

İNCİRLİ- M.İNÖNÜ TÜNELİ YAPIM ÇALIŞMALARI VE ÜRETİM PARAMETRELERİ

İnş.Y Müh. B.ARIOĞLU (*)
Mad.Y. Müh. A.YÜKSEL (*)
Prof.Dr. Müh. E.ARIOĞLU (**)

1. GİRİŞ

Son yıllarda, İstanbul kenti, hızlı kentleşme, ve yoğun yapılaşma nedeniyle daha ağır ulaşım sorunuyla karşı karşıya gelmiştir. Ulaşım sorununa, yüksek taşıma kapasitesi sağlaması, ve çevre kirliliğine yol açmaması nedeniyle, en akılcı ve köklü çözüm raylı toplu taşın sistemlerinden gelmektedir.

Ancak, diğer taraftan yoğun kentleşme ve diğer mevcut ulaşım yapılan raylı taşıma sistemi güzergahlarımızın günümüzde, elverdiği ölçüde aç kapa, ve derin tünelle geçilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, İstanbul Hafif Raylı Sistemi 2. Aşama İnşaatının Bakırköy - Ataköy arasında kalan güzergah kesiminin "Derin Tünel" ile geçilmesi planlanmıştır.

Bu çalışmada, İncirli - M.İnönü Tünelinde uygulanan yapım yöntemleri ve işçilik - malzeme tüketim parametreleri ele alınmış, üretim parametrelerinin istatistiksel sonuçlarına yer verilmiştir.

2 . M. İNÖNÜ TÜNELİ

İstanbul LRTS sistemi 2. aşama inşaatını oluşturan Esenler - Havaalanı arasındaki güzergah kesimi, km 6+108 - 7+585 arasının "Denn Tünel" ile geçilmesi planlanmıştır. Topoğrafik koşullar, hat geometrisi, yüzeyde yoğun yerleşim bölgelerinin bulunması ve yoğun trafik yüküne sahip karayolu ve köprülü geçişinin bulunması, bu bölümün tünel ile geçilmesi zorunluluğunu oluşturan başlıca nedenler arasındadır. (Şekil-1) Güzergahın Derin Tünel uzunluğu 1340 m'dir. Bakırköy istasyonu (km 5+965 - 6+098)'den sonra oluşturulan bir portal yapısı ile derin tünele girilmektedir Tünel, her iki yanında konutların yer aldığı Alpay İzler sokağı altında % 3.4 eğimle ilerlemekte, km 6+500'de İncirli Köprülü Kavşağını geçmektedir. Km 6+600-6+800'lerde E5 karayolu altından geçmekte ve km 6+700'de Bahçelievler

(*) YAPI MERKEZİ İNŞAAT SANAYİ AŞ Çamhca-İstanbul

(*) ITU Maden Mühendisliği Bölümü Maslak-İstanbul

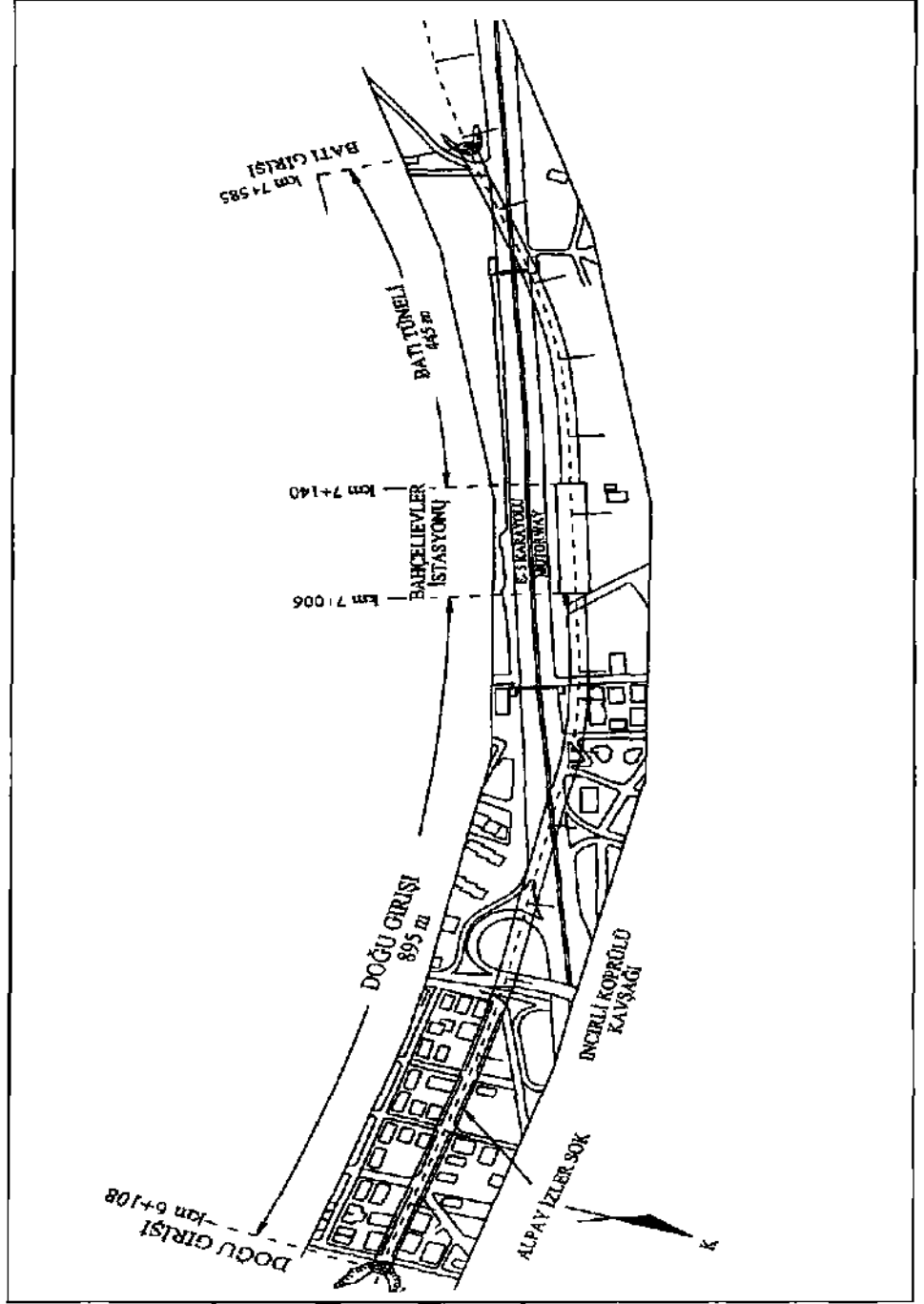
istasyonuna ulaşmaktadır. Bahçelievler istasyonundan sonra % 0,25 eğimle ilerleyen tünel tekrar E5 altından geçerek, % 1,74 eğimle Lepra Hastanesi yanındaki alanda (km 7+585) portal yapısı ile hemzemin geçişli bölümde son bulmaktadır (Şekil-1). Bu çalışmada km 6+108 - 7+000 arasında kalan bölüm "Doğu Tüneli", km 7+140 - 7+585 arasında kalan bölümü ise "Batı Tüneli" olarak adlandırılmıştır. Tünel atnalı şeklinde, tek tüp, çift hat olarak projelendirilmiştir (Şekil-2). Tablo-1'de tünel ile ilgili bazı karakteristik bilgiler özetlenmiştir.

