

## İZMİR METROSU NENE HATUN TÜNELİ ÜRETİM PARAMETRELERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### EXCAVATION PARAMETERS AND EVALUATIONS OF NENE HATUN TUNNEL - İZMİR METRO

Başar ARIOĞLU, İnş. Y. Müh. (\*)  
Ali YÜKSEL, Maden Y. Müh. (\*\*)  
Ergin ARIOĞLU, Prof. Dr. Müh. (\*\*\*)

**ÖZET:** 11.4 km'lik İzmir Metrosu Güzergahının Üçyol-Konak İstasyonları arasında bulunan Nene Hatun Tüneli (1675 m) Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile açılmıştır. Yapımına 26 Aralık 1995 tarihinde başlanan tünel 608 takvim gününde tamamlanmıştır. Üretim kayıtlarının değerlendirilmesi sonucunda 1 adım (iksa aralığı) ilerleme ortalama 670 dk'da tamamlanmakta olup bunun %29'unu ayna kazısının, %27'sini ise püskürtme beton işleminin aldığı tesbit edilmiştir. Bunun yanı sıra birim tünel kazı hacmi başına toplam çelik donatı tüketiminin 7.8 kg/m<sup>3</sup>, püskürtme beton tüketiminin 0.20 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir.

**ABSTRACT:** Nene Hatun Tunnel which is between Üçyol and Konak Stations of İzmir Light Rail Transit System was excavated by New Austrian Tunneling Method. Construction works started at 26 December 1995 and completed in 608 days. One round tunnel advance takes 670 minute time. Details of round; 29% excavation, 27% shotcrete and other works. On the other hand total reinforcement and shotcrete per unit tunnel excavation volume were estimated to be respectively 7.8 kg/m<sup>3</sup>, 0.20 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

#### 1. GİRİŞ

Türkiye'nin büyük metropol kentlerinden birisi olan İzmir'de 1980'li yılların sonuna doğru kent nüfusunun artmasıyla birlikte kentiçi ulaşımda yaşanan sıkıntılar, Yerel Yönetimi ulaşımda yeni-köklü çözüm arayışlarına

(\*) Yapı Merkezi Holding A.Ş., Çamlıca-İSTANBUL

(\*\* • • •) Yapı Merkezi İnş. San A.Ş. İzmir Metrosu inşaatı, İZMİR

(\*\*\*) At-Ge Bolumu, Yapı Merkezi Holding A.Ş. Çamlıca-İSTANBUL

itmiştir. Bu arayışlar içerisinde Yerel Yönetim ulaştırma etüdüleri yaptırmış ve bu çalışmaların sonucunda bir yönden bir yöne doğru yerdeğiştiren toplam yolcu sayısının mevcut taşıma sistemleri ile taşınamayacağı ortaya çıkmıştır. Bu durumda yerel yönetim, kentin ana arterlerini daha yüksek taşıma kapasitesine sahip, çevre dostu ve girdileri itibariyle dışa daha az bağımlı raylı taşıma sistemi ile bağlama karar almıştır. Alınan bu karar çerçevesinde Raylı Sistem Ağı'nın ana omurgasını oluşturacak olan Üçyol-Bornova arasındaki 11.4 km'lik güzergahın inşasına öncelik verilmiştir. Bu projenin yapımını Yapı Merkezi - Adtranz Konsorsiyumu üstlenmiş, inşaatına 18 Mayıs 1995 te başlanmış ve 22 Ağustos 2000 tarihinde sistem işletmeye alınmıştır.

Bu çalışmada, Üçyol-Konak arasında bulunan Nene Hatun Tüneli kazı çalışmaları sırasında elde edilen üretim verileri ele alınmış, bundan sonraki tünel çalışmalarına ışık tutması amacıyla bunların istatistiksel değerlendirme sonuçlarına yer verilmiştir.

## 2. NENE HATUN TÜNELİ

İzmir Hafif Raylı Sistem Projesi I. Aşama İnşaatını oluşturan 11.4 km'lik Üçyol-Bornova güzergahının Üçyol-Konak İstasyonları arasında kalan bölümü "Derin Tünel" ile geçilmiştir. Bu kısmın tünel ile geçilmesi ile ilgili başlıca nedenler şunlardır;

- Üçyol-Konak arasında -70 m'lik yükselti farkı bulunmakta ve bunun doğal sonucu olarak düşey güzergah yüzeyden 30-50 m derindedir. Bu meritedeki derinlikte aç-kapa inşaat metodu ekonomik değildir.
- Aç-kapa inşaat yapılması durumunda Güzergahın geçtiği İnönü Caddesinin iki yanında bulunan yakın binalar açık kazının oluşturacağı deformasyonların etki alanında kalacaktır. Kaldığı güzergahın bir bölümü de tamamen yapıların bulunduğu alanın altından geçmektedir.
- Kentin ana arterlerinden birisi niteliğinde olan İnönü Caddesindeki mevcut yoğun trafiğin kanalize edilebileceği alternatif yollar söz konusu değildir.

Güzergahın Üçyol tarafında (0-088.07-0-018.69), (0+011.09 -0+093.28) km'leri arasında I. ve II. makas tünelleri, (0+140.00 - 0+289.00) km'leri arasında ise istasyon tüneli bulunmaktadır. Bunların dışındaki toplam 1384.70 m'lik güzergah bölümünde tünel, "Tek Tüp-Çift Hat" kesitindedir. Makas tünellerinde, Raylı Sistem İnşaatının ileriki aşamalarda Buca tarafına doğru sürdürülebilmesine olanak sağlayacak tek hatlı bağlantı tünelleri açılmıştır. İstasyon Tüneli ile aç-kapa metodu ile inşa edilen Bilet Holü'nün bağlantısı eğimli "Merdiven Tünelleri" ile sağlanmaktadır. Nene Hatun Tüneli'ne ait karakteristik bazı bilgiler Tablo-1 'de özetlenmiştir.

