

101347

**TARABYA ATIKSU TÜNELİNDE KULLANILAN
TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN S13 – S10
ŞAFTLARI ARASINDAKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Osman Cenk FERİDUNOĞLU
(505991048)**

101347

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Haziran 2001

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nuh BİLGİN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mustafa ERDOĞAN
Y.Doç.Dr. Hanifi ÇOPUR

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Madencilik ve tünelcilik insanoğlu varoldukça gerekli olacak çalışmalardır. Sanayinin hammadde ihtiyacını karşılayan madencilik faaliyetleri günümüzde ekonomik ve güvenli çalışmanın yanısıra çevreye olan etkileride gündeme getirmiştir. Bu yüzden teknolojik gelişmeleri çok iyi takip edip dışa bağımlı olmaktan çok kendi bilgi birikimimizi oluşturmak zorundayız. Metropol olmuş kentler içinde yeraltı yapıları kentin yaşam kalitesini direk etkilemesi bakımından çok önemlidir. Alt yapı ve yeraltı ulaşım ağlarının zamanında yapılması şehirleşmesinde daha sağlıklı gelişmesini sağlayacaktır.

Bu çalışmada İstanbul Boğaz'ında bulunan Tarabya atıksu projesi dahilinde kullanılan tünel açma makinesinin performansı incelenmiştir. Bilgi birikimi ve deneyimin kazanılması çalışmanın ana amacıdır.

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümünde yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden İstanbul Üniversitesi'nden hocam Yük. Mak. Müh. Mustafa AKGÜL'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca yetişmemde katkıları olan ve bana referans olan Prof. Dr. Bedri İPEKOĞLU ve Doç. Dr. Ali KAHRİMAN'a teşekkür ederim. Yüksek lisans çalışmamda danışmanlığımı üstlenen ve tünel açma makinesi üzerine tez yapmama olanak sağlayan Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e teşekkür ederim.

Şantiyede gerekli çalışmaları yapmama izin veren Proje Müdürü İnş. Müh. Erdal GÖKÇE'ye, şantiye çalışmalarında yardımcı olan ve gerekli bilgilere ulaşmama olanak veren Maden Müh. Muammer ÇINAR'a, Topoğraf Ali Kemal ÖZTÜRK'e ve Atölye Şefi Ertuğrul Gökçe'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Ömür ACAROĞLU ve Araş. Gör. Hakan TUNÇDEMİR'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında kaybettiğim babama, sağlık problemleri olan anneanneme ve aileme beni bugünlere getirdikleri için şükran borçluyum.

HAZİRAN 2001

Osman Cenk FERİDUNOĞLU

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
2. PROJE TANITIMI	2
2.1. Giriş	2
2.2. Proje Kapsamındaki İşler	4
3. JEOLojİ	5
3.1 Sondaj Çalışmaları	6
3.2 Sondaj Çalışmaları Derlenmiş Sonuçlar	9
4. GÜZERGAHIN TUNEL MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	10
4.1 Genel	10
4.2 Stabilitate	12
4.3 Su Geliri	12
4.4 Vadi Geçişlerinde Ön Sağlamaştırma-Geçirimsizlik Perdeleri	13
4.5 Kazılabilirlik	13
4.6 Üst Yapı (Binalar) ve Alt Yapı Tesisleri ile olan Etkileşim	14
5. PROJE ORGANİZASYONU	15
6. TUNEL AÇMA MAKİNESİ ÖZELLİKLERİ	18
6.1 Genel Özellikler	18
6.2 TBM Teknik Özellikleri	21
6.3 TBM Back-Up Sistemi	23
6.3.1 Back-up sistemi genel özellikler	23
6.3.2 Back-up sistem 1 nolu parça	23
6.3.3 Back-up sistem 2 nolu parça	23
6.3.4 Back-up sistem 3 nolu parça	23
6.3.5 Back-up sistem 4 - 9 nolu parçalar	24
7. TBM KAZI MEKANİĞİ	25
7.1 Disk Kesikilerle Kaya Kazısı	25

7.2 TBM Kesici Kafa Dizaynı	28
8. TBM MONTAJI	30
8.1 TBM Montajında Yapılan İşler	31
8.1.1 Kesici Kafa ve Şildin İndirilmesi ve Birbirine Montajı	31
8.1.2 TBM'in Aynaya İtilmesi	32
8.1.3 Portal Tabanın Kırılması ve Yeniden Betonlanması	33
8.1.4 Back-Up Ünitelerinin İndirilmesi	34
8.1.5 Back-up Üniteleri Elektrik ve Hidrolik Sistem Montajı	36
8.1.6 TBM Test Çalışmaları	37
8.2 TBM Montajında Yapılan İşlerin Değerlendirilmesi	37
9. TARABYA ATIKSU TÜNELİNDE KULLANILAN TAHKİMAT SİSTEMİ	38
9.1 TBM 'de Kullanılan Tahkimat Sistemi	38
9.2 Segmentlerin Geometrisi	38
9.3 Segment Fabrikası	39
9.4 TBM Kalkanı İçinde Ring İnşası	41
10. TBM ÖLÇME SİSTEMİ	47
10.1 Giriş	47
10.2 Ölçme Sistemi Fonksiyonları	49
10.3 Ölçme Sistemi Parçaları	49
10.3.1 Teodolit	49
10.3.2 Lazer	50
10.3.3 ELS	51
10.3.4 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol)	53
10.3.5 Güç kaynağı ve data transfer cihazı	53
10.3.6 Tünel ilerleme yazılımı	54
10.3.7 İlerleme sırasında TBM pozisyon tayini	56
10.3.8 TBM yönlendirilmesi	58
11. TBM PERFORMANSI	59
11.1 TBM Performans Parametreleri	59
11.2 TBM Performans Değerlendirmesi	60
12. DİSK KESKİLERDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER	67
12.1 Kesici Kafa Dizaynı	67
12.2 Karşılaşılan Disk Problemleri	69
12.2.1 Keskinin yatağının bloke olması	70
12.2.2 Aşırı keski aşınmaları	71

12.2.3 Keski yatağının içine pislik girmesi	71
12.2.4 Keski yatağını kafaya sabitleyen sistemin kırılması	41
12.2.5 Keski yatak millerinin eğilmesi	74
12.3 Kesici Kafa Revizyonları	74
12.4 Keski Sarfiyatı	76
13. TBM ÇALIŞMASINDA OLUŞAN ARIZALARIN ANALİZİ	78
13.1 Arızaların Gruplandırılması	78
13.2 Arıza ve Duraklamaların Frekansları	79
13.2.1 Kesici Kafa ve Kalkan Arızalar Grubu	79
13.2.2 Keskiler Arıza Grubu	81
13.2.3 Back-Up Sistem Arıza Grubu	81
13.2.4 TBM'den Kaynaklanmayan Duraklamalar	84
13.3 Arızaların Değerlendirilmesi	84
14. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	92

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Tünel güzergahındaki sondajların derlenmiş toplu sonuçları.....	8
Tablo 4.1. Tarabya atıksu tüneli kaya birimleri jeomekanik özellikleri.....	11
Tablo 4.2. Tünel seviyesindeki jeolojik birimlerin kaya sınıfları.....	13
Tablo 6.1. TBM teknik özellikleri.....	21
Tablo 10.1. Leica TCA 1100 teknik özellikleri.....	50
Tablo 10.2. Lazer teknik özellikleri.....	50
Tablo 10.3. Güç kaynağı ve data transfer cihazı teknik özellikleri.....	54
Tablo 11.1. TBM performansı.....	63
Tablo 12.1. Disklerin merkeze uzaklıkları ve duruş açıları.....	68
Tablo 12.2. Keski sarfiyatları ve keski maliyeti.....	77
Tablo 13.1. Arıza Grupları.....	78
Tablo 13.2. TBM'den kaynaklanmayan duraklamalar.....	79
Tablo 13.3. Kesici kafa ve kalkan arızaları frekansları ve duraklama süreleri...	80
Tablo 13.4. Keski arızaları frekansları ve duraklama süreleri.....	82
Tablo 13.5. Back-up sistem arızaları frekansları ve duraklama süreleri.....	83
Tablo 13.6. TBM'den kaynaklanmayan duraklamaların frekansları ve süreleri..	85
Tablo 13.7. Arıza ve Duraklamaların Frekanslarına Göre Büyükten Küçüğe Doğru Sıralanması.....	87
Tablo 13.8. Arıza ve Duraklamaların Çalışılan Süre İçindeki Yüzdelerine Göre Büyükten Küçüğe Doğru Sıralanması.....	88

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Tarabya atıksu tüneli bulduru haritası.....	3
Şekil 2.2 : Tarabya atıksu tüneli nihai kesiti.....	3
Şekil 3.1 : Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	7
Şekil 3.2 : Tünelin geçmesi beklenen jeolojik birimlerin dağılımı.....	9
Şekil 5.1 : Proje organizasyonu.....	17
Şekil 6.1 : TBM çalışma düzeni.....	19
Şekil 6.2 : Tarabya atık su tüneline kullanılan tünel açma makinesi.....	20
Şekil 6.3 : Tünel açma makinesinin kesici kafası.....	20
Şekil 7.1 : Disk keski ile kaya kazısında oluşan kırılma zonu ve köprü.....	25
Şekil 7.2 : Spesifik enerji s/d oranı arasındaki ilişki.....	27
Şekil 7.3 : TBM ile kazıda aynada oluşan tipik keski izleri.....	28
Şekil 8.1 : TBM kesici kafası.....	30
Şekil 8.2 : TBM kalkanı.....	30
Şekil 8.3 : Şaft tabanında kesici kafa.....	31
Şekil 8.4 : Kesici kafa ve kalkan montajı bitmiş hali.....	32
Şekil 8.5 : TBM’i çekmek için kurulan calaskar düzeneği.....	32
Şekil 8.6 : Hidrolik pistonlarla TBM itilmesi.....	33
Şekil 8.7 : Taban donatıları ve çelik bağın ayakları.....	34
Şekil 8.8 : Taban betonlama ve çelik bağ yapıldıktan sonra ki durum.....	34
Şekil 8.9 : İndirilen bir back-up ünitesi.....	35
Şekil 8.10 : İnsan gücüyle back-up ünitesinin ilerletilmesi.....	35
Şekil 8.11 : Portal içinde back-up üniteleri.....	36
Şekil 8.12 : Back-up ünitesi içerisinde lokomotifin gideceği raylar ve segment vinci.....	36
Şekil 8.13 : TBM montajı sırasında yapılan işlerin yüzde dağılımları.....	37
Şekil 9.1 : Segmentlerin oluşturduğu ring.....	39
Şekil 9.2 : A,B ve C model için segment kalıbı.....	40
Şekil 9.3 : Çıkan havanın oluşturduğu pürüzlü segment yüzeyi.....	42
Şekil 9.4 : Kalıptan çıkarılmaya hazır segmentler.....	42
Şekil 9.5 : Segmentin vakumlu tutucusu olan vinç ile kalıptan çıkarılışı.....	42
Şekil 9.6 : Erektörün segment yerleştirilmesi.....	43
Şekil 9.7 : Dönüş durumuna göre inşa edilebilecek ring tipleri.....	45
Şekil 9.8 : TBM sağa ve sol kurb dönüşündeki segment yerleşim planı.....	46
Şekil 10.1 : Ölçme sistemi şematik gösterimi.....	48
Şekil 10.2 : Leica TCA 1100.....	49
Şekil 10.3 : ELS (Lazer Hedef Tahtası).....	51
Şekil 10.4 : Lazer geliş açısı.....	51
Şekil 10.5 : TBM’in yuvarlanması.....	52
Şekil 10.6 : TBM’in düşey yönde hareketi.....	52
Şekil 10.7 : Güç kaynağı ve data transfer cihazı.....	53

Şekil 10.8	: Tünel ilerleme yazılımı ekran görünümü.....	55
Şekil 10.9	: TBM ölçme sistemi plan görünüş.....	57
Şekil 11.1	: S13-S10 şaftları arası tünelin plan görünüşü.....	61
Şekil 11.2	: Tünel metrajına göre TBM performansı.....	62
Şekil 11.3	: S13 – S11 şaftları arası makineden faydalanma.....	64
Şekil 11.4	: S11 – S10 şaftları arası makineden faydalanma.....	64
Şekil 11.5	: S13 – S10 şaftları arası makineden faydalanma.....	65
Şekil 11.6	: S11-S10 şaftları arasında makineden faydalanma oranı ortalama ilerleme arasındaki ilişki.....	66
Şekil 12.1	: Tarabya atıksu tünelinde kullanılan TBM’in Kesici Kafası.....	67
Şekil 12.2	: Köşe keskinin pozisyonu.....	68
Şekil 12.3	: Disk keski kesiti.....	69
Şekil 12.4	: Yatağı bloke olmuş ve aşınmış bir disk keski.....	70
Şekil 12.5	: Ayna ve köşe keskinin sabitleme sistemi.....	72
Şekil 12.6	: Orta keskinin sabitleme sistemi.....	73
Şekil 12.7	: Civatası kırılmış kep.....	73
Şekil 12.8	: S11 şaftında kesici kafada yapılan revizyon.....	75
Şekil 12.9	: Disk keski sarfiyatı.....	77



TARABYA ATIKSU TÜNELİNDE KULLANILAN TAM CEPHELİ TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN S13 – S10 ŞAFTLARI ARASINDAKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu alışmada, İSKİ tarafından yaptırılan Tarabya atıksu tünelinde kullanılan tam cepheli tünel açma makinesinin (TBM) performansı incelenmiştir. İlk olarak proje tanıtımı, proje kapsamındaki işler, tünel açılacak bölgenin jeolojisi verilmiştir. Tam cepheli tünel açma makinesinin teknik özellikleri, tahkimat sistemi ve lme sistemi detaylı olarak anlatılmıştır.

TBM'in montaj aşamasında yapılan işler ve bunların montaj süresi içindeki yüzde dağılımları yerinde yapılan gözlemlerle bulunmuştur. TBM şaft başına getirildikten 30 gün sonra kazıya hazır hale getirilmiştir. TBM montaj süresi benzer çaptaki makinelerden daha fazla olmuştur.

TBM kesici kafasında S11 şaftında revizyon yapılmıştır. Bu yüzden TBM performansı S13-S11 ve S11-S10 şaftları olmak üzere 2 kısımda incelenmiştir. Makineden faydalanma oranı S13-S11 şaftları arası %28 ve ortalama ilerleme 0,32 m/saat olarak gerçekleşmiştir. S11-S10 şaftları arasında makine performansında artış olmuştur ve makineden faydalanma oranı %35 ve ortalama ilerleme 0,51 m/saat olarak gerçekleşmiştir.

Ortalama Vardiya ilerlemesi revizyon öncesinde 2,43 m, iken revizyon sonrasında %69 artış göstererek 4,11 m olmuştur. Ortalama aylık ilerleme revizyon öncesinde 221,1 m, revizyondan sonra %40 artarak 309,42 m olarak gerçekleşmiştir.

Disk keskilerde karşılaşılan problemler incelenmiştir. 1,2,3,4 nolu keskilerin yataklanmaları ve 18 nolu keskide sürekli sorunlar yaşanmıştır. S11 şaftında yapılan revizyon ile 1,2,3,4 nolu keskilerin yatakları değiştirilmiştir. 18 nolu keskideki sorun içinde yatak mukavemeti daha yüksek keskiler kullanılarak kısmende olsa sorun çözülmüştür.

TBM alışması sırasında karşılaşılan her türlü arıza ve duraklama nedenleri gruplandırılmıştır. Revizyon ncesi ve sonrasındaki çalışma için arızaların frekansları ve çalışma süresi içinde kapladıkları süreler karşılaştırılmıştır. Organizasyon yetersizlikleri TBM performansını olumsuz yönde etkilemiştir. S11 şaftının işletme şaftı yapılmaması S11-S10 şaftları arasında çalışılan sürenin %11'inin vagon beklemek için harcanmasına neden olmuştur.

