

# Seyrantepe Yaya Tünelleri

## Seyrantepe Pedestrian Tunnels

Özgür KURUOĞLU<sup>1</sup> Atilla HOROZ<sup>2</sup> Anıl ERCAN<sup>3</sup> Kürşad ELMALI<sup>3</sup>

### ÖZ

Bu makale kapsamında, “İstanbul Metrosu 3. Aşama - 4.Levent – Ayazağa Kesimi İnşaat İşleri” işi kapsamında, TEM otoyolu Seyrantepe mevkiinde otoyol dolgusu içerisinde NATM yöntemi ile açılan yaya tünelleri incelenmiştir. Düşük örtü kalınlığı ve tünellerin tamamen otoyol dolgusu içerisinde açılacağı da göz önüne alındığında tünel açımı sırasındaki en önemli problem ayna stabilitesi olarak belirlenmiştir. Bu amaçla tünel kazı destek sistemi kazı aynasını, desteksiz açıklığını küçültmeyi ve mümkün olan bütün elemanlarla (enjeksiyon delikli şemsiye boruları, zemin çivileri.v.b.) ayna stabilitesini arttırmayı hedefleyecek şekilde belirlenmiştir. Belirlenen bu kazı destek sistemi ile, tünel içerisinde okunan deplasman değerleri maksimum 1.5cm civarında kalırken, yüzey oturmaları maksimum 4cm-5cm mertebesinde gerçekleşmiştir. Kaydedilen bu oturmalar yolda herhangi bir probleme yol açmamış ve tüneller makalede detayları verilen kazı destek sistemi ile sorunsuz bir şekilde imal edilmiştir.

### ABSTRACT

This article deals with the pedestrian tunnels constructed using NATM method under the TEM Motorway at Seyrantepe, İstanbul in scope of the İstanbul Metro construction works. Considering that the tunnels are completely within road fill material and that the overburden is very low, face stability was detected as the main problem. Therefore, unsupported advancement length was minimized, excavation face was kept as small as possible and the excavation support system was formed from every available element (umbrella pipes, soil nails etc.) that can increase face stability. The deformations recorded within the tunnel was 1.5cm maximum and the recorded surface settlements were at the order of 4cm-5cm. These settlements had no effect on the motorway service and the tunnels were completed successfully using this excavation support system.

<sup>1</sup> Dr. İnş. Yük. Müh., Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara

<sup>2</sup> İnş. Yük. Müh., Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara

<sup>3</sup> İnş. Müh., Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara

## 1. GİRİŞ

“İstanbul Metrosu 3. Aşama - 4. Levent – Ayazağa Kesimi İnşaat İşleri” işi kapsamında TEM otoyolu Seyrantepe mevkiinde Seyrantepe Depo Sahası ve Transfer Merkezi binası inşa edilmektedir. Bu bölgede TEM otoyolunun diğer tarafında Türk Telekom Arena Stadyumu ve bir hastane inşaatı devam etmekte olup, Seyrantepe transfer merkezinden stadyum ve hastaneye yaya bağlantısı sağlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Planlanan yaya geçişlerinin TEM otoyolunu geçmesi gerekmektedir. TEM otoyolunun bu bölgedeki yoğun trafik akışı göz önüne alındığında yaya bağlantı yapılarının aç-kapa yöntemi ile yapılması alternatif mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle, yaya bağlantı yapılarının TEM otoyolunun altından geçen delme tüneller şeklinde imal edilmesi zorunlu hale gelmiştir. (Şekil 1)

Ancak, gerek planlanan delme tünellerin otoyol dolgusu içinde açılacak olması, gerekse geometrik nedenlerle tünel örtü kalınlıklarının oldukça düşük olması, tünellerin imalatında özel önlemlerin alınmasını gerekli kılmıştır. Bu makale kapsamında bahsi geçen delme tünellerde kullanılan kazı destek sistemleri ve uygulama hakkında bilgi verilecektir.

## 2. ZEMİN KOŞULLARI

Bölgede zemin profilinin ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla derinlikleri 19.0 metre ile 45.0 metre arasında değişen dokuz adet sondaj çalışması yapılmıştır. (Şekil 2) Sondajlarda sistematik olarak SPT ve presiyometre deneyleri gerçekleştirilmiş, zemin birimlerinden örselenmiş numuneler alınmış, kaya birimlerinde ise sürekli karot alınarak ilerlenmiştir.

Zemin profilini yüzeyden itibaren gözlenen ve kalınlığı 10.0 metre ile 30.0 metre arasında değişen otoyol dolgusu ve tabandaki Trakya formasyonuna ait grovak birimi oluşturmaktadır. (Şekil 3) Dolgu zemin, TEM otoyolu ve yan yollarının inşaatı sırasında, bölgedeki taban kayada gerçekleştirilen yarma kazılarından çıkan malzemenin bölgeye doldurulması sonucu oluşmuş olup, genel olarak sıkı – çok sıkı, yer yer kaya büyüklüğünde bloklu, siltli kum – çakıl özelliğindedir. Tabandaki grovak birimleri ise genel olarak çok – orta ayrışmış, çok zayıf – zayıf dayanımlı, çok zayıf kaya kalitesine

sahip, çok sık kırıklı – çatlaklı özellik göstermektedir. Sondajlarda ölçülen yeraltısuyu seviyesi mevcut zemin yüzeyinden itibaren yaklaşık 11.5 metre ile 26.5 metre arasında değişen derinliktedir. Bu suların Trakya formasyonu kayaç birimlerinin süreksizlik sistemlerine bağlı çatlak suyu olduğu düşünülmektedir.

