

İSTANBUL METROSU'NDA ENKESİT ÖLÇMELERİ

Emirhan ALGÜL
Mehmet AYYILDIZ
Reha Metin ALKAN

ÖZET

Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan metrolar, ülkemizde de gündeme gelmiştir. Özellikle İstanbul metropolünde trafik sorununun çözümündeki en etkili yollardan birisi olarak görülmektedir.

Bu bildiride halen çalışmaları devam etmekte olan İstanbul Metrosu'nun Taksim-4. Levent bölgesindeki jeodezik çalışmalara kısaca değinildikten sonra, enkesit ölçmelerinde kullanılan modern bir donanım tanıtılmış ve enkesit ölçme-değerlendirme çalışmaları incelenmiştir.

1- GİRİŞ

Ulaşım, sulama, maden işletmesi vb. gibi amaçlar için açılmış geçitlere "tünel" denir. İlk tünellere yaklaşık 4000 yıl önce Babil'de ve daha sonra da Roma'lılarda rastlanmaktadır.

Ulaşım amaçlı ilk tünel 17. yüzyılda Fransa'da, ilk önemli demir yolu tünelinin yapımına Londra'da 1860 yılında başlandı ve 6 km. uzunluğundaki bu metro hattı 1863'de işletmeye açıldı. Yeni hatlarla genişletilen Londra Metrosu, bugün 408 km. uzunluğundadır.

İngiltere'den sonra Avrupadaki 2. metro 1896'da Budapeşte'de açıldı. Moskova Metrosu 123 istasyonu ve 197 km. uzunluğu ile dünyanın ünlü metroları arasında yer almaktadır.

1904 yılında açılan New York metrosu, her yıl 1.5 milyardan fazla yolcu taşıyan 23 hattı ve 220.5 km. si yeraltında, 150.6 km.si yerüstünde olmak üzere toplam 371 km. uzunluğu ve 456 istasyonu ile dünyanın en yoğun metrosudur. Ulaşım amaçlı Manş tüneli ve sulama amaçlı GAP tünelleri 1994 yılında hizmete girmiştir. İstanbul trafiğinin bir bölümünü rahatlatacak olan Metro tünellerinin yapımı ise devam etmektedir.

Son çeyrek yüzyılda tünellere duyulan ihtiyacın hızla artması ve kısa sürede bitirilme arzusu, tünel açma tekniklerinin, ölçme yöntem ve donanımlarının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Bu bildiride; İstanbul Metro projesi ve bu projedeki ölçme işleri kısaca tanıtıldıktan sonra, ülkemizde ilk kez kullanılan A.M.T. Profiler-3000 donatımı ile yapılan enkesit ölçmeleri ve değerlendirilmesi açıklanacaktır.

2- İSTANBUL METRO PROJESİ

Büyük kentlerin ulaşım sorununda en etkili çözüm metrodur. Ucuz ve çabuk ulaşım olanağı sağlayan metronun diğer raylı sistemlerle birlikte İstanbul içindeki trafik sıkışıklığına en etkili çözümü sağlayacağı, kuşkusuzdur.

İstanbul metrosu için 1908'den başlanarak 1953, 1960, 1968, 1972 ve 1973 yıllarında etüd ve projeler yaptırılmış, ancak hiçbiri gerçekleşmemiştir. Son etüd ve proje çalışması "Boğaz Demiryolu Tüneli ve İstanbul Metro Sistemi Fizibilite Etüdleri ve Avan Projeleri" adı ile 1985 yılında başlanmış ve 1988'de bitirilmiştir.

Bu projenin başlangıç aşaması olarak, 4. Levent-Topkapı arasında 16890 m. uzunluğunda İstanbul Metrosu'nun yapımı öngörülmüştür. Ancak, bazı sakıncalar nedeni ile 1. Aşama olarak Taksim-4. Levent güzergahı, Taksim-Şişli (3862 m.) ve Şişli-4. Levent (3654 m.) olarak ikiye bölünerek 03.07.1992 tarihinde ayrı ayrı ihale edilmiş ve 11.09.1992'de inşaatına başlanmıştır. Tünel kazılarını yapabilmek için, Taksim, Dolapdere, Gayrettepe'de yatay yaklaşım galerileri ve Şişli, Mecidiyeköy ve Zincirlikuyu'da shaft (kuyu) ile tünel güzergahına ulaşılmıştır (Ek 1).

