yerleri

4.8.3.2. T1 Tüneli 1+650 – 1+800km'leri Arası Tünel İçi Konverjans Ölçümleri

T1 tünelinde bu km'ler arasını incelediğimiz zaman değişik sonuçlar görmemizle birlikte deformasyon korelasyonlarında (1-2 , 1-3 , 2-3) hareketlerin genel itibariyle - , + 3 – 4mm'yi geçmediğini, yer yer 6 – 8mm'lere ulaştığını görmekteyiz. Bu deformasyon değerleri Sarıyer – Çayırbaşı Tünelleri'nde beklenen deformasyon tolerans değerlerinin altında kalmaktadırlar. Okuma noktaları arasındaki "+" değerler bu noktaların birbirinden uzaklaşan hareket, "-" değerler noktaların birbirine göre yakınlaşan hareket yaptıklarını ifade etmektedir.



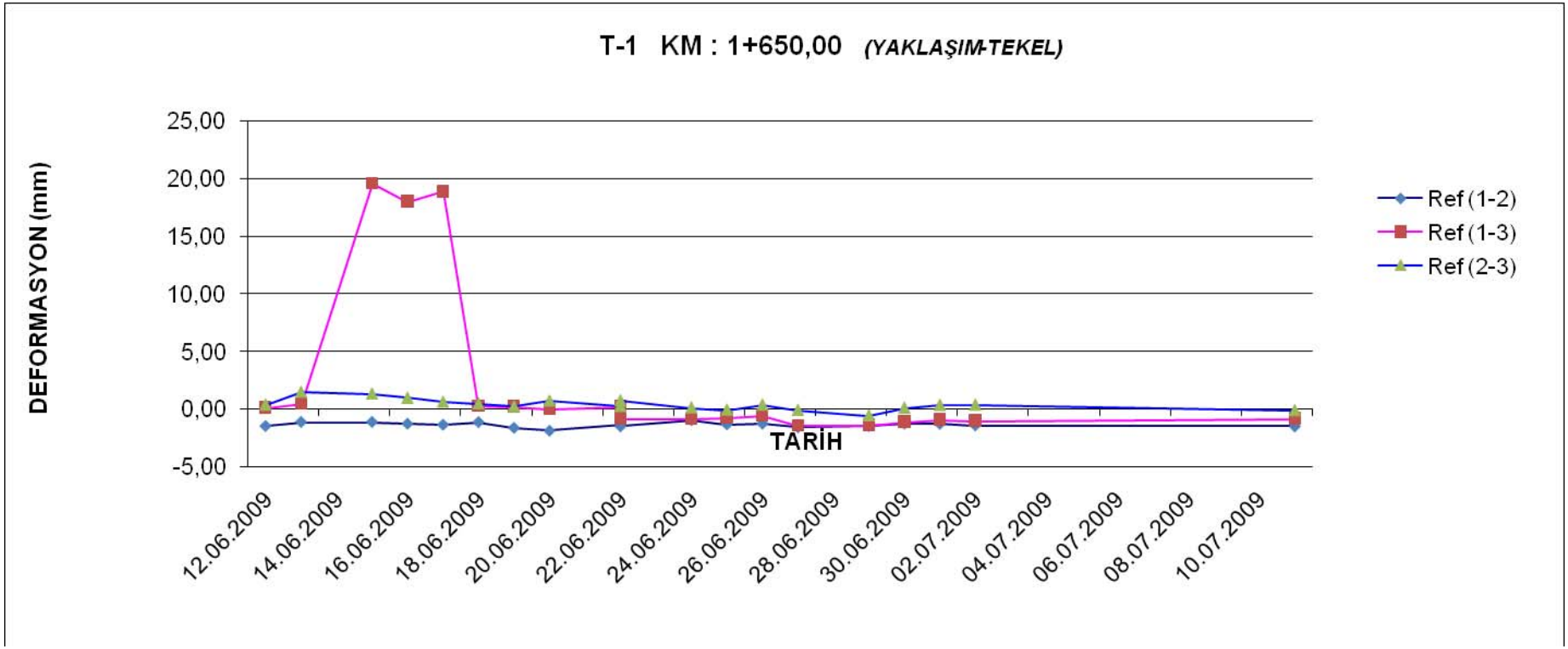
Şekil 4. 57 Tünel içerisinde konverjans ölçüm noktaları

Üst yapı yüklerinin etkilerinin görülmediği 1+650km civarlarında tünel içi konverjans ölçüm değerleri korelasyonlarında hemen hemen sıfıra yakın sonuçlar elde edilmiştir. 1+650km'sindeki okuma grafiğinde 1-3 okuma noktaları arasında hareket değerinin açılma yönünde 20mm'ye ulaştığını ve sonra tekrar normal seyrine döndüğünü görmekteyiz. Bu ani değişim okuma hatasından kaynaklanmakta olup gerçek hareketi yansıtmamaktadır (Tablo 4.16).

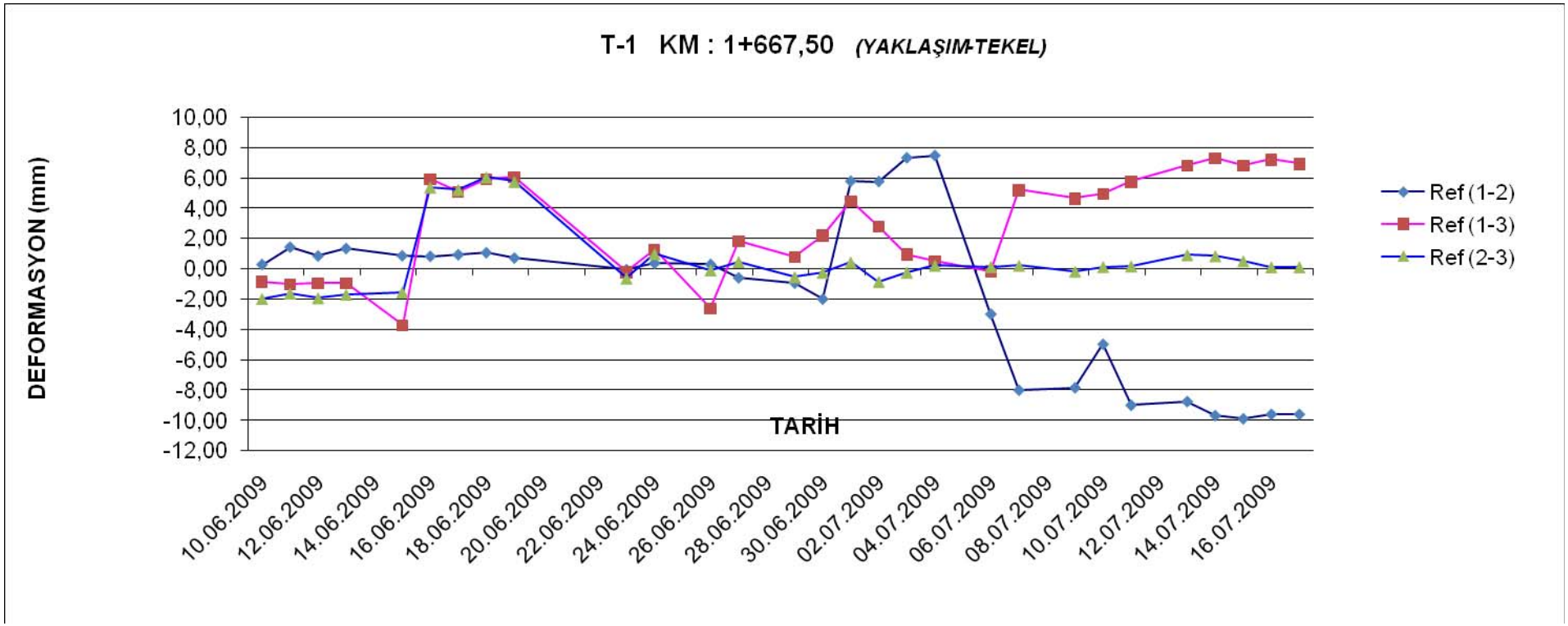
1+677,50km'sindeki okumalara baktığımızda tünel sol üst ekseninde bir yük geldiği görülmektedir. Bu noktada 1-2 okuma noktaları arasında yaklaşık 10mm'lik bir daralma meydana gelirken, 1-3 okuma noktaları arasında ise yaklaşık 7mm'lik bir genişleme meydana gelmiştir (Tablo 4.17). Bu m'lerde T1 tüneli güzergâhı üzerinde herhangi bir yapı elemanı bulunmamaktadır. 1+700km'lere kadar deformasyon korelasyon değerleri 1mm civarında gezinmiştir ki bu değerler Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli'nde tolere gösterilen deformasyon değeri (10cm) yanında önemsenecek değerler değillerdir. 1+706km'sinde yapılan ölçümlerde ise 2-3 noktaları arasında 4mm'lik genişleme

görülürken 1-3 nolu okuma noktaları (tünel ekseninin sağ tarafı) arasında ise 4mm'lik bir daralma olmuştur. Yine 1-2 okuma noktaları arasında da çok küçük de olsa (yaklaşık 1mm) daralma olmuştur. 1+726km'ine ait ölçümlerde hareket, bir önceki okuma noktasına ait değerlerin gösterdiği hareketle benzerdir. Deformasyon değerlerindeki değişimlerin bu km'den sonra arttığı görülmektedir. Özellikle 1+737 (Tablo 4.22) ve 1+770km'lerinde (Tablo 4.24) yapılan ölçümlerde 2-3 okuma noktaları arasında artan yönde bir hareket olduğu tespit edilmiştir. 1+737'de yaklaşık 8,5mm, 1+770'de ise 5mm hareket olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında 1-3 nolu okuma noktaları arasında 4 mm civarında daralma olmuştur. Bu m'lerde deformasyon değerlerinin az da olsa artma sebebinin 1 nolu lojman binasının tünel eksenine iyice yaklaşmış olmasıdır. Bu yaklaşma sonucu tünele yaklaşık tepe noktasından sağ ekseni yönünde bir yük oluşmuş ve genel itibariyle konverjans ölçümlerindeki değerler 1-3 (sağ eksen) okuma noktaları arasında daralma, 1-2 (sol eksen) ve 2-3 nolu okuma noktaları arasında ise genişleme şeklinde olmuştur. Ancak uygulanan destekleme sistemlerinin yeterliliğinden ötürü oluşan bu hareketler tünel güvenliğini tehdit edecek değerlere ulaşmamıştır.

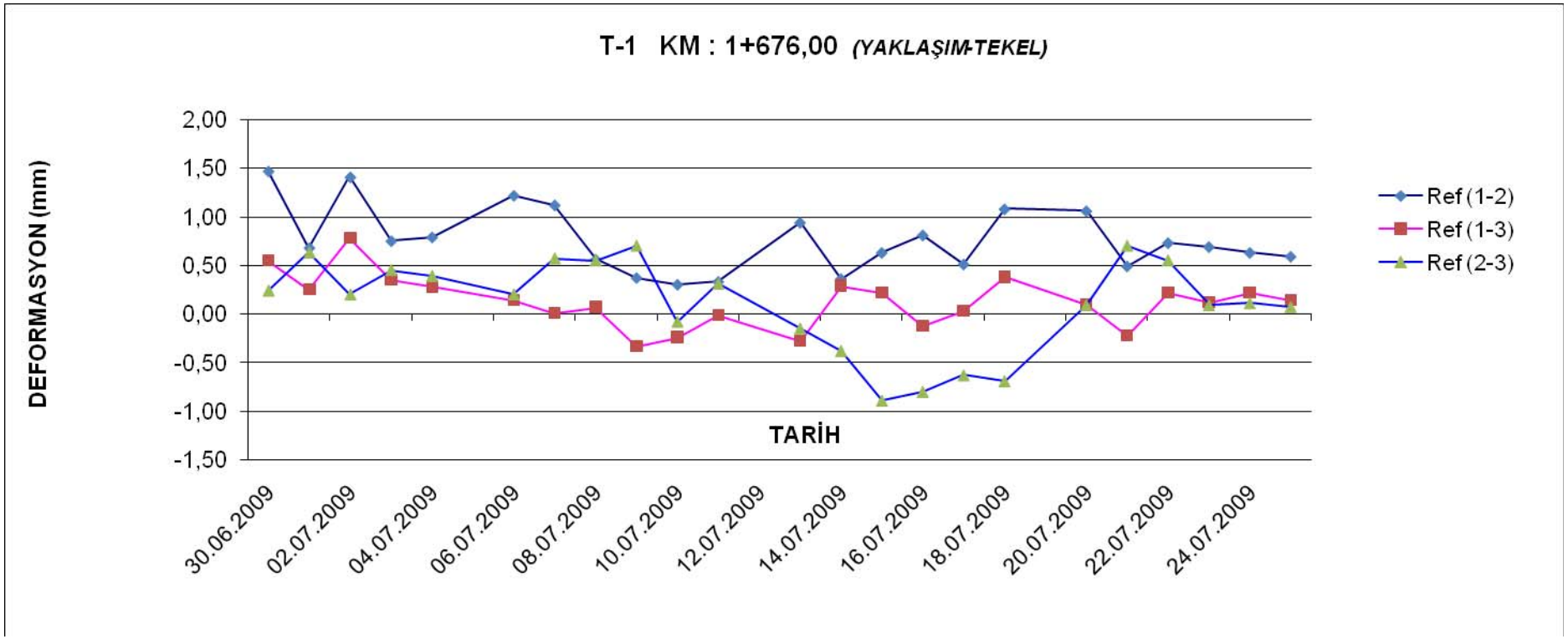
Tablo 4. 16 T1 tüneli km 1+650,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği



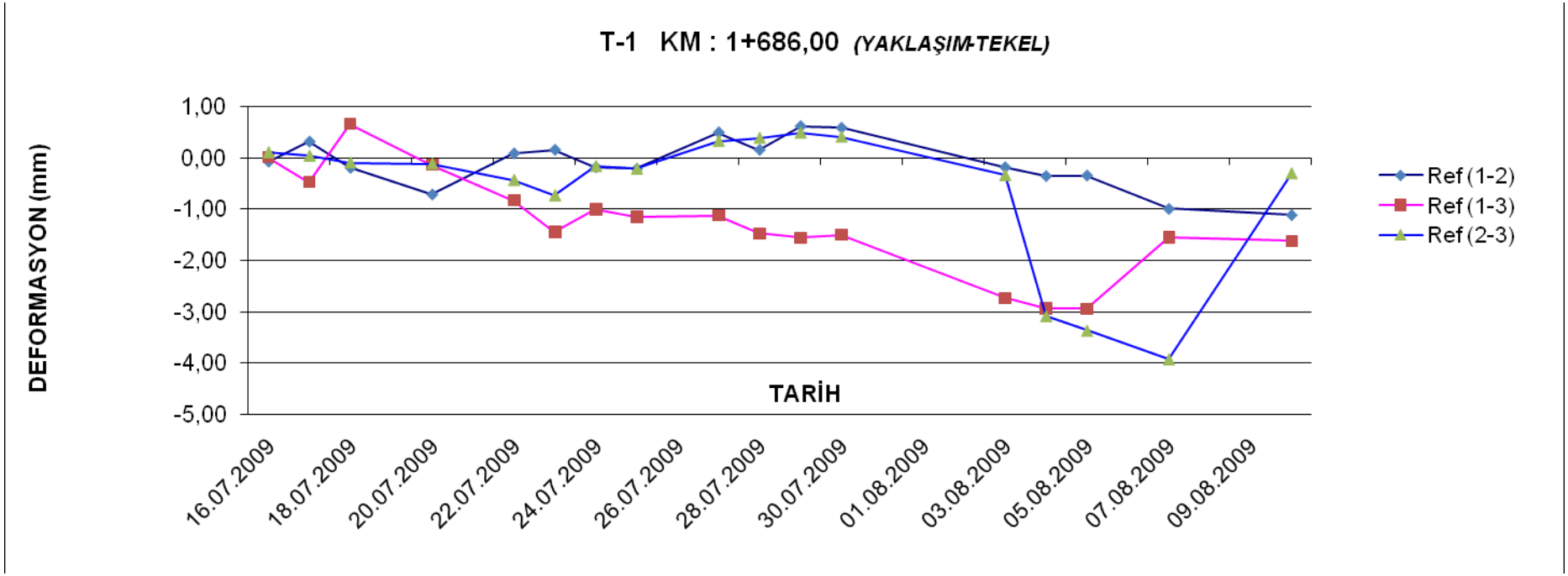
Tablo 4. 17 T1 tüneli km 1+667,50'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği



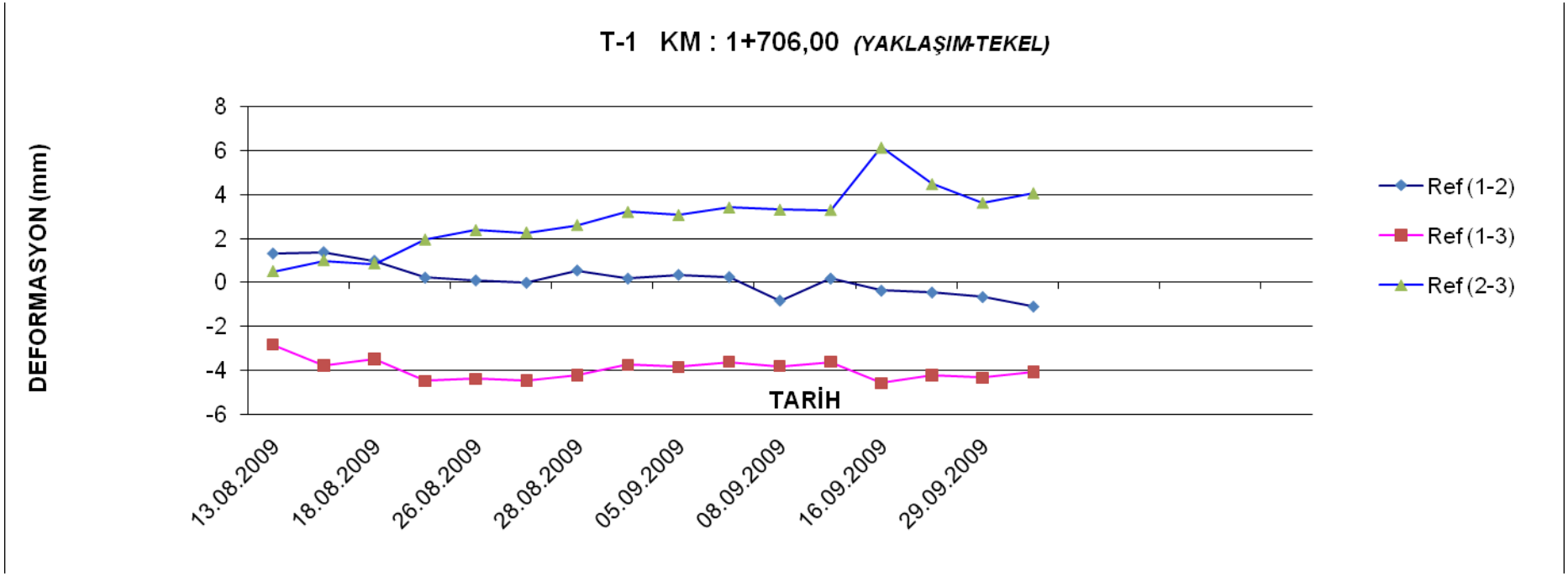
Tablo 4. 18 T1 tüneli km 1+676,00'da yapılan konverjans ölçümleri grafiği



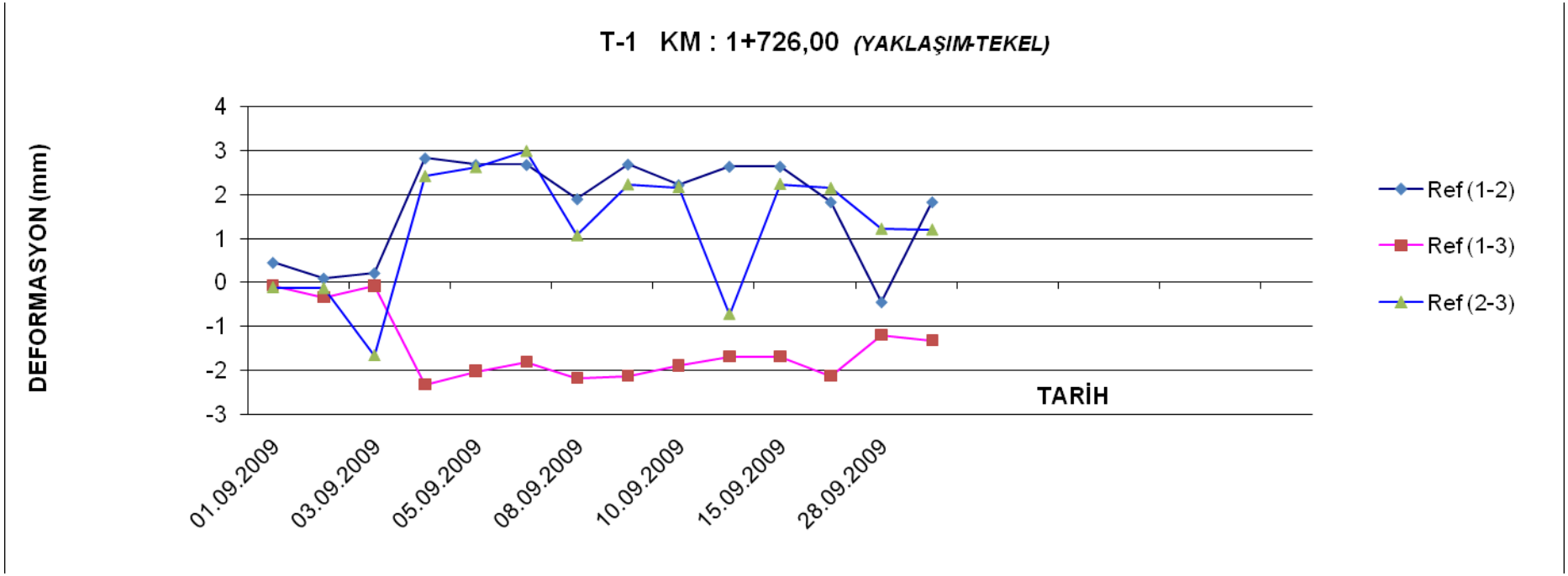
Tablo 4. 19 T1 tüneli km 1+686,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği



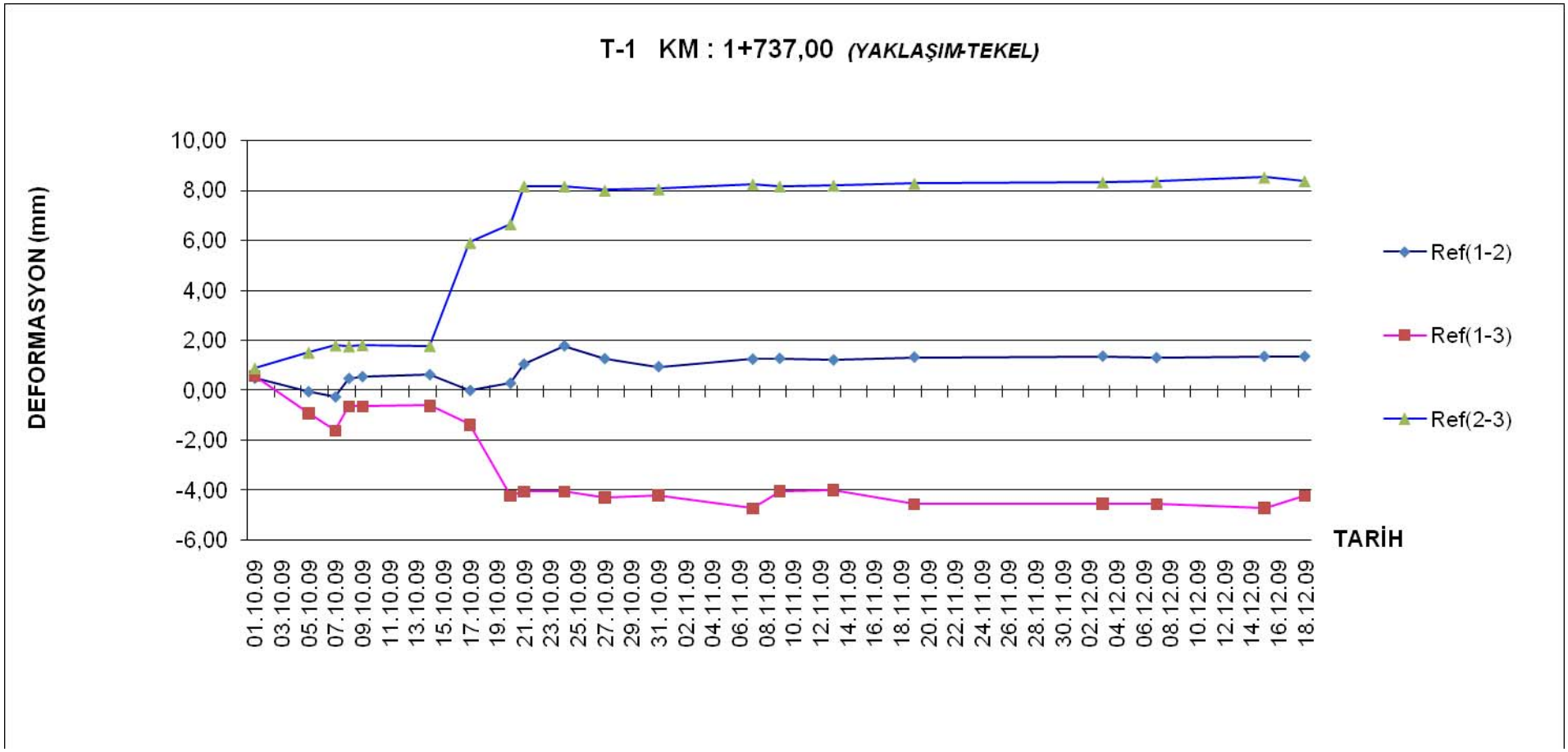
Tablo 4. 20 T1 tüneli km 1+706,00'da yapılan konverjans ölçümleri grafiği



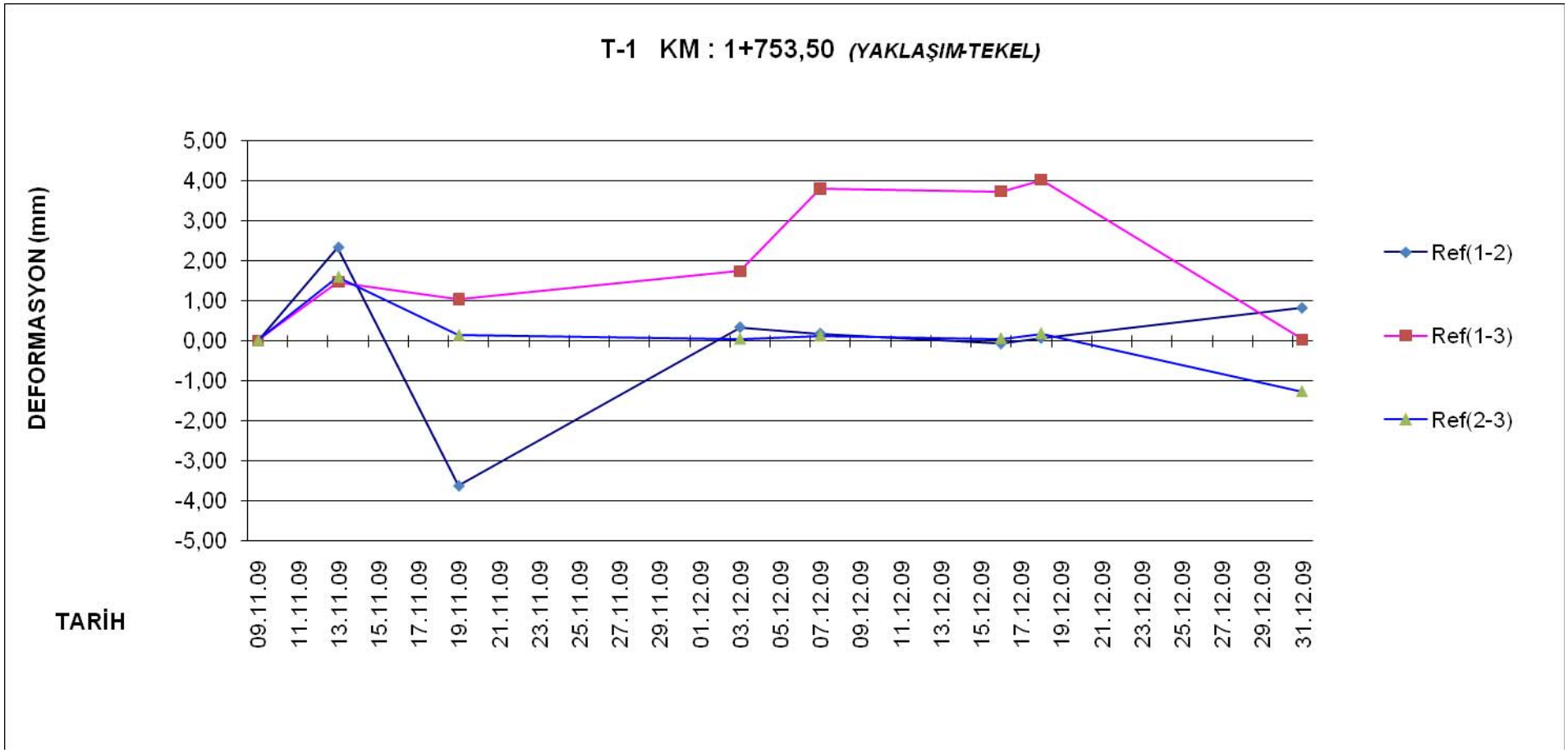
Tablo 4. 21 T1 tüneli km 1+726,00'da yapılan konverjans ölçümleri grafiği



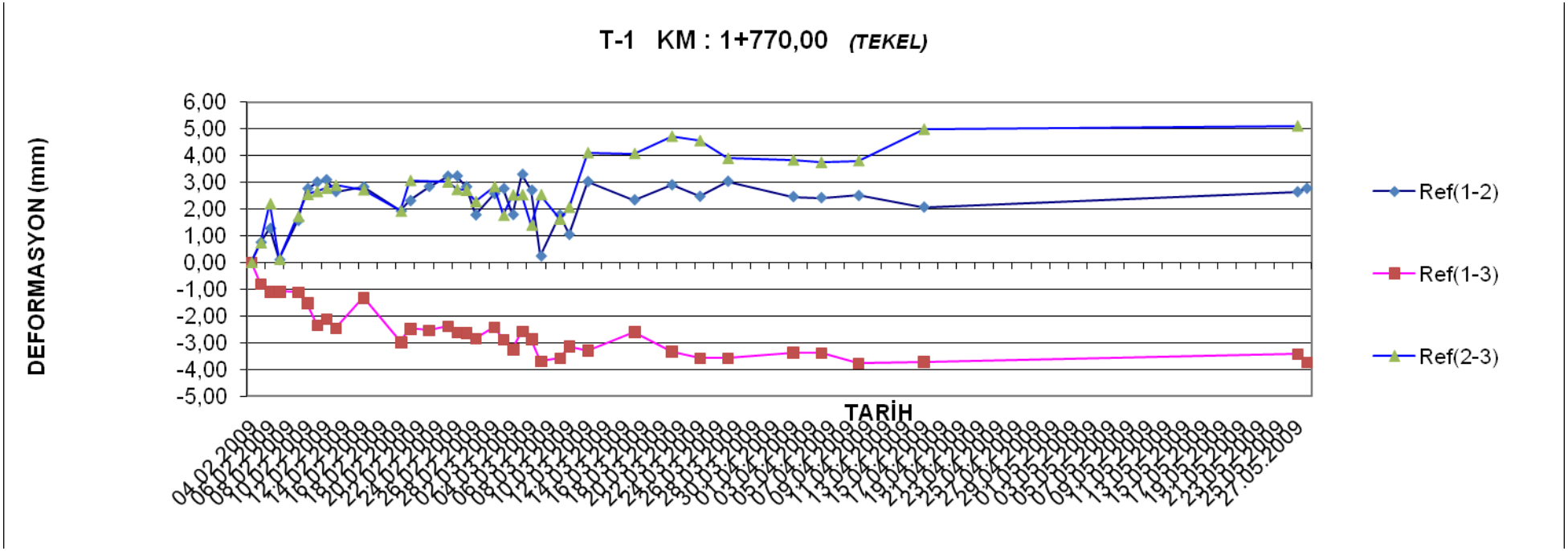
Tablo 4. 22 T1 tüneli km 1+737,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği



Tablo 4. 23 T1 tüneli km 1+753,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği

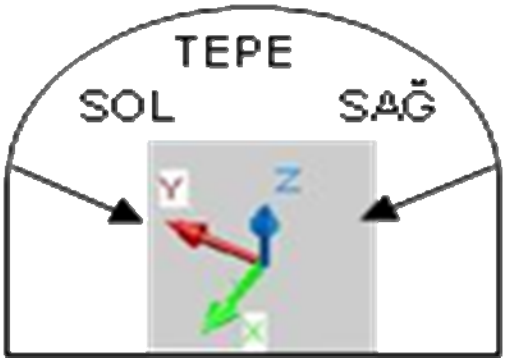


Tablo 4. 24 T1 tüneli km 1+770,00'de yapılan konverjans ölçümleri grafiği



4.8.3.3. T1 Tüneli 1+650 – 1+800km'leri Arası Tünel İçi Optik Deformasyon Ölçümleri

Bu km'ler arasındaki optik deformasyonlara baktığımızda yine konverjans ölçümlerde olduğu gibi tünelin 1+650km'sinde hareketlerin dikkate alınmayacak değerlerde olduğunu görmekteyiz. Bu noktada eksenel hareketler 5mm'yi geçmemektedir. Ancak 1+661,5km'sinde yapılan ölçümlemeye baktığımızda ise tüm okuma noktalarında düşeyde hareketlerin –(eksi) yönde 2 – 3 cm'lere ulaştığını görmekteyiz. Örneğin tepe noktasında yapılan ölçümlemede "z" ekseni yönünde düşey olarak yani tünel içerisine doğru 3,5cm'lik bir hareket meydana gelmişken, sol eksende aynı hareket 4cm'ye yaklaşmıştır. Sağ eksende bu hareket 2cm'yi aşmıştır (Tablo 4.39). 1+686km'sinde yapılan ölçümlemeler incelendiğinde bir aylık ölçüm takip süreci boyunca öne çıkan hareketin sağ, sol eksen ve tepe noktasında düşey yönde olduğu ve 1 – 2cm civarında kaldığı görülmüştür. Ancak yaklaşık üç ay sonra bu noktalarda yapılan ölçümlerde hareket değerleri artmış, sol eksende 4cm, tepe noktada 6cm, sağ eksende 3cm olmuştur (Tablo 4.40). Tahkimat elemanlarına rağmen deformasyon değerlerinde artış olmuş fakat değerler deformasyon tolerans değeri olan 10cm'nin altında kalmıştır. Bu da yine lojman binalarının etkilerinden kaynaklanmaktadır.

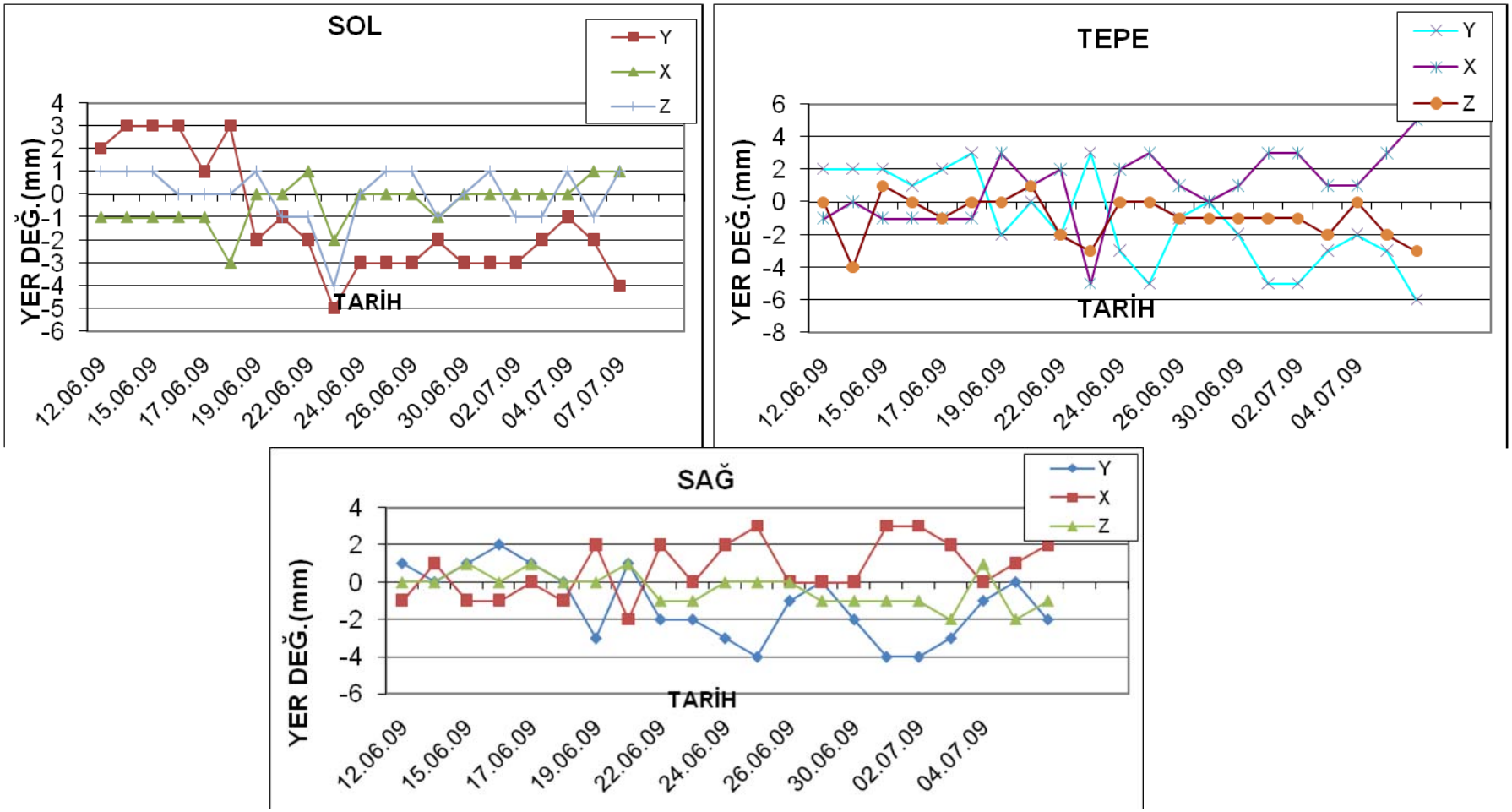


Şekil 4. 58 Tünel içi optik deformasyon ölçüm noktaları

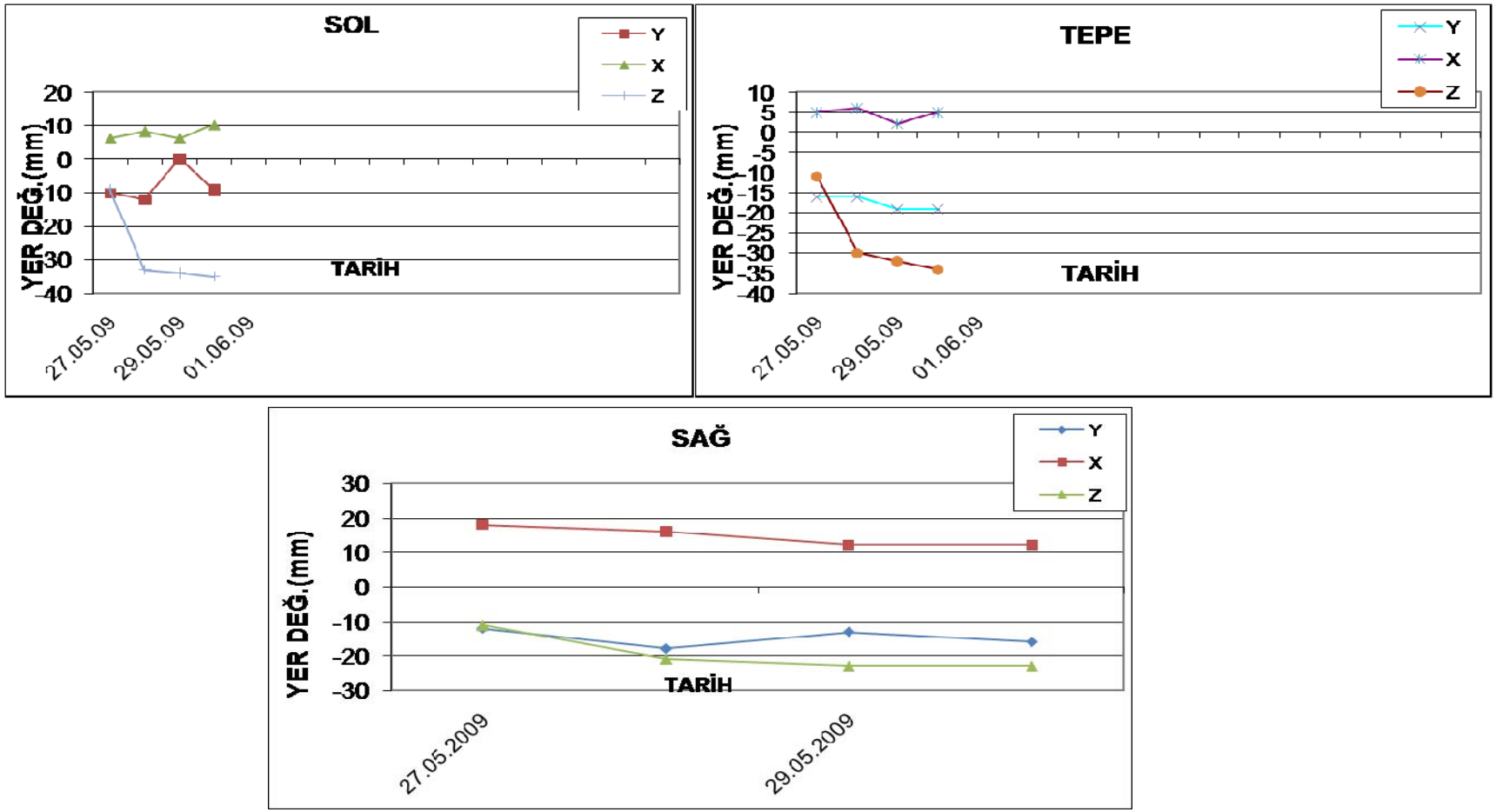
1+706km'si 3 ile 2 nolu lojman binaları arasına denk gelmesinden dolayı buradaki okumalarda daha küçük değerler elde edilmiştir. Bu değerler 1cm'yi geçmemiştir (Tablo 4.41). 1+753km'sindeki okuma noktalarında da benzer değerler elde edilmiştir. Lojman binalarının tünel eksenine daha yakın geçtiği bu noktalardaki deformasyon değerlerinin düşük değerlerde tutulabilmesinin sebebi daha hassas olan bu bölgede

tahkimat elemanlarının arttırılması ve daha kısa sürede uygulanmasından dolayıdır. 1+793km'si ise tünel güzergâhı üzerindeki lojman binaları yüklerinin etkisinin nispeten kaybolduğu metrelerdir. Ancak T1 tüneli güzergâhının sağ eksenine denk gelen su deposu sebebiyle burada sağ eksende ve sol eksende birbirine uyumlu olarak tünel ekseninin soluna doğru bir hareket meydana gelmiştir. Bu hareket 4cm civarında dengelenmiştir.

