

# İZMİR METROSU KONAK-BASMANE EPBM TÜNEL- LERİNDE ZEMİN OTURMALARININ TAHMİNİ VE ÖL- ÇÜLEN DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

A. Ünlütepe<sup>(1,2)</sup>

H. Özener<sup>(1)</sup>

O. Gürkan<sup>(1)</sup>

## ÖZET

*İzmir Metrosunun Konak-Basmane tüneller bölümü EPBM (Zemin Basıncı Dengeleme Me-  
todu) Makinası ile prekast segmentli olarak inşa edilmiştir. Bu bölümün inşa edilmesi sıra-  
sında yapılan deformasyon ölçümleri ve bunların sonuçları bu çalışmada tanıtılmaktadır.  
Bununla birlikte tünel kazıları nedeniyle oluşan deformasyonların matematiksel tanımları da  
verilmektedir. Sonuç olarak bu verilen matematiksel tanımlara, ampirik verilere ve uygula-  
maya özgü bazı parametrelere bağlı olarak hesaplanan deformasyon büyüklükleri ile ölçüm  
sonuçları karşılaştırılmaktadır.*

## ABSTRACT

*The purpose of this paper is to review the deformation measurement methods and results  
gathered during the construction of precast segmental tunnels of İzmir Metro System. The  
tunnels have been built by the 'Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine' (EPBM  
Machine). Mathematical definition of deformations as a result of EPBM tunnel excavations  
are also introduced. Maximum settlements were estimated by means of mathematical and  
empirical definitions and results compared with the in-situ measurement results.*

## 1- GİRİŞ

Tünel tasarımları sırasında deformasyon büyüklüklerinin tahmini ve bunun dikkate alınma-  
sı önemlidir. Bu nedenle tünel inşaatı sırasında oluşabilecek deformasyon miktarları tünelin  
içerisinden geçirileceği zemin parametrelerine, tünel geometrilerine, güzergah üzerindeki  
olası yüklere ve kullanılacak tünel açma yöntemlerine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Bu  
belirlemeler sırasında dünya çapında değişik zemin koşullarında açılmış tünellerden edinilen

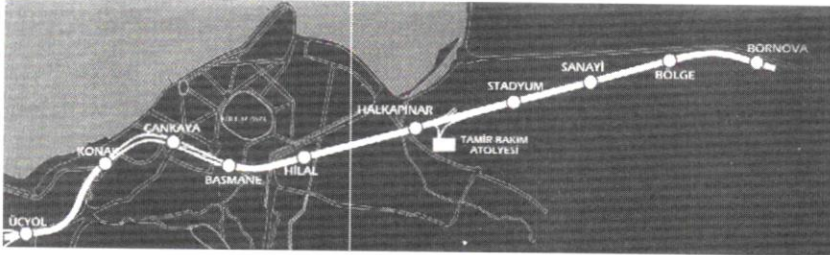
<sup>1</sup> Boğazici Üniversitesi, KRDAE, Jeodezi Bölümü., İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Yapı Merkezi İnş. San.AŞ., İstanbul, Türkiye

deneyimlere dayanarak ortaya konulmuş çeşitli ampirik ve matematiksel bağıntılar kullanılabilir.

Bu çalışmada İzmir Metrounun zemin koşulları ve dolayısıyla tünel açımı açısından en zor bölümünü oluşturan Konak-Basmane arasında EPBM ile tek hatlı iki ayrı tüp halinde inşa edilen bölüme ilişkin deformasyon ölçümleri ile teorik yaklaşımlara göre olması beklenebilecek deformasyonlar hesaplanarak karşılaştırılmaktadır.

İzmir Büyükşehir Belediyesinin bir projesi olan İzmir Metrosu Üçyol-Bornova 1. Aşama güzergahı toplam uzunluğu 50 km. olması planlanan ulaşım ağının 11.4 km. lik ilk bölümünü oluşturmaktadır. İzmir Metrosu 1. Aşama İnşaatı Yapı Merkezi-Adtranz-ABB konsorsiyumu tarafından tamamlanmıştır. Bu güzergaha ilişkin Üçyol-Konak arasındaki 1680 m NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu) ve Konak-Basmane arasındaki EPB Metodu ile inşa edilen 2750 m uzunluğundaki tüneller konsorsiyum alt grubu YAPTAG (Yapı Merkezi ve Wayss Und Freytag JV) tarafından tamamlanmıştır. Metro sistemi; bu bölümlerin haricinde 1100 m. aç-kapa tüneller, 2800 m. viyadük ve 360m. Uzunluğundaki hemzemin yapılardan oluşmaktadır. Güzergah boyunca Üçyol, Konak, Çankaya ve Basmane istasyonları yeraltında ve diğerleri yerüstünde olmak üzere toplam 10 istasyon inşa edilmiştir (Şekil 1).

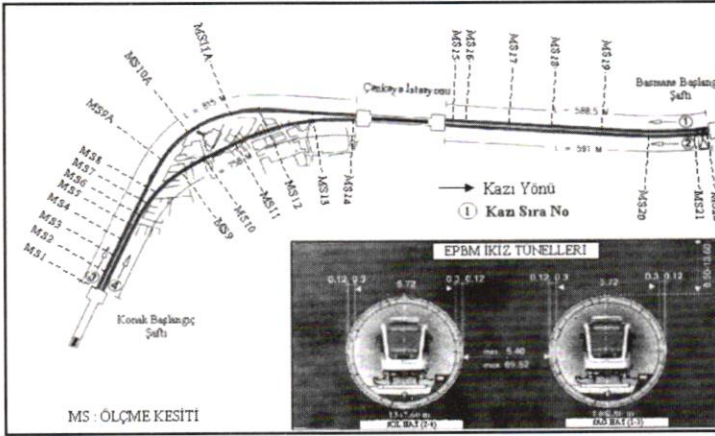


Sekil 1 İzmir Metro 1. Etap Güzergahı (Yapı Merkezi, 2000)

## 2. KONAK-BASMANE EPBM TÜNELLERİ

Burada güzergah Konak istasyonundan (km:1+950) itibaren Fevzi Paşa Caddesine değin büyük ölçüde denize yakın ve paralel olarak ilerleyip daha sonra sağ hat kemeraltı yönünde binaların altından devam ederek diğer hatla Çankaya istasyonu öncesinde tekrar paralel konuma gelmektedir. Fevzi Paşa Caddesi altında denize hemen hemen dik bir doğrultuda birbirine paralel olarak Basmane istasyonuna (km: 3+554) ulaşmaktadır.