Tünel zeminini oluşturan dolgu birimi için belirlenen geoteknik parametreler aşağıda özetlenmektedir.

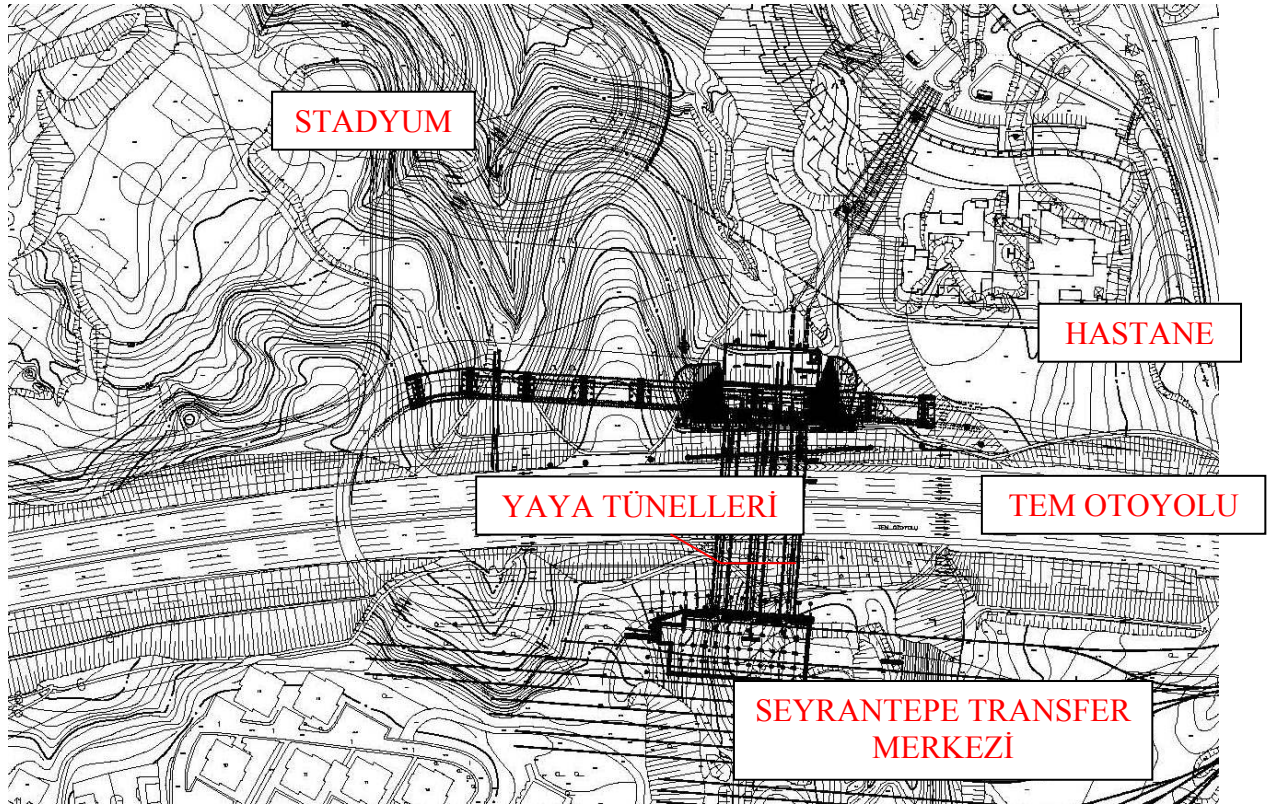
Otoyol Dolgusu

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

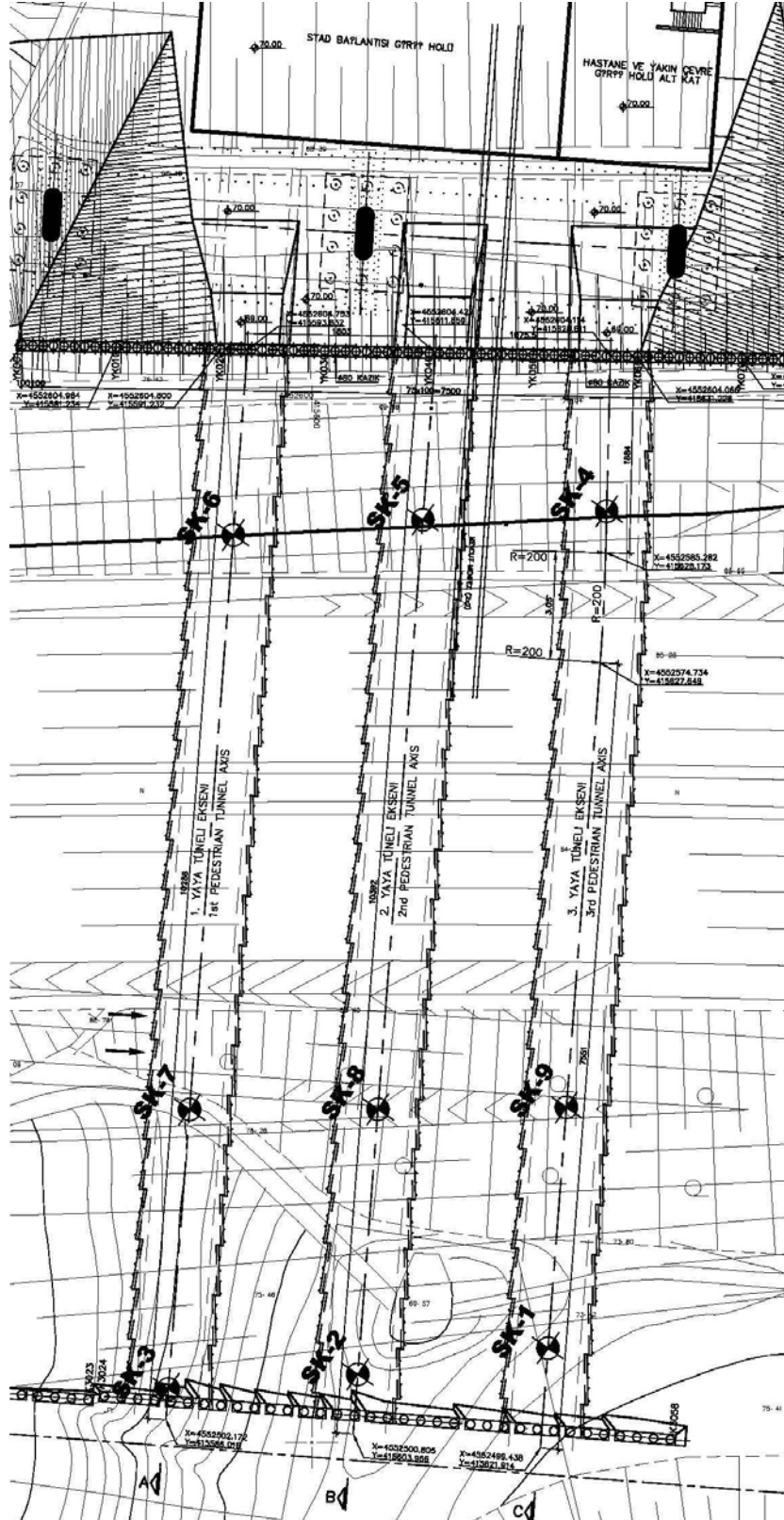
$$c' = 5 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 35^\circ$$

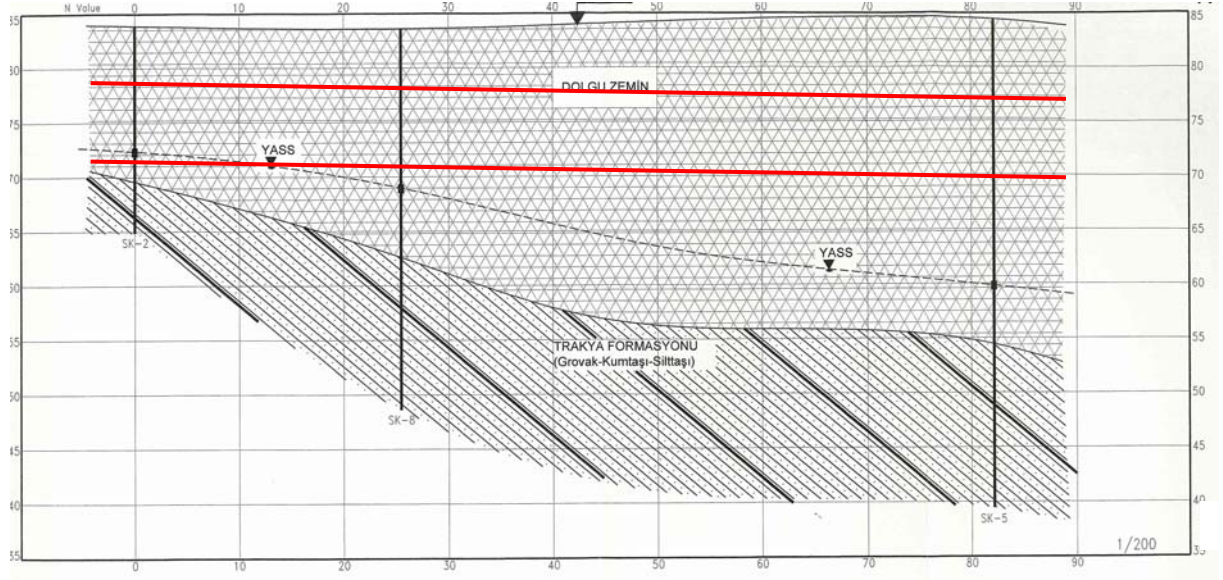
$$E = 30000 \text{ kPa}$$



**Şekil 1. Seyran-tepe Yaya Tünelleri Yerleşim Planı**



Şekil 2. Seyranteppe Yaya Tünelleri Sondaj Planı



**Şekil 3. Seyrantepe Yaya Tünelleri Zemin Profili**

### 3. KAZI DESTEK SİSTEMİ

Bölgede NATM yöntemi ile imal edilecek yaya tünellerinin tipik kesiti Şekil 4’de gösterilmektedir. Tünel kazısı yüksekliği yaklaşık 8 metre, genişliği ise 8.5 metre civarındadır. Planda birbirine paralel olarak imal edilecek ve uzunlukları 100 metre civarında olacak üç tüp arasında mimari kriterlerin izin verdiği ölçüde - yaklaşık bir tünel çapı kadar - net mesafe bırakılmıştır. Böylece, tüplerin kazılarının birbirlerine olan etkisinin mümkün olduğunca azaltılması hedeflenmiştir. (Şekil 7)

Tünellerin üstündeki net örtü kalınlığı 5.5 metre ile 8.5 metre arasında değişmekte olup, genel olarak tünel çapından küçüktür. (Şekil 3) Düşük örtü kalınlığı ve tünellerin tamamen otoyol dolgusu içerisinde açılacağı da göz önüne alındığında tünel açımı sırasındaki en önemli problem ayna stabilitesi olarak belirlenmiştir. Bu amaçla tünel kazı destek sisteminde aşağıda sıralanan önlemler alınmıştır.

