

SARIYER-KILYOS BAĞLANTI YOLU TÜNELİ

GEÇİCİ DESTEK SİSTEMİ ANALİZ VE YAPIM ÇALIŞMALARI

Süleyman Onur KARACA¹, Meltem DOĞAN KARACA², Osman Murat SARSILMAZ³

¹İnş. Yük. Müh., IC İçtaş İnşaat, İstanbul, Türkiye

²İnş. Yük. Müh., IC İçtaş İnşaat, İstanbul, Türkiye

³İnş. Yük. Müh., SWS Global Mühendislik Proje Taahhüt San. ve Tic. A. Ş., Ankara, Türkiye

ÖZET

Kuzey Marmara (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Otoyolu projesi, Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi Yap-İşlet-Devret (YİD) modeli ile Yapılması, İşletilmesi, ve Devir işi kapsamında, iş artışı olarak ihale edilen Sarıyer-Kilyos Bağlantı yolu dahilinde, 1 adet yaklaşık 6900m uzunluğunda çift tüp tünel ve bağlantı yolları bulunmaktadır. Sarıyer-Kilyos tüneli, Sarıyer ve Boğaz trafiğinin, Kuzey Marmara Otoluna bağlanması amacı ile hayata geçirilmiştir. Proje bitiminde Sarıyer'den Kilyos' ulaşım 5 dakika sürecek olup, Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde imalatı devam eden tünel tamamlandığında yaklaşık 13836m toplam çift tüp tünel uzunluğu ile, şehir merkezinde inşa edilen tüneller arasında hatırı sayılır bir yeri olacaktır.

Bahsi geçen tünelin, kuzey bölgesinde 4230 metre ve güney bölgesinde 500 metre için yapım yöntemi NATM, güney bölgesinde ise 8750m TBM olarak seçilmiştir. TBM kurulumu için, sol ve sağ tüpte, tünel boyunun yaklaşık orta kilometrelerinde, 30m genişlikli, 25m yükseklikli ve 70mt derinlikte bir Cavern yapısı planlanmış olup, sol tüp üzerindeki NATM yöntemi ile inşa edilmiş olup, sağ tüp üzerindeki için imalatlara başlama hazırlığı yapılmaktadır. NATM kazı çalışmalarına lojistik ve mobilizasyon açısından destek verebilmek için, sol tüp km 5+700 de 400m uzunluğunda, bir yaklaşım tüneli de açılmıştır.

Tünel açma makinesi olarak yaklaşık 13.65mt çapında, Zemin Denge Basıncılı (EPB), maks. itme gücü 219861kN , maks. koparma torku 61285kN.m, statik basıncı 10bar olan ve kazı yaparken durmadan segment taşı montajı yapabilecek dünyada bu zemin tipinde ilk defa kullanılacak "Continuous mining" özelliği olan bir makine tercihi yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, yalnızca, kuzey bölgede imalatı tamamlanmış ana tünel üzerinde yer alan NATM tünellerine dair, saha jeolojik yapı, zemin etütleri, geçici destek elemanlarının hesabı ve sahada uygulanan destek elemanlarını inceleyip, projelendirme aşamasında öngörülen kaya sınıfı ile yapımı tamamlanan tünelde karşılaşılan kaya sınıfının karşılaştırılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: NATM, TBM, geçici destek, kaya sınıfı.

¹Altyapı Projeleri Koordinasyon Direktörü, IC İçtaş, suleymanonurkaraca@gmail.com

²Tasarım Şefi, IC İçtaş, meltemdogan2010@gmail.com (Sorumlu yazar)

³Geoteknik Mühendisi, SWS Systra, osmanmuratsarsilmaz@gmail.com

ABSTRACT

As part of an extension of The Northern Marmara (including the 3rd Bosphorus Bridge) Motorway project, Odayeri-Paşaköy section (including the 3rd Bosphorus Bridge) under the Build, Operate and Transfer model, the Sarıyer-Kilyos Connection Road consists of approx. 6900-meter-long double-tube tunnel and connecting roads. The Sarıyer-Kilyos tunnel was realized to connect the Sarıyer and Bosphorus traffic to the Northern Marmara Motorway. Upon completion of the project, travel time from Sarıyer to Kilyos will be reduced to 5 minutes. When completed, the tunnel, which is being constructed under the General Directorate of Highways, will have a total double-tube tunnel length of approximately 13836 meters, making it a notable construction among urban tunnels.

For the mentioned tunnel, the construction method chosen is NATM for 4,230 meters in the northern section and 500 meters in the southern section, while TBM will be used for 8,750 meters mostly in the southern section. For TBM installation, a cavern structure with a width of 30 meters, a height of 25 meters, and an overburden of 70 meters has been planned approximately at the midpoint of the tunnel length in both the left and right tubes. The left tube cavern has been constructed using the NATM method, while preparations for manufacturing in the right tube are underway. To support NATM excavation works logistically and for mobilization, an approach tunnel of 400 meters in length was also opened at km 5+700 of the left tube.