EPBM tünelleri 4 parça halinde 5.72 m. iç çaplı prekast segmentlerle inşa edilmiş tüplerden oluşmaktadır. Tüneller EPBM Makinası ile 4 ayrı kazıyla Basmane Çankaya yönünde sağ tüpün kazılmasıyla başlatılmıştır. Bunu yine aynı istasyonlar arasındaki sol tüp izlemiştir. 3. kazı ise Konak-Çankaya istasyonları arasındaki sol tüp ve son kazılan tünel ise yine Konak-Çankaya arasındaki sağ tüp olmuştur. Zemin koşullarının olumsuz olması nedeniyle bu bölgedeki istasyon yapıları diyafram duvarlı aç-kapa olarak inşa edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2 Konak-Basmane EPBM Güzergahı ve Deformasyon Ölçme Kesitlerinin Yerleşim

<b>Tünelere ilişkin genel özellikler</b>	
Güzergah	Basmane, Çankaya, Konak istasyonları arası 4 tüp
Tünel uzunluğu	2752m (4 tüp toplamı)
İnşaat metodu	EPBM
Kazı Çapı	6.56 m (33.8 m <sup>2</sup> )
İç kaplama tipi	Tek aşamalı prekast segment
Min yarıçap	249.86
Max Eğim	4%
Tünel üstü örtü kalınlığı	8~13m
İnşaatın başl. Ve bitiş tarihi	28 Haz-97, 09 Ocak-99
Segment kalınlığı	30 cm
Segment uzunluğu	1.20 m
Ring iç çapı	5.72m (25.5m <sup>2</sup> )
Segment beton kalitesi	BS45
Segment imalat toleransı	1 mm den az
Ringteki segment sayısı	7 parça+kilit parçası
Max. Kazı ilerlemesi	25 ring/gün (30m/gün)

Tablo 1 EPBM Tünelleri ve Segment Ringler Hakkında Çeşitli Bilgiler

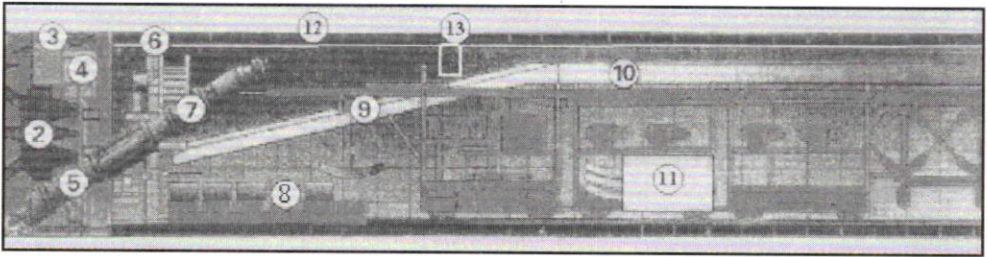
### 3. EPBM MAKİNASI ve TÜNEL İNŞA SİSTEMİ

EPBM Makinası Herrenknecht GmbH tarafından imal edilmiş 6.56 m. Kazı çapına sahip şild bitimine kadar 9.00m. uzunluğu olan ve arkasında sistemin gereksinimi olacak elektrik ve güç bölümleri, enjeksiyon sistemi ve diğer servis bölümlerinin yanısıra tüm uygulamaların kontrol altında tutularak yönlendirmelerin gerçekleştirilebileceği kontrol kabinini de içerisinde barındıran toplam 5 adet tekerlekli araçtan oluşmaktadır. Şekil.3 üzerinde de görüleceği gibi sild önünde yumuşak zeminler için kullanılacak bir kazıcı kafa bunun arkasında kazılan malzemeyi nakletmek için kullanılan burgu konveyör ve uzantısında ise tüm tünel birimlerinin sonuna kadar uzanan bir lastik taşıma bandı yerleşmiştir. Kazıcı kafa ile sildin ön bölümünde 28 adet itme pistonları ile yine sildin ön bölümünde içeriye nakledilen segment parçalarının yerleştirilmesini sağlayan erektör bulunmaktadır.

Kazıcı kafa aracılığıyla kazı haznesine alınan malzeme burada gerekli kıvama getirildikten sonra kurgu konveyör aracılığıyla bant üzerine aktarılmakta ve buradan da vagonlara dökülmektedir. Kazı sırasında çıkartılan malzemenin dışarıya taşınması ve dışarıdan segment ve enjeksiyon malzemesinin taşınması için lokomotif eşliğinde araç dizileri kullanılmıştır.

Bu işlemler sırasında kazı bölümündeki basınç, kontrol kabinindeki sistemden sürekli izlenerek önceden planlanan basınç düzeyinin korunması amaçlanmaktadır. Basınç düzeyinin kontrolü zemin oturmalarının önlenmesi için çok önem taşımaktadır. Bir segment ringinin yerleştirilebilmesi için gerekli en az 1.20 m. lik ilerleme sağlanınca kazı işlemi durdurularak 28 piston aracılığıyla emniyete alınan bölümde erektör yardımıyla en alttan başlanarak son olarak da en üstte kilit parçasının montajıyla 7 parçalık bir ringin yerleştirme işlemi tamamlanmaktadır. Prekast ringler BS 45 beton kalitesinde 30 cm kalınlığında olup su geçirimsizliği için aralarında contalar kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra segment dış yüzeyi ile kazı yüzeyi arasındaki yaklaşık 12 cm lik boşluk bentonitli enjeksiyon ile doldurularak hem geçirimsizlik sağlanması hem de zemin oturmalarının önlenmesi için önlem alınmıştır.