- i) Öncelikli olarak toplam kazı alanı  $56m^2$  olan tünel, üst yarı ve alt yarı kazısı olarak iki parçaya ayrılmış ve böylece desteksiz ayna alanının azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca üst yarı kazısı tabanına geçici invert imalatı konularak kazı

stabilitesi arttırılmış ve üst yarı ve alt yarı kazıları arasındaki mesafenin 15 metreyi aşmamasına dikkat edilmiştir. (Şekil 4 ve Şekil 5)

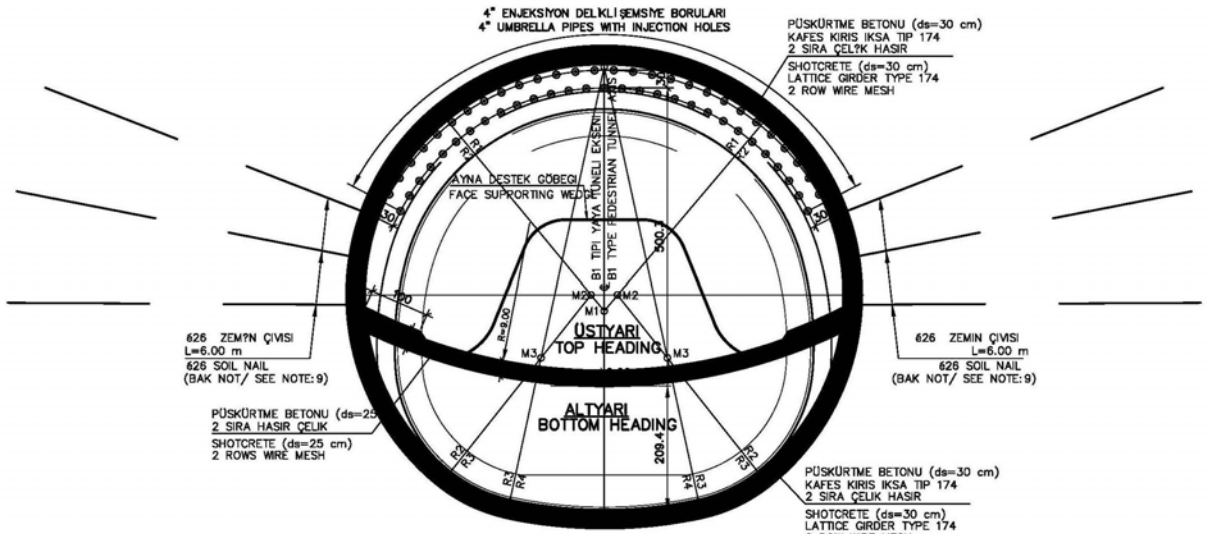
ii) Kazı ilerleme adımları 0.8 metre olarak belirlenmiş ve desteksiz kazılar öncelikle çelik kafes kiriş iksalar ile desteklenmiştir. Kazı destek sisteminin diğer elemanı ise 30cm kalınlığında ve çift sıra hasır çelik ile donatılanmış püskürtme betonu tabakasıdır. Ayrıca, üst yarı kazısı sırasında şotkrit elemanları tünel yan duvarlarında 6 metre boyunda ve 26mm çapında zemin çivileri ile desteklenmektedir. (Şekil 4 ve Şekil 5)

iii) Tünel tavanında 4'' çapında ve 9 metre boyunda, çift sıra enjeksiyon delikli şemsiye boruları imal edilmiştir. Her 4.80 metre ilerlemede yeni şemsiye boruları imal edilerek, boruların sürekliliği ve mesnetlenmesi sağlanmıştır. (Şekil 4 ve Şekil 5)