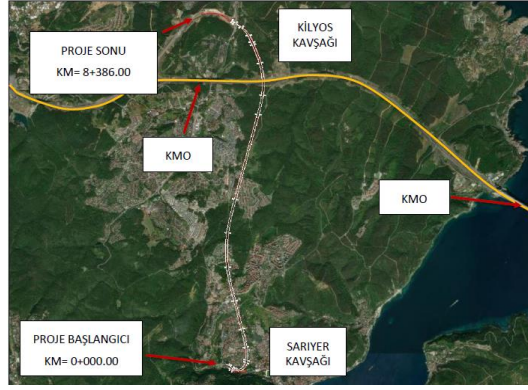
The chosen tunnel boring machine (TBM) has a diameter of approximately 13.65 meters, is an Earth Pressure Balance (EPB) type with a maximum thrust force of 219861 kN, a maximum cutting torque of 61285 kN·m, a static pressure of 10 bars, and is capable of installing segment linings continuously without stopping while excavating—making it the first machine of its type in the world to be used for this specific type of ground condition, featuring the “Continuous Mining” capability.

The aim of this study is solely to examine the NATM tunnels located on the main tunnel in the northern section, where construction has been completed. It will analyze the field geological structure, soil surveys, the calculation of temporary support elements, and compare the anticipated rock class during the design stage with the actual rock class encountered during construction.

Keywords: NATM, TBM, temporary support, rock class.

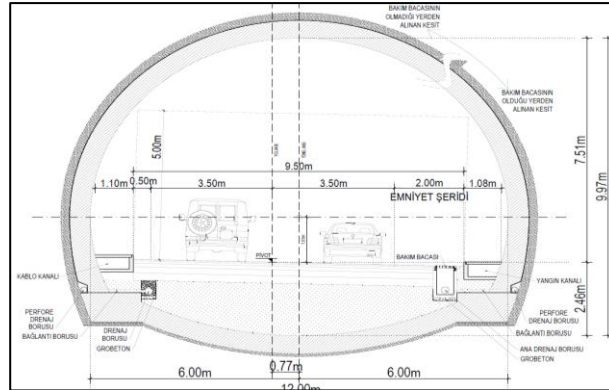
1. GİRİŞ

İstanbul'un Avrupa yakasında yer alan bu proje ile Sarıyer ile Kilyos arasında şehir içi trafik yükünü azaltmak, harcanan zaman ve yakıttan tasarruf etmek ve acil/afet durumlarında önemli bir ulaşım güzergahı olması hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra, Sarıyer ve çevresindeki trafiği daha konforlu, hızlı ve yüksek standartlara sahip Kuzey Marmara Otoyolu'na bağlamakta, diğer yönden ise Asya yakasından İstanbul'a yapılan yolculuklarda KMO üzerinde bulunan Uskumruköy Kavşağı ve devamında Sarıyer-Kilyos tüneli ile boğaza hızlı ve konforlu olarak ulaşmayı sağlamaktadır. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1. Proje Lokasyonu

Proje kapsamında, güney bölgede; 1 adet kavşak düzenlemesi (2 adet kazıklı duvar olmak üzere toplam 10 adet duvar), 2 adet aç-kapa yapısı, 1 adet portal, kuzey bölgede; 1 adet portal, 2 adet aç-kapa yapısı, 1 adet menfez, 1 adet viyadük ve 1 adet kavşak düzenleme (1 adet kazıklı betonarme duvar olmak üzere toplam 5 adet duvar) bulunmaktadır. Bu çalışmada, ana hat üzerinde 2x2 şeritli, 9,5m trafik şerit genişlikli, NATM yapım yöntemi ile imal edilmiş olan tünellerin, geçici destek elemanları irdelenecektir. Projede NATM yöntemi ile imal edilmiş olan kesimde uygulanan ana tünel tip kesiti Şekil.1.2 de görülebilir.



Şekil 1.2. Tünel Tip Enkesit

2. JEOLJİK ARAŞTIRMALAR

İnceleme alanı Türkiye'nin İstanbul Zonu adıyla bilinen ana tektonik birliklerinden biri üzerinde yer alır (Şekil 2.1, Okay ve Tüysüz, 1999).



Şekil 2.1. Türkiye'nin tektonik birlikleri içerisinde İstanbul Zonu'nun konumu (Okay ve Tüysüz, 1999)

