

Türkiye 16. Madencilik Kongresi / 16th Mining Congress of Turkey, 1999, ISBN 975-395-310-0

İZMİR METROSU PROJESİNDE KM 1+963 - 3+488 ARASINDA KULLANILAN EPBM MAKİNASININ KAZI PERFORMANSI

THE EXCAVATION PERFORMANCE OF THE EPBM MACHINE IN THE İZMİR METRO PROJECT BETWEEN KM 1+963 - 3+488

B. ARIOĞLU

Yapı Merkezi İnş. ve San. A.Ş., Çamlıca, İstanbul

S. Ö. ARIOĞLU

Yapı Merkezi İnş. ve San. A.Ş., Çamlıca, İstanbul

E. ARIOĞLU

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

ÖZET: Bu bildiri de ülkemizin tünel teknolojisinde İlk defa İzmir Metro projesinin Konak Basmane arasındaki Ümmühan Ana Tüneli'nin açılmasında kullanılan 'zemin basıncım dengeleme prensibi'ne dayanan (Earth Pressure Balance Method = EPBM) makinası kısaca tanıtılmış ve tünel ilerleme hızları konusunda yerinde gerçekleştirilen İş etüdlerinin istatistiksel değerlendirmesi belirli bir aynntı içinde takdim edilmiştir. Toplam 4 tüpten oluşan tünel projesinde günlük ilerleme ortalama 12.50 m/gün ve % 90 güven derecesi için 'ortalama'nın alt ve üst değerleri ise sırasıyla 11.12 m/gün, 14 m/gün olarak belirlenmiştir.

ABSTRACT: In this paper, the excavation performance of 'Earth-Pressure Balance Shield' utilized for the construction of the Ümmühan Tunnel within the İzmir Metro Project was presented. The average daily advance and 90 % confidence limits on daily advance with shield were determined to be 12.5 m/day, 11 m/day, 14 m/day respectively.

1. İZMİR METROSU PROJESİ GENEL TEKNİK BİLGİLER

aşamayı oluşturmaktadır. {Tablo 1) (Yapı Merkezi, 1997a)

İzmir Metro Projesi. İzmir Ulaşım Master planı çerçevesinde 45 kilometreye varan ve Çiğli'den Buca'ya, Bornova'dan Narüdere' ye izmir'in metropol bölgesinin tamamını kapsayan yüksek kapasiteli bir sistem olarak ptei MI.nıştır. Bu sistemin ana omurgasını oluşturan Üçyol - Konak - Basmane - Halkapmar hattı ile Halkapmar - Bornova kolu halen gerçekleştirilmekte olan ilk 11.6 km.'lik birinci

Birinci aşamada 10 adet istasyon bulunmaktadır. İU'nlar sırasıyla: Üçyol, Konak, Çankaya, Basmane, Hilal, Halkapmar, Stadyum, Sanayi. Bölge, Bornova istasyonlarıdır. Bu istasyonlardan Üçyol, Konak, Çankaya ve Basmane istasyonları yer altında, Hilal ve Stadyum istasyonları viyadükte, diğer istasyonlar ise hemzeminde inşa edilmektedir.

Tablo 1. İzmir Metrosu'nda kullanılmakta olan ana inşaat metodları ve yaklaşık uzunlukları

• Nene Hatun Tüneli (Yeni Avusturya Metodu-Delme Tünel)	1700 m	% 14.66
• Av kapa tünel içi:	1100 m	% 9.48
• Ümmühan *.na Tüneli (EPBM Metodu ile ikiz tüneller)	1400 m	% 12.07
• Viyadük	2800 m	% 24.14
• Hemzemin	3600 m	% 31.03
• Kapa-aç ve yarmalar	1000 m	% 8.62
• Toplam İnşaat Uzunluğu	11600 m	% 100.00

2. UMMUHAN ANA TÜNELİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Konak, Çankaya ve Basmane istasyonları arasında yer alan Ümmühan Ana Tüneli, İzmir Metro güzergahının en zor bölümü olan yaklaşık 1400 metrelik kısmını oluşturmaktadır. Ümmühan Ana Tüneli, her biri 6.50 metre çapında ve 5.70 metre bitmiş çapa sahip, toplam uzunlukları 2800 metre civarında olan dört adet tüpten ibarettir. Tünel önemli bir bölümünde mevcut yoğun yerleşim birimlerinin altında inşa edilmektedir (Şekil 1) (Yapı Merkezi, 1997b).

