

İZMİR METROSU TÜNEL GÜZERGAHINDA (ÜÇYOL-ÜÇKUYULAR) OLUŞAN GÖÇÜK KAZI / DESTEK ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ¹

Investigation of Collapse Excavation and Support Studies on the Route of İzmir Metro Tunnel (Üçyol-Üçkuyular)

Yolaç YILDIZ
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Sedat TÜRKMEN
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, İzmir Metrosu 2. Aşama Güzergahı Üçyol-Üçkuyular arasında Yeni Avusturya Tünel Açma Metoduna (NATM) göre inşaatı gerçekleştirilen tünelde 2009 ve 2012 tarihlerinde meydana gelen göçüklerin oluşma mekanizmaları ve bunların projeye olan etkileri ele alınmıştır.

İzmir Metrosu 2. Aşama Güzergahını oluşturan Üçyol-Üçkuyular arası hat 5203,50 m olup, güzergahta beş istasyon bulunmaktadır. Ana tünel projesi güzergahının ortalama %47'si Üst Kretase yaşlı Bornova Karmaşığı (Bornova Flişi), %16'sı Neojen yaşlı Altındağ Formasyonu ve %37'si Yamanlar Volkanitleri içinde yer almaktadır. Tünelin %47 oranındaki bölümü zayıf kaya özelliğindeki sığ tünel karakterindedir.

Metro tüneli inşaatında kaçınılmaz bir şekilde zaman ve mali kayıplara neden olan göçük bölgeleri Phase² (v.7.0) yazılımı ile yeniden modellenerek, göçük olan kısımlarda toplam deformasyon ile gerilme dağılımları analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analizlere göre, Metropol kent içi sığ tünel göçük bölgesinden dolayı tünel destekleme sisteminin daha güçlü destekleme sınıfında yapılması gerektiği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: NATM, Sığ Tünel, Göçük, Tünel Destekleme, Tünel Sayısal Modelleme

ABSTRACT

In this study, the mechanisms of collapses occurred in 2009 and 2012, and their economical-practical impacts that took place during the construction of Second Phase Subway Line between Üçyol-Üçkuyular Districts of İzmir were investigated. The project was planned between the years 2005 and 2014 according to the principles of New Austria Tunnel Construction Method (NATM).

The route of the Second Phase İzmir Subway between Üçyol-Üçkuyular is 5203.5 m long with five stations. The 47% of the main tunnel passed through Upper Kretase Aged Bornova Philish formations, the 16% Neojen Aged Altındağ Formation and the 37% Yamanlar Volcanite formations constituted the remaining part of the tunnel. The 47% of the tunnel is characterized as a shallow tunnel with weak rock properties.

¹ Aynı başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

The collapse that occurred during the construction caused delays and cost increases in the project. The sites where collapses took place were modeled using Phase² (v.7.0) software. The improved alternatives of the excavation support systems are analyzed in this study in order to provide an answer to the question of "Had the project been planned with respect to more adequate support system, would it had been realized in a more productive manne

Key Words: NATM, Shallow Tunnel, Collapse, Tunnel support, Tunnel numerical model.

Giriş

Bu çalışma; İzmir metrosu tünel güzergâhını oluşturan Üçyol-Üçkuyular arasında oluşan göçüğün kazı/destek çalışmalarının incelenmesini kapsamaktadır. İzmir Metrosu Projesi İZRAY kapsamında bulunan İzmir Hafif Raylı Sistemi 2. Aşama'sı, Fahrettin Altay'dan başlayıp, Üçyol'da 1. aşamayla birleşmektedir. Tamamı tünel (derin ve sığ tünel) ile geçilen projede bilet holleri ise aç – kapa şeklindedir. zmir Büyükşehir Belediyesinin "İzmir Hafif Raylı Sistemi 2. Aşama Projesi" ile ilgili ilk çalışmaları, 1999 yılına kadar uzanmaktadır.İzmir metrosu 2. aşama güzergâhı Üçyol-Üçkuyular arasında yapılan tünel kazı destek çalışmaları 2005 yılında başlamış, birincil ve kalıcı desteklemesi 2014 yılı ortalarında 9,5 yıllık uzun bir zamanda tamamlanarak işletmeye açılabilmiştir.

Projenin başlangıcından itibaren karşılaşılan kazı problemleri, şehir içi tünelcilik çalışmalarının yüksek maliyetleri, yeraltı bilinmezlikleri ve yapıdan kaynaklanan beklenmeyen durumlar, büyük zaman kayıplarına neden olmuştur.

