

İZMİR METROSU ÜMMÜHAN ANA TÜNELİ'NDE ZEMİN BASINCI DENGELEME TÜNEL METODU (EPBM) UYGULAMASI

Başar ARIOĞLU¹, Ali YÜKSEL², Ergin ARIOĞLU³

ÖZET

11.6 km uzunluğundaki İzmir Metro I. Aşama güzergahının 3,08 km'lik kısmı derin tüneller ile inşaa edilmiştir. Kil, silt ve kumlu çakıllardan oluşan yumuşak zeminlerin bulunduğu Konak-Basmane İstasyonları arasındaki bölüm şehrin ana trafik arterleri üzerinde, yoğun yerleşim yapısına sahip, ve güzergahı kesen çok sayıda altyapılar bulundurmaktadır. Tünel, yüzeyde yoğun inşaat faaliyetleri gerektiren geleneksel inşaat metodları yerine, yüzeyde hiçbir rahatsızlık vermeyen ve çökmelerin kontrol edilebildiği, "EPBM-Zemin Basıncı Dengeleme Metodu" ile açılmıştır. maksimum 30 m/gün, ortalama 12,8 m/gün ilerleme hızlarının kaydedildiği bu yöntemde, tünel inşaatı, 273 iş gününde tamamlanmış, ve gerçekleşen maksimum yüzey oturması 21 mm olarak kaydedilmiştir.

1. GİRİŞ

Metro yapılarının, şehir içinde olmaları nedeniyle, çoğunlukla yeraltında inşaa edilmesi gerekmektedir. Bu yapıların aç-kapa gibi geleneksel metodları ile inşaa edilmesi durumunda inşaat süresi boyunca güzergahın geçirildiği caddeler trafiğe kapatılmakta ve güzergah boyunca yer alan bütün alt yapılar tamamen yer değiştirilmektedir. Bu sırada, zaten sorunlu olan taşıt trafiği daha da güçleşmekte, ve burada bulunan ticari işletmeler ciddi boyutta ekonomik kayıplara uğramaktadır. Tünel teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, zor jeolojik koşullar sergileyen yumuşak formasyonlarda tünel açmak mümkün hale gelmiş, böylelikle yukarıda değinilen sorunlara daha ekonomik çözüm imkanları sağlanmıştır. Bu çalışmada, İzmir Metro Konak – Basmane İstasyonları arasındaki Ümmühan Ana Tünel'inde uygulanan EPB (Zemin Basıncı Dengeleme) metodu ele alınmış, ve proje kapsamında elde edilen deneyimler yerli mühendislik literatürüne kazandırılmaya çalışılmıştır.

2. İZMİR METRO PROJESİ

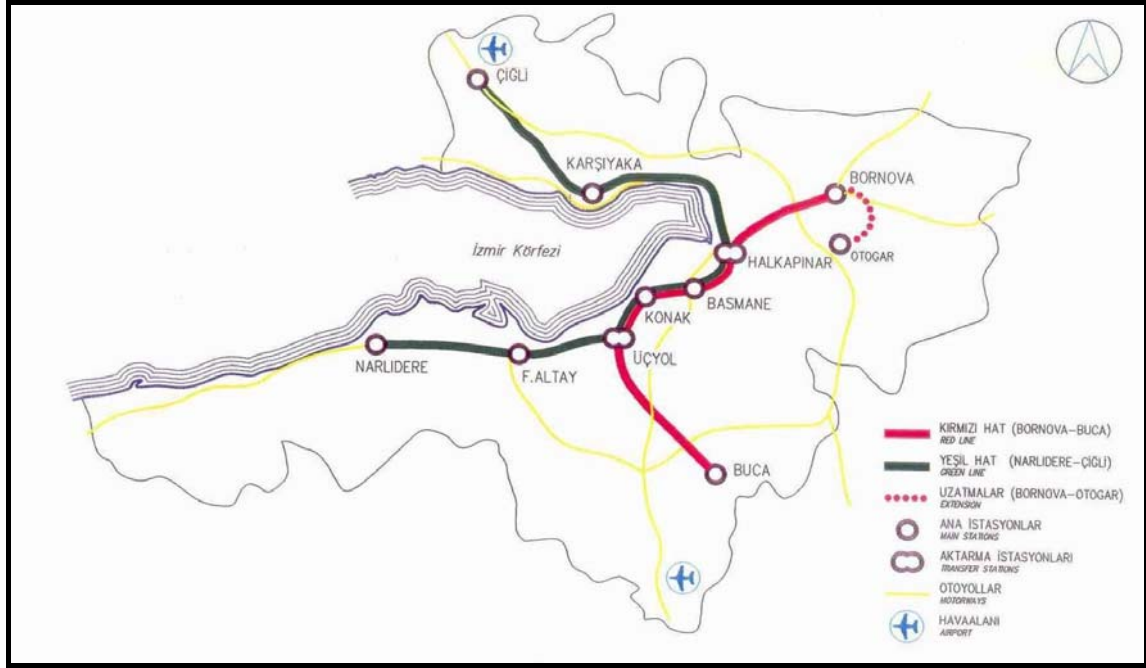
İzmir Metro Projesi, İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan Ulaşım Master Planı çerçevesinde uzunluğu toplam 45 km'ye varacak olan ve İzmir şehrinin yerleşim alanlarının büyük bir bölümünü kapsayacak yüksek kapasiteli bir sistem olarak planlanmıştır. I.aşama inşaatı

¹ İnş. Y. Müh., Genel Müdür, Yapı Merkezi İnşaat ve San. A.Ş., 81180 Çamlıca-İstanbul

² Mad. Y. Müh., Ağır İnşaatlar Grubu, Yapı Merkezi İnşaat ve San. A.Ş., 81180 Çamlıca-İstanbul

³ Prof. Dr. Müh., AR-GE Bölümü Direktörü, Yapı Merkezi İnşaat ve San. A.Ş., 81180 Çamlıca-İstanbul

kapsamında, nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu, dolayısıyla yolcu hareketinin en yüksek olduğu Üçyol-Bornova hattı inşaa edilmiştir. 11,6 km uzunluğundaki bu hat, gelecekte bir kolu Bornova'dan Narlıdere'ye diğer kolu da Çiğli'den Buca'ya kadar uzanacak Metro Sisteminin ana omurgasını oluşturmaktadır (Şekil-1). I.şama inşaatının yapımını Yapı Merkezi - Adtranz Konsorsiyumu üstlenmiş, yapım çalışmalarına Mayıs 1995'te başlanmış ve sistem 22 Mayıs 2000 tarihinde işletmeye alınmıştır.



Şekil-1 İzmir Metro Sistemi

Sistemde toplam 10 adet istasyon bulunmaktadır. Bunlardan Üçyol, Konak, Çankaya, Basmane ve Bornova istasyonları yeraltında; Hilâl, Halkapınar ve Stadyum istasyonları viyadükte inşaa edilmiştir. Sanayi ve Bölge istasyonları ise hemzeminde yer almaktadır.

Üçyol ile Konak İstasyonları arasında yaklaşık 70 m'lik yükselti farkı bulunmakta ve güzergah yüzeyden 30-60 m derinlikte yer almaktadır. Bu iki istasyon arasında güzergah volkanik kökenli andezit kayacı içerisinde geçmekte ve üzerinde yoğun şekilde, çok katlı yapılar bulunmaktadır. Yukarıda belirtilen şartlar yüzünden bu kısım derin tünelle geçilmiştir. Bu tünel "NATM-Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu" ile açılmış, iç kaplamasında 40 cm kalınlığında donatılı BS 35 sınıfında su geçirimsiz beton kullanılmıştır (Arioğlu vd., 2000). Konak -Basmane İstasyonları arasındaki bölümde yumuşak zemin koşulları hakimdir. Burada güzergah Konak tarafında kısmen denize paralel olarak, Meşrutiyet Caddesi altında ve daha sonra da, denize dik olarak ilerleyen Fevzi Paşa Caddesi altında bulunmaktadır. Bahsedilen kısımdaki Konak, Çankaya ve Basmane İstasyon yapıları diyafram duvarlı aç-kapa tünel olarak inşaa edilmiştir (Çivi vd., 1998). İstasyonlar arasındaki kısımlarda ise bu çalışmanın konusunu oluşturmakta olan "EPBM-Zemin Basıncı Dengeleme Tünel Metodu" uygulanmıştır. Güzergah, Basmane istasyonundan sonra tedrici olarak yüzeye çıkmakta ve buradan itibaren Halkapınar İstasyonuna kadar Devlet Demiryolları hattı ile aynı koridoru paylaşmaktadır. Bundan dolayı bu kısım viyadükte inşaa edilmiştir. Halkapınar İstasyonundan sonra ise yol geçişlerine bağlı olarak genellikle hemzemin olmak üzere viyadük ve "U" yapısı biçiminde inşaa edilmiştir. Aşağıdaki çizelgede I. Aşama inşaatına ait karakteristik bilgiler özetle verilmiştir.