Şığ tünel geometrik özelliğini taşıyan bu tünel üzerindeki zemin örtü kalınlığı, 6 metre ile 13 metre arasında değişmektedir. Yeraltı su seviyesi yeryüzü kotuna göre -1 ile -2 metre arasında değişmektedir. Bu da 19 metrelik su basıncı etkilerinin dikkate alınmasını gerektirmektedir. EPBM makinasının kullanıldığı güzergahın tipik bir jeolojik kesidi ve katmanların jeomekanik özelliklerinin değişim aralıkları ise Şekil T de gösterilmiştir.

Ayrıca, Ümmühan Ana Tüneli yer yer çok yumuşak ve konsolide olmamış killerden siltli kumlara ve kumlu çakıllara kadar fevkalade değişken bir jeolojik yapıdan geçmektedir. Bu nedenle, Ümmühan Ana Tüneli mekanize tünelticilik açısından günümüzün en ileri teknolojilerinden biri olan zemin basıncını dengeleme metodu ile açılmıştır.

3. EPBM MAKİNASI

Bu tür makinelerin gelişimi 1970' li yılların başında Japonyada başlamıştır. Karışım şildli makinelerin geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu makinelerin en belirgin yararı kazdığı malzemeyi tünel aynasının stabilizasyonu için kullanması ve karışım şildlerinde olduğu gibi geri kazanım sistemlerine gerek duyulmamasıdır.

Kesici kafanın kazdığı malzeme, karışım şildli makinelerde olduğu gibi direkt olarak kazı haznesine alınmaz ama kesici kafanın üstündeki açıklıklardan (koyalardan) kazı haznesine basılır. Burada kazı malzemesi su ve bentonitten oluşan karışım ile karışır. İtme kuvveti bulkhead tarafından kazı haznesine iletilir ve burada 'basıncılı ortam' oluşturularak kazı haznesine kontrollü bir şekilde kazı malzemesinin girmesi sağlanır. Zemin basıncı şild üstündeki sensörler ile sürekli olarak ölçülür ve bu basıncı dengeleyecek şekilde kazı haznesine

malzeme alınır; başka bir deyişle kazı haznesinin basıncı ayarlanır. Kazı haznesindeki kazılan malzeme bentonit ve su ile karıştığı için bulamaç halinde olup zemin basıncına göre helezon konveyör ile kontrollü bir şekilde kazı haznesinden çıkartılır. Buradan da bant konveyör, vagonlar ile veya her ikisi ile tünel boyunca nakliye edilir.

Kazılan malzemenin stabilizasyon elemanı görevini yapması açısından şu özelliklere sahip olması gerekir;

- İyi plastik deformasyon
- Düşük içsel sürtünme
- Düşük perméabilite
- Yumuşak kıvam

Bu özellikleri taşıyan bir kazı malzemesi kolaylıkla helezon konveyör ile nakledilebilir. Kohezif olmayan ve permeabilitesi yüksek formasyonlarda kazı haznesine köpük ilave edilerek kazı malzemesinin helezon konveyör ile nakli sağlanabilir.

