

\_Araştırma Makalesi\_

## İSTANBUL-KADIKÖY'DE KARAYOLU ALTINDAN GEÇEN ÇOK SIĞ BİR TÜNEL İÇİN ÖZEL BİR METOD

### Special Method for a Very Shallow Tunnel Under Highway in the City of Istanbul - Kadıköy.

Yalçın EYİGÜN<sup>1</sup>

#### ÖZET

Bu çalışmada Kadıköy-Kartal Metro Hattının Göztepe İstasyon ana konkorsunu E-5 (D100) karayolunun karşı tarafına birleştiren yaya alt geçit tünelinin son derece az bir örtü tabakası altında delme tünel olarak inşa edilebilmesi için uygulanan özel çözüm yöntemi irdelenmiştir. Aktif karayolu ana arteri altında 3 ila 7 m örtü tabakası altında tünel açmanın standart çözümü aç-kapa yöntemini kullanmaktır. Ancak bu, uzun süre şehrin en önemli arterlerinden birinde yol şeritlerinin kapatılmasına ve servis düzeyinin düşmesine yol açacaktır. Delme tünel olarak bu yaya bağlantısının inşası ise büyük risk anlamına gelmektedir. Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminde zor koşullar altında tercih edilen şemsiye kemer (umbrella arch) metodunun kullanılması halinde dahi yüzey deformasyonunun kabul edilebilir sınırlar içinde kalmayacağı yapılan analizle tespit edilmiştir. Alternatif bir ön tahkimat çözümü bulmak zorunluluğu sebebiyle ön tahkimat olarak aynanın desteklenmesi için klasik olarak 10 cm çapında ve 10-12 m boylarında süren boruları kullanmak yerine 60 cm çaplı ve birbirine eklenerek yekpare hale getirilen borular, itme boru sürme (pipe jacking) metoduyla aynaya sürülmüştür. Ayrıca tünel kazısı modifiye yöntemle ve kısa tutulan kazı adımlarıyla gerçekleştirilmiştir. Kazı boyunca tünel içi ve yüzeyde deformasyon değerleri ölçülmüş ve tünelde 16 mm, yüzeyde ise 9,5 mm olarak gerçekleşen deformasyon miktarları tercih edilen çözümün doğru olduğunu göstermiştir.

#### ABSTRACT

In this study, a special solution method which is used to construct the pedestrian underpass tunnel connecting the main concourse of Göztepe Station of Kadıköy-Kartal Metro Line to the opposite side of the highway E-5 (D100) in order to construct as bored tunnel under a very small cover layer, has been examined. The standard solution for tunnel excavation under the main road with a 3 to 7 m cover layer is to use cut and cover method. This, however, will lead to the closure of road lanes and the drop-in service level in one of the city's most important arteries for a long time. The construction of this pedestrian link as a bored tunnel is a great risk. The New Austrian Tunneling Method has been identified by analysis of which surface deformation is not to fall within acceptable limits even in the case of using the umbrella arch method preferred under difficult conditions. Due to the necessity of finding an alternative front support solution, instead of using pipes have 4 10 cm in diameter and 10-12 m length, the pipes have 60 cm diameter, which are made to be integrated with each other, are pushed by the pipe jacking method. Tunnel excavation was also carried out by modified methods and short excavation steps. preferred solution was a right solution. During the excavation, deformation values in the tunnel and on the surface were measured and deformation values of 16 mm in the tunnel and 9.5 mm in the surface showed that the preferred solution was a right solution.

## GİRİŞ

İstanbul Metrosu sisteminin en önemli aşamalarından biri olan Kadıköy-Kartal Metro hattı 21,7 km hat ve 16 istasyondan oluşan önemli bir projedir. E-5 (D100) karayolu boyunca uzanan hattın 16

<sup>1</sup> Analitik Ulaşım Çözümleri San. ve Tic. AŞ. İçerenköy Mah. Çayır Cad. Partaş Center, No: 1/4 K.3, Ataşehir-İSTANBUL  
e-mail: yalcineyigun1@gmail.com

\*İlgili yazar / Corresponding author: [yalcineyigun1@gmail.com](mailto:yalcineyigun1@gmail.com)