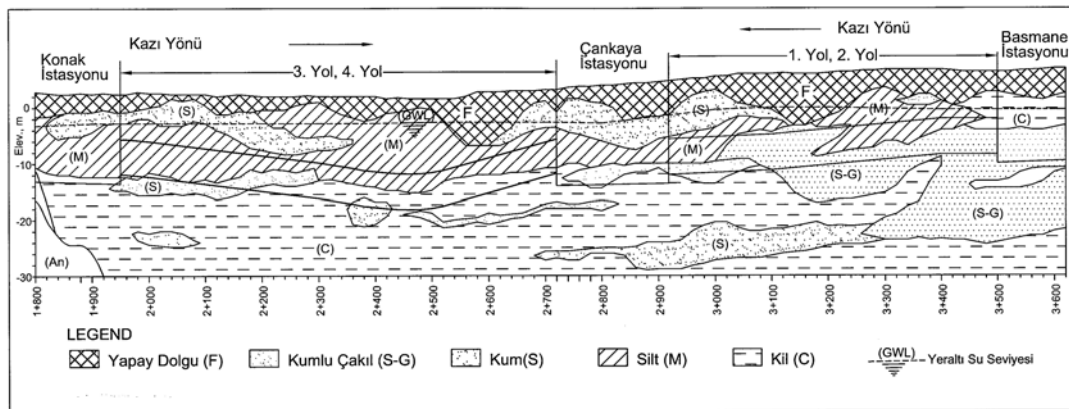
Çizelge-1. İzmir Metrosu Sistem Karakteristikleri ve Proje Büyüklükleri

<i>Sistem Özellikleri</i>	
• Mümkün Kapasite - Teorik Kapasite	400.000 yolcu/gün -45.000 yolcu/saat.yön
• Araç sayısı - Katar sayısı	45 araç / 3-5
• Ticari hız - Maximum hız	40/80 km/saat
• Sinyal-Hat koruma	Tam sinyalizasyon/Tam koruma
• Platform Uzunluğu / Yüksekliği	125 m / 80 cm
<i>İnşaat Metodları</i>	<i>Güzergah Uzunluğu</i>
• Derin (NATM) Tünel	1684 m
• İkiz Tüneller (EPBM)	1400 m
• Aç-Kapa Tüneller	1100 m
• Viyadük	2800 m
• U Yapısı-Kapa-Aç	1000 m
• Hemzemin	3600 m
<i>Ana İnşaat Kalemleri</i>	<i>Miktar</i>
• Kazı (tünel dahil)	970.000 m ³
• Dolgu (çimento stabilizasyonu dahil)	130.000 m ³
• Beton (öngermeli, prekast, yüksek dayanımlı)	387.000 m ³
• Çelik (yüksek ve normal çekme dayanımlı)	10.900 ton
• Demir yolu (tek hat)	26.600 m

3. ÜMMÜHAN ANA TÜNELİ

3.1. Jeoloji ve Geçilen Formasyonların Jeomekanik Özellikleri

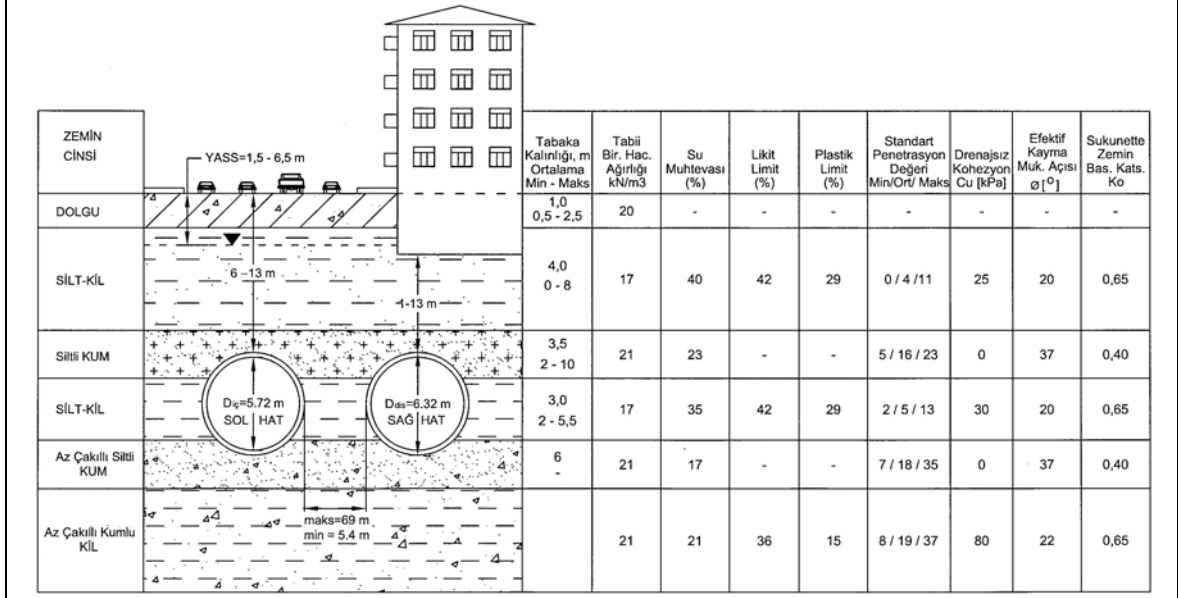
Güzergahın Konak'tan sonraki bölümü, İzmir Körfezi'nin de içerisinde yer aldığı "Graben-Horst" yapısına ait tektonik çukurluğu dolduran aluvyoner zeminler içerisinde bulunmaktadır. Konak-Basmane arasındaki güzergah bölümünde, yerinde ayrılmış andezit ürünü killi formasyonların üzerinde karasal ve denizel ortamlarda oluşmuş çökeltiler yer almaktadır.



Şekil-2 Ümmühan Ana Tüneli jeolojik boy kesiti (Arıoğlu vd., 2002a, Arıoğlu vd., 2002b)

Denize daha yakın olan Konak tarafında, denizel ortamda çökelmiş, çapraz tabakalı kum bant ve mercikleri bulunduran silt ve killi silt tabakaları, Basmane tarafında yerini karasal ortamda çökelmiş iri boyutlu blok ve moloz içeren kumlu çakıl tabakalarına bırakmaktadır (Şekil-2). Yeraltı suyu seviyesi, Konak tarafında yüzeyden yaklaşık 1,5 m derinlikte, Çankaya, Basmane tarafında ise 4,0-6,0 m arasındaki derinliklerde bulunmaktadır (Sağlamer vd., 1996).

Geçilen ortamın jeomekanik büyüklüklerine ait ortalama değerler ve değişim aralıkları Şekil-3’de belirtilmiştir. Tipik zemin profili ve jeolojik kesitten anlaşılacağı üzere tünelin geçtiği ortam fevkalâde değişken özellikler sergilemektedir. Bu durum kullanılacak kazı makinesinin seçiminde üzerinde durulacak önemli bir konu olup, ileriki bölümde belirli bir ayrıntıyla ele alınacaktır.



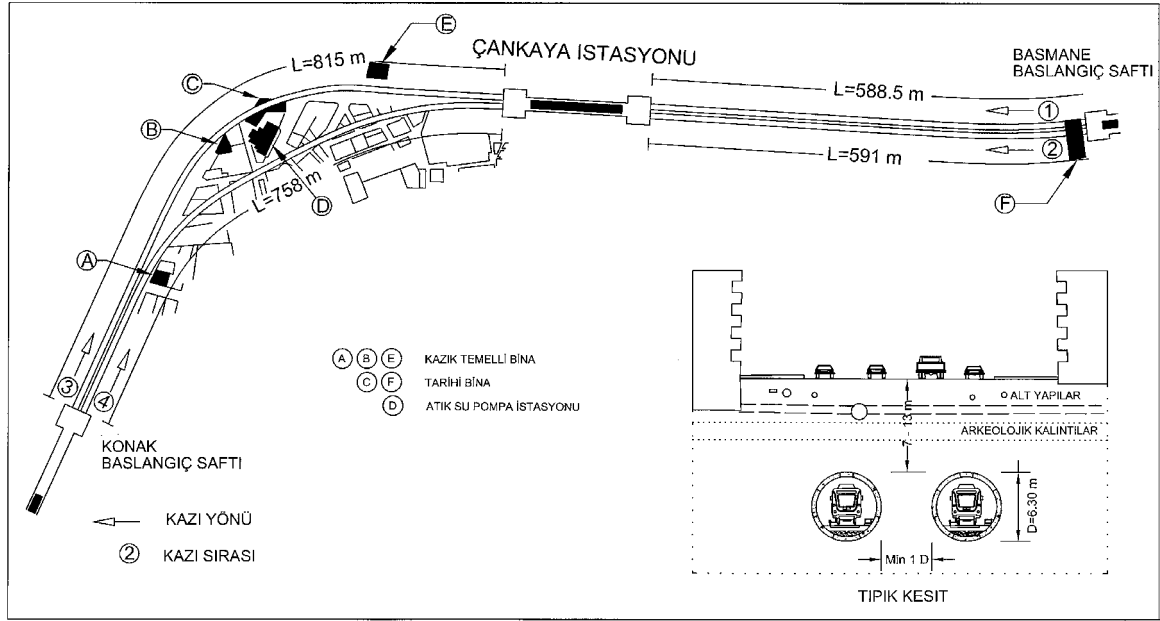
Şekil-3. Ümmühan Ana Tüneli tipik zemin profili ve ortalama jeomekanik büyüklükler (Arıoğlu vd., 1999, geoteknik veriler Sağlamer vd., 1996 kaynağından alınmıştır)

3.2. Güzergah Alternatiflerinin Değerlendirilmesi ve İnşaat Metodlarının Karşılaştırılması

Avan projelerde Konak-Basmane İstasyonları arasındaki kısmın geleneksel metodlarla inşaa edilmesi öngörülmüştü. Güzergahın tamamı aç-kapa tünel metodu ile yapılacak olup, güzergah Konak tarafında denize daha yakın olarak geçmekte idi. Zira Meşrutiyet caddesi ile Fevzi Paşa Bulvarı arasındaki dönüş tarihi eser niteliğindeki Vakıflar Bankası binası altında bulunmaktadır. Mevcut jeoteknik şartlar ve ticari faaliyetlerin durumu, altyapılar ve trafik koşulları Yapı Merkezi Mühendislik Grubu tarafından değerlendirilerek alternatif güzergah ve inşaa metodları incelemesi yapılmıştır. Bu değerlendirmenin özet sonuçları Çizelge-2’de belirtilmiştir.