Makinanın yeraltında tasarlanan proje güzergahında seyahatinin sağlanması için VMT firması tarafından hazırlanmış ACS II Yönlendirme sistemi kullanılmıştır. Tünel tavanına tesis



Sekil 3 EPB Makinası

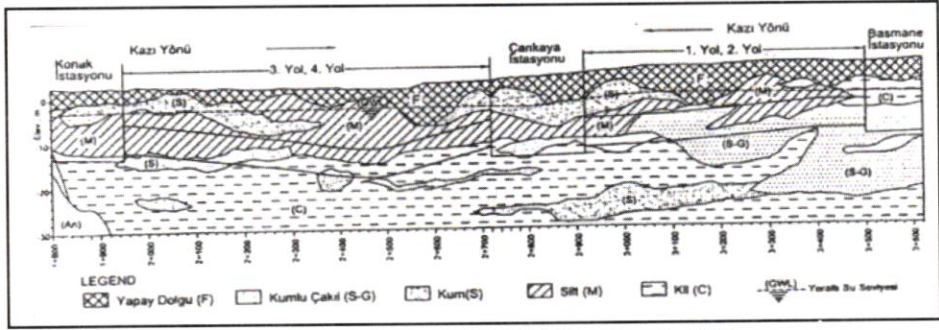
- |                                     |                         |                      |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1-Kazıcı Kafa                       | 2-İtme Ünitesi          | 3-Piston             |
| 4-Basınç Ünitesi                    | 5-Burgu Konveyör        | 6-Ring Montaj Kolu   |
| 7-Burgu Konveyör Kabı               | 8-Segment Besl. Ünitesi | 9-Segment Vinci      |
| 10-Çamur Nakil Bandı                | 11-Kontrol Kabini       | 12-Segment İç Yüzeyi |
| 13-Epbm Yönlendirme Laser İstasyonu |                         |                      |

edilen poligon çerçevelerine yerleştirilmiş laserli Leica TC 1100 Teodoliti ve yardımcı elektronik donanımı ile buna bağlı kontrol kabini içinde bulunan yazılım ve PC aracılığıyla otomatik olarak her 3 veya 5 saniyede bir konum belirlemek için gerekli açıların ve mesafelerin tünel poligon sistemine bağlı olarak ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. ACS-II yönlendirme sistemi temel Geodezik ölçümlerle sürekli desteklenerek olası hataların önüne geçilmiştir.

#### 4- KONAK –BASMANE GÜZERGAHININ ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Güzergahın zemini konsolide olmamış çok yumuşak alüvyoner dolgulardan oluşmaktadır. Zeminin Jeolojik bileşenleri genellikle silt, killi silt tabakaları ile kumlu ve kum-çakıl karışımı tabakalanmalardan oluşmaktadır (Şekil 4).

Güzergah Konak istasyonundan itibaren denize çok yakın seyrederek 6 m. ile 13 m. arasında değişen ince bir tünel üstü zemin örtüsüyle Basmane'ye kadar ulaşmaktadır. Güzergah boyunca yeraltı suyu seviyesi ise çok yüksek olup -1 m. ile -6 m. arasında değişmektedir.



Şekil 4. EPBM Güzergahı Jeolojisi (Arioğlu vd., 2002)

Tünel tasarımı için kullanılan zemin parametreleri geoteknik rapordan alınmıştır. Aynı şekilde Geoteknik raporda belirlenmiş parametreler deformasyonların belirlenmesi için de kullanılmışlardır (Sağlamer vd., 1996).

Km 1 + 950 ÷ km 2 + 710

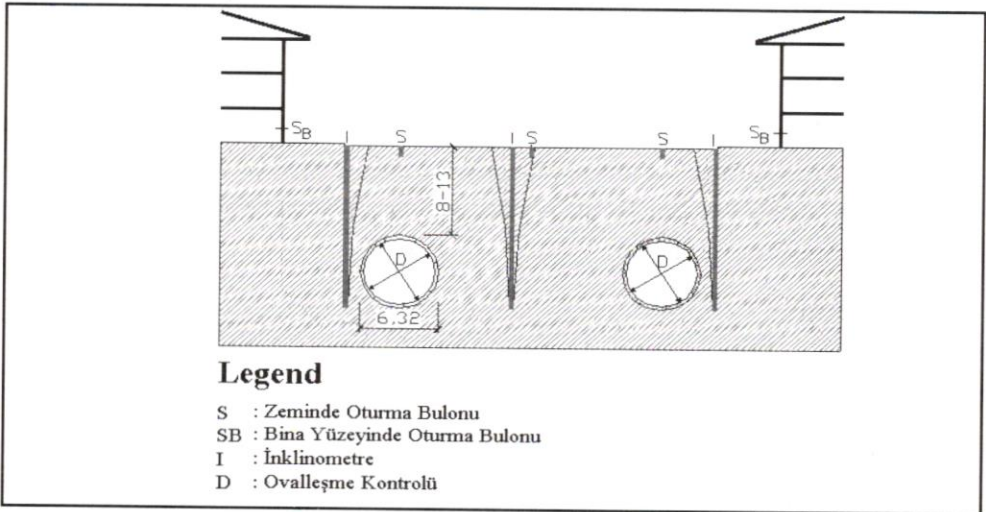
Zemin Cinsi	$\gamma$ [kN / m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	Cu [kN / m <sup>2</sup> ]	ES [Mpa]
M(silt-kil)	17	0	25	5
C(kil)	21	0	60	9
S(kum)	21	0	0	50