Tablo-1. Mevhibe İnönü Tüneli ile ilgili Bazı Karakteristik Büyüklükler

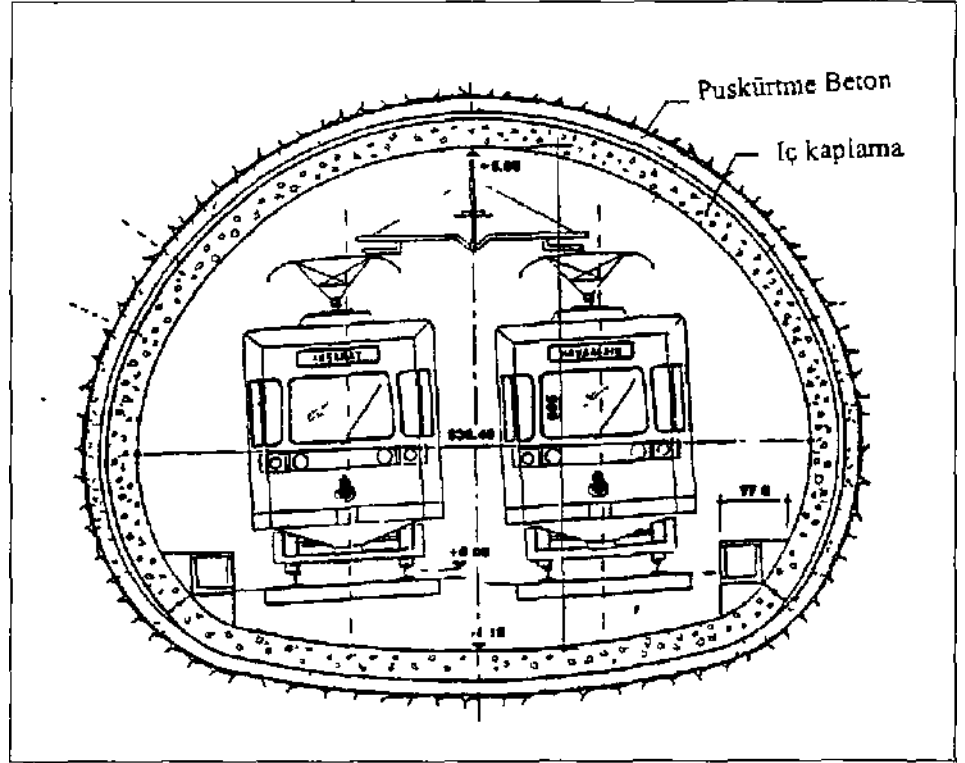
Parametre	Değeri
• Derin Tünel Uzunluğu	1340 m
• Aç Kapa Tünel Uzunluğu	68 m
• Tünel Tipi	Atnalı, Tek Tüp, Çift Hat
• Max. Eğim	%3,4
• Örtü Kalınlığı	Ortalama: 11 m, Max./Min.: 20 m/6 m
• Tünel Kazı Yüksekliği/Genişliği	10,76 m/8,25 m
• Kesit Alanı	Kazı: ~ 73 m ² , Net: 52,6 m ²
• Formasyon Cinsi	Siltli Kil, Kil, Kireçtaşı, Marn
• Kazı Destekleme Yöntemi	Yeni Avusturya Tünel Metodu
• Kazı Destekleme Sistemi	Püskürtme Beton (t = 20-25 cm) BS20 + Çelik Kafes İksa+Çelik Hasır (2 kat) + Kaya Bulonu + Önsüren Çubuk
• İç Kaplama	t = 40 cm, Su Geçirimsiz, BS30 Betonu + Çift Kat Hasır Çelik (Q 589/378) Donatı
• Kazı Başlangıcı ve Bitimi	5 Mayıs 1993-6 Mayıs 1994
• Çalışılan Toplam İş Günü	293
• Yapımcı Firma	Yapı Merkezi - ABB Konsorsiyumu

3. JEOLJİK DURUM

M. İnönü Tüneli Üst Miyosen yaşlı Güngören ve Bakırköy formasyonları içerisinde açılmaktadır. Güngören formasyonu genelde gri, yeşil-mavimsi renkli, siltli kil ve killerden oluşmakta, yer yer kıltaşı litolojisi göstermekte ve marn aratabakayan içermektedir. Miyosen serisinin en üstünde bulunan



Şekil-1: M. Inönü Tüneli Guzergahı



Şekil-2: Tünel En Kesiti

Bakırköy formasyonu ise ince kıl aratabakalan içeren kireçtaşı-marn arda lanmasmdan oluşmaktadır. Kireçtaşı ince-kalm tabakalı, sık çatlaklı, dayanımlı- orta dayanımlı olup bol miktarda macra fosilleri içermektedir Mam tabakalan kireçtaşı tabakalarına göre daha zayıf dayanımlıdır

Güngören formasyonu ve Bakırköy formasyonu birbirin ile uyumlu olup, hemen hemen yatay tabakalı veya 2-10° arasında değişen eğimlerde güney doğu veya güney batıya eğimlidir [1][2].

Doğu girişinden (km 6+108) km 6+300'lere kadar tünel aynasında kıl aratabakah kireçtaşı + marn tabakaları gözlenmektedir Buradan sonra ted- rici olarak siltli kıl tabakalan hakim olmaya baş lamm aktatır.

Km 6+400'den sonra tünel aynasının tamamında siltli kıl tabakaları bu lunmaktadır (Şekil-3) Doğu tüneline km 6+200'terden sonra yeraltı suyu sızıntı damlama şeklinde görülmeye başlamış olup km artışı ile tünel ayna- sındaki kotu artmış ve 6+400'lerden sonra tünel tavanı üzerinde kalmıştır. Km 6+400'den sonra da yer yer sızıntı şeklinde olmak üzere su gelin görülmüşür [3]

Tünelin Bahçelievler istasyonundan sonraki bölümünde, tabakalar az-çok antiklinal-senklinallı andıran şekilde ondülasyonlu bir yapı arz etmektedir. Ondülasyonlu yapıya bağlı olarak tünel aynasında yer yer kireçtaşı-marn aralanması, yer yer kil-sıltli kil tabakaları hakim olarak izlenmektedir. Ondülasyonlu yapıya ilaveten 7+1400 - 7+240 km arasında 1 - 3 m atımlı 3-4 adet fay tesbit edilmiştir. Batı tüneline senklinal yapı eksenlerinin tüneli kestiği bölümlerde (km 7+140 - 7+200 arası ve 7+400 civarı) aynadan 200 - 300 lt/dak (12-18 m³/saat) mertebelerinde su geliri ölçülmüştür.