Tünel Tipi	Geometrik Boyutlar (LxH), m	Kazi Alanı, m <sup>2</sup>	Uzunluk, m
Çift Hat, Tek Tüp:	970x710	65	1384,70
Geniöleümlü Kesim (I.D. Makas Tüneli)	1650x9,70	146	141,58
İstasyon Tüneli	1609x9,13	139	14900
Buca Bağlantı Tüneli (Tek Hat)	6,90x6,20	39	76,90
Merdiven Tüneli	9,29x6,55	57	35768
Toplam	-	-	2107,96
Formasyon Cinsi	Az-Orta-Çok Ayrıışmış Çatlaklı Ç< * Sık Çatlaklı Andezit, Kıl Taşı, Kum taşı, Konglomara Ardalanması Çok Zayıf Dayanımlı		
Örtü Kalınlığı	7-40 m		
Kazi - Destekleme Yöntemi	Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi, Püskürtme Beton, Çelik Hasır, Esnek Çelik İksa, Kaya Bulonu, Suren Çubuk		
Kullanılan Kas Makinası Tipi	Kollu Kazıcı Makma, (Westfelia, WAW178/300) Hidrolik Çekiçli Kinci (OK RH9)		
İç Kaplama	Çift Hat Tüneli: 40 cm Su Geçirimsiz Beton (BS 30), Çift Kat Hasır Çelik İstasyon Tüneli 50 cm Beton (BS30), Esnek Çelik İksa, Su İzolasyon Membranı		

*Tablo-1: Nene Hatun Tüneli Karakteristikleri*

### 3. NENE HATUN TÜNELİNİN GEÇTİĞİ FORMASYONLAR VE JEOLJİK - JEOMEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ

Nene Hatun Tüneli Miyosen yaşlı Kıltaşı, Kumtaşı ve Konglomera ardalanmasından oluşan tabakalar ve bu tabakaların üzerine açılmal uyumsuz olarak yerleşen ve yine Miyosen yaşlı (Yüzer ve arkadaşları, 1993) Andezit kayacı içerisinde geçmektedir. (Şekil-1) Andezit, genel olarak gri kahverengi, az-orta-çok-tamamen ayrıışmış durumda, çatlaklı çok sık çatlaklı ve Zayıf Dayanımlı sınıflarındadır. Geçilen formasyonların basınç dayanım değerleri Tablo-2'de özetlenmiştir. Bu değerler güzergahın mühendislik jeolojisi çalışmaları sırasında yapılan sondaj karotlarından elde edilmiştir. Tünelin Üçyol tarafındaki ilk bölümlerinde andezit gri renkli, az ayrıışmış bloklar içeren, çatlak sistemi belirgin olarak takip edilemeyen zayıf orta dayanımlıdır. Üçyol istasyonuna kadar olan bu bölümlerde yaklaşık 20-50 m aralıklarla kuzeye yönelimli (350°~20°) ve (55-70°) eğimli ezilme zonları bulunmaktadır. Bu kısımlarda kayacın ayrıışma derecesi çok veya yer yer tamamen ayrıışmış durumdadır. Bu zonlarda su gelirininde mevcut olması durumunda tavan kısmında zaman zaman aşırı sökümler meydana gelmiştir. Böyle zonlarda tavan bölgesini destekleyerek emniyetli çalışma koşullarını sağlamak için önsüren (30-50 cm aralıklarla, L=3.0 m, f=26 mm nervürlü çubuk) uygulaması yapılmıştır.

İstasyon tüneli bölgesinde kayaç koyu gri renkli, orta-çok ayrıışmış, çok sık çatlaklı-"kup şeker" görünümlüdür. Kayacın bu şekilde çatlaklı

olması kazı operasyonunu oldukça kolaylaştırmış olmasına karşın kaya bu-  
lonu işlemlerini güçleştirmiştir. Şöyleki; küçük kaya parçaları açılan deliğe  
düşerek deliğin tıkanmasına yolaçmış, enjeksiyon hortumu deliğe sürüle-  
memiş, deliğin bir, hatta birkaç kez daha delici uç ile taranması gerekmiştir.  
Üçyol İstasyonunun son kısımlarında (~km 0+280) koyu gri, az ayrılmış,  
orta az çatlaklı ve yüksek dayanımlı (sb@ 1000-1200 kgf/cm<sup>2</sup>) kayaç ile  
karşılaşılmıştır. -100 m uzunluğundaki tünel bölümünde kazıyı yapan kollu  
kazıcı (Westfalia Lünen WAW 178/300H Raodheader) makine ile kazı yap-  
mak güçleşmiş kazıcı uç sarfiyatı ise aşırı ölçüde artmıştır. Bütün tünel bo-  
yunca ortalama uç tüketimi 0.058 adet/m<sup>3</sup> iken bu bölümdeki uç tüketimi  
0.082 adet/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir. Bir müddet ilerlemeden sonra da ro-  
adheader ile kazı mümkün olmamıştır. Bu kısmın sonuna kadar kazı işlemi  
hidrolik çekiçli kırıcı makine (Beko tipi, OK RH9) ile yapılmıştır.

*Tablo-2: Formasyonların Basınç Dayanım Değerleri (Yüzer ve Ark , 1993)*

Kayaç Cinsi	Ort. Basınç Dayanımı, kgf/cm <sup>2</sup>	Standart Sapma, kgf/cm <sup>2</sup>	Veri Sayısı, n
Az Ayrılmış Andezit	545	192	17
Orta Ayrılmış Andezit	309	83	2
Çok Ayrılmış Andezit	189	140	5
Kıltaşı	180	127	7
Silttaşı	168	108	3
Kumlası	129	76	6
Cakıltası	230	255	14

km 0+400'lere doğru geçişli olarak kayacın dayanımı azalmış, ayrışma de-  
recesi ise artmıştır. Dolayısıyla km 0+380'den sonra kazı işlemine tekrar  
kollu kazıcı makine ile devam edilmiştir.

km 0+380'den tortul kayaçların görüldüğü ~km 0+700 arasında kayaç  
açık gri renkli, az-orta çatlaklı, orta- yer yer çok ayrılmış durumda ve orta-  
zayıf dayanımlı andezit şeklindedir.

Güzergahın 0+700 ile 0+980 km'leri arasında kıltaşı, kumtaşı ve kong-  
lomera ardalanmasından oluşan tortul kökenli formasyonlar bulunmaktadır.  
Bu kısımda hakim kayaç açık gn-yeşil renklerdeki kıltaşı'dır. Gn- sarı renk-  
li kumtaşı ise genellikle mercerler biçiminde olup yer yer su taşımaktadır.

Konglomera genellikle açık kahve rengi ve orta çimentolaşma derecesindedir. Totul kayaçların gözleendiği tünel bölümünde herhangi bir kazı güçlüğü ile karşılaşmamışım Ancak, kazı çalışması sırasında kazı makinasının ayna önündeki manevrası sırasında tünel tabanı, suyun da etkisi ile aşırı ölçüde örselenmiştir. Bunun sonucunda iksa ayaklarının bulunduğu bölümdeki zemin taşıyıcılığını yitirmiştir. Diğer taraftan bu durum ayna önünde çalışan iş makinalarının manevra kabiliyetini önemli ölçüde azaltmıştır. Yapılan deformasyon ölçümleri değerlendirilerek tünel tabanında destekleme sisteminin 25 cm kalınlıkta püskürtme beton ve tek kat hasır çelik ile invertli (Ters kemerli) olarak yapılmasına karar verilmiştir.