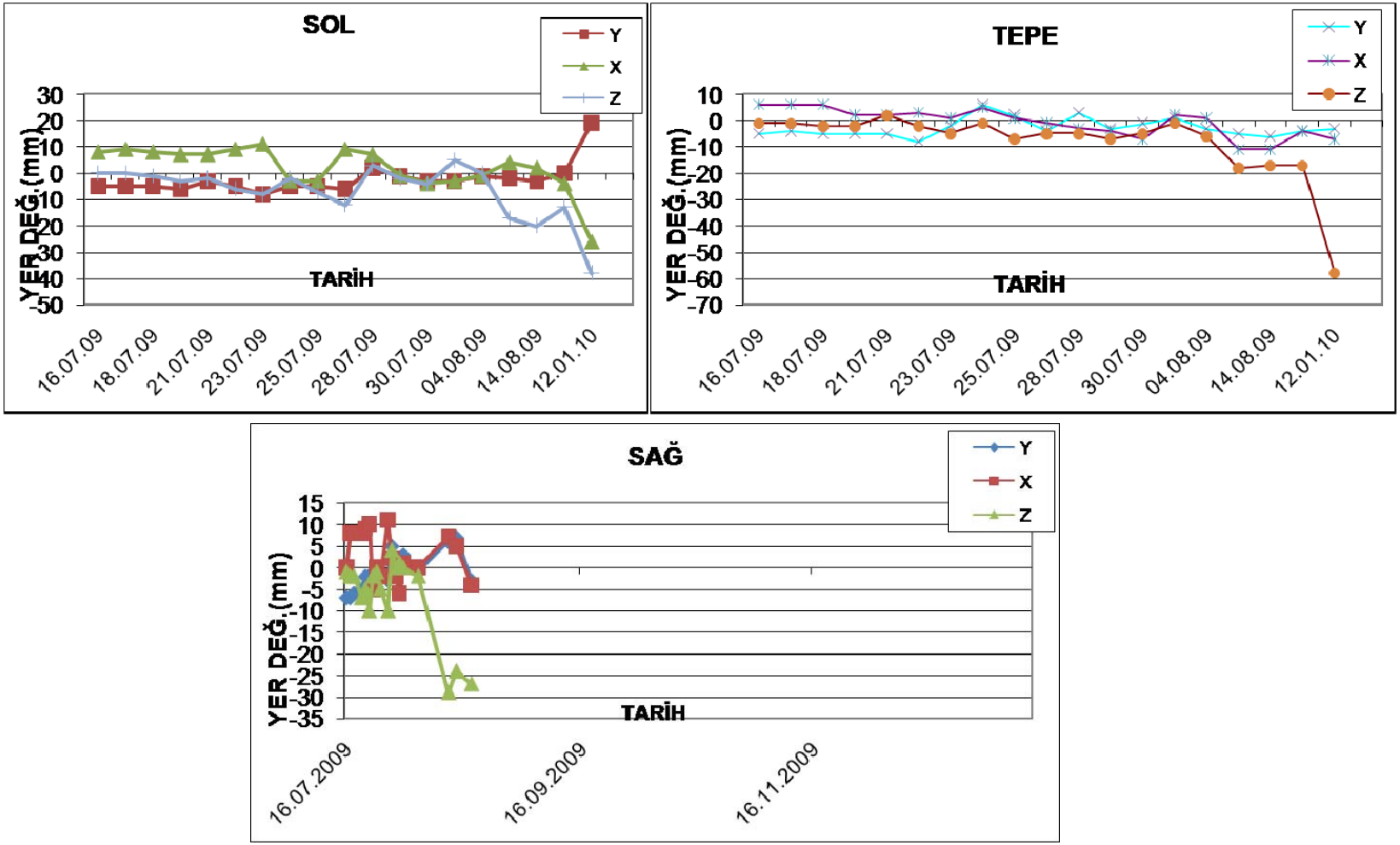
Tablo 4. 25 T-1 Km:1+650.00 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği



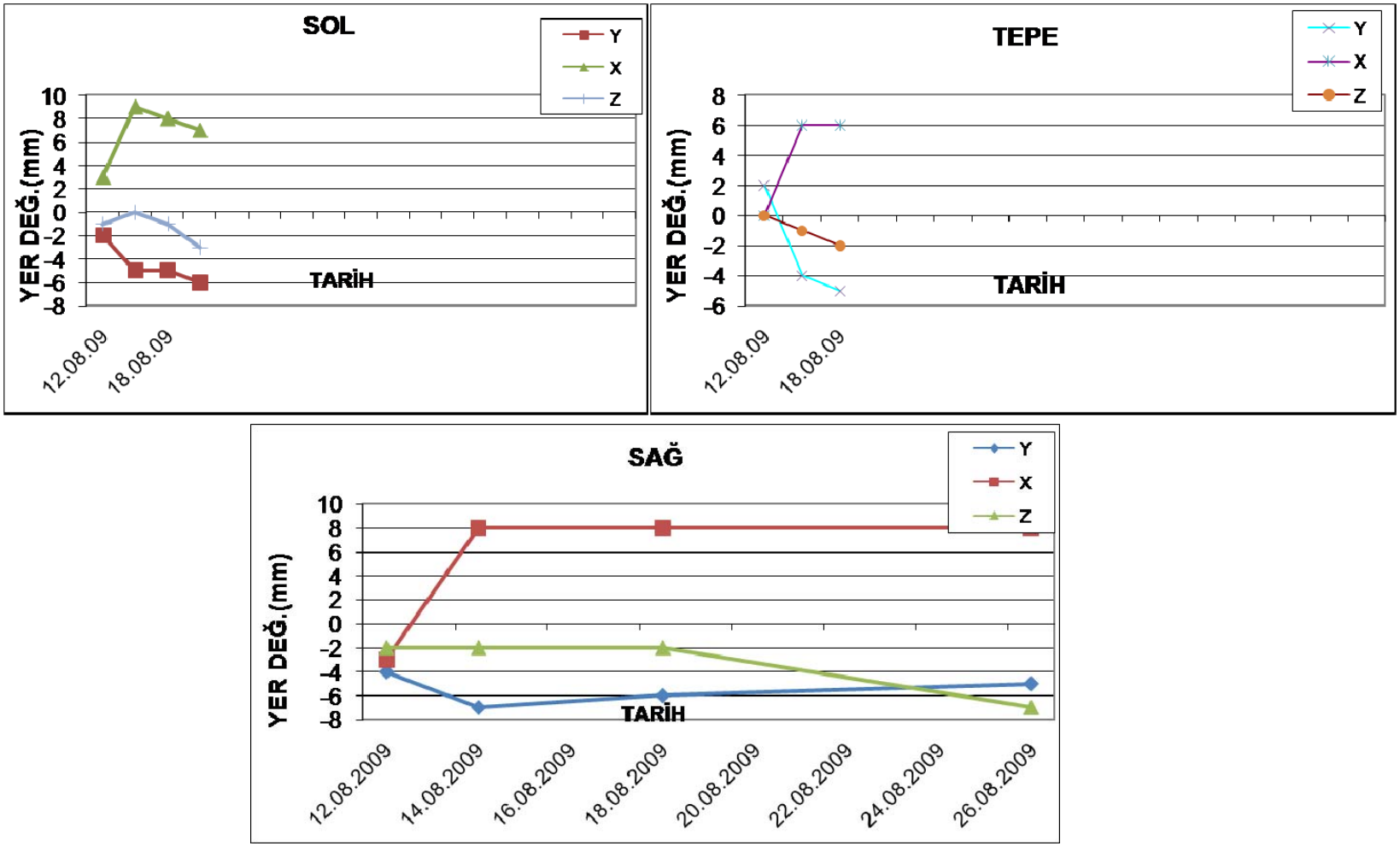
Tablo 4. 26 T-1 Km:1+661.50 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği



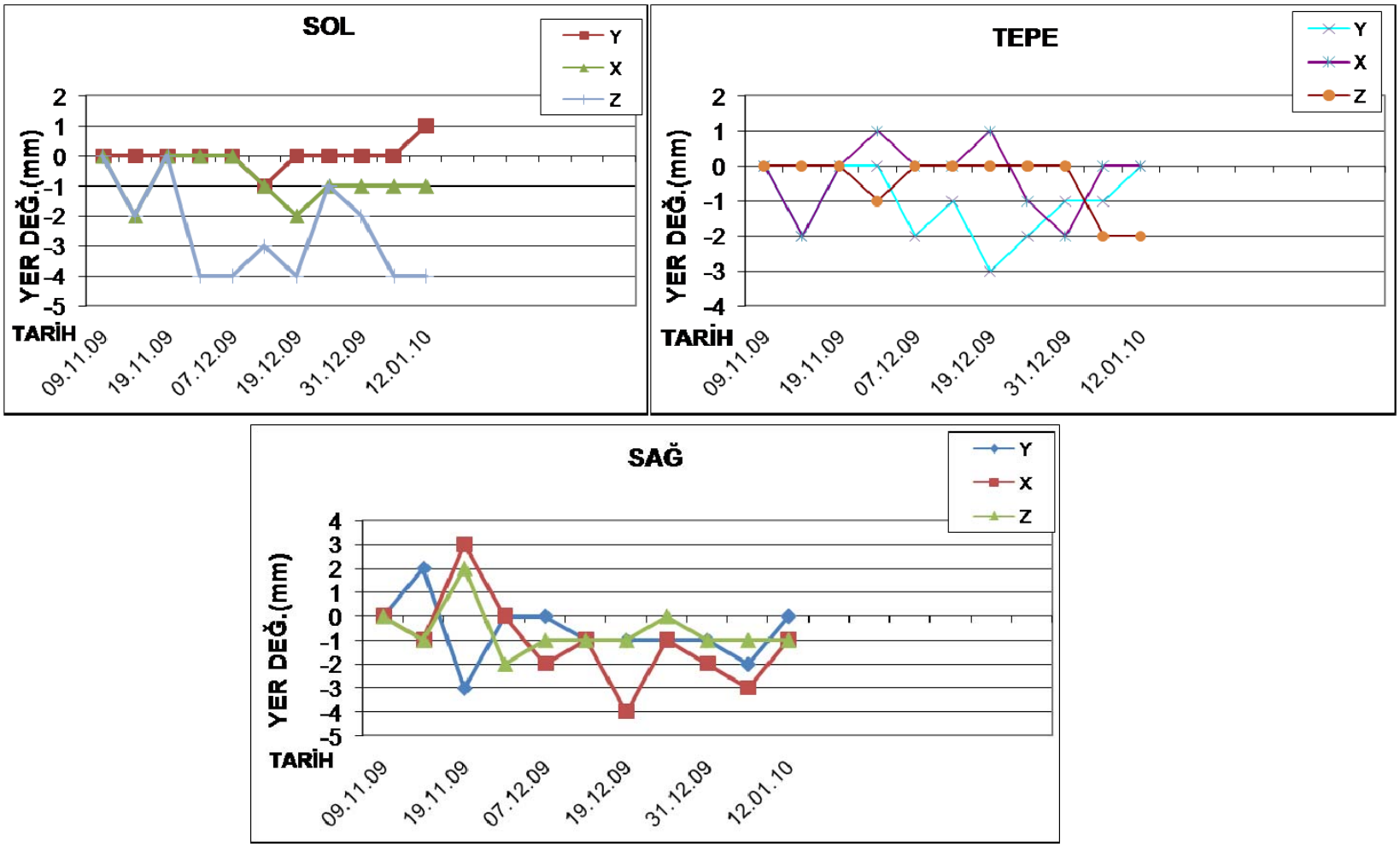
Tablo 4. 27 T-1 Km:1+686.00 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği



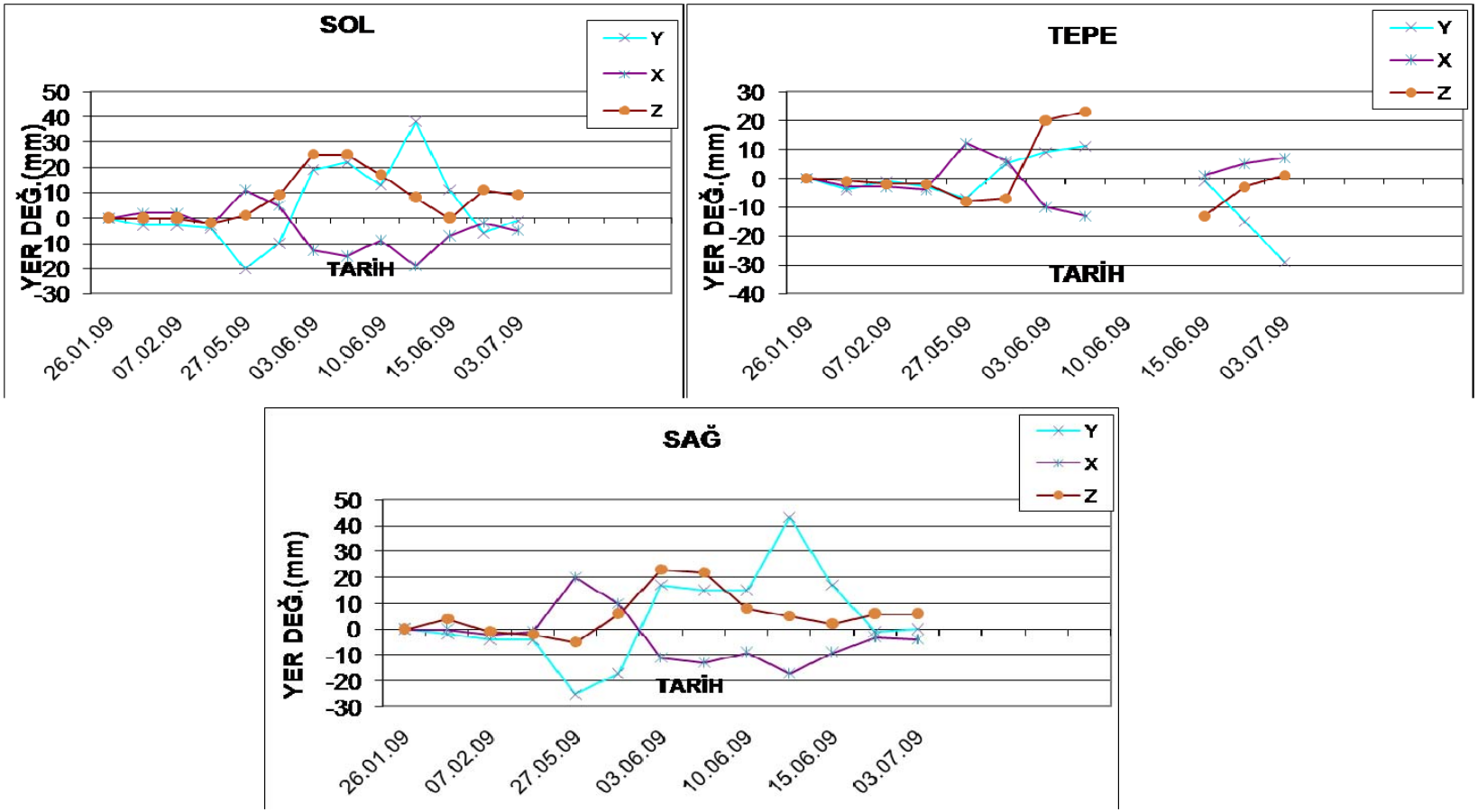
Tablo 4. 28 T-1 Km:1+706.00 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği



Tablo 4. 29 T-1 Km:1+753.50 (Yaklaşım-Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği



Tablo 4. 30 T-1 Km:1+793.00 (Tekel) Optik Bulonun Deformasyon Grafiği



4.8.3.4. T1 Tüneli 1+650 – 1+800km'leri Arası Yüzey Nivelman Ölçümleri

Tünelin, deformasyonları ayrıntılı incelenen bu km'leri arasındaki asıl hareket tünel içerisinde değil, tünel dışında, güzergâhın yüzey bölgesinde düşey yönde meydana gelmiştir. Bu bölgede tünel kazısı Belgrad formasyonu içerisinde yapılmaktadır. Belgrad formasyonunun yüzeye yakın kısımlarında orta sıkılıktaki tutturulmamış çakıllı, kumlu yer yer de kil içerikli birimler mevcuttur. Ayrıca "Tekel Lojmanlarının Konumu" bölümünde de bahsedildiği üzere bu noktadan geçen fakat daha sonra güzergâhı değiştirilen dere yatağının yine bu tarz çakıllı, kumlu birimler içerdiği ve bu sebeple de dere yatağı alüvyonlarının su içeriğinin varlığı rahatlıkla söylenebilir. Bu bölgede tünel kazısı yapılırken tahkimat elemanları açısından gerekli değişimler yapılarak tünel içerisinde oluşabilecek tolerans fazlası deformasyonlar genel itibariyle önlenmiştir.

Tünelin bu kısımında "Umbrella Arch" uygulaması yapılmıştır. Umbrella Arch uygulaması ayna kazısında rastlanılan birimlerin çok zayıf olduğu, kırıklı çatlaklı kaya birimlerinde ya da tutturulmamış özellikteki zemin birimlerine denk gelindiği durumlarda uygulanmaktadır. Ayna kazısı sırasında üstteki zayıf olan malzemenin tünel içine boşalmasını önlemek amacıyla ayna kazısının üst kesiminde şemsiye şeklinde bir koruyucu tabaka oluşturulur. Böylece kazı güvenliği sağlanmış olur.

Umbrella Arch uygulamasında daha öncede belirtildiği gibi 4inç'lik 9m boyunda 60 adet bulonlardan 2 sıra çakılarak 120 adet bulondan oluşan bir şemsiye meydana getirilmiştir (Şekil 4.60). Bu kısımda diğer tahkimat elemanları yine uygulanmış ancak tünel çevresine çakılan kaya bulonları tünel geometrisinin tepe kısmına çakılmamıştır (Şekil 4.59).

Umbrella Arch uygulamasının yapıldığı bu bölümde tünel kesitinin üst kısmına kaya bulonu çakılmamıştır. Bunun sebebi iki ana sebebi vardır.

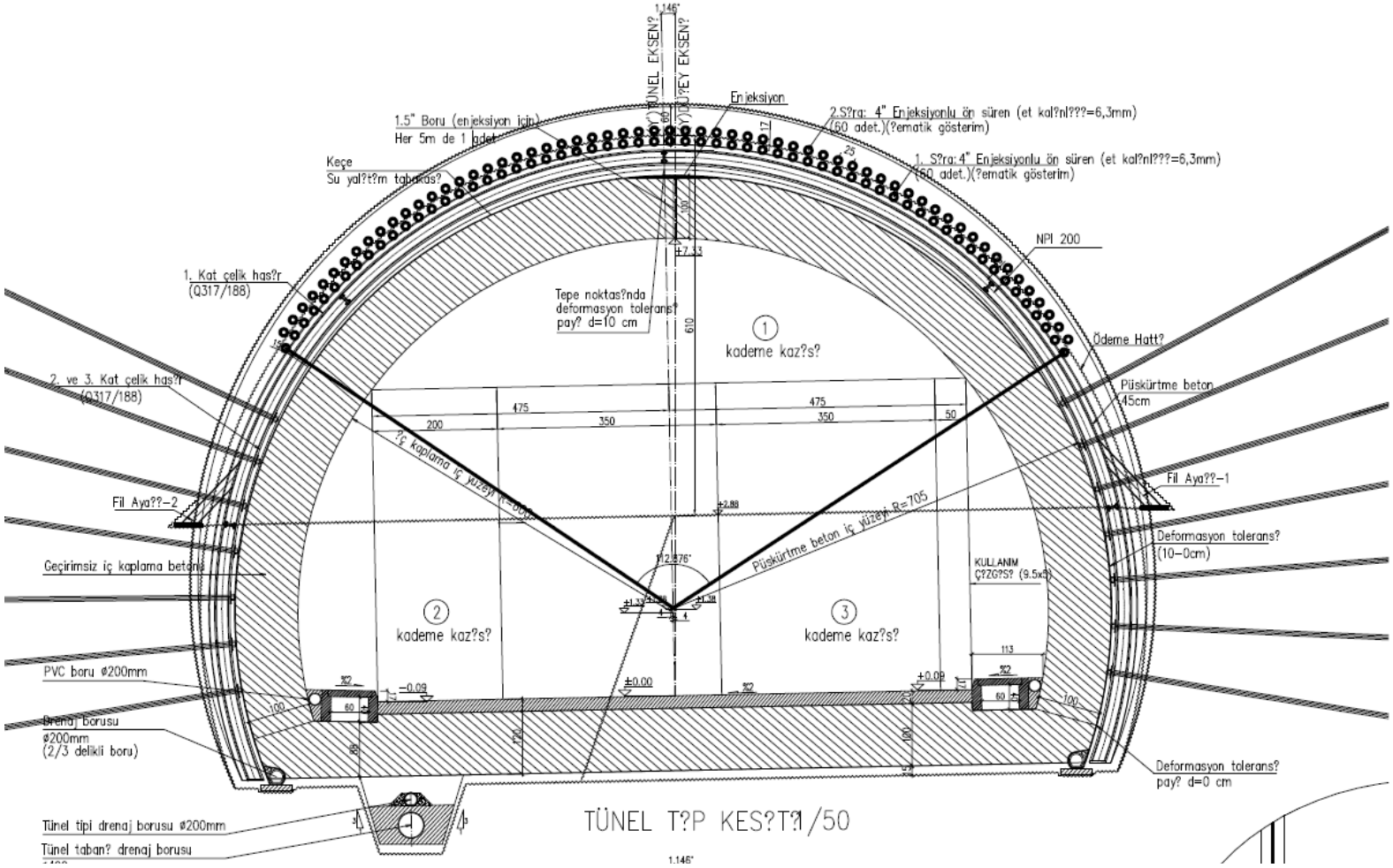
- Tünel güzergâhı üzerindeki birimin zemin özelliği göstermesidir. Tutturulmamış, zayıf çimentolu zemin içerisine çakılacak kaya bulonları hiçbir çekme kuvveti alamayacağından tünel stabilitesine herhangi bir yardım sağlamayacaktır

- Tünel güzergâhı üzerinde dere yatağı sebebiyle biriken alüvyon birim her ne kadar derenin güzergâhı değiştirilmiş olsa da, önemli oranda su içeriğine sahiptir. Bu noktada tünel kesitinin tepe noktasına çakılacak olan kaya bulonları burada mevcut olan suyun tünel içerisine hareketi sağlayacaktır ki buda tünel kazı işlemlerini zora sokacaktır.