Aşırı su geliri ve tabakaların sık, çok sık çatlaklı, ince tabakalı olması dolayısıyla kazı çalışmaları sırasında tünel cidarında 20-60 cm mertebelerinde aşırı sökülme meydana gelmiştir. Bu durum püskürtme beton ve priz hızlandırıcı kullanımında artışa yol açmıştır.

4 . KAZI - İKSA YÖNTEMİ

M. İnönü Tüneline "Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu" uygulanmıştır. Bu yöntemin başlıca ana esasları;

- Deformasyonların, kazıdan hemen sonra uygulanan iksa sistemi (püskürtme beton + çelik hasır) ile minimumda tutulması, zemin-kayaç dayanımının korunması ve,

- Yine püskürtme beton + kaya bulonundan + çelik hasırdan oluşan iksa sisteminin çevre ortamı ile birlikte kendi kendini taşıyan bir sistem oluşturması; diğer kelimelerle kayanın kendi kendine taşıttırılması şeklinde tanımlanabilir. [4] [5]

- İksa sisteminde oluşan deformasyonlar ve yüzey taşınanları geoteknik ölçümlerle devamlı izlenir ve kazı sırasında ortaya çıkan jeolojik koşullar devamlı takip edilir, kazı-destek sistemi buna göre belirlenir.

İksa sistemi: Ortamın jeomekanik parametrelerine ve elde edilen deformasyon büyüklüklerine bağlı olarak;

- Püskürtme Beton,
- Çelik Kafes İksa,
- Çelik Hasır ve
- Kaya Bulonu

İksa sistemi, yukarıda belirtilen elemanların hepsinin veya bir kaçının bir arada uygulanmasıyla oluşturulabilir. Buna ilaveten aşağıdaki avantajlar yöntemin tercih nedenlerini oluşturmaktadır.

- Farklı jeolojik ortamlara kolaylıkla uyum sağlar,
- Değişik kesit alanlarında ve çok zayıf zemin koşullarında uygulanabilir.
- Deformasyonların gözetilmesiyle yüzey tasmanları minimumda tu-

Tünelin Bahçelievler istasyonundan sonraki bölümünde, tabakalar az-tutulduğundan yerleşme alanlarında ve sık tünellerde elverişli bir kazı yöntemidir.

Yukarıda ana hatları kısaca belirtilen esaslar gereği, tünel kazı çalışmaları sırasında deformasyonların ve tünel civarındaki gerilme değişiminin izlenmesi amacıyla aşağıdaki geoteknik ölçümler ve çalışmalar yürütülmüştür:

- a . Tünel içi deformasyonlar
- b . Yüzey tasmanı
- c. Ekstensometre
- d . Radyal ve Teğetsel Basınç Hücreleri
- e . Ayna Jeolojik Haritası ve Değerlendirmesi

Güzergahın jeolojik koşulları ve yerleşim alanları ve yüzeyde bulunan sanat yapılan gözönünde tutularak, güzergah boyunca 45 kesit, ölçme istasyonu projelendirilmiştir.

Kazı işlemleri sırasında yukarıda belirtilen ölçme kesitlerinde toplam olarak 5000'den fazla geoteknik ölçüm yapılmış ve değerlendirilmiştir. Geoteknik ölçümler başka çalışmada ele alındığından burada daha fazla ayrıntıya girilmeyecektir.

5 . TÜNEL KAZI İŞLEMLERİ

Tünelde uygulanan kazı aşamaları ve iksa sistemi Şekil-4'de gösterilmiştir. Şekilden izlendiği gibi kazı birbirini takibeden biçimde üstyarı (stross), altyan (kalot) ve taban (radye) olmak üzere 3 ayrı kademede yürütülmektedir. Kazı ve destekleme operasyonları, kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda özetlenmiştir (Tablo-2)

Bir ilerleme raundunu oluşturan bu işlemler aynı şekilde tekrar edilir. Kazı destekleme çalışmalarında kullanılan makina ve ekipman Tablo-3'de özetlenmiştir.

Kazı çalışmasında, tünelin yönlendirilmesinde iki adet üstyarı - iki adet altyan olmak üzere laser ünitesi kullanılmıştır. [Çelik iksalar, önceden hesaplanmış yatay ve düşey mesafelerin lase ışınımından ölçülmesi yardımıyla yerleştirilir. Püskürtme beton işlemi tamamlanmış kesitler jeodezik yöntemlerle tekrar ölçülerek kesitin teorik profile uygunluğu kontrol edilmiştir.

Kireçtaşı + Marn formasyonlarının hakim olarak bulunduğu doğu tünelinin ilk bölümünde (km 6+108 - ~6+400) tünel kazısı Westfalia Lünen (178/300H) roadheader ile, bundan sonraki bölüm Liebherr R 942 HD backhoe kazıcı ile yapılmıştır.

Yine batı tünelde kazı işlemleri Liebherr R 914 HD model backhoe kazıcı ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo-2: Kazı Destekleme işlemleri