Tünelin Bahribaba ağzına kadar olan bölümlerde andezitin oldukça değişken karakterlerde; az ayrışma-çok ayrışma dereceleninde ve çok zayıf dayanımlı-dayammlı aralıklarında bulunduğu kaydedilmiştir, km 1 + 158 ile 1 + 148 arasında da koyu gn siyah renkli, yüksek dayanımlı andezit ile karşılaşmıştır. Burada gerçekleşen uç tüketimi ise 0.128 adet/m<sup>3</sup> mertebesindedir. Yer yer, su gelirinin fazla ve çok-tamamen ayrışma derecesinin gözlenen kısımlarda tavanda aşırı sökülme olayları meydana gelmiştir. Böyle zayıf formasyon şartlarında ayna yüzeyine ~5 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanmış ve tavan bölgesine her iki iksada bir olmak üzere önsüren çubuk yerleştirilmiştir.

Tünel güzergahı boyunca kazı aynasının jeolojik durumu yaklaşık olarak her-5-10 m'de bir ayna jeolojik haritası çıkartılarak izlenmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda geçilen kaya ortamın jeomekanik parametreleri (çatlak sıklığı-RQD büyüklüğü, çatlak yüzeylerinin şekli, ayrışma durumu, su geliri, vb.) de belirlenmiş ve Barton-Q Kaya kütle kalitesi hesaplanmıştır. Kestirilen RQD ( ) büyüklüğünün güzergah boyunca değişimi Şekil-2'de gösterilmiştir. (0-180)-(0+700) km'Ienne ait RQD değerlerim istatistiksel büyüklükleri şöyledir; ortalama, X= %50.4 , standart sapma, S=%15.6 ve Değişkenlik katsayısı, V=%30, (0+900)-(1+504) km'Ieri arası için aynı büyüklükler sırasıyla X=%64.9, S=%16.9 ve V=%26 olarak belirlenmiştir.

Nene hatun tüneli boyunca elde edilen ayrıntılı jeolojik profilde sıklıkla değişen ayrışma zonları ile karşılaşmıştır. Çok-tamamen ayrışmış zonlarda, RQD değerindeki azalmanın yanısıra kayacın jeomekanik özelliklerinde de belirgin ölçüde zayıflama sözkonusu olmaktadır. Böylesi ayrışma zonlarının bulunduğu kısımlarda destekleme sisteminde değişikliğe gidilerek; "B" tipi destekleme sisteminden "C" tipi destekleme sisteminin uygulamasına geçilmiş ve iksa aralıkları da 0.8 m'ye kadar düşürülmüştür.

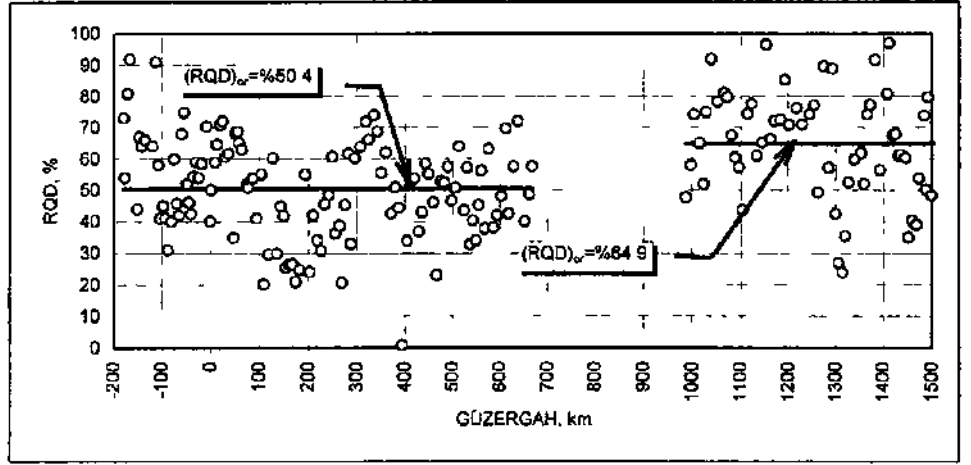


## KAZI-DESTEKLEME YÖNTEMİ VE KAZI İŞLEMLERİ

### 4.1. Çift Hat Tüneli:

Nene Hatun Tünelindeki kazı-destekleme işlemleri Yeni Avusturya Tünel Açma Metoduna göre yapılmıştır. Esasları çok iyi bilinen bu metodun ayrıntılarına burada tekrar yer verilmeyecektir. Konu ile ilgili ayrıntılı bilgi için (Rabcewicz, 1964),(Sauer, 1990), (Anoğlu, Yüksel, 1999) referanslarına başvurulabilir.

Çift hat tüneline uygulanan kazı-destekleme aşamaları Şekil-3'de belirtilmiştir. Şekilden takip edildiği gibi kazı işlemi üst yarı ve alt yarıda birbirini izleyen biçimde yürütülmektedir.



Şekil-2: Aynada Kestirilen RQD Değerlerinin Güzergah Boyunca Değişimleri

Üst yarı ile alt yarı arasındaki mesafe ayna stabilitesine bağlı olarak iyi zemin şartlarında iki iksa, daha kötü zemin şartlarında ise üç iksa aralığı mesafe bırakılmaktadır. Yapılan operasyonların sıralaması, kullanılan malzemelerin teknik özellikleri ve boyutları Tablo-3'de özetlenmiştir.

Kazı işlemi aynaya dik olarak dönen, çift tamburlu kazıcı kafasına sahip Westfalia Lünen marka WAW 178/300 H model kollu kazıcı (Roadheader) ile yapılmıştır. Kazılan malzeme kazı makinası üzerinde bulunan zincirli oluk ile kamyonlara yüklenmiş, Üçyol tarafında ~10 m<sup>3</sup> kapasiteli damperli kamyon, Bahribaba tarafında ise ~14 m<sup>3</sup> kapasiteli Volvo marka belden kırmalı kaya damperli kamyon ile şaft tabanına taşınmıştır. Burada geçici olarak stoklanan kazı malzemesi ~5 m<sup>3</sup> hacmindeki kovalara yüklenen malzeme her iki şaftta da bulunan Liebherr kule vinç ile yukarıya alınmış ve birdevirmeli boşaltma tertibatıyla kamyonu tekrar yüklenmiştir.

Püskürtme beton, şantiyede imal edilen bir besleme ünitesi üzerine monte edilmiş iki adet püskürtme beton makinası ile uygulanmıştır. Bu besleme ünitesi basit olarak, kızaklı bir şase üzerine yerleştirilen çift gözlü malzeme silosu, hızı ayarlanabilir lastik bant, dozaj makinası, kumanda panosu ve bu şaseye sabitlenmiş iki adet Meyco Marka kuru sistem püskürtme beton makinasından ibarettir.

Besleme ünitesinin kullanımıyla karşımın daima kesintisiz olarak beslenebilmesinin yanı sıra katkı malzemesinin her zaman istenilen sabit oranda ilave edilmesi sağlanmıştır. İki adet püskürtme beton makinası kullanılmasıyla püskürtme beton yerleştirme süresinde de önemli ölçüde zaman ekonomisi sağlanmıştır.