Bu karşılaştırma idare tarafından da değerlendirilmiş ve güzergahın bu bölümünün derin tünel ile geçilmesi kararlaştırılmıştır. (Yapı Merkezi, 1996, Arıoğlu, 2000). Böylece parasal bakımdan toplam proje bedelinin yaklaşık % 6’sı kadar tasarruf gerçekleştirilmiştir. Yine buna ilaveten, bu metod ile, inşaat yaklaşık 12 ay kadar daha kısa sürede tamamlanmış, güzergah civarındaki ticari işletmelerin ekonomik kayıplarının en az düzeye indirilmesi sağlanmıştır (Yapı Merkezi, 1997b).

Güzergah üzerinde ve civarında bazıları kazıklı, bazıları da derin temelli yapılar yer almaktadır. Ayrıca Fevzi Paşa Bulvarı ile Meşrutiyet Caddesi arasında bulunan dönüşün yarıçapı (R=250 m) çok küçüktür. Çift hat-tek tünel açılması durumunda, tünel çapı ve güzergah geometrisi dolayısıyla, tünel üzerinde yeterli kalınlıkta örtü tabakası bulunmayacak, öte yandan arkeolojik kalıntılar da kazı kesiti içerisinde kalacaktır. Bu nedenlerden ötürü Ümmühan Ana Tüneli, yan yana ikiz tünel şeklinde tasarlanmıştır (Yapı Merkezi, 1996). Tüneller, 5,72 m bitmiş iç çapa sahip, toplam uzunluğu 2752,5 m olan dört ayrı tüpten oluşmaktadır (Şekil-4).



Şekil-4 Ümmühan Ana Tüneli güzergahı ve açılan tünel tüpleri (Aroğlu vd, 2002b)

Çizelge-2. Aç-Kapa ve Derin Tünel İnşaat Metodlarının Karşılaştırılması (Yapı Merkezi, 1997b)

Kriter	Aç-Kapa Metodu	Derin Tünel
Yapım Süresi-Ticari Kayıplar	Yapım süresi (~24 ay) boyunca Fevzi Paşa Bulvarı Trafikçe kapatılacağından buradaki dükkan ve işyerleri ciddi boyutta ekonomik kayıplara uğrayacaktır.	İnşaat faaliyetleri nedeniyle istasyon bölgelerinde dahil olmak üzere yaya trafiği kesintiye uğramayacağından, dükkan ve işyerlerinin uğrayacağı ekonomik kayıplar en az düzeyde tutulacaktır.
Kazı Hacmi	Yüzeyden itibaren yapı temel alt kotuna kadar bütün hacim kazılacak olup bunun toplam hacmi yaklaşık 200.000 m ³ kadar olacaktır. Dolayısıyla daha fazla miktarda kitle hareketi yapılacak ve daha büyük döküm sahasına gereksinim duyulacaktır.	Daha az miktarda (~100.000 m ³) kazı yapılacak ve taşınacaktır.
Altyapı	Güzergah boyunca, bulunan (Su, Elektrik, Telefon, Kanal, vb.) bütün altyapıların deplasmanı gerekecektir.	Sadece, İstasyon bölgelerinde altyapı deplasmanı yapılacaktır.
Trafik	Fevzi Paşa Bulvarı ve bunu kesen caddeler, bütün inşaat süresi (~24 ay) boyunca trafiğe kapalı kalacaktır.	Sadece, İstasyon bölgelerinde cadde trafiğe kapatılacak, ancak buradaki trafik akışı paralel caddeye kanalize edilecektir.
Arkeolojik Kalıntılar ve	Meşrutiyet ve Fevzi Paşa Bulvarındaki arkeolojik kalıntıların yüzeyden 5-6 m derinlikte olması sebebiyle bu kalıntılar zarar görecektir.	Tünel yüzeyden 6-16 m derinlikten geçeceğinden arkeolojik kalıntılara zarar verilmeden geçilecektir. Sadece istasyon bölgelerinde rastlanılacak, bunlar özenle çıkarılabilecektir.
Tarihi Yapılar	Güzergah üzerinde bulunan, tarihi Basmane garı yıkılıp yeniden yapılacaktır.	Basmane garının altından geçileceğinden yapı zarar görmeyecektir.

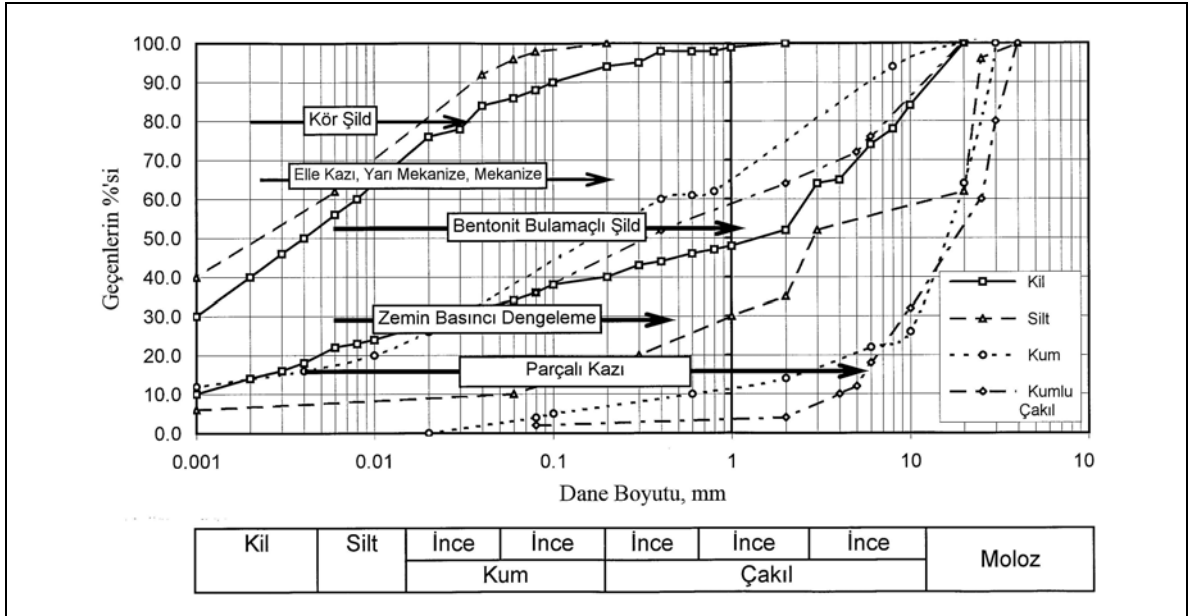
Konak İstasyonundan itibaren ilk 200 m'lik kısımda tüneller yan yana ve doğrusal olarak, bu noktanın ilerisinde birbirinden ayrılarak ilerlemektedir. Sağa ayrılan tüp binaların altından geçmektedir. Tüneller Çankaya İstasyonunun yaklaşık 150 m gerisinde tekrar buluşmakta, Çankaya İstasyonundan Basmane İstasyonuna kadar Fevzi Paşa Bulvarının altında doğrusal olarak ilerlemektedir (Şekil-4). Tünel üzerindeki örtü kalınlığı, cadde altında 6-7 m, binalar altından geçilirken bina temelleri ile emniyetli mesafenin korunması için sağ tüp tüneli 13 m'ye kadar derinleştirilmiştir. (Yapı Merkezi, 1996).

3.3. Kullanılan Kazı Makinesi

Gevşek zeminlerde açılan tünellerde yaygın olarak şildli metodlar uygulanmaktadır. 19. Yüzyılın başından beri kullanılan bu metod elle kazıdan, zemin basıncı dengeleme metoduna kadar çeşitlilik sergilemektedir. Böylesi zeminlerde uygulanacak kazı metodunun seçimi oldukça kritik bir konudur. Arın stabilizasyonu yeteri kadar sağlanırken yüzey oturmaları kontrol edilebilmeli, zeminde su kaybı olmamalı ve kazılan malzeme kolaylıkla alınabilmeli, taşınabilmelidir. Kazı metodunun seçiminde rol oynayan en önemli zemin parametreleri şunlar olmaktadır (DAUB, 1997, AFTES, 2000):

- Dane boyut dağılımı,
- Kohezyon büyüklüğü-Kıvam Durumu,
- Geçirimsizlik,
- Kaya/Zeminin Mineralojik yapısı.

Bu konuda Mori vd., 1995, tarafından verilen bir sınıflama zeminin dane boyut dağılımına dayanmaktadır (Şekil-5). Bu şekil üzerine Ümmühan Ana Tüneli güzergahındaki zeminlere ait dane boyut dağılımının sınırları da işaretlenmiştir. Yine, Alman Yeraltı İnşaatları Birliği (DAUB) tarafından önerilen çizelge aşağıda verilmiştir. Şekil-4'de verilen jeomekanik büyüklükler bu açıdan değerlendirilirse, geçilen tünel zemininin "Kohefiz-Duraysız" ve "Karışık Zemin" grupları ile temsil edilebileceği belirtilebilir. Şekil-5 ve Çizelge-3 tekrar birlikte değerlendirilirse, Ümmühan Ana Tüneli zemini, EPBM yöntemi uygulama alanı içerisinde yer almaktadır.