Km 2 + 910 ÷ km 3 + 500

Zemin Cinsi	$\gamma$ [kN / m <sup>3</sup> ]	$\alpha$ [°]	$C_u$ [kN / m <sup>2</sup> ]	ES [Mpa]
M(silt-kil)	17	0	30	8
C(kil)	21	0	80	12
S(kum)	21	0	0	70

## 5. EPBM TÜNEL KAZILARI SIRASINDA UYGULANAN DEFORMASYON ÖLÇÜMLERİ

EPBM tünelleri için öngörülen ölçüm yöntemleri tünel güzergahı boyunca zeminde düşey ve yanal doğrultuda binalarda ise sadece düşey doğrultuda olabilecek hareketleri belirlemeye yönelik ölçüm yöntemleri yanısıra bazı kritik binalarda çatlak izleme ve bir adet minare ile Saat Kulesinde de doğrultu gözlenmesi yöntemleri olmuştur. Binalarda ve zeminde çökmeleri belirlemek için oturma bulonları tesis edilerek izlenmiştir. Zemindeki yanal hareketleri belirlemek için ise inklinometre cihazları yerleştirilmiştir. Ölçüm noktalarının yerleşimleri ve kullanılacak ölçüm metodları zemin ve uygulama olanaklarına bağlı olarak belirlenmiştir. Ölçüm sıklığı ise tünel inşaatının hızı ve ölçüm kesitinden uzaklığına bağlı olarak belirlenmiştir.



Şekil 5 Deformasyon Ölçüm Noktalarının Yerleşimi (Ünlütepe vd., 2001a,b)

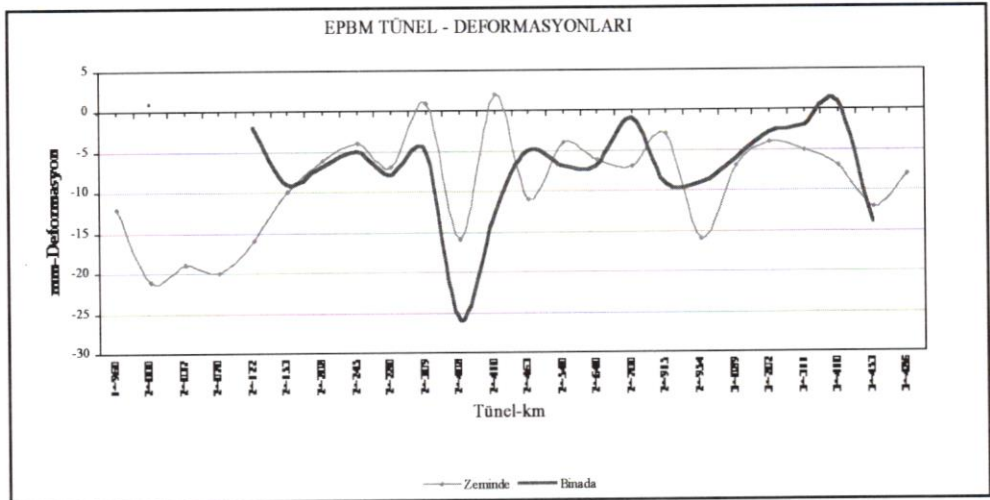
Yüzey ve Bina Oturmaları: Toplam 427 oturma bulonundan 112 adedi zeminde geri kalan 315 adedi de güzergah üzeri ve civarındaki bina köşelerinde tesis edilerek Zeiss Ni2 nivo, hassas okuma aparatı ve invar mira kullanılarak hassas nivelman metoduyla ölçümlenmiştir. Ölçümler tünel kazımı nedeniyle olası tüm düşey zemin hareketlerini zamanında belirleyebilecek sıklıkta gerçekleştirilmiştir. Ölçmeler sonucunda çok küçük zemin hareketleri belirlenmiş ve en büyük ölçümlenen değer 26 mm. ile km: 2+408 deki oturma olmuştur. Diğer tüm maksimum deformasyon değerleri Tablo 2 de görülmektedir.

Zemindeki Yanal Hareketler: Güzergah boyunca tünel açımından kaynaklanan yanal hareketleri belirlemek için Sinco 50310900 model inklinometrelerden belirlenen kritik noktalarda 7 adet yerleştirilmiştir. Bu cihazlarla toplam 60 ölçüm alınarak en fazla 32 mm lik yanal yer değişikliği km 2+540 da tesbit edilmiştir. Bu ölçümlere ilişkin sonuçlar da yine Tablo 2. de görülmektedir.

Tünel içinde Segment iç yüzeylerinde olası şekil değişiklikleri ölçümlenmiş ve herhangi bir anlamlı şekil değişikliği belirlenmemiştir.

Güzergah boyunca toplam 25 ölçme kesitinde yapılan deformasyon ölçümlere göre aşağıdaki özet bilgiler verilebilir:

Oturma bulonu tesisi	: 427 (Bina: 112 Zemin: 315)
Inklinometre tesisi	: 7
Çatlak ölçer	: 5
Toplam ölçme sayısı	: 5263
Max. oturma (mm)	: 26
Max. inklinometre ölçümü(mm)	: 32
Ortalama oturma(mm)	: 2.25