Püskürtme beton BS.20 (200 kgf/cm<sup>2</sup>-silindir) beton sınıfında tasarımı yapılmış, Üçyol şantiyesinde bulunan beton santralında kuru karşım olarak üretilmiştir. Tünel içerisinde transmikserle aynaya getirilen kuru karşıma %3-8 arasında değişen oranlarda priz hızlandırıcı toz katkı malzemesi ilave edilmiştir.

Kaya bulonu i leminde delikler Tamrock marka Paramatik HS 205 T model çift kollu jumbo delici ile delinmiş, enjeksiyon, harç karşımını otomatik olarak hazırlayan (0.40-0.50 su/çimento oranında) ve deliğe pompalayan Maipump 400 model enjeksiyon pompası ile yapılmış, bulon çubukları ise, jumbo delicideki platform üzerinde duran 2 işçi tarafından elle yerleştirilmiştir.

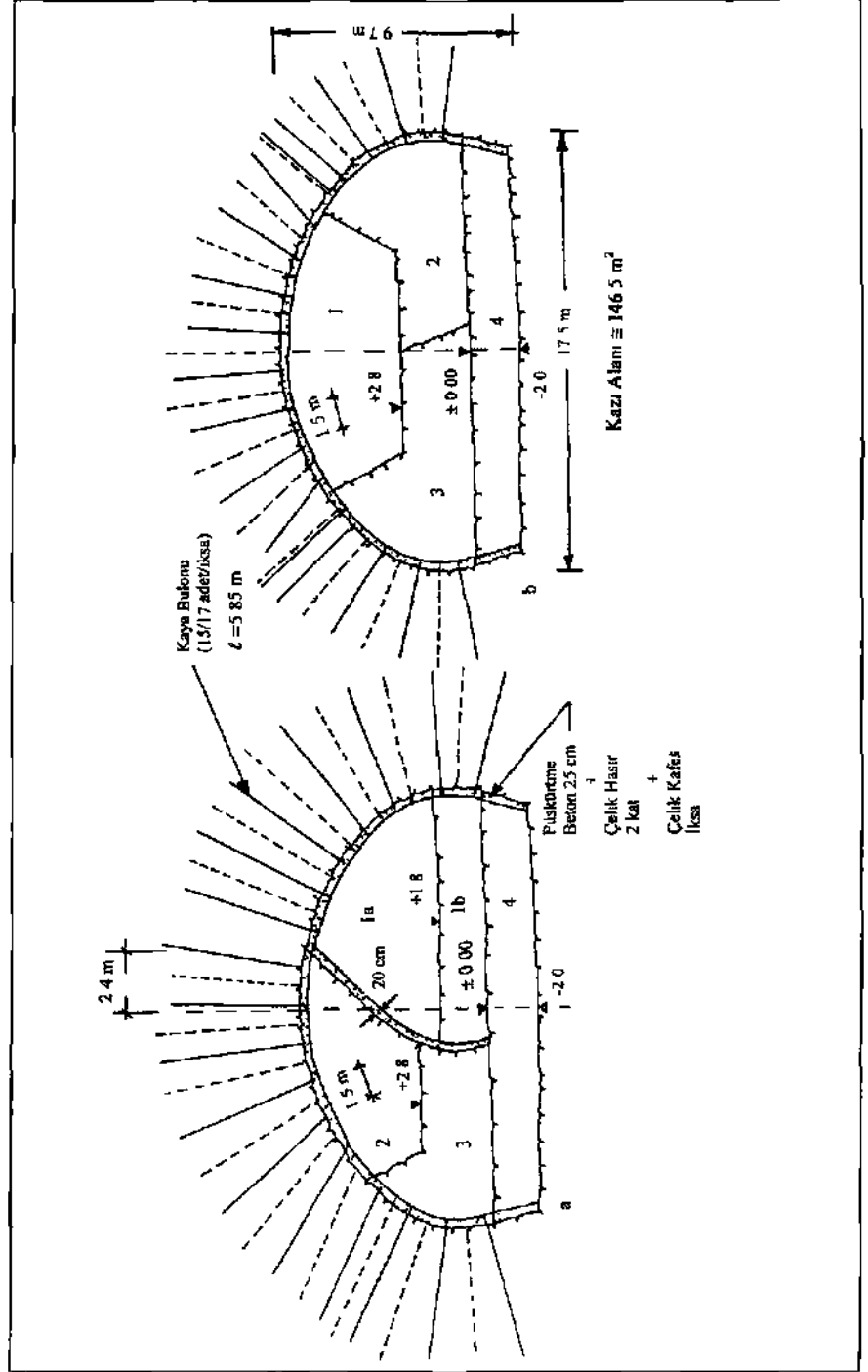
#### **4.2 Makas Tünelleri ve İstasyon Tünelinde Kazı-Destekleme İşlemleri:**

Güzergahın (0-088.09-0-018.69) km'leri arasında bulunan I. makas tüneline uygulanan Kazı-Destekleme işlemleri Şekil-4a'da gösterilmiştir. Önce la ve lb no'lu kısımların kazısı ve desteklemesi (Çelik iksa+Hasır çelik+Kaya bulonu+Püskürtme beton) yapılmıştır. 2 ve 3 no'lu bölge tarafında kalan kazı yüzeyine ise sadece çelik hasır ve 20 cm kalınlığında püskürtme betondan oluşan geçici destekleme uygulanmıştır, la ve lb kazıları kademeli olarak kesit sonuna kadar yapıldıktan sonra tekrar geri dönülerek 2 ve 3 no'bölgelerin destekleme işlemine başlanmıştır. Kazı 2 ve 3 no'lu bölgeler de benzer şekilde kademeli olarak yürütülmüştür.

la bölgesindeki iksa parçası ile 2 no'lu kazı bölgesine yerleştirilecek iksanın birleştirilebilmesi için önceden yerleştirilen iksanın üzerindeki püskürtme beton, kazıdan sonra kırıcı tabancalarla temizlenmekte ve bindirme için bırakılan donatı çubukları ortaya çıkarılmaktadır. Daha sonra 2 ve 3 no'lu kazı bölgesi tarafındaki iksalar yerleştirilmektedir. Ancak temizleme operasyonunun zaman alıcı olması ve dolayısıyla ilerleme hızının düşük olması nedeniyle bu kazı y>.ferpinden vazgeçilmesi kararlaştırılmıştır.







Şekil-4: Makas Tunelleri ve İstasyon Tünelinde Uygulanan Kazı Aşamaları ve Destekleme Sistemi

Ayrıca donatı bindirmesi için bırakılan çubuklar kırma işlemi sırasında hasar görmekte, buraya yeniden bindirme donatısı ilave edilmesi gerekmektedir.