Jeolojik özelliklere bağlı yeraltı bilinmezlikleri ve hatalı uygulamalar nedeniyle yaşanan olumsuzlukların minimize edilmesi, proje güzergahında yapılan detaylı Jeolojik, Jeoteknik araştırmalardan elde edilen Jeomekanik veriler ile hazırlanan projelere uygulamalarda tam uyulması, Jeoteknik ölçüm ve gözlemlerin hassasiyetle yapılmasıyla mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, tünel güzergahının jeolojik yapısı ile şehir içi sığ tünelcilik çalışmalarında karşılaşılan göçük olayları önemli örneklerden olup, yapılan sağlamlaştırma enjeksiyonu (Konsolidasyon, dolgu, mikroçimento, kimyasal vs.) çalışmalarıyla geçilen bu bölgelerin destekleme modelleri ve maliyet sonuçları, İzmir Metro inşaatı ikinci etap proje güzergahının devam ettirilmesi aşamalarında, buradan edinilen deneyim diğer tünelcilik faaliyetlerine nasıl devam edilmesine örnek oluşturacaktır.

Projenin yapım aşamasında tamamı derin ve sığ tünel olarak geçilen Üçyol-Üçkuyular arasındaki 5203,5 m'lik (km:0+180,159~5+383,65) güzergâhda farklı nedenlerden dolayı deformasyonlar ve göçükler meydana gelmiştir. Çalışma alanının sığ tünel olarak adlandırılan bu bölümlerinde projenin yapımını ve çevreyi etkileyen göçük olaylarından en önemlileri km: 3+402,50 - km: 3+411,35 ile km: 4+709 - 4+714 arasında oluşandır.

Materyal ve Metot

Materyal

İzmir Metrosu 2. Aşama Projenin yapım aşamasında tamamı derin ve sığ tünel olarak geçilen Üçyol-Üçkuyular arasındaki 5203,5 m'lik güzergâhda farklı nedenlerden dolayı deformasyonlar ve göçükler meydana gelmiştir. Projenin yapımını ve çevreyi etkileyen bu göçük olaylarından en önemlileri km: 3+402,50 - km: 3+411,35 ile km: 4+709 - 4+714 arasında Bornova Karmaşığı içinde oluşandır.

Kazı destek çalışmalarında tünel aynasındaki Kaya Kütle Kalitesi Q ve RMR-89 sınıflama sistemi (Barton ve Grimstad, 1994, ve Bieniawski, 1989) dikkate alınarak tünel desteklemesi için Kaya Sınıfı ÖN B 2203 (Ekim 1994 ve Sonrası) kullanılmıştır. Saha gözlem ve tanımlamalar ISRM (1981)'e göre yapılmıştır.

İzmir metrosu 2. aşama Üçyol-Üçkuyular güzergahını tortul ve volkanik kökenli kayalar oluşturmaktadır. Temeli Üst Kretase yaşlı birim olan Bornova Karmaşığı oluşturur. Bornova Karmaşığı'nı açısız uyumsuzlukla, Altındağ Formasyonu ve bu formasyonu da Üst Miyosen volkanizmasının ürünü olan Yamanlar Volkanitleri, volkanik kayaları (tuf, aglomera, andezit) uyumsuz olarak gelir (Şekil 1). Güzergahta oluşan önemli göçük olaylarının yaşandığı bölgeyi karakterize eden Bornova Karmaşığının (Bornova Filişi) alt birimini oluşturan grimsi siyah renkli grafitik şeyl içinden tünelde alınan (ISRM, 1981) örselenmemiş blok numune üzerinde, modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere laboratuvar da kaya üç eksenli deneyi (TS 1900) yaptırılmıştır.

Metot

Çalışma, 4 aşamada oluşturulmuştur. İlk aşamada kaynak taraması ve bölgede daha önce öncesi ve yapımı süreci içinde yapılan tüm araştırma sondajları, arazi ve laboratuvar deneyleri, mühendislik Jeolojisi çalışmaları, çalışma raporları ve Jeoteknik çalışma verileri, yapılmış yayınlar incelenerek veri toplama işlemi tamamlanmıştır.

Çalışmada göçüklerin bilgisayar yazılımıyla modellenmesi yapılmıştır. Phase² sayısal modelleme programı; kaya veya tutturulmamış zeminlerde, yeraltı açıklıkları (galeri, tünel vb.) veya yerüstü kazılarının (şev, temel vb.) gerilme, deformasyon ve duyarlılık çözümlemelerinde kullanılan iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir yazılımdır. Mühendislik projelerinde destek tasarımı, sonlu elemanlar istatistiksel metodu, şev stabilitesi veya olasılık analizi gibi çok geniş bir yelpazede kullanılabilir. Karmaşık ve çok aşamalı modeller (zayıf ve eklemli kaya kütleleri içerisinde açılan tüneller, yeraltı enerji santralleri, açık maden ocakları vb.) kolayca oluşturulabilir ve hızlı bir şekilde analiz edilebilir. Bu analiz yöntemleri günümüzdeki jeoteknik uygulamalarda daha sıkça yer almakta ve uygulamacıların önünü açmaktadır.