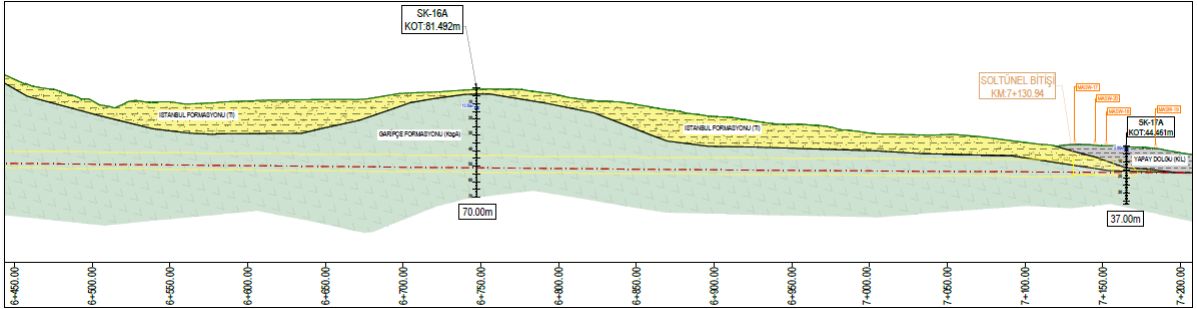
Tünel güzergahı boyunca, üç ana formasyon gözlenmiştir. Bunlar;

1. Trakya formasyonu (Ct)
2. Garipçe Formasyonu (Ksg)
3. İstanbul Formasyonu (Ti)

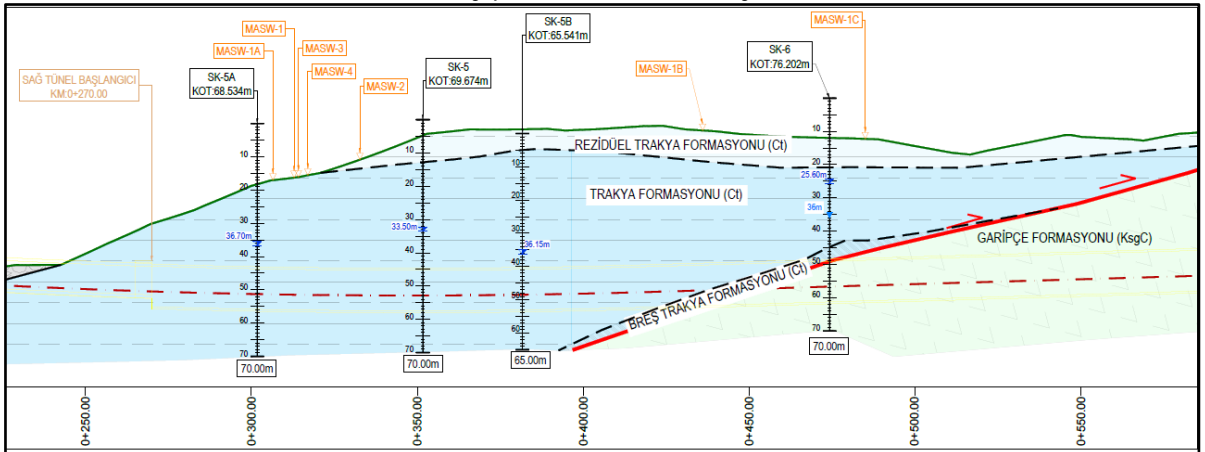
NATM ana tünelinin, kuzey portala denk gelen kısmının üstünde yapay kil dolgu, diğer kesimlerde üzerinde İstanbul formasyonu (Ti) bulunmakta olup, tabanda ise Garipçe formasyonu (KsgA) yer almaktadır.

Kuzeyde, tünel kotunun üzerinde yer alan İstanbul formasyonu genel olarak, alaca renkli gevşek tutturulmuş kumtaşı, silttaşı, çakıl taşından oluşmakta olup, yer yer kil seviyelerini de içermektedir. Garipçe formasyonunu lavlar ve piroklastik kayalar temsil etmekte olup, masif ve farklı ayrışma seviyelerine sahip andezitler gözlemlenmiştir (Şekil 2.2)

Güneyde ise Trakya formasyonu bünyesinde kumtaşı, silt taşı, kil taşı ve grovak, Garipçe formasyonu bünyesinde tuf, agglomera, lav, kuzey bölgeye kıyasla daha ayrışmış, RMR değeri düşük andezitler beklenmektedir.



Şekil 2.2. Kuzey portal kesimi, formasyon birimleri



Şekil 2.3. Güney portal kesimi, formasyon birimleri

İnceleme alanı içerisinde kalan 15 adet sondaj çalışma sonrası yerinde ve laboratuvar deneyleri tamamlanarak, analizleri gerçekleştirilecek olan kesitler için geoteknik parametreler belirlenmiştir.

3. NATM GEÇİCİ KAPLAMA TASARIM KRİTERLERİ

Tünel tasarım hesaplarında takip edilen NATM (New Austrian Tunneling Method) yönteminin 3 temel tasarım prensibi aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tünel kazısı ve desteklemesi, kazı çevresindeki kaya/zemin ortamı tarafından maksimum derecede faydalanacak biçimde tasarlanmalıdır.
- Uygulanacak destekleme sistemi, tünel kazısı çevresindeki kaya ortamında elastik ya da elastoplastik deformasyona izin verecek ancak plastik deformasyonlara ve tamamen gevşemesine izin vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Tasarlanan destekleme sisteminin amaca uygun olup olmadığı saha ölçümleri ile takip edilmeli, sahada ölçülen deformasyonların mertebesine göre gerekirse kazı destek sistemi değiştirilmelidir. Sahada ölçülen deformasyonların sönümlenmesi ve sabit hale gelmesi sonrası nihai (kalıcı) kaplama imal edilmelidir.