Gönderim Tarihi: 26.04.2018

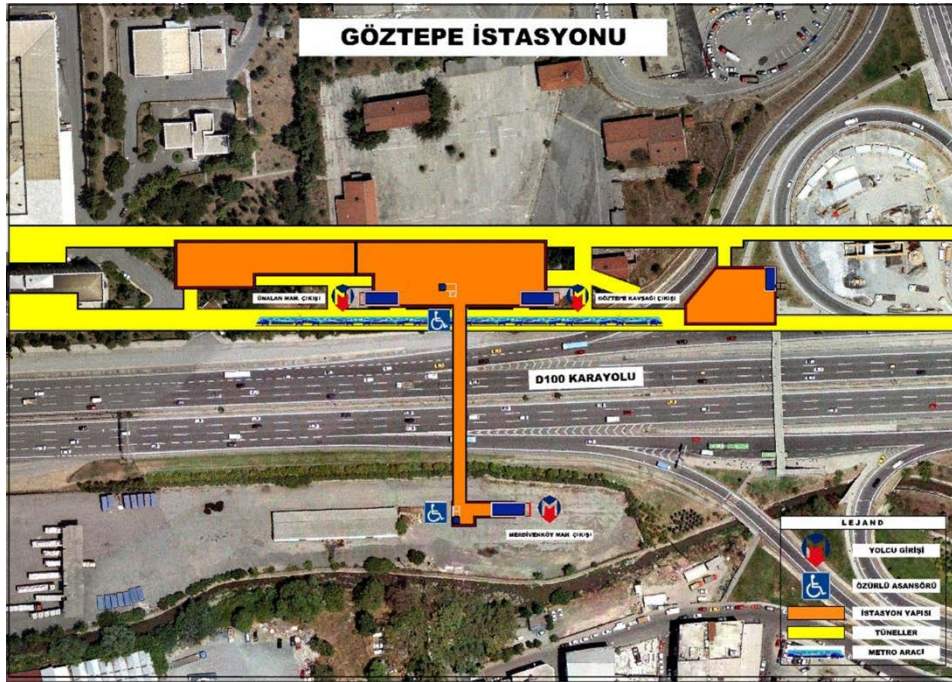
Kabul Tarihi: 27.06.2018

istasyonu bu önemli ana arterin sağında veya solunda inşa edilen ana konkors yapısı ile karayolunun karşı tarafına yaya bağlantısını sağlayan ek yapıları içerir. Göztepe istasyonu, Kadıköy'den başladığında hattın beşinci istasyonudur. Ana yapı, gidiş istikametinde solda olup karayolunun diğer tarafına 6,8 m çapında bir yaya bağlantı tüneli tasarlanmıştır. İstasyon geometrisi ve arazi topoğrafyasının sonucu olarak E-5 karayolu altından geçecek olan bu bağlantı tünelinin üzerinde sadece 3-4 m kadar bir örtü tabakası bulunacaktır. Tünel üstünde kendi çapının ancak yarısı kadar bir örtü bulunan ve üstelik bu örtünün dolgudan ibaret olduğu düşünüldüğünde modifiye bir yöntemle dahi delme tünel seçeneğinin uygulanmasının ne kadar zor olduğu anlaşılabilir.

Aç-kapa yönteminin kullanılması karayolu ana arterini uzun süre olumsuz etkilemek anlamına geleceğinden delme tünelin nasıl mümkün olacağı sorusu çalışmanın esasını oluşturmuştur. Bu çalışma kapsamında; önce sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis 3D (www.plaxis.com) programı kullanılarak tünelin Modifiye Yeni Avusturya Tünel Açma yöntemi ile tünel açılması halinde tünel üzerinde oluşacak deformasyon hesaplanmıştır. Kabul edilebilir sınırlar dışında çıkan hesap sonuçları, farklı bir çözümü zorunlu kılmıştır. Ön tahkimat elemanı olarak 10 cm çaplı ve 10-12 m boyunda çelik borular kullanmak yerine ön tahkimatı 60 cm ve 80 cm çaplı borulardan oluşturma ve boruları birbirine ekleyip zemine itme-boru sürme (pipe jacking) yöntemi ile uygulama seçeneği değerlendirilmiştir. Karayolunun her iki yanında oluşturulacak kazı çukurları arasındaki mesafe 80 metreyi bulduğundan bu boya kadar birbirine eklenerek yekpare haline getirilen ön tahkimat borularının istenen neticeyi sağlayacağı öngörülmüştür. Yapım işi süresince tünel içinde konverjans, yüzeyde ise oturma (tasman) değerleri ölçülerek durum kontrol edilmiştir.

## UYGULAMA ALANININ JEOLojİK VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Göztepe İstasyonu, E-5 (D100) karayolu boyunca uzanan hattın ana karakteristiğine uygun olarak peron katları delme tünel, yüzeye yakın teknik hacim ve konkors katı ise aç-kapa yöntemi ile inşaatı planlanmış bir yapıdır (Şekil 1). Yolun sol tarafında boş kamu arazilerine oturan ana yapının inşasında herhangi bir sorun ortaya çıkmamıştır. Ancak yolun karşı tarafına bağlantı sağlayan yaya tüneli gerek zemin yapısı ve gerekse örtü tabakasının yetersizliği sebebiyle riskli bir yapı görünümündedir.



Şekil 1. Göztepe istasyonu ve yaya alt geçit tüneli planı  
Figure 1. Goztepe station and passerger underpass tunnel plan

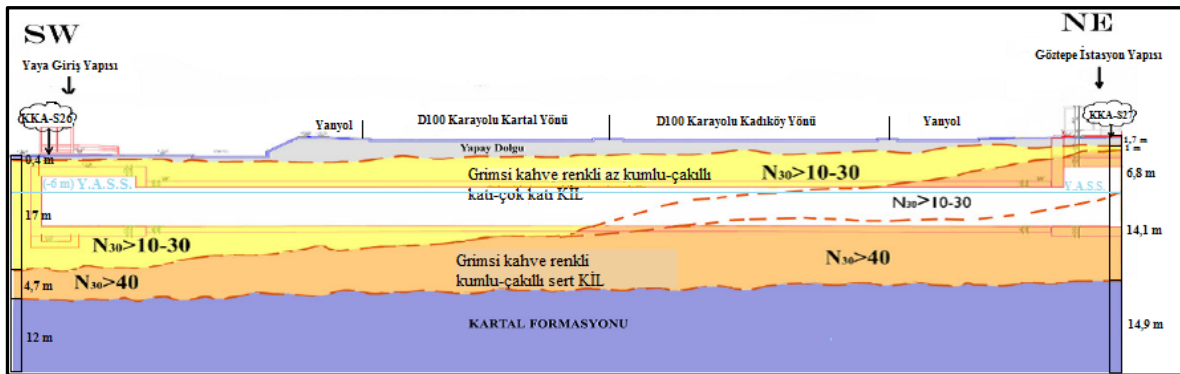
## Göztepe İstasyonu Yaya Geçiş Tüneli İçin Yapılan Jeolojik-Geoteknik Çalışmalar

Göztepe İstasyon alanı yaya geçiş tüneli için ilk zemin araştırmaları 2005 yılında Metro inşaatının bu kısmını yapan yüklenici tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de lokasyon planı verilen toplam 4 adet sondajdan ZKS-13 numaralı sondaj 2005 yılında Anadoluray Ortak Girişimi tarafından, KKA-S25, KKA-S26 ve KKA-S27 numaralı sondajlar ise 2008 yılında Avrasya Metro Grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu sondajlardan 34,1 m derinliğindeki KKA-S26 ve 38,5 m derinliğindeki KKA-S27 numaralı sondajlar, yaya geçiş tünelinin zemin profilini ortaya koymaktadır (Şekil 3).



Şekil 2. Göztepe İstasyon alanı araştırma sondaj lokasyonları.

Figure 2. Soil investigation borehole locations at Goztepe Station area.



Şekil 3. Göztepe İstasyonu yaya giriş tüneli ve portalı zemin profili.

Figure 3. Soil profile of Goztepe Station pedestrian entrance tunnel.

Bu sondaj verileri ışığında bu istasyonun yapılarının destekleme projelerine mahsus olarak Avrasya Metro Grubu tarafından hazırlanan “Göztepe İstasyonu Alanı Örtü Katmanı Özellikleri ve Jeolojik-Geoteknik Değerlendirme Raporu”nun (2009) yaya geçiş tüneline mahsus bulguları aşağıda özetlenmiştir.