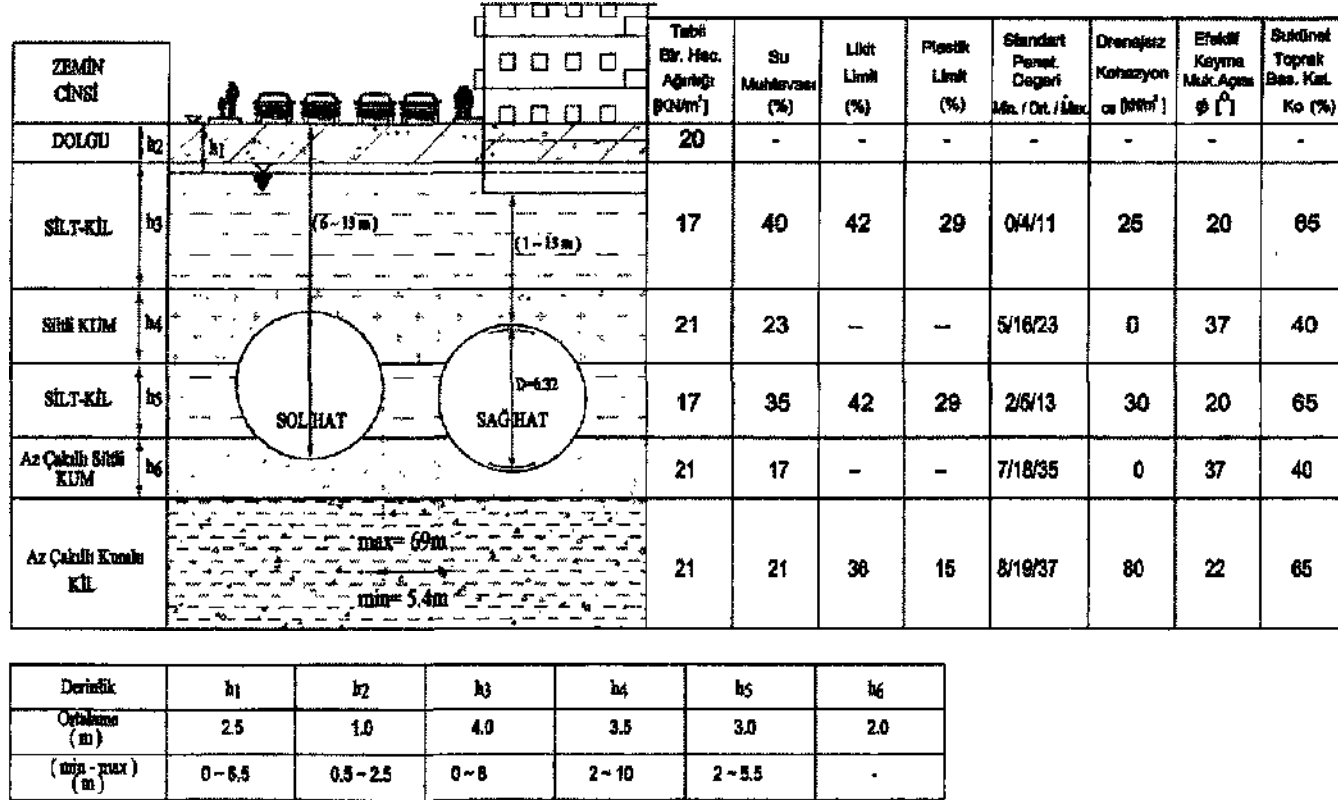
4. EPBM MAKİNASININ KAZI PERFORMANSININ ve GÜNLÜK İLERLEMELERİNİN İNCELENMESİ

4.1. Giriş

EPBM tünel açma makinası ile ilk olarak ikiz tünellerin birincisi Basmane İstasyonu kuyusundan başlanıp Çankaya İstasyonu kuyusuna kadar açılmıştır. (1.Tüp) Kesici kafa daha sonra tekrar Basmane İstasyonu kuyusuna getirilip ikiz tünellerin ikincisinin kazısına başlanmıştır. (2.Tüp) Basmane - Çankaya arasındaki ikiz tünel bitirildikten sonra makine Konak İstasyonu kuyusuna nakledilip Konak - Çankaya İstasyonları arasındaki ikiz tünellerin yapımına başlanmıştır.(3. ve 4. Tüp) Yer ekonomisi sağlanması bakımından tüplerin güzergah krokileri burada verilememiştir.(Bkz Kaynak Yapı Merkezi. 1997a)

3.2. Vardiya Ekibi

Tablo 2' de vardiya çalışanları ve sayısı verilmiştir. Tünel açma çalışmaları günde 2 vardiya/gün (2 vardiya/gün x 12 saat/vardiya = 24 saat/gün) olarak tertiplenmiştir.



Şekil 1. EPBM makinasinin kullanıldığı güzergahın mühendislik jeolojisi ve geçilen katmanlara ait jeomekanik büyüklükleri

3.3. EPBM Makinasının Günlük ilerlemelerinin İrdelenmesi

Tüplerde gerçekleştirilen ortalama günlük ilerleme miktarları istatistiksel büyüklükleri ile birlikte topluca Tablo 3'de gösterilmiştir. Tablo yakından incelendiği zaman şu sonuçlar göze çarpmaktadır:

- Proje ilerledikçe tüp bazında elde edilen ortalama günlük İlerleme miktarları anlamlı bir şekilde artmıştır. Bu sonuç (iş ekibi -tünel kazı makinası -formasyon) arasında zamanla sağlanan 'uyum' ile açıklanmaktadır.
- Ortalama günlük hızları 8 - 19.5 m/gün arasında değişirken en fazla ilerleme hızı 30 m/gün 4. Tüpün açılmasında sırasında kaydedilmiştir.