Araştırma Bulguları

Çalışmanın bu bölümünde; Mühendislik Jeolojisi verileri, yapılan jeolojik ve jeoteknik değerlendirmeler, açıklamalar ve kaya sınıflamaları, sondaj kütükleri, laboratuvar test sonuçları, jeoteknik ölçümler, tablolar ve fotoğraflar, ikinci

bölümde listelenen proje öncesi ve proje yapım aşamasında yapılan tüm araştırma raporları ile çalışmaların günlük saha raporlardan yararlanılarak verilmiştir (STFA, 2006).

İzmir metrosu 2. aşama güzergahını oluşturan Üçyol – Fahrettin Altay (Üçkuyular) arasında ve Bornova Karmaşığı içinde oluşan göçükle ilgili, tünel kaya sınıflamaları, tünel kazı/destek çalışmaları, genel jeolojik özellikler, kazılar sırasında yapılan incelemeler göz önüne alınmıştır.

Tünelde oluşan göçükler sonrasında yapılan ilave destekleme çalışmaları ve projenin tamamlanmasında yaşanan kayıp zamana bağlı olarak artan maliyet ile ilgili Karayolları Genel Müdürlüğü Birim Fiyat Analizi (2009)'nden yararlanılarak kısa maliyet çalışması verilmiştir.

T1 kesit tünel km: 4+709.00 ~ km: 4+714.70 arasında oluşan göçük için aynı özelliklerdeki Bornova Karmaşığı içinde NATM destekleme sınıfı Tip1 C1, Tip1 C2 ve Tip1 C3 göre, *Genelleştirilmiş Hoek – Brown Yenilme Ölçütü* (GHB) kullanılarak, karma / melez (hibrid) yöntem esasına dayalı olarak çalışan Phase² (v7.0) programı sayısal modellemeleriyle gerçekleştirilmiş ve yorumlanmaya çalışılmıştır. Kaya kütle değerlendirmeleri ve parametreleri (m, S, c, ϕ , Em vb.) GSI kullanarak bilgisayar programı RocLab 1.0 ile yapılmıştır.

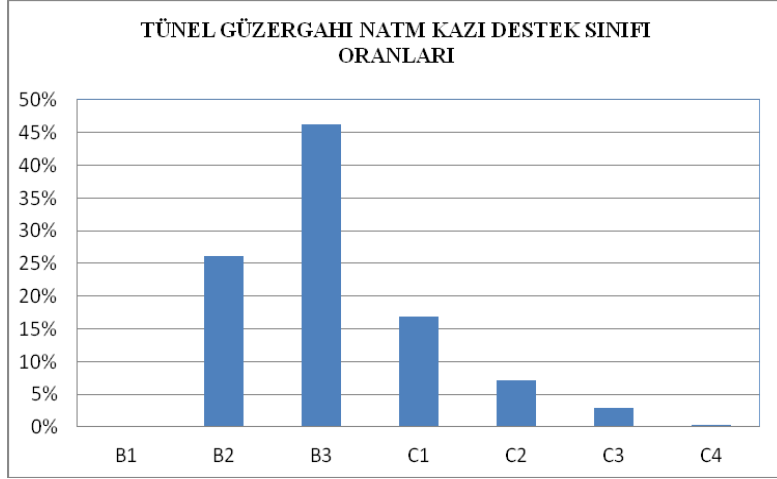
İzmir metrosu 2. aşama projesi, Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ana ilkelerinde projelendirilmiş ve kazı destek çalışmalarında tünel aynasındaki Kaya Kütle Kalitesi Q-sınıflama sistemi (Barton ve Grimstad, 1994) ve Kaya Kütle Puanlama Sistemi (Rock Mass Rating System-RMR Bieniawski, 1989) esas alınarak tünel desteklemesi, NATM Kaya Sınıfı ÖN B 2203 (Ekim 1994 ve sonrası)' a göre yapılmıştır.

Tip1 ana hat tüneli, Tip2 İstasyon Peron Tünelleri, Tip 3 ve Tip 4 merdiven ve bağlantı tünellerinin inşasında kazı ve destekleme çalışmaları B1, B2, B3, C1, C2, C3 ve C4 kazı destek sınıfında (NATM - ÖN B 2203 Ekim 1994 ve Sonrası) yapılmıştır. Toplam 5203.50 metre olan güzergah boyunca tünelde uygulanan kazı destek sınıfında açılan tünel uzunlukları B1=10.05m, B2=1304.59, B3=2311.42 , C1= 843.18, C2=356.97 C3=149.10 ve C4=18.28 metredir. Ayrıca oranları grafikte verilmektedir (Şekil 2).