Metro tünellerinde 6 değişik tipte kesit vardır. Bunların özellikleri şöyle sıralanabilir:

Kesit Tipi	Alanı (m ²)	Kullanıldığı Yer	Uzunluğu (m.)
A	36	Ana hat tünelleri	10176
P	64	Yakın indirme-bindirme peronları (istasyon)	1096
T	100	Makas bölgeleri	654
B ₁	42	Geçit tünelleri	360
B ₂	22	Emniyet giriş-çıkış tünelleri	327
B ₃	44	Merdiven tünelleri	320
Toplam			12993

Taksim, Osmanbey, Şişli, Gayrettepe, Levent ve 4. Levent bölgelerinde inşa edilmekte olan 6 istasyonla birlikte 1. kısım inşaatı 11.04.1995 tarihinde bitirilecektir.

3- İSTANBUL METROSUNDA ÖLÇME İŞLERİ

İstanbul metro projesinin 1.Aşama, 2. kısım bölgesinde jeodezik çalışmalara dayanak oluşturmak amacı ile, yüzeyde 7 ana ve 29 dizi nirengi noktasından oluşan bir ağ kurulmuştur. Bu jeodezik ağın ölçmeleri presizyonlu biçimde yapılmış ve ülke sistemine bağlanmıştır.

Tünellerde yapılacak aplikasyon, enkesit ve deplasman ölçmeleri için ihtiyaç duyulan yatay-düşey kontrol noktalarının konumlandırılması, uygun girişlerde poligon dizileri, düşey girişlerde kuyu çekülleme yöntemleri ile yapılmıştır.

Projeden beklenen yüksek doğruluk nedeni ile, jeodezik ölçmelerde kontrol ve kalibrasyonu yapılmış Elektronik Nivo, Elektronik Teodolit, Total Station, Elektronik Kesit Donatımı vb. gibi modern aletler kullanılmaktadır.

Her türlü jeodezik ölçünün değerlendirilmesi, enkesitlerin çizimi, alan ve hacim hesapları tamamen bilgisayar ortamında yapılmakta ve hazır paket programlar kullanılmaktadır.

Projenin hızla bitirilmesi sözkonusu olduğundan, ölçme, kazı ve betonlama ekipleri en az iki vardiya çalışmaktadır. Ölçme işleri tünel içindeki kazı, betonlama ve taşıt trafiğini aksatmayacak şekilde programlanmıştır.

Tünellerdeki deplasman ölçmeleri, enkesitlerde fiziksel yöntemlerle, tünel dışında ise bina duvarlarına ve zemine yerleştirilmiş özel bronz çiviler arsında yapılan presizyonlu nivelman ile çökmelerin belirlenmesi biçiminde sürdürülmektedir. Tünellerdeki aplikasyon ölçmeleri klasik biçimde ancak çok presizyonlu olarak devam etmektedir. Bu bildiride meslek camiasının ilgisini çekeceği düşüncesi ile A.MT. Profiler-3000 donatımı kullanılarak yapılan enkesit alımı ve değerlendirilmesi açıklanacaktır.

4- A.MT. PROFILER-3000 DONANIMI İLE ENKESİT ALIMİ

4.1- Genel

İstanbul metro tünellerinde 2-3 m. aralıklarla ve herbir noktada farklı zamanlarda 3 kez enkesit alımı yapılmaktadır. İlk alım, yeni açılmış ham kesit ile ilgilidir. İkinci alım, iksa işlemini takiben shotcrete (püskürtme beton) yüzeyinden, üçüncü alım ise, kaplama betonundan sonra yapılmaktadır.

Metroda gidiş-dönüş yolları için açılan tünellerin toplam uzunluğu 1.Aşama, 2.kısım inşaatında 9709.00 m. olduğu ve her 3 metrede bir 3 kez enkesit alımı yapıldığı düşünülürse, sadece bu kısımda; $(9709 \times 3) / 3 = 9709 \approx 10000$ adet enkesit alımı sözkonusu olacaktır. Bu kadar çok sayıda enkesitin hızlı, güvenilir, presizyonlu ve tünel içi trafiği en az etkileyecek biçimde ölçülmesi ve değerlendirilmesi pantograf,