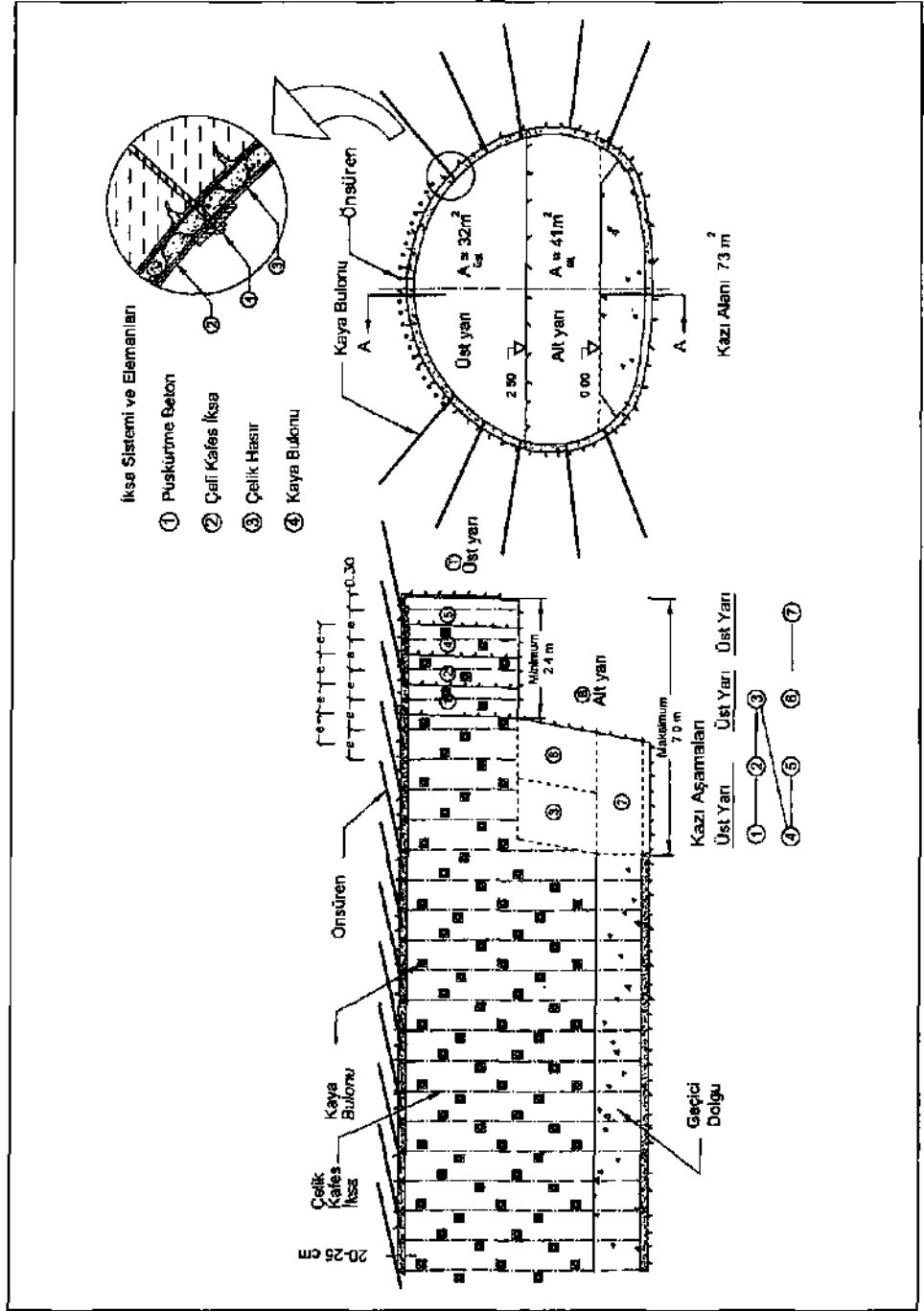
Uygulama Aşamaları	İşlem Türü	Geometrik Boyutlar veya Miktarı
1. Üstyan Arka arkaya 2 - 3 Adım	a. Önsüren (Gerektiğine ;) b. Kazı c. P.Beton, Kazı Yüzeyi ile d. Çelik Hasır e. Çelik Kafes İksa f. RBeton g. İkinci Kat Çelik Hasır + RBeton	1 = 3.6 m, A 26, 12-15 Adet/2 İksa 0.8-1.3 m/Adım ilerleme, Arka arkaya 2 - 3 adım 5 cm, BS20, Priz Hızl. Katkılı Q221/221, W=3.97 kg/m ² , 30 cm Bindirme, Üstyan için 3 Parça BS20, Priz Hızl. Katkılı ikinci Kat Toplam 20 - 25 cm Kalınlık
2. Altyan 2 - 3 Adım Birlikte	a. Kazı b. RBeton c. Çelik Hasır d. İksa Yerleştirme e. RBeton f. Çelik Hasır + RBeton g. KayaBulonu	2 - 3 Adım Birlikte Kazı Yüzeyine 5 cm Q221/221, W=3.97 kg/m ² , 30 cm Bindirme, Alt iki parçanın tesbiti Toplam 20 - 25 cm 2 Kat A 26, 1 = 4 m, 8 - 10 Adet/İksaÇimento Harçlı
3. Taban (Radye) 4-6Adım Birlikte	a. Kazı b. RBeton c. Çelik Hasır d. RBeton e. Geçici Dolgu Yapımı	4-6 Adım Kazı, Birlikte Kazı Yüzeyine 5 cm 2 Kat Birlikte Toplam 20 - 25 cm -0.50 ila ± 0.00 Kotuna kadar Grovak dolgu; Shotcretenin korun-ması ve makmalarm çalışması için

Püskürtme beton işlemi, şantiyede geliştirilen bir "Besleme Ünitesi" üzerine yerleştirilmiş iki adet püskürtme beton makinası (Meyco) ile yapılmıştır. Böylece püskürtme beton işleminde zaman ekonomisi sağlanmıştır. Püskürtme beton BS20 beton sınıfında dizayn edilmiş, kuru karışım olarak uygulanmıştır. Püskürtme betonun erken taşıyıcılık işlevinin sağlanması için karışıma çimento ağırlığının % 3 - 8 arasında değişen oranlarda priz hızlandırıcı katkı ilave edilmiştir.

Kazı sonrasında ortaya çıkan hafriyatın yüklemesinde Caterpillar 955 L yükleyiciler kullanılmış - hafriyat 10 m³'lük damperli kamyonlarla tünel dışındaki geçici döküm sahasına taşınmıştır. Altyarıda yükleme işleminin püskürtme beton işlemi ile aynı zamanda yapılmasıyla yine zaman ekonomisi sağlanmaya çalışılmıştır. Üstyan - Altyan - Tabanda yapılan kazı - yükleme operasyonları Şekil-5'de şematize edilmeye çalışılmıştır.

Tünelde kaya bulonu delikleri Tamrock, Paramatic HS 205 T model çift kollu Jumbo delici ile açılmış, enjeksiyon işlemi ise Mai Enjeksiyon pompası ile, hazır (kum + çimento PC 42.5) harç (su/çimento @ 0.5) kullanılarak yapılmıştır.

Enjeksiyon işleminden sonra 4 m uzunluğundaki nervürlü A 26'lık bulon çubukları elle yenne itilmiştir. 12-24 saatlik priz süresi sonunda bulon civataları sıkıştırılarak "son germe" işlemi uygulanmıştır. Yine zaman eko-



Şekil-4: Tünel kazı Aşamaları ve İksa Elemanları

nomisi sağlamak amacıyla bulonlama işleminin hemen akabinde Jumbo ile önsüren içindelikler açılmış ve (3.6 m'lik, A 26'lık nervürlü çelik çubuk) önsüren çubuklar elle yerleştirilmiştir.

Taban bölümünde püskürtme beton işleminin yapımından sonra -0.50 m ila ± 0.00 m kotuna kadar püskürtme betonun üzerine grovak malzeme ile geçici dolgu yapılmıştır. Böylece yeni yapılan püskürtme beton kaplamanın, ekskavatörün zemine aktaracağı yüklerden etkilenmesi önlenmiş ve ekskavatör için uygun çalışma platformu sağlanmıştır. Ayrıca tünelde ortaya çıkan suyun tünelin her iki yanında dolguda oluşturulan drenaj kanalı içerisinde kendi kendine tünel dışına atılması sağlanmıştır. Doğu tünelde ise eğim aşağı ilerleme yapıldığından tüneldeki suyun drenajı için dolgu altına balast serilmiş ve -20-30 m'de bir tesis edilen pompa çukurlarında toplanması sağlanmıştır. Pompa çukurunda toplanan su dalgıç pompa ile tünel boyunca yerleştirilen A 25 cm'lik drenaj borusu ile tünel dışına atılmıştır.