Şekil 6 EPBM Tüneli İçin Ölçülen Deformasyonların Grafik Gösterimi

Ölçüm Kesiti No	KM	Örtü Kalınlığı (m)	Nokta Sayısı			Ölçüm Sayısı			Ölçülen Max. Deformasyon (mm)			İlk kazı Sonra Def
			Zem.	Bina	Inc.	Zem.	Bina	Inc.	Zem.	Bina	Inc.	
MS-S1	1+960	8.434	3	-	-	42	-	-	-12	-	-	-8
MS-S2	2+000	8.599	2	2	-	28	28	-	-21	1	-	-10
MS-S3	2+037	8.796	3	3	-	42	50	-	-19	-	-	-9
MS-S4	2+070	8.971	2	2	-	28	28	-	-20	-	-	-9
MS-S5	2+122	9.294	3	5	-	42	56	-	-16	-2	-	-5
MS-S6	2+153	9.873	3	15	1	37	104	3	-10	-9	1,8	-9
MS-S7	2+208	10.261	4	6	1	41	41	3	-6	-7	1,25	-5
MS-S8	2+245	10.651	3	13	1	27	110	3	-4	-5	1,22	
MS-S9/A	2+280	10.845	3	11	-	45	68	-	-7	-8	-	
MS-S9/A	2+309	11.806	22	16	-	122	144	-	1	-5	-	-6
MS-S10/A	2+408	11.833	7	7	1	44	107	9	-16	-26	16	
MS-S10	2+410	11.939	8	25	-	21	196	-	2	-13	-	
MS-S11	2+463	12.071	6	38	1	45	240	9	-11	-5	16	
MS-S12	2+540	11.272	6	36	1	45	225	10	-4	-7	-32	
MS-S13	2+640	9.542	5	16	-	42	144	-	-6	-7	-	-2
MS-S14	2+700	9.851	3	9	-	33	118	-	-7	-1	-	-7
MS-S15	2+915	10.233	3	5	-	63	73	-	-3	-9	-	-3
MS-S16	2+954	10.806	3	24	-	61	333	-	-16	-9	-	-12
MS-S17	3+089	10.786	3	27	-	42	203	-	-7	-6	-	-4
MS-S18	3+202	10.136	3	24	-	88	423	-	-4	-3	-	-4
MS-S19	3+311	9.637	3	20	-	62	410	-	-5	-2	-	-5
MS-S20	3+410	9.243	5	1	-	200	21	-	-7	1	-	-8
MS-S21	3+453	8.948	4	10	1	180	430	23	-12	-14	-6,8	-12
MS-S22	3+486	8.904	5	-	-	225	-	-	-8	-	-	-8
		<b>TOTAL</b>	<b>112</b>	<b>315</b>	<b>7</b>	<b>1651</b>	<b>3552</b>	<b>60</b>				

Tablo 2 . EPBM Tünelleri Deformasyon Ölçüm Sonuçları



## 6. EPBM TÜNELLERİNDE OLASI YÜZEY DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİ

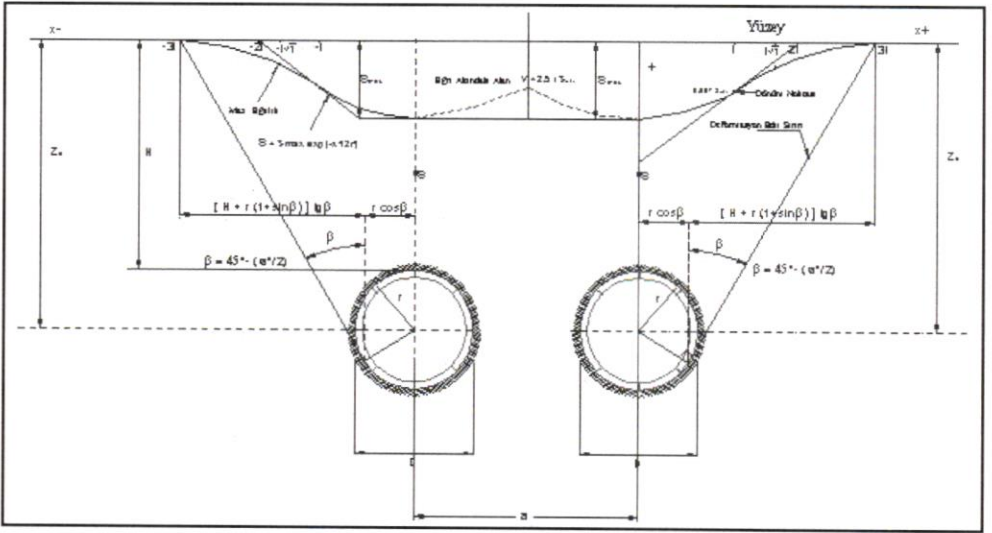
Şhildli tünelcilikte zemin oturmaları genellikle kazı nedeniyle yeraltında oluşturulan boşluğun kapanması eğilimi ile diğer nedenler sonucu oluşurlar ve iki gruba ayrılabilirler (Jancsecz 1995).

Bunlardan 1. grup basınç kaybı nedeniyle oluşan aynadaki deformasyonlardır ve bunlar tünel ilerleyişi doğrultusunda etki yaratırlar. Diğer grup ise radyal deformasyonlara sebep olabilecek kazı şhildinin konikleşmesi, enjeksiyonun sebep olduğu deformasyonlar ve zemin sıkışması, ile şhildin güzergahtan sapması sayılabilir.

Tünel kazımı nedeniyle oluşan zemin hareketleri belirli sıklıkta kazı güzergahı üstünde ve civarında yada tünel içerisinde tesis edilen noktaların ölçümlenmesiyle belirlenir. Bununla birlikte tünel inşaatlarına ilişkin tasarımların yapılması tünelin içerisinde geçireceği zeminin deforme olabilirliği hakkında yeterli bilgi olmasını gerektirir.