Tünel güzergahı boyunca Tip1 ana hat tüneli inşasında uygulanan B1, B2, B3, C1, C2, C3 ve C4 kazı destek sınıfında (NATM - ÖN B 2203 destek sınıfı) yapılmıştır.

Güzergahtaki Kayaçların Mühendislik Özellikleri

Tünel güzergâhını oluşturan Üçyol – Fahrettin Altay (Üçkuyular) arası bölgeyi kapsayan, proje öncesi ve proje uygulama aşamaları esnasında yapılan bir çok araştırma çalışmaları ve mühendislik jeolojisi çalışmaları ile ilgili raporlar ikinci bölümde (eski çalışmalar) içerikleri açıklamalarıyla verilmiştir. Bu kapsamda İzmir metrosu 2. aşama güzergahında değişik amaçlar için 137 adet araştırma sondaj kuyusu ve toplam 3693 m sondaj yapılmıştır (Çizelge 1).



Şekil 1 Tünel güzergahı NATM kazı destek sınıfı oranları

Çizelge 1.İzmir metrosu 2. aşama güzergahında yapılan tüm araştırma sondajları özeti (proje raporlarından düzenlenmiştir)

İZMİR METROSU II. AŞAMA İNŞAATI GÜZERGAHINDA YAPILMIŞ OLAN ARAŞTIRMA SONDAJLARI ÖZETİ			
1992-2011 TARİHLERİ ARASINDAKİ ARAŞTIRMA VE SONDAJLAR	SONDAJ	SONDAJ SAYISI	TOPLAM BOY(m)
DOĞAN HARİTA-İGT RAP. 1992(I. AŞAMA) / ZETAŞ	AS	8	215
İTÜ I.AŞAMA MÜH. JEO. RAP. VE HARİTALARI(1993) / KASKTAŞ	S	41	1442,52
YÜKSEL PROJE ÖN JEOLOJİK RAP.1997(ÖNCEKİ SONDAJLARDAN)			
F.ALTAI- DEP HAT JEOTEKNİK RAPORU(2005) / EFOL	ESK	4	115
GEDİK-TÇT 2000 RAPORLARI / GEDİK SONDAJ	SK	23	600,6
GEDİK MÜHENDİSLİK VE MÜŞAVİRLİK - 2006 / GEDİK SONDAJ	SKB	8	138,8
D.E. ÜNV. İÇİN GÜZERGAH DEF.M. PAP. 2006/ EGETEMEL	PM, PMT	21	367,5
EGE TEMEL VERİ RAPORU EKLERİ-2006 / EGETEMEL	ASK	12	270
EGE TEMEL EK SONDAJ (MEGA PROJE İÇİN)-2009 / EGETEMEL	GSK, PSK, FSK	13	355
SİGMA - BOREGE / GEDİK SONDAJ - 2010	PESK, FESK	7	189
TOPLAM		137	3693,42

TÜNEL DESTEK TİPİ:

Bölgedeki binalar ve yoldaki beklenilmeyen oturmalar nedeniyle T1 Kesitli Yaklaşım tüneline C3 destek sınıfı uygulanmıştır.(0,60 m raund aralıklı NPI 120

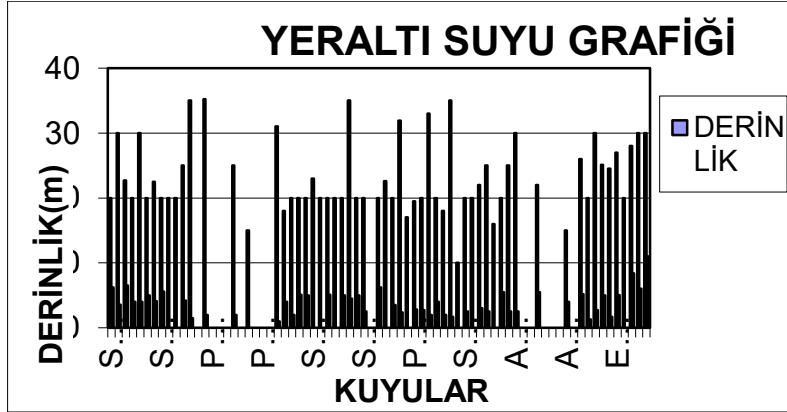
profil iksa+30 cm püskürtme beton kalınlığı+1. kat Q335/335ve 2.kat Q221/22 hasır çelik+PG tipi bulon+4" enjeksiyonlu boru süren)

Yeraltı Suyu Durumu

Yeraltı su seviyesinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan incelemeler sonucunda önceki sondaj verileri ve ilave olarak yapılan sondaj verileri değerlendirildiğinde, Üçyo-Üçkuyular bölümünde güzergahta gözlenen ortalama yer altı su seviyesi 2,50 metre ile 10 m arasında değişmektedir. Yeraltı su seviyesi kotunun planlanan "ray kotu" nun üzerinde olduğu görülmektedir.