II. Makas tüneli ve istasyon tüneline, az-çok çift hat tüneline uygulanan yöntemle benzer bir kazı şeklinin uygulamasına geçilmiştir. (Şekil-4b) Ancak üst yarının geometrisi kullanılan çelik iksa uzunluğu ve kullanılan kazı makinasının boyutlarına bağlı olarak çift hat tüneline kısmen farklılık göstermektedir. Üst yarının sağında ve solunda "V" şeklinde topuklar bulunmaktadır. Bu metotta önce 1 no'lu bölgede arka arkaya iki iksanın kazısı yapılmaktadır. Daha sonra alt yarı; 2 ve 3 no'lu bölgelerin kazısı birlikte 2 adım olarak yapılmaktadır. Bu kazı şeklinde de ayna stabilitesinin sağlanması amacıyla üst yarı ile alt yarı arasında daima 2-3 iksa aralığı mesafe bulunmaktadır.

Kazı şeklinin değiştirilmesi ile :

- İlerleme hızında önemli ölçüde artış kaydedilmiştir. I. Makas tüneline ortalama ilerleme hızı 0.58 m/gün iken II. Makas Tüneli ve İstasyon Tüneline bu değer sırasıyla 0,86 m/gün ve 1,27 m/gün olarak gerçekleşmiştir. Böylelikle toplam kazı süresinde 136 günlük bir kazanım elde edilmiş ve yaklaşık olarak -65300 adam.saat tutarında işçilik tasarrufu sağlanmıştır.
- İki kazı bölgesi arasındaki geçici destekleme sistemi için kullanılacak olan = 370 m<sup>3</sup> püskürtme beton ve = 8,2 ton miktarında çelik hasır tasarrufu gerçekleşmiştir.

## 5. İLERLEME İSTATİSTİKLERİ

Nene Hatun Tüneline kazı çalışmalarına 18 Mayıs 1995 tarihinde Yeşilyurt giriş şaftının yapımıyla başlanmıştır, f =15 m çapındaki şaftın kazı işleminde hidrolik kınalı beko türü makina kullanılmıştır. Kazılan malzeme -2.5 m<sup>3</sup> hacimli kovaya yine aynı makina ile yüklenmiş ve bir mobil vinçle yukarı alınarak kamyonla yüklenmiştir. Şaftın duvarlarının desteklenmesi ilk 10 m'lik derinliğe kadar yerinde dökme donatılı betonla yapılmış, tünel ekipmanlarının şantiyeye mobilizasyonunu takiben bu derinlikten tabana kadar olan kısımda duvarların desteklenmesi için 25 cm kalınlıkta püskürtme beton, çift kat hasır çelik (Q221/221) ve kaya bulonu (L=3.85m

f =26 mm nervürlü çelik çubuk) ile yapılmıştır. 32.5 m derinliğindeki şaftın kazısı toplam 195 takvim gününde tamamlanmış olup ortalama kazı ilerleme hızı 0.17 m/gün olarak gerçekleşmiştir.Şaft tabanında aynanın hazırlanmasından sonra tünel kazısına 26 Aralık 1995 tarihinde başlanmıştır. Bahri baba şaftının tamamlanmasıyla tünel aynası oluşturulmuş ve 26 Mayıs 1996 tarihinde bu taraftan da kazıya başlanmıştır. Güzergah hattındaki kazı

iki tünel aynasının 25 Ağustos 1997'de km 0+654.40'de birleşmesiyle tamamlanmıştır. Tablo-4'de farklı tünel kesimlerinin açılma süreleri belirtilmiştir. Aynı tabloda anılan tünel kesimlerinde gerçekleşen ortalama ilerleme hızları ve ulaşılan maksimum günlük ilerleme hızı da gösterilmiştir.

Haftalık ilerleme miktarı esas alınarak hesaplanan ortalama günlük ilerleme miktarının güzergah boyunca değişimi ise Şekil-5'de gösterilmiştir. Farkedileceği üzere hem Üçyol, hemde Bahribaba tarafında başlangıçtan itibaren ilk 100 m'lik bölümdeki ilerleme hızları 1.5 m/gün civarındadır. Bu durum oluşturulan tünel kazı ekibinin işe uyum sağlama aşamasında olması, kazı malzemesinin yükleme ve taşınmasında kısmen aksamaların varlığı ve püskürtme beton üretim santralının henüz işletmeye alınmaması gibi nedenlerden kaynaklanmıştır. (Yüksel, 2000) Çalışan kazı ekibinin zamanla deneyim kazanması ve yukarıda sözü edilen aksamaların giderilmesiyle ilerleme hızı giderek artış göstermiş 3.5-4.0 m/gün.ayna mertebelerine kadar ulaşmıştır. Grafikte (0-100-0+000) (0+000-0+100) ve (0+100-0+300) km aralıklarında izlenen yatay değişimler I.,II. Makas tünelleri ve İstasyon tüne 11 erindeki ortalama hızları ifade etmektedir. Bu kesimde 4 no'lu taban kazısının (ŞekiI-4) daha sonra yapılması nedeniyle tünel boyunca günlük ilerleme hızı değişimi verilememiştir. Merdiven tünelleri ve Buca bağlantı tünelleri hariç olmak üzere güzergah boyunca ortalama ilerleme hızı 2.32 m/gün.ayna olarak gerçekleşmiştir.

Tünel aynasında ölçülen RQD değerleri ile ilerleme hızı birlikte değerlendirilmiş ve bu iki büyüklük arasındaki ilişki bir grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil-6). RQD ile ilerleme hızı arasındaki ilişkinin korelasyonu çok düşüktür. Açıkta, bu büyüklükler arasındaki ilişkinin korelasyonunun düşük olması, geçilen kısımlarda ayrışma derecelerinin çok sık değişmesi ve bu nedenle kestirilen RQD değerinin geçilen ortamı tam olarak temsil edememesi, zaman zaman malzeme teminindeki gecikmeler ve beklenmeyen mekanik arızaların ilerleme hızı üzerinde oluşturduğu gölgelenmeden kaynaklanabileceği ifade edilebilir.

## **6. İŞÇİLİKLER VE MALZEME KULLANIM İSTATİSTİKLERİ**

Tüneldeki kazı-destekleme işlemlerinde her iki ayna için yeralan ortalama işçi sayıları (Tablo-5) 'de belirtilmiştir.