Karşılaşılan arızalardan TBM dizaynında dikkat edilmesi gereken noktalar anlaşılmaktadır. TBM satın alınırken kesici kafa dizaynı ve disk keskilerin yataklanması, segment vincinin özellikleri ve lme sistemi için varsa bilgisayarın konumuna özellikle dikkat etmek TBM kullanımında karşılaşılacak sorunların minimum olması için gereklidir. Ayrıca organizasyon ve planlamanın çok iyi yapılması için maliyeti ve hızı açısından çok önemlidir.

TBM PERFORMANCE ANALYSIS BETWEEN SHAFTS S13 - S10 IN TARABYA SEWERAGE TUNNEL

SUMMARY

In this study, the performance of a tunnel boring machine (TBM) which is used in Tarabya sewerage tunnel project is analyzed. General directorate of Istanbul Water and Sewerage Administration is the owner of the project. Firstly, some details on sewerage project, tunnel layout and geology of the region is given. Later, technical data of the TBM, support system and surveying system are given in detail.

TBM assembly labors are recorded during site observations. TBM is ready to bore after 30 days of arrival to site. Assembly time of TBM is longer than similar size TBMs.

The cutterhead was overhauled in shaft S11. Therefore performance of TBM analyzed in 2 sections as shafts S13-S11 and S11-S10. Machine utilisation and advance rate in S13-S11 are %28 and 0,32 m/h. After overhauling the TBM, performance is increased as machine utilisation %28 and advance rate 0,51 m/h.

Before the overhaul the average shift advance and average monthly advance are 2,43 m and 221,1m. After the overhaul they are increased %69 (4,11 m) and %40 (309,42 m) respectively.

Most important problems faced with disc cutters are center cutter mounts and cutter number 18. In shaft S11 cutterhead overhauled and center cutter mounts are changed. The problem on cutter number 18 is frequent bearing failure, to overcome this problem heavy duty (bearing capacity is %50 more than the original cutters) disc cutters are used.

Downtime and breakdown causes are grouped for analysis. Frequencies and durations of the causes are compared for shafts S13-S11 and S11-S10. Organization insufficiency effected TBM performance negatively. In shafts S11-S10 train delay had the %11 of working time because shaft S11 was not used for wagon dumping.

Breakdown causes implies the important TBM design points. Cutterhead design, cutter mounts, segment crane and place of the surveying system computer are important design parameters that effected TBM performance. Organization and planning are the other key points for the economics of a project that uses TBM.

1. GİRİŞ

Şehirleşmenin ve nüfus yoğunluğunun giderek arttığı kentlerde enerji, alt yapı ve ulaşım ağları zamanında planlanıp inşa edilmelidir. Yerleşim bölgelerinde yeraltı yapılarının önemi giderek artmaktadır. Yapıların bulunduğu yerlerde yeraltı kazıları çevreye minimum derecede rahatsızlık verecek şekilde olmak zorundadır. Yüksek teknoloji ürünü tünel açma makineleri bu ihtiyaçları karşıladığı için gelişimi ve kullanımı hızla artmış ve giderekde artmaktadır.

Tarabya atıksu projesinde yerleşimin yoğun olduğu İstanbul boğazında bulunmaktadır. Atıksu tünelinin uzunluğu ve yapıların bulunması tünel açma makinesi kullanımını zorunlu kılmıştır.

Tarabya atıksu tüneline kullanılan tünel açma makinesinin performansının incelenmesi ülkemizde çok az uygulaması olmuş bu kazı sistemi hakkında bilgi birikiminin artması bakımından çok önemlidir. Tünel açma makinesinin performansını inceleyerek mevcut çalışma şartlarının daha ekonomik ve hızlı olması sağlanabilir. Ayrıca edinilen bilgi birikimi gelecekteki projelere yönelik performans tahmini yapmak için kullanılabilir.

2. PROJENİN TANITIMI

2.1 Giriş

Bu projenin amacı, Rumeli Kavağı - Çayırbaşı arasındaki 1200 mm çaplı kuşaklama kollektöründe toplanan atıksuyu, Tarabya, Yeniköy ve İstinye bölgelerinde toplananlarla birlikte Baltalimanı Arıtma Tesisine aktarmaktır. Şekil 2.1 de Tarabya atıksu tüneli bulduru haritası verilmiştir.

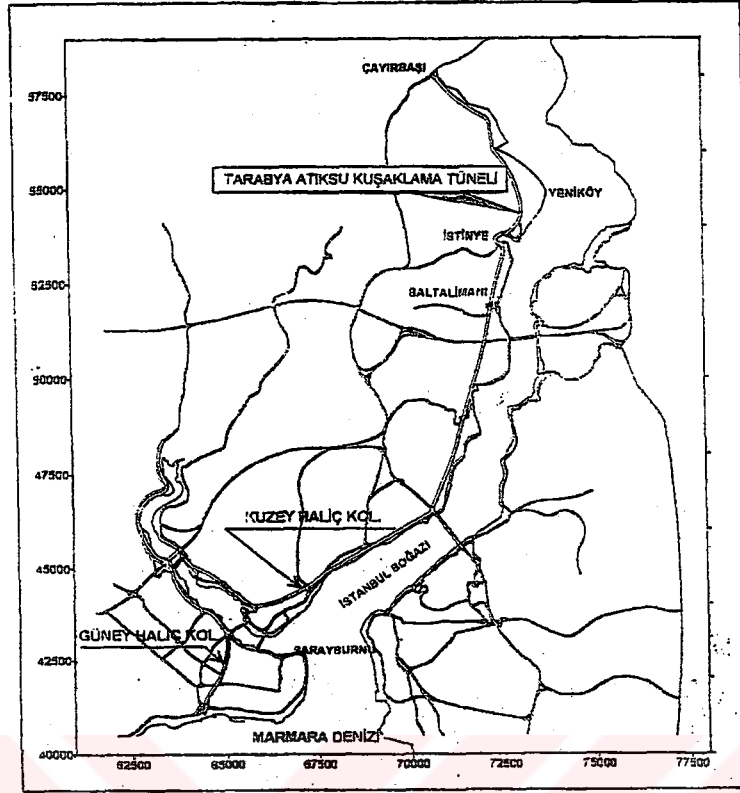
Ana kollektör tünel Çayırbaşı – Baltalimanı arasında 2000 mm çapında ve toplam 8847 m uzunluğundadır. Proje ana kollektör güzergahında 14 adet ana şaft ve 6 adet 1200 / 1800 mm boyutunda yumurta kesitli bağlantı tüneli ve şaftında kapsamaktadır. Şekil 2.2’de Tarabya atıksu tüneli nihai kesiti görülmektedir.

Ana kollektör tünelin Çayırbaşı’ndaki girişinde – 4,57 m olan akar kotu, Baltalimanı’ndaki çıkışında - 9,52 m’ ye düşmektedir. Ortalama tünel eğimi % 0,06 (onbinde altı) 'dır [1].

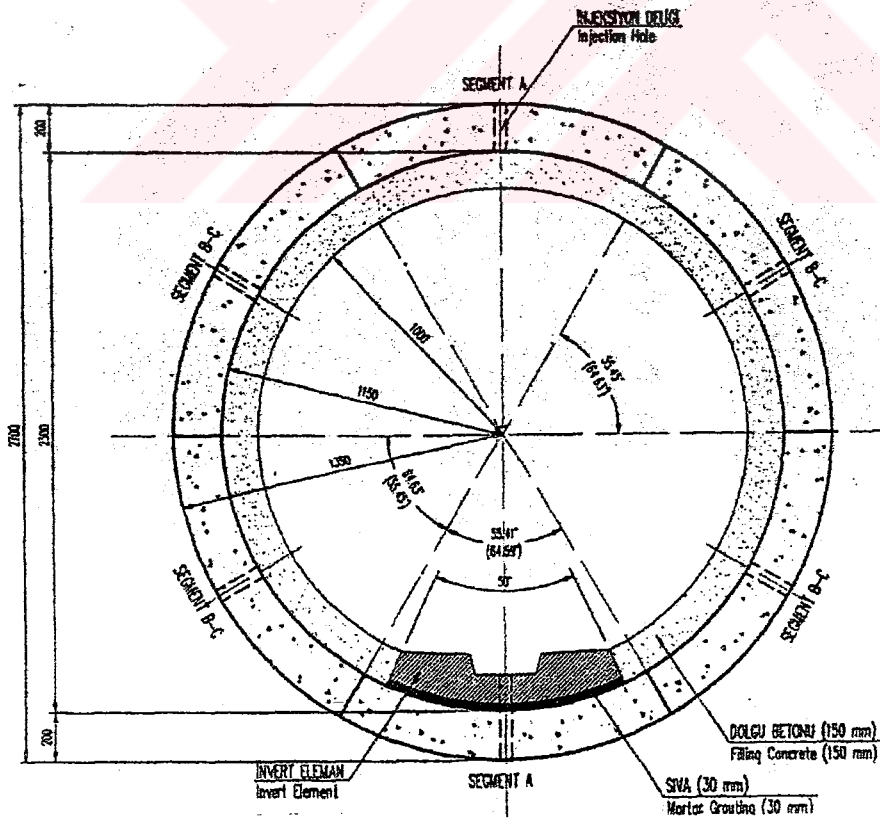
Tarabya atıksu tünelinin tamamlanması ile İstinye, Tarabya ve Büyükdere koylarındaki aşırı deniz kirliliğinin daha fazla artmaması ve zaman içerisinde kirliliğin azalması beklenmektedir.

Çayırbaşı - Tarabya - İstinye - Baltalimanı güzergahında açılacak olan 8595 m’lik tünele gelecek debiler ile tünel kapasiteleri aşağıda verilmiştir.

Çayırbaşı,	Gelecek debi : 1,180 m ³ / s
	Tünel kapasitesi : 2,297 m ³ / s
Tarabya,	Gelecek debi : 1,680 m ³ / s
	Tünel kapasitesi : 2,600 m ³ / s
İstinye,	Gelecek debi : 2,430 m ³ / s
	Tünel kapasitesi : 3,100 m ³ / s



Şekil 2.1 Tarabya atıksu tüneli bulduru haritası [1]



Şekil 2.2 Tarabya atıksu tüneli nihai kesiti [3]

Atıksu Tüneli; Çayırbaşı -Büyükdere, Tarabya sırtı, Tarabya vadisi, Yeniköy-İstinye sırtları, İstinye vadisi, Emirgan ve Boyacıköy'den geçerek Baltalimanı deresinde son bulmaktadır.

Tünel güzergahının geçtiği arazi oldukça engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Güzergah üzerinde en düşük arazi kotu +1,05 m (Tarabya Koyu), en yükseği ise +81.00 m'dir (Fundalık Tepe mevki). Tünel, 9 tepe ve 10 adet büyük vadiden geçmektedir [1].

2.2 Proje Kapsamındaki İşler

İSKİ ve Yüklenici firma arasında yapılan sözleşme ile yapılacak iş, Tarabya atıksu tünel ve kollektörleri, branşman tünelleri, tüm şaflar ve sahil toplayıcı boru hatları inşaatı ile birlikte projelerinin tanzimi, inşaatının yürütülmesi, tamamlanması ve işletmeye alınmasını ve 12 ay süre ile bakımlarının yapılmasını kapsamaktadır. Proje kapsamındaki işlerin ana bölümleri aşağıda verilmiştir.

- 2000 mm iç çapında, 8595 m uzunluğundaki Tarabya atıksu tüneli,
- 9 m dış çapında, 14 adet tünel şaftı,
- 5,5 m dış çapında, 8 adet branşman tünel şaftı,
- Toplam 958 m uzunluğunda 1800/1200 mm ebadında yumurta kesitli branşman tüneli,
- 108 m uzunluğunda Kireçburnu branşman tüneli,
- 155 m uzunluğunda Kalender branşman tüneli,
- 86 ve 74 m uzunluklarında Yeniköy branşman tünelleri,
- 95 ve 63 m uzunluklarında Emirgan branşman tünelleri,
- 377 m uzunluğunda Rumelihisarı branşman tüneli,
- 300 – 2000 mm çaplar arasında değişen, toplam 9493 m sahil toplayıcı boru hatları,
- Sahil toplayıcı hatlarında toplam 233 adet muayene bacası,
- 200 mm iç çaplı, toplam 6650 m uzunluğunda parsel bağlantı hakları ve 950 adet parsel bacası inşaat işleri proje kapsamındadır [2].

3. JEOLJİ

Tarabya Atıksu Kuşaklama Tüneli Ordovisiyen-Permokarbonifer (510-280 milyon yıl öncesi) arasında kesintisiz transgresif çökelme ortamını yansıtan ve literatürde İstanbul - Zonguldak Paleozoik istifı olarak isimlendirilen ve İstanbul Boğazının doğu ve batı yakalarının temel kaya istifinin içerisinde geçecektir.

İnceleme alanı, Paleozoik istifin kırıntılı tabanını örten kalın bir karbonat çökeli, şeyl, kumtaşı bunları kesen andezit, dolorit daykları, Neojen karasal çökelleri, alüvyon ve dolma zemin ile kaplıdır.

Paleozoik istifin kırıntılı tabanını uyumlu olarak örten karbonat istifı, gri mavimsi gri renkli bol fosilli, yer yer kuvars kumlu, killi bazı hallerde yumrulu ve bantlı bir kireçtaşı (Sd₁) ile temsil edilmektedir. Birim Üst Silüriyen – Alt Devoniyen (385 – 400 milyon yıl öncesi) yaşlıdır. Resif çekirdeği ve resif önü çökel ortamını temsil eden bu istif Dolayoba Formasyonu olarak isimlendirilir. Bu birim İstinye koyunun kuzeyi ile Yeniköy deresinin güney kesiminde kalan bölgede mostra vermektedir.

Dolayoba Formasyonunu ince tabakalı laminalı kireçtaşı ara seviyeli bol fosilli şeyl ve koyu mavimsi gri renkli ince şeyl aratabakalı kireçtaşları (D₂₋₃) örtmektedir. Bu birim Orta Devoniyen (375 - 385 milyon yıl öncesi) yaşlıdır. Güzergah üzerinde Yeniköy deresinin kuzey - kuzeydoğusundan başlayarak sahil boyunca Tarabya deresine kadar devam eder ve Tarabya üstü mevkinde yayılımı biter.

Bu istifin üzerine ise, yine uyumlu olarak Üst Devoniyen (365 - 375 milyon yıl öncesi) yaşlı yumrulu (bademli) kireçtaşları (D₄) gelmektedir. Üst Devoniyen yaşlı yumrulu kireçtaşları Tuzla Formasyonu olarak isimlendirilir. Bu birimin mostralarını Baltalimanı deresi - İstinye vadisi arasında sahil boyunda ve Kefeliköy deresinin güneydoğusunda (TAR-29 nolu sondajın doğusu) görmek mümkündür [1].

Devoniyen kireçtaşı ve şeylleri uyumlu olarak Karbonifer (290-365 milyon yıl öncesi) yaşlı, derin denizel nitelikli, şeyl ara seviyeli, fosfat yumrulu radiolaritli

çörtler (K_1), ve bunları da İstanbul Grovakları veya Trakya Formasyonu (K_2) olarak isimlendirilen istif örtmektedir. Trakya formasyonunun yayılımı tünel giriş ağzından başlar, Tarabya üstü mevkinin kuzeyinde sona erer.

Grovak (Kumtaşı) - Silttaşı - Kiltası aralanmalarından oluşan Trakya Formasyonu kalın bir türbiditik istifin çökelleridir. Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu ile İstanbul Paleozoik istifi çökelimini tamamlamıştır. Bölge Paleozoik'in son dönemi Permien'de (245 - 290 milyon yıl öncesi) yükselerek aşınma rejimi altında kalmıştır.

İstanbul Boğazının batı yakasında Paleozoik istifin üzerinde; yamalar halinde Pliyo-Kuvaterner yaşlı gevşek çimentolu karasal çakıl – kum – silt - kil çökelleri, genç deniz sedimanları, alüvyon çökelleri ve yapay dolgular bulunmaktadır. Paleozoik istif, çeşitli kalınlıklarda değişen Üst Kretase yaşlı (65 - 90 milyon yıl öncesi) andezit ve/veya dolorit/diyabaz daykları ile kesilmektedir [1]. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil. 3.1'de görülmektedir.