Kaya/Zemin ortamındaki deformasyonlar, ilerlemekte olan bir tünelin aynasından yaklaşık 1.5 tünel çapı kadar ileriden başlayıp tünel aynasında maksimum (nihai) deformasyon değerinin yaklaşık üçte birine ulaşır ve tünel aynasının 1.0 – 1.5 tünel çapı kadar geresinde de maksimum değerine ulaşır. Bu noktadan sonra ise sabit kalır.(E. Hoek 2000)

Bu prensipler ile tünel tasarım hesaplarında aşağıdaki analiz ve kontroller yapılmıştır.

- Tünel Ayna Stabilesi Analizleri ve Kontrolleri
- Tünel Kinematik Duraylılık Analizleri
- Tünel kaplaması İki Boyutlu Nümerik Analizleri ve Kontrolleri

3.1 Tünel Ayna Stabilitesi Analizleri ve Kontrolleri

Tünel ayna stabilitesi için ise literatürde, tünel üstünde düşük örtü tabakası ($Z \leq 3D$) olması durumunda Tamez & Cornejo (1989) tarafından önerilen yöntem ve tünel üstünde yüksek örtü tabakası ($Z > 3D$) olması durumunda Amberg ve Lombardi (1974) tarafından önerilen yöntem uygulanmaktadır.

Sığ Tünel ($Z \leq 3D$) Durumunda Tamez & Cornejo (1989) Yöntemi:

Düşük örtü tabakalarında tünel aynasındaki yenilmelerin tünel aynasından başlayıp yüzeye doğru baca şeklinde bir kayma kaması oluşarak gerçekleştiği gözlemlerinden yola çıkarak, tünel aynasının ve tünel taç kısmının stabilitesi kontrol edilmektedir.

Analizler sonucunda hesaplanan güvenlik katsayıları değerine göre tünel aynası ve taç kısmının stabilitesi aşağıdaki gibi değerlendirilmektedir.

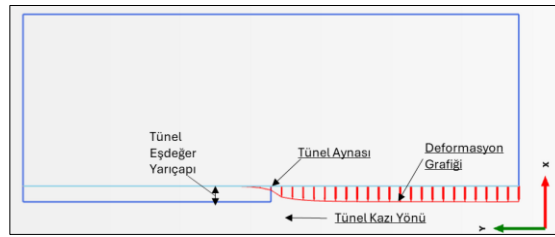
$F_s > 2$ Durumunda tünel aynası stabildir ve herhangi bir destek uygulamasına gerek olmamaktadır.

$1 < F_s < 2$ Durumunda tünel aynası kısa dönem stabildir.

$F_s < 1$ Durumunda tünel aynası stabil değildir.

Derin Tünel ($Z > 3D$) Durumunda Amberg ve Lombardi (1974) Yöntemi:

Eksenel simetrik (axisymmetric) çözüm yöntemi sayesinde iki boyutta hazırlanan sonlu elemanlar modeli, eksen etrafında 360 derece döndürülerek üç boyutlu ağ elde edilmiştir. Analizde ilk olarak tünel aynası ve örtü yüksekliğinden dolayı tünel seviyesinde oluşacak gerilmeler modellenmiştir. Bir sonraki aşamada ise tünel aynasının eşdeğer yarı çapı kadar kazı yapılmış ve oluşan deformasyonlar gözlemlenmiştir.



Şekil 1.1 Temsili Eksenel Simetrik Model üzerinde deplasman grafiği

Eksenel simetrik analizden sonra iki boyutlu malzeme yumuşatma analizi yapılmıştır. Tünel aynasının rahatlama oranı (deconfinement ratio) aşama aşama artırılarak %100 rahatlama oranına kadar modelleme yapılmış, her rahatlama oranı kademesine karşılık gelen deformasyonlar kaydedilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda "Zemin – Tepki Grafiği (Ground Reaction Curve) çizdirilmiştir. Tünele ait karakteristik eğrilerle birlikte tünel aynasının ilerisindeki zemin (çekirdek bölgesi) dayanımı dikkate alınarak tünel ayna stabilitesi değerlendirilebilmektedir. Amberg ve Lombardi (1974) tarafından sunulan çalışmada tünel aynası ilerisindeki zeminin dayanımı için aşağıdaki formülasyon önerilmiştir:

$$R_{\text{çekirdek}} = c \times k_p^{0.5}$$

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

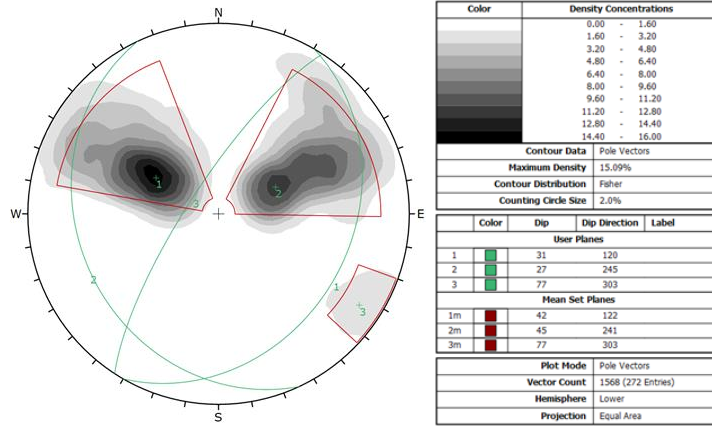
Hesaplanan çekirdek bölgesi dayanımına karşılık gelen deformasyon miktarına (u_f) karakteristik eğriden ulaşılabilmektedir. Tünel aynasının stabilitesi için ise önerilen aşağıdaki tablo kullanılarak stabilite hakkında yorum yapılabilmektedir.

Tablo 3.1 Tünel Davranış Sınıfları

Davranış Sınıfı	$\delta_0 = u_f / R_e$	R_p / R_e
A (Stabil Durum)	$\delta_0 \leq \% 0,2$	$R_p / R_e \leq 1,1$
B (Kısa Dönem Stabil Durum)	$\% 0,2 < \delta_0 \leq \% 0,5$	$1,1 < R_p / R_e \leq 1,5$
C (Stabil Olmayan Durum)	$\delta_0 > \% 0,5$	$R_p / R_e > 1,5$

32. Tünel Khema k Duraylılık Analizleri

Sarıyer Kilyos Tüneli için inşası öngörülen tünellere ait duvarlarda, kama tipi duraysızlık olasılıkları incelenmiştir. Analizler için süreksizlik ölçümleri dikkate alınmıştır. Belirlenen süreksizliklerin kontur diyagramı ve stereografik izdüşümleri Dips® programı yardımıyla oluşturulmuştur.



Şekil 3.2. Temsili Andezit Birimlerine Ait Süreksizlik Kontur Diyagramı

Süreksizlik ölçümlerinin tünele etkisinin araştırılabilmesi amacıyla süreksizliklerin bağlantı tünelini herhangi bir derinlikte kesebileceği devamlılığa sahip olduğu kabul edilmiştir. Oluşan kama geometrileri Barton – Bandis (1990) yenilme kriteri kullanarak incelenmiştir.

Elde edilen egemen eklem takımlarının oluşturacağı öngörülen kamalar statik ve depremlili durum için Unwedge® programı kullanılarak modellenmiştir.

Gerçekleştirilen analizler ışığında hesaplanan güvenlik sayılarının aranan değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

33. Tünel kaplaması kiBoyutlu Nümerik Analizlerive Kontrolleri

Tünel kazısı ile zemin/kaya ortamında yapılan gerilme değişikliklerine ortamın “kemerlenme etkisi (arching effect)” ile, belirli bir miktar deforme olarak tepki verdiği ve bu deformasyonların ortamın mekanik özelliklerine, örtü yüksekliğine ve açılan tünelin çapına göre değiştiği bilinen bir olgudur.

Gerçekte üç boyutlu olan bu problem iki boyutta “rahatlama oranı” yaklaşımı” çözülebilmektedir.

İki boyutlu nümerik analiz modelleri Plaxis 2D yazılımı kullanılarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

- Püskürtme beton ve Çelik iksadan oluşan tünel geçici kaplaması "Plate" eleman olarak modellenmiştir. Eleman rijitlikleri eşdeğer kompozit kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır.
- Tünel kazı aşamalarında geçici kaplama içerisindeki püskürtme betonun zamana bağlı priz alma süresine göre rijitlikleri değiştirilerek tanımlanmıştır.
- Tünel kazıları, rahatlama oranı tayini ile tünel aynasından olan mesafeye göre belirlenmiş ve modele girilmiştir.
- Tünelin tüm kazı aşamaları (Üst yarı, alt yarı, invert) belirlenen yapım aşamalarına göre modellenmiştir.
- Geçici kaplamada bulunan kaya bulonları "embeded beam row" elemanlar olarak modellenmiştir.

Analiz sonucu kaplamada ve kaya bulonlarında oluşan iç tesirlerin kontrolü Eurocode "EC2 UNI EN 1992-1-1:2005" göre yapılmış ve kaplamanın üzerine gelen yükleri güvenle taşıdığı gösterilmiştir.