Sadece çift hat tüneli değerlendirildiğinde toplam işçilik tutarı yaklaşık olarak 54500 adam.gün olup tünel birim kazı hacmi başına düşen işçilik miktarı ise 14.5 adam.saat/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir. Makas Tünelleri ve İstasyon Tüneli için aynı büyüklükler sırasıyla 29600 adam.gün, 17.2 adam.saat/m<sup>3</sup>'dür

**Tablo-3: Kazı-Destekleme İşlemleri (Yüksel, 2000)**

Uygulama Aşaması	İşlem Türü	Geometrik Boyutlar ve Miktar
USTYARI	<ul style="list-style-type: none"><li>Önsüren (Gerektiğinde)</li><li>Kazı</li><li>Ön Püskürtme Betonu (Gerektiğinde Ayna ve Kazı Yüzeyine)</li><li>İksir Çelik Yerleştirme</li><li>İksa Yerleştirme</li><li>Püskürtme Beton</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>L=30~360m, <math>\phi=26</math>mmnervürlüçubuk, 10-30adet, (Her iki iksada btr)</li><li>0.8 m -1.0 m, Arka arkaya 2-3 adım (İksa)</li><li>5 cm kalınlığında BS20 Priz hızlandırıcı katkılı</li><li>Q22L/22ITıp.W=347kg/m<sup>2</sup>,30cmbındırmc ("B" tıpi destekleme sisteminde tek kat "C" tıpi destekleme sisteminde çift kat)</li><li>Üst van için üç parçalı</li><li>BS20 beton sınıfında, Priz hızlandırıcı katkılı, ("B" üpi destekleme sisteminde 20 cm , "C" tıpi destekleme sisteminde 25 cm kalınlıkta)</li></ul>
ALT YARI	<ul style="list-style-type: none"><li>Kazı</li><li>Ön Püskürtme Beton (Ayna ve Kazı Yüzeyine Gerektiğinde)</li><li>Hasır Çelik Yerleştirme</li><li>İksa Yerleştirme</li><li>Püskürtme Beton</li><li>Kaya Bulonu (Ust Yan tte Birlikte)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>(1.6-3.9m) İlerleme, 2-3 Adım birlikte</li><li>5 cm kalınlığında BS20, Priz hızlandırıcı katkılı</li><li>Q22L/22ITıp.W=347kg/m<sup>2</sup>,30cmbındırmc</li><li>Ak Yan için iki parçalı (Sağ ve Sol Ayaklar)</li><li>BS20 Beton sınıfında, Priz hızlandırıcı katkılı, ("B" üpi destekleme sisteminde 20 cm, "C" tıpi destekleme sisteminde 25 cm Kalınlıkta)</li><li>"B" Tıpi destekleme sisteminde 7-8, adet/İksa, "C" Tıpi destekleme sisteminde 11-12 adet/İksa, L=3.85 m, <math>\phi=26</math> mmnervürlü çubuk+çırmenlo enjeksiyonu</li></ul>
TABAN (INVERT) Tortul Kay açlarının Bulunduğu Bölgede Uygulanmıştır	<ul style="list-style-type: none"><li>Kazı</li><li>HasırÇelik Yerleştirme</li><li>Püskürtme Beton</li><li>" Geçici Dolgu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>4 kazı adımı birlikte</li><li>Q22L/22ITıp, W=347 kg/m<sup>2</sup>,30 cm Bindirme</li><li>20-25 cm kalınlıkta priz hızlandırıcı katkılı</li><li>10 m Kalınlıkta</li></ul>

**Tablo-4: Tünel Kesimlerinin Açılma Sureleri ve İlerleme Hızları**

Tünel Kesimi	Başlangıç-Bmş Tarihi	Ortalama İlerleme Hızı, m/gün	Maksimum İlerleme HIZI/H/gMif
<i>Çifti Hal Tüneli</i>			
Üçevöl Tarafı	26 Aralık 1995-25 Ağustos 1997	1711	52
Bahnaba Tarafı	26 Haziran.1996-25 Ağustos 1997	189	52
<i>Genifletdimif Kesim</i>			
/ Makas Tüneli	29 Mart 1996-18 Temmuz 1996	0.58	
11 Makas Tüneli	8 Ağustos 1996-14 Kasım 1996	0.98	24
İstasyon Tüneli	13 Aralık 1996-24 Nisan 1997	1.27	24
<i>Tek Hat Bağlattı Tunellen</i>			
Buca Sağ Hat	30 Eylül 1996-4 Kasım 1996	0.61	13
Buca Sol Hat	18 Kasım 1996-19 Aralık 1996	1.17	26
<i>Merdiven Tunellen</i>	29 Temmuz 1997-1 Haziran 1998	1.82	-

Tablo-5: Çift Hat Tüneli işçilik Savı İon

İşçi Niteliği	İşçi Sayısı (*) (adet/gün)
• Formen	4
• Formen Yardımcısı	6
• Makma Operatörü	6
• Jumbo Operatörü	6
• Kepçe Operatörü	8
• Kamyon+Transmikser	12
Töfbrü	
• Tünelci	42
• Şaft işçisi	8
• Elektnk+MekamkTamırcı	8
<b>Toplam</b>	<b>100</b>

(\*) iki kazı aynasındaki üç vardiya toplamıdır.

Malzeme	Birim	Miktar
Çehk	adet	1482
Iksa	ton	529.481
Hasır Çelik	ton	446.786
Kaya	adet	17660
Bulonu	ton	321.655
Suren	adet	481
Çubuk	ton	6.196
Toplam Çelik Donatı Tüketimi	ton	• 1304.118
Püskürtme Beton	m <sup>^</sup>	30939
Priz Hızlandırıcı Katkı	ton	817.605
Kazı	m <sup>3</sup>	163330

Tablo-6: Nene Hatun Tuneh Malzeme Tüketim Miktallau

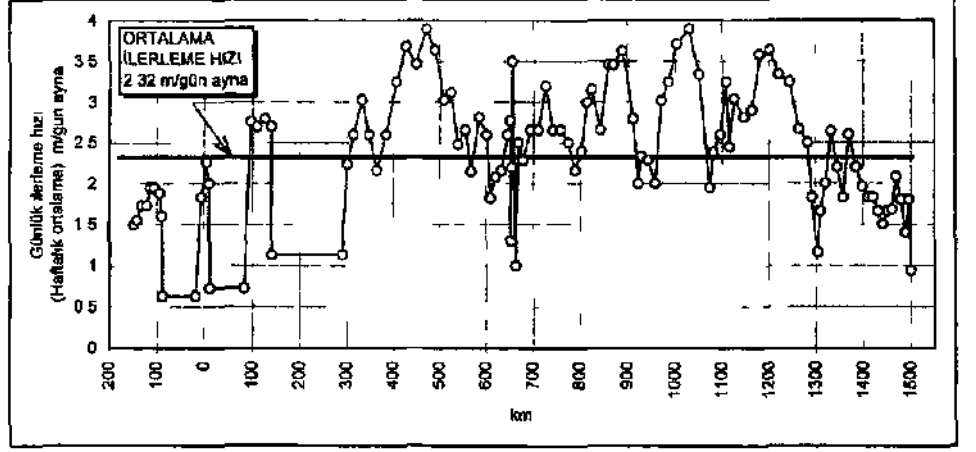
Tünel delme işlemleri sırasında tutulan saha kayıtları (Yüksel, 2000) istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuş ve kazı-destekleme ( ) operasyonlarında yer alan işlemlerin ortalama süreleri belirlenmiştir. Yapılan bu değerlendirmeye göre bir adımlık ilerleme (0.80-1.3 m) için işlemlerin toplam süresi bekleme ve ara verme süreleri dahil 670 dakikadır. Şekil-7'de ortalama işlem sürelerinin dağılımı gösterilmiştir. Bu dağılımdan farkedileceği üzere en fazla süreyi %29 oranla "ayna kazısı" almaktadır. Bunu yakın bir oranla (%27) "püskürtme beton" işlemi izlemektedir.