6 . TÜNEL İLERLEMESİ - İLERLEME İSTATİSTİKLERİ

Tünel kazı çalışmaları portal yapılarının inşasından sonra Batı tünelde 05.05.1993, Doğu tünelde ise 18.05.1993 tarihinde başlamıştır. Tünel batı tarafında 22.12.1994 tarihinde Bahçelievler İstasyonuna (km 7+140) ulaşılmasıyla kazı işlemi tamamlanmıştır. Bahçelievler istasyonu doğu kısmında Nisan 1994'te tekrar kazıya başlanmış ve 06.05.1994 tarihinde her iki aynanın km 6+930.50'de birleşmesi ile kazı işlemi tamamlanmıştır. Tünel ilerlemesinin aylar itibariyle değişimi Şekil-6'da gösterilmiştir. Şekil-7'de ise hem doğu tüneli aynası hem de batı tüneli aynası haftalık ortalama günlük ilerleme hızları belirtilmiştir. [6]

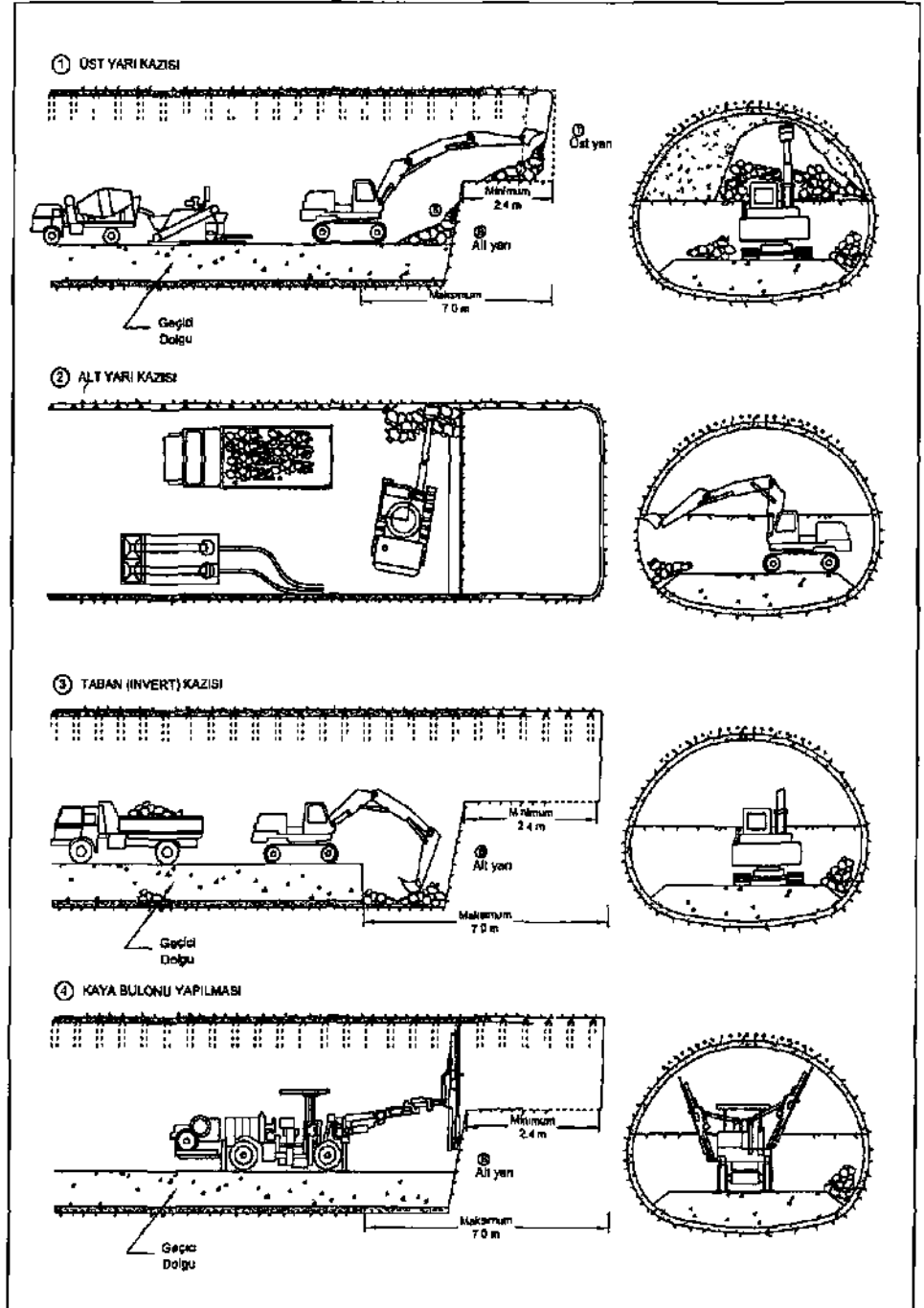
Gerek doğu, gerekse batı aynalarında hemen hemen ilk dört haftalık ilerleme hızı 2 m/gün düzeyinin altındadır. Bu durum, başlangıçta 1, daha sonra 2 vardiya çalışılması ve tünel jeolojisinin tanınması ve tünel ekibinin işe adaptasyonu ile açıklanabilir. Yaklaşık ilk 100 - 150 m'lik ilerlemeden sonra ilerleme hızı artarak doğu tüneline 3 - 3.5 m/gün, batı tüneline ise 2 - 2.5 m/gün seviyelerine ulaşmıştır. Tünel ilerleme hızı artarak doğuda, 6+800 - 6+900 arasında 4 - 4.5 m/gün ve batıda ise km 7+250 - 7+350 aralığında ise 3.25 - 3.75 seviyelerinde gerçekleşmiştir.

Güzergah boyunca tünel aynasının jeolojik koşullarındaki değişkenlikler ve gerçekleşen tünel içi deformasyon, yüzey tasmanı sonuçlarına göre iksa aralığı 0.80 - 1.30 m arasında değiştirilmiştir. (Tablo-4)

Kireçtaşı - marn formasyonlarının hakim olması dolayısıyla Doğu tünelde km 6+371.8'lere kadar iksa aralığı 1.0 ila 1.3 m arasında uygulanmıştır. Anılan km'den sonra killi formasyonların gözlenmesi ile birlikte iksa aralığı 0.9 ila 0.8 m'ye düşürülmüştür. Batı Tüneline ise iksa aralığı ilkin 1.0 m