Şekil-5. Zemin dane boyutuna göre kullanılan makine tipi ve Ümmühan Ana Tünelinde karşılaşılan zeminlerin granülometrik sınırları

tasarımlanmış olan kesici kafadaki. kazma tipindeki kesici uçlar, kafa üzerinde (+) şeklindeki hat üzerinde ve yine, kesme dairesi üzerinde, artı kollarının açı ortayına gelecek şekilde dört bölgede, çift yönlü olarak dizilmiştir. İri blok boyutundaki taşların ufalanması için kesici kafa üzerine diskli kesiciler de yerleştirilmiştir. Kesici uçların her iki yanında hafriyat açıklıkları bulunmaktadır. Uzunluğu 11,5 m olan, 70 cm dış çapa sahip olan teleskopik burgulu konveyör, kazı haznesinin tabanına bağlıdır. Arkaya doğru bant konveyörün bulunduğu seviyeye kadar yükselmektedir. 2. parçada ise üç boyutta serbest hareket kabiliyetine sahip segment yerleştirme aparatı (erektör) ve makinenin öne doğru hareketini sağlayan itme pistonları vardır. Segment yerleştirme aparatı vakumlu bir koldur. 3. parça, sadece segmentlere kalıp görevi yapan silindirik bir tüptür. 3. parçanın en arkasına iç yüzde, üç sıra halinde, gresli su sızdırmazlık contaları tesbit edilmiştir. Makinenin elektrik, hidrolik güç üniteleri, enjeksiyon pompası, soğutma sistemleri, operatör kontrol odası ve bunun gibi servis üniteleri, makinenin arkasında dizili, toplam beş adet ayrı tekerlekli taşıyıcı çerçeve (araba) içerisinde konumlanmıştır. Burgulu konveyörden çıkan çamur lastik bantlı konveyör ile çamur vagonlarına aktarılmakta ve lokomotif ile şafta taşınmaktadır. Malzeme taşınmasında iki adet servis katarı kullanılmakta olup bir katarıda 1 dizel lokomotif, 3 segment arabası, 1 enjeksiyon kazanı ve 6 çamur vagonu bulunmaktadır. Kullanılan makinenin teknik özellikleri ise Çizelge-4’de özetlenmiştir.

3.4. EPB Makinesi Kazı İşlemi

Kazılan malzeme kesici kafadaki hafriyat açıklıklarından kazı odasına geçmekte, kesici kafa arkasındaki karıştırma kollar ile karıştırılarak bulamaç haline gelmektedir. Kazı işlemi başladığı zaman makine kendisini itme pistonları ile ileri doğru hareket ettirmektedir. Bu sırada kazı odasındaki basınç sürekli olarak izlenmekte, önceden hesaplanan basınç seviyesinin korunması için kazılan bulamaç halindeki malzeme, burgulu konveyörle kontrollü olarak dışarı alınmaktadır.

Çizelge-4 EPB Makinesinin Karakteristikleri (Yapı Merkezi, 1997a)

Şild Çapı	6,52 m
Kazı Çapı	6,56 m
Şild Uzunluğu	7,30 m
Toplam Uzunluk	74 m
Ağırlık	325 t (Servis üniteleri dahil 477 t)
İlerletme Sistemi	toplam 28 adet Piston (2x 14 adet)
İtme Pistonu Stroku	150 cm
Toplam İtme Gücü, Basıncı	4430 ton, 350 bar
İtme Hızı	30 cm/dak
Kesici Kafa Dönüş Hızı	0-2,5 dev/dak, sağ/sol
Kesici Kafa Torku	500 t.m
Kesici Kafa Gücü	800 kW (Hidrolik Motorlar)
Şild Çalışma Basıncı	3 bar
Zemin Şartlandırması	Bentonit bulamacı, kimyasal köpük
Enjeksiyon	Kuyruk şildi cidarındaki altı kanaldan kuyruğa
Su Geçirimsizlik	Kuyrukta üç sıra çelik fırça+gres (30 bar)
Kazı Boşaltma - Taşıma	Burgulu konveyör+bant konveyör+çamur vagonu
Segment Yerleştirme	Üç boyutta serbest hareketli vakumlu kol
Yönlendirme	Bilgisayar kontrollü, tek laserli total station
Kurulu Güç	1600 kVA

Bulamaç halindeki kazı malzemesinin arın stabilitesini sağlaması için şu özelliklere sahip olması gerekmektedir (Maild vd, 1996, Arıoğlu, 1999) ;

- İyi plastik deformasyon yapabilme
- Düşük içsel sürtünme açısı
- Yumuşak kıvam ve
- Düşük permeabilite.

Ancak kazılan malzeme her zaman bu özellikleri taşımayabilir. Bu durumda zemin şartlandırması gereklidir. Bu, kazılan malzemenin cinsine göre, su-bentonit karışımı veya kimyasal köpük ile yapılabilmektedir. Ümmühan Ana Tüneli'nin kazısı sırasında silt ve killerin hakim olduğu Konak tarafında bentonit, kumlu çakılların bulunduğu Basmane tarafında ise kimyasal köpük kullanılmıştır. Köpük yapımında çevreye zararlı olmayan polimer ve köpük yapıcı (surfactant) karışımı kullanılmıştır. Kazılan malzeme hacmi başına 300-500 lt/m³ köpük kullanılmış olup ortalama malzeme tüketimi polimer ve “surfactant” için değerler sırasıyla 0,01-0,5 kg/m³ ve 0,5-1,0 kg/m³ olarak gerçekleşmiştir (Jancsecz vd, 1999). Zemin şartlandırması uygulaması ile zemin özellikleri iyileştigiinden kesici kafadaki tork düşmekte ve burgulu taşıyıcıda oluşan aşınma miktarı da azalmaktadır (Milligan, 2000).

Kazı işlemi sürerken aynı zamanda kazı cidarı ile segmentler arasındaki yaklaşık 12 cm'lik boşluk enjeksiyon malzemesi ile hemen doldurulmaktadır. Enjeksiyon karışımının akıcılığını sağlamak için bentonit, bağlayıcı madde ekonomisi için de uçucu kül kullanılmıştır. Karışımda 1 m³ için; 130 kg çimento, 420 kg uçucu kül, 1058 kg kum (0-5 mm), 15 kg bentonit ve 400 lt su kullanılmıştır. Enjeksiyon malzemesi karıştırıcı bir vagonla, servis ünitesinde bulunan bir pompa yardımıyla pompalanmakta, şild cidarı içerisinden kuyruğa kadar ulaşan kanallardan az önce belirtilen boşluğa ulaşmaktadır. Bu boşluğun hemen doldurulması yüzeye yansıyacak olan tasmanlar açısından önem kazanmaktadır. Bu husus EPB kazı metodunun önemli yararlarından birisidir.

3.5. Prekast Beton Segment ile Destekleme Yapılması

Bir kazı adımı ilerleme yapıldıktan sonra kazı operasyonu durdurulmakta, vagonla getirilen segmentler şild içerisindeki montaj kolu (erektör) vasıtası ile yerleştirilmektedir. Segmentler, tünelin yatay ve düşeydeki dönüşlerini sağlayabilecek geometride tasarlanmış olup, anahtar taşının pozisyonu ile 14 farklı kombinasyonda yerleştirilebilmektedir. Ringler 120 cm genişliğinde, 30 cm kalınlığında ve anahtar taşı ile birlikte 7 parçadan oluşmaktadır. Prekast segmentler BS 45 sınıfında betondan özel kalıplar kullanılarak üretilmiştir. Segmentler arasında su geçirimsizliğin sağlanması için elastomerik conta kullanılmıştır.

4. TÜNELİN İNŞAASI VE İLERLEME İSTATİSTİKLERİ

4.1. Hazırlık İşleri

Tünel giriş aynalarında diyafraim duvar kırılarak tünel makinesine klavuzluk etmesi için birer çelik halka yerleştirilmiştir. Giriş-çıkış yapılarında tünel aynasının kırılması zemin stabilitesinin bozulmasına ve su sızmasına yol açacaktır. Emniyetli çalışma koşullarının oluşturulması için istasyon duvarının arka tarafında zemin iyileştirilmesi yapılmıştır. Bunun için giriş yapısında 8,0 m, çıkış yapısında ise 5,0 m'lik tünel uzunluğuna karşı gelen kısımda zemin, düşük dayanımlı bentonitli bir beton ile yer değiştirilmiştir (Yapı Merkezi, 1997a). Ayrıca makinenin zemine ilk girişi sırasında kuyruktan su sızmaması ve yapılan enjeksiyonun kaçmaması için çelik halka ile şild arasına lastik conta yerleştirilmektedir.

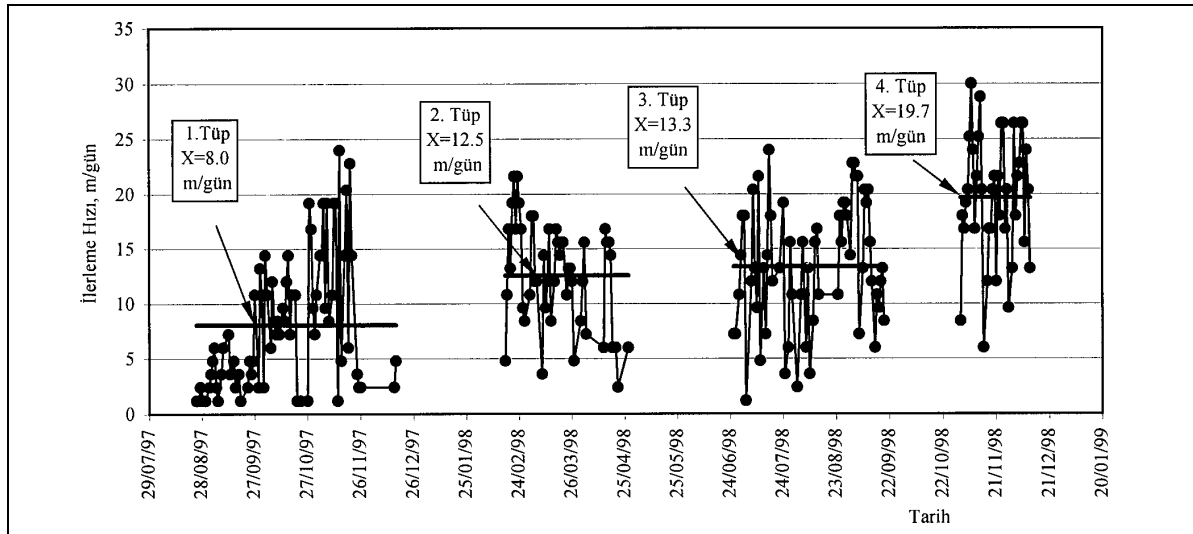
Tünel makinesi şantiyeye Mayıs 1997’de gelmiştir. EPB makinesinin parçaları, ağır yük vinçleri ile tünel şaftına indirilmiş ve orada, üzerinde hareket edeceği bir yatak sistemi üzerine monte edilmiştir. Ayrıca EPBM makinesinin zemine ilk hareketinde, ilerletme pistonlarına mesnet teşkil edecek bir destek çerçevesi kurulmuştur. Bu çerçeve her tüpün başlangıcında tekrar kullanılmıştır.