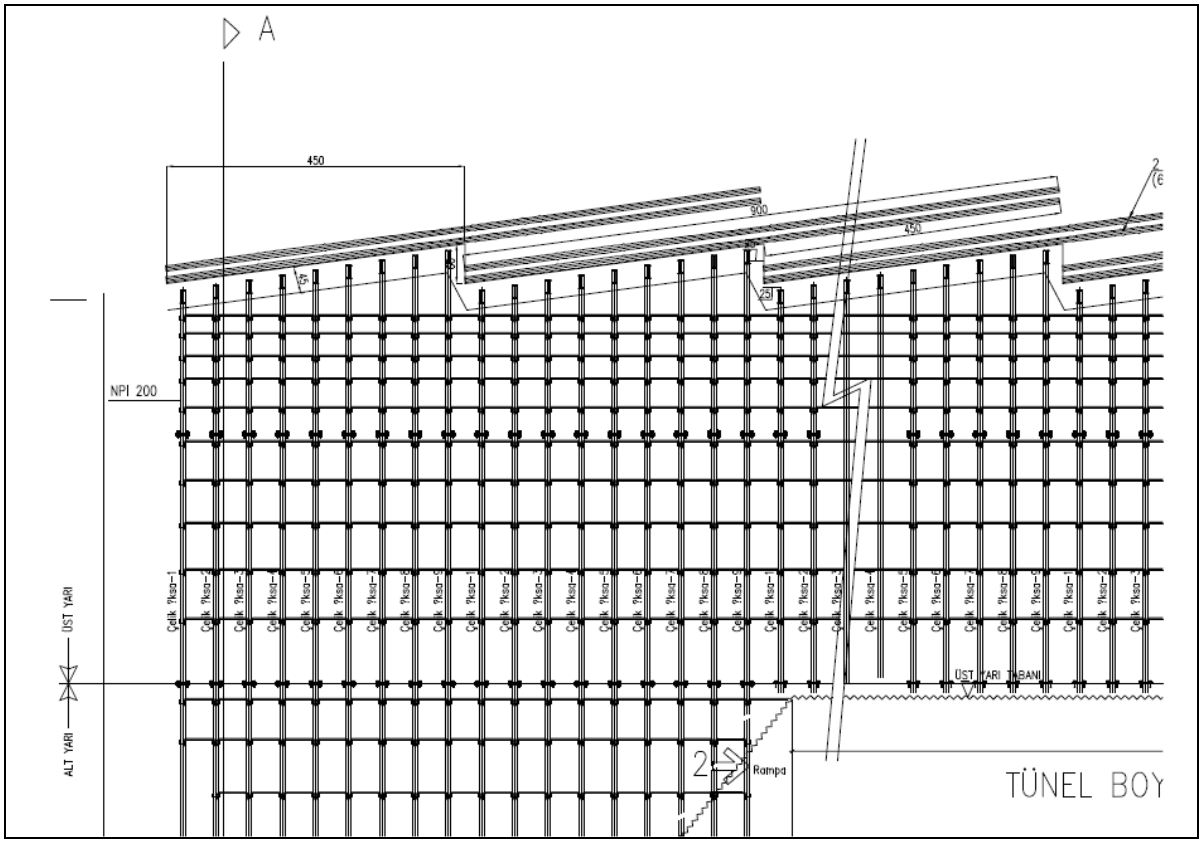
Ancak yinede yan duvarlara çakılan bulonlardan tünel içerisine su gelimi olmuştur. Bu da buradaki suyun harekete ne kadar uygun ve elverişli bir birim içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu alüvyon birim genel itibariyle killerden oluşmuş olsaydı suyun bu kadar kolay hareket etmesi mümkün olmayacaktı. Ancak kum ve çakıllardan oluşmakta olan birim içerisinde bağlantılı boşluklar suyun hareketine imkan sağlamıştır.

Tünel üzerindeki zeminde meydana gelen oturmalar, zemin üzerinde bulunan mevcut yapılarda hasara yol açabileceğinden, arzu edilmeyen bir durumdur. Meydana gelebilecek maksimum oturmalar tahmin edilerek mevcut yapılara zarar vermeyeceği tahkik edilmelidir (Toğrol vd. 1986)

Bu amaçla T1 tünelinin 1+650 – 1+800km'leri arasında bölgedeki yapılarda, binalarda, duvarlarda ölçümler alınmıştır. Ayrıca tünel güzergâhı üzerinde de birçok noktada düşey hareketleri belirlemek amacıyla ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler tam tünel güzergâhı üzerinde yapıldığı gibi eksenin sağ ve sol taraflarına denk gelen noktalarda belirli uzaklıklarda yapılmıştır. Eksenin sağ ve sol tarafında yapılan ölçümler eksene saha koşullarının elverdiği uzaklıklarda yapılmış olup bu mesafeler yaklaşık olarak 2 ila 8m arasında değişmektedir.



Şekil 4. 59 Umbrella Arch uygulanan bölgelerdeki tip kesit



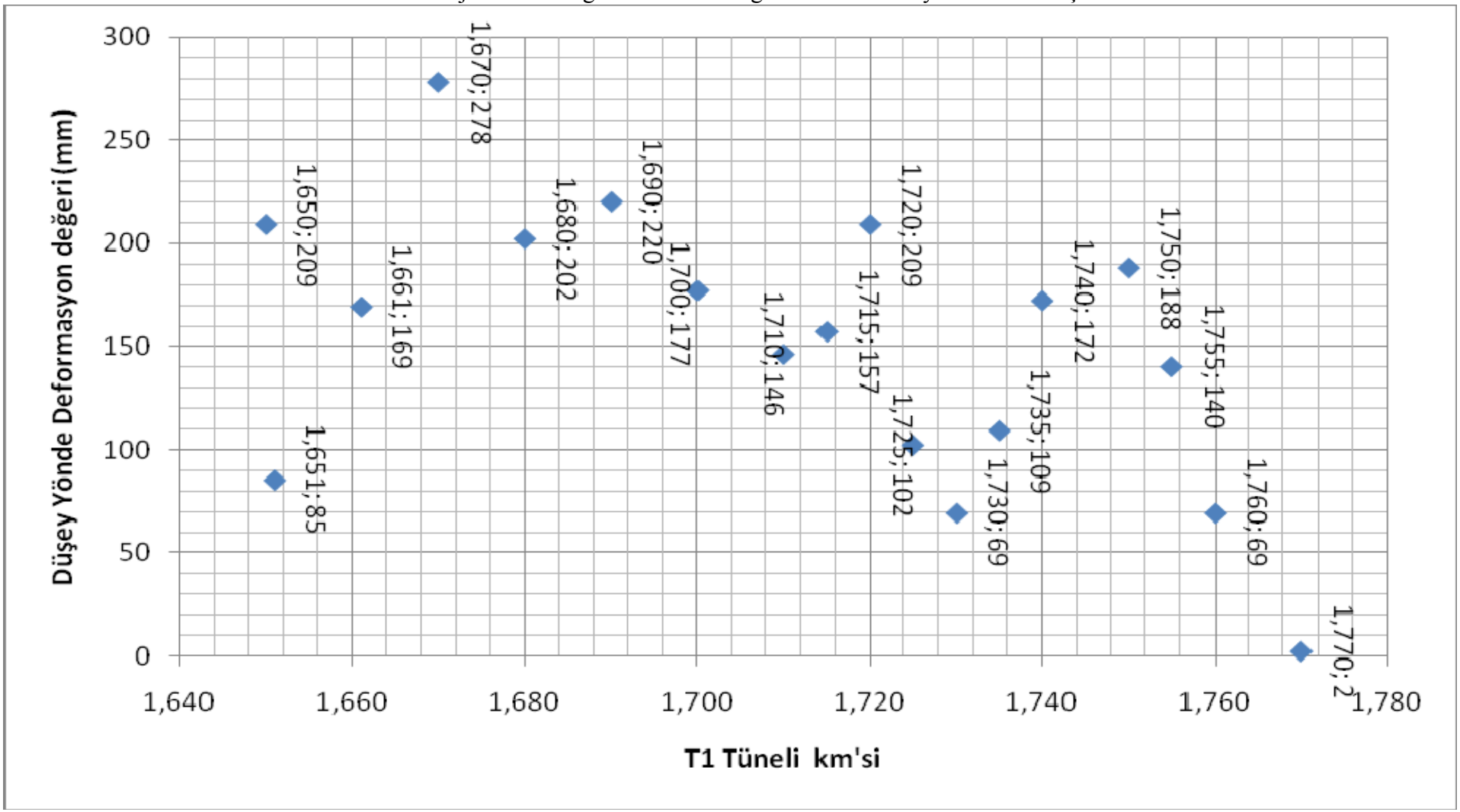
Şekil 4. 60 Umbrella Arch kesiti

Nivelman ölçümlemelerini şöyle bir bakacak olursak düşey hareketlerin daha tünelin 1+650km'sinde başladığını görmekteyiz ki burada deformasyon düşey yönde 20cm oturma şeklindedir. 1+660km'si civarında zemindeki oturmalar tünel ekseni izdüşümünde 16,9cm iken sol eksende 4,75m uzaklıkta 25,8cm, sağ eksende 3,13m uzaklıkta ise 26,8cm olarak ölçülmüştür. Tekel lojmanları arazisi içerisinde olmasına rağmen herhangi üst yapı yüküne maruz kalmamaktadır. Yüzey nivelman ölçümleri tünelin 1+700km'sine kadar yüzeyde hemen hemen sadece eksen güzergâhında 10m'de bir yapılmıştır. Burada okunan değerler 20 ila 28cm arasında değişiklik göstermiş olup zemin hareketlerinde çok fazla değişiklikler yaşanmamıştır. T1 tünelinin 1+680km'si itibariyle tünel eksenini sağ tarafından lojman binaları bulunmaktadır. Bu km'de 3 nolu lojman binasının tüneli kesitine uzaklığı 17m civarındadır. Ancak 1+700km'sine geldiğimiz noktada bu uzaklığın 12m civarında düştüğü görülmektedir. Bu km'de tünel eksenin doğrultusunda yüzeyde 17,7 cm düşey deformasyon olurken eksenin 5,44m solunda 19,6 cm olmuştur. Tünelin ekseni doğrultusunun sağ tarafında yaklaşık 5m uzaklıkta ulaşılan düşey deformasyon değeri sol tarafta 15m uzaklıkta olmuştur. Burada tünel üzerindeki zeminin kendi içerisinde kısa mesafelerde küçük faklılıklar içerdiğini görmekteyiz. 1+715km'sine tünel eksen doğrultusunda yüzeyde düşey deformasyon 15,7cm iken eksenin solunda 6,8m uzaklıkta 16,4cm, eksenin sağında 10,2cm düşey deformasyon olmuştur. Yine 15m önceki düşey deformasyonla benzer olarak tünel sol ekseninde deformasyonları daha fazla uzaklıklarda sönümlendiğini görürken eksenin sağ tarafında yani lojman binalarının olduğu tarafta daha kısa mesafelerde sönümlenme eğilimine girdiğini görmekteyiz. 1+720km'sinde ise yine deformasyon değerlerinin benzerdir. Zeminde, tünel eksen doğrultusunda 20,9cm, eksenin solunda 2,55m uzaklıkta 21,2cm, eksenin sağında 6m uzaklıkta 15,5cm düşey deformasyon meydana gelmiştir. 1+715km'sine göre eksenin sağ tarafında zeminde oturma değeri artmıştır. 1+730km'sinde zeminde meydana gelen düşey deformasyonlar genel itibariyle eksende ve eksenin sağ – sol taraflarında hemen hemen benzer değerler vermiş ve küçük değerlerde azalma göstererek devam etmiştir. Eksen doğrultusunun sağında ve solunda üçer metre aralıklarla alınan ölçümlerde, değerlerin ani düşmeler göstermeden belli oranlarda azaldığı tespit edilmiştir. 1+735km'sinde ise düşey deformasyon değerleri eksende 10,9cm ile en yüksek değerine ulaşırken eksen doğrultusunun sağında ve solunda hafif azalmalar göstermiştir. Bu km'de eksen doğrultusunun sağında yapılan ölçümler sonucunda 12m uzaklıkta 1,1cm'dir. 1+740 km'sine baktığımızda artık tünel

eksenine lojman binalarından 1 nolu lojman binasının iyice yaklaştığını görmekteyiz. Bu km'de 1 nolu lojman binasının tünel kazısına uzaklığı 5m'dir. Zemindeki düşey deformasyon değerleri tünel eksen doğrultusunda 17,2cm'dir. Eksen doğrultusunun sol tarafında 9m uzaklığa kadar 10cm'nin üzerindedir (3m uzaklıkta 19cm, 6m uzaklıkta 17,3cm, 9m uzaklıkta 12,4cm). Tünel eksen doğrultusunun sağ tarafında ise 3m uzaklıkta 16,8cm olan deformasyon hareketi 6m uzaklıkta 3,4 olarak ölçülmüştür. Bu aralıkta deformasyon değerinde hızlı bir azalma mevcuttur. Bu azalma devam ederek 1 nolu lojman binasına 2,5m kala 2cm'ye düşmüştür. 1+745km'sinde deformasyon değerleri 1+740km'sindekine göre biraz artış göstermiştir. Tünel eksen doğrultusunda 21,2cm olan düşey hareket, eksenin sol kısmında üçer metre arayla 24,6 – 21,3 – 16 – 10,2cm olarak ölçülmüştür. Eksenin sağında kalan kısım ise yine 1+740km'si ile benzerlik gösterip eksende 3m uzaklıkta 14,6cm, 6m uzaklıkta ise 3,6cm'dir. 5m önceki ölçüm değerleriyle uyumlu bir durum söz konusudur. 3,6cm olarak ölçülen değer ise 1 nolu lojman binasından 2,5m, tünel kazı sınırının yüzeydeki doğrultusu ise 1 nolu lojman binasında 2m uzaklıktadır. T1 tünelinin 1+750km'sinde zemindeki düşey deformasyon değerleri benzer olarak devam etmiştir. Tünel eksen doğrultusunda yüzeyde 18,8cm düşey hareket olmuştur. Eksenin sol tarafında deformasyon değerleri öncelikle bir miktar artış gösterip 3m uzaklıkta 22,4cm, 6m uzaklıkta 20,6cm' ye ulaşmış daha sonra düşüş eğilimine geçerek ve 9m uzaklıkta 15,5cm, 12m uzaklıkta 10,2cm olmuştur. Bu km'de eksenin sağ tarafında yapılan ölçümler üçer metre aralıkla yapılmış olup 12,7cm ve 8,8cm değerleri elde edilmiştir. 8,8cm olarak ölçülen düşey deformasyon değeri 1 nolu lojman binasından 1,5m uzaklıkta alınmıştır. Son olarak 1+755kmsindeki değerlere baktığımızda tünel eksen doğrultusunda deformasyon hareketinin 14cm olduğunu görmekteyiz. Eksenin sol tarafındaki değerler sağ tarafa oranla yine daha fazladır. Sol tarafta eksen 15m uzaklığa kadar üçer metre ölçümler alınmış olup bu değerler 13,6 – 13,8 – 10,7 – 7,8 – 5,2cm'dir. Eksenin sağ tarafında ise yine üçer metre arayla 8 ve 5,4cm düşey hareket değerleri ölçülmüştür. 5,4cm olarak ölçülen deformasyon değerinin 1 nolu lojman binasına uzaklığı 0,5m'dir.

NOT: Zemindeki düşey deformasyonların tünel güzergâhı ve lojman binaları ile ilgili ilişkilerini gösteren kesitler Ek 5 bölümdedir.

Tablo 4. 31 Tekel Lojmanları Bölgesi Tünel Güzergahı Ekseni Yüzey Nivelman Ölçümleri



4.8.3.5. Lojman Binalarında Gerçekleşen Deformasyonlar (Oturmalar)

Bu bölgede zeminde meydana gelen oturmalar paralelinde lojman binalarındaki hareketlerde takip edilmiştir. 3 adet lojman binasının çeşitli noktalarından hareketler takip edilerek tehlike oluşturabilecek durumların önceden tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla T1 tünel eksenine en yakın bina olan 1 nolu lojman binasında 7 noktadan (Tablo 4.32), hemen hemen iki tünel güzergahı arasında kalmış olan 2 nolu lojman binasında 2 noktada (Tablo 4.33), T2 tünel eksenine daha yakın olan 3 nolu lojman binasında 3 noktada (Tablo 4.34) ölçümlemeler yapılmıştır.

Tablo 4. 32 1 Nolu Lojman Binasına Ait Düşey Deformasyon Değerleri

ÖLÇÜM NOKTALARI	DÜŞEY DEFORMASYON (mm)
L 10	12,00
L 11	4,00
L 12	26,00
L 13	24,00
L 14	24,00
L 15	20,00
L 16	19,00

1 nolu lojman binasının T1 tünel eksenine bakan tarafında ve tünele en yakın kesiminde yapılmış olan L12, L14, L15 ve L16 noktalarında yüksek deformasyon değerleri elde edilmiştir. Ancak tabiki buradaki "yüksek değer" ibaresi binadaki diğer ölçüm alınan noktalarla kıyaslandığında söylenebilecek bir tabirdir. Aksi takdirde bu deformasyon değerleri bina stabilitesi açısından sorun çıkarmayacak değerler olarak görülmüştür. Bu değerlere baktığımızda L12 ve L13 noktalarında en yüksek düşey hareket değerleri meydana gelmiştir (Tablo 4.32). Bu noktalar 1 nolu lojman binasının tünel eksenine en yakın olduğu kısımdır (Şekil 4.64). Ayrıca L13 noktası izdüşümünde tünel ayna kazıları birleşmiştir (Şekil 4.61). L13 noktası tünel güzergâhının 1,760km'sine denk gelirken L12 ölçüm noktası ise yaklaşık olarak 1+755km'sine denk gelmektedir. Bu noktada lojman binasına en yakın yüzey nivelman ölçüm noktası binadan 0,5m uzaklıkta olup 5,4cm'dir. L15 ölçüm noktası ise tünel güzergâhının yaklaşık 1+750km'sine denk gelmektedir. L15 ölçüm noktasına en yakın zemindeki deformasyon ölçüm noktası

yaklaşık 1,5m uzaklıkta olup hareket 8,8cm'dir. 1 nolu lojman binasının T1 tüneli güzergâhına daha uzakta olan kısmında yapılmış olan L16 ölçüm noktasında binadaki hareket 19mm iken (Tablo 4.32), bu noktaya en yakın zemindeki deformasyon okuma noktası 2,5m uzaklıkta olup buradaki düşey hareket 2cm'dir. Aynı zamanda lojman binası önündeki asfalt alanda ortalama 15 – 20 cm arasında olmuştur. Buna bağlı olarak yağışlı zamanlarda gölleşme yaşanmaktadır (Şekil 4.62).

Şekil 4. 61 1 nolu lojman binası deformasyon okuma noktaları

Aynı zamanda binadaki bu hareketler sonucunda küçük sıva çatlakları meydana gelmiş, ancak bina statiğini bozacak seviyede deformasyonlar oluşmamıştır (Şekil 4.63). 1 nolu lojman binasındaki düşey hareketlere baktığımızda binanın ön cephe sağ uç kısmına doğru –ki tünele en yakın ucudur- bir eğilmenin söz konusu olduğu görülmektedir.

Şekil 4. 62 1 nolu lojman binası önünde zeminde oturma sebebiyle yağış sonrası oluşan su birikintisi

Şekil 4. 63 1 nolu lojman binası girişinde oturmaya bağlı oluşan çatlak

2 nolu lojman binası ise L20 nolu ölçüm noktası binanın ön cephe sağ uç kısmındadır (Şekil 4.64). Bu noktanın T1 tüneline uzaklığı ise 4,5m civarındadır. Tünel eksen doğrultusu sağ tarafında bu noktaya en yakın ölçüm noktası 1+730km'sinde yapılmıştır. Binaya 4,5m uzaklıktaki bu ölçüm noktasında bulunan değer ise 2,9cm'dir. L20 nolu ölçüm noktasındaki değer ise 0,6cm'dir (Tablo 33). L21 nolu ölçüm noktası ise binanın arka cephesi sol ucundadır. Bu nokta ise T2 tüneline yaklaşık 7,5m uzaklıktadır. Ancak T2 tüneli güzergâhı arazi olarak ölçüm almaya uygun olmadığından tünel yüzeyindeki zemin deformasyonuyla karşılaştırılamamaktadır.