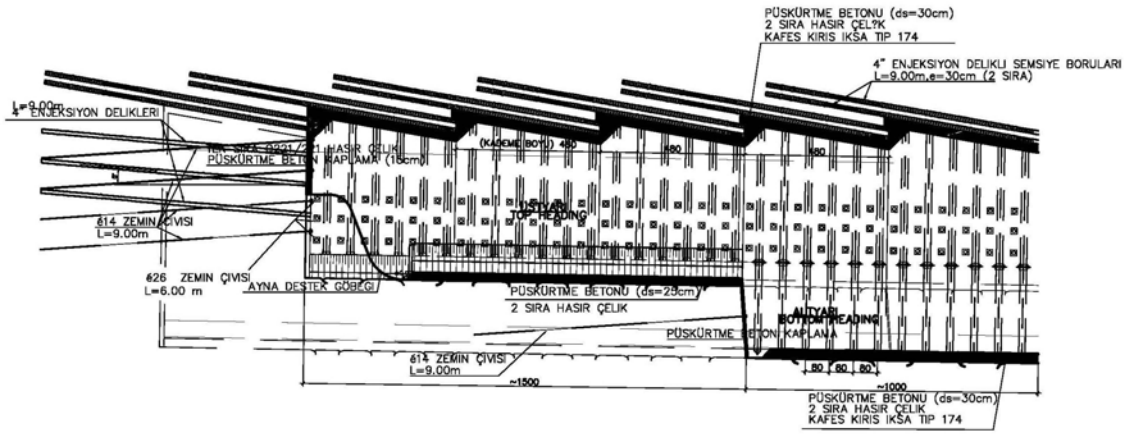
iv) Kazı aynası 15cm kalınlığında şotkrit ile kaplanmış ve yaklaşık 1.25m<sup>2</sup>'de bir 9 metre boyunda ve  $\phi$ 14mm çapında zemin çivileri, 1.5m<sup>2</sup>'de bir de 9 metre boyunda ve 4'' çapında enjeksiyon delikli şemsiye boruları imal edilmiştir. Her 4.80 metre ilerlemede yeni zemin çivileri ve şemsiye boruları imal edilerek, çivilerin ve şemsiye borularının sürekliliği ve mesnetlenmesi sağlanmıştır. (Şekil 5 ve Şekil 6)

v) Üst yarı kazısı sırasında ayna destek göbeği bırakılarak desteksiz kazı aynası alanının iyice azaltılması hedeflenmiştir. (Şekil 4 ve Şekil 5)

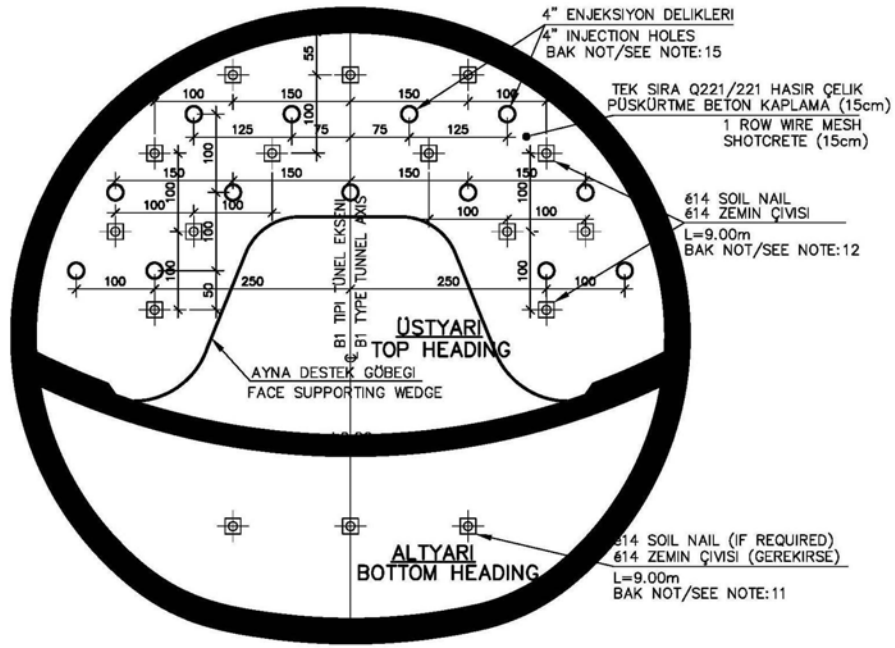
vi) Planda her üç tünelin desteksiz aynaları arasında yaklaşık 35 metre (dört tünel çapı) mesafe olmasına dikkat edilmiştir. (Şekil 7)



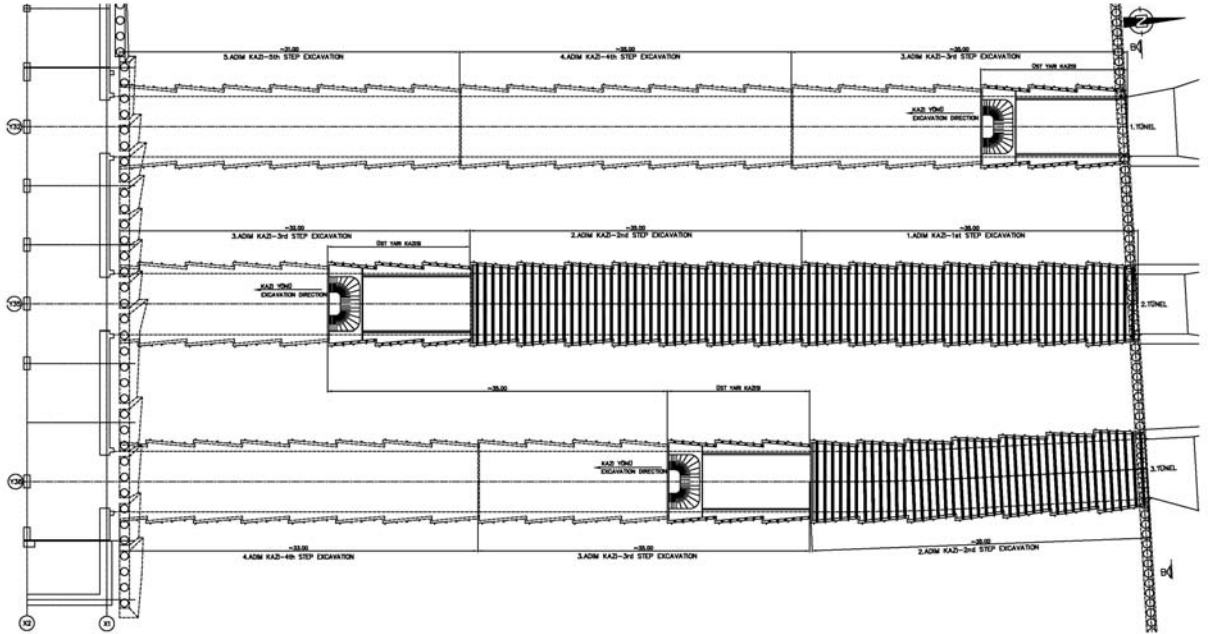
Şekil 4. Tünel Kazı Destek Sistemi Tipik Enkesiti