Tünel güzergahında fazla su geliri gözlenen bölümlerin ilki km: 1+740' da oluşan göçük bölgesindedir. Burada tabanda Altındağ Formasyonu ve üzerine gelen Yamanlar volkanitleri dokanağından başlangıçta 3-4 lt/sn su geliri varken sonrasında azalmıştır. Güzergahın en çok su geliri gözlenen kısmı ise km: 3+179 oluşan göçük akma bölgesi öncesi km'lerde 6-8 lt/sn'ye kadar çıkan su gelirleri gözlenmiştir. Bu bölgelerin dışında ise ayna ıslak, damlayan, akan bir yapıya sahip olup, akmlar tavan ve yan duvarlarda meydana gelmektedir.

İzmir metrosu 2. aşama projesi güzergahında çalışmanın konusu ve önemli göçüklerin olduğu Bornova Karmaşığı içerisinde yeraltı su seviyesi, açılan tüm araştırma sondajları ve piezometre kuyularından elde edilen yeraltı suyu düzeyleri verileri derinlikleri grafiklere işlenmiştir (Şekil 2).



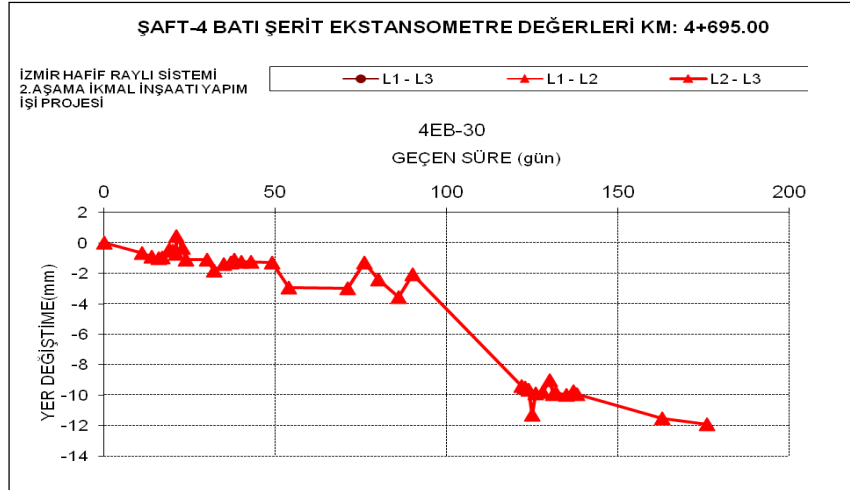
Şekil 2 Yeraltı Suyu Grafiği

Km: 4+709 Göçük Bölgesinde Oluşan Deformasyonlar

İzmir metrosu 2. Aşama güzergahında (Üçyol-Üçkuyular) oluşan göçük bölgelerinden km: 4+709 ~ 4+714,70 arasındaki bölge civarında yüzeyde, binalarda ve tünel içinde deformasyonlar izlenmiştir. Göçük bölgesi yüzeyde yolda oturma ölçüm değerleri sonuçlarına göre oturma farkları -18 mm'yi bulan değerler elde edilmiştir.

Km: 4+709 ~ 4+714,70 arasında oluşan göçük öncesi tünel içinde alınan konverjans ölçüm değerleri ve konverjans grafiğinde km:4+695'de 12 mm'ye kadar görülen anomaliler bulunmuştur.

Ayrıca göçük bölgesi öncesi km:4+695 tünel içi konverjans ölçüm değerleri ve grafiği verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Km: 4+695 Tünel içi konverjans grafiği

Tünelde Oluşan Akma ve Göçükler

İzmir metrosu 2. aşama inşaatı projesi yapım çalışmalarında, 25.03.2005 tarihinden 20.12.2013 tarihine kadar, Üçyol-Üçkuyular arası tünel güzergahında birincil kazı/destekleme çalışmaları esnasında, değişik boyutlarda, farklı kilometrelerde, farklı nedenlerden dolayı projeyi zora (risk) sokacak göçük olayları meydana gelmiştir.

Risk oluşturan göçüklerde alınan ilk önlemler ve göçüklerin geçilebilmesi için uygulanan ilave güçlendirme (enjeksiyon yöntemi v.s.) ile yapılan kazı destek çalışmaları, zaman ve maliyet yönünden büyük kayıplara neden olanlar km: 3+402,50 ~ 3+411,35 ve km: 4+709,00 ~ 4+714,70 arasında oluşanlar daha detaylı incelenmiştir.