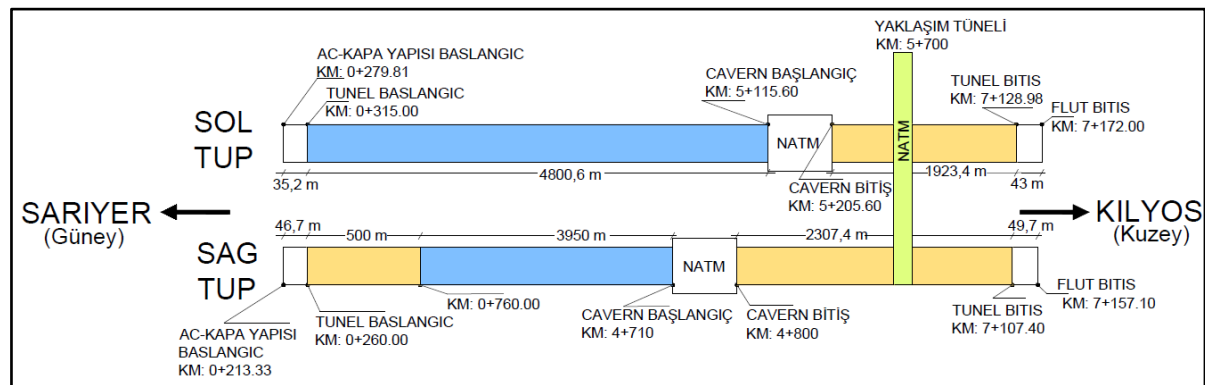
Tamamlanan nümerik analizler neticesinde, beş farklı kaya sınıfı için uygulamaya esas destek elemanları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. NATM Destek Sistemi Elemanları

Kaya Sınıfı	Destekleme Elemanları
A2 Kaya Sınıfı	Çift sıra $\varnothing 21$ çelik hasır, 5 – 6 Adet $\varnothing 28$ SN Kaya bulonu ve 10 cm püskürtme beton.
B1 Kaya Sınıfı	Çift sıra $\varnothing 21$ çelik hasır, 7 – 8 Adet $\varnothing 28$ SN Kaya bulonu ve 15 cm püskürtme beton.
B2 Kaya Sınıfı	NPI 160 /1,5m çelik profil, çift sıra $\varnothing 21$ çelik hasır, 11 – 12 Adet $\varnothing 28$ SN Kaya bulonu ve 25 cm püskürtme beton.
B3 Kaya Sınıfı	NPI 180 / 1,25m çelik profil, çift sıra $\varnothing 21$ çelik hasır, 11 – 12 Adet R32 Kendinden delen bulon, Enjeksiyonlu süren Boru (Gerektiğinde) ve 25cm püskürtme beton.
C2 Kaya Sınıfı	NPI 200 / 1.00m çelik profil, çift sıra $\varnothing 21$ çelik hasır, 8 Adet R32 Kendinden delen bulon, Tünel Taç Kısmında ve Tünel Aynasında Enjeksiyonlu Şemsiye Boru ve 30cm püskürtme beton.

4 KAZI YÖTEM VE AŞAMALARININ DESTEK ELEMANLARININ UYGULANMASI

4.1 Kazı Yötem ve Aşamaları



Şekil 4.1. Tünel Kazı Yöntem Şeması

Yapılan sondajlar ertesinde, gerçekleştirilen yerinde ve laboratuvar değerlendirmeleri ile, tünel güzergahının kuzey (Kilyos) kısmında RMR değerleri görece yüksek, masif ya da masife yakın kaya beklenmesi sebebi ile bahsi geçen bölgede yapım yöntemi NATM olarak seçilmiş ve projelendirilmiştir. Yapım sırasında, tünel kotunda yapılan kazı çalışmalarında da ayna harita verileri proje aşamasındaki öngörülerini doğrular niteliktedir.



Şekil 4.2. Kuzey sol tüp, Km:6+182.10 ayna fotoğrafı

B2, B3 ve C2 sınıf kayaların kazı aşmalarının ve geçici destek elemanlarının sayısal ortamda modellerinin tamamlanması sonucu, zeminde önlem alınmasını gerektirecek bir kabarma ile karşılaşılmasından sebep, sahada karşılaşılmış olan kaya sınıflarında B2 ve B3 kayada, geçici destek sistemi ve kalıcı kaplama uygulamaları invertsiz, C2 kaya sınıfı ise geçici destek sistemi invertsiz olmasına rağmen kalıcı kaplama projeleri invertli olarak imal edilmiştir.

İnceleme alanına tabii olan ana tünellerde, tek ano (12.1 m) C2 sınıf kayada mekanize-kazı yapılmış olup, kalan tüm B2 ve B3 sınıf kayada alt ve üst yarı kazıları del-patlat metodu ile tamamlanmıştır. Geçmiş tecrübelerle istinaden belirlenen patlatma paterni ile aşırı sökülme ya da patlatma sonra büyük oranda tarama işlemi gerektirmeyen zaman ve işçilik açısından efektif bir kazı imalatı gerçekleştirilmiştir. Tüm B2 ve B3 sınıf alt ve üst yarı kazılarında, patlatma imalatları için, Powegel Magnum 365, Excel LP/MS kapsül, 1,5 Elektrikli Kapsül ve İnfilaklı Fitol 10gr malzemeler kullanılmıştır.

Şekil 4.3'de patlatma öncesi saha hazırlık fotoğrafları görülebilir.