Deformasyonlar ampirik, analitik, deneysel yada bu yolların karışımından oluşan bir yaklaşımla tahmin edilebilir. Yüzey deformasyonları tünel deformasyonlarının tahmin edilmesi için belirlenmeye çalışılan en önemli deformasyon bileşenidir. Yüzey deformasyonları tünel civarında oluşur ve bu alana deformasyon alanı denir. Tünel açılması nedeniyle oluşan deformasyon, deformasyon etki alanı içerisinde bazı parametrelere bağlı olarak tünel çevresini etkiler. Bu deformasyon hareketi tünel üzerinde ve civarında gösterdiği hareketler itibarıyla bir eğri halinde tanımlanabileceği gibi bu eğrinin hesaplanabilmesi için çeşitli matematik bağıntılar da belirlenmiştir. İzmir EPBM tünellerinde olabilecek yüzey hareketlerinin kestirimi için bu matematik bağıntılardan ve EPBM tünel uygulamalarından elde edilmiş ampirik yaklaşımlardan yararlanılmıştır.

İzmir EPBM tünellerinin inşası nedeniyle oluşan yüzey oturmalarının tesbit edilmesi için aşağıda kullanılan matematiksel yaklaşımlar Arıoğlu vd.1992, Arıoğlu vd.1993, Arıoğlu vd.2001 yayımlarından yararlanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7 EPBM Tünellerinde Oturma Eğrisi

Yeraltında tünel açımı nedeniyle oluşan zemin oturmalarını tanımlayan eğrinin ilk analitik tanımı Martos,1958 tarafından yapılmıştır. Eğer  $S_{max}$  tünel merkezinde oluşacak maksimum deformasyon olarak kabul edilirse oturma eğrisi 'S'şağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$S = S_{max} \exp(-x^2 / 2i^2) \quad (6.1)$$

Dönüm noktası 'i'nin hesaplanması için kullanılacak (6.2) bağıntısı Yapı Merkezi,1992 tarafından belirlenmiştir:

$$2i/D = 1.392(Z_0 / D) 0.704 \quad (6.2) \quad \text{Yapı Merkezi,1992}$$

$$i = 0,43Z_0 + 1,1 \quad (6.3) \quad \text{O'Reilly \& New (1992) (Kohesif zeminler için)}$$

$$i = 0.5 Z_0 \quad (6.4) \quad \text{Leca (1989); Mair and Taylor (1997); Mair (1998) (Şist, kil gibi kohesif zeminler için)}$$

$$\text{Deformasyon etki alanı genişliği } Le = 6i \quad (6.5)$$

Yatay yer değiştirme düşey ve yatay hareketlerin fonksiyonel ilişkisiyle aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$V_{max} \approx 0.607 (i/Z_0) S_{max} \quad (6.6)$$

Stabilite sayısı 'N' ile hacimsel kayıp yüzdesi 'Vk' arasında çıkarılan regresyon bağıntısından yola çıkarak maximum yüzey oturması hesaplanabilmektedir.

$$S_{max} \approx V_c / 2,5 * i \quad (6.7)$$

$$V_k = 0,343 * N_{1,81} \quad (6.7a)$$

$$V_{\check{c}} = V_k * V_t \quad (6.7b)$$

$$V_t = (3,14 * D^2) / 4 \quad (6.7c)$$

Stabilite sayısı 'N' Brooms and Bennermark, 1967, Arıoğlu 1993, Mair 1998 tarafından belirlenerek aşağıda gösterilmektedir.

$$N = (P_e + \_ * Z_o - P_{face}) / C_u \quad (6.7d)$$

Killi zeminlerde şild ynlemi ile açılacak tünellerde  $S_{max}$  değerinin bulunması için (6.8) yaklaşımı Schmidt, 1969 tarafından belirlenmiştir. Burada 'K' zemin kayıp yüzdesi olup regresyon analizinde 30 adet şildli tünel verisi incelenerek Yapı Merkezi, 1991 tarafından belirlenmiştir.

$$S_{max} \approx 0,0125 * K * (R_2 / i) \quad (6.8)$$

$$K = 0,87 * \exp(0,26 * N) \quad (6.8a)$$

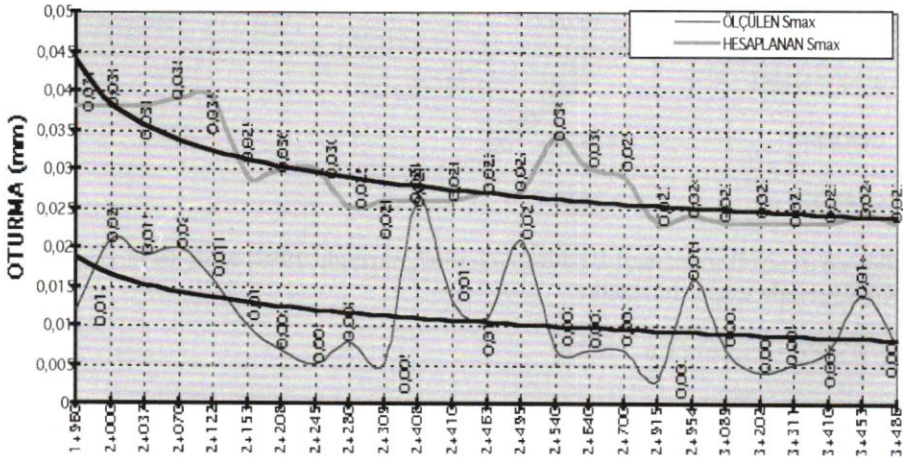
Yüzey oturma eğrisinin altında kalan alan formülünden yola çıkarak gerekli nümerik sadeleştirmeler sonucunda (6.9) yaklaşımı Arıoğlu vd, 1992 tarafından belirlenmiştir.

$$S_{max} \approx 0,950 * N * (D_2 / \_ * i) \quad (6.9)$$

Dönüm noktası (i) nin hesabı için (6.2), (6.3), (6.4) eşitlikleri kullanılmıştır. Bu eşitliklerden bulunan sonuçların ortalaması sonraki maximum oturmaların hesaplanması için kullanılmıştır. (6.7), (6.8) ve (6.9) numaralı eşitlikler aracılığıyla bulunan sonuçların ortalaması alınarak maximum oturma değeri olarak kabul edilmiştir. Hesaplamaların sonuçları Tablo 3 de görülmektedir.