- Yüzeyden itibaren kalınlığı 1-2 metreyi geçmeyen yapay dolgu tabakası bulunmaktadır.
- Dolgunun altında kalınlığı 22 metreyi bulan Kil tabakasına rastlanmıştır. Grimsi kahve renkli ve içeriğinde kum-çakıl bulunan bu tabakanın kalınlığı değişken olmak üzere derine doğru Standart Penetrasyon Sayısı ( $N_{30}$ ) büyüyen iki seviyeye ayrıldığı söylenebilir.

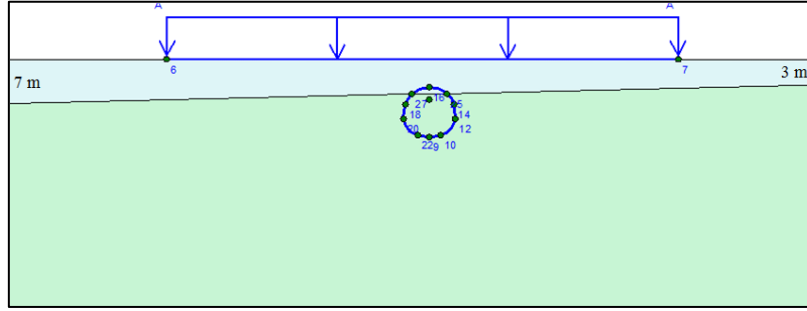
Kalınlığı KKA-S27 numaralı sondajda 1 metreden başlayıp KKA-S26 sondajında 17 metreye kadar ulaşan ve  $N_{30}$  değeri 10-30 arasında olan birinci seviyenin altında kalınlığı 4,7 m ile 14,1 m arasında değişen ve  $N_{30} > 40$  değerine sahip ikinci kısım bulunmaktadır. Birinci kil seviyesinde kum çakıl yanında kısmen bitkisel kökenli organik özellikli ve siyahımsı gri renkli çökeller görülmüştür. Daha alt seviyedeki kilde ise çok köşeli kum çakıl boyutunda, çok ayrılmış ana kaya bileşenlerine daha çok rastlanmıştır.

- En derindeki ana kaya birimi Kartal Formasyonudur. Bu formasyonu Önalın (1987) genel olarak bol fosilli, sarımsı kahverengi şeylerden meydana gelen, birimin alt ve üst seviyelerinde yer yer karbonatça zengin ara seviyeler bulunan bir birim olarak tanımlar. Kartal Formasyonunun, litolojisi, içerdiği fosilleri ve laminalı yapısı göz önüne alındığında dalga tabanının altında, düşük enerjili, açık denizel bir ortamda çökeldiği anlaşılmaktadır Önalın (1987). Önalın (1987) ve Seymen (1995) bu birimi “Kartal Formasyonu” olarak isimlendirirken, Akyüz (1987) “Fosilli şeyli”, Kaya (1973) ise “Pendik Grubu” adı altında “Kartal, Kozyatağı formasyonları ve İçerenköy şeyli” biçiminde niteleme yapmıştır. Sondaj verileri bu tanımlarla uyumludur.

### Geoteknik Raporda Tünel İnşası İçin Öneriler

1. Yaya giriş tüneli ve portalı; zayıf-orta dayanımlı kaya özellikli Kartal formasyonunun 8-12 m üzerinde bulunan kum-çakıl içeren kil içinde açılacaktır. Söz konusu kil tabakası  $N_{30} > 10$  değerleri ile “Katı-çok katı-sert kil” özelliklidir. Araştırma sondajlarında yer altı su seviyesinin +6,00 m kotlarında görülmesine karşılık bu tabakada permeabilite değerleri çok düşüktür ve tünel kazısı için büyük ölçüde su gelişi ve stabilite sorunu yaratmayacaktır. Ancak araştırma sondajlarında karşılaşılmayan ve Kurbağalı dere alüvyonu içinde kum mercceklerinin potansiyel varlığı (Meriç ve diğ. 1989) nedeni ile “hapsedilmiş su” ile karşılaşılması potansiyel risk oluşturabilir. Bu koşullarda tünel kazı yüzeyinden “yatay drenaj delgileri” yapılarak risk azaltılabilir.
2. Yer altı su seviyesinin yüksekliği nedeni ile portal giriş yapısının kesişen kazıklı (perde) yapılması öngörülmelidir.
3. “Çok sığ tünel” şeklindeki “yaya giriş tüneli”nin açımında olası deformasyon risklerini önleyebilecek temel uygulama; tavan bölgesinin omuzlara kadar şemsiye kemer (umbrella arch) ile desteklenmesidir.
4. Tünelin tam kesit açılmaması durumunda, alt yarı kazısının en fazla 6,00 m gerisinden ring tamamlanarak ilerlemesi sağlanmalıdır.
5. Özellikle mevcut jeolojik koşullar altında; üst yarı kazısında omuz altı-ayaklar bölgesinden “tünel içine basma” şeklinde tanımlanabilen olası büyük mertebeli deformasyon potansiyeli söz konusudur. Bu olumsuzluğun birincil önlemi ringin en kısa sürede kapatılmasıdır.
6. Sürtünme yüzeylerini arttırmak amacıyla kaya bulonu delgi çapının 100 mm.den büyük seçilmesi ve kaya bulonu boylarının en az 4,0 m olması tercih edilmelidir.