Okuyucuya fikir vermesi açısından Tablo 4'de ise tam cepheli tünel açma makinalarının kullanıldığı başka projelerde gerçekleştirilen ortalama günlük ilerlemeler diğer büyüklükleriyle birlikte gösterilmiştir. (Anoğlu S.Ö.,1998)

Tablo 2.Vardiya çalışanları ve sayıları

Vardiya Çalışanları	Sayısı
Mekanikçi	2
Elektrikçi	2
Konveyör-Bant İşçisi	2
Ring Montajörü ve Enjeksiyon Sorumlusu	3
Lokomotif Operatörü	2
Beton Santrali Operatörü	2
Şaft Formeni (alt)	1
Şaft Formeni (üst)	1
Makine Operatörü	1
Vardiya Operatörü	1
Vardiya Mühendisi	1
Segment Stokçusu	2
Ambar İşçisi	1
Vinç Operatörü	2
Şoför	1
Düz İşçi	3
Atölye-Kaynak İşçileri	6
Tünel Şefi	1
Şantiye Şefi	1

Tablo 3. EPBM Makinası İle Elde Edilen Günlük İlerlemelerin İstatistiksel İncelenmesi

Tüp No:	1.	2.	3.	4.
Çalışılan Gün Sayısı	73	47	61	38
Monte Edilen Toplam Ring Adeti (Ring boyu: 1.2 m' dir.)	490	492	677	624
Toplam Kaydedilen İlerleme (m)	588	590.4	812.4	748.8
Günlük İlerleme Ortalama (m/gün)	8.05	12.56	13.32	19.58
Günlük Maksimum İlerleme (m/gün)	22.8	20.4	22.8	30
Günlük ilerlemenin Standart Sapma (m/gün)	6.09	5.31	6.42	6.28
Günlük İlerleme Değişkenlik Katsayısı	75.7	42.3	48.2	32.1
% 90 güven derecesi için ortalama değer alt sınırı (m/gün)	6.85	11.24	11.94	17.85
% 90 güven derecesi için ortalama değer üst sınırı (m/gün)	9.24	13.88	14.70	21.31

Tablo 4. Tam cepheli şiddetli tünel açma makinası ile açılan bazı projeler ve ortalama günlük ilerlemeleri

Proje	Çap (m)	Ağırlık (ton)	Günlük İlerleme (m/gün)	Hakim Formasyon
Köln S-Bahn	6.56	250	6.6	Dolgu, kil, kum
Şangay Metro su	6.34	200	8.0	Çamurlu killi silt
Lille Metro su	7.65	460	8.8	Küçük bloklu kil
Luisental Metro su	6	270	16.0	Kumtaşı, kumlu kil
Valencia Metro su	6.52	360	13.0	
Kahire Metro su	9.5		10.0	Kil, silt, kum,
Lyon Metro su	6.5		7.0	Çakıl - Kum
Roma Metro su	6.6		10.8	Killi şist-çakıllı siltli kum
Müllheim Tramvayı	6.9	550	5.3	Kumtaşı, kıltaşı
İzmir Metro su (4 tüpün ortalaması)	6.5	420	12.5	Kil, silt, kum, su geliri mevcut

4.3. EPBM Makinasının Kazı Performansının İncelenmesi

EPBM Makinasının şild kısmının kesiti Şekil T de ana bölümleri ile birlikte gösterilmiştir.

Tam Cepheli Hidrolik Şildli Tünel Açma Makinasının kazı performansının incelenmesi için ilk önce tünel İlerlemesi için yapılan işlemlerin tanıtılması gerekir.

Yapılan İşler:

Kazı: Makinanın hidrolik strok boyu yaklaşık olarak 1.2 metre olduğu için 1.2 metrelik kazı yapılır. Kesici kafa çapı yaklaşık 6 metre alınırsa bu ilerleme 34 m³ kazı hacmine karşı gelmektedir. Kesici kafadaki disk kesimler formasyonu keser ve kazılan malzeme kazı haznesine alınır. Kazı haznesine beslenen bentonit ile formasyonun yoğunluğu artar ve bulamaç haline gelir. Makina basıncı 3000 tona ulaşan 28 adet hidrolik veren İle kendisini ileri iter ve bulamacı sıkıştırır. Yarattığı bu basınç İle de zemin basıncını dengeler. Böylece yumuşak zeminde yeryüzünde minimum tasman ve deformasyon ile tünelin açılması sağlanır.