Tablo 4. 33 2 Nolu Lojman Binasına Ait Düşey Deformasyon Değerleri

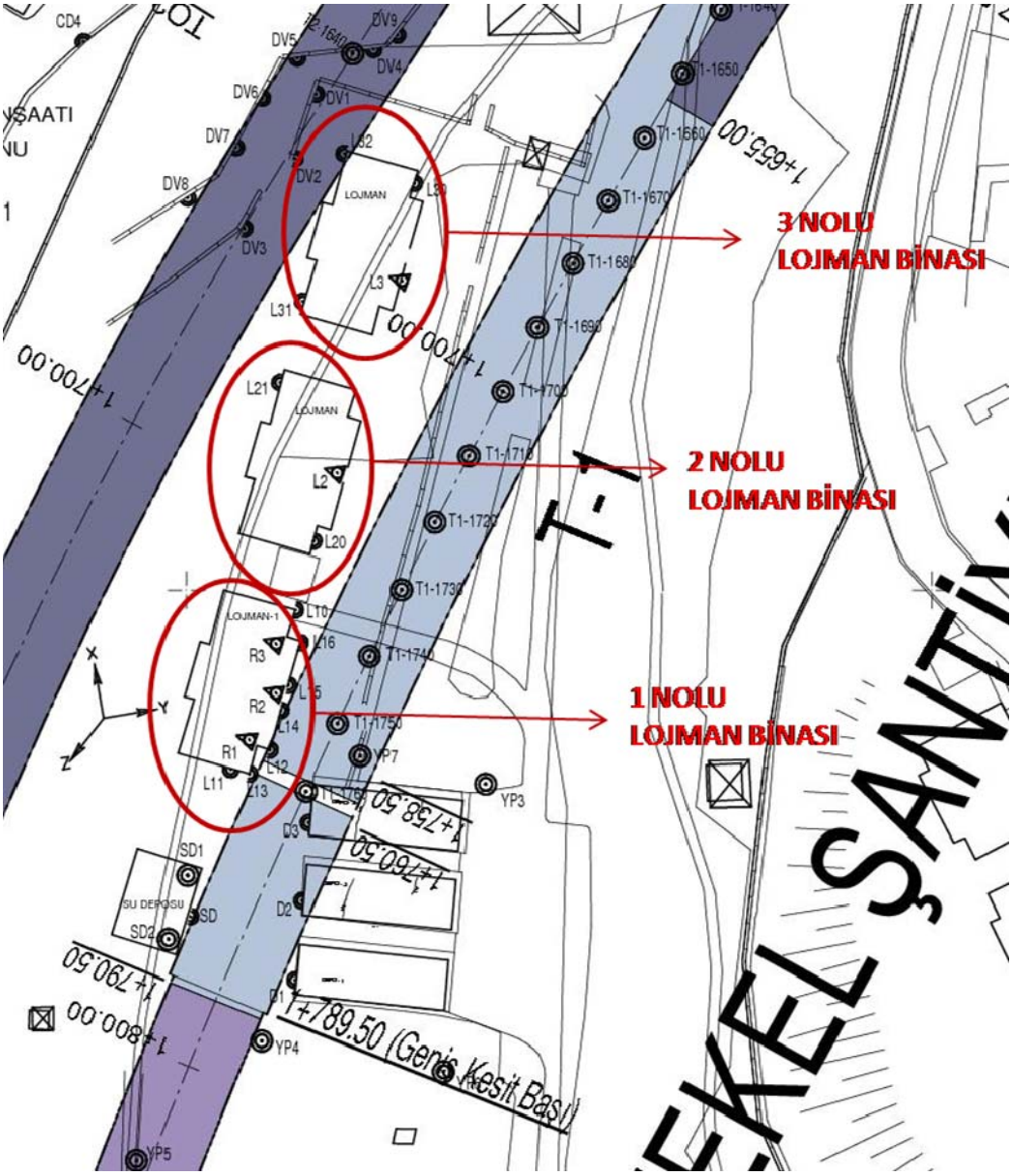
ÖLÇÜM NOKTALARI	DÜŞEY DEFORMASYON (mm)
L 20	6
L 21	15

3 nolu lojman binası ise T1 tünel güzergâhına en uzakta bulunan binadır. L30 nolu ölçüm noktası binanın ön cephesinin sol uç noktasında (T1 tüneline bakan cephe), L31 ve L32 nolu cepheler ise binanın arka cephesinin köşelerinden alınmıştır (Şekil 4.64). Bu lojman binasında yapılan ölçümlerde oturma değerleri 2cm'yi geçmemiştir (Tablo 4.34). L30 ölçüm noktası hizasında tünel eksen doğrultusunun sağ tarafına denk gelen (T1 tünel güzergâhının yaklaşık 1+690km'si) ölçüm noktası olmamasına rağmen tünelin 1+700km'sindeki okuma binadan 15m uzaklıkta olup düşey deformasyon değeri 6,3cm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4. 34 3 Nolu Lojman Binasına Ait Düşey Deformasyon Değerleri

ÖLÇÜM NOKTALARI	DÜŞEY DEFORMASYON (mm)
L 30	18
L 31	12
L 32	9

NOT: Zemindeki düşey deformasyonların tünel güzergâhı ve lojman binaları ile ilgili ilişkilerini gösteren kesitler Ek 5 bölümdedir.



Şekil 4. 64 Lojman binaları üzerindeki okuma noktaları

4.8.4. Tüm Deformasyon Değerlerinin Değerlendirilmesi

Öncelikle tünel içerisinde yapılan optik konverjans ve optik deformasyon ölçüm değerlerine bakacak olursak bunların genel itibariyle birbirine uyumlu değerler verdiğini görmekteyiz. Optik konverjans ölçümleri sonucunda 1-2, 2-3 ve 1-3 noktaları arasındaki korelasyonlarda hareket değerleri 1cm'yi aşmamış, genel itibariyle 3-4mm civarlarında olmuştur. Ancak yinede 1 nolu lojman binasının tünel eksenine yaklaştığı

bölgelerde 1+737 ve 1+770km'leri arasında 1-3(tepe – sağ eksen) okuma noktaları arasında yaklaşık 5mm daralma olmuştur. Bununla birlikte 1 - 2 ve 2 – 3 noktaları arasında genel itibariyle genişleme görülmüştür. 1+737km'sinde 2 – 3 okuma noktası arasındaki 8mm'lik genişleme bu bölgede yapılan konverjans ölçümlerinde ulaşılan en yüksek değerdir. Bu değerler tünelin sağ eksen tarafından gelen yük ile sol eksenine doğru bir genişleme hareketi yaptığını göstermektedir. Bunun da sebebi bu km'lerde T1 tünel eksenine iyice yaklaşan (1+740km'sinde 5m, 1+760km'sinde 0m) 1 nolu lojman oluşturduğu yapı yüküdür.

Optik deformasyon ölçümleri, konverjans ölçümleriyle paralellik gösterse de değerler, direkt ölçüm alınan noktanın hareketini gösterdiğinden (herhangi başka bir ölçüm noktasıyla korelasyon yok) farklılıklar da içermektedir. Optik deformasyon ölçümlerinde kendi içerisinde yüksek değerlere ulaşılan ilk nokta T1 tünelinin 1+661km'sidir. Bu noktada tünel tepe ve sağ ekseninde düşey yönde 3-4cm'lik bir hareket olmuştur. Daha sonra 1+686km'sinde ölçümlerde bu düşey hareketlerin 1-2cm'de kaldığını ancak yaklaşık üç ay sonra yapılan ölçümlerde düşey hareketin sol eksende 4cm, tepe noktada 6cm, sağ eksende 3cm olduğu tespit edilmiştir. Bu deformasyon değerindeki artışın sebebi diğer tünel kazısıdır. Üst örtü yükü az olan bu kısımda NATM ilkelerine aykırı olarak örtü yükü tünele taşıttırılmıştır. Sorunlu olan bu bölümde ayna kazıları mümkün oldukça birbirinde uzak aralıklarla devam ettirilmiştir. Ancak yinede bu tarz örtü yükünün az olduğu ve tünelin üzerindeki örtü yükünü de taşıdığı durumlarda, bir tüpte kazı çalışmaları devam ederken kaplaması yapılan diğer tüpte deformasyonlar tetiklenebilmektedir. Bu okuma noktasındaki durum da buna bir örnektir.

İncelenen bölgedeki Nivelman ölçümlerinde ise düşey deformasyon değerleri genel tünel güzergâh eksen doğrultusunda 15 – 20 cm civarında değişim göstermiştir. Bu ölçüm noktaları çevresinde, tünel eksen doğrultusunun sağ ve sol tarafında belirli aralıklarla (arazi şartlarının elverdiği oranda) ölçümler alınarak kazı etkisinin ne ölçüde yansıdığı tespit edilmiştir. Genel bir değerlendirme yapacak olursak T1 tüneli eksen doğrultusunun solunda kalan kısımda zeminde meydana gelen düşey deformasyon hareketinin sağ tarafa oranla daha fazla olduğunu görmekteyiz. Ayrıca eksenin sağ tarafındaki bu deformasyonların tünel ekseninin lojman binalarına en yakın olduğu

1+740 – 1+760km'leri arasında; 1+740km'sinde lojman binasına 2,5m kala 2cm, 1+745km'sinde yaklaşık 2,5m kala 3,6cm olduğu tespit edilmiştir. Binadaki deformasyon değerleri ile zeminde oluşan bu deformasyonlar uyumlu iken 1+750 ve 1+755km'lerinde sırasıyla lojman binasına 1,5m kala 8,8cm ve 0,5m kala 5,4cm zeminde düşey hareket olmuştur. Tabiki lojman binasında da aynı oranda düşey hareket beklememiz doğru olmaz. Binanın bir bütün olarak dönme hareketi yapması, zeminde meydana gelen oturma hareketi kadar kolay değildir. Zaman zaman sönümlenmeye yakın zaman zamansa 5 – 10 cm aralığında düşey deformasyonların ulaştığı, 1 nolu lojman binasının oturduğu alandaki hareketi, bina 2cm'lik bir hareketle T1 tüneline en yakın kısmı olan ön cephe sağ uç kısmına eğilerek yapmıştır. Ancak daha önce *"Lojman Binalarında Gerçekleşen Deformasyonlar (Oturmalar)"* bölümünde bahsedildiği gibi binanın dengesinde önemli bir sorun oluşturmamıştır.

Dere yatağı ve tutturulmamış özellikteki zemin bulunan bu bölgede tünel açımı sırasında meydana gelen bu düşey yönlü hareketlerin sebeplerini şöyle sıralayabiliriz.

- Kazı sonrası üst örtü yükünün az ve birimin zayıf olması sebebiyle zeminin kendini bırakması
- Üst örtü yükünün az olması yanında zeminin üzerinde bir de yapı yükünün mevcut olması
- Su içeriği fazla olan dere yatağına ait alüvyonların kazı sırasında içerisindeki suyu bırakmasıyla taneler arası boşlukların oluşması ve bu boşlukların oturma hareketi göstermesi şeklinde kapanması.

Sonuç olarak bu sorunlu bölgede tünel kazısı sırasında yüzeyde belirgin oturmalara rastlanılmıştır. Çevre binalarda, yapılarda ve yüzeyde bu deformasyonlar dikkatlice takip edilmiş ve yapılarda herhangi kalıcı hasarların ve tehlikeli durumların oluşması önlenmiştir. Bu km'ler arasında geçilen birimin davranışı ve mühendislik özellikleri kazı öncesinde iyice tetkik edildiğinden ve ortamın çözümlemesi doğru yapıldığından ötürü, tünel içerisinde meydana gelebilecek sıkıntıları önlemek amacıyla gerekli önlemler alınmış, tahkimat elemanlarında gerekli revizyonlar ve değişiklikler (tahkimat elemanlarının arttırılması, umbrella arch uygulaması gibi) yapılmıştır. Bu önlemler sayesinde tünelin bu kısmında oluşması muhtemel sorunlar yaşanmadan kazı devam etmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

"Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli" İstanbul'da hayata geçirilen "7 Tepe 7 Tünel" projesi kapsamında inşa edilen tünellerden biridir. Üçer şeritli iki tüpten oluşan tüneller Sarıyer girişindeki trafiği hafifletmek ve yapılaşması artmakta olan Sarıyer'in kuzeyinde kalan yerleşim bölgelerine bağlantıyı kısaltmak amacıyla yapılmıştır. Tünellerin yapımı öncesinde güzergâhın etüdü için 9 adet sondaj gerçekleştirilmiştir. Bu sondajlar ve arazi gözlemleri ışığında tünel güzergâh kesiti oluşturulmuş, sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden yararlanılarak sondajlarda geçilecek olan birimlerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

"Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli"nin yaklaşık %75'lik bir kısmı kaya ortam içerisinde geçmiştir. Çırçır Şantiyesi'nden başlayarak yaklaşık ilk 1500m'sinde İstanbul Paleozoyiğine ait olan Gözdağ, Trakya ve Baltalimanı formasyonlarında kazı yapılmıştır. Bu bölümde ayrıca yer yer diyabaz daykları görülmüştür. İstanbul Paleozoyiğine ait olan bu birimler Alpin ve Hersiniyen orojenezlerine maruz kaldığından genel itibariyle çok kırıklı ve çatlaklı bir yapı sergilemektedirler. Ayrıca bu birimler birbirine yakın mühendislik parametrelerine sahip olduklarından dolayı tahkimat sistemlerinde çok fazla değişiklikler yapılmadan kazı ilerlemesi devam etmiştir. Ancak kaya ortamları içerisindeki fay ve ezik zonlar kazı işlemlerini zorlaştırmıştır.

Özellikle yaklaşık olarak 0+320 – 0+340km'leri arasında Trakya formasyonu içerisindeki ezik zon geçilirken tünel kazısı sırasında yeterli tahkimat elemanı kullanılmamasından ötürü göçük olayı meydana gelmiştir. Önceki m'lerle aynı oranda tahkimat elemanları kullanılan bu bölge göçük olayından sonra pilot tünel ile geçilmiştir. Dar kesitte açılan pilot tünel, tüm kazı işlemleri tamamlandıktan sonra tam kesite çevrilmiştir. Ezik zon geçilirken 25cm olan püskürtme beton kalınlığı 30cm'ye çıkarılmıştır. SN tür kaya bulonları yerine IBO kaya bulonları kullanılmıştır. 2inçlik 8m sürenlerlerden 45 adet çakılarak tünel kazısının tepe noktasından gelebilecek

malzemeler önlenmiştir. Ayrıca kazı güvenliği açısından round boyu 75cm'ye düşürülmüştür.

Tünelin diğer yaklaşık %25'lik kısmı olan 1500m'sinden sonrası zemin özellikli birim içerisinde geçmektedir. Genel itibariyle Belgrad formasyonu geçilmekte olup Tekel Şantiyesi T2 tüneli girişinde ilk 30-40m'de tünel kazısı alüvyon birim içerisinde yapılmıştır. Belgrad formasyonu ve alüvyon çökellerde tünel kazısı gerçekleşirken tahkimat elemanları arttırılmış ve kazı tipi değiştirilmiştir.

"Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli"nde tünel kazısına bir başka sorun yaratan bölge Tekel Lojmanlarının bulunduğu bölgedir. Tekel Şantiyesinden başlayan ayna kazısı arazi içerisindeki 1 nolu lojman binasına geldiğinde –ki bu nokta tünelin 1+760km'sine denk gelmektedir- deformasyonların artması sebebiyle durdurulmuştur. Çırçır Şantiyesi tarafında gelen kazı kontrollü bir şekilde yapılarak ayna kazıları tünelin 1+760km'sinde birleştirilmiştir. Üst örtü yükü dışında, yapı yüklerinin de tünele etkisi hissedilen bu metrelerde tünel genelinde kullanılmış olan tahkimat elemanlarının yanı sıra "Umbrella Arch" uygulaması yapılmıştır. Deformasyonları kabul edilebilir değerler altında tutmak için yapılan bu uygulamanın yanında kaya bulon uygulamasında da değişikliğe gidilmiştir. T1 tüneli üzerindeki eski dere yatağına ait olan alüvyon birim içerisindeki suyun tünel içerisine gelmesini kolaylaştırmamak adına tünel çeperinin tepe kısmına bulon çakılmamıştır. Bu kısımda bulonlar sadece yan duvarlara çakılmıştır. Bu uygulamalar sayesinde tünel içindeki hareketler tolere edilebilir değerler altında tutulmuştur.

1+650 – 1+800km'leri arasında tünel içi konverjans ölçümlerinde ölçüm alınan noktaların birbirlerine göre hareketleri ortalama 3-4mm arasında kalmıştır. En yüksek konverjans değerleri ise T1 tünelinin 1+737km'sinde 2 – 3 ölçüm noktaları arasında ölçülmüş olup 8mm'dir. 1+770'de 2-3 ölçüm noktaları arasında 5mm'lik bir genişleme olmuştur. Bu km'lerdeki 1-3 ölçüm noktaları arasındaki hareket ise 4mm'lik daralma yönünde olmuştur. Tünel içi optik deformasyon ölçümleri ile tünel ekseninde üç noktada (tünel çeperinin tepe, sol ve sağ kısımları), her noktanın üç yönde (düşey, tünel içerisine, tünel güzergâh yönünde) hareketleri takip edilmiştir. 1+650 – 1+800km'leri arasında yapılan optik deformasyon ölçümlerinde elde edilen değerlere bakıldığında

değerlerin genel itibariyle 1cm'yi aşmadığı tespit edilmiştir. Ancak genelleme dışına çıkan durumlar da mevcuttur. Örneğin T1 tünelinin 1+661,5km'sinde tüm ölçüm noktalarında düşey yönde 3-4cm civarında bir hareket oluşmuştur. 1+686km'sinde ise 1-2cm civarında düşey hareket ölçümlenmiş. Yaklaşık 3 ay sonra yapılan ölçümlerde ise bu hareketin 4 – 6cm'lere ulaştığı görülmüştür.

Tünel içi yapılan bu ölçümlerde hareket değerleri tolerans değeri (10cm) altında kalmış olup tünel güvenliğini tehdit etmemiştir. Ancak ölçümlerdeki değişen değerlerin sebepleri

- üst örtü yükünün azlığına bağlı olarak zeminin tünele taşıttırılması
- bunun yanında ek olarak lojman binalarından gelen yükler
- iki tüneldeki kazıların birbirindeki etkileri

olarak sıralanabilir.

Yüzeydeki düşey deformasyonlar ise T1 tünelinin 1+650 – 1+800km'leri arasında tünel eksen doğrultusunda ortalama 15 – 20cm arasında değişim göstermiştir. Kazı etkisine bağlı olarak genelde eksenin sağ ve sol tarafında azalması gereken değerler eksenin sağ tarafında her zaman azalırken, eksenin sol tarafında 10 okuma noktasının 7'sinde az da olsa artış göstermiştir. Genel itibariyle zeminde eksenin sol tarafındaki düşey deformasyon değerleri, eksenin sağ tarafındakine göre daha yüksek değerler vermiştir. Bunun sebebi olarak;

- zeminin heterojen yapısına bağlı olarak eksenin solunda kalan kısmın daha granüler ve su içeriği fazla durumda olması,
- binaların yapımı esnasında T1 tüneli eksen doğrultusunun sağ tarafında kalan alanda zemindeki suyun uzaklaşmasına müsait bir durumun olmuş olabileceği,
- güzergahı değiştirilen derenin verildiği kanalın eksenin sol tarafında kalması
- binaların inşası öncesinde zeminin sıkıştırılarak temel olmaya daha müsait hale getirilmiş olabileceği

düşünülmektedir.

Binalardaki hareketler ise zemindeki hareketlerle aynı oranda olmamıştır. Lojman binaları arasında en çok oturma hareketi T1 tüneline en yakın olan 1 nolu lojman binasında gerçekleşmiştir. L12 ölçüm noktasında 2,6cm düşey hareket tespit edilmiştir.

L12 ölçüm noktasının 0,5m ötesinde zemindeki düşey hareket ise 5,4cm'dir. Binanın bir bütün olarak dönme hareketi yapması, zeminde meydana gelen oturma hareketi kadar kolay değildir. Zaman zaman sönümlenmeye yakın zaman zamansa 5 – 10cm aralığında düşey deformasyonların olduğu, 1 nolu lojman binasının oturduğu alandaki hareketi bina 2cm'lik bir hareketle T1 tüneline en yakın kısmı olan ön cephe sağ uç kısmına eğilerek yapmıştır.

T1 tünel güzergâhının Tekel Lojman Binaları arazisi içerisindeki kazısı tünel mühendisliği açısından başarılı bir uygulamadır. Tünel içerisinde, yüzeyde ve yapılarda oluşan deformasyonlar sorun oluşturacak değerlere ulaşmamış, tolere edilebilecek sınırlar içerisinde kalmıştır. Bu bölümde "Umbrella Arch" uygulaması ve tahkimat elemanlarındaki revizyonlar (tahkimat elemanlarının arttırılması ve bazı tahkimat elemanlarındaki değişimler (SN yerine IBO tip bulon kullanımı) gibi) hem deformasyonların artmasını önlemiş hem de tünel içerisinde kazı güvenliğini sağlamıştır.

Ancak aynı başarılı durum 0+320 – 0+340km'leri arasına denk gelen ezik zonda sergilenememiştir. Bu bölümde jeolojik ortam iyi etüt edilemediğinden (bu kısma denk gelen sondaj olmaması, deformasyon ölçüm takiplerinin düzenli yapılmaması ve yorumlanmamasından) göçük yaşanmıştır. Bu gibi durumların yaşanmaması için bir mühendislik yapısının inşası öncesindeki etüt çalışmaları tam olarak yapılmalı ve jeolojik ortam tüm unsurlarıyla ortaya konmalıdır. Aynı zamanda bu tarz durumlarla karşılaşmamak için ayna kazılarının takibinin hassas bir şekilde yapılması gereklidir. Örneğin bu tarz sıkıntılı bir ortama girilmeden önce mutlaka kazısı yapılan kaya ortamının çatlak ve süreksizlik durumlarında artış meydana gelir. Bununla birlikte bölgede hâkim olan yer altı sularının hareketinin kolaylaşmasıyla tünel içerisine su geliminde de artışlar olur. Bunlarla takip edilmesi gereken en önemli hususlardan biri de daha öncedende belirtildiği gibi deformasyon ölçümleridir. Bu ölçümlerde meydana gelen en ufak değişimlerin sebepleri araştırılmalı, gerekli önlemler alınarak kazı devam ettirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

ABDÜSSELAMOĞLU, İ., 1963, *İstanbul Boğazı Doğusunda Mostra Veren Paleozoyik Arazide Stratigrafik ve Paleozoyik Yeni Müşahedeler*, MTA Dergisi Sayı: 60.

AKARTUNA, M., 1963, *Şile Şaryajının İstanbul Boğazı Kuzey Yakalarında Devamı*, MTA Dergisi Sayı: 61.

ANONİM, 2005, *U.S. Army Corps of Engineers, Engineering and Design Standart Practice for Shotcrete. Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers*, Distribution Restriction Statement. CECW-EG Engineering Manual No 1110-2-2005, Washington.

AYGAR, E., 2000, *Bolu Tünellerinde Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemine Eleştirel Bir Yaklaşım*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

BAYKAL, F.. KAYA O., 1963, *İstanbul Bölgesinde Bulunan Karboniferin Genel Stratigrafisi*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, 61, s:1-9.

BAYKAL, F.. KAYA O., 1966, *İstanbul Boğazı Kuzey Kesiminin Jeolojisi* , Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, X, 1-2, s:31-43.