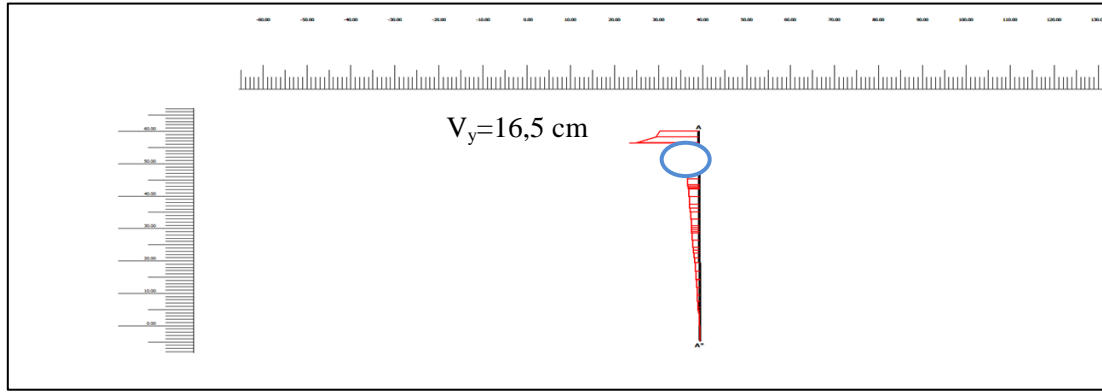
Yapılan sondajlar ve Geoteknik Rapor önerileri dikkate alınarak yaya geçiş tünelinin analizler için idealize edilmiş tünel kesiti, en elverişsiz koşullar için Şekil 4’de görülmektedir. Yapay dolgu tabakasının 3 m ile 7 m arasında değişmesi ve tünelin tam üzerinde 3-4 m kalınlığa sahip olması; Geoteknik Raporun önerisine binaen ön tahkimat elemanı olarak şemsiye kemer (umbrella arch) kullanılsa dahi kazının yapılabilişliğini sorunlu hale getirmektedir.



Şekil 4. İdealize tünel kesiti ve üstündeki dolgu kalınlığı

Figure 4. Idealized tunnel section and fill layer thickness

Bu çalışma kapsamında yapılan sonlu analiz yöntemli deformasyon hesabında tünel ön tahkimat elemanı olarak önce geoteknik rapora uygun olarak 9 m boyunda ve 10 cm çapında şemsiye kemer elemanları kullanılmıştır. Ayna iki kademede açılmış ve tüm tahkimat elemanları yeterli rijitliği sağlayacak şekilde seçilmiştir. Plaxis 3D versiyonu kullanılan analiz sonunda tünel üzerinde meydana gelecek düşey deformasyon değerinin 16,5 cm olacağı bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Plaxis 3D programı ile hesap edilen tünel üstü düşey deformasyon

Figure 5. Vertical deformation above tunnel calculated by Plaxis 3D software

Rankin (1988)'e göre binalarda açıl dönmenin 1/50'den veya yüzey oturmasının 7,5 cm'den büyük olması üstyapıda yüksek derece hasara sebep olabilmektedir. Boscardin ve Cording (1989) de benzer değerler vermiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Tünel üstündeki bina ve yüzeylerde kayma veya oturma hasarı risk değerlendirmesi (Rankin (1988), ve Boscardin ve Cording (1989)'e göre)

Table 1. Typical values for maximum building and ground slope or settlement for damage risk assesment According to Rankin (1988), and Boscardin and Cording (1989)

Risk kategorisi	Deformasyon veya tilt kriteri		Riskin Tanımı ve Öneriler
	Rankin (1988)'e göre	Boscardin ve Cording (1989)'e göre	
1	<1/500 <0.4"	<1/600	Dikkat, izlemeye devam et (önemsiz ile çok az arası: hasar ihtimali yok)
2	1/500-1/200 0.4"-2.0"	1/600-1/300	Azaltıcı önlemleri (enjeksiyon gibi) düşün ve uygula. İzlemeye devam et. Üstyapıda muhtemel zarar, yapısal hasar önemsiz derecede.
3	1/200/1/50	1/300-1/50	Azaltıcı önlemleri önceden planla ve

	2.0"-3.0"		tünel kazısı öncesinde uygula. İzlemeye devam et. Üstyapıda orta derece ile ciddi arasında hasar, binalarda yapısal zarar, rijit boru hatlarında hasar ihtimali var.
4	>1/50 >3"	>1/50	Azaltıcı önlemleri önceden planla ve tünel kazısı öncesinde uygula. İzlemeye devam et. Üstyapıda yüksek derecede hasar, binalarda yapısal zarar, rijit boru hatlarında hasar ihtimali var.

Tünel üstünde oluşacak deformasyon olarak hesaplanan 16,5 cm değeri, uluslararası kabul görmüş limitlerin çok üstündedir. Bu durumda yaya tüneline özel önlem almadan emniyetli bir şekilde açma imkânı yoktur.

### TÜNEL AÇIMI İÇİN ÖNERİLEN ÖZEL YÖNTEM

Çalışma kapsamında yeterli ayna güvenliğini sağlamak üzere ön tahkimat elemanı olarak 60 cm çapında çelik boru sürülmesi önerilmiştir. Birbirine eklenerek yekpare çalışması sağlanacak çelik borular, 80 metreye ulaşarak çalışan karayolunun 3 m altında üstteki dinamik etkiden tünel faaliyetlerini koruyacak ya da tünel açımı sebebiyle yüzeye etkiyecek deformasyonu minimize edecektir.

Tünel kesitinin üst yarısını korumak üzere toplam 9 adet boru uygulanabileceği tespit edilmiştir. En üstte ve ortada yer alan borunun 80 cm çapında olması da stabiliteyi arttırmak için öngörülmüştür (Şekil 6). Boruların içinin C20 sınıf betonla doldurulması da çelik borunun üstyapıdan gelecek dinamik yük etkisi altında deformasyon riskini bertaraf için önerilmiştir.

Uygulama için yaya geçiş tüneline karşı tarafta başlayacağı ve boruların birbirine eklenerek istasyona doğru imal edilmeleri kararlaştırılmıştır. İstasyon duvarına rastlanacak noktada stabilite sorunu yaşanmaması için anılan duvarın 65 cm. çaplı teğet kazıklarla imal edilmesi ve tünel bu noktaya geldiğinde kazıkların tünel kesiti ile kesişen kısmının kırılarak alınması sistemi tamamlayan unsurlardan olmuştur.