Paleozoik yaşlı bu tortul seriler önce Hersinyen orojenez (dağ oluşumu) döneminde (yaklaşık 250 milyon yıl önce) şiddetle deforme olmuşlar kıvrılmış, kırılmış, yer yer kaymış ve dilimler halinde birbiri üzerine bindirmişlerdir. Paleozoik temel Alpin orojenez döneminde (yaklaşık 80 -100 milyon yıl önce) tekrar farklı yönlelerde kıvrılmış ve kırılmıştır.

Bu şiddetli deformasyonların sonucu olarak, arazi mostralarında; eğik, devrik, yatık konumlu ve çok farklı doğrultu - eğimli tabakalar, süreksizlikler (faylar); 3 - 4 farklı yönde düzenli-düzensiz çatlak setleri ve ezik zonlar görmek mümkündür.

Tarabya Atıksu Kuşaklama Tüneli; yukarıda genel jeolojisi özetlenen istifin; Üst Silüriyen – Devoniyen yaşlı kireçtaşı – şeylleri, Karbonifer yaşlı çört, kumtaşı şeylleri, genç alüvyon, çökelleri, genç deniz sedimanları ve yer yer dolma zeminlerin içerisinde geçecektir.[1]

3.1 Sondaj Çalışmaları

Zemin ve kayanın durumunu ve karakteristiklerini tespit etmek üzere, inşa edilecek tünel güzergahı boyunca, derinlikleri 11 m. ile 86 m. arasında değişen toplam 1059 m. etüd sondajı yapılmıştır. Sondajlar 08.10.1997 – 15.01.1998 tarihleri arasında,

		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Senozoyik	Pliyo- Ku- vaterner	Al	Bitkisel Toprak- Dolma Zemin Altıvyon Çakıl, kum, silt, kil
	Kuva- terner	Plq	Çakıl, kum, silt, kil
Paleozoyik	Alt Karbonifer	K ₂	Kumtaşı, silttaşı, kiltası
		K ₁	Fosfat Yumrulu çört-şeyl
	Devoniyen	D ₄	Yumrulu Kireçtaşı; Eliptik şekilli, kireçtaşı yumruları ve bunları çevreleyen kiltası, şeyl bantları
		D ₂₋₃	Fosilli Şeyl; İnce tabakalı kireçtaşı-kumlu kireçtaşı ara seviyeli, bol fosilli, kiltası, silttaşı, kumtaşı, kıvrımlı, bol çatlaklı
		Sd ₂	Fosilli Resifal Kireçtaşı; Gri-mavimsi gri renkli, bol fosilli, yer yer kuvars kumlu, killi, üst seviyeleri yumrulu, ve bantlı kireçtaşı
	Üst Silüryen	OS ₁	Laminall Şeyl; Beyazımsı uçuk pembe renkli, yer yer şeyl ara tabakalı kuvarsitlerden oluşmaktadır.
	Ordovisiyen	O ₂₋₃	Kuvarsit – Şeyl; İnce-orta taneli, kuvars damarlı, bol çatlaklı

Şekil 3.1 Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [1]

rotary sondaj tekniği ile Crealius D-750 marka sondaj makinalarıyla yapılmıştır. Güzergah üzerindeki sondajların birbirlerine olan mesafeleri 45,47 m. – 673,86 m. arasında değişmektedir. Tünel eksenindeki mekanik sondajlardan derlenmiş bilgiler Tablo 3.1 'de verilmiştir. Sondajlarda 174 m. zemin, 885 m. kaya geçilmiştir. Jeolojik birimlerdeki toplam karot boyları;

Kireçtaşı : 570,95 m
 Kıltaşı-Silttaşı : 171,85 m
 Kumtaşı – Silttaşı : 55,00 m
 Mağmatik Sokulum : 87,20 m'dir.

Tablo 3.1 Tünel Güzergahındaki Sondajların Derlenmiş Toplu Sonuçları [1]

Kesim	Uzunluk (m)	Sondaj No	Tünel Ekseninde Geçilen Birimler	Örtü Kalınlığı (m)	Y.A.S.D (m)
Çayırbaşı - Tarabya Koyu	2152,30	TAR-34	Kumtaşı-Şeyl	6,40	3,30
		TAR-33	Kumtaşı-Şeyl	15,38	7,55
		TAR-30	Dolorit - Kireçtaşı (D4)	14,62	5,30
		TAR-29	Kireçtaşı (D4)	39,83	9,35
		TAR-23	Kireçtaşı (D4)	78,54	29,10
		TAR-27	Kireçtaşı (D4)	63,20	23,30
Tarabya Koyu	138,60	TAR-25	Dolma Zemin	3,71	0,95
		TAR-25	Az kabuklu Çakıllı Kum	4,54	1,35
Tarabya Koyu - İstinye Koyu	3630,90	TAR-24	Kireçtaşı	38,83	17,70
		TAR-23	Kireçtaşı	53,69	20,85
		TAR-22	Kireçtaşı	15,00	6,85
		TAR-19	Şeyl	18,06	13,50
		FAR-13	Şeyi	48,61	19,90
		TAR-17	Kireçtaşı	14,41	2,85
		TAR-15	Dolorit	26,71	5,85
		TAR-14	Kireçtaşı	15,34	0,65
İstinye Koyu	500,20	TAR-13	Kireçtaşı	55,58	15,00
		TAR-12	Kireçtaşı	8,04	1,95
		TAR-11	Kireçtaşı	8,67	1,85
		TAR-10	Dolma Zemin + Az Killi Çakıllı Kum	7,77	1,05
		TAR-9	Çakıllı Kil + Silttaşı	9,37	2,80

Tablo 3.1 Tünel Güzergahındaki Sondajların Derlenmiş Toplu Sonuçları (Devam)

Kesim	Uzunluk (m)	Sondaj No	Tünel Ekseninde Geçilen Birimler	Örtü Kalınlığı (m)	Yeraltı Su Derinliği (m)
İstinye Koyu - Baltalimanı	1946,00	TAR-8	Kireçtaşı	50,90	18,20
		TAR-6	Kireçtaşı	13,90	3,95
		TAR-4	Kireçtaşı	13,71	3,85
		TAR-3	Kireçtaşı	39,07	8,20
		TAR-2A	Kireçtaşı	45,50	9,15
		TAR-2	Dolorit	42,71	1,60
		TAR-1	Dolorit + Kireçtaşı	15,42	3,50

3.2 Sondaj Çalışmaları Derlenmiş Sonuçlar

Yapılan sondajlar ve arazi çalışmaları sonucunda; Tarabya atıksu tünelinin 390 metresinin zemin ve/veya yapay doldu içerisinden kalan 7979 metresinin ise ana kaya içerisinden geçeceği beklenmektedir. Şekil 3.2’de tünelin geçmesinin beklendiği jeolojik birimlerin dağılımı görülmektedir.

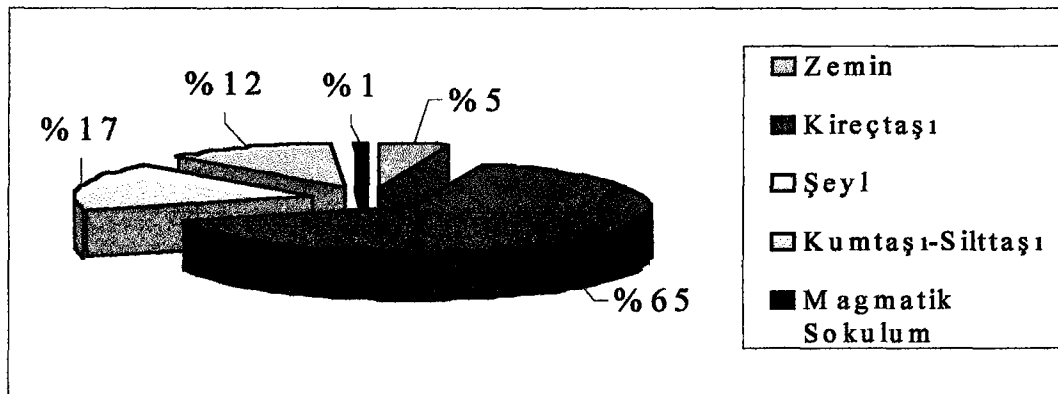
Ana kaya içerisinden geçilecek kesimlerin jeolojik birimlere göre dağılımı aşağıda verilmiştir [1].

Kireçtaşı : 5484 m

Şeyl : 1440 m

Kumtaşı-Silttaşı : 980 m

Magmatik sokulum : 75 m



Şekil 3.2 Tünelin geçmesinin beklendiği jeolojik birimlerin dağılımı [1]

4. GÜZERGAHIN TÛNEL MÛHENDİSLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Genel

8595 m uzunluğundaki Tarabya atıksu tûnelinin açımı ve işletimi sırasında karşılaşılabilecek jeoteknik sorunların önceden kestirilmesi ve geçilecek güzergahın jeolojisi ile jeomekanik davranışlarının önceden anlaşılması projelendirme aşamasının temel hedeflerindendir.

Bu bakımdan mevcut sondaj çalışmaları ve laboratuvar deneylerinden elde edilen başlıca sonuçlar, bu bölümde tûnel mûhendisliği, yeraltı kazı ve imalatı açısından yorumlanmaktadır. Tablo 4.1’de Tarabya atıksu tûneli kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri verilmiştir.

Değerlendirmeyi yönlendiren konuların başında, bu uzunluktaki bir tûnelin açım tekniğinin belirlenmesi gelmektedir. Bu karar, makinalı tam kesit kazı veya her şafttan ve koşullara göre şaftlar arasındaki tûnel parçalarının ayrı ayrı, fakat eş zamanlı olarak alışılacelmiş kazı teknikleri ile imalatı gibi, çok değişik çalışma düzenlerinin seçimini gerektirmektedir.

Kazılabilirlik, stabilitenin sağlanması ve alt-üst yapı yerleşimleri ile karşılıklı etkileşimin yanısıra; trafik düzenlemeleri - çevresel kirlenme (toz-gürültü ve dağınık şantiye yerleşimleri gibi) ve herşeyden önemlisi, imalat kalitesi, zaman kullanımı ve denetlenebilirlik bakımından çok farklı olabilen söz konusu kazı tekniklerinden hangisine karar verileceği çok önemli bir tercih aşamasıdır.

2000 mm çaplı bir tûnelde aralarda şaftlar bulunsa dahi, geçilen uzunluklar nedeniyle, makinalı kazı dahil her türlü açım tekniği için, başta nakliye ve havalandırma olmak üzere çok sıkıntılı bir çalışma ortamı yaratması, bu nedenle de imalat hızını azaltması ve gereksiz maliyet artışlarına neden olması beklenmelidir. Çapın 2400 - 2800 mm’ye çıkarılması durumunda bu sakınca büyük ölçüde

Tablo 4.1 Tarabya Atıksu Tüneli Kaya Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri (Maksimum ve minimum değerler) [1]

Karşılaşılabilecek Kaya Birimleri	Birim Hacim Ağırlık γ_n , g/cm ³	Su Emme Oranı (%)	Porozite (%)	Eşdeğer Permeabilite k, m/s	Tek Eksenli Basınç Direnci U _c , Mpa	Elastisite Modülü E, Mpa x 10 ³	Poisson Oranı	Çekme Gerilmesi σ_t kg/cm ²	Üç Eksenli Basınç Direnci	
									C Mpa	ϕ°
Kireçtaşı	2,643	0,555	1,216	8,9155 x 10 ⁻⁷	43,50	8,75	0,20	38	10,00	19
	2,750	1,150	2,903	7,9165 x 10 ⁻⁶	81,20	15,29	0,25	45	23,34	54
Andezit – Dolorit	2,642	0,593	1,602	1,4605 x 10 ⁻⁶	31,70	6,47	0,21	26	-	-
	2,833	1,439	3,882	7,3471 x 10 ⁻⁶	40,10	7,23	0,25	84	-	-
Şeyl	2,512	3,545	8,830	2,4670 x 10 ⁻⁶	55,40	9,08	0,25	24,3	-	-
	2,677	5,525	12,505		58,90	9,98	0,26		-	-
Silttaşı (Trakya Formasyonu)	2,669	1,116	1,964	2,2786 x 10 ⁻⁶	58,60	-	-	-	-	-

giderilebilecektir. Ancak bu takdirde tünelin hidrolik etüdünün yeniden irdelenmesinde yarar vardır [1].

Genel olarak; bölgede denize yakın vadi-koy geçişlerinde zemin (doğal-yapay dolgu) veya ana kaya olarak adlandırdığımız, az veya çok çatlaklı, kırıklı, faylı, kıvrımlı kireçtaşı, şeyl, kumtaşı-kiltaşı, yer yer andezit ve diyabaz daykları ile kesilmiş ortamlar geçilecektir.

4.2 Stabilite

Zamanında ve nitelikli önlemler alınması koşuluyla ana kaya içinde yerel faylı zonlar dışında önemli bir stabilite sorunu ile karşılaşılması beklenmemektedir. Sağlam (aynışmamış) kaya içerisinde ilerlenirken önemli miktarda aşırı sökülme beklenmemektedir. Tünel çapı küçük olduğundan stabilitenin sağlanması ve iksalama kolay olacaktır. Ancak tünel anakaya - zemin sınırına yaklaştığı yerlerde, faylı zonlarda, özellikle andezit / dolorit dayk dokanaklarında ve kayacın ayrılmış zonlarında tünel tavan duraylılığı için özel önlemler gerekebilecektir.

Tünellerin stabilitesine ilişkin değerlendirme, toplam 40 cm'lik kaplama kalınlıklarını dikkate alan minimum 3200 mm'lik kazı açıklıkları için yapılmaya çalışılmıştır.

Şaftlar 6-8 m arasında değişen çapları ve 7,50 m ila 28,50 m arasında değişen derinlikleri ile önemli yapılar (zemin yapıları) grubuna girmektedir. Bu nedenle dikkatlice projelendirilmeleri gerekmektedir [1].

4.3 Su Geliri

Yeraltısu hareketleri kırık sistemleri, yerel fay ve dayklar ile ilintilidir. Tünel açımı sırasında silttaşı-kireçtaşı-dayk dokanakları ile çatlaklı-kırıklı zonlardan aşırı olmamakla birlikte 1-3 lt/dak 'lık su gelirleri olabilecektir [1].

4.4 Vadi Geçişlerinde Ön Sağlamaştırma-Geçirimsizlik Perdeleri

Örtü kalınlığının iyice azaldığı vadi geçişleri, suya doymun zemin özelliği taşıdığından, projede özel dikkat gösterilmesi gereken kesimlerdir. Yeraltı suyunun düşürülmesi oturmaları sebebiyet vereceği için bundan olabildiğince kaçınılmalıdır. Yeraltı suyunun düşebileceği yerlerde hem şaft açımı ve hem de tünel geçişlerinde ön sağlamaştırma ve geçirimsizlik perdesi gibi çözümler düşünülmelidir. Ön sağlamaştırma yapmak suretiyle kayada kullanılan kazı makinası ve kazı tekniğinin bu kesimlerde de kullanılması mümkün olabilecektir [1].

4.5 Kazılabilirlik

Tünel güzergahı kazılabilirlik açısından incelendiğinde; güzergah sondaj çalışmaları sırasında, delgi hızını ve karotiyer yıpranmasını önemli ve birbirinden çok farklı şekilde etkileyen ortam özellikleriyle karşılaşılacağından, ortam 40 - 110 MPa 'lık basınç direncine sahip kayalar kesilen bir makina ile geçilebilir. Makinanın kalkan korumalı olması daha ziyade iş ve işçi emniyeti açısından uygundur [1].

Tünel açma yönteminin seçiminde önemli olacak faktörler başlıca; tünel açımı için öngörülen süre, patlatma için yerel sınırlamalar ve yöntemin ekonomikliğidir.

Ortam, genelde korumalı patlatma ile kazıya çok yatkındır. Örtü kalınlığının 20 m 'den fazla olduğu kesimlerde başarıyla kullanılabilir. Ancak, bu takdirde aşırı sökülme ve kullanılacak beton miktarında artışlar beklenmelidir. Q sistemine (Barton) ve RMR'a (Bieniawski) göre beklenen kaya sınıfları tablo 4.2 de özetlenmiştir [1].