BEKİŞOĞLU, Ş., 1993, *Beton Kaplamalı Kanallarda Sızdırmazlık Önlemleri Mastik Asfalt ve Püskürtme Beton Uygulaması*, D.S.İ. Matbaası, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara, s:24-49.

CELEP, Z., KUMBASAR, N., 2000, *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, 596s. İstanbul.

CHAPUT, E., HOVASSE, R., 1930, *Notice Preliminiare sur le Cretace Superior de Zekerie Köy au nord de Constantinople*, Bull. Fac. Sci. Univ. De Stambol, 6e annee, İstanbul.

FİLİZER, F., 1982, *İstanbul İstinye Tarabya-Büyükdere Arasındaki Alanın Jeolojik İncelemesi*, İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Diploma Tezi.

GEDİK, İ., TİMUR, E., DURU, M., PEHLİVAN, Ş., 2005, *Türkiye Jeoloji Haritaları İstanbul F22d Paftası*, *MTA*.

KAYA, O., 1971, *İstanbul Karbonifer Stratigrafisi*, T.J.K. Bülteni, C14,S.2, s:143-191, Ankara.

KAVVADAS, M., 2005, *Monitoring Ground Deformation in Tunneling: Current Practice in Transportation Tunnels*, Engineering Geology 79(2005) s:93-113.

KETİN, İ., GÜNER, G., 1989, *İstanbul Bölgesinde Karbonifer Yaşlı Trakya Formasyonu'nun Yapısal Özelliği*, Müh. Jeo. Bülteni s.11 s:13-18.

OKAY, A.C., 1947, *Alemdağ-Aydos Dağı ve Mudarlı Arasındaki Bölgelerin Jeolojisi*, MTA Raporu, Ankara.

ÖNALAN, M., 1981, *İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyen İstifinin Çökelme Ortamları*, İ.Ü.Y.F Yer Bilimleri Dergisi s:161-177.

ÖZBEK, A., 2003, *Kızlaç T3A Tünelinde Nihai Yerdeğiştirmelerin Tahmini*, Geosund Yerbilimleri, sayı:43 s:124.

ÖZGÜL, N., ÜNER, K., AKMEŞE, İ., BİLGİN, İ., KOKUZ, R., ÖZCAN, İ., YILDIZ, Ü., YILDIRIM, Ü., AKDAĞ, Ö., TEKİN, M., 2005, *İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikileri***,** İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama ve İmar Daire Başkanlığı.

ÖZTAŞ İnşaat Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş., Ayna Kazı Destek Formları.

ÖZTAŞ İnşaat Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş., Deformasyon Grafikleri.

PAECKELMANN, W., 1938, *Neue Beitrage zur Kenntnis der Geologie, Palaeontoligie und Petrographie der Umgegend von Konstantinopel*, Abh.d.Preuss Geol. Lands. 186, 1-202.

PECK, R. B., 1969b, *Adavantages and Limititation of the Observational Method in Applied Soil Mechanics*, Ninth Rankine Lecture, Geotechnique 19(2), s:171-187.

PENCK, W., 1919, *Grundzüge der Geologie des Bosporus Veröff. Ins.f.Meeresk*, N.F.A.4, Berlin.

PETTIJOHN, P.J., 1957, *Sedimentary Rocks. Harper Brothers*, New York.

SCHUBERT, P., VAVROVSKY, G. M., 1994, *Interpretation of Monitorıng Results*, World Tunnelling Review, s:351-356.

SEYMEN, İ., 1995, *İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi.İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi*(ed. Engin Meriç), s.1-21.

TCHIHATCHEFF, P, DE. ,1864, *Le Bosphore et Constantinople*, P:442, Paris.

TİMUR, E., 1994, *Tünel Mühendisliğinde Jeoteknik Etüd ve Uygulamada Karşılaşılan Bazı Problemler*, 1. Ulaşımda Yer altı Kazıları Sempozyumu, Maden Müh. Odası Yayını s: 193.

TOĞROL, E., GÜLER, E., 1986, *Yumuşak Zeminlerde Açılan Tüneller*, Tünellerin

Projelendirilmesi ve İnşası Semineri, Cilt 1, Adana s:10-1,17.

ULUSAY. R., 2001, *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, Genişletilmiş 4. Baskı, Ankara, s:132.

ÜNLÜTEPE, A., MESSING, M., 2005, *Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler*, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, s:148-160.

ÜŞÜMEZSOY, Ş., 2001, *17 Ağustos Sonrası Marmara'da Deprem Riski*, İnkilap Yayınevi, İstanbul.

YALÇINLAR, İ., 1951, *İstanbul Civarının Paleozoyik Arazisine Dair Yeni Müşahedeler*, T.J.K. Bülteni Cilt:3 Sayı:1 s:125-129.

ZAFFARONI, P., PISTOLESI, C., DAL NEGRO, E., COPPOLA, L., COLLEPARDI, M., 2001, AITES-ITA 2001, *World Tunnel Congress Progress in Tunneling After 2000*, Industrialisation in Tunnel Construction Tunnel Upgrading and Widening, June 10-13, II, 2-3, Milano.

ZEMAR ZEMİN ARAŞTIRMA, MÜHENDİSLİK VE TEKNİKDANIŞMANLIK LTD. ŞTİ., 2008, *Sarıyer – Çayırbaşı Karayolu Tüneli Jeoteknik Değerlendirme Raporu*, İstanbul.

www.depremhaber.com (Ziyaret tarihi: 2009)

www.dmi.gov.tr (Ziyaret tarihi: Mayıs 2010)

www.sariyer.bel.tr (Ziyaret tarihi: Mayıs 2010)

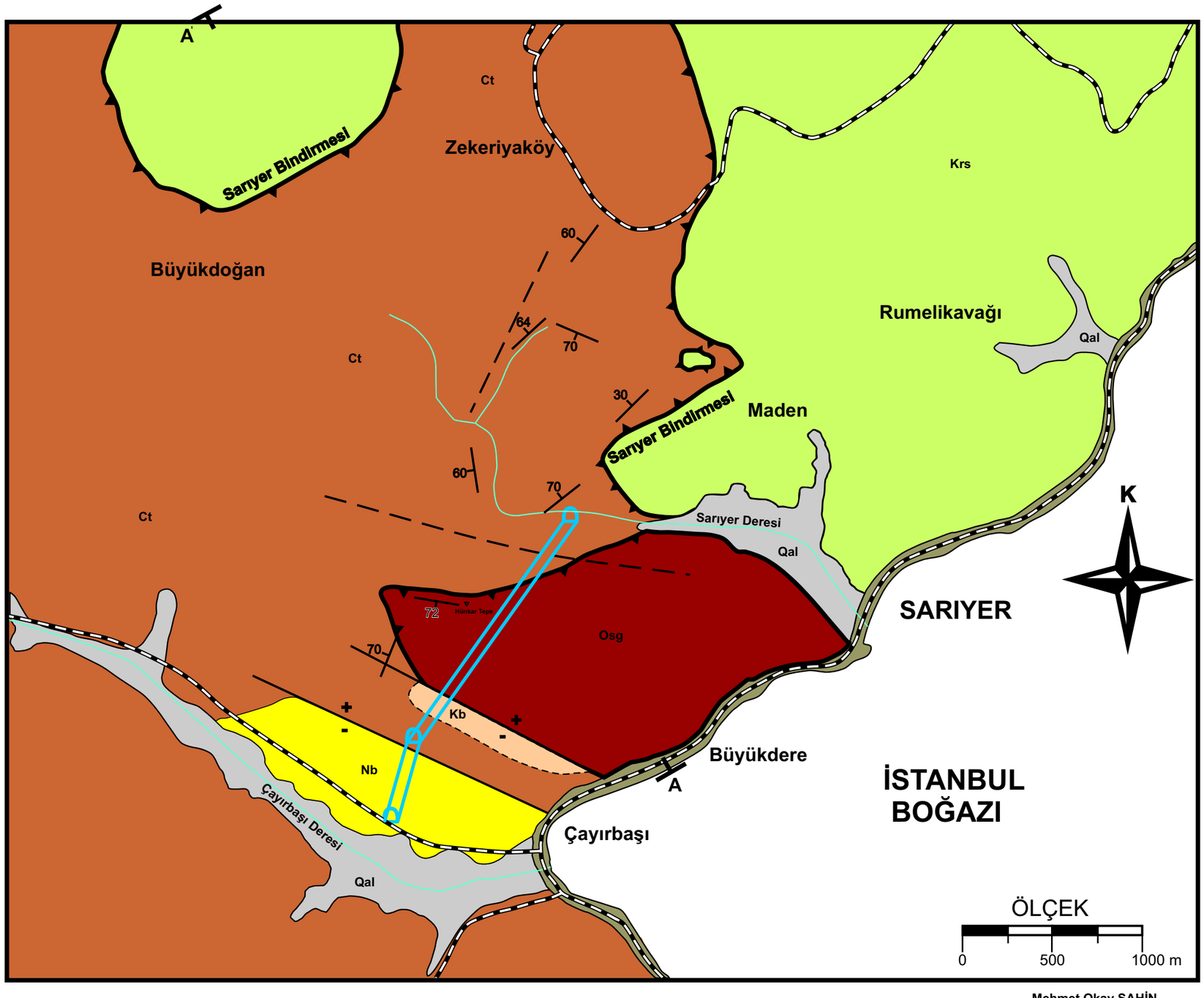
www.wikipedia.org (Ziyaret tarihi: Aralık 2008)

wwz.ifremer.fr/esonet_emso/content/download/33356/278218/file/marmara-observatory.pdf

7. EKLER

7.1. BÖLGESEL JEOLOJİ HARİTASI

SARIYER - ÇAYIRBAŞI DOLAYININ JEOLOJİ HARİTASI



AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK
- Yapay Dolgu
- Uyumsuzluk
- Qal — Alüvyon
- Uyumsuzluk
- Nb — Belgrad Formasyonu
- Uyumsuzluk

MESOZOYİK
- Krs — Sarıyer Formasyonu

PALEOZOYİK
- Tektonik dokanak
- Ct — Trakya Formasyonu
- Kb — Baltalimanı Formasyonu
- Osg — Gözdağ Formasyonu

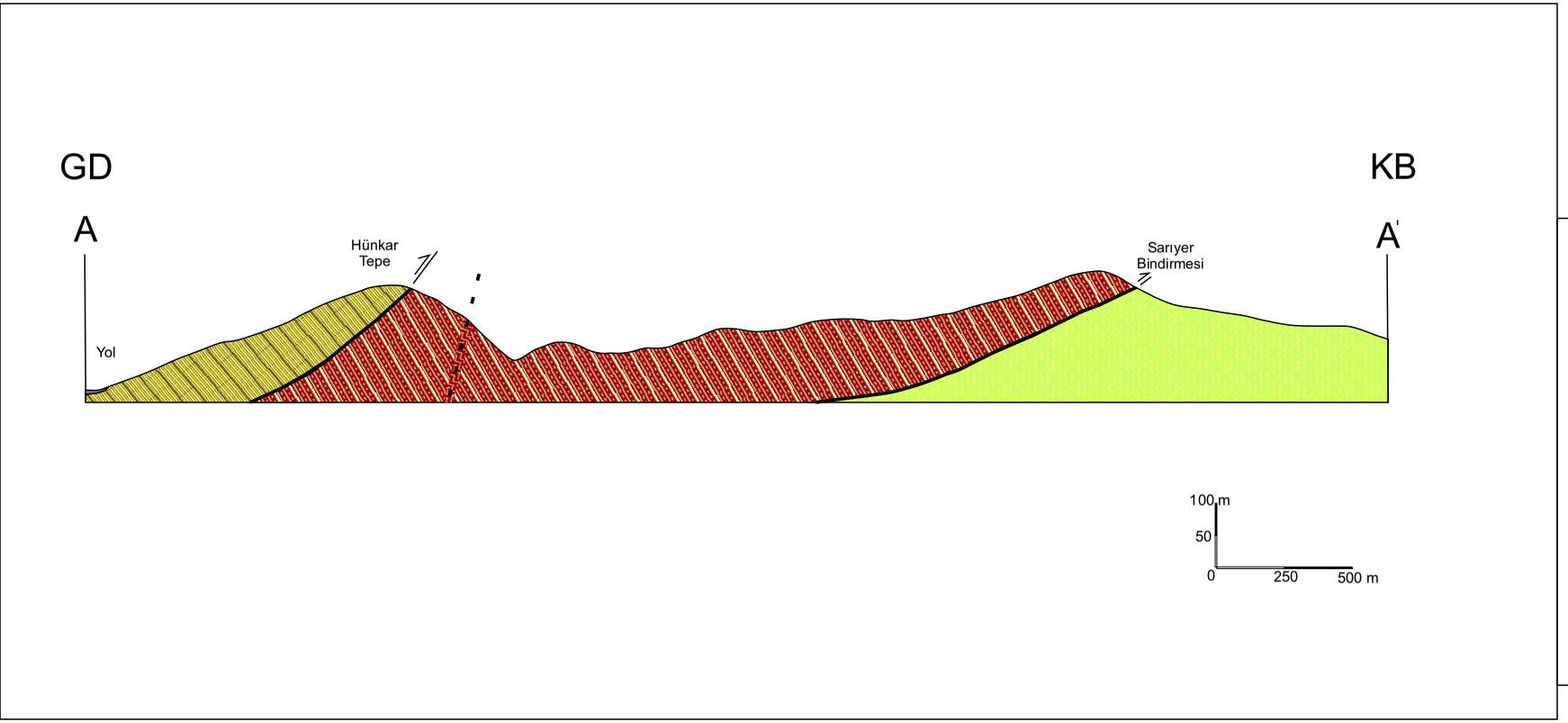
İŞARETLER
- Doğrultu - Eğim
- Dokanak
- Bindirme fayı
- Dere
- Tünel Güzergahı
- Muhtemel Fay
- Fay
- Kesit Güzergahı
- Yol Güzergahı

«Türkiye Jeoloji Haritaları» İstanbul - F22d Paftası. MTA 2005» ve Baykal ve Kaya (1966) «İstanbul ve Kuzey Kesiminin Jeolojisi» haritalarından revize edilmiştir.

Mehmet Okay ŞAHİN
(Haziran 2010)

7.2. JEOLOJİK ENİNE KESİT

ÇAYIRBAŞI DERESİ - ZEKERİYAKÖY ARASININ JEOLOJİK ENİNE KESİTİ



AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK – KUVATERNER: Yapay Dolgu

Uyumsuzluk

MESOZOYİK – KRETASE: Sarıyer Formasyonu

Tektonik dokanak

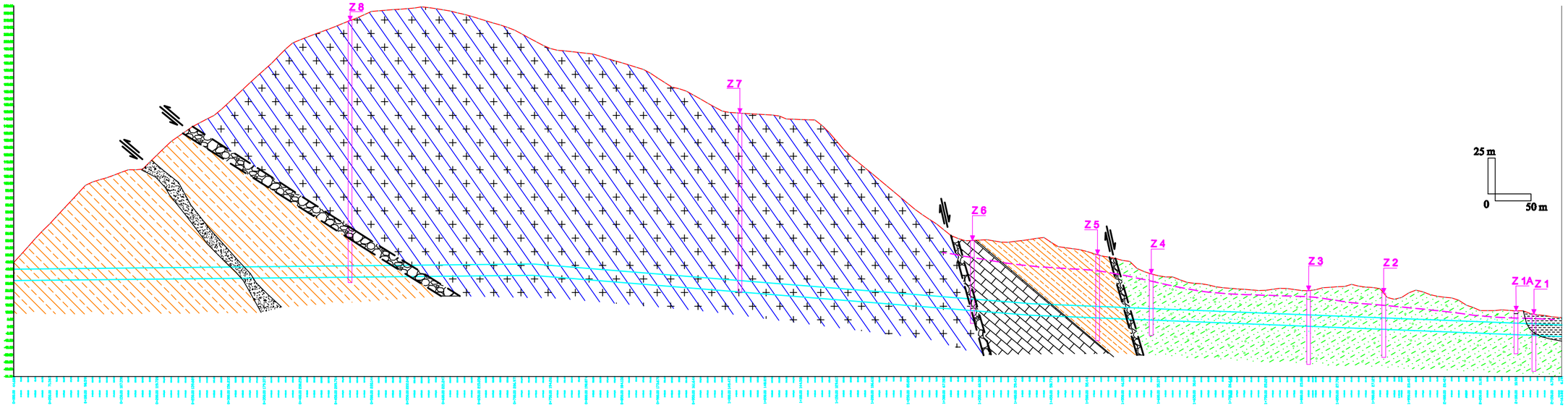
PALEOZOYİK – KARBONİFER: Trakya Formasyonu

PALEOZOYİK – SİLÜRİYEN: Gözdağ Formasyonu

M. OKAY ŞAHİN
(HAZİRAN 2010)

7.3. TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLOJİK ENİNE KESİTİ

TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLOJİK ENİNE KESİTİ



LEJAND

- Qal — Alüvyon (Qal): Orta - Kaba Kil - Bitkili Kil
- N — Neojen (n): Orta - Çok sıkı Çakıllı Kum - Çok katı Kil - Sert Kumlu Silt (Çakıllı Kumtaşı - Kumlu Silttaşı)
- Cr — Trakya Formasyonu (Kt): (Çamurtaşı - Kumtaşı - Kiltaşı Ardalanması)
- Db — Baltalimanı (Db): (Bitkili Şeyl - Kalkarli Şeyl - Yumrulu Kireçtaşı)
- Oeg — Gözdeğ Formasyonu (Oeg): Siltaşı - Nadiren Şeyl - Üst kesimlerde kuvarsit
- Fay Hatları
- Kaltı Zonu
- Yer Altı Su Seviyesi

M. OKAY ŞAHİN

HAZİRAN 2020

(Şirket İmzalı Anapara, Mühendislik ve Teknik Danışmanlık Ltd. Şti. ve Yazıyı- Çayırhan Kömürü Tüzel İşveriçli Değerlendirme Raporu" nolu sözleşmeye eklidir)

7.4. T2 TÜNELİ 0+170 – 0+370 KM'LERİ ARASI TÜNEL AÇILIM KESİTİ

SARIYER - ÇAYIRBAŞI ARASI KARAYOLU TÜNELİ JEOLOJİK AÇILIM HARİTASI

(T 2 TÜNELİ KM : 0 + 170 - 0 + 370)

AÇIKLAMALAR

ÇAMURTAŞI : Kahverengimsi sarı - Kırmızımsı renkli, orta katı tabakalı (30 - 40 cm), sayrı çimentolanma gösteren dayanımlı, orta ayrışmış, yer yer ufalanabilir - orta derecede bozunmuş gevrekli ark çatlaklı, kalay dağılabilen, tabaka dokunuşları kil dolgulu, ebrokalitik yüzeyleri bazanaklı - az dalgalı yapı gösteren birim.

SİLTTAŞI : Gri - Koyu gri siyah renkli, İnce katmanlı (2cm - 5cm), yer yer yapısı bozulmuş, sayrı çimentolu, az ayrışmış, kırıklı - ark çatlaklı (çatlaklar kil, kalsit gevrekli pürt dolgulu) kısmen ayrılmış, ebrokalitik ve foylanmaların yoğun olduğu bölgelerde çakıllı - dalgalı çizgili yapı gösteren birim.

SİLTTAŞI : Gri - Koyu gri siyah renkli, orta katın tabakalı (30cm - 50cm) , orta sert - sert, ayrışmamış gevrekli orta çatlaklı (çatlaklar kil, kalsit gevrekli pürt dolgulu) ebrokalitik ve foylanmaların yoğun olduğu bölgelerde ark çatlaklı yer yer kaygan pürtük - az dalgalı, yapı gösteren birim.

ŞİŞT: Koyu gri siyah renkli, çok İnce tabakalı (<3cm - 5cm), foliasyonlu (yapraklanmalı) yapı sunan, mika içerikli, ayrışmış, ark çatlaklı yer yer foylanmanın olduğu bölgelerde ufalanabilir - bozunmuş, yoğunluğu renkli, ezilmiş halde, kendini tutamayan zemin özelliği gösteren birim.

ŞİYL: Siyah renkli, çok İnce tabakalı (<3cm - 5cm), foliasyonlu yapı sunan, ayrışmış, ark çatlaklı yer yer foylanmanın olduğu bölgelerde aşırı ezilmiş, dalgalı, kendini tutamayan zemin özelliği gösteren birim.

GROVAK : Kahverengimsi-kırmızımsı renkli, orta katın tabakalı (30 - 60 cm), orta sert - sert yer yer çok sert, çok iyi çimentolanmış, killi-iyi sınırı boylanmalı, az çatlaklı (çatlaklar kalsit ve kırmızı dolgulu) yer yer kayma düzlemlerinde milonitleşme gösteren kumtaşı-killitaşı-silttaşı ardalanmalı birim.

KUMTAŞI : Kahverengimsi renkli, orta katın tabakalı (30 - 60 cm), orta sertlikte, ayrışmamış, iyi derecelenmiş, ark, az çatlaklı, çatlak yüzeyleri yer yer kırmızı damarlı birim.

GRAFİTŞİST : Siyah-Siyahımsı gri renkli, İnce katmanlı laminalanma (2cm - 5cm), orta sertlikte, yer yer şiştoziteyi gösteren, ebrokalitiklerin ve foylanmaların yoğun olduğu yerlerde dalgalı, ark çatlaklı, çatlak yüzeyleri kil dolgulu, ebrokalitikler gösterir - az dalgalı, dar zonlu, havayla temasında dereceliğini kaybeden, kırılgan yapı gösteren birim.

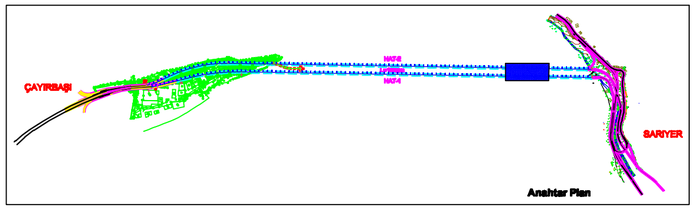
FAY ZONU : Tektonizmanın etkisi ile tamamen ezilmiş, kiltaşımış yapıda yer yer plastik özellik gösteren, fay kili ve fay breşi.