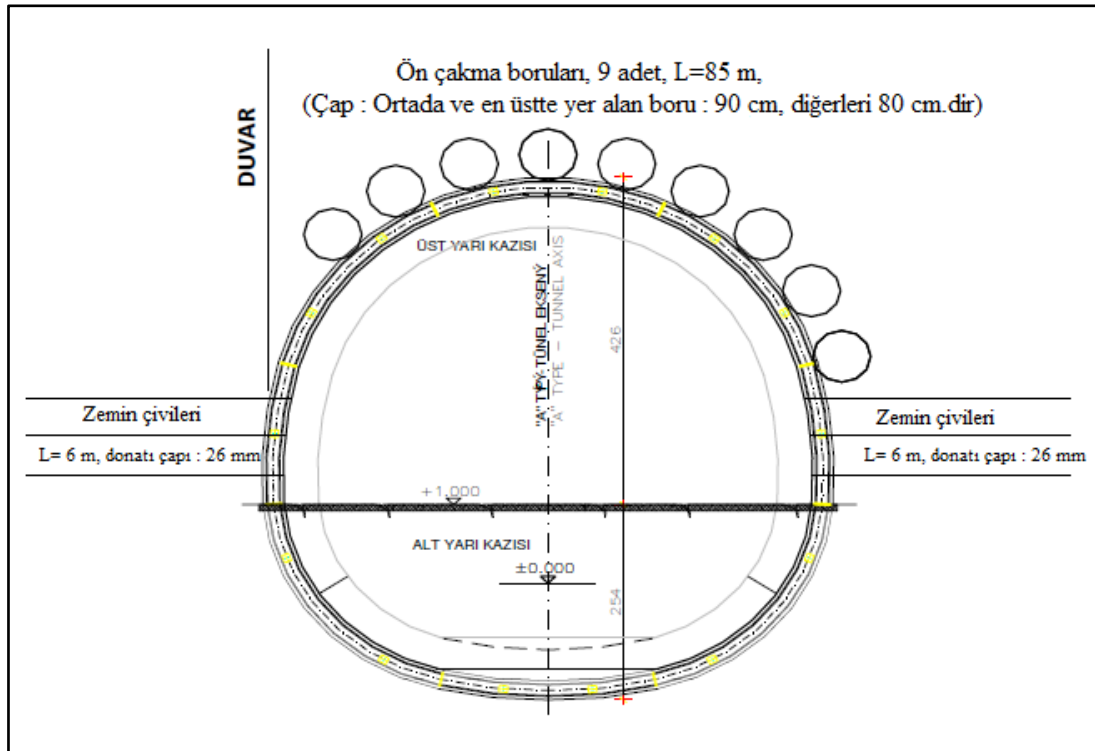
Tünel kazısının üst yarı ve alt yarı biçiminde iki parçalı yapılması, her bir kazı adımının 60 cm. olması ve üst yarı ile alt yarı arasında en çok 4 adım farka müsaade edilmesi öngörülmüştür. Üst yarıda 26 mm çaplı donatı elemanı kullanılarak 110 mm çaplı zemin çivisi uygulaması aynanın stabilitesi açısından önerilmiştir. Kabuğun yana bağlanması için ise üst yarı ve alt yarıda her iki yanda birer tane olmak üzere kesitte toplam 4 adet 8 veya gerektiğinde daha fazla) 6 m boyunda 26 mm çaplı zemin çivisi öngörülmüştür. Çizelge 2'de önerilen çözümün özeti verilmektedir.

**Çizelge 2.** Özel yöntemin uygulama içeriği  
**Figure 2.** Application content of special method

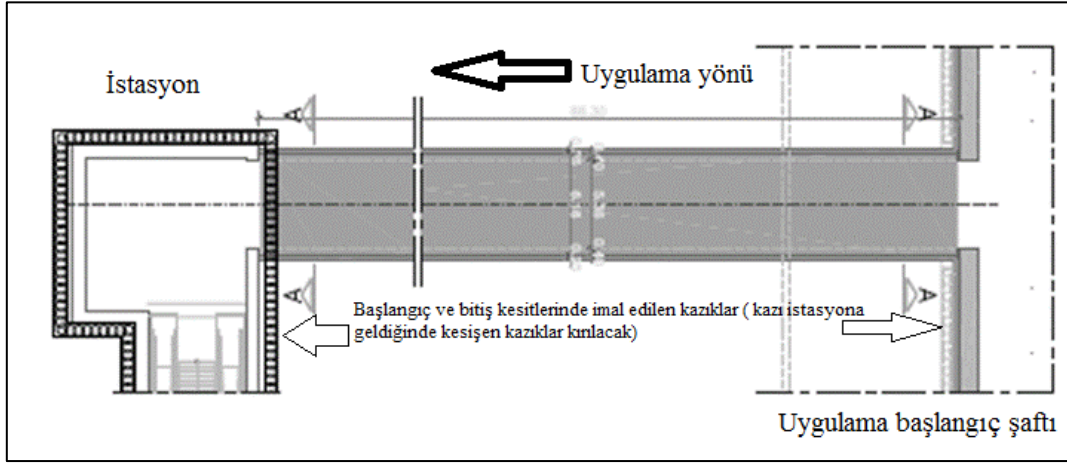
Uygulama İçeriği	Uygulamanın Niceliği
Tünel uygulama boyu	85 m.
Tünel çapı	6,8 m
Ön tahkimat boru adedi	9
Boru çapı	8 adet: 60 cm, 1 adet : 80 cm
Çelik boru et kalınlığı	6 mm
Boru içine beton uygulaması	C20 ile doldurulacak
Kazı adımı	60 cm
Kazı ardışımı	Üst yarı+alt yarı

Püskürtme beton ve kalınlığı	C25, 25 cm
Çelik profil	Tip: HEP160
Çelik hasır	Çift sıra Q 589/589
Aynada zemin çivisi	Φ26 çaplı demir, delik çapı 110 mm, L=6 m Üst yarıda
Yanlarda zemin çivisi	Φ26 çaplı demir, delik çapı 110 mm, L=6 m Üst yarı ve alt yarıda

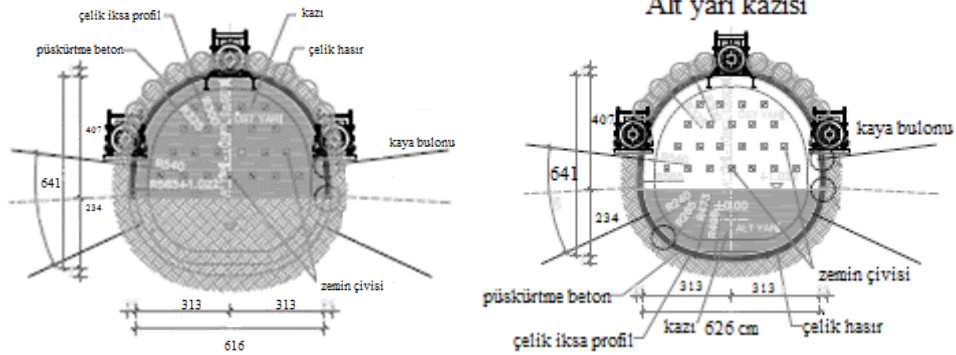
Şekil 6'da özel çözümün en önemli unsuru olan 60 cm çaplı sürme boru ile ön tahkimat uygulanan tünelin ayna kesiti görülmektedir. Şekil 7'de uygulamanın başlangıç şaftından istasyon ana konkors yapısına doğru uygulamanın yönünü gösteren plan, Şekil 8'de ise tünelin üst yarı ve alt yarı kazı kesitleri verilmektedir. Verilen planda başlangıç şaftında ve istasyona varış kesitinde imal edilen koruyucu kazıklar da görülmektedir.