Tablo.4.2 Tünel seviyesindeki jeolojik birimlerin kaya sınıfları [1]

Formasyon	Q	RMR
Kireçtaşı	0,07 – 2,90	IV-V
Şeyl	0,005 – 0,1	V
Dolorit / Andezit	0,09 – 0,1	IV-V
Kumtaşı / Silttaşı	0,03 – 0,05	IV-V

4.6 Üst Yapı (Binalar) ve Alt Yapı Tesisleri ile olan Etkileşim

Tünel güzergahının büyük bir kesimi; yapılaşmanın yoğun veya orta yoğunlukta olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Bu kesimlerde özellikle örtü kalınlığının az olduğu yerlerde önemli yapılar ile bunların temel taban seviyeleri, kat adetleri vs. tespit edilerek oturma analizleri yapılmalı, ayrıca ölçme düzenekleri kurularak, inşaat sırasında sürekli deformasyon okumaları yapılmalıdır. Yine tünel ekseninin yüzeye yakın olduğu kesimlerde; alt yapı tesislerinin yerleri, derinlikleri tespit edilerek tünel ile etkileşimi araştırılmalı ve alınacak önlemler tespit edilmelidir.



5. PROJE ORGANİZASYONU

Tarabya atıksu tünel projesi Tinsa, Öztaş, Hazinedaroğlu ve Simelko şirketlerinin adi ortaklığı tarafından yapılmaktadır. Şirketlerin oluşturduğu icra kurulu proje müdürünü atamaktadır. Atanan proje müdürü şantiye organizasyonunu oluşturmalı, gereken mühendis, formen ve işçileri görevlendirmekle yükümlüdür. Organizasyon şeması şekil 5.1 de verilmiştir. Proje idari şartnamesine göre proje müdürü benzeri işleri kapsayan projelerde en az 10 yıllık yönetim deneyimine sahip olmalıdır. Projede çalışacak mühendis ve teknik elemanlarda en az 5 yıllık mesleki deneyim sahibi olmaları ve tercihen benzeri işlerde çalışmış olmaları gerekmektedir. İdari şartname istenen teknik personel minimum sayısı aşağıdaki gibidir :

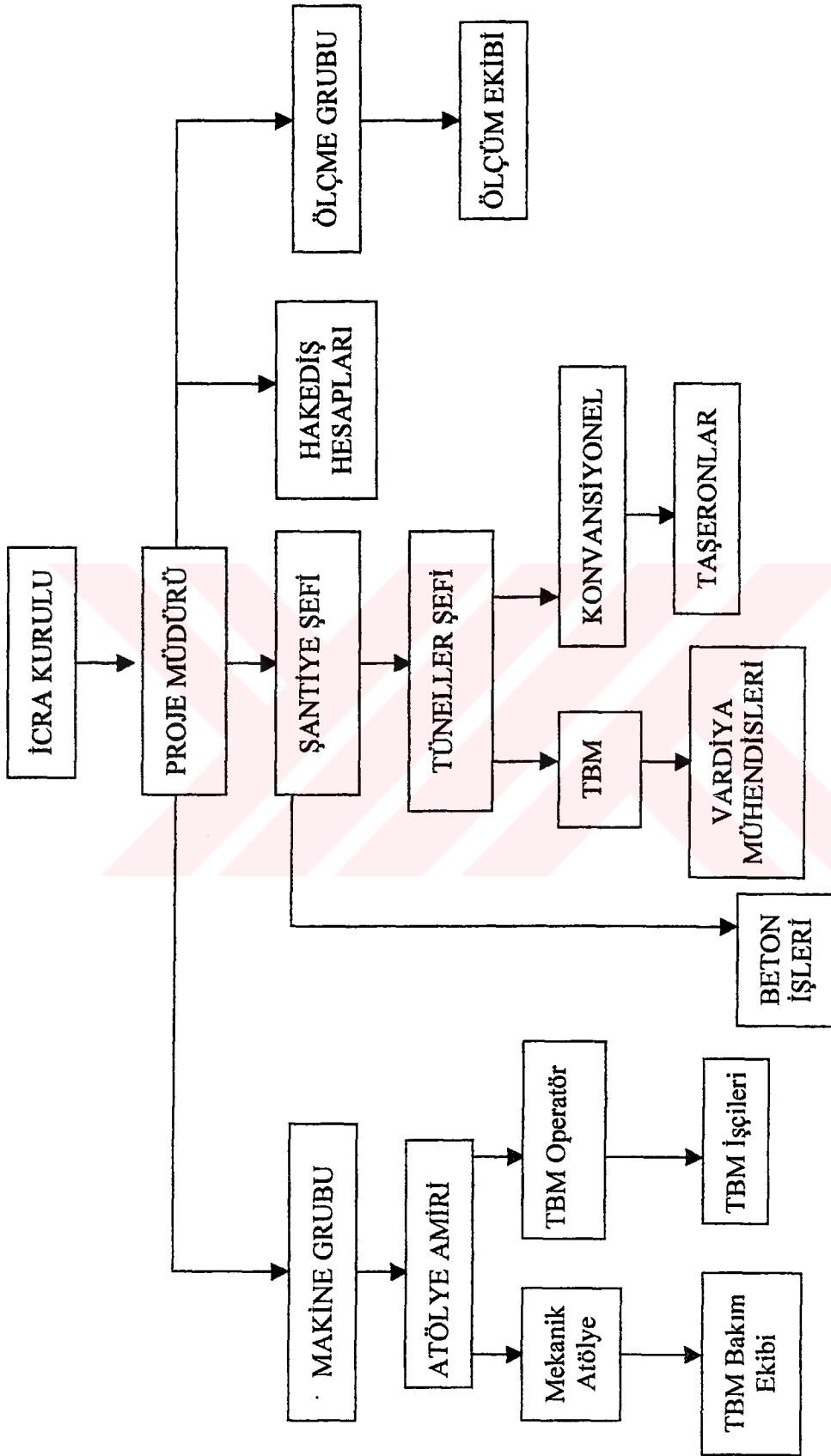
Proje Müdürü	: 1 kişi,
İnşaat Mühendisi	: 3 kişi,
Jeoloji Mühendisi	: 1 kişi,
Harita Mühendisi	: 1 kişi,
İnşaat Teknikeri	: 6 kişi,
Harita Teknikeri	: 2 kişi.

Proje kapsamında çalışan teknik elemanlar aşağıda verilmiştir.

Proje Müdürü	: İnşaat müh.
Hakediş Hesapları	: Maden müh.
Şantiye Şefi	: Maden müh.
Tüneller Şefi	: İnşaat müh.
Ölçme Grubu	: Harita müh., Topoğraf
Makina Grubu	: Elektrik müh., Makine teknikeri
TBM Vardiya Müh.	: Maden müh.
	Jeoloji müh.
	Jeofizik müh.

TBM çalışmasında kazı, pasa nakliyatı, segment montajı, ray, hava ve su hatlarının döşenmesi, bakım, arıza ve beton enjeksiyon işleri yapılmaktadır. Bir vardiyalık TBM çalışmasında toplam 19 kişi çalışmaktadır. Bu şekilde oluşturulmuş 3 çalışma grubu vardır. Vardiya 08:00 – 16:00, 16:00 – 24:00 ve 24:00 – 08:00 saatleri arası günde 3 vardiya çalışılmaktadır. Vardiyalarda çalışanların 15 günde bir çalıştıkları vardiya saatleri değişmektedir. Çalışanlar her 15 günde bir 32 saat istirahat etmektedir. TBM vardiyasında çalışanların dökümü aşağıda verilmiştir.

Vardiya mühendisi	1 kişi
Formen	1 kişi
TBM operatörü	1 kişi
Segment Montaj	2 kişi
Segment Vinç	1 kişi
Enjeksiyon	3 kişi
Şaft altı	2 kişi
Şaft üstü	2 kişi
Lokomotif	2 kişi
Tamir Bakım	2 kişi
Elektrikçi	1 kişi
Kaynakçı	1 kişi



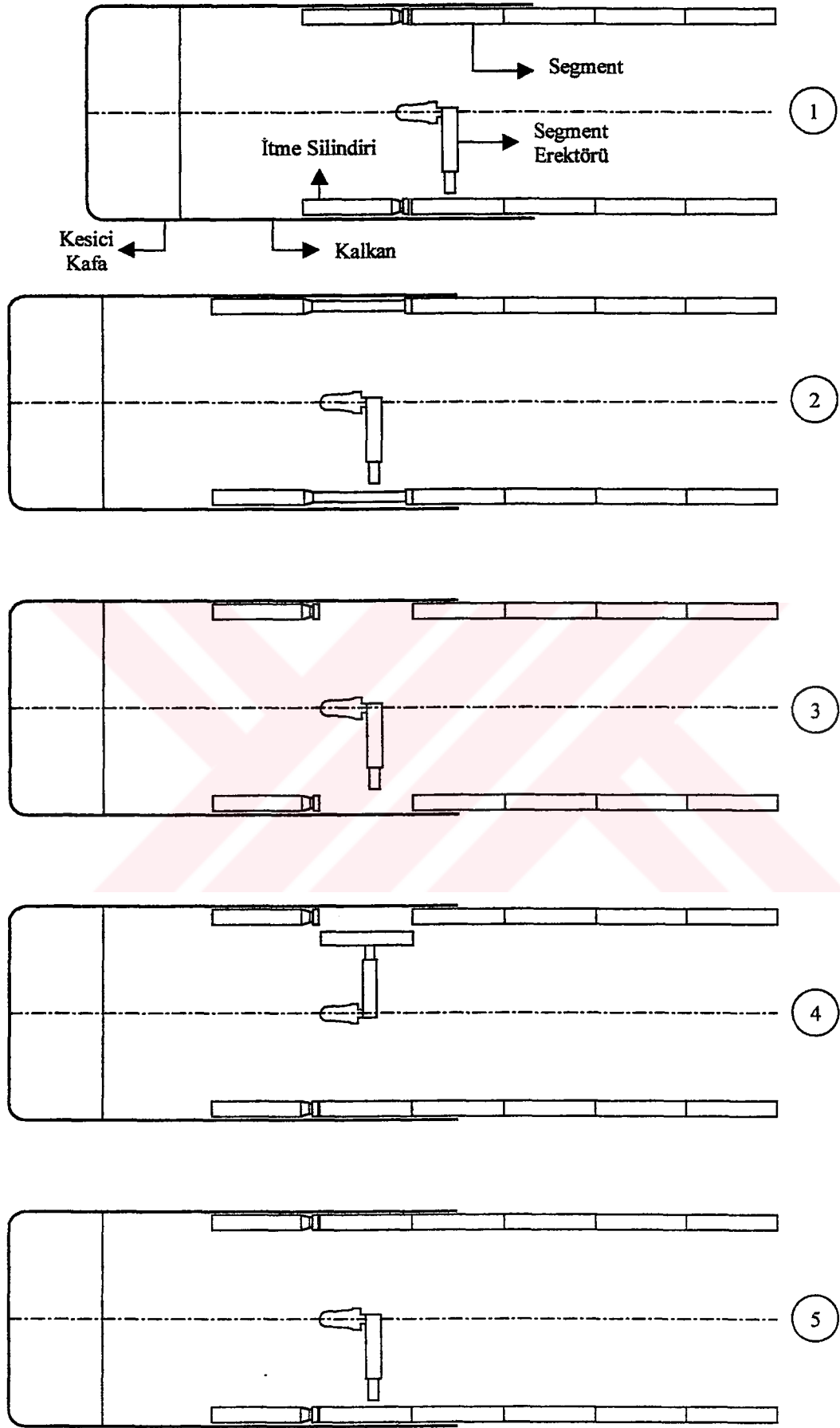
Şekil 5.1 Proje organizasyonu

6. TÜNEL AÇMA MAKİNESİ ÖZELLİKLERİ

6.1 Genel zellikler

Tarabya atık su tünelinde kullanılan tünel açma makinesi (TBM) sert kaya makinesi olarak dizayn edilmiştir. Sert kaya makineleri stabilitenin ve sertliğin yüksek olduğu formasyonlarda kullanılır. Stabilitenin az olduğu yerlerde çalışmanın güvenliği için makine kalkanlı tasarlanmıştır. TBM'in elektrik, hidrolik ve hava sistemleri arka üniteler ve kalkan içerisinde konumlandırılmıştır. Kesici kafa sabit kesitli disk keskilerle donatılmıştır. Keskiler arasında belirli bir mesafe vardır. Kesici kafada bulunan kovalar pasayı kryerek kafanın içinde bulunan konveyör banda iter. Band konveyör pasayı arka sistemlerin sonuna gelen vagonlara nakleder. Tahmikat için önceden üretilmiş içinde donatı olan beton parçalar (segment) kullanılır. Erektör adı verilen robot kol segmentleri yerleştirir. Makinenin 1 kazı ilerlemesi segment genişliği kadardır. Kazıdan sonra yerleştirilen 6 segment daire (ring) oluşturarak tahkimatı sağlamış olur. Ring ile kazı çapı arasında kalan boşluk segmentlerin ortasında bulunan deliklerden yapılan enjeksiyon ile doldurulur.

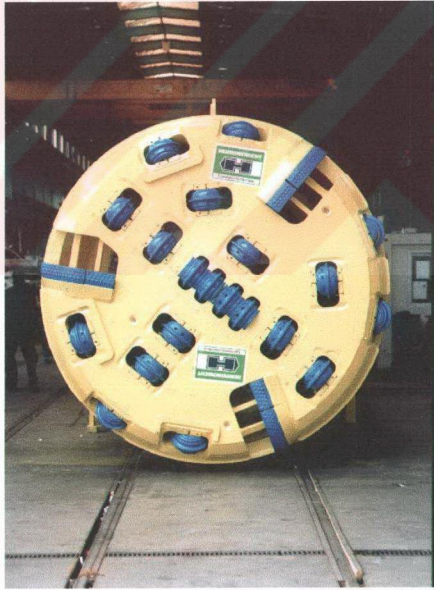
şekil 6.1'de TBM alışma düzeni gösterilmiştir. TBM'in kazı yapabilmesi için kesici kafanın dönmesi ve aynaya itilmesi gereklidir. Kesici kafayı hidrolik motorlar dndrtr. Kesici kafanın aynaya itilmesini itme silindirleri, en son yerleştirilen ringden kuvvet alarak gerçekleştirir. şekil 6.1 de 1 nolu durumda TBM kazıya hazır durumdadır. İtme silindirleri segmentlere basarak TBM'i aynaya doğru iter ve TBM segment boyu kadar ilerlediğinde kazı işlemi durdurulur (şekil 6.1, 2. durum). Ring inşa edilebilmesi için itme silindirleri segment boyu kadar geri çekilir (şekil 6.1, 3.durum). Erektör segmentleri yerleştirir ve ring oluşturulur (şekil 6.1, 4. durum) Ring inşasından sonra TBM tekrar kazıya hazır duruma gelir (şekil 6.1, 5. durum). Bu alışma döngüsü arıza ve duraklamalarla kesilmediği sürece sürekli devam etmektedir. Tünel açma makinesinin retildeği Almanya'da ki Herrenknecht fabrikasındaki görünümü şekil 6.2 ve şekil 6.3 de verilmiştir.



Şekil 6.1 TBM çalışma düzeni [4]



Şekil 6.2 Tarabya atık su tüneline kullanılan tünel açma makinesi



Şekil 6.3 Tünel açma makinesinin kesici kafası

6.2 TBM Teknik Özellikleri

Tünel açma makinesinin teknik özellikleri tablo 6.1 de verilmiştir.