Şekil 5. Tünel Kazı Destek Sistemi Tipik Boykesiti



Şekil 6. Tünel Kazı Kademesi Sonu Aynası Tipik Enkesiti



Şekil 7. Tünel Kazı İlerleme Adımları Planı



#### 4. STABİLİTE VE DEFORMASYON ANALİZLERİ

Tünel stabilite analizlerinde PLAXIS sonlu eleman programı ve zeminin plastik davranışını modelleyebilen 'Hardening Soil' modeli kullanılmıştır. (Şekil 8) Bu modelde programa veri olarak zeminin birim hacim ağırlığı,  $\gamma$ , içsel sürtünme açısı,  $\phi$ , kohezyonu,  $c$ , elastisite modülü,  $E$ , ve poisson oranı,  $\nu$ , girilmektedir. Kazı zemini programdaki onbeş noktalı üçgen elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu elemanlar dokuzuncu dereceden integrasyon olanağı sağlamaktadırlar. Destek sistemini oluşturan püskürtme betonu elemanları programdaki özel plaka elemanları ile modellenmiştir. Sistem kazı aşamaları ilgili zemin elemanları kaldırılarak ve gerekli iksa elemanları konarak modellenmektedir. Program bu yeni durumda dengeye gelene kadar iteratif olarak çalışmaktadır. Analiz sonucunda her kazı aşamasında tünelde oluşan deplasman, moment, aksenal ve kesme kuvvetleri hesaplanabilmektedir. (Şekil 9) Ayrıca zemin elemanlarındaki deplasman, efektif ve total gerilmeler ve plastikleşen bölgeler görülebilmektedir.

PLAXIS ile yapılan analizlerde kullanılan inşaat aşamaları aşağıda özetlenmiştir. (Şekil 10)

##### İnşaat Aşaması 1

Hat 2 tüneli, üst yarı kazısının yapılması ve püskürtme betonu elemanlarının yerleştirilmesi.

##### İnşaat Aşaması 2

Hat 2 tüneli, alt yarı kazısının yapılması ve püskürtme betonu ringinin kapatılması

##### İnşaat Aşaması 3

Hat 3 tüneli, üst yarı kazısının yapılması ve püskürtme betonu elemanlarının yerleştirilmesi.

##### İnşaat Aşaması 4

Hat 3 tüneli, alt yarı kazısının yapılması ve püskürtme betonu ringinin kapatılması

##### İnşaat Aşaması 5

Hat 1 tüneli, üst yarı kazısının yapılması ve püskürtme betonu elemanlarının yerleştirilmesi.

##### İnşaat Aşaması 6

Hat 1 tüneli, alt yarı kazısının yapılması ve püskürtme betonu ringinin kapatılması

### İnşaat Aşaması 7

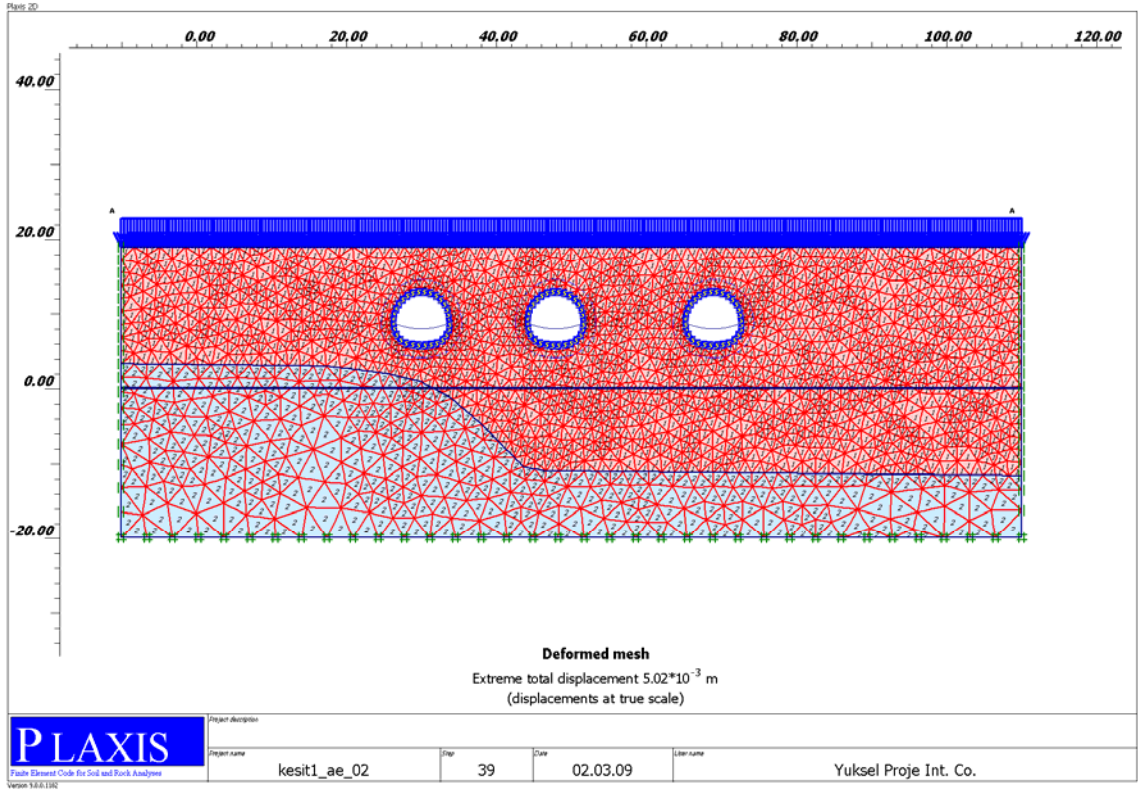
Püskürtme betonu elemanlarının kaldırılıp iç kaplama elemanlarının yerleştirilmesi.