Şekil 6. Boru sürme yöntemi ile teşkil edilen borular  
Figure 6. Pipes formed by pipe-jacking method



Şekil 7. Uygulamanın yönünü gösteren plan  
Figure 7. Plan showing the direction of the application  
Üst yarı kazısı

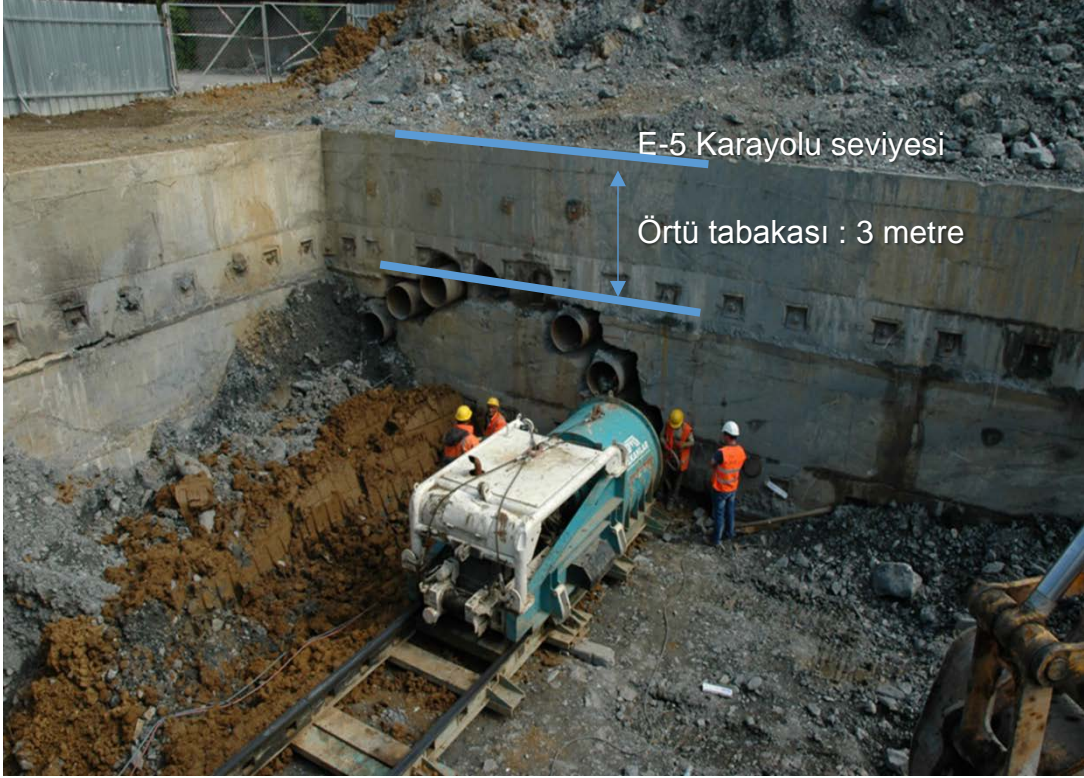


Şekil 8. Tünel üst yarı ve alt yarı kazı uygulama kesitleri  
Figure 8. Tunnel arch and invert excavation application sections

## UYGULAMA

Önerilen çözüm projesine göre uygulama yapılmıştır. Şaft yapısı diyafram duvar tekniği ile inşa edilmiştir. Şaftta 60 cm boruların (en üst kesitteki 80 cm) sürüleceği kota kadar yüzeyden kazı yapılmış, uygun kota gelindiğinde tabanda hidrolik itme kuvvetinin güç alacağı betonarme payanda yapısı imal edilmiştir. Boru sürme için özel ekipman temin edilmiştir (Şekil 9 a ve b).





(a)

Şekil 9. (a) Boru sürme uygulaması  
Figure 9. (a) Pipe jacking application



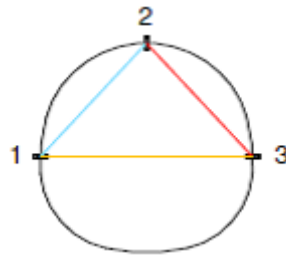
(b)

Şekil 9. (b) Tünel aynasından kazı işlemi  
Figure 9. (b) Excavation process from tunnel face

Toplam boyu 85 m olan tünelde karayolunun altından geçen kısım 60 m'dir. Son 25 m'lik kısım istasyon inşaat şantiyesi alanı içinde kaldığından çevreye zarar verme riski bulunmamaktadır. Bu yüzden boru sürme ile açılan tünelin ilk 60 metresinde ölçüm ağı sık teşkil edilmiştir. Tünel içinde Çizelge 3'de görülen 9 noktada tünel içi optik konverjans ölçümü alınmıştır. Uygulamanın başladığı 25 Ağustos'tan tamamlandığı 3 Aralık gününe kadar ilk sıfır okuması yapılarak başlanan ölçüm işleri, 100 gün boyunca aksamadan sürdürülmüştür.