Farklı operasyonlar ile kayacın jeomekanik özelliklerini karakterize eden RQD değeri arasındaki ilişkiler değerlendirmeye alınmıştır. Şekil-8'de RQD-toplam işlem süresi arasındaki ilişki görülmektedir. Bu iki büyüklük arasındaki ilişkinin düşük bir korelasyona sahip olmasına rağmen toplam kazı süresi, RQD değerinin %60-80 aralığında minimum değerlerde olmaktadır. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; zayıf formasyon şartlarında kazı işi kolay yapılmasına karşın püskürtme beton işlemi daha fazla süre almaktadır. Diğer yandan sağlam formasyon şartlarında ise kazı işlemi zorlaşacağı için toplam süre yine fazla olacaktır. Keza bu durum RQD-Kazı Süresi ve RQD- püskürtme beton süresi arasındaki ilişkilerde istatistiksel olarak belirlenmiş, ancak söz konusu büyüklükler arasındaki değişimin korelasyon katsayısı düşük olduğundan burada verilmemiştir.

Nene Hatun Tüneli, kazı-destekleme çalışmalarında kullanılan malzeme miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

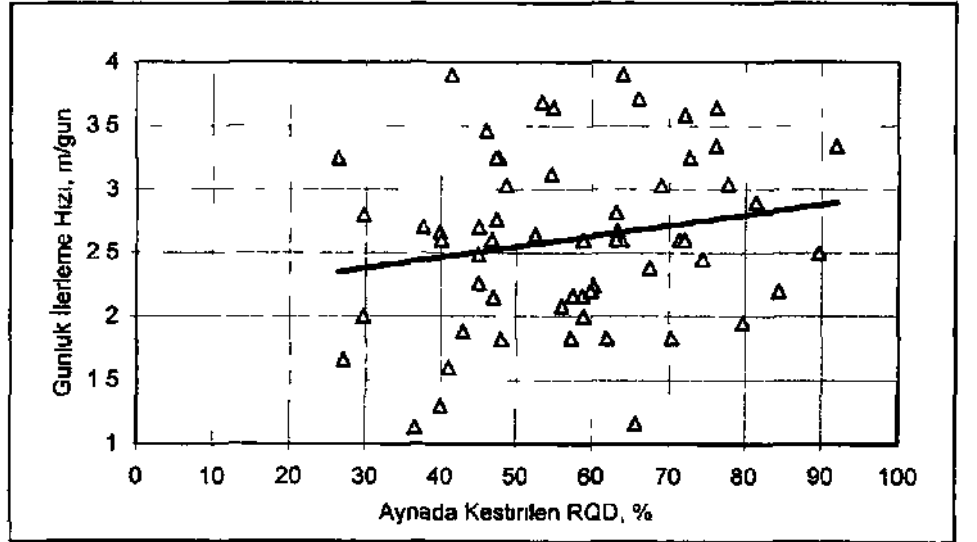
Malzeme	Birim Tünel Uzunluğunda Malzeme Tüketimi		Birim Kazı Haciminde Malzeme Tüketimi	
	Birim	Miktar	Birim	Miktar
İksa	adet/m	0.70	adet/m <sup>3</sup>	0.009
Kaya Bulonu	adet/m	8.4	adet/m <sup>3</sup>	0.11
Süren Çubuk	adet/m	0.23	adet/m <sup>3</sup>	-
Topl. Çelik Donatı	ton/m	0.618	kg/m <sup>3</sup>	7.98
Püskürtme Beton	m <sup>3</sup> /m	14.67	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.19

Tablo-7: Malzeme Tüketim Peu ameli elen



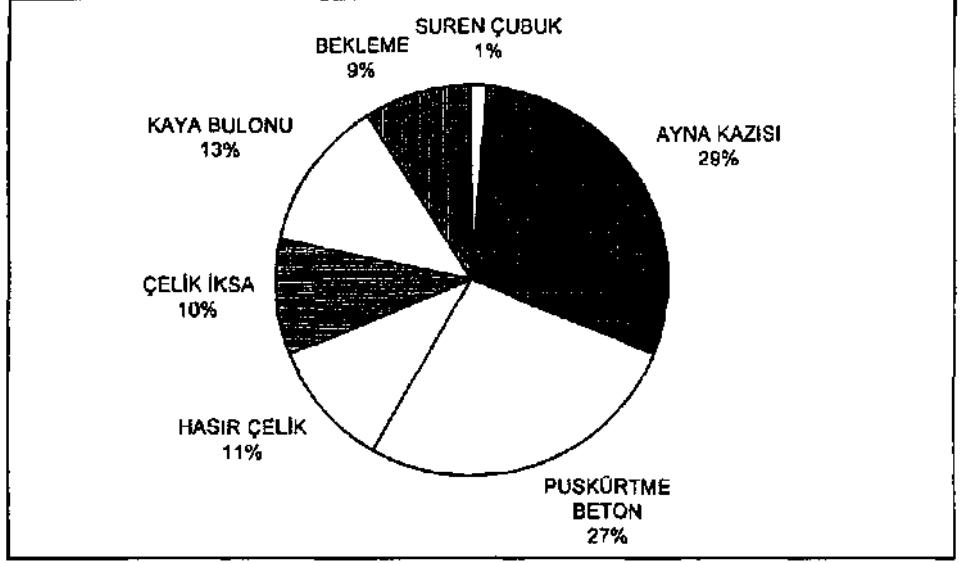
Şekil-5: Günlük ilerleme Hızının Güzergah Boyunca Değişimi

Projede öngörülen destekleme tiplerinden (A) tipi destekleme sistemi ( ) yer yer jeolojik anomalilerden ve daha çokta güzergahın yoğun yerleşim alanında olması yüzünden daha emniyetli tarafta kalınma gerekçesiyle uygulanmamıştır. Bunun yerine (B) tipi destekleme sistemi kullanılmıştır. Nitekim yeruzennde oluşturulan 53 oturma ölçüm noktasında yapılan 994 adet ölçümde belirlenen maksimum oturma miktarı 9 mm olarak gerçekleşmiş olup güzergah uzununda yer alan binalarda "yapısal hasar" oluşturabilecek bir bulguya rastlanmamıştır.