Tablo 6.1 TBM teknik özellikleri [5]

TBM	Kazı Çapı	2915 mm
	Kalkan Çapı	2870 mm
	Kesici kafa + Kalkan Uzunluğu	10,8 m
	Kalkan Ağırlığı	74 ton
	Toplam TBM Uzunluğu	65 m
	Toplam Ağırlık	100 ton
	Maksimum Kazı Hızı	100 mm / dakika
Kesici Kafa	Disk Keski Sayısı	20 adet
	Kafa dönüş deviri	Maks. 16 d / dak.
	Tork	Maks. 725 kNm
	Su Püskürtme Sistemi	3 adet
Kafa Yönlendirmesi	Yönlendirme Silindiri	Ø 160 / 100 mm
	Silindir Strok	150 mm
	Yönlendirme Silindir Sayısı	8 adet
	Silindir Kuvveti	440 kN
	Toplam Kuvvet (220 bar)	3540 kN
	Strok Ölçüm Sistemi	4 adet
İtme Silindirleri	İtme Silindiri	Ø 190 / 150 mm
	Silindir Strok	1700 mm
	İtme Silindir Sayısı	6 adet
	Silindir İtme Kuvveti	600 kN
	Toplam İtme Kuvveti	3570 kN (250 bar)
	Strok Ölçme Sistemi	1 adet
Stabilizatör (Kesici Kafa)	Stabilizatör Silindiri	Ø 80 / 45 mm
	Silindir Adedi ve Strok	2 adet, 140 mm
	Silindir Başına İtme Gücü	40 kN (80 bar)

Tablo 6.1 TBM teknik özellikleri (devam)

Band Konveyör	Bant Genişliği	400 mm
	Bant Konveyör Uzunluğu	52 m
	Bant Hızı	0 – 2,5 m / sn.
	Taşıyabilecek Tane Boyutu	0 – 150 mm
	Bandın Tabandan Yüksekliği	2 m.
	Taşıma Kapasitesi	110 t / saat
Segment Vinci	Mümkün Olan Kaldırma Yüksekliği	0,8 m
	Ölü Ağırlığı	2,3 ton
	Maks. Kaldırma Hızı	4,2 m / dak
	Maks. İlerleme Hızı	28 m / dak
	Taşıma Kapasitesi	510 kg
Erektör	Tip	Teleskopik Kol
	Ağırlık	3,5 ton
	Hareket Silindiri	2 adet
	Erektör Dönüşü	+/- 200 °
	Maks. Tork	18 kNm
İkincil Havalandırma	Vantilatör Kapasitesi	100 m ³ / dak
	Toplam Basınç	45 mbar
	Filtre Yüzey Alanı	23 m ²
Kurulu Güç	Hidrolik Motor 1	200 kW
	Hidrolik Motor 2	200 kW
	Hidrolik Motor 3	160 kW
	Dişli Yağ Pompası	4 kW
	Gres Yağ Pompası	0,37 kW
	Bant Konveyör	18,5 kW
	Segment Vinci	10 kW
	Hava Filtresi	15 kW
	Soğutma pompası, transformatör	0,75 kW
	Aydınlatma	10 kW
	Toplam Kurulu Güç	620 kW

6.3 TBM Back-Up Sistemi

6.3.1 Back-up Sistemi Genel Özellikler

Back-up sistemi 9 ayrı parçadan oluşmaktadır. Kalkandan sonra gelen ilk parçaya 1 denmiş ve diğerleri de sırası ile numaralandırılmıştır. Bu parçalar TBM in ilerleyebilmesi için gerekli olan yüksek voltaj, elektrik panoları, havalandırma, hava ve su filtreleri, band konveyör, segment vinci sistemlerini içermektedir. Pasanın nakledildiği band konveyör 7 nolu back-up parçasına kadar gelir buradan pasa vagonlara dökülür ve dizel lokomotif ile kuyuya nakledilir. Back-up parçaları içerisindeki boşluğa lokomotif, pasa vagonları, enjeksiyon vagonu, segment vagonları ve malzeme vagonu girebilmektedir. Böylece 1 nolu parçaya kadar malzeme getirmek mümkündür. Her parçanın sağında bulunan yürüme yolu çalışanların kalkana ulaşmasını sağlar [5].

6.3.2 Back-Up sistem 1 nolu Parça

Diğer parçalarla kıyaslandığında 1 nolu parça döşenen segmentler üzerinde giden ön tekerleklerle sahiptir. Bu parçanın yapısı diagonal şekildedir. Kalkandan gelen konveyör bandın diğer parçalara uyum sağlaması için giderek yükselen bir yapısı vardır. Kazı bittikten sonra yerleştirilecek segmentler bu parçanın altında erektörün alacağı sırada hazırlanır [5].

6.3.3 Back-Up sistem 2 nolu Parça

Bu parçanın raylar üzerinde gidebilmesi için 4 adet tekerleği vardır. Bu parçanın sol bölümündeki elektrik ana dağılım panosu mevcuttur [5].

6.3.4 Back-Up sistem 3 nolu Parça

Diğer parçalara göre daha ağır olan bu parçada 8 adet tekerlek vardır. Bu parçanın sol tarafında elektrik ana dağılım kontrol panosu, 3 fazlı transformatör, ana şalter panosu ve elektrik dağılım uyarı ışığı vardır [5].

6.3.5 Back-Up sistem 4 - 9 nolu Parçalar

4 – 9 nolu parçaların yapısı ve tekerlek düzeni, 2 nolu parça ile aynıdır. 4 – 9 nolu parçaların özellikleri aşağıda verilmiştir [5].

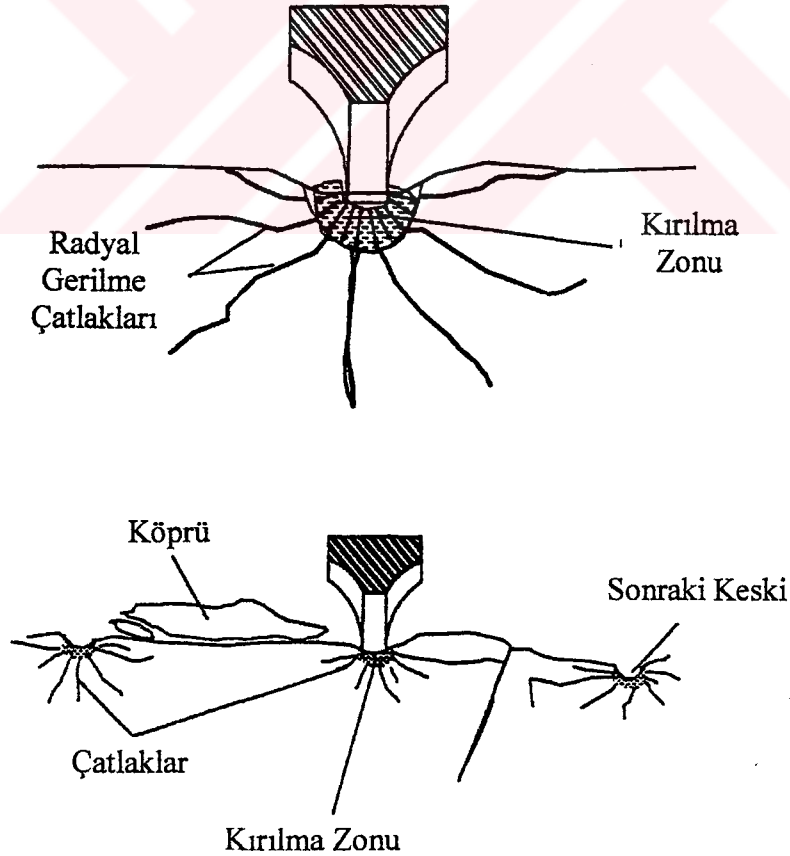
- Parça 4 de hava filtreleri,
- Parça 5 de emici vantilatör ve soğutma suyu için filtre,
- Parça 6 da basınçlı hava güvenlik valfi,
- Parça 7 de band konveyör gerilmesi ve tahrik ünitesi,
- Parça 8 de yüksek voltaj kablo tutucusu,
- Parça 9 da havalandırma için filtre, uyarı ışığı ve işaret sireni mevcuttur.



7. TBM KAZI MEKANİĞİ

7.1 Disk Keskilerle Kaya Kazısı

Disk keski kayaya batmaya başladığı zaman oluşan yüksek gerilmelerden dolayı keskinin altında kırılma zonu oluşur. Keskinin batması kırılmış zonunda gerilme ve deformasyonu artırır. Böylece kaya içerisinde çatlak oluşumu ve gelişmesi başlar. Keskinin kırılma zonunda yarattığı gerilme, kayanın çekme gerilmesinden büyük olduğu sürece çatlak gelişimi devam eder. Eğer çatlak gelişimi bir önceki keskinin oluşturduğu çatlaklara ulaşırsa 2 keski arasında kalan kaya kopar ve köprü şeklinde kaya yenilmesi olur. Şekil 7.1 de kırılma zonu ve köprü oluşumu görülmektedir [6].



Şekil 7.1 Disk keski ile kaya kazısında oluşan kırılma zonu ve köprü [6]

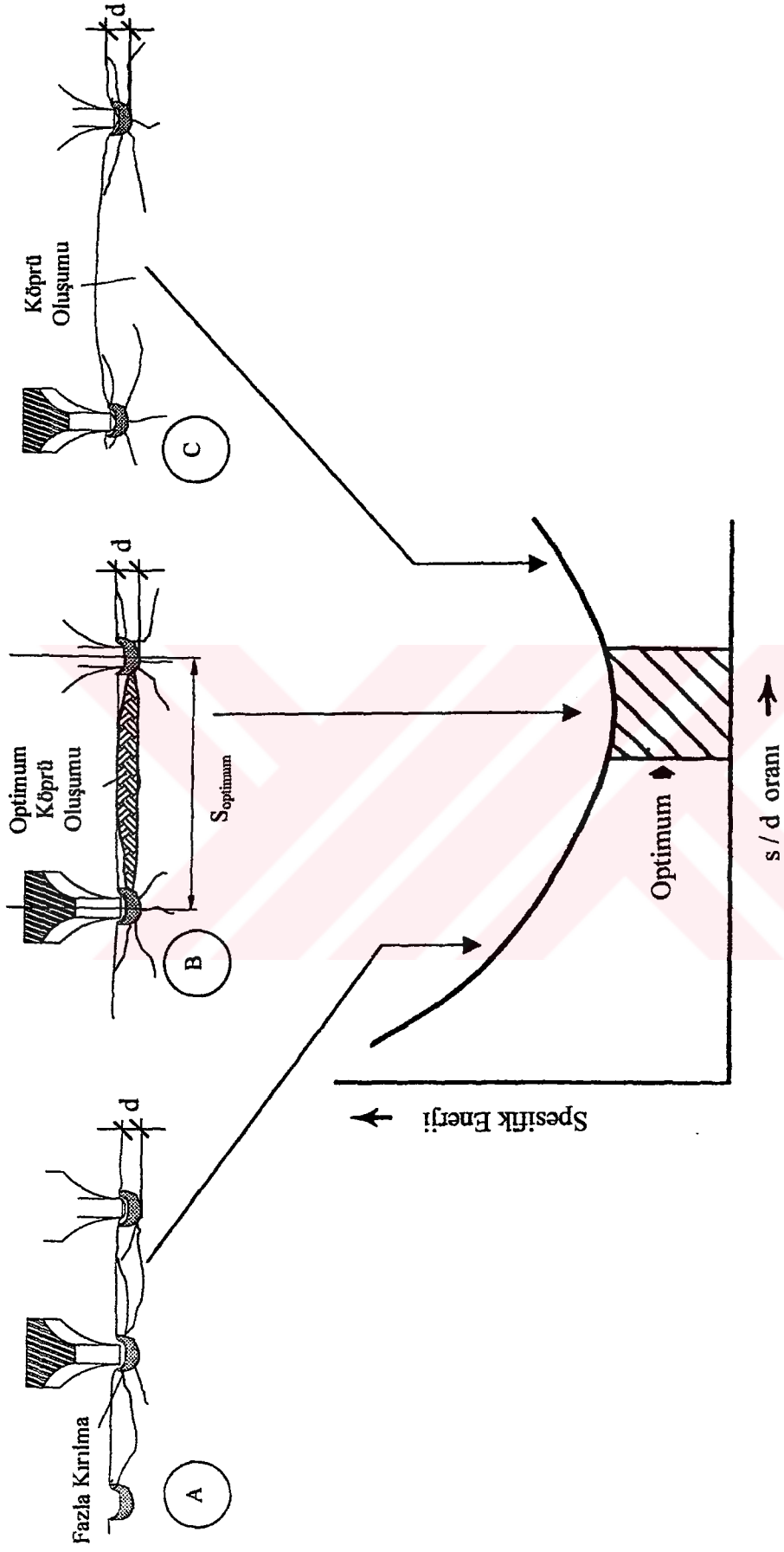
Yapılan çalışmalar mekanik kaya kazısında disk keski altında oluşan kırılma zonu için mekanik enerjinin yaklaşık olarak %90'ının harcandığını göstermiştir. Kazı olayını gerçekleştiren köprü oluşumu ise harcanan mekanik enerjinin yaklaşık olarak sadece %10'luk kısmı ile olmaktadır. Disk keskilerle yapılan kazının verimli olabilmesi, 2 keski arasında oluşan köprülerin büyüklüğüne bağlıdır [6].

Birim hacimdeki kayanın kazılması için harcanan enerji spesifik enerji olarak tanımlanır ve birimi kwh/m^3 'dür. Keskiler arası mesafenin kesme derinliğine olan oranı (s/d) ile spesifik enerjinin değişimi incelenmiştir. Spesifik enerji, s/d optimum olana kadar düşmektedir. Optimum s/d oranından sonra keskiler arasında köprü oluşması giderek azaldığı için spesifik enerji artmaktadır. Şekil 7.2 spesifik enerji- s/d ilişkisi ve keskiler arası mesafeler aynı kesme derinliği için görülmektedir.

Disk keskilerin kazı performansını ve aşınmalarını etkileyen önemli bir parametre keskiler arası mesafedir. Eğer keskiler arası mesafe az ise keskiler arasında oluşan köprülerin boyutu küçük olur ve kırılma zonunda fazla kırılma olur. Keskiler arası mesafenin az olması kesme enerjisinin verimsiz harcanmasına neden olur. Keskiler arası mesafenin az olması kazı sonucu oluşacak parça boyutunda küçük olmasına neden olur böylece spesifik enerji yüksek olur ve kazının verimi düşer. (Şekil 7.2 A)

Her kesme derinliği için keskilerin birbiri ile olan etkileşiminin maksimum olduğu bir keskiler arası mesafe vardır. Keskilerin birbirleri ile olan etkileşiminin maksimum olduğu durumda keskiler arası mesafe optimumdur. Optimum spesifik enerji, keskiler arası mesafenin optimum olduğu durumda gerçekleşir. (Şekil 7.2 B).

Eğer keskiler arası mesafe fazla ise keskilerin oluşturduğu çatlaklar birbirlerine ulaşamaz ve köprü oluşumu olmaz. Keskilerin çatlakları derinleştirmesi ve köprü oluşturması için itme kuvvetinin dolayısı ile kesme derinliğinin artırılması gerekir. Kazı performansı düşük, spesifik enerji yüksek olur (Şekil 7.2 C).



Şekil 7.2 Spesifik enerji s/d oranı arasındaki ilişki

7.2 TBM Kesici Kafa Dizaynı

TBM üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarında spesifik enerjinin minimum olduğu s/d oranı 10 – 20 arasında değiştiği gözlenmiştir. Yumuşak ve az kırılğan kayalarda optimum s/d oranı 10 değerine yakın olmaktadır. Sert ve kırılğan kayalarda optimum s/d oranı 20'ye çıkmaktadır. Optimum s/d oranında kazı yapılmasının amacı spesifik enerjinin minimum olması ve kurulu makine gücü ile maksimum kazı hızının elde edilebilmesidir [6]. TBM ile kazıda aynada oluşan tipik keski izleri şekil 7.3'de görülmektedir.