Basmane İstasyonunda şaftın giriş hazırlıklarının yapılması, makinenin ilk montajı, testlerinin yapılması ve elektrik, basınçlı hava soğutma servis ünitelerinin kurulması 4 aylık bir süre almıştır. Kazı aşamaları arasındaki montaj-demontaj sırasında tüm sistemin bakımı ve tamiri yapılmaktadır. Makine Konak İstasyonuna taşındığında, burada yapılan bakım-onarım da konveyör burgusunda kabul edilebilir limitin üzerinde, 14cm’lik bir aşınma meydana geldiği farkedilmiştir. Aşınmış burğu yenisi ile değiştirilmiştir. Bu aşırı aşınmanın 1. ve 2. tüpte, tünelin geçtiği kumlu çakıl tabalarının içerdiği andezit çakıllarından kaynaklandığı düşünülmüştür.

4.2. Tünel Kazısı

İlkin Basmane İstasyonundan Çankaya istasyonuna doğru 1 ve 2 no’lu tünel tüpünün kazısı yapılmıştır. 3 ve 4 no’lu tünel tüplerinin kazısı ise Konak İstasyonundan Çankaya İstasyonuna doğru gerçekleştirilmiştir.

Kazı, 25 Ağustos 1997’de Basmane İstasyonunda 1 nolu tüpte başlamıştır. Kazının başlangıcındaki ilk bir aylık dönemde kazı hızları 3 m/gün civarında seyretmiştir (Şekil-6). Daha sonraki dönemlerde kazı hızı giderek artmış ve 24 m/gün düzeylerine kadar yükselmiştir. Bu tüpte ortalama ilerleme hızı $X=8.0$ m/gün olarak gerçekleşmiştir.



Şekil-6. Tüp bazında tünel ilerleme hızları ve ortalama Değerleri (Arıoğlu vd., 2002a, Veriler Yapı Merkezi, 1998 kaynağından alınmıştır)

Kazı hızındaki giderek iyi yönde gelişen bu değişimin nedenleri şöyle açıklanabilir:

- Başlangıçta tek vardiyeye çalışılmış, daha sonra uzatılmış iki vardiyeye uygulanmıştır. Çalışan işçilerin ekipmanları tanıma, işi öğrenme ve ustalaşmaları bu ilk evrede olmuştur.
- İlk defa kurulan sistemlerdeki arıza ve ortaya çıkan uyumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır.
- Enjeksiyon karışımında yapılan iyileştirmeler ile ilk zamanlarda boru hatları ve şild içerisindeki kanallarda meydana gelen tıkanma problemleri çözülmüştür.

1.tünel tüpünün tamamlanmasından sonraki iki aylık süreçte makinenin şild kısmı Çankaya İstasyonunda sökülerek Basmane İstasyonuna taşınmış, tekrar kurulmuş ve 2. tünel tüpünün kazısına hazır hale getirilmiştir. 2. tüp kazısı 47 iş gününde tamamlanmıştır. Bu tünel tüpünde

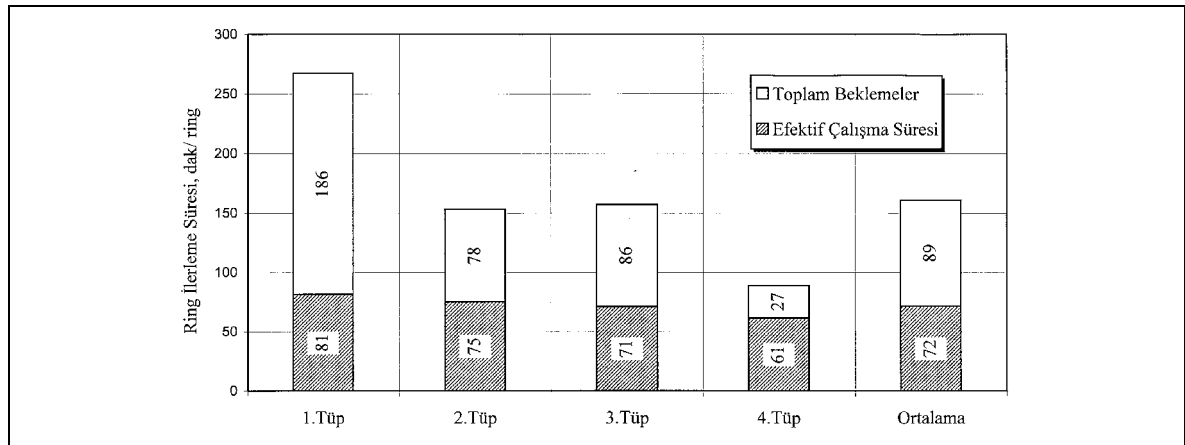
maksimum 24 m/gün ilerleme hızına ulaşılmış olup ortalama 12,5 m/gün olarak kaydedilmiştir. Konak-Çankaya İstasyonları arasının kazısı için makine ile birlikte servis üniteleri ve şantiye tesisleri Konak İstasyon şaftına taşınmıştır. 3.tüp ve 4.tüp kazılarında ortalama ilerleme hızları sırasıyla 13,3 m/gün ve 19,7 m/gün olarak sonuçlanmıştır. Ümmühan Ana Tüneli'nde ilerleme hızı rekoru 4.tüpün kazısı sırasında 30 m/gün olarak kaydedilmiştir (Yapı Merkezi, 1998, Arıoğlu vd. 2002a).

Ümmühan Ana Tüneli'nde kaydedilen ilerleme hızlarının, başka ülkelerde tam cepheli şiddli kazı makineleri ile açılmış benzeri tünel projeleri ile karşılaştırılması Çizelge-5'de verilmiştir. Görüleceği üzere, benzeri çapta en yüksek ilerleme hızı Ümmühan Ana Tüneli'nde gerçekleşmiştir.

5. KAZI PERFORMANSI

Ümmühan Ana Tüneli'ne ait üretim kayıtları istatistik analize tabi tutulmuştur. Bu değerlendirmede ara mobilizasyonda geçen süreler hariç tutulmuş, sadece kazının başlangıcı ve bitimi arasında kalan süredeki faaliyetler gözönünde tutulmuştur. Tüp bazında Bir ring ilerleme (1,2 m) için geçen sürelerin dağılımına ilişkin sonuçlar Şekil-7 'de gösterilmiştir. Başlangıçta ring ilerleme süresi toplam 267 dakika iken son yolda bu süre 88 dakikaya inmiştir. Genel ortalamaya bakıldığı zaman, bir ring ilerleme için geçen süre ise 161 dakikadır.

Şekil.7'den çıkartılan diğer bir sonuç da tünel kazı çalışmaları sırasında toplam sürenin ortalama % 56'sı üretim dışı (Beklemeler ve Arızalar), 44%'ü ise doğrudan üretim faaliyetleri ile geçmektedir. Diğer kelimelerle, Ümmühan Ana Tüneli'nde "makine verimliliği" ortalama % 44 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer başlangıçta %30 seviyelerinde iken giderek artmış ve son tüp kazısında % 69 mertebesine ulaşmıştır. Bu durum çalışan ekip ve ekipman arasındaki uyumun giderek artması, ustalık seviyesinin yükselmesi ile âlâkalıdır. Diğer yandan, üretim dışı geçen sürelerde de azalma olduğu farkedilmektedir.



Şekil-7 Tüp bazında bir ring ilerleme için geçen süre ve ortalama değerleri (Veriler Yapı Merkezi, 1998 kaynağından alınmıştır)

Çizelge-5 Tam Cepheli Şildli Tünel Açma Makinesi Kullanılan Bazı Tünelere ait Uygulama

Sonuçları ve Makine Karakteristikleri

Uygulanan Yer	Hakim Formasyon Cinsi	Çap, m	Ağırlık ton	Güç, kW	Tork t.m	İlerleme
KölnS-Bahn	Dolgu, Kil, Kum	6,56	250	-		14 m/gün
Şangay Metro su	Killi Silt	6,34	200	400		8 m/gün
Lillie Metro su	Küçük Blokl u Kil	7,65	460			8,84 m/gün
Atina Metro su	Kum, Kil, Karstik Kireçtaşı	9,52	1650	3200		10 m/gün
Luisental	Kumtaşı, Kumlu Kil	6,00	270	1100		16 m/gün
Kahire Metro su	Kil, Silt, Kum	9,5	-	-		10 m/gün
Wesser Tüneli	Konsolide Kil, Kum	14,2	-	1320		7,9 m/gün
Elbe Tüneli	İri Granit Blokl u Kil, Kum	14,2	2000	3200 ^(*)	2600	14 m/gün
Valensia Metro su	Kum, Çakıl	6,52	360	1280	500	13,2 m/ vard.
Madrid-İspanya	Kil, Silt	9,33		2800	2023	20 m/gün
Guangzhou Tüneli	Kil-Çok Ayrışmış Kaya	6,25	-	-		97,5 m/hafta
Botlekspoor Tüneli	Kil, Kumlu iri Çakıl	9,78		2400		414 m/ay
Kopenhag Metro su	Kil -Kum, İri Granit Blokl u	5,71	350	1360 ^(*)	380	248 m/hafta
İzmir Metro su	Kil, Silt, Kumlu Çakıl	6,52	325	1280	500	30 m/gün

(*) Kesici Kafa Gücü

6. ARIN BASINÇLARININ HESAPLANMASI

Tünel jeolojik kesitinden görüleceği üzere güzergah boyunca zemin profili çok sık değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla kazı sırasında tünel arınında karşılaşılan ve tünel üzerindeki örtü tabakasının jeomekanik büyüklükleri sürekli değişecektir. Yüzeydeki tasman hasarlarının en az düzeyde olması, ve emniyetli çalışma koşullarının sağlanması bakımından uygulanacak arın basıncı değerlerinin güzergah boyunca sık aralıklarla hesaplanması gerekmektedir. Tünel kazı faaliyeti sonunda, uygulanan tünel teknolojisine ve geçilen zeminin jeomekanik büyüklüklerine bağlı olarak bir kısım zemin tünel arınına doğru mobilize olur ve yüzeyde oturmalar oluşur. Ve oturmaların civar binalarda hasar oluşturmaması için çökme teknesi maksimum eğiminin belirli bir değerin altında olması gerekmektedir. Söz konusu büyüklük “hafif hasar” düzeyi için 1/500-1/250 aralığındadır (Skempton, vd., 1956).