Peron Tüneli (T2) Km:3+411,35 - 3+402,50 Arası Göçük

Diyafram duvarlı Kapa-Aç (Top-Down) imalatlarının bittiği, ancak ara katlarda kazıların devam ettiği sırasında diyafram duvar altında Poligon istasyonu T2 kesitli peron tünelinde kazı/destekleme çalışmaları NATM Tip2 C2 sınıfta iksa üzerinden sulu sistem delgi ile süren çakımı imalatların ardından 21.03.2012 tarihinde kazıya geçildiği sırada km:3+411,53'deki tünel aynası omuz bölgesinden başlayan hareketlenme ardından çatlama ile birlikte göçük meydana gelmiştir. Bu göçükle tünel içine akan malzeme, aynadan itibaren geriye doğru yaklaşık 11 round

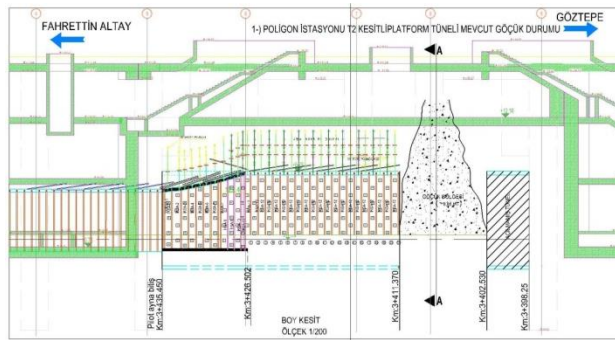
boyunca tünel kesitini tamamen kapanmış ve bir iş makinesi göçük altında kalmıştır (Şekil 4). Göçük durum kesiti Şekil 5 'da olduğu gibidir.Yapılan ilk müdahaleyle püskürtme beton ve çelik hasır takviyesiyle ayna stabil hale getirilmiştir.



Şekil 4. Göçük öncesi km:3+403 tünel aynası durumu

Nedenleri: Kahverengi-siyah renkli, zayıf-çok zayıf özellikteki şeyler (Bornova Karmaşığı) içinde ve örtü kalınlığının az ve diyafram duvar tabanı ile sınırlamış olması, kazı destek sınıfının en az Tip2 kesitli tünelde C3 olması gerekirken, C2 sulu sürenli delgisi uygulanması, ilerleme kazı adımlarına ve destek sıralamasına uyulmaması, zamanında desteklemenin yapılmaması.

Etki: Diğer istasyon top-down kazı ile beraber de olsa tünel kazı desteklemesinde oluşan bu göçük olayının neden olduğu zaman kaybı 1 yılı bulmuştur.



Şekil 5. Poligon istasyonu ve peron tüneli (T2) göçük durumu kesiti

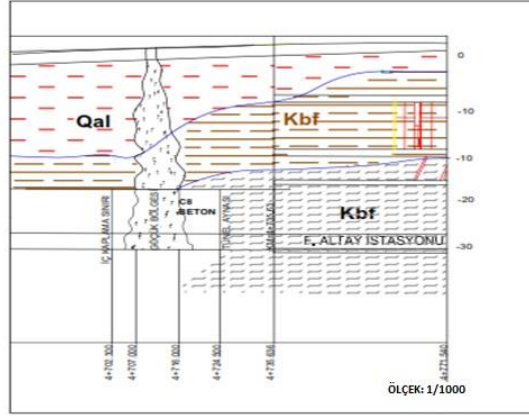
Ana Hat Tüneli (T1) Km:4+709 - 4+714,70 Arası Göçük

Anahat tüneli (T1), Bornova Karmaşığının (Bornova Flişi) grimsi siyah renkli grafitik şeyler (grafitik şist) içinde km: 4+725.50 'de kazı/destekleme çalışmaları C2 sınıfında yapılması esnasında km: 4+709.00 ile 4+714.70 arasında 04.05.2009 tarihinde tünel kapanması şeklinde göçük oluşmuştur. Göçük bölgesinin jeolojik kesiti (Şekil 4.14) ve göçük öncesi tünel aynası ve km: 4+695.00 'de çatlamlar başlaması ile önlemi olarak topuk pasası yığını oluşturulması Şekil 7'de görülmektedir.