Enjeksiyon: Kazı ile birlikte yapılır. Ring İle formasyon arasındaki boşluk doldurulur. Aynı zamanda sızdırmazlık sağlanmış olur. Enjeksiyon işleminin özenle yerine getirilmesi yeryüzü tasman hareketlerinin kontrolü yönünden büyük önem taşır.

Ring Montajı: Kazı bittikten sonra kesici kafa arkasındaki vakumlu erektör ile prekast beton segmentleri (7 adet) ve kilittaşı (1 adet) ring (yüzük) şeklinde monte edilir.

Ringin boyu 1.2 m ' dir ve bu da aynı zamanda net İlerlemedir.

Pasa Atımı: Kazı haznesindeki bulamaç İlerleme kaydedildikçe ve zeminin basıncına göre belli değerlerde helezon konveyöre alınır ve buradan da bant konveyöre aktarılır. Bant konveyörden pasa yaklaşık 5 m³ lük vagonlara alınır. Vagonlar aracılığı ile kuyu dibine yeryüzüne çıkartılmak üzere nakledilir.

Duraklama: Her ne kadar istenmese de, herhangi bir ünitenin arızası veya yemek arası gibi nedenlerden dolayı duraklama zorunlu olarak yapılan işlemlerden biridir. Duraklamalar en çok enjeksiyon pompa ve

valilerinin temizliği, montaj kolu (erektör) ve bant konveyör arızalarından kaynaklanmaktadır.

Tam Cepheli Hidrolik Şildli Tünel Açma Makinasının kazı performansının incelenmesinde 1.2 metrelik kazı başlangıcından bir sonraki 1.2 metrelik kazı başlangıcına kadar yapılan işlemlerin süreleri tutulmuştur. Her 1.2 metrelik İlerlemede bir ring monte edildiği için işlemlerin süreleri monte edilen ring bazında kaydedilmiştir. Ayrıca enjeksiyon işlemi kazı süresi boyunca devam ettiği için enjeksiyon süresi kazı süresine eşit kabul edilmiştir. Pasa atımı işlemi zaman olarak diğer işlerle birlikte yapıldığı için, bu işlemin süreleri değerlendirilememiştir.

Kısaca; makinanın kazı performansı zaman Ölçme işleminde;