Elde edilen olası maximum oturma değerleri ve yanal kaymalar bu alanda kazı sırasında zeminde ölçümlenen maximum değerlerle Şekil 8 de karşılaştırılmaktadır. Grafik, zemin ve matematik tanımlarda kullanılan kısaltmalar Şöyle gösterilebilir:

$S_{max}$	= Maximum oturma	$\dot{I}$	= Dönüm noktası
R	= ap	N	= Stabilite sayısı
$P_e$	= İlave basınç (Zem.+bina+tra) alınmıştır)	$P_{face}$	= Ayna basıncı (EPBM kayıtlarından)
$\_$	= Zemin yoğunluğu	$C_u$	= Kohezyon
$Z_o$	= Aks derinliği ((D/2)+H) $\_$	$\_$	= Kil için katsayı
D	= Tünel kazı apı	$V_{max}$	= Zemin yüzeyinde yanal yerdeğiştirme



Şekil 8 : Ölçülen ve Hesaplanan Smax. Değerlerinin Karşılaştırılması

### EPBM TÜNELLERİ İÇİN HESAPLANAN ve ÖLÇÜLEN DEFORMASYON BÜYÜKLÜKLERİ

Kesit.No	Km	Zo (m)			i (m) average	Hes. Def. Alan Gen.(m) 6i or (6i+a)	Ölç. Alan Geniş (m)	Hesapla Ort Smax (m)	Ölçülen Smax (m)	Hesapla Vmax (m)	Ölçülen max Inclinometre (m)
		Sol	Average	Sag							
MS-S1	1+960	11,55	11,42	11,28	6,153	39,796	47	0,038	0,012	0,012	
MS-S2	2+000	11,92	11,89	11,85	6,364	40,210	52	0,038	0,021	0,012	
MS-S3	2+037	12,12	12,17	12,21	6,489	41,086	43	0,038	0,019	0,012	
MS-S4	2+070	12,54	12,69	12,83	6,720	41,960	74	0,039	0,02	0,012	
MS-S5	2+122	12,87	13,05	13,23	6,882	43,488	59	0,039	0,016	0,013	
MS-S6	2+153	13,43	13,67	13,91	7,156	45,996	31	0,029	0,01	0,009	0,002
MS-S7	2+208	13,66	13,98	14,29	7,291	56,300	85	0,030	0,007	0,009	0,001
MS-S8	2+245	13,86	14,25	14,63	7,410	68,010	47	0,030	0,005	0,009	0,001
MS-S9/A	2+280	13,88			7,249	43,494	38	0,025	0,008	0,008	
MS-S9	2+309			14,95	7,719	46,315	88	0,026	0,005	0,008	
MS-S10/A	2+408	15,20			7,829	46,971	32	0,026	0,026	0,008	
MS-S10	2+410			16,15	8,243	49,458	38	0,026	0,013	0,008	
MS-S11	2+463			16,53	8,408	50,449	38	0,027	0,011	0,008	
MS-S11/A	2+495	16,78			8,517	51,100	48	0,027	0,021	0,008	0,016
MS-S12	2+540	15,43	15,75	16,07	8,069	81,286	76	0,034	0,007	0,011	0,016
MS-S13	2+640	14,50	14,27	14,04	7,421	51,808	52	0,030	0,007	0,009	0,032
MS-S14	2+700	13,42	13,02	12,62	6,869	44,406	40	0,029	0,007	0,009	
MS-S15	2+915	13,56	13,53	13,49	7,092	42,554	44	0,023	0,003	0,007	
MS-S16	2+954	13,80	13,82	13,84	7,223	43,335	77	0,024	0,016	0,007	
MS-S17	3+089	13,92	13,62	13,31	7,132	42,792	41	0,023	0,007	0,007	
MS-S18	3+202	13,09	13,09	13,09	6,900	41,399	48	0,023	0,004	0,007	
MS-S19	3+311	12,90	12,83	12,76	6,784	40,707	48	0,023	0,005	0,007	
MS-S20	3+410	12,46	12,33	12,20	6,562	39,373	70	0,023	0,007	0,007	
MS-S21	3+453	12,20	12,13	12,05	6,471	38,824	60	0,024	0,014	0,008	0,007
MS-S22	3+486	12,11	12,02	11,93	6,424	38,543	37	0,023	0,008	0,007	

Tablo 3 Hesapla Bulunan Deformasyon Sonuçları

### 5.3. SONUÇLAR

EPBM güzergahı boyunca kazı sırasında yatay ve düşey yer değiştirmeler ölçüm sıklığı programına uygun olarak izlenmiş ve çok küçük miktarlarda deformasyonlar tesbit edilmiştir. Uygulama sırasında maksimum 26 mm lik bir oturma tesbit edilmiş ve bu değer de tahmin edilen limitler dahilinde bulunmaktadır.