DİYABAZ : Tektonizmanın etkisi ile birimleri yer yer ati ve dayk şeklinde kesen magmatik sokulum kayası olarak diyabaz; yeşilimsi renkli, yer yer çok sert, masif, yer yer az sert, kalsit damarlı yapı gösteren birim.

SİMGELER

- Eklem Takımları
- Jeolojik Sebeplerle İstenmeyen fazla kazı.
- Çok Çatlaklı ve Karstlı Kayaç (1- az çatlaklı, 2- orta çatlaklı, 3- çok çatlaklı yer yer cebi)
- Su ( ) damlayan ( ) akan
- Pır. Pürt Cevherleşmesi (Genellikle çatlak dolgusu şeklinde görülmekle birlikte yer yer kayaç içerisinde saçınımlar şeklinde gözlenmektedir).
- Deformasyon Gözlem İstasyonları

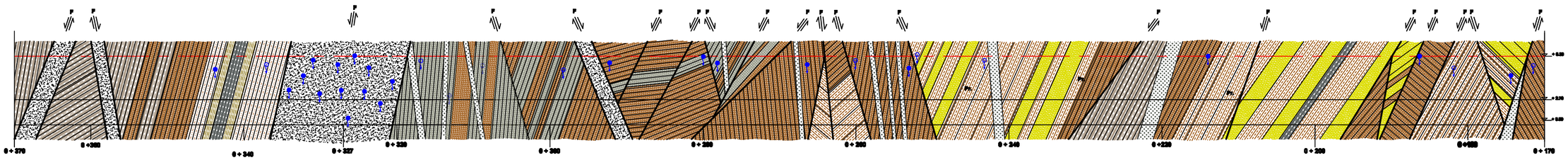
- Fay
- Tabaka Doğrultu
- Antiklinal Eksen
- Sinklinal Eksen
- Doğrultu Atımlı Fay
- Tabaka Doğrultu ve Eğim Yönü
- Normal Fayın Doğrultu ve Eğim Yönü

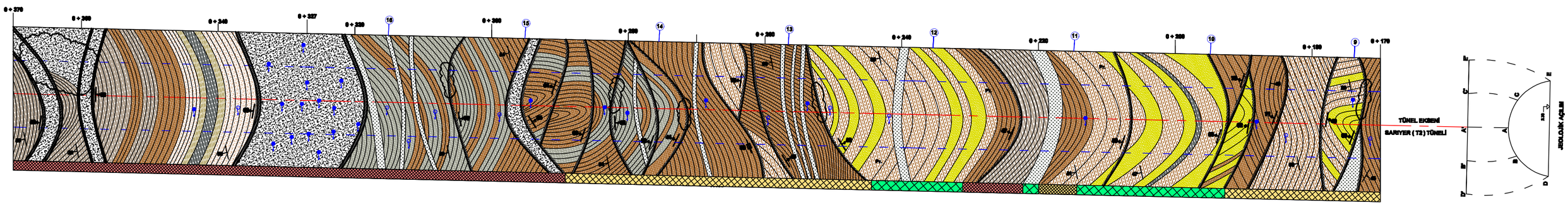


NOT:

2. T2 Tüneli Fay Bölgesi 0+318 - 0+327 km' leri arası Ölçülen Su Debileri

1. 21.07.2008 Q : 7.84 l/dak
2. 23.07.2008 Q : 8.70 l/dak
3. 24.07.2008 Q : 10.00 l/dak
4. 25.07.2008 Q : 8.47 l/dak
5. 04.08.2008 Q : 7.20 l/dak
6. 06.08.2008 Q : 7.72 l/dak
7. 08.08.2008 Q : 8.75 l/dak
8. 10.08.2008 Q : 8.00 l/dak
9. 12.08.2008 Q : 7.00 l/dak





Kazı Yönü

1/200

1/200

M. OKAY ŞAHİN

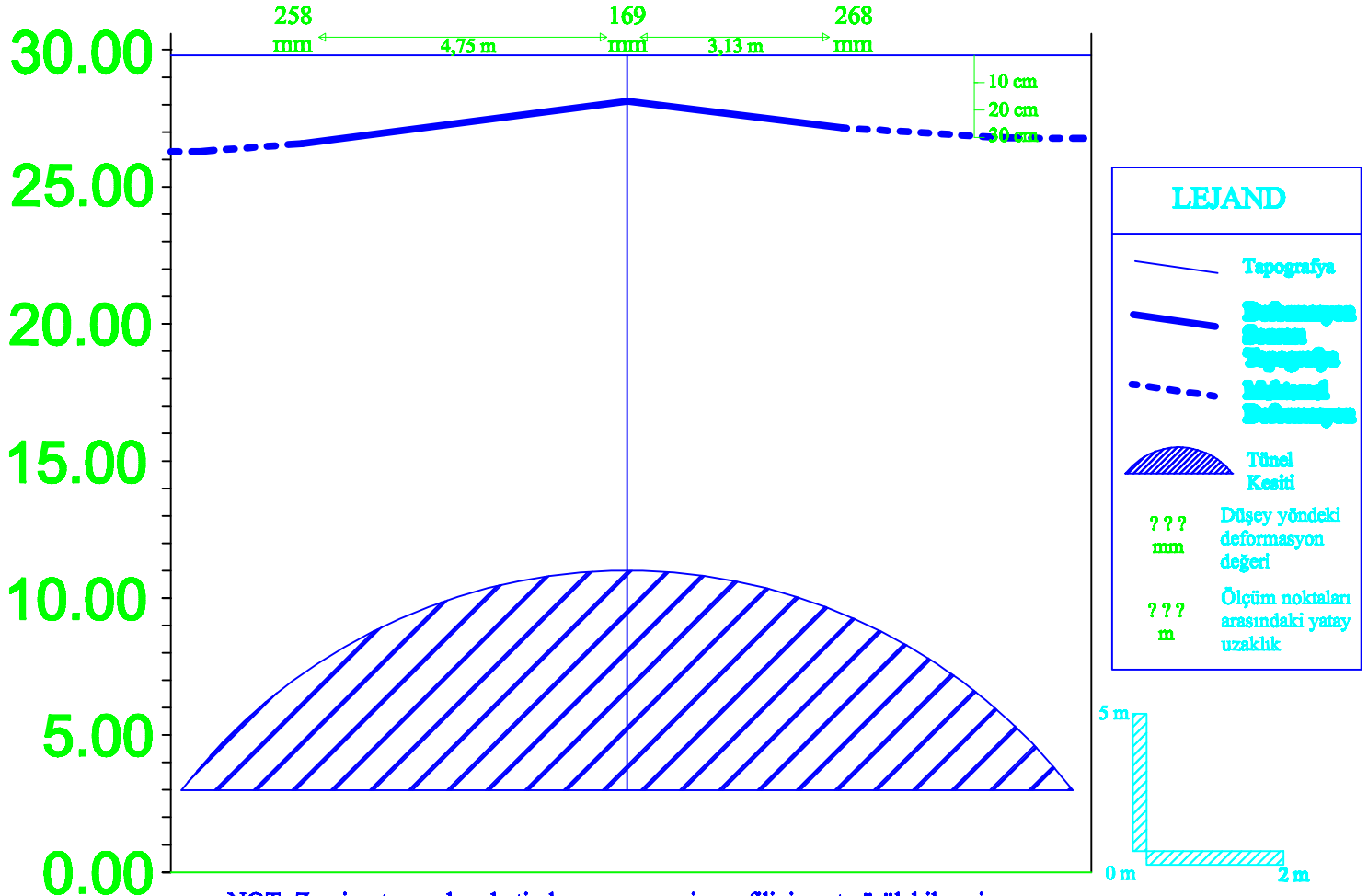
HAZİRAN 2010

(Üstaş İnşaat Malzemeleri San. Ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir)

7.5. T1 TÜNELİ 1+650 -1+800KM'LERİ ARASI YÜZEY DEFORMASYONLARI ENİNE VE BOYUNA KESİTLERİ

"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+660 CİVARINDA ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

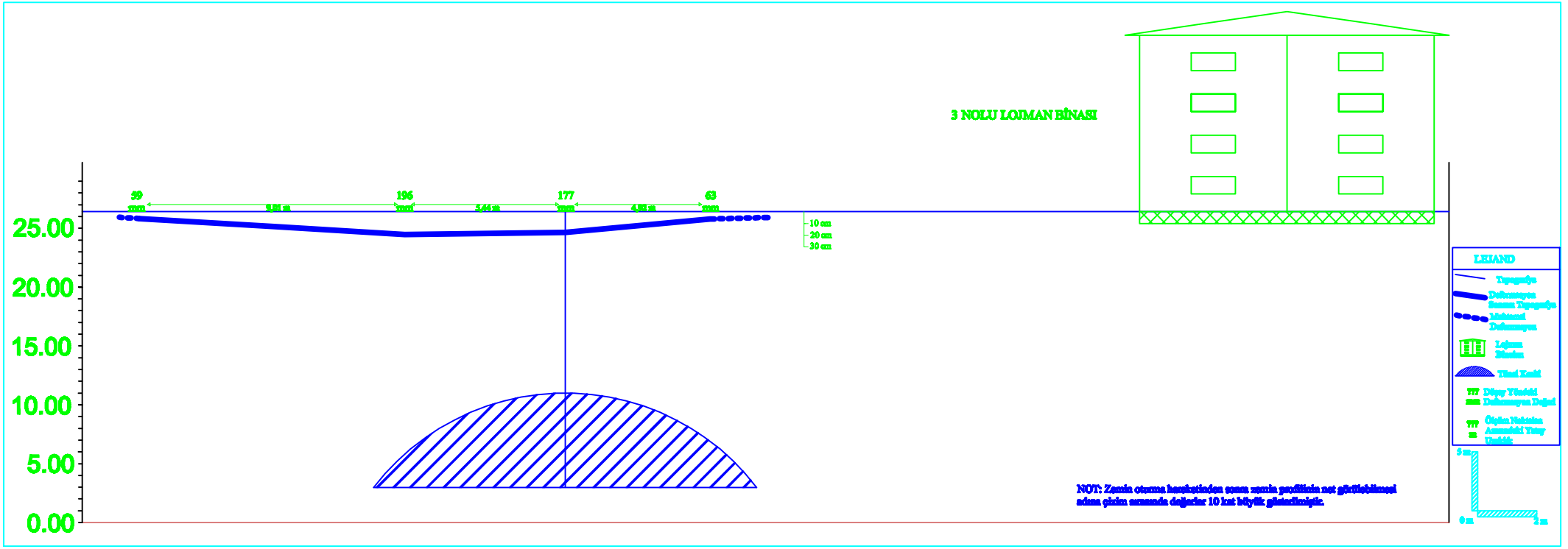
M. OKAY ŞAHİN
Haziran 2010



NOT: Zemin oturma hareketinden sonra zemin profilinin net görülebilmesi adına çizim sırasında değerler 10 kat büyük gösterilmiştir.

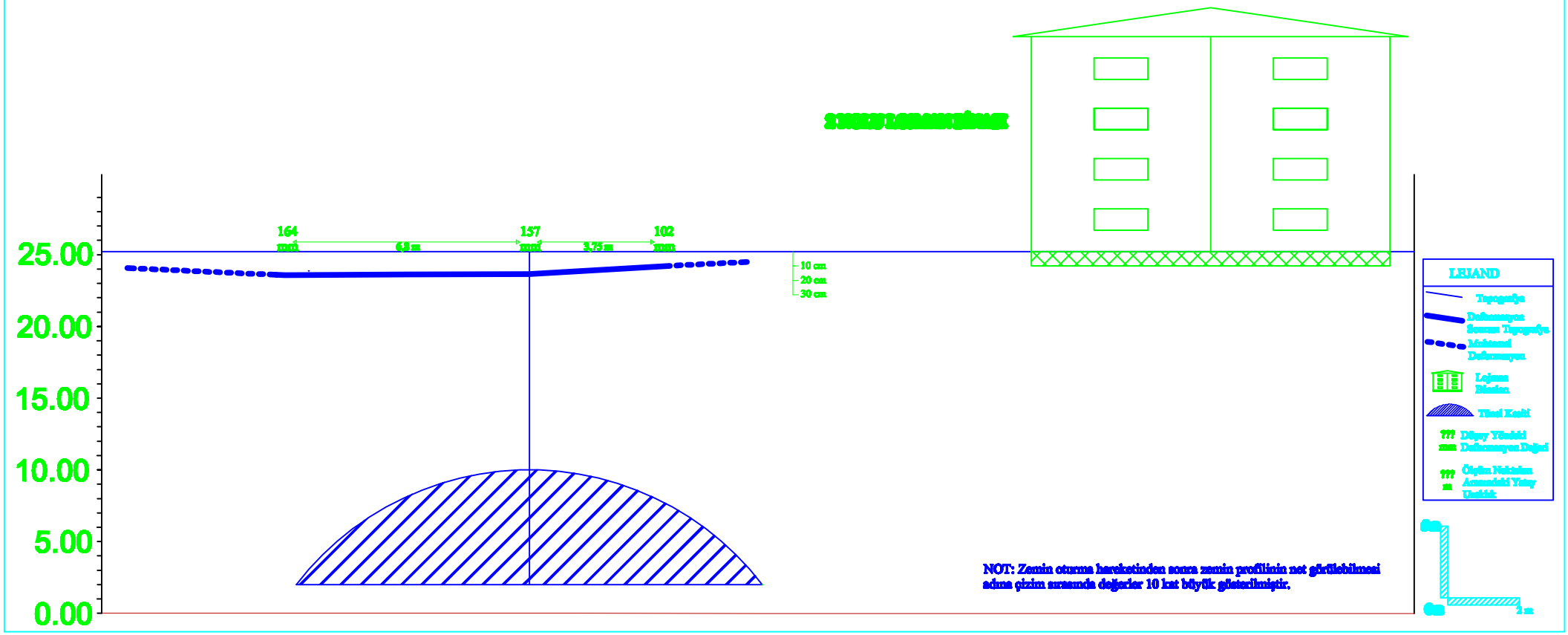
"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+700 CİVARINDA ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

M. OKAY ŞAHİN



"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+715'DEKİ YÜZEY DEFORMASYONLARI ENİNE KESİTİ

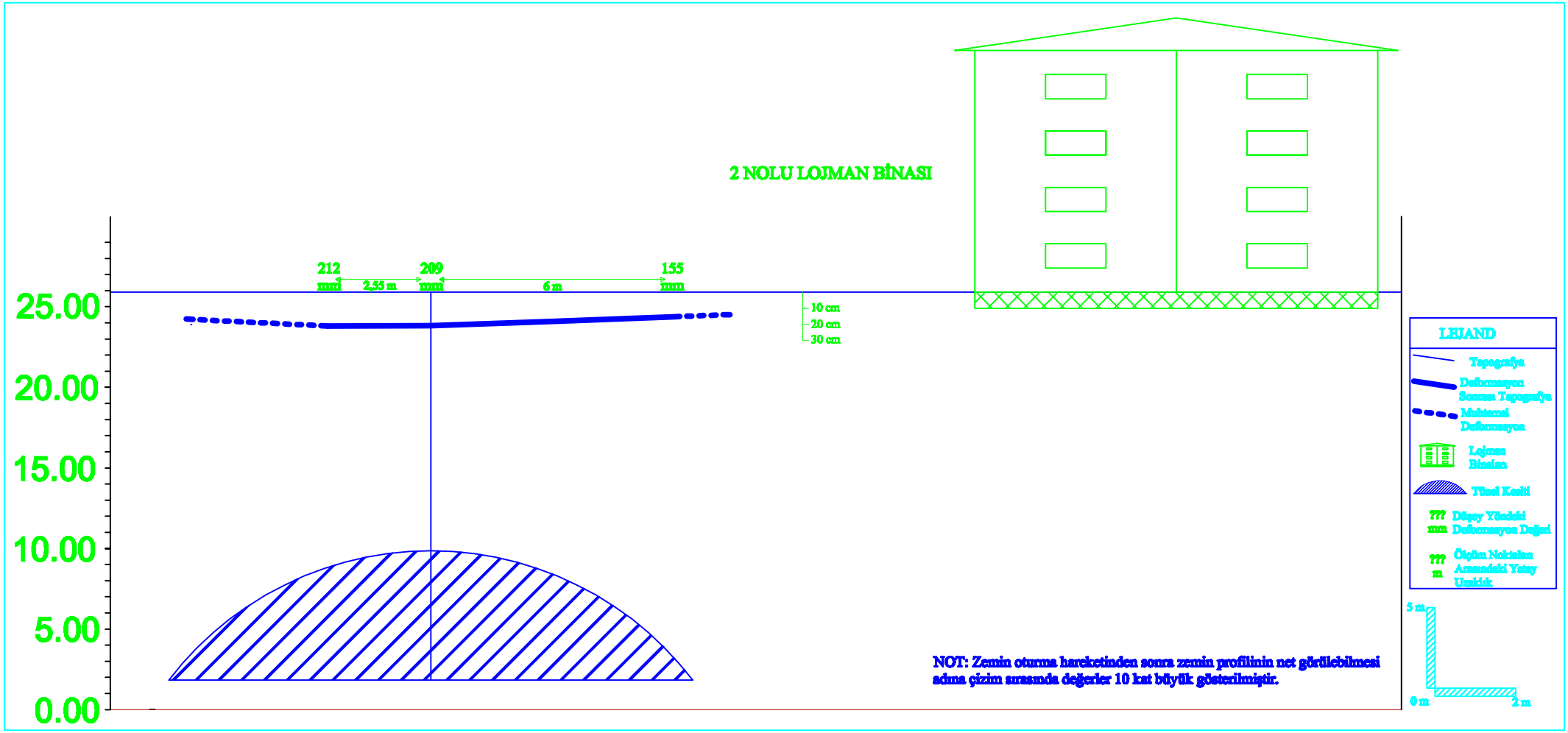
M. OKAY ŞAHİN



NOT: Zemin oturma hareketinden sonra zemin profilinin net görülebilmesi adına çizim sırasında değerler 10 kat büyük gösterilmiştir.

"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+720'DE ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

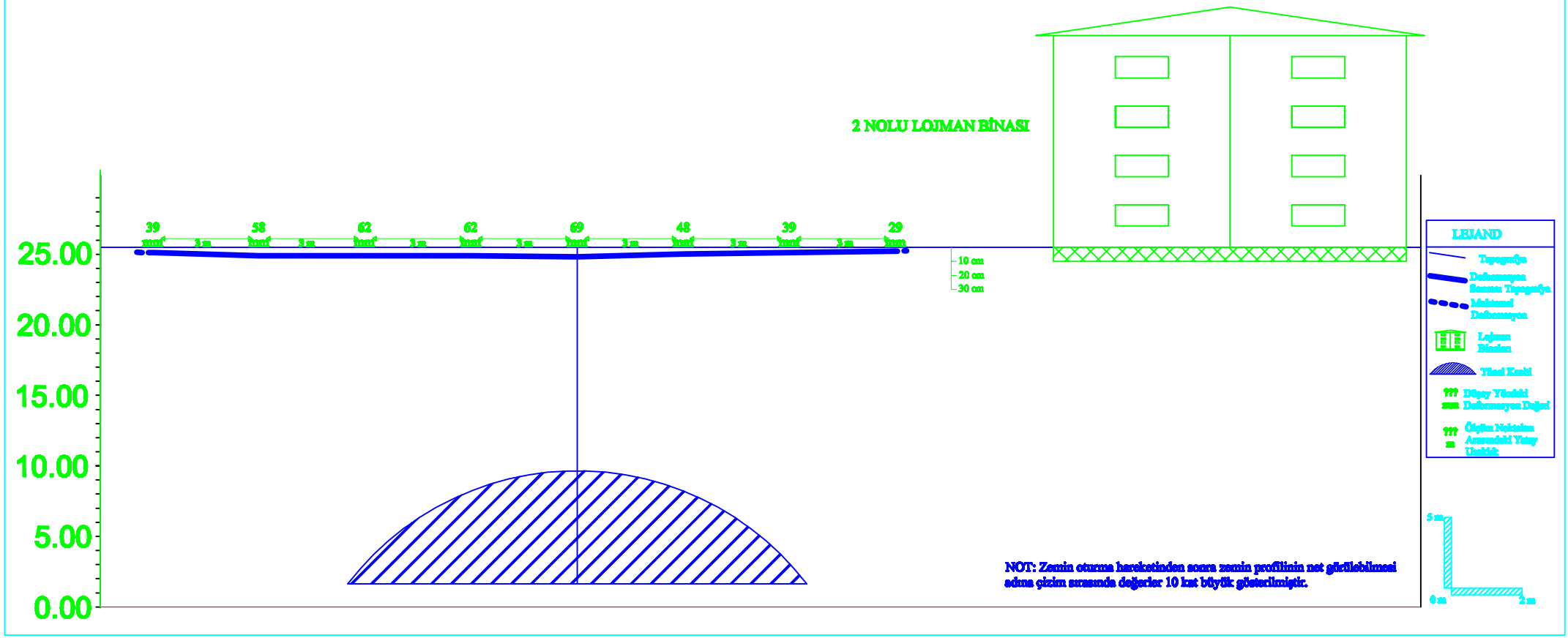
M. OKAY ŞAHİN



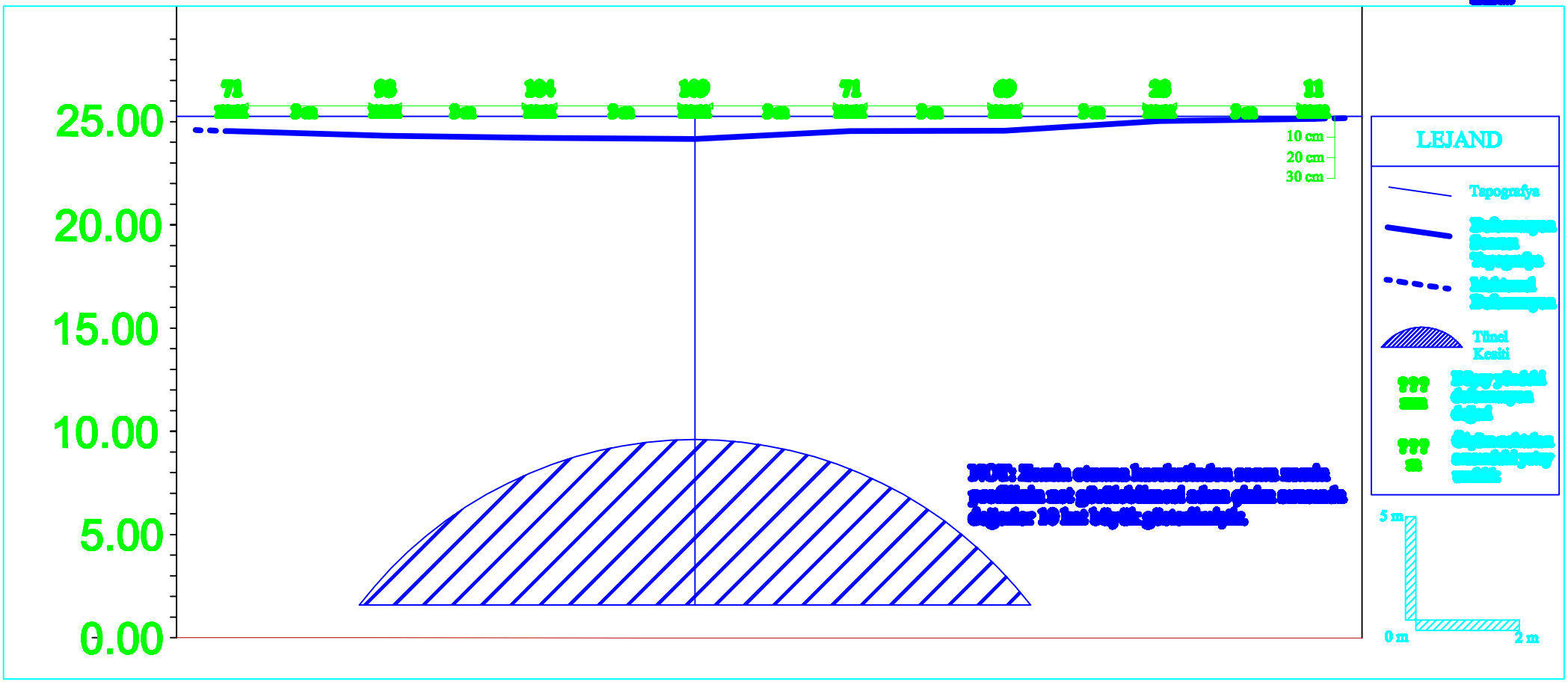
NOT: Zemin oturma hareketinden sonra zemin profilinin net görülebilmesi adına çizim sırasında değerler 10 kat büyük gösterilmiştir.