### İnşaat Aşaması 8

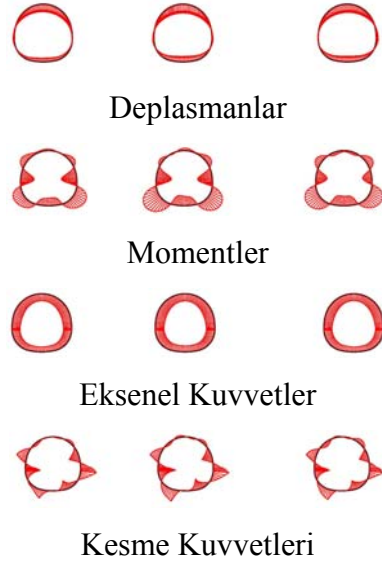
Deprem durumu (Tünellerin ve kalıcı iksa sistemlerinin deprem analizleri PLAXIS programı ve eşdeğer statik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer statik hesap yönteminde yatay eşdeğer deprem katsayısı değeri  $kh=0.5$   $a_{h_{max}} = 0.175$  olarak alınmıştır.)

Yukarıda verilen kazı aşamalarının modellenmesi ile tüm tüp kazılarının birbirlerine olan etkileri de göz önüne alınmış ve tünel geçici ve kalıcı destek sistemi analiz sonucu çıkan kesit tesirlerine göre boyutlandırılmış ve donatılandırılmıştır.

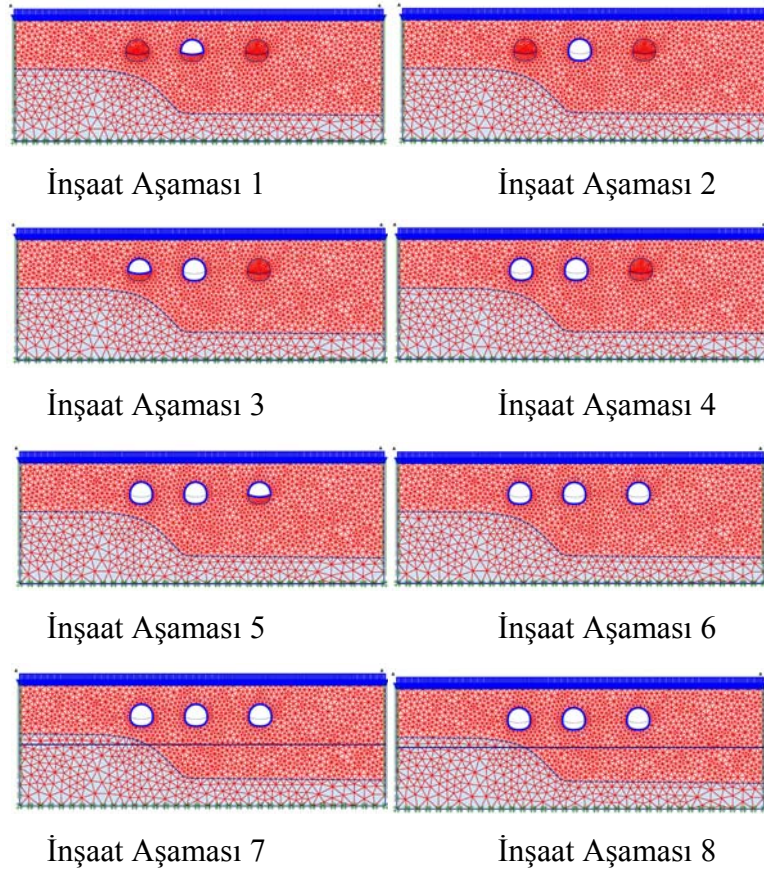
Yukarıda detayları açıklanan, analizler sonucu yüzeyde (yani TEM otoyolunda) hesaplanan maksimum düşey deplasman değeri 2cm – 3cm mertebesindedir.(Şekil 11) Tünel açımı sırasında oluşan deformasyonlar tünel içinde ve yüzeyde oluşturulan ölçüm sistemleri ile sürekli olarak kontrol edilmiştir. Tünel içerisinde okunan deplasman değerleri analiz modeli ile uyumlu şekilde maksimum 1.5cm civarında kalırken, yüzey oturmaları yer yer analiz sonuçlarında beklenenden bir miktar daha yüksek olarak gerçekleşmiştir. (4cm-5cm mertebesinde). Ancak, kaydedilen bu oturmalar yolda herhangi bir probleme yol açmamış ve tüneller makalede detayları verilen kazı destek sistemi ile sorunsuz bir şekilde imal edilmiştir.