Genellikle hesaplarla bulunan olası deformasyonlar ölçülen maximum deformasyonlardan daha büyük bulunmuştur. Bununla beraber hesaplanan ve ölçülen maximum deformasyon değerleri arasında lineer bir korelasyon olduğu gözlenilmektedir. Hesaplanan ve ölçülen değerlerin farklı olmasının nedenleri şöyle özetlenebilir:

- Tüneller hiçbir hasara meydan vermeksizin inşa edilmek üzere tasarlanırlar. Bunun için olası en kötü koşulların gözönüne alınıyor olması.
- Deformasyonların kazı sırasında gözlemlenerek uygulama koşullarının buna göre geliştirilmesi
- EPB Makinasındaki denge basıncının çok iyi kullanılmış olması ve bunun yanısıra EPB Makinasının sahip olduğu teknik avantajlar sayesinde insan gücünden kaynaklanabilecek gecikme ve hataların önüne geçilmiş olması daha fazla zemin kaybının önlenmiş olması.
- EPBM enjeksiyon (12cm) uygulamalarının yapılması için denge basıncının iyi ayarlanmış olması
- Oturma bulonu tesislerinin çoğunlukla tünel aksında tesis edilmemiş olması gerçekte oluşan oturmaların maximum değerinin ölçülememiş olması.
- Gerçekte zemin oturmalarının şantiye koşullarına ve uygulayıcı kararlarına bağlı olarak değişebilmesi
- Geoteknik zemin parametrelerin en kötü zemin koşuluna göre belirlenmiş olması
- Zemin tabakalanmasının çok karmaşık ve homojen bir yerleşim içinde olmaması
- Zemin yapılarındaki değişiklik sınırlarının tam olarak bilinmiyor olması

Sonuç olarak deformasyon tahmin için yapılan hesaplama sonuçlarının ölçülenlerle belli farklar içermesine rağmen tünel uygulamaları için güvenli sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Bununla birlikte EPBM tünelciliğine ilişkin dünya çapındaki son uygulamaların ve bu konudaki sürekli değişen teknolojinin ampirik değerlerin güncellenmesi ve bu doğrultuda daha iyi sonuçlar alınması konusunda yardımcı olacağı dikkate alınmalıdır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yapılmasında gördükleri yakın ilgi ve desteklerinden dolayı Yapı Merkezi Holding A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Emre AYKAR'a, Yapı Merkezi Yönetim Kurulu Murahhas Üyesi Sn. Başar Arıoğlu'na ve diğer tüm emeği geçenlere teşekkür etmeyi borç bilirler.

## KAYNAKLAR

- 1-Arıoğlu, E., 'Sığ ve Orta Derinlikte Açılan Tünellerde Tasman Büyüklüklerinin Belirlenmesi' Kasım, 1991
- 2-Arıoğlu, E., 'Şehir Güzergahlarında Tünel Faaliyetlerinden Dolayı Yerüstü Hareketleri ve Binalarda Oluşacak Hasarların en Aza İndirilmesi' Meslek İçi Eğitim Semineri Notları, İTÜ, 1992
- 3-Arıoğlu, E., B. Arıoğlu, E Arıoğlu, O. Odbay, 'Sığ ve Orta Derin Yeraltı Yapılarının Açılmasından Kaynaklanan Yüzey Tasmanına Ait Parametrelerinin Kestirimi', Zemin Mek. Ve Temel Müh. Kongresi, Ekim, 1992, İstanbul
- 4-Arıoğlu, E., B. Arıoğlu, E Arıoğlu, O. Odbay, 'Determination of Parameters of Surface Subsidence's Caused by Tunnel Construction By means of Semi- Analytical Approaches' Türkiye XIII Madencilik Kongresi 1993
- 5-Arıoğlu, B., A. Yüksel, E. Arıoğlu, 'Excavation Parameters and Evaluations of N. Hatun Tunnel', The 5th National Rock Mec. Symposium, 2000, Isparta, Turkey.
- 6-Arıoğlu, E., O. Yılmaz, 'Pratik Madencilik Problemleri'. TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, Eylül 2001, Ankara
- 7-Arıoğlu, B., A. Yüksel, E. Arıoğlu, 'İzmir Metrosu Ümmühan Ana Tünelinde Zemin Basıncı Dengeleme Tünel Metodu (EPBM)', Zemin Mek. Ve Temel Müh.9.Ulusal Kongresi, Ekim, 2002, Eskişehir
- 8-İzmir Greater City Municipality, 'LRTS İzmir EPBM Tunnel Section, Method Statement and Technical Specifications', 1997
- 9-Jancsecz, S., 'Basic Principles for Settlement Prediction and Damage Assesment', Wayss und Freytag AG., Oct, 1995
- 10-MJKM, IZRAY "Fahrettin Altay- Basmane Güzergahının (1. Aşama) Mühendislik Jeolojisi Cilt 1, II, Eylül 93, İstanbul.
- 11-Sağlam, A., Ö. Yeşilçimen, 'İzmir Hafif Raylı Sistemi Geoteknik Veri Raporu' Cilt 1-2, Rapor no:9210-TR-J058, Kasım, 1996 Yapı Merkezi.

- 12-Tuchscher W, T. Böhme, "İzmir LRTS Tubbing Tunnel Calculation Design Criteria,Wayss and Freytag A.G March 1997, Int. Symposium on Tunneling in soft Ground and Water Bearing Grounds, 1984, Lyon
- 13-Ünlütepe, A., H. Özener, O. Gürkan 'Monitoring and Analyzing the Geotechnical Measurements at İzmir LRT System Tunnels'Turkish- German Joint Geodetic Days, April, 2001-a, BTU, Berlin
- 14-Ünlütepe, A., H. Özener, O. Gürkan, " Guiding System Applied to Konak- Basmane EPBM Tunnels in İzmir""Turkish- German Joint Geodetic Days, April, 2001-b, BTU, Berlin
- 15-Ünlütepe, A., 'Monitoring Vertical and Horizontal Displacements During the Construction of İzmir LRTS NATM and EPBM Tunnels' Ph.D.. Thesis, Bogaziçi University, Şubat 2002, İstanbul.
- 16-Yapı Merkezi, 'İzmir Metro System', Announcement for the Completion of Ummuhan Ana EPBM Twin Tunnel', Dec,1998
- 17- Yapı Merkezi, 'İzmir Metrosu Konak-Basmane Tünelleri 1997-1999 yılları Saha Ölçüm Kayıtları', 1999, İzmir.
- 18-Yapı Merkezi, 'İzmir Metrosu', 2000
- 19-www.yapi-merkezi.com.tr