Nedenleri:

- Bornova Karmaşığının(Bornova Flişi) grimsi siyah renkli grafitik şeyller (grafitik şist) içinde km: 4+725.50 'de kazı/destekleme çalışmaları C2 sınıfında yapılmaya devam edilmesi
- Kazı adımlarına ve destekleme zamanları ile alt yarı kazılarının en yakın mesafede geçici invert ring kapatma-ring clousure) uyulmasının zamanında yapılmaması
- Örtü kalınlığının 13 m gibi sığ olması
- Tünel aynasındaki tünel grimsi siyah renkli grafitik şeyllerin çok zayıf kaya özellikte olması
- Göçük öncesi, aletsel ve gözlemsel uyarıcı ani değişimlerin (anomaliler) izlenmesine rağmen aynı kazı/destek tipi ve sınıfında ilerlenmesi
- Kazı destek adımlarına uyulmaması
- Yüklenicinin, ihale sistemindeki şartlardan dolayı(anahtar teslimi / götürü bedel) daha maliyeti düşük destekleme sistemlerinde ilerlemeye ısrarla devam etmesi

Etki: Tünel kazı desteklemesinde oluşan bu göçük olayının neden olduğu çevresel etki, özellikle yüzeyde ana yolun trafik akışının kesilmesi, çevrede sosyal yankılar uyandırmıştır. Ayrıca, yüklenicinin, Kamu İhale Kanunu ihale sistemindeki şartlardan dolayı, anahtar teslimi / götürü bedel yaptığı tünel kazı destek çalışmalarında maliyetlerini düşük tutmaya çaba sarf etmesi, ilerlemede zaman kaybı ve mali artış ile iş programına uyamaması sonucunda işi tamamlayamayıp fesih ile sonuçlanmıştır.



Şekil 6. Göçük bölgesi km: 4+707 ~4+724.50 arası jeolojik boy kesiti

Derin ve sığ tünel olarak geçilen tünel güzergahının Üçyol - Üçkuyular arasında farklı yerlerinde oluşan göçük ve akmlar Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 7. Km: 4+709 'da tünelde göçük aynasının püskürtme betonla emniyete alınmış durumu

Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, İzmir Metrosu 2. Aşama Projesinin genel özellikleri ve güzergah hakkında mühendislik jeolojisi bilgileri verilmiş olup, Tünel olarak projelendirilmiş olan güzergahın ortalama %47'si Üst Kretase yaşlı Bornova Karmaşığı (Bornova Filişi), %16'sı Neojen yaşlı Altındağ Formasyonu ve %37'si Yamanlar Volkanitleri içinde açılan tünelin %47 oranındaki bölümünde üst kısım plastik kemerlenmeyi sağlayacak bir örtü kalınlığı olmayan ($H_{örtü} \leq (2 \sim 3)L_{tünel}$, $L_{tünel}$ = tünel genişliği) ve zayıf kaya özelliğindeki sığ tünel şeklinde kazı

desteklemesi tamamlandığı bilgisi verilmiştir.

İzmir metrosu 2. aşama Güzergahını oluşturan Üçyol-Üçkuyular arası hat 5203,5 m olup, Ana hat tünelinin tamamı delme tünel ve ekskavatör ile kazılmıştır. İzmirspor, Hatay ve Göztepe İstasyon peronları delme, bilet holleri aç-kapa (cut & cover) tünelleri şeklindedir. Poligon İstasyonu peronu delme tünel, Fahrettin Altay İstasyonu kazı/destek sistemi ile buradaki yapı, kapa-aç (top-down) tekniği ile yapılmıştır.

Projenin yapım aşaması öncesi verilen “Güzergah Jeolojisi ve Jeoteknik Profili” üzerinde önceden yapılan tahmini kaya kütle sınıflamaları, NATM ana ilkelerinde gerçekleştirilen kazı/destek çalışmaları sırasındaki saha gözlemleri ve ilave araştırma verileri, yer altı su gelirlerinin yerleri, göçük ve akma oluşan bölgeler ile güncelleştirilerek çizilmiştir (Ek-1).

Kazı destek çalışmaları esnasında tünel aynasından elde edilen veriler ile belirlenen Q ve RMR değerlerine göre kaya NATM kazı destek sınıflamasında kaya sınıflaması tünel kazısının parçalı şekilde ya da ayna ön sağlamlaştırma ve şemsiye tipi koruyucu boru kemer (Umbrella Arc) ile yapılması gerekebilmektedir.

Ayrıca şehir içi yapılaşmanın yoğun olduğu bölümlerde ve tünel üzeri örtü kalınlığının az olduğu zayıf kaya özellikteki sığ tünelde NATM kazı destek sınıfında daha emniyetli ve daha güçlü destekleme gerektirecek bir alt kazı destek sınıfında tahkimat yapmak daha maliyetli ancak daha emniyetli olabilmektedir.

Km: 4+ 709.00 ~ 4+ 714.70 arası göçük bölgesinin çimento enjeksiyonu ile sağlamlaştırılması sonrası, tünel içine yeraltı suyu girişi engellenmiş ve daha emniyetli kazı destek çalışmasıyla göçük bölgesi geçilmiştir.