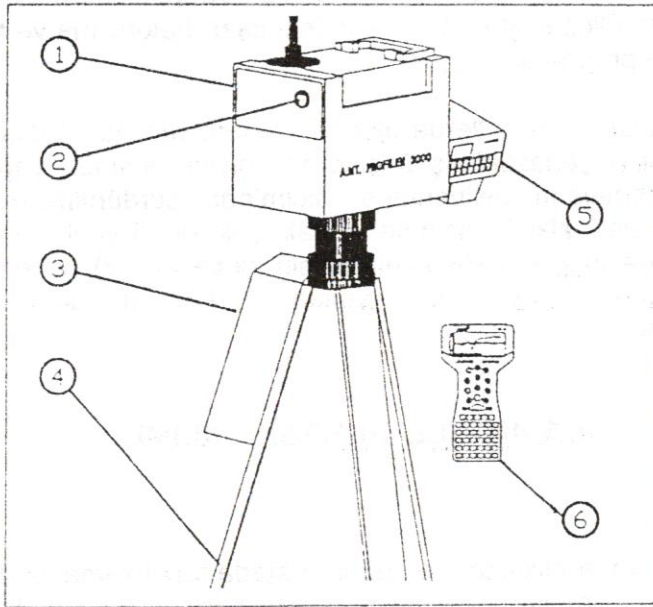
düşey plançete, teleskopik çubuk, yersel-fotogrametrik vb. gibi klasik yöntemlerle yapılması mümkün değildir. Bu nedenle İstanbul metro projesinin 1.Aşama, 2.kısım inşaatında planlama aşamasında enkesit ölçmelerinin A.MT. Profiler-3000 donatımı ile yapılmasına ve bilgisayar ortamında değerlendirilmesine karar verilmiştir.

4.2- A.MT. PROFILER-3000 Donanımının Özellikleri

A.MT. Profiler-3000 donatımı Wild-İsviçre firmasının bir ürünüdür. Donanım başlıca 4 üniteden oluşmaktadır. Bunlar;

1. Ölçme modülü (Elektronik Uzaklık Ölçer),
2. Kontrol Ünitesi,
3. Kumanda-Kayıt Ünitesi,
4. Enerji Ünitesi,

dir. Optik, mekanik ve elektronik bir sistem olan donanım, Şekil-1 de genel hatları ile görülmektedir.



1. A.MT. Profiler 3000
2. Açık-Kapama Düğmesi
3. Şarj Edilebilir Batarya
4. Sehpa
5. Uzaklık Ölçme Modülü
6. Bilgisayar

Şekil 1. A.MT. Profiler-3000 Donanımı

Ölçme Modülü : 360° lik bir alanda hareket ederek, laser ışını ile otomatik uzunluk ölçmesi yapar. Laser ışınının çıkış açısı $0^{\circ} 02' 36'' = 156''$ dir. Ölçme modülü hareketini kontrol ünitesindeki bir motorun şaftından almaktadır. Uzaklık ölçerin her konumunda açı değeri ölçülür. Ölçme modülü;

yeraltında : 0.8-50 m. (DIOR 3001 ile),
yerüstünde : 0.8-150 m. (DIOR 3001S ile)

çalışma menziline sahiptir. Ayrıca ölçme modülü, değişik ölçme süreleri ve presizyonları olan 3 değişik modda çalışmaktadır. Bu modların adı ve özellikleri;

<u>Modun Adı</u>	<u>Ölçme Süresi</u>	<u>Ölçme Presizyonu</u>
Dist	3.5 saniye	$\pm 5 \pm 1$ ppm
DI	0.8 saniye	$\pm 10 \pm 1$ ppm
TRK	0.3 saniye	$\pm 15 \pm 1$ ppm

Kumanda-Kayıt Ünitesi : Husky FS/2 olarak adlandırılmış bu ünite, min. 512 KB.-max. 5 MB./CMOS RAM hafızalı ya da 1024 KB.-3.3 MS DOS EPROM hafızalı, elle taşınabilen bir elemandır. Kontrol ünitesine talimat ve veri girişi, ölçülerin (datanın) otomatik kaydı bu ünite ile gerçekleşir. Şarj edilebilen Ni-Cd batarya ile ya da donanımın enerjisi ile çalışır.

Kontrol Ünitesi : Ölçme modülünü harekete geçiren bir motor ve elektronik devreleri içeren bir ünite dir. Ayrıca, ölçme modülünün konumuna ilişkin yatay ve düşey açıları ölçen bir sistemi vardır. Yan tarafına dış merkez konumunda "Ölçme Modülü" monte edilmiştir. 33x37x17 cm boyutunda, 11.2 kg. ağırlığında, toz ve su geçirmez bir kutu görünümündedir (Şekil 1).