## TÜNEL İÇİ DEFORMASYON ÖLÇÜMLERİ

Tünel kazısı süresince tünel içinde konverjans ölçümleri yapılarak kabuğun deformasyonu takip edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Tünel içi deformasyon ölçümü (konverjans) şablonu

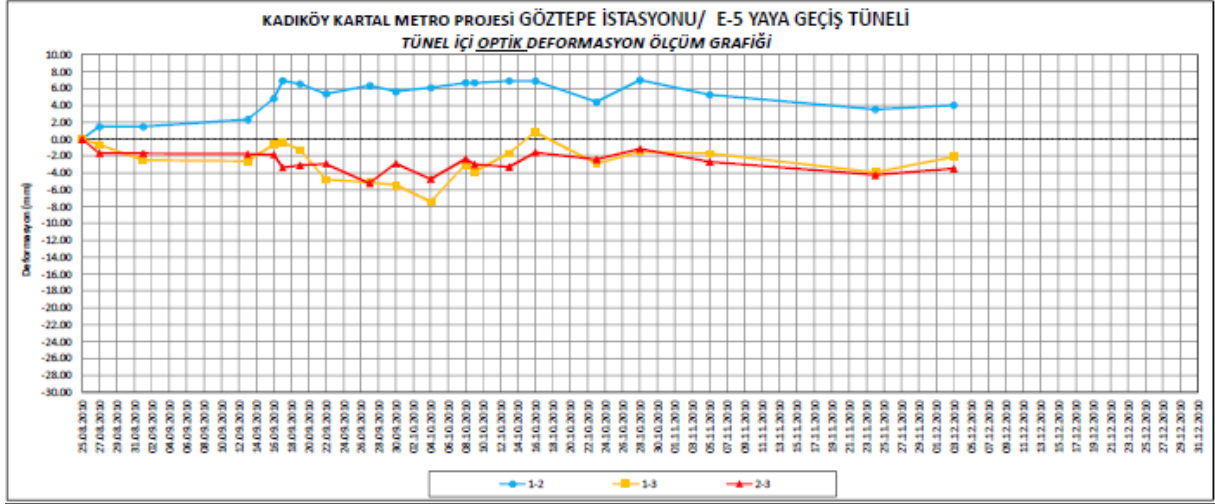
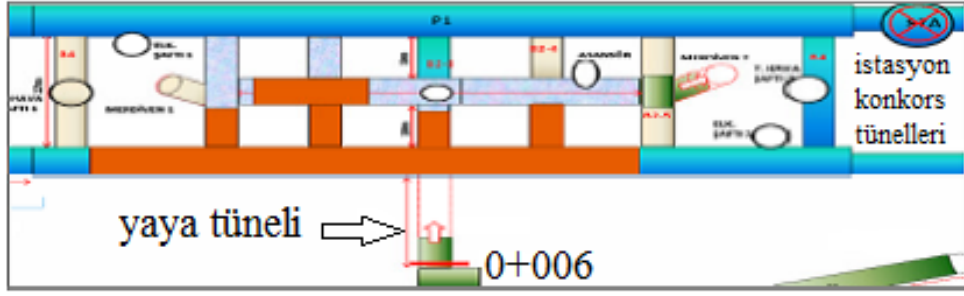
Figure 10. Tunnel deformation measurement (convergence) template

Çizelge 3. Tünel içi konverjans kilometreleri ve ölçülen maksimum konverjans değerleri

Table 3. Tunnel convergence kilometers and measured maximum convergence values

Nokta No	Nokta km.si	Ölçülen maksimum konverjans değeri (mm)
1	0+006	8
2	0+009	5
3	0+016	3
4	0+021	3
5	0+028	16
6	0+036	4
7	0+043	5
8	0+052	3
9	0+060	7

Şekil 11'de konverjans ölçümlerinin alındığı kesitlerden bir örnek noktanın (km 0+006) planda lokasyonu gösterilerek 100 gün boyunca alınan ölçümlerin grafiği verilmiştir.

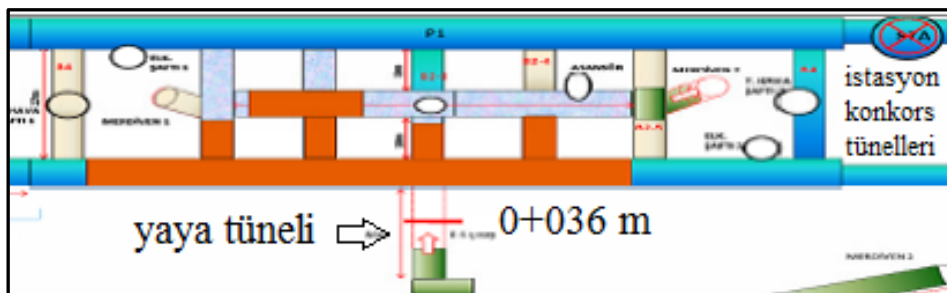


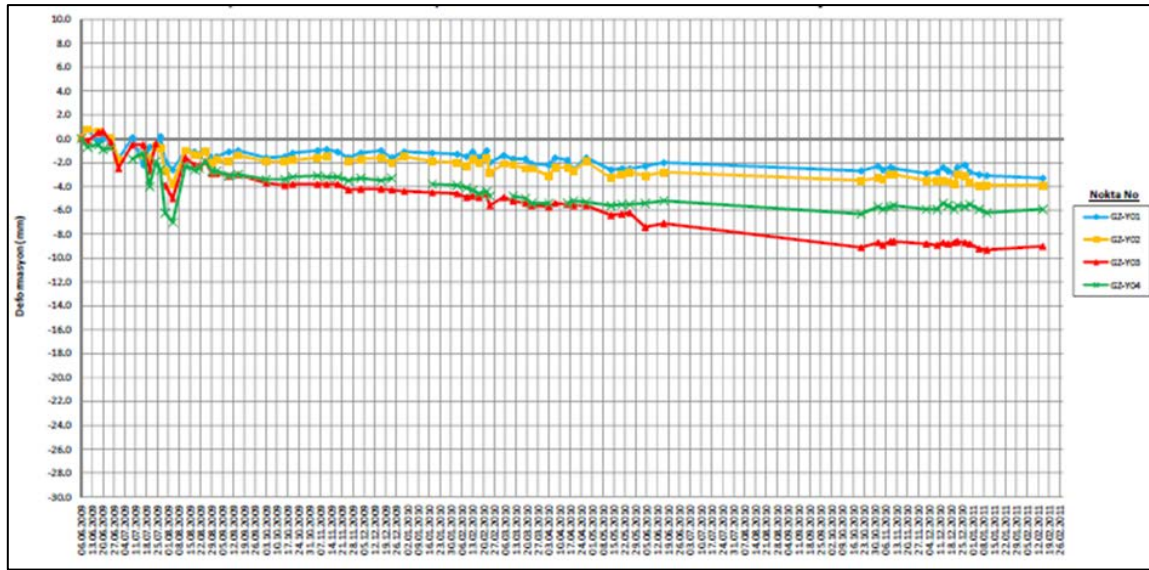
Şekil 11. Konverjans ölçümü için başlangıç kısmından örnek bir kesit km : 0+006 için plan ve deformasyon ölçüm grafiği