Şekil 7.3 TBM ile kazıda aynada oluşan tipik keski izleri

TBM kesici kafa dizaynı yapılırken s/d oranının ve spesifik enerjinin dikkate alınması makine kazı performansı açısından çok önemlidir. Bu konuda güzel bir örnek Chicago kentinde kullanılan 5,5 m çapında bir TBM de yaşanmıştır. TBM kesici kafası keski arası mesafenin 2,5 cm'den az olduğu 58 adet 3'lü disk keski ile donatılmıştır. TBM beklenen performansına ulaşamamıştır ve 3'lü disk keskiyerine tekli disk keskiyer takılarak keski arası mesafenin 7,5 cm'ye çıkarılmasına karar verilmiştir. Kesici kafaya tekli disk keskiyer yerleştirildikten sonra TBM'in bir devirdeki kesme derinliği 2 katına çıkmıştır [6].

Tam boyutlu kesme deneylerinde gerçek keskiyer ve kaya kütesini temsil eden blok halinde kaya numuneleri kullanılarak kesici kafa dizaynı yapılabilir. Tam boyutlu kesme deney setinde keskiye gelen 3 yöndeki kuvvetler ölçülebilir. Kesme derinliği ve keskiyer arası mesafe değiştirilerek kesme deneyleri yapılabilir. Optimum s/d oranı ve bunu sağlamak için gereken itme kuvveti bulunabilir. Optimum s/d oranını sağlayacak kesme derinliği için gereken itme kuvvetinin bilinmesi TBM

operatörünün makineyi bu baskı aralığında kullanması ile hem verimli kazı sağlanır hemde aşırı keski aşınmaları önlenmiş olur. Ayrıca tam boyutlu kesme deneyleri ile TBM performans tahmini yapılabilir.

8. TBM MONTAJI

Herrenknecht firması tarafından imal edilen TBM Baltalimanı'nda ki kurulacağı shaftın (S13 nolu shaft) başına 31 Mayıs 2000 tarihinde ulaşmış ve aynı gün makine montajına başlanmıştır. TBM'in montajı 30 gün sürmüştür ve TBM 1 Temmuz 2000 tarihinde kazıya başlamıştır. TBM shaft başına 11 parça olarak gelmiştir. Bu parçalar kesici kafa, kalkan ve 9 adet back-up sistem ünitesidir. Şekil 8.1 ve 8.2 de TBM kesici kafası ve kalkanı görülmektedir.

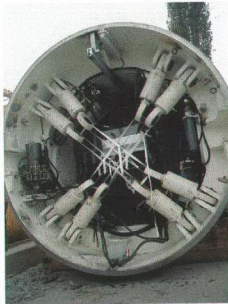


(a) Önden görünüş



(b) Arkadan görünüş

Şekil 8.1 TBM kesici kafası



(a) Önden görünüş



(b) Arkadan görünüş

Şekil 8.2 TBM kalkanı

8.1 TBM Montajında Yapılan İşler

8.1.1 Kesici Kafa ve Şildin İndirilmesi ve Birbirine Montajı

TBM montajının yapılabilmesi için 9 m çapında shaft ve 46 m uzunluğunda delme patlatma metodu ile portal açılmıştır. TBM'i aynaya kadar itebilmek için shaftın ve açılan portalın tabanı yatak şeklinde yapılmıştır. Bu yatağın TBM'le temas edecek yüzeyleri itme işlemini kolaylaştırmak için yağlanmıştır. Shafttan ilk olarak kesici kafa indirilmiştir. Şekil 8.3 shaft tabanında kesici kafa görülmektedir.

Kesici kafadan sonra kalkan indirilmiş ve bu yatak üzerine oturtulmuştur. Shaft tabanında kurulan mekanik çekme düzeneği (calaskar) ile kalkan kesici kafaya yaklaştırılmıştır. Böylece kalkanda bulunan yönlendirme silindirlerinin kesici kafaya montajı yapılmıştır. Yönlendirme silindirlerinin ve diğer hidrolik bağlantıların yapılması ile kesici kafa ve kalkan shaft tabanında birbirine monte edilmiştir. Kesici kafa ve şildin indirilmesi ve birbirine montaj işi 2 gün sürmüştür. Şekil 8.4 kesici kafa ve kalkan montajı bitmiş, kaldırma kulakları kesilirken görülmektedir.



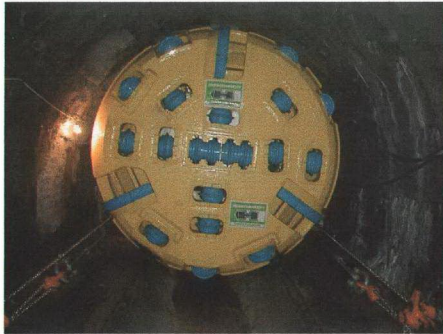
Şekil 8.3 Shaft tabanında kesici kafa



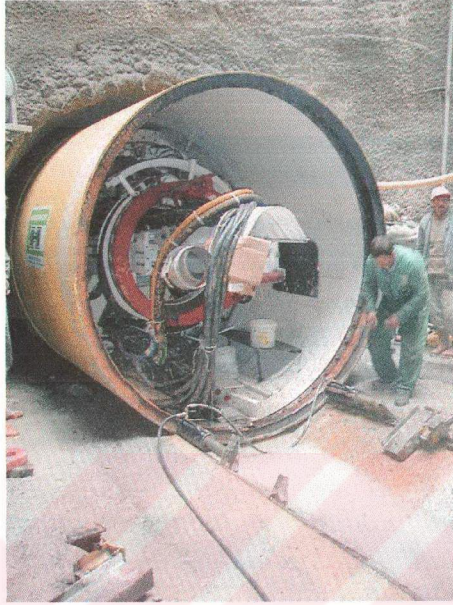
Şekil 8.4 Kesici kafa ve kalkan montajı bitmiş hali

8.1.2 TBM'in Aynaya İtilmesi

Kesici kafa ve kalkan montajı bittikten sonra aynaya itilme işlemine başlanılmıştır. TBM üretici firmanın montaj uzmanı makinenin calaskar düzeneği ile çekilmesini istemiştir. Şekil 8.5 TBM'i çekmek için kurulan calaskar düzeneği görülmektedir. Calaskar sistemi ile makineyi çekmek denendiğinde çok güç olduğu görülmüştür. Makinenin itilmesi için itme kuvveti 40 ton olan 2 adet hidrolik piston getirilmiştir. Pistonların stroke uzunluğunun 25 cm. olması itme işinin uzun sürmesine neden olmuştur. Her ilerleme için pistonlara dayanak noktası oluşturacak bir takoz yatağın metal yüzeyine kaynatılmıştır. TBM'in aynaya itilmesi 2 gün sürmüştür. Şekil 8.6 Hidrolik pistonlarla TBM itilmesi görülmektedir.



Şekil 8.5 TBM'i çekmek için kurulan calaskar düzeneği



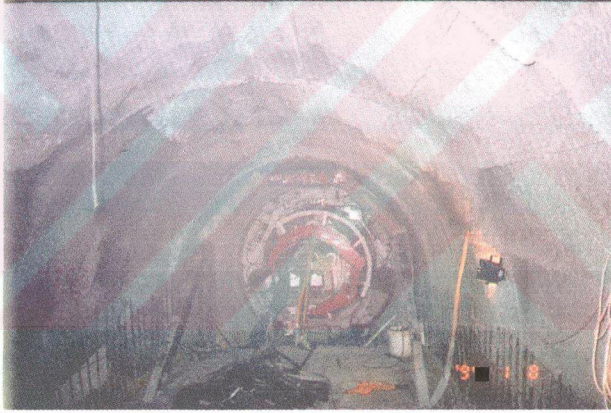
Şekil 8.6 Hidrolik pistonlarla TBM itilmesi

8.1.3 Portal Tabanın Kırılması ve Yeniden Betonlanması

Kesici kafa ve kalkanın portal içinde ilerletilebilmesi için yapılan yatağın 25 m'lik kısmı, makine aynaya kadar ilerletildikten sonra kırılmıştır. Portal tabanındaki akar kotun projeye uygun hale getirmek için makineden 25 m geride kalan kısmının tabanı kırılmıştır. Portal tabanının betonlanmasının bir diğer nedenide tabanın projeye uygun akar kotta düz olacak şekilde yapılmasıdır. Böylece indirilen back-up üniteleri döşenecek raylar üzerinde kolayca ilerletilecektir. Kalkanın hemen arkasına döşenecek ilk ringin dayanacağı çelik bir bağ da yapılmıştır. Taban kırma ve betonlama işleri 3 gün sürmüştür. Şekil 8.7'de taban donatıları ve çelik bağın ayakları görülmektedir. Şekil 8.8'de çelik bağ ve taban betonlama işinden sonra ki durum görülmektedir.



Şekil 8.7 Taban donatıları ve çelik bağın ayakları



Şekil 8.8 Taban betonlama ve çelik bağ yapıldıktan sonra ki durum

8.1.4 Back-Up Ünitelerinin İndirilmesi

Taban betonlama işleri bittikten sonra shaft tabanı ve portal boyunca ray döşenmiştir. Back-up üniteleri sırasıyla indirilmiş ve insan gücüyle portal içinde ilerletilmiştir. Şekil 8.9 indirilen bir back-up ünitesi, şekil 8.10'da insan gücüyle back-up ünitesinin ilerletilmesi görülmektedir. Portal içindeki rayların döşenmesi 1 gün ve back-up ünitelerinin indirilmeside 1 gün sürmüştür. Şekil 8.11 portal içinde back-up üniteleri

görülmektedir. Back-up parçalarının içindeki boşluğa pasa, segment vagonları ve lokomotif girmektedir. Şekil 8.12 back-up ünitesi içinden çekilmiş fotoğrafta lokomotifin gideceği raylar ve segment vinci görülmektedir.



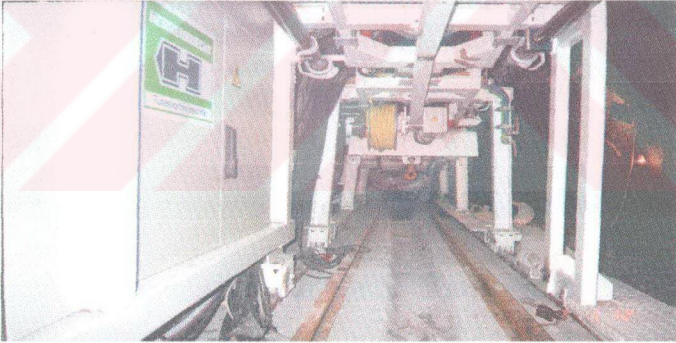
Şekil 8.9 İndirilen bir back-up ünitesi



Şekil 8.10 İnsan gücüyle back-up ünitesinin ilerletilmesi



Şekil 8.11 Portal içinde back-up üniteleri



Şekil 8.12 Back-up ünitesi içerisinde lokomotifin gideceği raylar ve segment vinci

8.1.5 Back-up Üniteleri Elektrik ve Hidrolik Sistem Montajı

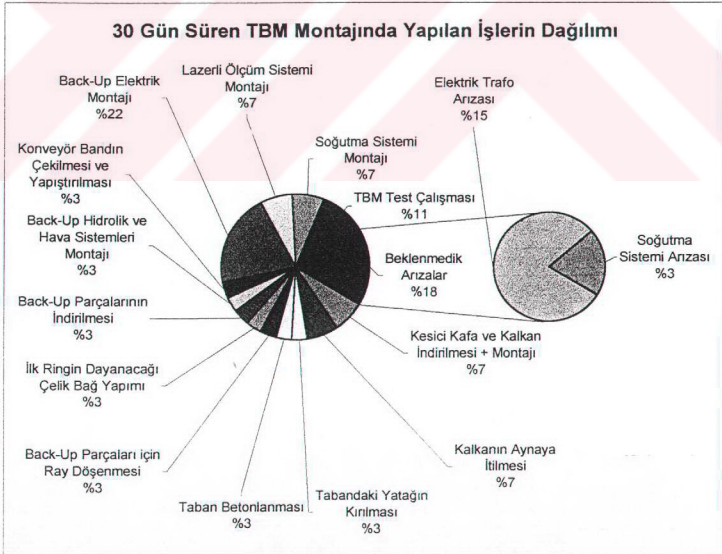
Back-up ünitelerinin elektrik, hidrolik ve havalandırma sistemleri montajı 7,5 gün sürmüştür. Elektrik sisteminin montajında TBM üreten firmadan 2 Alman görevli çalışmıştır. Oldukça karmaşık olan elektrik sistemde yapılacak en ufak hata iş kazasına ,zaman ve maddi kayıplara yol açabilir.

8.1.6 TBM Test Çalışmaları

Bütün montaj çalışmaları bittikten sonra TBM test edilmeye başlanılmıştır. Havalandırma, hidrolik ve elektrik sistemleri test edilmiştir. Test çalışmaları 3 gün sürmüştür.

8.2 TBM Montajında Yapılan İşlerin Değerlendirilmesi

TBM montaj süresi bu çaptaki bir makine için normalden uzun sürmüştür. Bunun nedeni makine kurulmasında tek vardiya çalışması ve beklenilmeyen arızalar olmasıdır. 2,9 m çapındaki bir TBM'in 7 – 10 günlük bir sürede kurulabileceği TBM üretici firmanın yetkilisi tarafından belirtilmiştir. Beklenmedik arızalar elektrik ve su soğutma sisteminde olmuştur ve 5,5 gün düzeltilmeleri için harcanmıştır. TBM montajına başlanılmadan önce shaft üstünde ve altında gerekli olan vinç, elektrik trafosu, basınçlı hava ve su tesisatının hazırlanıp kontrol edilmesi montaj sırasında meydana gelebilecek aksaklıkları minimuma indirir. Şekil 8.13 TBM montajı sırasında yapılan işlerin 30 günlük süre içerisindeki yüzde dağılımları görülmektedir.



Şekil 8.13 TBM montajı sırasında yapılan işlerin yüzde dağılımları

9. TARABYA ATIKSU TÜNELİNDE KULLANILAN TAHKİMAT SİSTEMİ

9.1 TBM ‘de Kullanılan Tahkimat Sistemi

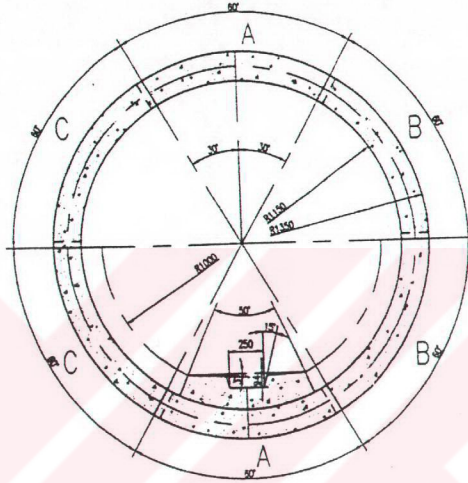
TBM ile tünel açma yöntemlerinde birkaç çeşit tahkimat yöntemi vardır. Tahkimat sistemleri TBM’in yapısına ve çalışılan formasyona bağlıdır. Kalkansız tünel açma makinelerinde elik iksa, tel hasır, kaya civataları ve püskürtme beton ihtiyaca göre tünel açma makinesinin hemen arkasında uygulanır. Kalkanlı makineler daha çok stabilitenin az olduğu koşullarda çalıştıkları için tahkimat sistemi olarak önceden üretilmiş beton parçaları kullanılır. Önceden üretilen bu beton parçalara segment denmektedir. Segmentler beton içerisine donatı konularak üretilmektedir. TBM çapına göre şekilleri değişmektedir. Segmentler kalkan içerisinde bulunan erektör denilen bir robot kol vasıtası ile birbirlerine monte edilir ve ring denilen daire şeklinde tünel tahkimatını oluştururlar.

Kalkanlı ve tutucuları (gripper) olmayan bir TBM için segmentlerin önemi daha da artmaktadır. TBM’in kazı yapabilmesi için segmentlerden kurduğu ringden g alması gerekmektedir. TBM itme silindirleri segmentlere basarak kesici kafayı aynaya doğru itmektedir. Tünel tahkimatı aynı zamanda kazı için gerekli itme kuvvetinin de dayanak noktası olmaktadır. Segmentlerin dizaynında TBM özelliklerinden back-up sistemi ve itme silindirlerinin basıncı dikkate alınmaktadır.