Şekil 4.3. Patlatma öncesi saha hazırlığı

4.2 Destek Elemanlarının Tanıtımı ve Uygulanması

3.Bölümde kriterleri tanımlanan nümerik analizler sonucunda, kuzey bölgede sahada imalatı gerçekleşen kaya sınıfları B2, B3 ve C2 dir.

Kazı işlemlerine önce üst yarı ile başlanmış olup, üst yarı kazısı kaya kalitesine göre yerinde karar verilerek 30-45m ilerledikten sonra, ardından alt yarı ile devam edilmiştir. Delme ve patlatma işleminin ardından tarama işlemi tamamlandıktan sonra destek elemanları sırası ile, önce ince bir püskürtme beton tabakası kaya yüzeyine uygulanmış, ardından ilk sıra çelik hasır yerleştirilmiş, oluşturulan tasarım dokümanlarında çelik profil varsa (saha karşılaşılan B2, B3 ve C2 kaya sınıfı geçici destek sistemlerinde çelik profil mevcuttur) profil de yerleştirildikten sonra, ikinci kat püskürtme beton uygulanmış, son sıra çelik hasır da uygulandıktan sonra, son kat püskürtme beton kaplanmıştır. Geriye kalan bulon uygulaması da destekleme

imalatlarının yapıldığı kaya sınıfına bağlı olarak, en fazla 5, 3, 2.5 ya da 2 metre geriden gelecek şekilde uygulanarak geçici destekleme imalatı üst yarı için tamamlanmıştır. Sonrasında, aynı işlemler alt yarı için de tekrar edilmiştir.

Analizler sonucunda, B3 sınıf kaya için süren "gerektiğinde" ibaresi ile, C2 sınıf için ise her koşulda enjeksiyonlu şemsiye boru önerilmiştir. Saha imalatlarında ise, B2 sınıf kayada, tünel aynasında gözlenen kırıklı-çatlaklı, pürüzlülüğü az ve stabilitesi yetersiz olarak karar verilen oldukça az bir kısımda ve tüm B3 sınıf kayada "süren", C2 de ise "enjeksiyonlu şemsiye boru" uygulaması, kazı işlemlerine başlanmadan evvel tünel taç kısmında uygulanmıştır.

Saha B2 kaya sınıfında SN bulon, B3 ve C2 kaya sınıfında ise IBO bulon uygulanmıştır.

1) SN bulon : Delici makine ile delgi işlemi tamamlandıktan sonra, açılmış deliklere su ve çimento karışımından oluşan enjeksiyon malzemesi şarj edilip, projede önerilen Ø28lik nervürlü demir kuyu içerisine yerleştirilmiştir. Kaya bulonları ilk geçici tahkimat olan çelik hasır ve püskürtme betonu, tahkimatı çevreleyen kayaya bağlar ve kaya bloklarındaki kayma direncine karşı çalışırlar.

2) IBO bulon: IBO bulon, ucundaki bit sayesinde delgi yapılırken eş zamanlı olarak montaj yapılır. Bulonun montajı ertesinde, enjeksiyon şerbeti bulon iç deliğinden enjekte edilerek hem bulon içi hem de bulon ile kayaç arası tamamen doldurulmuştur. Çatlaklı kayalarda tercih edilmiştir.

Sahada uygulanan SN ve IBO bulon uygulamaları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 de görülmektedir.

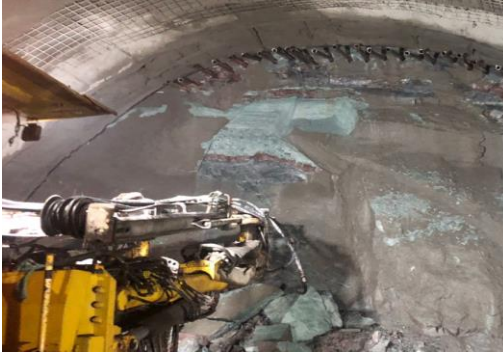


Şekil 4.4. SN bulon uygulaması

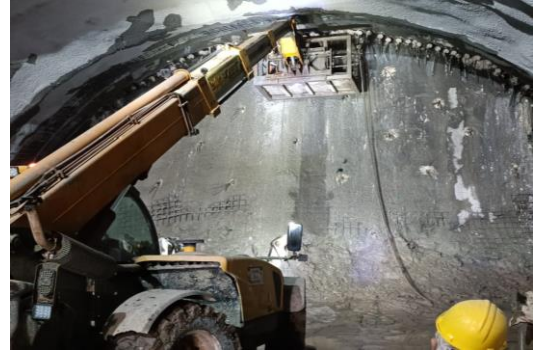


Şekil 4.5. IBO Bulon uygulaması

3) Süren ve Şemsiye Boru : Süren ve şemsiye borular, kazı sonrası dökülmeye meyilli tünellerde, tavanı stabil hale getirmektedir. Sürenler genellikle 2-2,5" arası, şemsiye boru uygulaması ise 3,5-4" ya da gerektiğinde daha büyük çaplarda uygulanmaktadır. Şemsiye boru imalatı, umbrella arc makinası ile, borunun kendi çapından daha büyük çapta, 10 derecelik bi delgi yapılması ile başlayıp, üzerinde delikler bulunan borunun delgi kuyularına yerleştirildikten sonra, enjeksiyon şerbetinin boru iç ve dışına tamamen doldurulması ile son bulmuştur. Şekil 4.6 ve 4.7 de sahadaki süren ve şemsiye boru imalatlarına örnek fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.6. Süren imalatı