Tablo-3: Tünel Kazı Destekleme Çalışmalarında Kullanılan Makina ve Ekipmanlar

KULLANIM	MAKİNA CİNSİ	MARKASI-MODELİ	TEKNİK ÖZELLİKLER	NOTLAR
KAZI	o Kollu kazıcı	Westfalia Lineat 178/300 E	Ağırlığı : 80 t Zemin Basıncı : 1.7 kg / cm2 Toplam Güç : 436 KW , Kesici Kafa : 300 KW	Km 6+400'e kadar doğru tünelde kullanıldı.
	o Backhoe kazıcı	Liebherr R942 HD Liebherr R912 HD	Ağırlık : 33 t Güç : 170 HP Zemin Basıncı : 0.49 - 0.72 kg/cm2 Ağırlık : 18.7 t Güç : 129 Hp Zemin Basıncı : 0.27 - 0.50 kg/cm2	Km 6+400'den sonra doğru tünelde kullanıldı. Bakı türünde kullanıldı.
	o Puskürtme Beton makinesi ve Üritesi	Meyco. GM 90 B	Koni Hızlı Motor : 4.5/6.5 KW Kapasite : 9.7 m3/h , 1000/1500 d/dak	2 adet / ayna
	o Yükleyici	Calatrilla 955 L	Ağırlık : 9 t Güç : 140 HP Kapasite : 2 m3	1 adet / ayna
YÜKLEME + TAŞIMA	o Dampçilli Kamyon	Dodge AS 600	Ağırlık : 13.2 t Güç : 170 HP Kasa : 10 m3	3 adet / ayna
	o Jumbo Delici	Timmerck Pacamatik JIS 205 T	Güç : 103 KW (Dizel/Elektrik) 380 - 600 V Delme Kapasitesi : 12 - 13 - 92 m2 , Delik Çapı : 43 - 51 mm 92 m2	1 adet / ayna
BULONLAMA +	o Enjeksiyon Pompası	Mai , 400	Güç : 6 KW , 280 d/dak. Max. Çalışma Basıncı : 80 bar Kapasite : 2.4 m3/h	1 adet / ayna
ENJEKSİYON	o Platform	Atlas Kern AB 1302 D Tanrotor	Güç : 63 HP 132 KW , 3 - 8 bar , 380 - 380 Volt Kapasite : 367 l/şn	1 adet / ayna 1 adet / ayna
	o Basınçlı Hava Kompresörü	M 132 KERN Atlas Copco XA 175 Dd	1500 rpm 84 KW , 3 - 7 Bar Kapasite : 175 l/şn (Yardımcı)	1 adet
DİĞERLERİ	o Havalandırma	Korfinan , S.SN - 9 550/150	20 m3/şn o : 1.5 m	Rant tüneli
	o Su Alımı	Korfinan AL2 - 550	13/55 KW , 380 Yaldız 30 m3/şn : o 1.50 m	Doğu tüneli
	o Beton Santrali	Flyth , BS 2066 Flyth , BS 2102	Güç : 8.2 , Ağırlık : 40 kg Kapasite : 16 l/şn , o 2 Güç : 5.2 , Ağırlık : 48 kg Kapasite : 30 l/şn , o 3	Tünel içi kullanım Tünel ağızı
	o Mühtelif Tasma	NACE PM - 1	Güç : 48 HP Bunker Kap : 4*1.5 m3 Üretim Kapasitesi : 25 m3/h Çemen ve Silosu , 2*17 t	1 adet
	o Laser Tekeleklili	Cadepillar S 840	Ağırlık : 14 t Güç : 155 Keçec : 2.5 m3	Beton Santrali
	o Ölçme Seti	Sloj 3 , 0374C Zeiss Rec Elta 2	220 Volt Mesafe-Apı Ölçme, Rölge Harfama, Batarya, transfer donanımı Prezisyon : Doğruluk : 0.6" / 0.2 mm. Mesafe : 2 mm+2ppen	4 adet / ayna 1 adet
	o Nivo	Zeiss Nf 3	Hassas okuma aparatı, Fiyon Organizör Prezisyon : 0.0001 m İnyer Mira	1 adet



Şekil-5: Tünel Kazı İşlemleri

Tablo-4 Uygulanan İksa Aralığı

Doğu Tüneli		Batı Tüneli	
Güzergah km	İksa aralığı m	Güzergah km	İksa aralığı m
6108-6121	1.0	7140-7532.6	0.9
6121-6143.8	1.2	7352.6-7541.7	0.8
6143.8-6371.8	1.3	7541.7-7545.1	1.0
6371.8-6398.8	1.0	7545.1-7554	0.8
6398.8-6604	0.9	7554-7560	1.2
6604-6684.8	0.8	7560-7585	1.0
6684.8-6372.5	0.9		
6372.5-6810.1	0.8		
6810.1-7003.5	0.9		

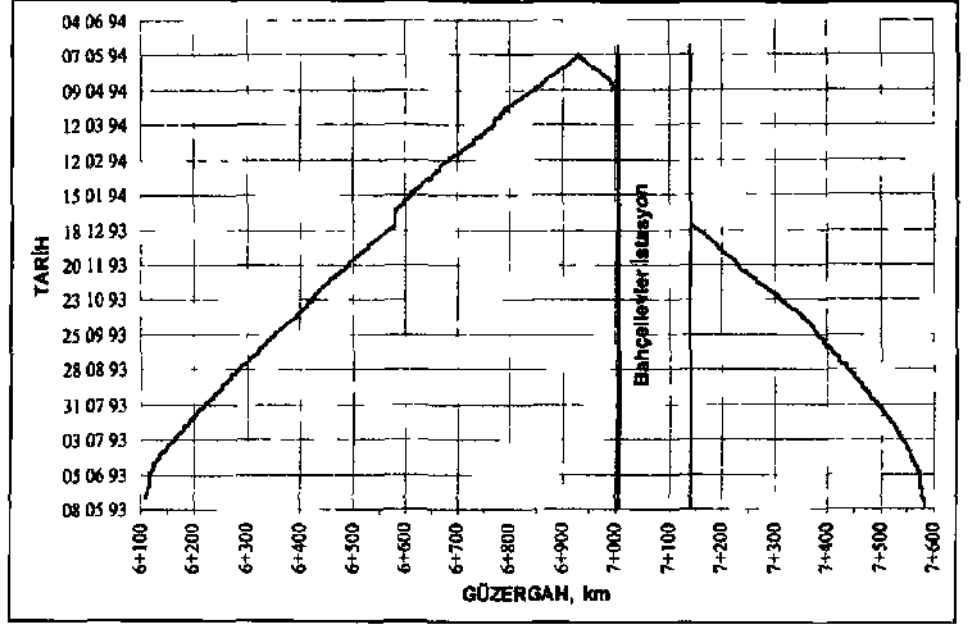
olarak uygulanmış, ancak kireçtası-mam tabakalarının çok sık çatlaklı ve ince tabakalı, kıl aratabakalı olması dolayısıyla iksa aralığı 0.9 ila 0.8 m 'ye düşürülmüştür.

7. İŞÇİLİKLER VE İŞLEM İSTATİSTİKLERİ

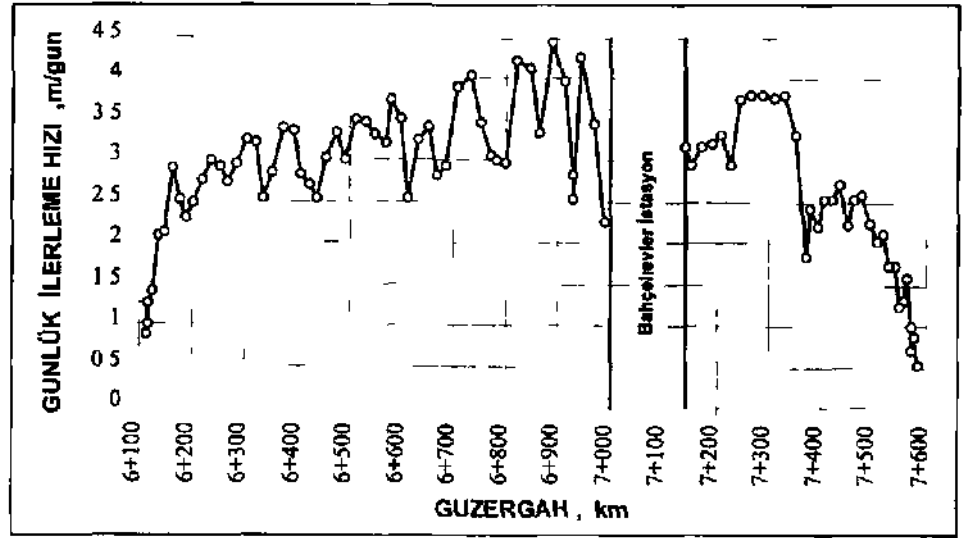
Tünel kazı ve destekleme işlemlerinde aynada yer alan ortalama işçi sayıları ve toplam işçilik saatleri Tablo-5'te özetlenmiştir.