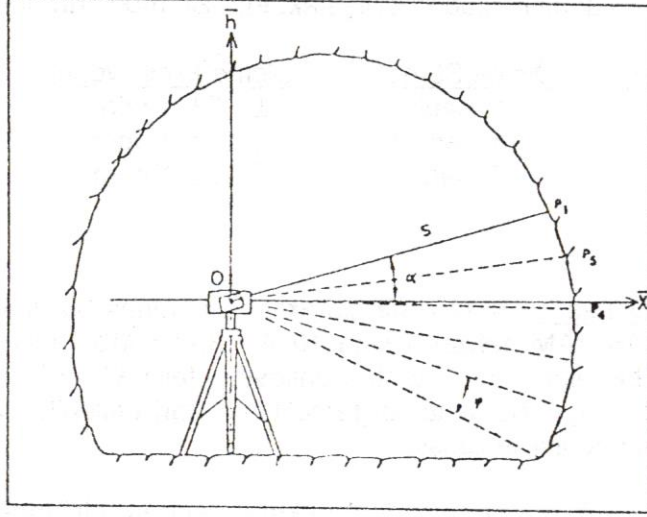
Enerji Ünitesi : 12 V. DC ve 3 Amp. gücünde şarj edilebilir bir bataryadır. Alet sehпасı üzerine monte edilir. A.MT. Profiler-3000 donanımı, -8°C ile 45°C ısı ve % 85 nem ortamında çalışmaktadır.

4.3- A.MT. Profiler-3000 ile Enkesitlerin Ölçülmesi

Konumu belirlenmiş bir istasyon noktasında aletin ölçmeye hazır duruma getirilmesi için şu işlemler yapılır :

1. Alet merkezlendirilir, tesviye edilir ve yüksekliği ölçülür,
2. Sistemin enerji ve iç kalibrasyon kontrolü yapılır,
3. Ölçme modülünün çalışacağı açıs al bölge (alan) ve açıs al aralık sisteme tanıtılır (girilir),
4. Kesit yüzeyinin pürüzlülüğüne ve uzaklık ölçmesinden beklenen presizyona göre seçilecek "Ölçme Modu" sisteme girilir (düzgün yüzeylerde TRK modu, pürüzlü yüzeylerde Dist modu ile çalışılması güvenilir ve presizyonlu sonuç verir.)
5. Ölçme modülü, ölçülecek kesit doğrultusuna yöneltilir ve sistem "start" komutu ile ölçmeye geçirilir.

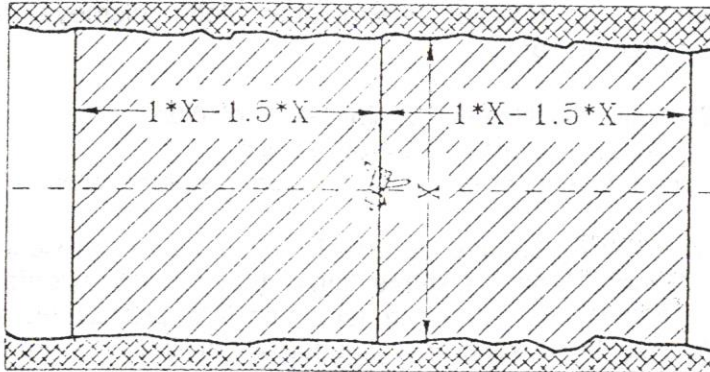
Ölçme modülü verilen talimatlara uygun olarak belirlenen kesitte önce uzaklığı (S), takiben düşey açığı (φ) otomatik ve sürekli ölçer ve kayıt ünitesine aktarır.



Şekil 2.

Ölçülen enkesitlerin proje koordinat sisteminde değerlendirilmesi söz konusu olduğundan, kesit alımı yapılan istasyon noktasının numarası, üç boyutlu koordinatları (X, Y, H) vb. bilgiler kayıt ünitesine klavye ile girilir. Bunun için poligon noktaları dışındaki bir noktadan alım yapılacaksa, geometrik nivelman, kutupsal ya da kestirme yöntemleri ile bu noktanın konumu presizyonlu olarak belirlenir.