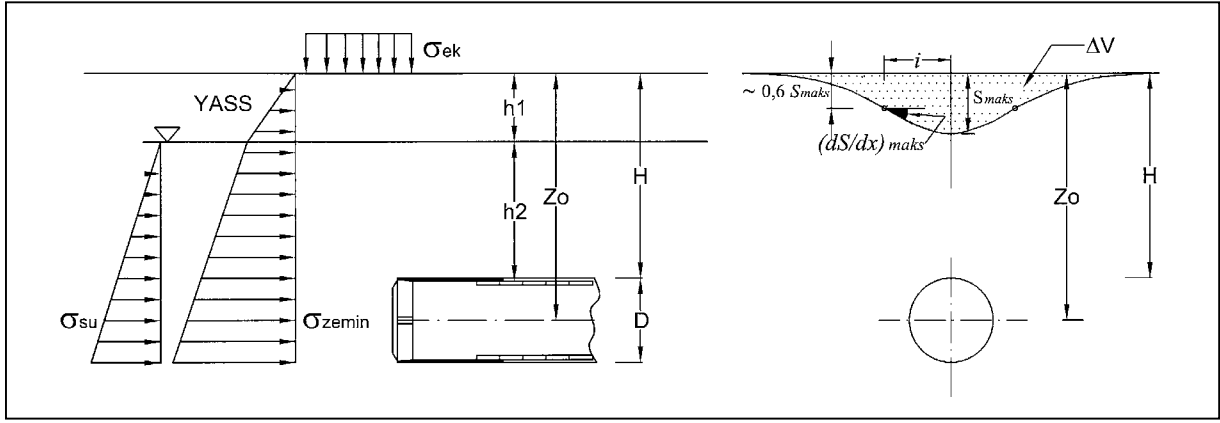
Prensip olarak tünel arınında oluşacak basınç; zemin basıncı, su basıncı ve trafik bina yüklerinden kaynaklanacak ek (sürşarj)-yataya indirgenmiş-yükün toplamından oluşur. Makine tarafından arına uygulanacak basınç, tünel eksenindeki bu basınçların toplamına eşit olmalıdır (Şekil-8).

$$\sigma_a = \sigma_{zemin} + \sigma_{su} + \sigma_{ek} \quad [1]$$

Arın stabilitesinin ölçüsü olarak bilinen “N” büyüklüğü,

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma \cdot Z_o - \sigma_a}{C_U} \quad [2]$$

bağıntısı ile bilinmektedir (Brooms-Bennermark, 1967, Peck, 1969).



Şekil-8. Tünel arınındaki basınçlar ve yüzey tasmanı

N 'in aldığı değerlere göre arın stabilitesi şu şekilde ayırt edilmektedir.

- $0 < N < 2$ Az akma –elastik koşullar
- $2 < N < 4$ Sınırlı akma
- $4 < N < 6$ Plastik akma
- $N > 6$ Arında ciddi stabilite problemleri

sözkonusudur.

Tasman büyüklüklerini sınırlayan yaklaşımla arın basıncı hesabı için kullanılan bağıntılar topluca aşağıda verilmiştir.

- Zemin kaybı oranı (Mitchell, 1993):

$$K = \frac{\Delta V}{V} = \frac{C_U}{E_m} \cdot \exp\left(\frac{\sigma_{ek} + \sigma_{su} + \gamma \cdot Z_o - \sigma_a}{2 C_U}\right) \quad [3]$$

- Maksimum tasman miktarı (Schimdt, 1969):

$$S_{maks} = 0,314 \cdot K \frac{D^2}{i} \quad [4]$$

- Dönüm noktası değeri (Yapı Merkezi, 1992, Arıoğlu vd, 1992, Arıoğlu vd., 2002c):

$$\frac{2i}{D} = A \cdot \left[\frac{Z_o}{D}\right]^n \quad [5]$$

- Tasman Eğrisi (Çökme Teknesi)'nin maksimum eğimi:

$$\left(\frac{dS}{dx}\right)_{maks} = 0,606 \cdot \frac{S_{maks}}{i} \quad [6]$$

Yukarıdaki bağıntılarda gerekli sadeleştirmeler yapılırsa;

$$\sigma_a = (\sigma_{ek} + \sigma_{su} + \gamma \cdot Z_o) - 2C_U \cdot \left\{ \ln\left(2,544 \cdot \left[\frac{Z_o}{D}\right]^{1,408} \cdot \left(\frac{dS}{dx}\right)_{maks} - \ln\left(\frac{C_U}{E_m}\right)\right)\right\} \quad [7]$$

elde edilir.

Burada:

σ_a = Tünel eksenindeki arın basıncı, *kPa*

σ_{ek} = Bina ve trafik yüklerinden kaynaklanan ek yük. Trafik yükü için 10 kPa, bina yükleri için 16 *kPa* kabul edilmiştir.

σ_{su} = Su basıncı, *kPa*

h_l = yeraltı su seviyesinin yüzeyden derinliği (Şekil-7)

γ = Zeminin ortalama birim hacim ağırlığı, *kN/m³*, Laboratuvar deneylerinde $\gamma = 17-21$ *kN/m³* değer aralığındadır Ağırlıklı ortalama, farklı tabakalara ait kalınlıklar dikkate alınarak hesaplanmıştır (Birön, Arıoğlu, 1981).

$$\gamma = \frac{\gamma_c \cdot h_c + \gamma_m \cdot h_m + \gamma_s \cdot h_s}{h_c + h_m + h_s} \quad [8]$$

$\gamma_c, \gamma_m, \gamma_s$ = Sırasıyla kil, silt ve kum-çakılın birim hacim ağırlığı, *kN/m³*

h_c, h_m, h_s = Sırasıyla kil, silt ve kum-çakıl tabakalarının kalınlığı, *m*

Z_o = Tünel ekseninin derinliği, $Z_o = (H+D/2)$, *m*, (Şekil-7),

C_U = Geçilen zeminin drenajsız kohezyonu, *kPa*, Ağırlıklı ortalama değer, [8] bağıntısından hesaplanmıştır.

E_m = Geçilen zeminin elastisite modülü, *kPa*, Ağırlıklı ortalama değer, [8] bağıntısından bulunmuştur.

S_{max} = Tünel ekseninde yüzeyde ölçülen oturma değeri, *m*

i = Yüzey tasman eğrisinin dönüm noktasının tünel eksenine olan uzaklığı, *m*

A, n = Büyük ölçüde formasyon cinsi ve uygulanan tünel teknolojisine bağlı istatistiksel katsayılar. Killi formasyonlar için $A=1,392$, $n=,704$ değerleri kabul edilmiştir. (Yapı merkezi,1992, Arıoğlu vd., 1992, Arıoğlu vd., 2002c)

Tünel güzergahı boyunca farklı kesitlerde gerekli arın basınçları [7] bağıntısı ile, tünel çapı $D=6,5m$, ve hafif hasar düzeyi için tasman eğrisi maksimum eğimi $(dS/dx)_{maks}=1/250$ değeri için hesaplanmış ve Şekil-9'de gösterilmiştir. Aynı şekil üzerine kazı sırasında uygulanan, tünel eksenindeki arın basınçları da işaretlenmiştir. Farkedileceği gibi uygulanan arın basınçları, teorik olarak bulunan basınçlardan yaklaşık olarak ortalama % 15 daha düşüktür. Bu durum, kullanılan hesap metodunun emniyetli tarafta olduğunu göstermektedir.

Çapı 2,48-10,58 m arasında olan, killi, siltli, kumlu ve çakıllı zeminlerde EPB metodu ile açılmış tünellerde uygulanan arın basıncının, "Sukûnetteki Zemin Basıncı + (0,0-0,5 *kgf/cm²*) ve su basıncını da dikkate alarak; "Sukûnetteki Zemin basıncı" + Boşluk Suyu Basıncı + (0,0-0,2 *kgf/cm²*) arasında olduğu rapor edilmektedir (Kanayasu, vd., 1995). Bir ön tasarım değeri olarak, arın basıncı:

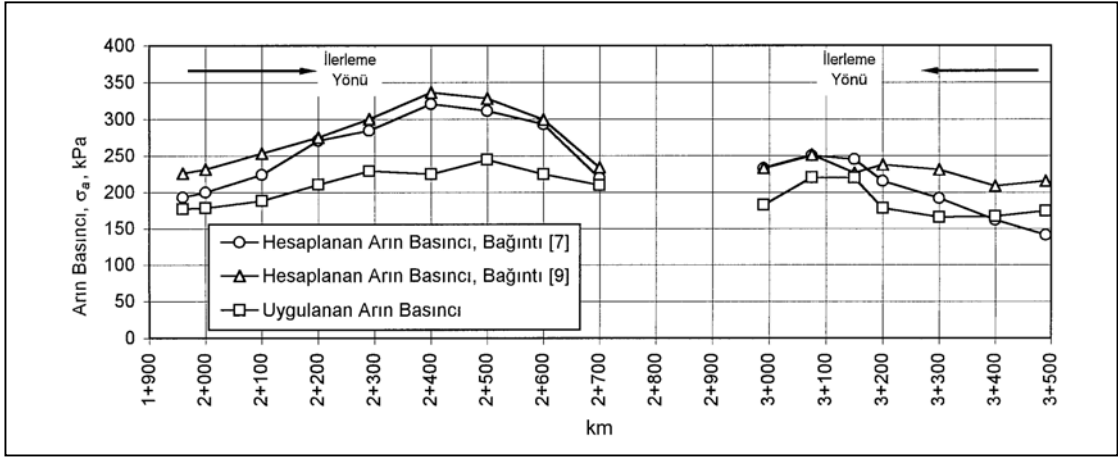
$$\sigma_F = K_o \cdot \gamma \cdot Z_o + \sigma_{su} + 20, \quad kPa \quad [9]$$

bağıntısı ile verilmektedir (Broere, 2001, COB,1996'dan alıntı).