Figure 11. Plan and deformation measurement chart for the convergence measurement for a sample section (km:0+006) from the beginning

## YÜZEY DEFORMASYON ÖLÇÜMLERİ

Bilgisayarda şemsiye kemer (umbrella arch) ile modellenen hesabın sonucunda 16,5 cm düşey deformasyon değeri öngörülmüş ve boru sürme ile ayna ön tahkimatı özel çözümü geliştirilmiştir. Boru sürme ile ön tahkimat uygulaması boyunca tünel içi konverjans ölçümleri yanında yüzey deformasyon ölçümleri de alınmıştır. Muhtelif noktalara yerleştirilen yüzey oturma bulonları, uygulama boyunca benzer okuma sonuçları vermiştir. Şekil 12, maksimum yüzey oturması (tasman) veren noktanın plan ve ölçüm grafiğini vermektedir. E-5 (D100) karayolu orta refüjünden (km: 0+036) alınan okumalarla oluşan grafikte tünel iç kaplaması tamamlanana kadar ölçülen en büyük deformasyon 9,5 mm olmuştur. Bu değer Rankin (1988) ve Boscardin ve Cording (1989)'e göre "önemsiz ve hasar ihtimali olmayan" bir tasman değeridir. Bu durum, karayolu dinamik yük etkisi ve dolgu tabakası altında çok sığ bir tünel için önerilen metodun doğru çözüm olduğunun göstergesidir.





**Şekil 12.** Yaya tünelinin üstünde yüzey oturma bulonlarından ölçülen deformasyon grafiği (km : 0+036 için)

**Figure 12.** Deformation graph measured from the surface deformation bolts above pedestrian tunnel (for km : 0+036)

## SONUÇLAR

Bu çalışma örtü tabakası 3-4 m olan ve üstünden karayolu geçen bir metro yaya bağlantı tünelinin delme tünel olarak yapılabilmesi için geliştirilen özel bir çözümün uygulanmasını anlatmaktadır. Üzerinde kendi çapının yarısı kadar bir örtü bulunan ve bu tabakanın dolgudan ibaret olduğu tünelin zorlayıcı diğer unsurlar sebebiyle aç-kapa olarak inşası mümkün olmamıştır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM)'nin modifiye uygulamaları, ön tahkimat elemanını 10 cm çaplı 9-12 m uzunlukta çelik boru seçmektir. Normal şartlarda bu, kötü zemin koşullarında yeterince konservatif sonuçlar vermektedir. Ancak 60 m'lik kesiminde aktif şehir içi ana arterin altından geçen ve şemsiye (umbrella) borusunun zemine soketlenme imkanının bulunmadığı tünel koşullarında bu değişikliğin yetersiz olması beklenen sonuç olmalıdır.

Bu çalışma kapsamında önce klasik modifiye tüm elemanlar sonlu elemanlar yazılımı ile modellenmiş ve modifiye koşullarda dahi yüzey deformasyonunun 16,5 cm olduğu hesaplanmıştır. Problem ilk kazının yapılması esnasında aynanın tutulmaması olmaktadır.

Çözüm olarak ön tahkimat için radikal bir değişiklik önerilmiştir. 10 cm ve 9-12 m uzunlukta borular yerine 60 cm çaplı (tavandaki 80 cm) ve birbirine eklenerek 80 metreyi yekpare olarak bulan borularla sadece ön tahkimat değil, tünelin kazısı boyunca stabilite sağlayacak koruyucu bir “çelik boru tavan” teşkil edilmiştir.

Kazı süresince tünel içi deformasyon ölçümlerinde alınan en büyük konverjans değeri 16 mm ve yüzey deformasyon bulonlarının en elverişsiz kesitte verdiği değer 9,5 mm olmuştur. Bu da önerilen çözü yönteminin istenen amacı emniyetle sağladığını gösteren bir doğrulama olmuştur.

Şehir içi çok sığ tünellerin karayolu altında yapılmasının en elverişli yolu, karayolu akışını rahatsız etmekle beraber aç-kapa yönteminin kullanılmasıdır. Karayolunun geçici olarak kapatılması veya servis yoluna aktarılmasının mümkün olmadığı haller için ön tahkimat elemanı olarak içi betonla doldurulmuş büyük çaplı çelik boruların zemine sürülmesi yoluyla “çelik boru tavan” elde edilmesi emniyetli bir alternatif çözümdür.

## KAYNAKLAR

- AKYÜZ H. S., 1987. İstanbul Boğazı batısının jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ANADOLURAY ORTAK GİRİŞİMİ, 2005. Kadıköy-Kartal Metrosu Zemin Sondajları ve Geoteknik Rapor 1, Özel Rapor.
- AVRASYA METRO GRUBU, 2008. Kadıköy-Kartal Metrosu Zemin Sondajları ve Geoteknik Rapor2, Özel Rapor.
- AVRASYA METRO GRUBU, 2009. Göztepe İstasyonu alanı örtü katmanı özellikleri ve jeoloji-jeoteknik değerlendirme raporu (2009), Özel Rapor.
- BOSCARDIN M.D., and CORDING E.J., 1989. Building response to excavation-induced settlement. ASCE Journal of Geotechnical Engineering Vol. 115, No. 1, pp. 750-757.
- KAYA O., 1973. Paleozoic of İstanbul, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitapları 40, İzmir.
- MERİÇ E., OKTAY R.Y., SAKINÇ M., TANER G., GÜLEN D.L., EDİGER V.Ş., MERİÇ, M., ÖZDOĞAN M., ve ÇETİN O., 1989. Kuşdili (Kadıköy-İstanbul) Kuvaternerinin sedimanter jeolojisi ve paleoekolojisi. Ahmet Acar Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana.
- ÖNALAN, M., 1987. İstanbul Devoniyen Çökellerinin Sedimenter Özellikleri ve Çökelme Ortamları, İst. Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, c. 6, 1-2, 92- 108.
- RANKİN W.J., 1988. Ground movements resulting from urban tunnelling: Predictions and Effects. Engineering Geology Special Publication No.5, pp. 79-92.
- SEYMEN İ., 1995. İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojisi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi (Ed: Engin Meriç), 1-21.