Wild A.MT. Profiler-3000 donanımı, hem ölçme modülünün düşeyinde, hem de donanımdan $1-1.5X$ uzaklıktaki alan içinde çok sayıda kesit alımına olanak sağlamaktadır (X =tünel çapı).



Şekil 3.

Sistem "2-D Measurement" modu ile çalıştırıldığında kendi üzerindeki enkesiti, "3-D Measurement" modunda ise yöneltildiği doğrultudaki kesitin alımını yapabilmektedir.

Kesit Alımının Hızı : Aletin ölçmeye hazırlanması ortalama 5 dakikadır. Seçilen ölçme moduna bağlı olarak 200 noktalı bir enkesitin ölçülmesi;

Dist modu için : $3.5^s \times 200 = 11$ dakika,

DI modu için : $0.8^s \times 200 = 3$ dakika,

TRK modu için : $0.3^s \times 200 = 1$ dakika

sürede tamamlanır.

4.4- Enkesit Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Enkesit ölçüleri ve istasyon bilgileri kaydedilmiş disketler, bilgisayar ortamında ve bu amaç için geliştirilmiş A.MT. adlı paket program ile değerlendirilmektedir. Paket programda projenin tüm yatay ve düşey geometrisi ile teorik (proje) kesitleri tanımlanmıştır. Sayısal sonuçlar printerden, çizgisel (grafik) sonuçlar çiziciden alınmaktadır.

Metro tünellerinde aynı noktadan farklı aşamalarda 3 kez enkesit ölçmesi yapılmaktadır. Bu aşamalar ;

- 1.ölçme : yeni açılmış (kazı) kesitinin alımı,
2. ölçme : iksa işlemini takiben püskürtme beton yüzeyinden kesit alımı,
3. ölçme : kaplama betonundan sonra kesitinin alımı.

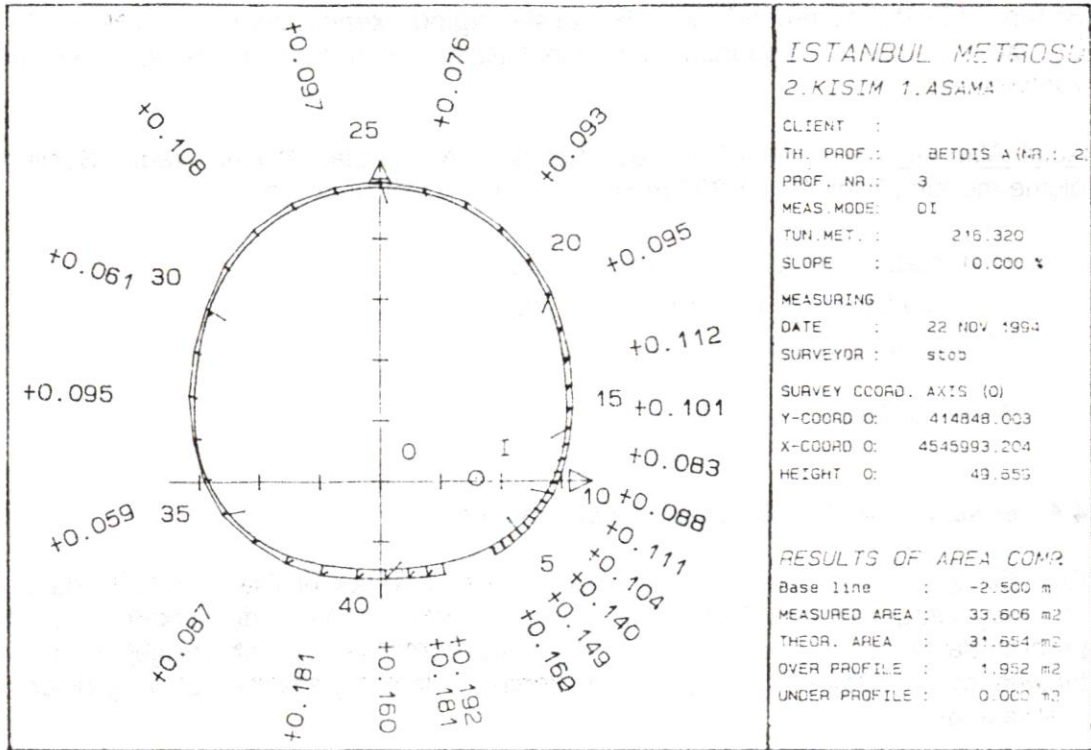
Kesit ölçülerinin değerlendirilme aşamaları ise şöyledir ;

1. değerlendirme : her bir enkesitin ayrı ayrı hesaplanması ve teorik kesitler ile karşılaştırılması,

2. değerlendirme : aynı kesitin 1. ve 2. alımının karşılaştırılarak püskürtme beton alanının hesabı. Ayrıca projede belirlenen teorik kesite uygun betonlama yapılıp yapılmadığının kontrolü (fazla ya da eksik betonlamanın tespiti).