9.2 Segmentlerin Geometrisi

Segmentler A, B, C olarak 3 değişik modelde dizayn edilmiştir. Ring oluşturmak için her model segmenten 2 adet, toplam 6 adet segment gereklidir. Segmentler trapez formundadır ve kenarları düşeyle 7 derecelik bir açı yapar. Her segmentin ortasında beton enjeksiyonu için bir boşluk bulunmaktadır. A model segmentin genişliği 750 mm, B model segmentin 755 ve C model segmentinde 745 mm’dir. Oluşturulan ringin dış çapı 2700 mm, iç çapı 2300 mm dir [7].

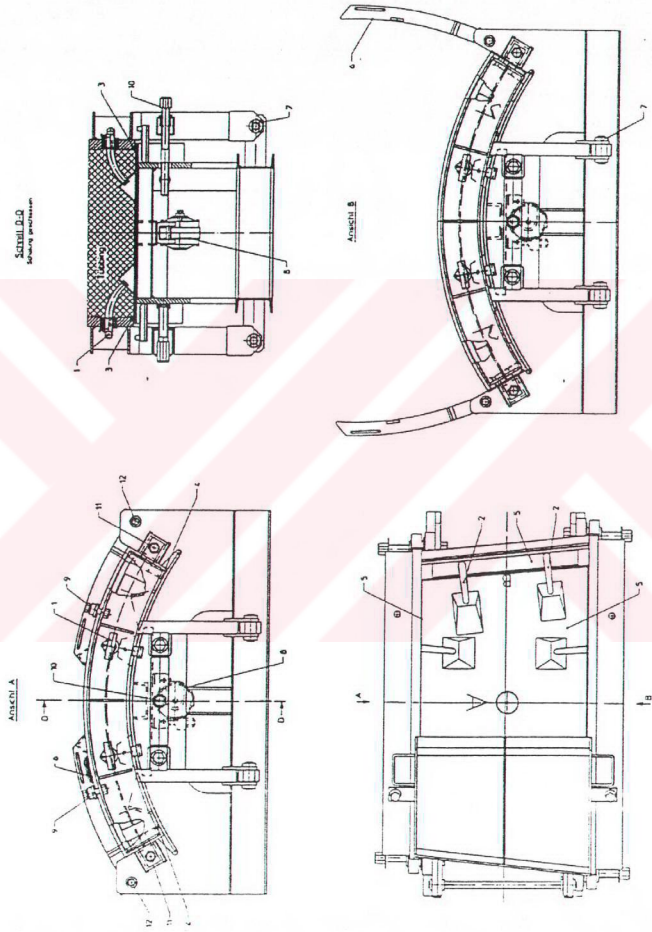
Taban ray segmenti oluşturulan ringin tabanındaki segmentin üzerine yerleştirilir. Taban ray segmenti TBM back-up sisteminin hareket edeceği rayların döşenebilmesi için hemde pasayı taşıyan ve malzeme getiren trenin raylarının döşendiği parçadır. Şekil 9.1 segmentlerin oluşturduğu ring görülmektedir.



Şekil 9.1 Segmentlerin oluşturduğu ring [7]

9.3 Segment Fabrikası

Segment fabrikası şantiye içerisinde 400 m²'lik kapalı alana kurulmuştur. Segment üretimi için A, B ve C model segmentlerden 20'şer kalıp, taban ray segmenti içinde 10 adet kalıp vardır. Kalıpların altında basınçlı hava ile çalışan vibrasyon mekanizmaları vardır. Vibrasyon mekanizmaların amacı beton içerisinde kalan havanın minimum olmasını sağlamaktır. Şekil 9.2'de A,B ve C model segmentin kalıbı görülmektedir. Segment fabrikası 3 vardiya şeklinde 24 saat çalışmaktadır. A, B ve C model segmenten her gün 60 adet, taban ray segmentinde her gün 30 adet üretilmektedir. Segment fabrikasında her gün 30 ring oluşturacak kadar segment üretilmektedir.



Şekil 9.2 A,B ve C model için segment kalıbı [7]

A,B ve C model segment için 0,2 m³ BS 35 kalitede beton kullanılmaktadır. A model segment için 31 kg, B ve C modellerinde 25 kg donatı demiri kullanılmaktadır. A model segmentin donatı demirinin fazla olmasının nedeni ring içinde hep karşılıklı olacak A model segmentlerin ring dayanımını arttırmasıdır. A model segment 500 kg, B ve C model segmentler ise 494 kg ağırlığındadır.

Segment üretiminde kullanılan BS 35 kalitedeki betonun 28 günlük dayanımı 439 kg/cm² 'dir. Segmentler beton mukavemetinin maksimuma ulaştığı 28 gün sonra kullanılabilir. Beton mukavemetinin üretim sırasında sürekli kalite kontrolü yapılmaktadır. Bunun için segment fabrikasına gelen her mikser betondan 5 adet küp numune alınır. Küp numuneler alındıktan 7 gün sonra kırılırlar. Kırılan küplerin 7 günlük dayanımının betonun istenilen 28 günlük dayanımının %70-75 değerinde olması gerekmektedir.

Şekil 9.3, 9.4, 9.5 segment üretim aşamaları görülmektedir. Bir segmentin üretimi için aşağıda verilen işler yapılmaktadır.

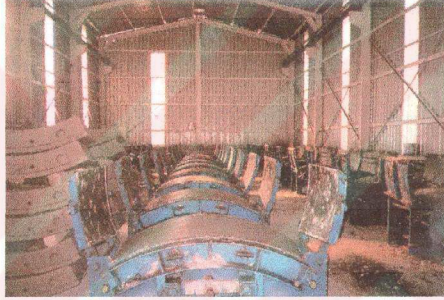
- Segment kalıbı yağlanır ve donatı kalıba yerleştirilir.
- Segment ortasındaki enjeksiyon deliğini oluşturmak için dübel, civata deliklerini oluşturmak için kollar yerleştirilir.
- Kalıbın kapakları kapatılır.
- Vibrasyon mekanizması açılır ve beton dökülmeye başlanır.
- Beton döküldükten 10 dakika sonra kalıbın kapakları açılır ve çıkan hava yüzünden bozulan yüzey mala ile düzeltilir.
- Havanın sıcaklığına göre 4-5 saat sonra segment kalıptan vakumlu tutucusu olan vinç ile çıkarılır.
- Çıkarılan segmentlerin aralarına tahta takozlar konularak 6 segment üstüste istiflenir ve tebeşir ile segment üstüne üretim tarihi yazılır.
- İstiflenen segmentler stok sahasına götürülür ve 1 hafta sonra kenarlarına conta yapıştırılır.

9.4 TBM Kalkanı İçinde Ring İnşası

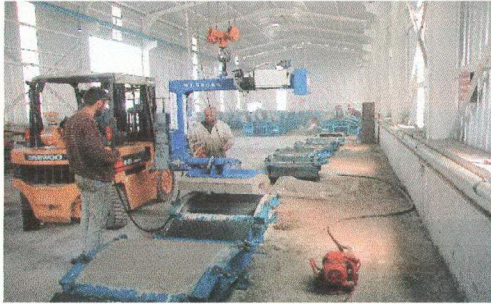
TBM kalkanı içinde ring inşası kazı bitiminden sonra başlamaktadır. Ring inşasını 3 adet işçi ve TBM operatörü gerçekleştirir. İşçilerden biri segment vincini kullanır ve



Şekil 9.3 Çıkan havanın oluşturduğu pürüzlü segment yüzeyi

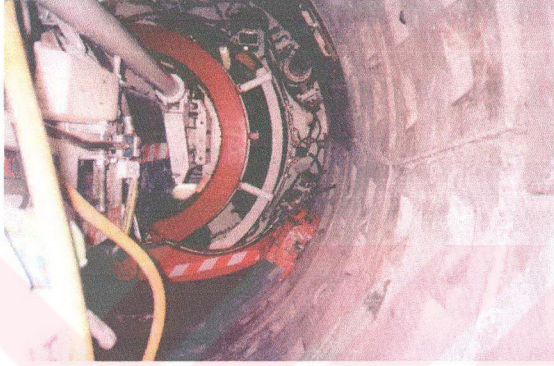


Şekil 9.4 Kalıptan çıkarılmaya hazır segmentler



Şekil 9.5 Segmentin vakumlu tutucusu olan vinç ile kalıptan çıkarılışı

gerekken segmenti erektörün alacağı yere getirir. TBM operatörü erektörü kumanda eder. Operatör bulunduğu konumdan erektörü bazı pozisyonlarda görememektedir. Diğer 2 işçi hem operatöre erektörü kullanabilmesi için yardımcı olur hemde segmentlerin civatalarını monte ederler. Şekil 9.6 de erektörün segment yerleştirmesi görülmektedir.



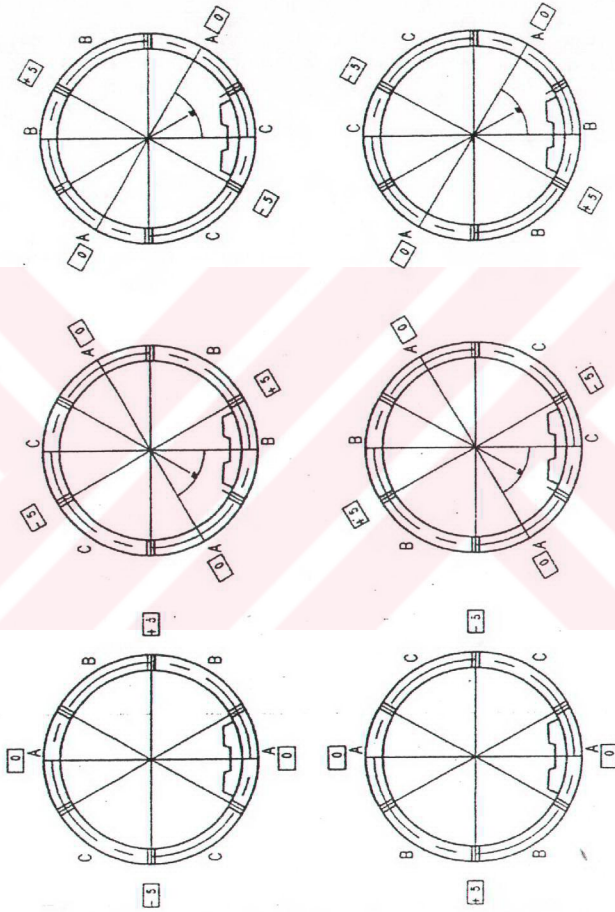
Şekil 9.6 Erektörün segment yerleştirmesi

TBM kesici kafası ve kalkanı arasında yönlendirme silindirlerinin olması makine yönlendirmesini ve segment inşasının önemini arttırmaktadır. Ring kalkanı içerisinde inşa edilir ve kalkanla ring arasında belirli bir boşluk vardır. Bu boşluk TBM dönüş durumuna göre değişmektedir. Segmentlerin A, B, C şeklinde 3 model olmasının nedeni TBM'in dönüşlerine göre ring tipinin oluşturulabilmesi içindir. Aksi takdirde makine dönüşü ile inşa edilen ring kalkan içerisinde sıkışabilir veya bir sonraki ring inşasında segmentler yerlerine oturmayabilir.

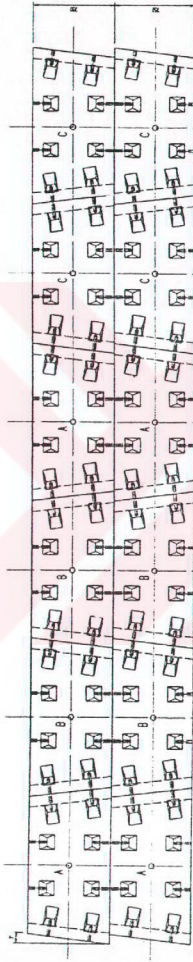
Ring inşasında segment diziliminin değişmesi ile 6 farklı ring çeşidi vardır. Segmentlerin modellerinin genişlikleri arasındaki 5 mm'lik farktan dolayı makinenin dönüş yönüne uygun ring inşası yapılabilmektedir. Her kazı sonrasında bir önceki ring ile kalkan arasında kalan boşluk ölçülür ve buna göre inşa edilecek ring tipine karar verilir. Ring çeşitleri sağa ve sola dönüş, sağa yukarı ve aşağı, sola yukarı ve aşağı yönlerindedir. Şekil 9.7 Dönüş durumuna göre inşa edilebilecek ringler görülmektedir. Şekil 9.8 TBM ilerleme doğrultusuna göre segment yerleşim planı gösterilmiştir.

TBM'in kalkanı içerisinde inşa edilen ring TBM ilerlemesi ile kalkanın dışına çıktığında tünel cidarı ile ring arasında kalan boşluk segmentlerin ortalarında bulunan deliklerden beton enjekte edilmesi ile doldurulur.

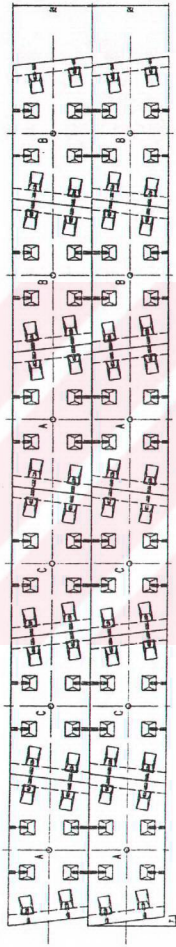
Ring inşası TBM ilk çalışmaya başladığında 2-3 saat sürmekteydi ve yanlış ring tipi inşa edilmesinden dolayı ring kalkan için sıkışabiliyor veya segmentler yerlerine oturmuyordu. Vardiya süresinin 8 saat olduğu düşünülürse 2-3 saatlik ring inşa süresi oldukça fazladır. Yanlış ring modeli inşa edilmesinin düzeltmek oldukça zaman almaktadır. Çalışanların zaman içinde işe adapte olmaları ve tecrübelerinin artması ile ring inşası 15 dakikaya inmiştir.



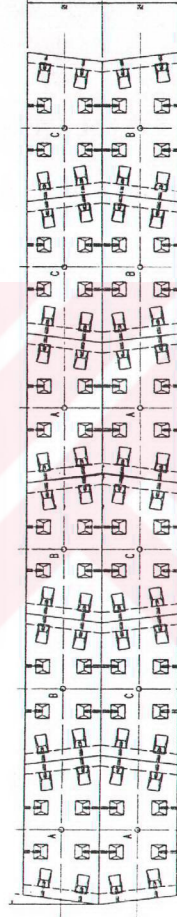
Şekil 9.7 Dönüş durumuna göre inşa edilebilecek ring tipleri [7]
(Kutu içindeki değerler mm olarak ring genişliğindeki artışı veya azalmayı gösterir.)



Sağa Kıvrılan Kurlarda Segment Yerleşim Planı



Sola Kıvrılan Kurlarda Segment Yerleşim Planı



Düz Doğrultudaki Segment Yerleşim Planı

Şekil 9.8 TBM sağa, sola kurb ve düz doğrultudaki segment yerleşim planı [7]

10. TBM ÖLÇME SİSTEMİ

10.1 Giriş

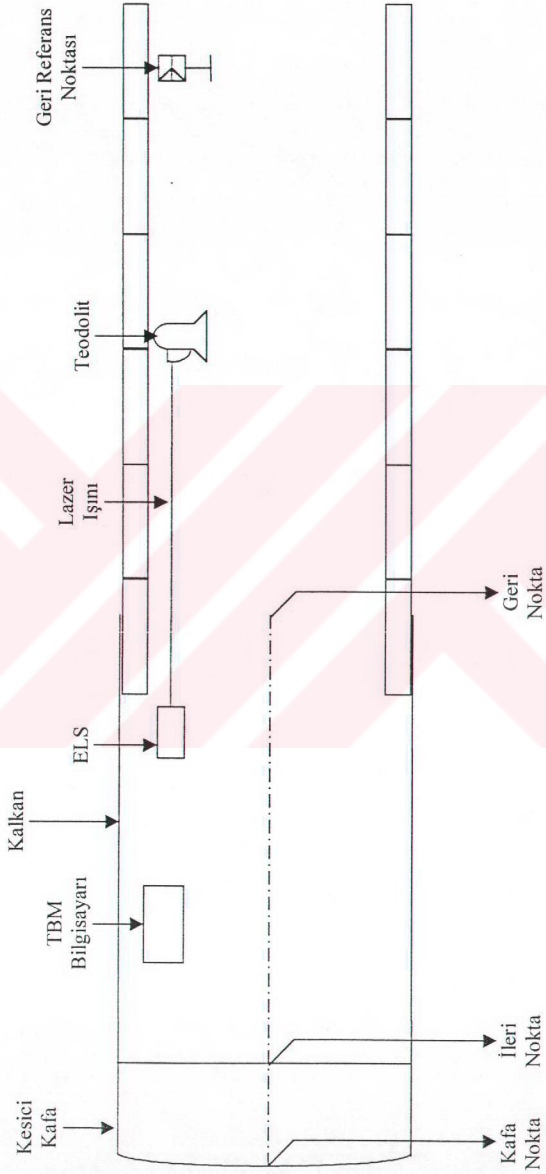
TBM'in ölçme sistemi Alman VMT şirketi tarafından üretilmiştir. Bu projede müteahhit firma ölçme sisteminin opsiyonel kısımlarını satın almamıştır. TBM ölçme sistemlerinin günümüzde ne kadar ilerlediğini göstermesi açısından bölüm içinde ölçme sisteminin bütün özellikleri anlatılmıştır.