Burada:

K_o = Sukunette zemin basınç (itki) katsayısı, Ümmühan Ana Tüneli'nde geçilen zeminler için $K_o=0,40-0,65$ aralığındadır (Sağlamer vd.,1996). (Şekil-3)

Şekil-9 üzerinde, [9] no'lu bağıntıdan hesaplanan değerler de işaretlenmiştir. Görüleceği gibi, her iki yöntem ile hesaplanan arın basınçları iyi sayılabilecek bir uyum içindedir. Ancak Basmane istasyonu tarafında uygulanan basınçlar hesaplanandan bir miktar daha yüksektir. Bu durum, kazının ilk aşamalarında emniyetli tarafta kalma düşünceleriyle arın basınçların, hesaplanan basınçların üstünde uygulanması şeklinde açıklanabilir.



Şekil-9. Farklı yöntemler ile hesaplanan ve uygulanan arın basıncı değerlerinin güzergah boyunca değişimleri

1. YÜZEY OTURMALARI VE ARIN STABİLİTESİ

Kazı işlemine başlamadan önce, kazı faaliyetlerinden kaynaklanacak yer yüzü oturma (tasman) hareketlerinin izlenebilmesi amacıyla tünel güzergahında zeminde ve binalarda oturma ölçüm noktaları tesis edilmiştir. Tünel güzergahında 30 -100 m arasında değişen aralıklarda oluşturulan ölçüm kesitlerinin, herbirinde 3-5 adet ölçüm noktası bulunmaktadır. Toplam olarak, zeminde 85 adet, binalarda ise 317 adet ölçüm noktası oluşturulmuştur. Yanal yerdeğiştirmelerin izlenmesi amacıyla da 8 ayrı noktada inklinometre yerleştirilmiştir. Ayrıca tünellerin etki alanında yer alan bütün yapılarda fotoğrafik durum tespiti yapılmış ve mevcut yapısal kusurlar kayda alınmıştır. Tarihi önemi bulunan iki adet yapıdaki (Vakıflar Bankası ve Basmane Gar Binası) mevcut çatlaklara da çatlak ölçerler yerleştirilerek çatlak gelişimi izlenmiştir. Kazı süresi boyunca toplam 5040 adet yüzey oturması ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerde kaydedilen maksimum nihai oturma değeri 4-21 mm aralığındadır.

Tasman hareketlerinden kaynaklanan, birim ilerleme başına düşen hacim kaybı (K), ölçülen maksimum tasman değeri için hesaplanacak olursa, (Maksimum oturma değerinin ölçüldüğü kesitteki örtü kalınlığı $H=8,4 m$ ve tünel eksen derinliği $Z_o=H+(D/2)=8,4+3,75=12,15 m$ 'dir.)

- Tasman eğrisinin dönüm noktası [5] bağıntısı kullanılarak,

$$i = 1,392 \times \left(\frac{6,5^m}{2} \right) \times \left[\frac{12,15^m}{6,5^m} \right]^{0,704} = 7,02 m$$

- Zemin kaybı ise;

$$K = 3,183 \times \frac{0,021^m \times 7,02^m}{(6,5^m)^2} = 0,01 = \%1$$

olarak hesaplanır.

Ortalama değerler ($S_{max}=7 mm$ ve $H=9,62m$) gözetilecek olursa, dönüm noktası “ i ” ve zemin kaybı “ K ” büyüklükleri sırasıyla:

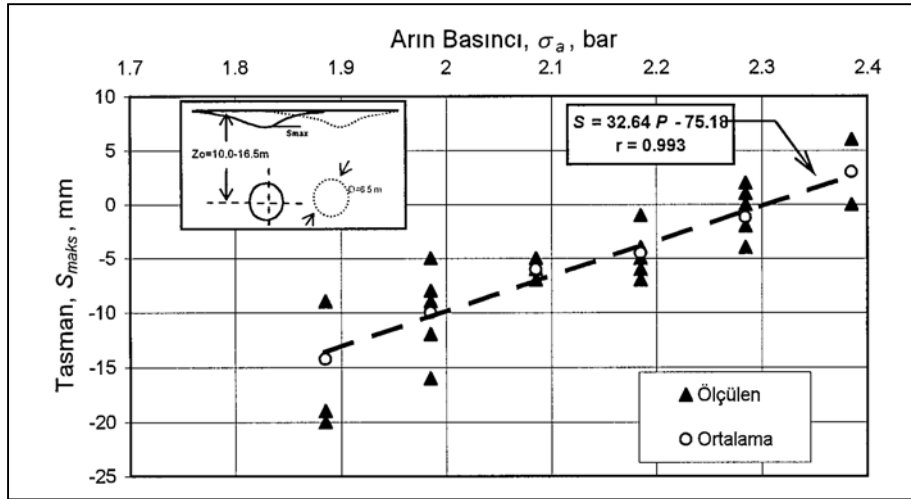
$$i = \left(\frac{6,5^m \times 1,392}{2} \right) \times \left[\frac{13,37^m}{6,5^m} \right]^{0,704} = 7,52 \text{ m}$$

$$K = 3,183 \times \frac{0,007^m \times 7,52^m}{(6,5^m)^2} = 0,004 = \%0,4$$

olarak elde edilir. Açıkta ki hesaplanan bu parametre büyük ölçüde uygulanan tünel teknolojisi ile çok yakından ilintilidir. Benzer teknoloji (EPB) ile Nil Nehri Aluvyoner zeminlerinde açılmış olan 9,45 m çaplı Kahire Metrosunda anılan büyüklük % 0,77-1,32 aralığında rapor edilmektedir (Mair, 1996).

Ayna stabilitesinin bir ölçüsü olarak bilinen zemin stabilite sayısı N [2] bağıntısı kullanılarak, arın basıncı hesaplanan kesitler için bulunmuştur. Bulunan değerler $N=0,69 - 2,84$ aralığında olup, bu değerlerin ortalaması $N_{ort} = 1,31$ 'dir. Bu değerlerin minimumu "Az akma – Elastik zon" şartlarına, maksimumu ise "Sınırlı akma" şartlarına karşı gelmektedir.

Ölçülen maksimum tasman değerleri ile uygulanan ayna basınçları arasında istatistiksel olarak korelasyon katsayısı $r = 0,993$ ile sonuçlanan, negatif eğimli lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil-10).



Şekil-10. Arın basıncı ile ölçülen oturma değerleri arasındaki ilişki (Arıoğlu vd., 2002a)

Yukarıda hesaplanan, hacimsel kayıp büyüklüğü " K ", arın stabilitesi sayısı " N " büyüklükleri ve arın basıncı-tasman arasında elde edilen istatistiksel ilişki, uygulanan arın basınçlarının tasarım aşamasında hesaplananlar ile belirli uyum içinde olduğu ve yüzey tasmanlarının iyi bir şekilde kontrol edildiğini göstermektedir.

2. SONUÇLAR

Bu çalışma çerçevesinde incelenen konulardan çıkartılabilecek belli başlı sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- İzmir Metrosunun Konak-Basmane arasındaki bölümü (Şekil-4) şehrin ana trafik arterleri üzerinde, yoğun yerleşim yapısına sahip, çok katlı yapılar ve alt yapılar bulundurmakta, ve tünel geçişinde kil, silt ve kum-çakıldan oluşan yumuşak zemin koşulları hakimdir. Böylesine zor çevre şartları altında inşaat, EPB tünel metodu tercih edilerek, yüzeyde hiçbir rahatsızlık vermeden kısa zamanda tamamlanmış ve geleneksel inşaat metodlarına göre proje bedelinin % 6'si kadar parasal tasarruf gerçekleştirilmiştir (Çizelge-2).
- Tünel kazısı sırasında, benzeri çapta şiddetli tünel metodu ile açılmış tüneller içerisinde 30 m/gün'lük ilerleme hızı ile rekor kabul edilebilecek bir değer kaydedilmiştir (Çizelge-5). Ümmühan Ana Tüneli ortalama ilerleme hızları, 1. tüpte 8 m/gün iken, tünel deneyimindeki artışa paralel olarak giderek artmış, 2., 3. ve 4. tüplerde sırasıyla 12,5 m/gün, 13,3 m/gün ve 19,7 m/gün olarak elde edilmiştir (Şekil-6).
- Tünel kazısı sırasında uygulanan arın basınçları, çökmelerin kontrol edilmesi esasına dayanan hesap basınçlarından ortalama % 15 kadar daha düşüktür (Şekil-9). Ancak bu durum, geliştirilen hesap metodunun emniyetli tarafta kaldığına işaret etmektedir.
- Uygulanan arın basınçlarıyla yüzeyde oluşan maksimum tasmanlar etkin bir şekilde kontrol edilmiş olup arın basıncı ile yüzey oturması arasında $r = 0,993$ korelasyon katsayısına sahip negatif eğimli doğrusal bir ilişki çıkarılmıştır (Şekil-10). Tünel kazısı nedeniyle yüzeyde gözlenen maksimum nihai oturma $S_{maks} = 21$ mm, hacimsel kayıp ise ortalama $K = \% 0,4$ mertebesinde.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın yapılmasında gösterdikleri yakın ilgi ve akademik destekleri için Yapı Merkezi Holding A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Dr. Müh. Ersin ARIOĞLU'na, Yapı Merkezi Yönetim Kurulu Murahhas Üyesi Sayın İnş. Y. Müh. Emre AYKAR'a ve Ağır İnşaatlar Grup Direktörü Sayın İnş. Müh. Naim İŞLİ'ye teşekkür etmeyi görev sayarlar. Çalışmada belirtilen tüm görüş ve değerlendirmeler yazarlarına ait olup Yapı Merkezi ve diğer herhangi kurum ve kuruluşu bağlamaz.