3. değerlendirme : aynı kesitin 1. ve 3. alımları karşılaştırılarak beton dolgu alanı ve komşu kesit aralıkları bilindiğinden beton hacmi hızlı, güvenilir ve presizyonlu biçimde hesaplanmaktadır.

Bir enkesitin bilgisayarda hesaplanması ve çizimi 2 dakika, iki enkesitin karşılaştırılarak dolgu alanının hesaplanması ve sayısal çıktısı 1 dakika gibi çok kısa sürede tamamlanmaktadır.



Şekil 4-

4.5- Enkesit Alımının Presizyonu

Proje koordinat sisteminde bir enkesitin doğruluğu (presizyonu), istasyon noktasının konum doğruluğuna ve enkesit ölçülerinin (s, α) doğruluğuna bağlıdır.

İstasyon noktasının (X, Y, H) koordinatları ülke sisteminde ve presizyonlu olarak belirlenmiştir. Keza alet yüksekliği de mm. doğrulukta ölçülmektedir. Bu koşullarda istasyon noktasının konumu hatasız varsayılırsa, enkesitin doğruluğu; alet tarafından otomatik olarak ölçülen s ve $\alpha(\varphi)$ parametrelerinin doğruluğuna bağlıdır. Alet firması tarafından verilen teorik presizyon değerleri şöyledir :

Uzunluk Ölçmenin Presizyonu :

- Dist modu için : $\pm 5 \text{ mm.} \pm 1 \text{ ppm,}$
- DI modu için : $\pm 10 \text{ mm.} \pm 1 \text{ ppm,}$
- TRK modu için : $\pm 15 \text{ mm.} \pm 1 \text{ ppm,}$

Düşey Açı Ölçme Presizyonu : $\pm 01' 05'' = 65''$

Enkesit üzerindeki bir A noktasının $\bar{x}$, $\bar{h}$ lokal koordinat sisteminde konumu (şekil 2'den) ;

$$\bar{x} = s \cdot \cos \alpha$$

$$\bar{h} = s \cdot \sin \alpha$$

Bu lokal koordinatların doğruluğu (karesel ortalama hataları) ve A noktasının nokta konum doğruluğu ;

$$\left. \begin{aligned} m_{\bar{x}} &= \pm (\sin^2 \alpha \cdot m_s^2 + s^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot m_{\alpha}^2)^{1/2} \\ m_{\bar{h}} &= \pm (\cos^2 \alpha \cdot m_s^2 + s^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot m_{\alpha}^2)^{1/2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m_p &= \pm \sqrt{m_{\bar{x}}^2 + m_{\bar{h}}^2} \\ m_p &= \pm \sqrt{m_s^2 + s^2 \cdot m_{\alpha}^2} \end{aligned}$$

bağıntıları ile belirlidir.

Değişik ölçme modu ile elde edilebilecek nokta konum doğrulukları çizelge 1 ve 2'de gösterilmiştir.

(Dist modu için)

Ölçme Modu	s (m.)	m_{α} (sn.)	m_{p_A} (mm.)
Dist	5	65	± 5.2
DI	5	65	± 10.1
TRK	5	65	± 15.1

Çizelge 1.

s (m.)	m_s (mm.)	m_{α} (sn.)	m_{p_A} (mm.)
3	5	65	5.09
4	5	65	5.16
5	5	65	5.20

Çizelge 2.