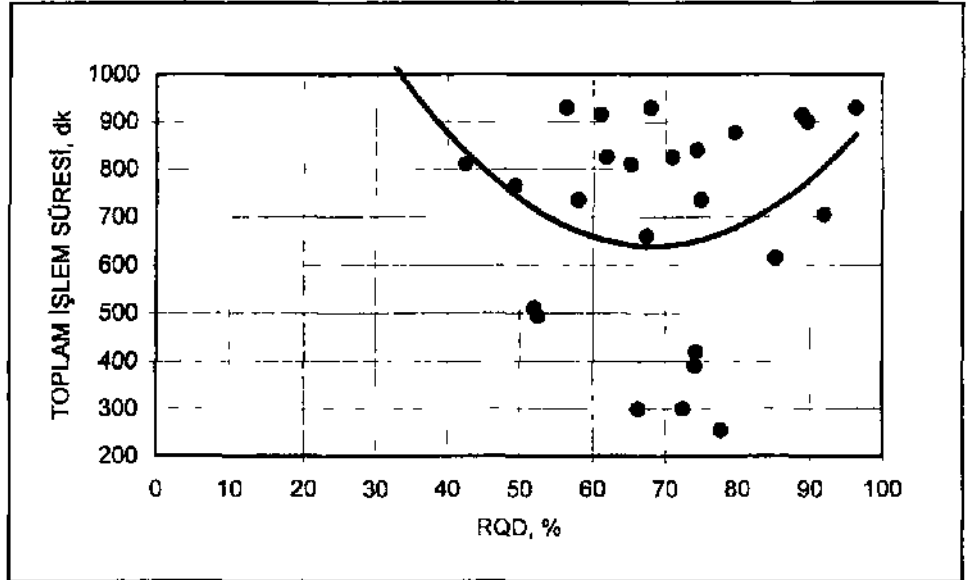
Şekil-6: Günlük ilerleme Hızı - RQD İlişkisi





Şekil-7: Ortalama İşlem Sürelerinin Dağılımı

Tablo-7'de ise birim tünel uzunluğu başına gerçekleşen malzeme tüketim miktarları özetlenmiştir. Aynı tabloda birim kazı hacmi başına düşen malzeme miktarları da verilmiştir. Ajılan değerler benzeri tünel projelerinin tasarımında mühendise yol gösterecek niteliktedir.



Şekil-8 Aynada Kestirilen RQD-Toplam İşlem Süresi Arasındaki İlişki

İstanbul Hafif Raylı Sistem Güzergahında yer alan ve yapımını Yapı Merkezi-ABB Konsorsiyumunun üstlendiği "Mevhibe İnönü Tüneli" (1340 m, kazı alanı- 68 m<sup>2</sup>) (Anoğlu ve Ark. 1995) ile incelenen tünel karşılaştırıldığında aşağıda belirtilen sonuçlar öne çıkmaktadır:

- İşlem süreleri dağılımının ele alındığında incelenen tünelde ayna kazısı işlem süresi daha fazla iken, M. İnönü Tünelinde destekleme işlemi daha fazla süre almaktadır.

Bu durum konsolide kil, silt ve ayrıışmış mamlı kireçtaşları içerisinden geçen M. İnönü Tünelinin daha zayıf formasyon şartlarına sahip olması, dolayısıyla kazı operasyonunun daha kolay, ancak buna karşın destekleme işlemlerinin daha zor olması ile açıklanabilir.

- Bu duruma paralel olarak ortalama ilerleme hızı M. İnönü Tünelinde 2.76 m/gün.ayna iken daha sağlam formasyon şartlarına sahip Nene Hatun tüneline 2.32 m/gün.ayna düzeyinde gerçekleşmiştir.

- Diğer taraftan ana üretim girdilerinden birisi olan birim tünel uzunluğundaki toplam çelik miktarı M. İnönü Tünelinde 0.876 t/m iken Nene Hatun Tünelinde 0.618 t/m'dir Püskürtme beton için bu değerler her iki tünel için sırasıyla 16.01 ve 14.67 m<sup>3</sup>/m'dir. Ancak Nene Hatun Tünelinde farklı geometrilerde tünel kesitlerinin bulunduğu ayrıca dikkate alınmalıdır.

## 7. SONUÇLAR

- Tünel kazısı sırasında bir adımlık (0.80-1.3m) ilerleme ortalama olarak 670 dakikada tamamlanmaktadır İşlem sürelerinin dağılımında en fazla payı %29 ile kazı operasyonu almakta, bunu yakın bir oranla (%27) püskürtme beton işlemi izlemektedir.(Şekil-7)

- Nene Hatun Tüneli güzergahı boyunca ortalama ilerleme hızı 2.32 m/gün-ayna olarak gerçekleşmiş olup çalışma sırasında 5.2 m/gün-ayna maksimum hıza ulaşmıştır. (Şekil-5)

- Aynada kestirilen RQD değerinin % 60-80 aralığında toplam işlem süresi minimum değerini almaktadır. (Şekil-8) Başka bir deyişle optimum kazı şartları "Orta - İyi" Kaya Kalite sınıf aralığında gerçekleşmektedir.

- Tünel desteklemesinde birim tünel uzunluğu başına malzeme tüketimleri; çelik donatı için 0.618 ton/m, püskürtme beton için ise 14.67 m<sup>3</sup>/m olarak bulunmuştur.(Tablo-7)

## TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın yapılmasında gösterdikleri yakın ilgi ve akademik destek için Yapı Merkezi Holding Grubu Yönetim Kurulu Başkanı Sn Dr. Müh. Ersin ARIOĞLU'na ve İzmir Metrosu İnşaatı Proje Müdürü Sn Müh.

Nairn IŞLI'ye burada teşekkür etmeyi yerine getirilmesi gereken görev sayarlar. Çalışmada belirtilen tüm görüş ve değerlendirmeler doğrudan doğruya yazarlarına ait olup herhangi kurum ve kuruluşu bağlamaz.

#### KAYNAKLAR

*Arioğlu, E., Yüksel, A., 1999, Tünel ve Yeraltı Mühendislik Yapılarında Çözümlü Püskürtme Beton Problemleri, Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, (Temmuz).*

*Yüksel, A., Arioğlu, E., 1999, Yeraltı Yapılarında Püskürtme Beton, Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Çalışma Raporu-8, İstanbul, (Şubat).*

*Arioğlu, Başar, Yüksel, A., ve Arioğlu, Egin, 1995, İncirli M İnönü Tüneli Yapım Çalışmaları ve Üretim Parametreleri, I. Ulaştırma ve Yeraltı Kazıları Sempozyumu, Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, (Şubat).*

*Rabcewicz, L., 1964, The New Austrian Tunneling Method, Water- and Power, November.*

*Sauer, G., 1990, NATM in Soft Ground, World Tunneling, Vol.3, No.6, (November).*

*Yapı Merkezi, 1997, Nene Hatun Tüneli Saha Kayıtları. Yapı Merkezi, İzmir Metrosu, İzmir.*

*Yüksel, A., 2000, Nene Hatun Tüneli Üretim Raporu, Yapı Merkezi, İstanbul, (Şubat),*

*Yüzer ve Ark., 1993, İzmir Metrosu Fahrettin Altay-Basmane Güzergahının Mühendislik Jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği Çalışma Grubu, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, (Eylül).*