Tablo-5 Kazı Destekleme Çalışmalarındaki İşçilikler

İşçilik	İşçi Sayısı (D) (Adet/Gün)	
	Doğu	Batı
Tünelci	28	28
Operatör	3	6
Formen	3	2
Elektrikçi + Tamirci	2	2
Toplam	36	38
Adam/Vard.	12	-13



Şekil-6: Tünel İlerleme Kayıtları 11 Face Advance Records



Şekil-7: Tünel İlerleme Hızı - GüzergaH Değişimi / Advance Rate - Chainage

(1) 3 Vardiya toplamıdır.

(2) Doğu Tünelinin 822 m'lik kısmını. Batı Tünelinin 445 m'lik kısmını kapsar

Aynada toplam 12-13 kişilik ekip ile çalışılmış olup genel dağılımı aşağıdaki şekildedir:

«Tünelci 9- 10

- Operatör..... 1 - 2 (Ekskavatör + Jumbo)
- Formen..... 1
- Tamirci + Elektrikçi 2

Birim tünel uzunluğu başına düşen adam.saat miktarı ise ortalama olarak 128 adam.saat/m olarak gerçekleşmiştir.

İlerleme sırasında kazı - destekleme işlemleri için tutulan kayıtlar değerlendirilmeye alınmış ve belli başlı işlem sürelerinin dağılımı ve bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için gerekli işlem süreleri istatistiksel analizle belirlenmeye çalışılmıştır. [7]

Şekil-8a'da yukarıda ortalama işlem sürelerinin dağılımı dairesel diagram üzerinde gösterilmiştir. Diagram üzerinde %3 l'lik oran ile en fazla zamanı püskürtme beton işlemi almaktadır. Bunu %26 ile kazı, %13 ile kaya bulonu ve %12 ile hasır çelik yerleştirme izlemektedir. Toplam süre içerisinde ara verme %8'lik pay almaktadır.

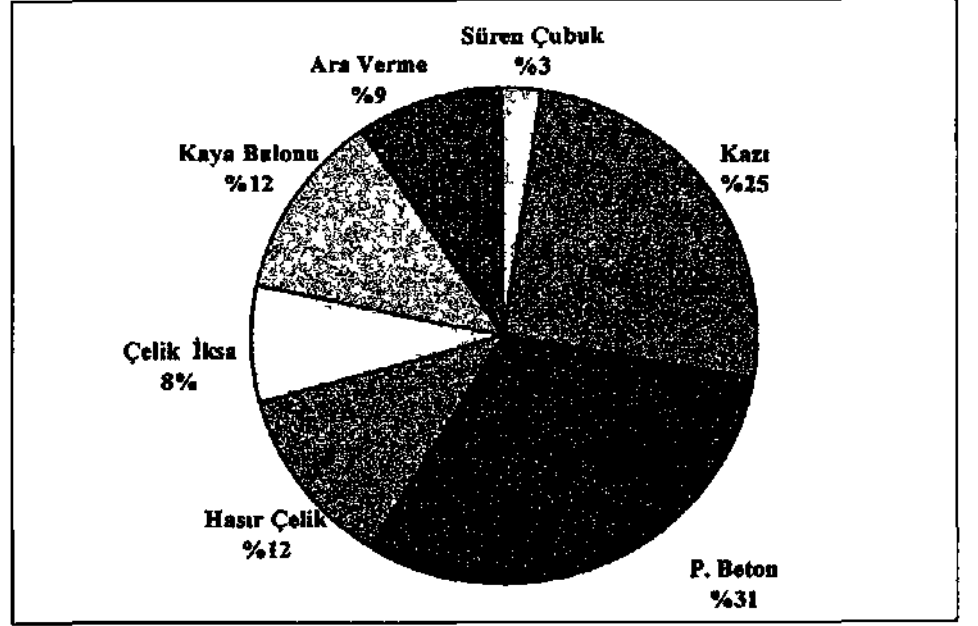
Şekil-8b'de ise üstyarı, altyarı ve taban (radye)'nin kazı + destekleme işlemleri için gerekli sürelerin dağılımı belirtilmiştir. Dağılımdan görüldüğü üzere en fazla üst yarının kazı + desteklemesi süre almıştır. Şekil-9'da yukarıda belirtilen işlemlerin bir iksa ilerlemesi için gerekli sürelerin [saat/ad (iksa)] dağılımı verilmiştir.

Dağılımdan anlaşılacağı gibi Şekil-8'c paralel olarak i iksa ilerlemesinde ~ 3 saat ile püskürtme beton işlemi başla gelmekte, bunu 2.4 saat ile kazı ve -1.2 saat ile kaya bulonu izlemektedir.

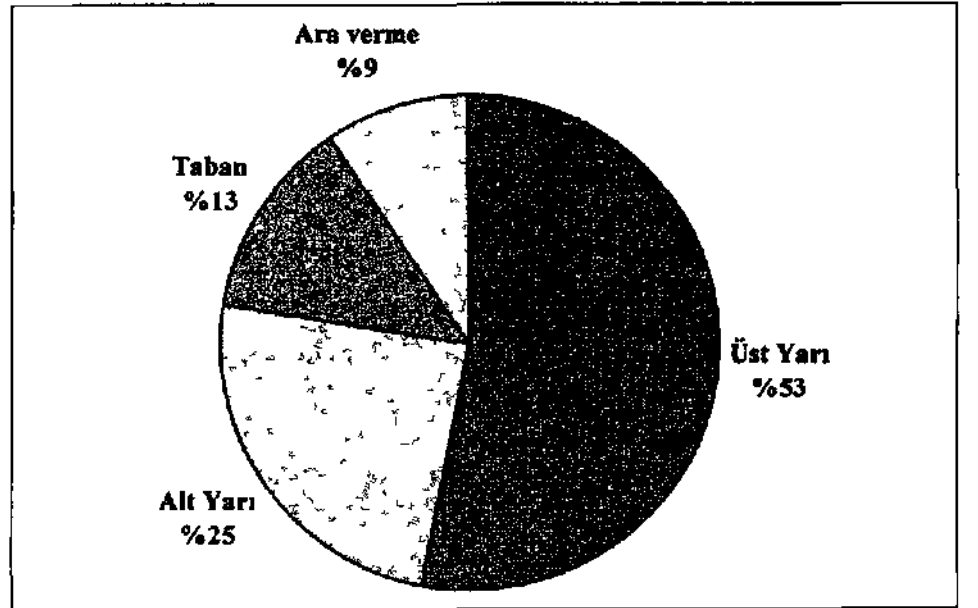
8. KAZI - İKSA ÇALIŞMALARINDA MALZEME KULLANIM PARAMETRELERİ

Tünelde kazı-destekleme işlemlerinde kullanılan toplam malzeme miktarları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tabloda aynı zamanda projelendirme sırasında öngörülen malzeme miktarları da verilmiştir. Burada görüleceği gibi öngörülenden kullanılan çelik iksa miktarı % 13, çelik hasır %25, fazla, diğer taraftan kaya bulonu ve ön-süren miktarları ise sırasıyla %17, %25 eksik olarak gerçekleşmiştir. Muka-yese edilebilir büyüklükler olması nedeniyle yukarıda sözü edilen malzeme tüketimleri birim tünel uzunluğuna ve birim kazı hacmine karşı gelen miktarlar cinsinden Tablo-7'de tekrar ifade edilmiştir