5- SONUÇ

İstanbul Metrosunun 7516 m. uzunluğundaki Taksim - 4.Levent arasındaki 1. kısmın inşaatı halen devam etmektedir. Gidiş-dönüş yolları, makas ve emniyet tünellerinden oluşan kısımda 6 değişik tünel kesiti sözkonusudur. Bu kesitlerin tünel boyunda 2-3 m. aralıklarla ve değişik aşamalarda 3 kez ölçülmesi ve değerlendirilmesi sözkonusu olmaktadır. Taksim-Şişli arasındaki 3862 m.lik mesafede yaklaşık 10000 adet enkesit Wild- A.MT. Profiler-3000 donanımı ile , hızlı, güvenilir ve tünel içi trafiği aksatmadan ölçülmüştür. Enkesit ölçülerinin değerlendirilmesi, alan, hacim hesapları ve çizimleri bilgisayar ortamında yapılmıştır.

Bir enkesitin ölçülmesi, aletin ölçmeye hazırlanmasından sonra 1 ila 10 dakika, bilgisayarda değerlendirilmesi 1-2 dakika gibi kısa sürede tamamlanmaktadır.

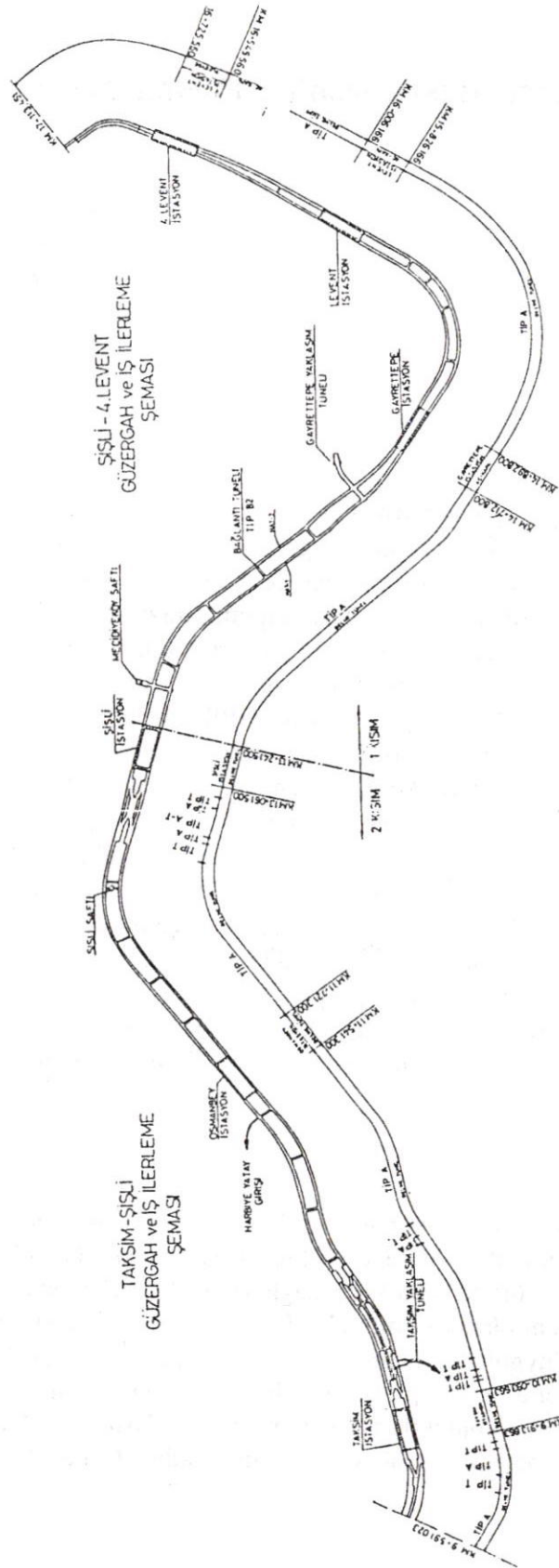
Enkesit üzerindeki noktaların nokta konum presizyonu (bağıl doğruluğu) seçilecek ölçme moduna bağlı olarak $\pm 5-15$ mm arasındadır. Tahmin edileceği gibi, klasik yöntemlerde bu hıza, doğruluğa ve güvenilirliğe ulaşmak mümkün değildir.

6- YARARLANILAN KAYNAKLAR

A.MT. Profiler-3000 User Manual, Version 5.00

ŞAHİN, A. Z., Tünel ve Galerilerde Enkesit Ölçme Yöntemleri,
MML Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İstanbul, 1994

YALÇIN, A. İstanbul Metro Projesi Çalışmaları, 1994



EK 1- TAKSİM - 4. LEVENT METRO GÜZERGAHI