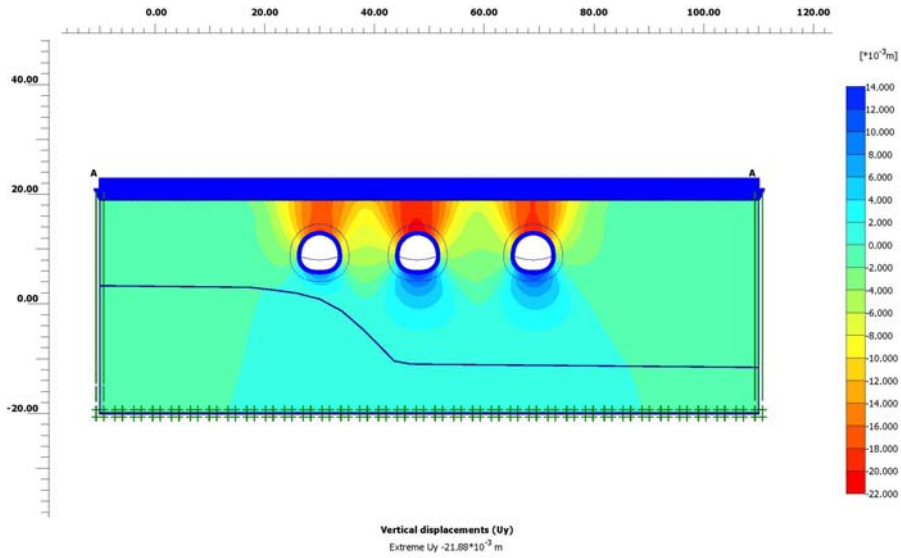
**Şekil 8. Tünel Sonlu Elemanlar Modeli**



**Şekil 9. Sonlu Elemanlar Modeli Kesit Tesirleri**



**Şekil 10. Tünel Sonlu Elemanlar Modeli İnşaat Aşamaları**



**Şekil 11. Sonlu Elemanlar Modeli Kazı Aşamaları Sonu Düşey Deplasman Grafiği**

## 5. ÖZET

İstanbul Metrosu 3. Aşama - 4.Levent – Ayazağa Kesimi İnşaat İşleri” işi kapsamında TEM otoyolu Seyrantepe mevkiinde Seyrantepe Depo Sahası ve Transfer Merkezi binası inşa edilmektedir. Bu bölgede TEM otoyolunun diğer tarafında Türk Telekom Arena Stadyumu ve bir hastane inşaatı devam etmekte olup, Seyrantepe transfer merkezinden stadyum ve hastaneye yaya bağlantısı sağlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Planlanan yaya geçişlerinin TEM otoyolunu geçmesi gerekmektedir. TEM otoyolunun bu bölgedeki yoğun trafik akışı göz önüne alındığında yaya bağlantı yapılarının aç-kapa yöntemi ile yapılması alternatifi mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle, yaya bağlantı yapılarının TEM otoyolunun altından geçen delme tüneller şeklinde imal edilmesi zorunlu hale gelmiştir. (Şekil 1)

Bölgede NATM yöntemi ile imal edilecek yaya tünellerinin tipik kesiti Şekil 4’de gösterilmektedir. Tünel kazısı yüksekliği yaklaşık 8 metre genişliği ise 8.5 metre civarındadır. Planda birbirine paralel olarak imal edilecek ve uzunlukları 100 metre civarında olacak üç tüp arasında mimari kriterlerin izin verdiği ölçüde - yaklaşık bir tünel çapı kadar - net mesafe bırakılmıştır. Böylece, tüplerin kazılarının birbirlerine olan etkisinin mümkün olduğunca azaltılması hedeflenmiştir.

Tünellerin üstündeki net örtü kalınlığı 5.5 metre ile 8.5 metre arasında değişmekte olup, genel olarak tünel çapından küçüktür. Düşük örtü kalınlığı ve tünellerin tamamen otoyol dolgusu içerisinde açılacağı da göz önüne alındığında tünel açımı sırasındaki en önemli problem ayna stabilitesi olarak belirlenmiştir. Bu amaçla tünel kazı destek sistemi kazı aynasını, desteksiz açıklığını küçültmeyi ve mümkün olan bütün elemanlarla (enjeksiyon delikli şemsiye boruları, zemin çivileri.v.b.) ayna stabilitesini arttırmayı hedefleyecek şekilde belirlenmiştir. Belirlenen bu kazı destek sistemi ile, tünel içerisinde okunan deplasman değerleri maksimum 1.5cm civarında kalırken, yüzey oturmaları maksimum 4cm-5cm mertebesinde gerçekleşmiştir. Kaydedilen bu oturmalar yolda herhangi bir probleme yol açmamış ve tüneller makalede detayları verilen kazı destek sistemi ile sorunsuz bir şekilde imal edilmiştir.