KAYNAKLAR

- AFTES., (2000), “ Choosing Mechanized Tunneling Techniques”, *Web:www.aftes.asso.fr/Fichier PDF/mechanised.pdf*
- Arıoğlu, B., Yüksel, A., Kurtuldu S., Arıoğlu, E., (2002a), “NATM, EPBM, and Cut and Cover Tunelling Applications in the Metro Project of İzmir”, *Felsbau*, 20 No 4, pp 14-22.
- Arıoğlu, B., Yüksel, A., Arıoğlu, E., (2002b), “İzmir Metro Projesinde EPBM Tünel Uygulaması”, *Ulaşım da Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu 1-3 Aralık 1994, Genişletilmiş İkinci Baskı, Maden Mühendisleri Odası Yayını, İstanbul*.
- Arıoğlu, B., Yüksel, A., Arıoğlu, E., (2002c), “İstanbul-Mevhibe İnönü Tüneli'nde tasman (yüzey oturması) Eğrisi Dönüm Noktasının Belirlenmesi”, *VI.Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Seçuk Üniversitesi, Ekim, Isparta*.
- Arıoğlu, B., Yüksel, A., Arıoğlu, E.(2000), “İzmir Metrosu Nene Hatun Tüneli Üretim Parametreleri ve Değerlendirilmesi”, *V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Ekim, Isparta s 21-33*.
- Arıoğlu, B., (2000), “Engineering Achivement at Ummuhan Ana Tunnel”, *World Tunneling January/February*, pp 37-39.

- Arnođlu, B., Arnođlu, Ö. S., Arnođlu, E., (1999), “İzmir Metrosu EPBM Makinesinin Kazı Performansı”, *16. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Haziran, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara*, pp 207-214.
- Arnođlu, S., Ö., (1998) “İzmir Metro Tünel Projesinde Kullanılan Hidrolik Şildli Makina Sistemi Kazı-İksa Performansının İncelenmesi”, *Bitirme Ödevi, İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliđi Bölümü, İstanbul*.
- Arnođlu, E., Köylüođlu, Ö.S., (1996), “İzmir Metrosu TBM Tünel Metodu için Çökme ve Arın Basıncı Deđerlendirmesi”, *İç Rapor No: YM/AR-GE/96-3B, Yapı Merkezi, İstanbul*.
- Arnođlu Ergin, Arnođlu Erdem, Odbay, O., (1992), “Sığ ve Orta Derin Yeraltı Mühendislik Yapılarının Açılmasından Kaynaklanan Yüzey Tasmanına ait Parametrelerin Kestirimi”, *4. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliđi Kongresi, 22-23 Ekim, İstanbul*.
- Birön, C., Arnođlu, E., (1981), “Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı”, *Birsen Yayınevi, İstanbul*.
- Boere, W., (2001), “Tunnel Face Stability&New CPT Applications”, *Ph D. Thesis, Technische Universiteit Delft, Delft Universty Press, Netherlands*.
- Brooms, B.B., Bennermark, H., (1967) “Stability of Clay at Vertical Openings”, *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, SM1, pp. 71-44*.
- Carig, R., (2002), “Copenhagen Metro”, *World Tuunelling, March, pp. 62-69*.
- Carig, R., (2000), “Under the Elbe to the Port of Hamburg”, *World Tunnelling, April, pp. 132-139*.
- Çivi, A., Cengizkan, K., Kurtuldu, S., Telliöđlu, V., Yalçın E., Ođuzhan K., (1998), “İzmir Metrosu Aç & Kapa Yapıları - Genel Bilgiler ve Projelendirme İlkeleri”, *İnşaat Mühendisliđi ve Teknolojileri Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Ekim, İzmir*.
- DAUB., (1997), “Recommendations for Selecting and Evaluating Tunnel Boring Machines”, *Alman Yeraltı İnşaatları Birliği, Tunnel 5/97, Web:http://www.stuva.de/daub/tu9705.pdf*
- Jancsecz, S., Krause, R., Langmaack L., (1999), “Advantages of Soil Conditioning in Schield Tunnelling, Experiences of LRST Izmir”, *Proceedings of The World Tunnel Congress '99 OSLO, "Challenges for the 21th Century" Alten et al (eds), Balkema, Rotterdam*.
- Lüsse, B.C.H., Gipperich, C., Tunnelling Under the Weser”, *World Tunneling, October, pp. 368-371*
- Maild, B., Herrenknecht, M., Anheuser, L., (1996), “Mechanised Shield Tunnelling”, *Ernst&Sohn, Berlin*.
- Mair, R.J., (1996), “Settlement Effects of Bored Tunnel”, *Session Report, Proceedings of International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, R.J.Mair&R.N.Taylor Eds., London.pp. 45-53*
- Mair, R.J., (1998), “Geotechnical Aspects of Design Criteria for Bored Tunnelling in Soft Ground”, *Tunnels and Metropolises in Soft Ground, Negro Jr. & Ferrira (eds) (1998), Balkema Rotterdam*
- Milligan, G., (2000), “Lubrication and Soil Conditioning in Tunnelling, Pipe Jacking and Microtunnelling-The state-of-the-art review,”, *Web:www-civil.eng. ox.ac.uk/research/pipejack/publications.html, (47 pages)*.
- Mitchell, R.J., (1983), “Earth Structural Engineering”, *Allen & Uawin Inc., Boston*.
- Mori, H., Nomoto, T., Matsumoto, M., (1995), “Overview on Ground Movements During the Shield Tunnelling-A Survey on Japanese Shield Tunnelling”, *Underground Construction in Soft Ground, Fujitsa & Kusabeeke (eds), Balkema*.
- Léca, E., (1989), “Analysis of NATM and Shield Tunnel in Soft Grounds”, *PhD Thesis , Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburgs USA, 476pgs*.
- Peck, R.B., (1969), “Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground”, *Proceedings 7th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, pp. 225-290*.

- Rankin, W.J., (1988), “Ground Movements Resulting from Urban Tunnelling; Prediction and Effects”, *Conference on Engineering Geology of Underground Movements*, Nottingham, pp.79-92.
- Sağlamer, A., Yeşilçimen, Ö., (1996), “İzmir Hafif Raylı Sistemi km 1+550 – km 3+800 Arası Geoteknik Veri Raporu”, Cilt1, Rapor No 9210-TR-J058, Yapı Merkezi, İstanbul.
- Schmidt, B, (1969),” Settlements and Ground Movements Associated with Tunneling in Soil”, *Ph D Thesis, Univer.III, Urbana, USA.*
- Skempton, A., W., MacDonald, D.,H., (1956), “The Allowable Settlement of Buildings”, *Proc., Ins., of Civil Engineers*, Part III, 5, pp. 727-784.
- Smith, M., (2000), “Madrid Metrosu TBMs Get Underway”, *World Tunnelling*, April, pp. 397-399.
- Wallis, S., (1995), Foaming Success at Valencia”, *World Tunnelling*, October.
- Yapı Merkezi, (1992), “İstanbul Metrosunda Yeryüzü Hareketlerinin Kestirimi”, *Yayınlanmamış Rapor, Yapı Merkezi, İstanbul.*
- Yapı Merkezi, (1996), “İzmir Metro Ümmühan Ana Tüneli Projesi”, *Yapı Merkezi Mühendislik Grubu, İstanbul.*
- Yapı Merkezi, (1997a), “Ümmühan Ana Tüneli İnşaat Yapım Yöntemi”, *Yapı Merkezi Mühendislik Grubu, İstanbul.*
- Yapı Merkezi, (1997b), “İzmir Metrosu ve Ümmühan Ana Tüneli Teknik Tanıtımı”, *Yapı Merkezi Mühendislik Grubu, İstanbul.*
- Yapı Merkezi, (1998), “İzmir Metrosu Ümmühan Ana Tüneli 1997-1998 Yılları Saha Kayıtları”, *Yapı Merkezi İzmir Metrosu, 1997-1998, İzmir.*

*Ninth Turkish Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering
21-22 October 2002, University of Anadolu, Eskişehir, Türkiye*

APPLICATION OF EARTH PRESSURE BALANCED METHOD (EPBM) AT ÜMMÜHAN ANA TUNNEL IN THE PROJECT OF İZMİR METRO

Başar ARIOĞLU¹, Ali YÜKSEL², Ergin ARIOĞLU³

SUMMARY

İzmir Metro System is planned as a high capacity system covering whole urban area according to master transportation plan. The first stage of 11.6 km including backbone system between Üçyol and Halkapınar, workshop, depot area and Bornova branch were successfully constructed by Yapı Merkezi-Adtranz Consortium in less than four years. Due to the complex soil conditions, changing topography and dense urbanization, EPB tunneling techniques were applied between Konak and Basmane Stations. This paper involves the results and evaluations of these applications.

¹ Dipl. Civ. Eng., General Manager, Yapı Merkezi Cons.&Ind. Inc., 81180 Çamlıca-İstanbul

² Dipl. Min. Eng., Heavy Construction Group ,Yapı Merkezi Cons.&Ind. Inc., 81180 Çamlıca-İstanbul

³ Prof. Dr. Eng., Research & Development Dept. ,Yapı Merkezi Cons.&Ind. Inc., 81180 Çamlıca-İstanbul