Şekil 4.7. Şemsiye Boru imalatı

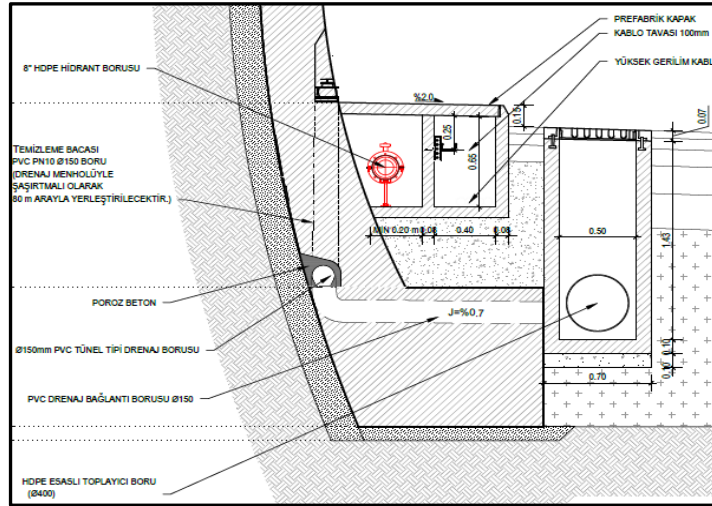
4.3 Geçici ve Kalıcı Drenaj Sistemleri İmalatları

Geçici Drenaj

Tünelin özellikle kuzey kesiminde, büyük bir su geliri beklenmemiş, geçici destek imalatlarının tamamlanması sırasında bu tahmin doğrulanmış olup, büyük bir su geliri ya da birikintisi durumu ile karşılaşılmamıştır. Tünel kazı sırasında su sevki için, tünelin iki yanında kanallar oluşturulup, pompa ile tünel dışına tahliye edilmiştir.

Kalıcı Drenaj

Tünel işletme ömrü boyunca, suyun deşarj edilerek, kaplama arkasında birikmesinin önüne geçilmesi, hem kaplama elemanlarının uzun dönem "kullanım ömrünün" kısılmasına, hem de kaplama üzerinde öngörülme büyük su yüklerinin oluşmasına engel olmak adına uygulanan deşarj sistemi Şekil 4.8' deki gibidir.



Şekil 4.8. Kalıcı Drenaj Sistemi

5. SONUÇLAR

İstanbul'da insan popülasyonu ile artan şehir trafiği probleminin çözümü için geliştirilmiş olan, Sarıyer-Kilyos tüneli, özellikle Sarıyer, Boğaz hattı trafiğini 5 dk da Kuzey Marmara Otoyoluna bağlamayı sağlamakta olup, önemi yadsınamayacak derece fazladır. KGM ve özel sektör için önemli ve özel bir yap-işlet-devret projesi olan Sarıyer-Kilyos Tünel İnşaatı tasarım, yapım ve işletme açısından tünelcilik sektöründe yenilikler sağlayan nitelikli bir proje olarak öne çıkmaktadır.

Yapım öncesi, tamamlanan sondajlar neticesinde öngörülen kaya sınıfları ile gerçekte karşılaşılan kaya sınıflarının karşılaştırıldığı tablo aşağıdaki gibidir (Tablo 5.1)

Tablo 5.1. Projelendirilen ve imalatı tamamlanan NATM geçici destek sınıf oranları

Sağ ve Sol Tüp	A2	B1	B2	B3	C2
Toplam	Kazı Destek	Kazı Destek	Kazı Destek	Kazı Destek	Kazı Destek
Projelendirilen sınıflar	14.2%	9.7%	17.9%	49.1%	9.0%
Toplam Uzunluklar	-	-	87.7%	11.4%	0.9%

Tablo verileri incelendiğinde, NATM yönteminin doğası gereği, sondaj verileri kullanılarak yapılan ön analizler ile ulaşılan kaya sınıfı ile tünel açıldıkça karşılaşılan kaya sınıflarının birbirinden çok farklı olabileceği açıkça görülmektedir. Bu sebeple imalat devam ederken gerçekleştirilen, ayna haritalaması işlemi NATM tünelticiliği için vazgeçilmezdir.

KAYNAKLAR

- Hoek, E. (2006), "Practical Rock Engineering", Rockscience.
- CORNEJO, L. (1989): "Instability at the face: its repercussion for tunnelling technology". Tunnels & Tunnelling, April.
- LOMBARDI G., AMBERG W.A. (1974): "Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine". Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974.
- Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ), 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.