- Kazı İşlemi Süresi
- Ring Montaj İşlemi Süresi
- Duraklama İşlemi Süresi

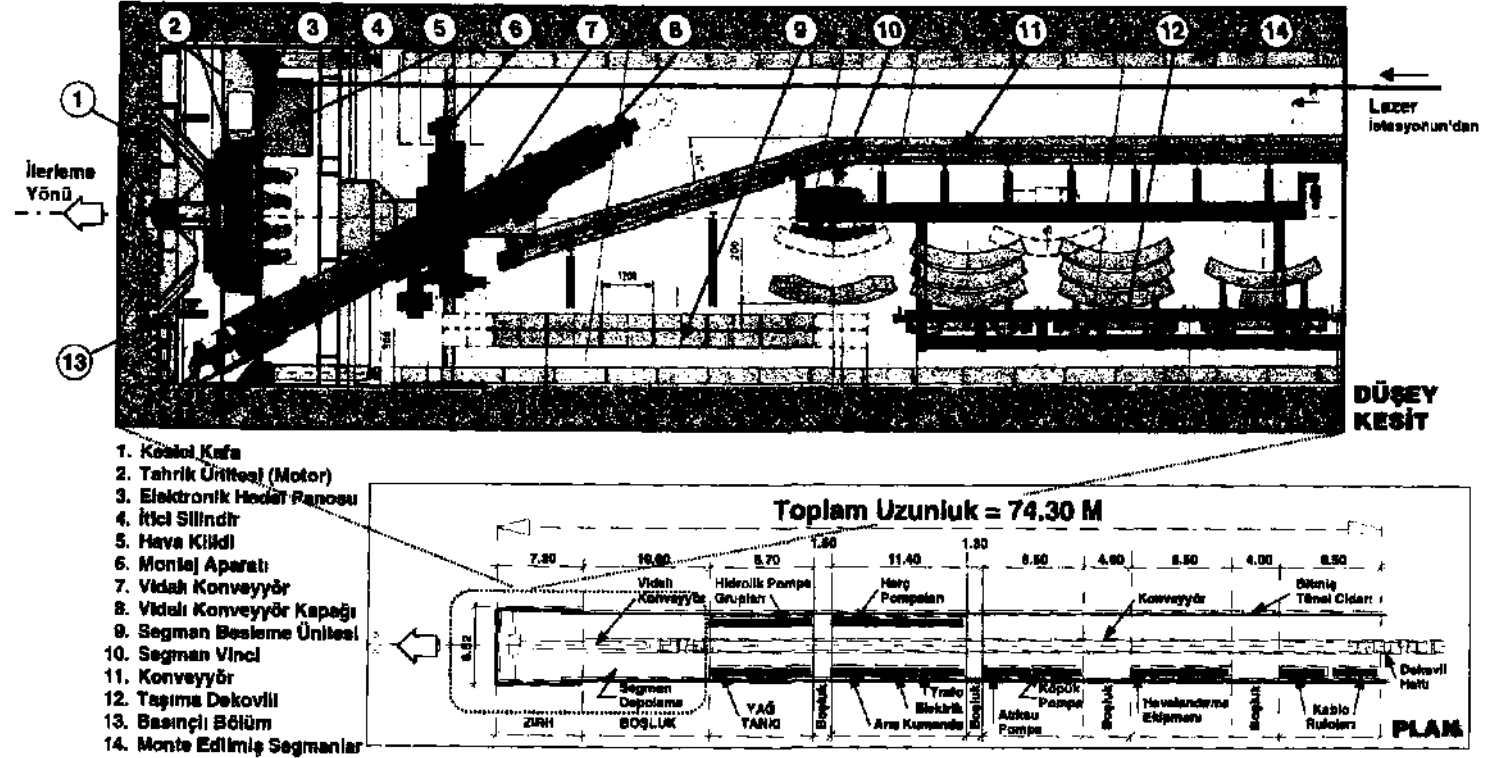
esas olarak alınmıştır.

Toplam işlem süresi yukarıda sayılan üç İşlemin sürelerinin toplamı olarak belirlenmiştir.

İşlemlerin süreleri 1. Tüpün açılması sırasında bir başka deyişle EPBM makinasının ilk uygulandığı tüpün açılması sırasında ayrı ayrı dört haftada tutulmuştur. Dört haftanın topluca değerlendirilmesi Tablo 5 ve Şekil 3 ' de yer almaktadır.

Sözkonusu tablo ve şekiller birlikte incelendiğinde aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilmektedir:

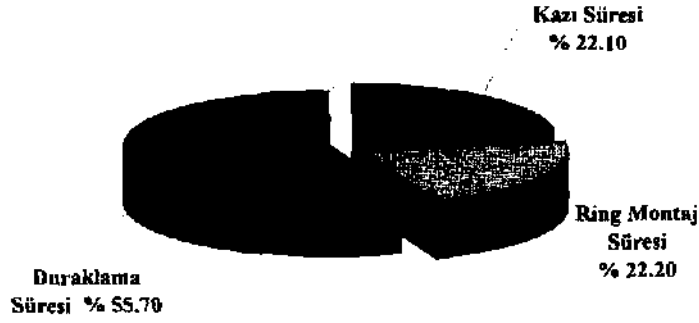
- Ortalama değerler olarak ring bazında kazı İşlemi, ring montajı ve duraklamalar yaklaşık olarak sırasıyla 40 dak., 40 dak. Ve 100 dak. mertebelerinde hesaplanmıştır. 1.2 m net ilerleme için geçen süre ortalama 180 dak. olarak kaydedilmiştir.
- Proje ilerledikçe, çeşitli nedenlerden dolayı kaynaklanan 'duraklama' sürelerinin, belirgin bir biçimde azaldığı ve böylece ring bazında yapılan işlemlerin toplam sürelerinin dağılımında kazı ve ring montaj işlemlerinin paylarının arttığı belirlenmiştir.