"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+730'DA ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

M. OKAY ŞAHİN

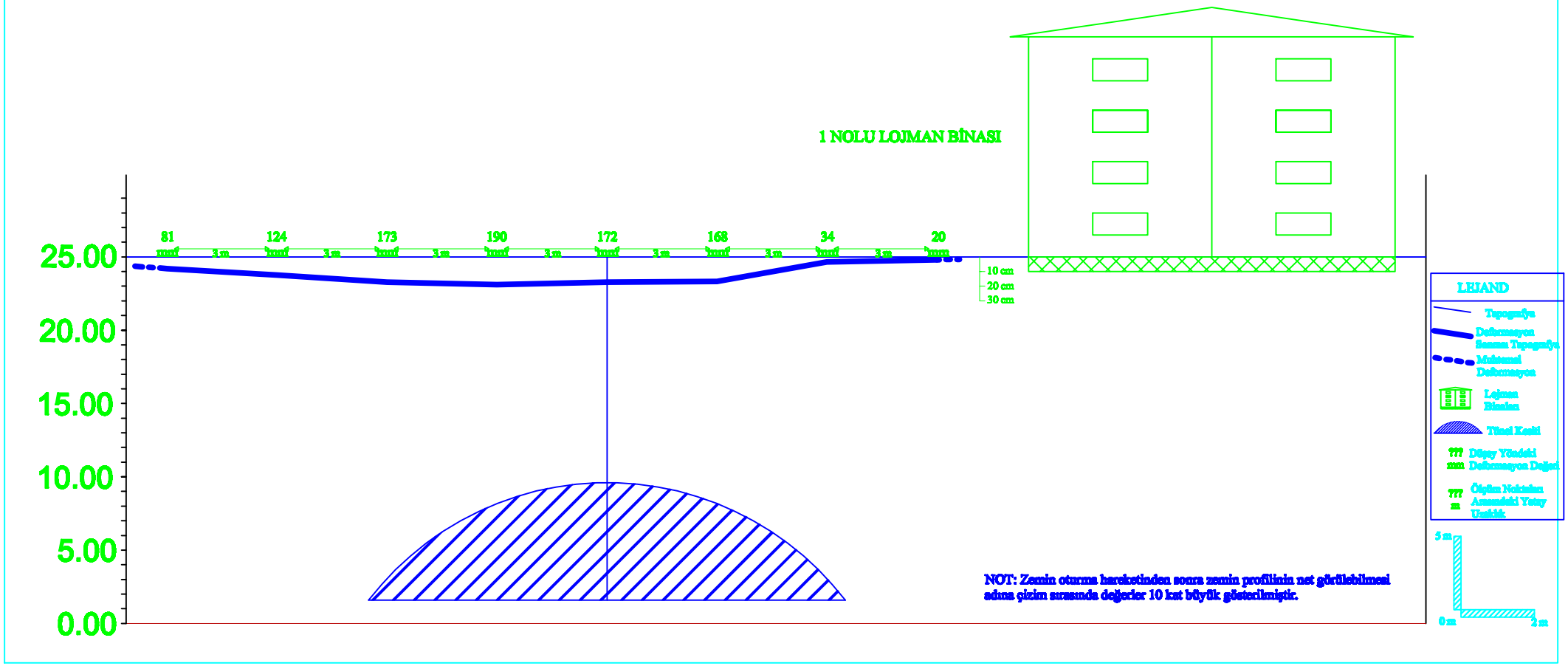


"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+735'DE ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI



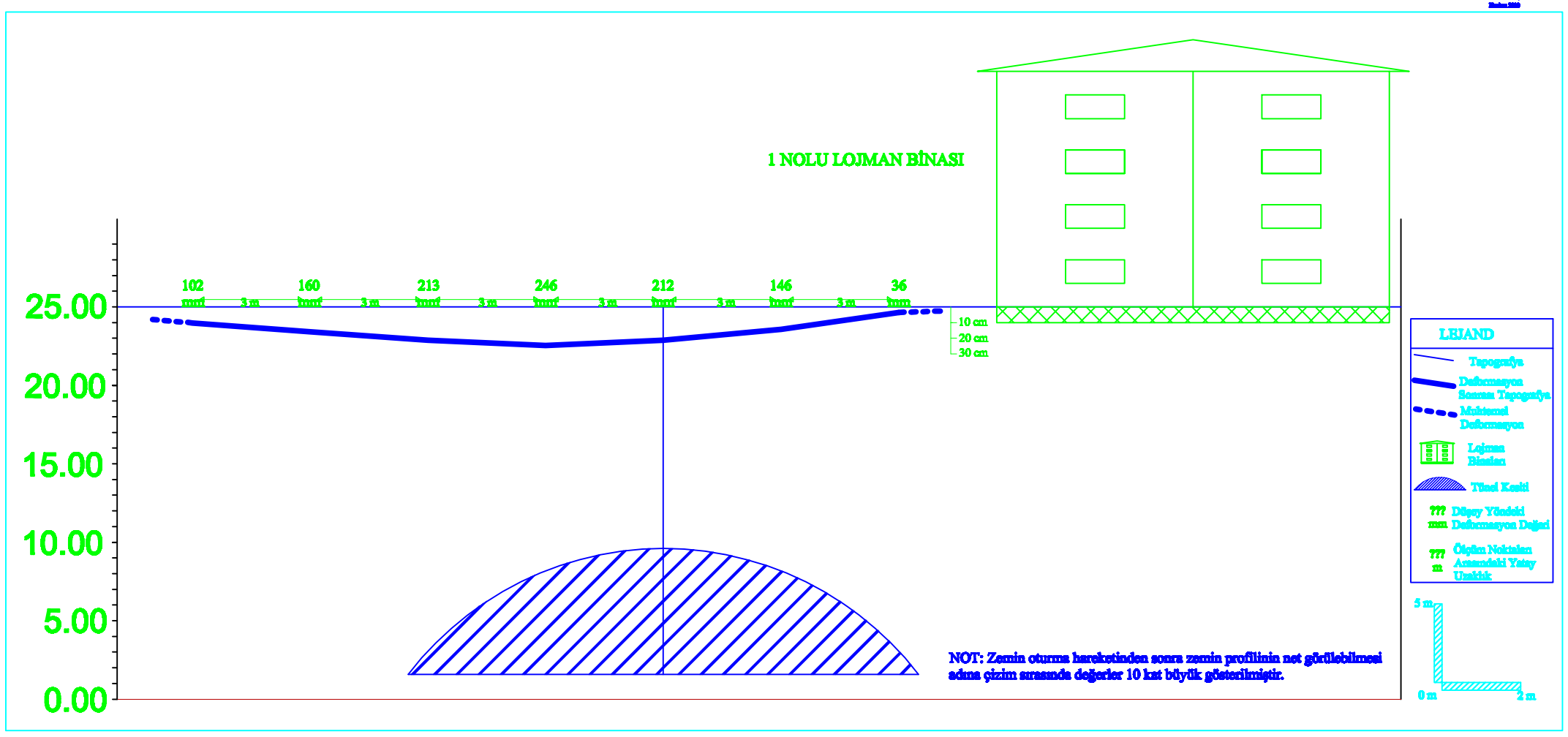
"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+740'DE ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

M. OKAY ŞAHİN



"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+745'DE ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

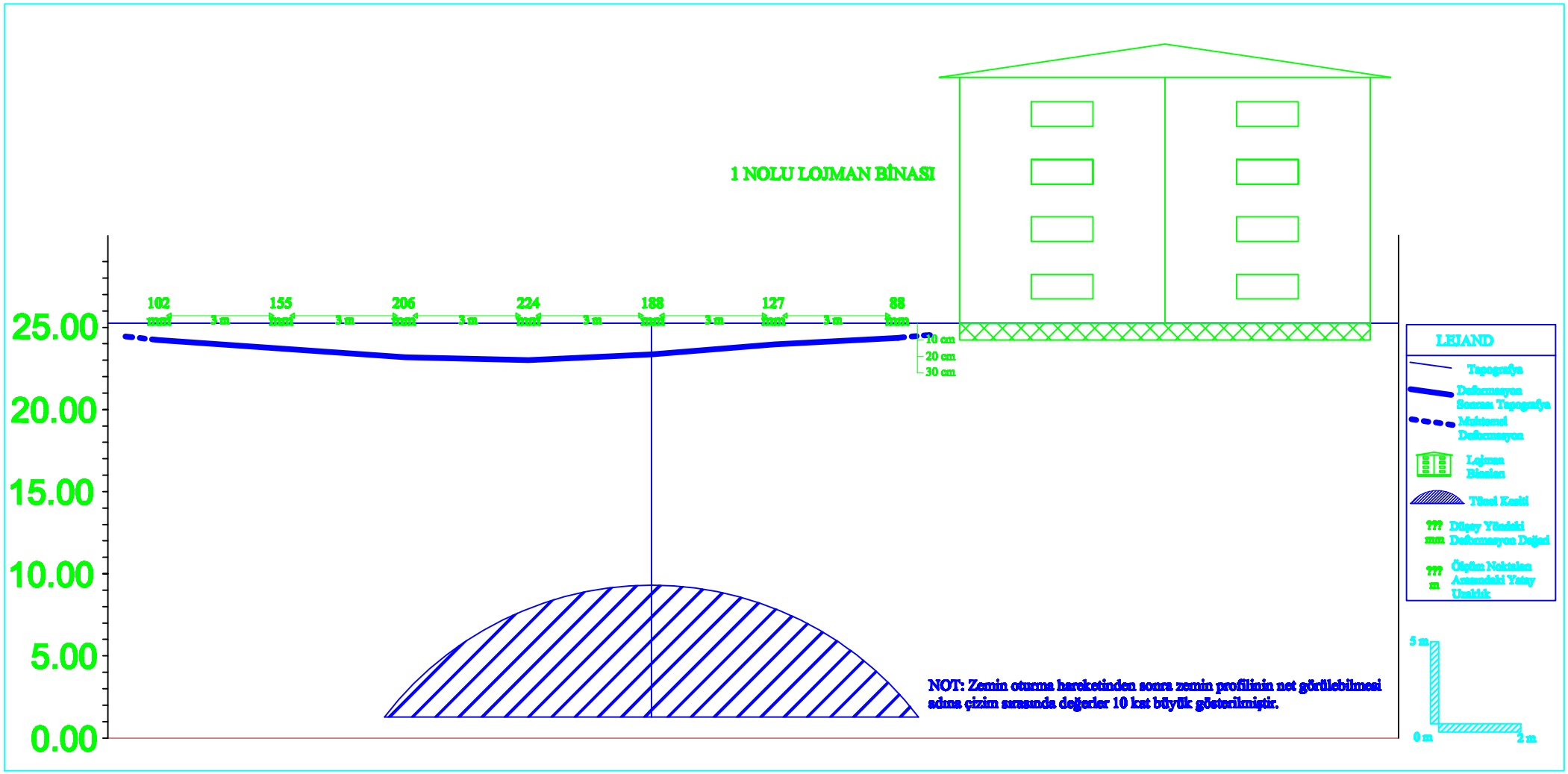
M. OKAY ŞAHİN



NOT: Zemin oturma hareketinden sonra zemin profilinin net görülebilmesi adına çizim sırasında değerler 10 kat büyük gösterilmiştir.

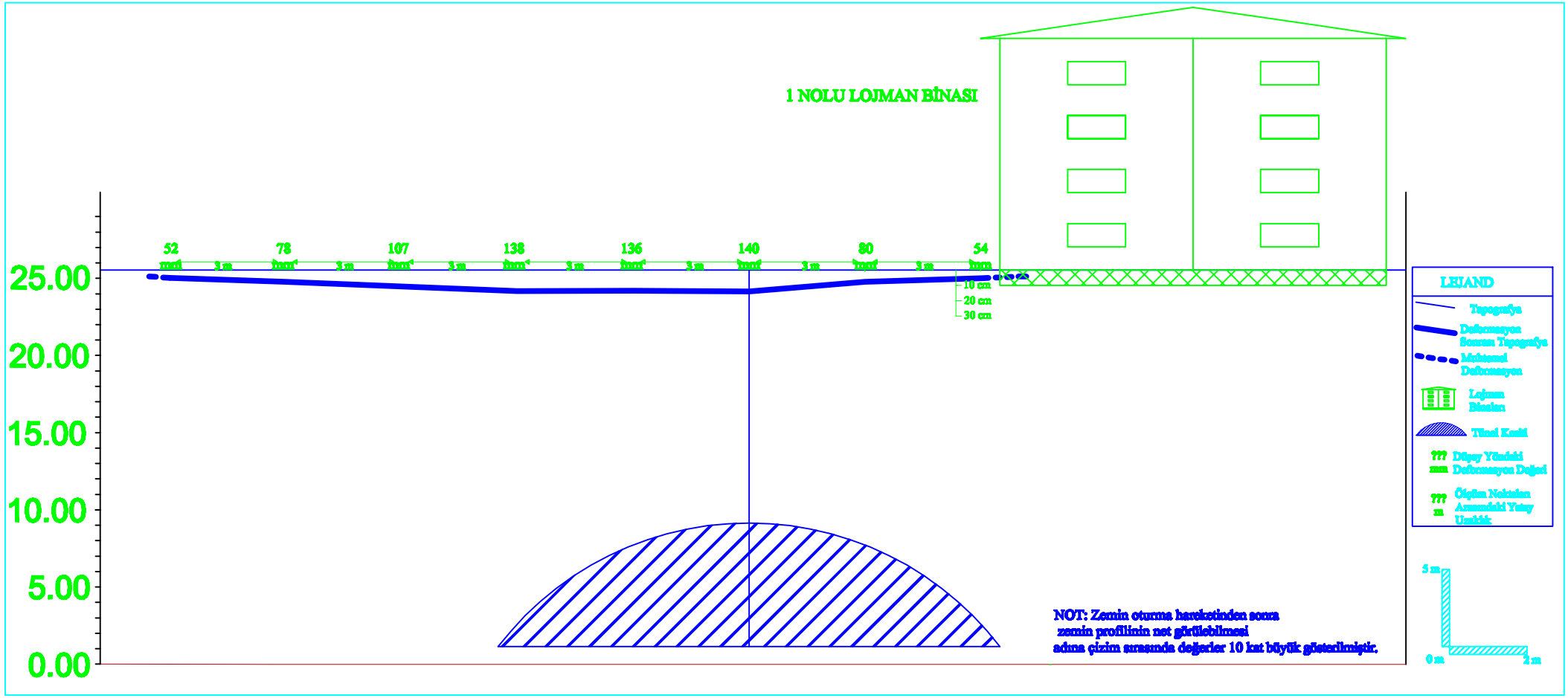
"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+750'DE ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

M. OKAY ŞAHİN

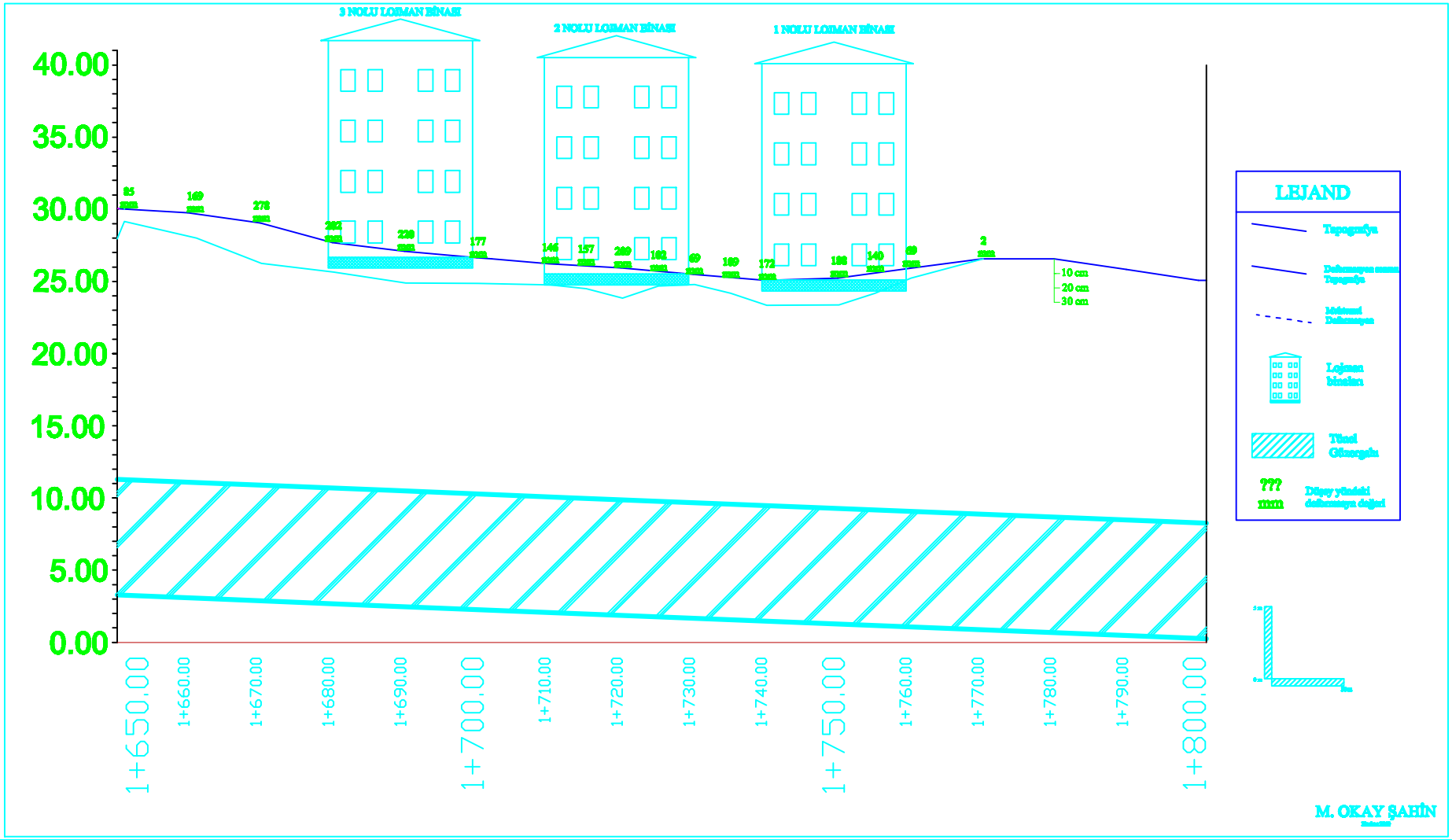


"SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ" T1 TÜNELİ
KM 1+755'DE ENİNE KESİTTE YÜZEY DEFORMASYONLARI

M. OKAY ŞAHİN



SARIYER - ÇAYIRBAŞI KARAYOLU TÜNELLERİ 1+650 - 1+800 KM'LERİ ARASI
BOY KESİTİ VE YÜZEY DEFORMASYONLARI



M. OKAY ŞAHİN

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Okay Şahin 3 Ağustos 1984 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 2002 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2006 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra yine aynı yıl içerisinde yüksek lisans eğitimine Fenbilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı'nda başladı. Haziran 2007 – Mart 2008 tarihleri arasında PM Prestij Mühendislik'te çalıştıktan sonra Nisan 2008'den beri İBB Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü Restorasyon ve Konservasyon Araştırma Laboratuvarında çalışmaktadır.