Tip1 C3 kazı destek yöntemiyle geçilen Km: 4+ 709.00 ~ 4+ 714.70 arası göçük bölgesinin bilgisayar destekli sayısal modellemesi yeniden yapılarak önce Tip1 C1, sonra sırasıyla aynı bölüm Tip1 C2 ve Tip1 C3 kazı destekleme modellemesiyle analiz edilerek elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Sonuç olarak, Bornova Karmaşığı içinde sığ tünelde Tip1 C2 kazı destek sınıfı çalışmaları aşamasında oluşan deformasyon ve göçüğün, kazı destek sınıfı çalışmalarının en az bir alt sınıf Tip1 C3 kazı desteklemeyle sorun yaşanmayacağı ortaya konmuştur.

Tip1 C1 ve Tip1 C2 kazı destek sayısal modelleme analizlerinde makaslama gerilmesi, düşey ve yatay yer değiştirme ve toplam yer değiştirmelerde, alt yarı bulonlarda gerilmelerin olması da gösteriyor ki göçük bölgesi öncesindeki tünel yan duvarında çatlamların ve deformasyonların olması desteklemenin (Tahkimat) yetersiz kaldığının göstergesidir.

Ayrıca; Tip1 C1, Tip1 C2 ve Tip1 C3 kazı destek sayısal modelleme analizlerinde elde edilen verilere göre üç destekleme sınıfında da Tip1 tünel kesiti etrafında güvenlik faktörü (SF) 1'in altında kırmızı renge doğru geçiş göstermesi hala kemer beton kaplaması yapılmamış tünelde risk olduğunu göstermektedir.

Maliyet olarak; göçük bölgesinde yeniden Tip1 C2 NATM kazı destek sınıfının bir alt destekleme sınıfında Tip1 C3 NATM kazı destek maliyetine ilave sağlamlaştırma enjeksiyonu maliyeti eklendiğinde ortalama 30 % bir artış olmaktadır.

Projenin gerçekleştirilmesi sürecinde güzergahta km:4+709.00 ile 4+714.70 arasındaoluşan önemli göçükte yapılan tüm çalışmalar sonrası projenin kayıp zamanı 3 yıl 4 ayı bulduğu ortaya konmuştur.

Jeolojik özelliklere bağlı yeraltı bilinmezlikleri ve hatalı uygulamalar nedeniyle yaşanan olumsuzlukların minimize edilmesi, proje güzergahında yapılan detaylı Jeolojik, Jeoteknik araştırmalardan elde edilen Jeomekanik veriler ile hazırlanan projelere uygulamalarda tam uyulması, Jeoteknik ölçüm ve gözlemlerin hassasiyetle yapılmasıyla mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Barton, N.R., Lien, R. Ve Lunde, J. (1974). Engineering Classification Of Rock Masses For The Design Of Tunnel Support. *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Science*, 4, 189-239.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. New York: Wiley, 251.
- Grimstad, E. Ve Barton, N. (1993). Updating The Q-System For Nmt. In: *Proceedings Of The International Symposium On Sprayed Concrete, Fagerne, Norway, Norwegian Concrete Association, Oslo, Norway*, 20.
- Hoek, E., Wood, D. Ve Shah, S. (1992). A Modified Hoek-Brown Criterion For Jointed Rock Masses. *Proceedings Rock Characterization Symposium. International Society For Rock Mechanics: Eurock '92*, (Ed. J.A. Hudson), 209-214. London: British Geology Society.
- İzmir Büyükşehir Belediyesi (1997). *İzmir Hafif Raylı Sistemi 2. Aşama 2. Kısım Ön Jeoteknik Değerlendirme Raporu*.
- Kun, M. (2010). *Zayıf Kayalarda Ve Faylı Zonlarda Tünel Açma Tasarım Ve Yapım Gereksinimlerinin Araştırılması Ve Çözümlemesi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Rabcewicz, L., (1964). The New Austrian Tunneling Method. *Water Power*, 19-24, 453-457.
- Sönmez, H. Ve Ulusay, R. (1999). Modifications To The Geological Strength Index (GSI) And Their Applicability To Stability Of Slopes. *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences*, 36 (6), 743-760.
- STFA Mühendislik Anonim Şirketi (2006). *İzmir Hafif Raylı Sistemi Projesi 2. Aşama İnşaatı Güzergah Jeolojisi Haritası Ve Jeoteknik Profili*.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H.R. Ve Skinner, E.H. (1972). Support Determination Based On Geologic Predictions. *Proceedings Of North American Rapid Excavation Tunneling Conference*, Chicago, (Eds K.S. Lane And L.A. Garfield), 43-64. New York: Society Mining Engineers, American Institution Of Mining And Metallurgy Petroleum Engineers.