Şekil 2. EPBM makinasının prensip şeması

Tablo 5 4 Haftanın (08.09.97-24.11.97) kazı performansı değerlendirmesi					
Hafta	Ring Sa \backslash ısı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
	*	Kazı	Ring Montaj	Duraklama	Geçen Toplam
	(adet)	Süresi **	Süresi	Süresi	Süre
		(dak)	(dak)	(dak)	(dak)
08.09.97 - 15.09.97	13	54,60	57,30	154,20	266,10
22.09.97 - 29.09.97	20	42,25	45,00	194,50	281,75
27.10.97-03.11.97	59	33,05	35,25	33,31	101,61
17.11.97-24.11.97	65	31,05	27,00	25,77	84,62
Toplam Ortalama(dak)	39.25 adet	40,44	40,64	101,95	183,03
Toplam (%)		22,10	22,20	55,70	100,00

* i Ring = 1 20 m' lik net ilerleme ** Enjeksiyon işlemleri kazı işlemleri sırasında yapılmaktadır.



Şekil 3. 4 Haftanın (08.09.97-24.11.97) ortalama ring başına yapılan işlerin süreleri

- Duraklamaların baş nedenlerinin:
 - Montaj kolu (erekötör) arızaları
 - Bantlı konveyör tıkanmaları
 - Enjeksiyon pompa ve valflerin tıkanmaları olduğu gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada ele alınan konulardan ve proje kapsamında gerçekleştirilen Ölçmelerden elde edilen önemli sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- 4 adet tüpde kaydedilen günlük İlerlemelerin ortalaması 12.5 m/gün. olarak saptanmıştır. (Tablo 3 ve Tablo 4) Proje ilerledikçe iş ekibi - tünel makinası - geçilen formasyon arasında oluşturulan 'uyum düzeyi'nin sürekli biçimde arttığı gözlenmiştir. 4. Tüpde gerçekleştirilen ortalama günlük ilerlemenin 19.5 m/gün düzeyine ulaşması ve ilerleme miktarlarındaki 'dağılıma'mın ölçüsü olan 'değişkenlik katsayısı'nın diğer tüplerdeki değerlerine kıyasla azalmış olması, bu değerlendirmenin somut verileridir.
- EPBM makinasının 1. Tüpün açılması sırasında yapılan 4 haftalık (08.09.97 - 24.11.97) incelenmesi sonucunda; 12 m'lik net ilerleme için geçen sürenin ortalama toplam 180 dak. olduğu hesaplanmıştır.(Tablo 6, Şekil 3)
- Maksimum yeryüzü tasmanı ile tünel arınma uygulanan basınç arasında negatif eğimli linear regresyon çıkartılmıştır. Buna göre artan arın basıncı ile ölçülmüş maksimum tasman azalmıştır.

$$\frac{\text{Tünel aks derinliği}}{\text{Çap}} = \frac{15}{6} = 2,5 \text{ olan } 1. \text{ Tüpde}$$

ölçülen maksimum yeryüzü tasmanları 1.4-1.0 mm düzeylerinde kalmıştır.(Bina hasarları açısından maksimum eğim (1/300) kabul edilirse, izin verilebilir maksimum yeryüzü tasman ise 40 mm mertebesindedir.(Anoğlu,E.,1994)) EPBM yönteminin en belirgin yararlarından biri de taşıma kapasitesi az ve değişken, su geliri olan formasyonlarda, (Şekil 1) güzergahında bulunan yoğun yerleşim birimlerine 'yapısal hasar' vermemesidir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmanın yapılmasını ve yayınlanmasını teşvik eden Yapı Merkezi Holding Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Dr. Y. Müh. Ersin Arnoğlu'na teşekkür ederler.

Ayrıca yazarlar araştırmalarında yardımcı olan İzmir Metro Projesi Müdürü Naim İşli'ye, Proje Kontrol Mühendisi Burak Gürsel'e ve Yüksek Maden Mühendisi Ali Yüksel'e teşekkür ederler. Bu çalışmada açıklanan görüşler sadece yazarlarına aittir.

KAYNAKLAR

Anoğlu,E., 1994. *uygulamada ve Tasarımda Çözümlü Madencilik Problemleri, Genişletilmiş-3. Baskı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara

Anoğlu, S.O., 1998. *İzmir Metrosunda Kullanılan EPBM Makinasının Kazı ve İksa Performansının İncelenmesi*, Bitirme Çalışması, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

Yapı Merkezi, 1997a, *İzmir Metrosu ve Ümmühan Ana Tünel Projesi*, Yapı Merkezi Arşivi, Çamlıca, İstanbul

Yapı Merkezi, 1997b, *Km 1+963 - 3+488 Arası Geoteknik Raporu*, Yapı Merkezi Arşivi, Çamlıca, İstanbul