Şekil-8a: İşlem Sürelerinin Dağılımı



Şekil-8b: Üst yarı Alt yarı ve tabanda İşlem Sürelerinin dağılımı

Tablo-6: Toplam Malzeme Tüketimleri

Malzeme Cinsi	Birim	Toplam	Öngörülen
Çelik Kafes İksa	adet	1454	1256
Kaya Bulonu	adet	12345	14000
Önsüren	adet	5283	6100
Çelik Hasır	m²	1079345	
Toplam Çelik Tük.	ton	1178	1339
Kazı	m³	97294	96850

9.SONUÇLAR

* Beklenenden fazla su geliri ile karşılaşılması ve kohezyonsuz, yer yer mercekli silt, siltli kil tabakalarına rastlanması, kayacın tabaka kalınlığı ve çatlak boyutu ile ilintili olarak püskürtme beton tüketimi, 20 - 60 cm mertebelerindeki aşırı sökülme meydana gelmesi dolayısı ile öngörülenden %4.7 fazla gerçekleşmiştir.

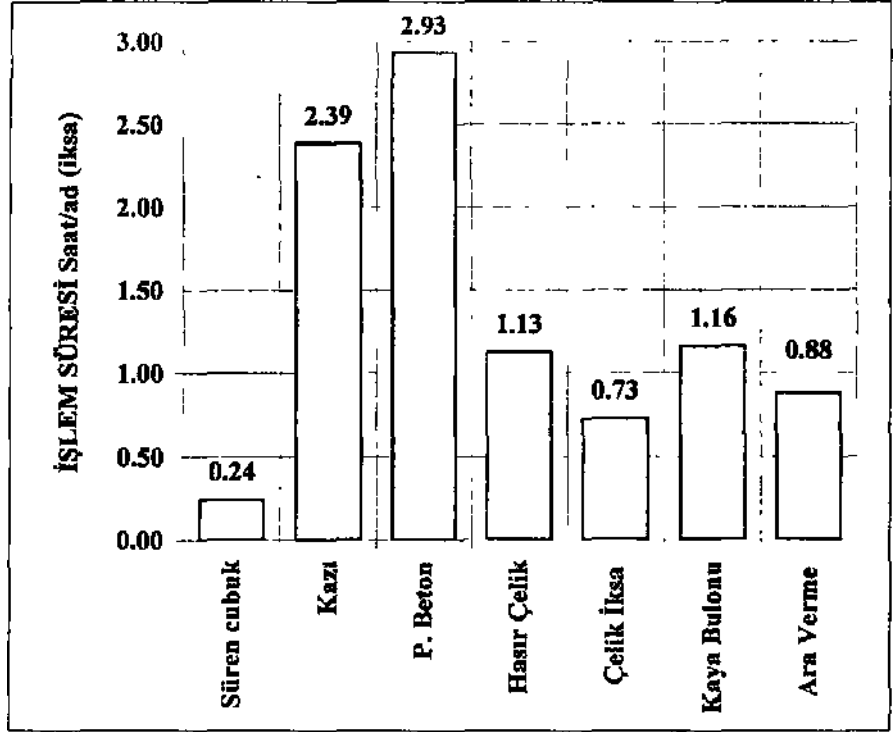
* Diğer taraftan, Yeni Avusturya Metodunun fleksibilitesinden istifade edilerek kaya bulonu ve süren çubuk tüketimi minimize edilmiş ve idareye malzeme tasarrufu sağlanmıştır.

* Karşılaşılan jeolojik zorluklar ve yüzeydeki hassas yapılar dolayısı ile adımlar idarenin mutabakatı ile kısaltılmış ve sonuç olarak çelik kafes iksa tüketimi %13 oranında artmıştır.

* Alman 5000'den fazla konverjans ve oturma okumaları sayesinde yüzeydeki yapılara zarar verilmeden ve herhangi bir iş kazası veya ekipman hasarı ile karşılaşılmaksızın tünel tamamlanmıştır.

Malzeme Miktarı	Birim Tünel Uzunluğunda		
	Birim	Değişim Aralığı	Ort.
* Toplam Çelik Tüketimi	t/m	0.515-1.733	0.876
* İksa Adedi	ad/m	1.25 - 0.77	1,09
* Kaya Bulonu	ad/m	5.3 - 16.6	9.2
* Önsüren	ad/m	0 - 20.5	3.9
* P.Beton	m ³ /m	9.6 - 36,3	16.01

Tablo-7: Birim Tünel Uzunluğu için Malzeme Tüketimleri



Şekil-9: İksa ilerlemesi Basına İşlem Sürelerinin Dağılımı

KAYNAKLAR

[1] ARÎÇ, C, Haliç-Küçükçekmece Gölü Bölgesinin Jeolojisi .İTÜ Maden Fak., İstanbul 1955.

[2] İTÜ Müh. Jeol. Kaya Mekaniği Çalışma Grubu, İstanbul Hafif Metro Sistemi 2.Aşama Esenler-Ataköy Arasının Mühendislik Jeolojisi İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul. Temmuz 1992.

[3] YÜKSEL, A., İstanbul Hızlı Tramvay Projesi 2. Aşama İnşaatı İncirli-M.İnönü Tüneli'nin Mühendislik Jeolojisi, Yapı Merkezi İnşaat ve Sanayi A.Ş., İstanbul Eylül 1994.

[4] RABCEWÎCZ, L., The New Austrian Tunneling Method, Water Power Nov. 1964.

[5] SAUER. G., NATM in Soft Ground. World Tunneling. Vol. 3, No. 6, Nov. 1990.

[6] YÜKSEL, A. İncirli M.İnönü Tüneli İlerleme İstatistikleri ve Değerlendirmesi. Yayınlanmamış İç Rapor. Yapı Merkezi. İstanbul, Eylül 1994.

[7] YÜKSEL. A. İncirli M.İnönü Tüneli İşçilik-Malzeme Kullanım İstatistikleri ve Değerlendirmesi, Yayınlanmamış İç Rapor. Yapı Merkezi, İstanbul. Eylül 1994.