Tünel sürüşünde TBM pozisyonunun DTA (dizayn edilmiş tünel eksen) ile sürekli karşılaştırılması çok önemlidir. TBM ilerlemesi sırasında makinenin istenmeyen hareketlerini engellemek ve yönünde ani değişikliklerden kaçınmak için bu şarttır [8].

Yönlendirme silindirleri olan bir TBM'in dönüş yeteneği daha yüksektir. Yaklaşık 100 ton ağırlığındaki bu makinenin ilerlemesi bir çok faktöre bağlıdır. Aynadaki formasyonun sert, yumuşak veya ikisinin karışımı olması makinenin yönlendirilmesini etkileyecektir [8].

Segmentlerin kullanılması makine yönlendirmesinin daha dikkatli yapılmasını gerektirir. Makinenin dönüş durumuna göre ring oluşturacak segmentler seçilmektedir. Bunun nedeni ringin oluşturulduğu kalkan kısmı ile ring arasında kalan boşluğun belli bir limitte olmasıdır. Aksi takdirde ilerleme sırasında son yerleştirilen ring kalkan içinde sıkışabilir veya bir sonraki ringi oluşturmak için kullanılacak segmentler yerlerine oturmayabilir. Yanlış bir ring monte edildiğinde düzeltilmesi çok zor olacaktır.

İnşaat kalitesi ve makinenin zorlanmaması için TBM'in dizayn edilen tünel ekseninde gitmesi sağlanmalıdır. TBM'in dizayn edilmiş tünel ekseninde ilerlemesi için gerekli her türlü veri ölçme sistemi tarafından sağlanmaktadır [8]. TBM ölçme sistemi şematik görünüşü şekil 10.1 görülmektedir.



Şekil 10.1 Ölçme sistemi şematik gösterimi

10.2 Ölçme Sistemi Fonksiyonları

Ölçme sistemi fonksiyonları :

- TBM pozisyon bilgilerinin bilgisayara aktarılması ve grafik, sayısal olarak sergilenmesi,
- TBM ilerlemesine ait bütün dataların dokümantasyonu,
- TBM ilerleme yaparken anlık pozisyonun gösterilmesi,
- TBM ve ring trendlerinin bilgisayara aktarılması ve sergilenmesi (opsiyonel),
- Otomatik kuyruk kalkan açıklık ölçümü ve monte edilecek ringin bilgisayar ortamında ön hazırlığı (opsiyonel),
- Tam otomatik tünel sürüşü (opsiyonel),
- Telefon kablosu aracılığı ile dünyanın her yerinden TBM bilgisayarına erişim,
- Ölçme sistemi yazılımının windows ortamında çalışması ve değişik dil seçeneği olması [8].

10.3 Ölçme Sistemi Parçaları

10.3.1 Teodolit

Teodolit yatay ve düşey açılar ile hedef ve geri referans noktasının mesafe ölçümünü yapar. Leica firmasının ürettiği TCA 1100 model teodolit kullanılmaktadır. Bu teodolit servo motor kontrollü ve programlanabilir özelliktedir [8]. Şekil 10.2’de Leica TCA 1100 görülmektedir. Tablo 10.1’de Leica TCA 1100 teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 10.2 Leica TCA 1100 [9]

Tablo 10.1 Leica TCA 1100 teknik özellikleri [8]

Fonksiyon	Motor sürüşlü, programlanabilir,LCD ekranlı 8 satır, 35 karakter
Boyutlar	Yükseklik : 420 mm, Genişlik : 230 mm Uzunluk : 230 mm
Bağlantılar	RS 232 bağlantısı üzerinden data transferi
Güç kaynağı	12 V DC
Ağırlık	6,8 kg
Çalışma Isısı	- 20° C + 50° C arası
Mesafe Ölçüm Hata Payı	2 mm
Yatay Açı Ölçüm Hata Payı	1 mgrad
Düşey Açı Ölçüm Hata Payı	1 mgrad
Merkezleme Hata Payı	0,3 mm
Üretici	Leica, Heerburg, İsviçre

10.3.2 Lazer

Lazer teodolitın üzerine monte edilmiştir. Lazer TBM de bulunan hedefe vurarak lazer geliş açısı (yaw angle), TBM'in düşeydeki hareketini ve kalkanın kendi eksenini etrafındaki dönüşünün hesaplanmasını sağlar. Lazer insan gözüne zarar verebilecek niteliktedir. Bu yüzden çalışanların dikkatli olması ve kesinlikle lazerin direk gözden içeri girmesine izin vermemeleri gerekmektedir [8]. Tablo 10.2 lazerin teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 10.2 Lazer teknik özellikleri [8]

Boyutları	Uzunluk : 100 mm, Genişlik : 75 mm Yükseklik : 75 mm
Muhafaza	Alüminyum çerçeve
Güç Kaynağı	12 V DC
Maksimum Çalışma Mesafesi	150 m

10.3.3 ELS

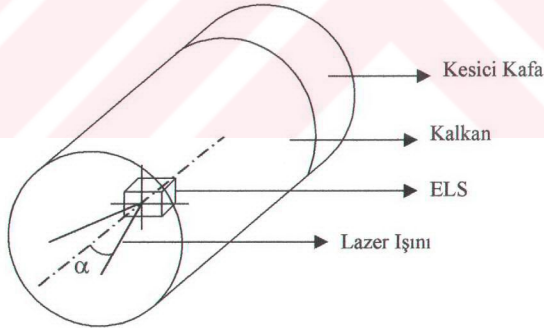
ELS (Elektronik Lazer Sistemi) hedef tahtası olarak adlandırılır. ELS'nin sol alt köşesinde bir cam prizma yerleştirilmiştir. Cam prizmanın görevi teodolitin elektro-optik olarak ELS'nin uzaklığını ölçmesini sağlamaktır. ELS'nin ve cam prizmanın TBM içerisindeki pozisyonları montaj sırasında belirlenmiştir [8]. Şekil 10.3'de ELS görülmektedir.



Şekil 10.3 ELS (Lazer Hedef Tahtası) [9]

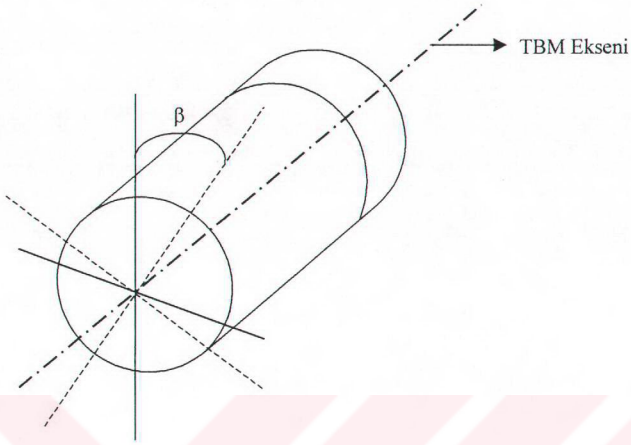
ELS'nin görevi gelen lazer ışınının düşeydeki ve yataydaki konumunu saptamaktır. Lazer ışınının konumundan TBM'in yuvarlanmasını ve TBM'in düşey yöndeki hareketi hesaplanır. Ayrıca lazerin ELS'ye geliş açısı ölçülür [8].

- Lazerin ELS'ye geliş açısı (Yaw Angle) : ELS'nin dik ekseninden lazer ışınının saptığı açı olarak tanımlanır. Hesaplamaların hata sınırında kalması için lazer geliş açısı 70° yi geçmemelidir [8]. Şekil 10.4 de lazer geliş açısı gösterilmiştir.



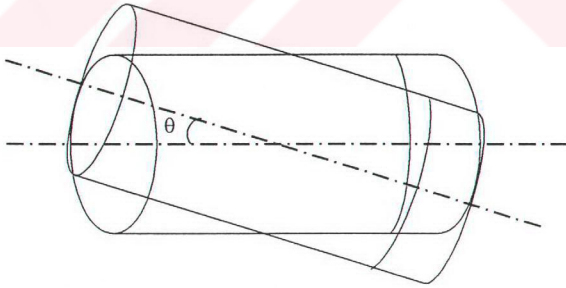
Şekil 10.4 Lazer geliş açısı

- TBM'in Yuvarlanması (Roll) : Kazı yaparken TBM'in kendi eksenini etrafında ne kadar döndüğünü gösterir. Dönme değeri mm/m olarak gösterilir ve pozitif değer sağa, negatif değer sola doğru dönüşü belirtir [8]. Şekil 10.5'de TBM'in yuvarlanması gösterilmiştir.



Şekil 10.5 TBM'in yuvarlanması

- TBM'in Düşeyde Yaptığı Hareket (Pitch) : TBM'in dizayn edilmiş tünel ekseninden düşey yöndeki sapmasıdır. Düşey hareketin birimi mm/m dir ve pozitif değer yukarı çıkma, negatif değer dalma hareketini ifade eder [8]. Şekil 10.6'da TBM'in düşey yöndeki hareketi gösterilmiştir.



Şekil 10.6 TBM'in düşey yönde hareketi

10.3.4 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol)

TBM çalışırken bütün çalışma değerlerinin bilgisayar ortamına kayıt edilmesini sağlayan elektronik parçadır. TBM hidrolik pistonlarındaki dijital kartlar basınç ve açıklık değerlerini PLC vasıtası ile her 15 saniyede bilgisayara gönderir. Bilgisayara kaydedilen TBM data dosyası aşağıdaki bilgileri içermektedir;

- Tarih, saat,
- Ring numarası,
- İtme silindirleri basıncı,
- İtme silindirleri açıklığı,
- Kesici kafa devri,
- Kesici kafayı döndüren motorların basıncı,
- Yönlendirme silindirleri basınçları ve açıklıkları,
- TBM'in dizayn edilmiş tünel eksenine göre konumu [8].

10.3.5 Güç Kaynağı ve Data Transfer Cihazı

Bu cihaz teodolite ve lazere güç temini için kullanılır. Ayrıca teodolitin 2 kilometre mesafeye kadar data transferi yapmasını sağlar. Aynı zamanda Teodolitin datalarını bilgisayarın istediği formata çevirir. Üretici firma bu cihaza sarı kutu (Yellow Box) demektedir [8]. Güç kaynağı ve data transfer cihazı şekil 10.7'de görülmektedir.



Şekil 10.7 Güç kaynağı ve data transfer cihazı [9]

Transfer cihazı teodolitin yakınına monte edilir. Transfer cihazı ve teodolit bağlantı noktasının suya karşı korunması çok önemlidir. Eğer su veya toz fiş bağlantısına girerse, parçalar düzenli çalışmayacak veya ciddi şekilde hasar görecektir [8]. Güç kaynağı ve transfer cihazının teknik özellikleri tablo 10.3'de verilmiştir.

Tablo 10.3 Güç kaynağı ve data transfer cihazı teknik özellikleri [8]

Boyutlar	Uzunluk : 260 mm Genişlik : 160 mm Yükseklik : 95 mm
Bağlantılar	RS 232
Güç Kaynağı	24 V DC
Çalışma Isı Sınırları	- 10 ⁰ C + 50 ⁰ C arası

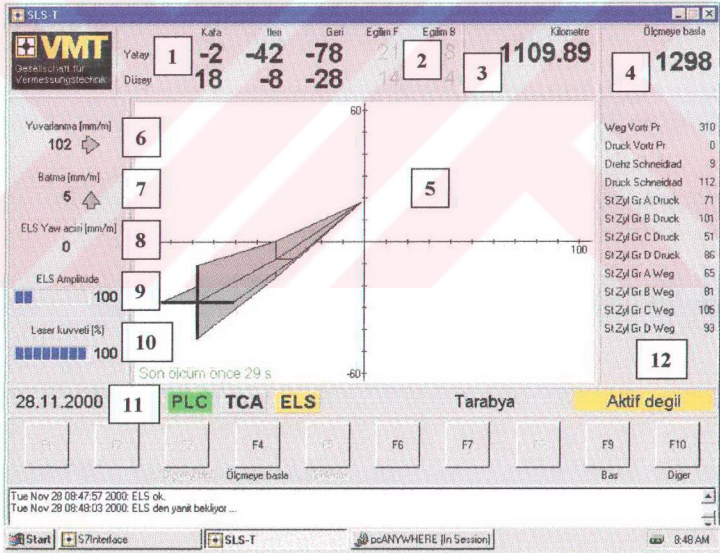
10.3.6 Tünel İlerleme Yazılımı

Tünel ilerleme yazılımı teodolitten, ELS'den ve PLC'den gelen data'lara göre TBM pozisyonunu hesaplar ve gelen data'lara dosyalaştırarak sağlar. Bu programa dizayn edilmiş tünel eksen kordinatları önceden girilmiştir. Yazılım, TBM içerisinde ELS'ye göre konumu belirlenmiş 3 noktanın (Kafa, ileri ve geri) dizayn edilmiş tünel eksenine olan mesafelerini hesaplamaktadır. Ayrıca kesici kafanın ve kalkanın eğimleri de hesaplanmaktadır. Tünel ilerleme yazılımı operatörün başının üzerinde bulunan özel üretilmiş bir bilgisayarda windows ortamında çalışmaktadır. Bilgisayar ekranına bakıldığında TBM pozisyonu sayısal ve grafik olarak görülebilmektedir. Tünel ilerleme yazılımı ekran görünümü şekil 10.8 de görülmektedir [8].

Tünel ilerleme yazılımı ekran görünümünde bulunan numaraların açıklamaları aşağıdadır.

1. Referans noktalarının yatay ve düşey sapma miktarları (mm).
2. Kesici kafanın ve kalkanın yatay ve düşey eğimleri (mm/m).
3. Kesici kafadaki referans noktasına göre tünel ilerlemesi (m).
4. En son inşa edilen ring numarası.
5. TBM pozisyonunun grafik gösterimidir. Burada orijin dizayn edilen tünel eksenidir. Grafik gösterim her ölçümden sonra yenilenmektedir. Normal durumda yatay eksen 60 mm, düşey eksen 100 mm'dir. Sapma miktarı daha fazla olursa eksen boyutları otomatik olarak değişir.
6. TBM'in kendi eksen etrafında yuvarlanma değeridir (mm/m). Pozitif değer sağa doğru, negatif değer sola doğru yuvarlanmayı gösterir.

7. TBM'in düşey yöndeki hareket değeridir (mm/m). Pozitif değer yukarı doğru, negatif değer aşağı doğru hareketi gösterir.
8. ELS yaw açısı, lazerin ELS'ye geliş açısıdır (mm/m).
9. ELS amplitude, hedefi vuran lazerin parlaklığını gösterir. Bu değer en az 350 - 400 arasında olmalıdır. Eğer değilse lazer optiği veya ELS ekranının temizlenmesi gereklidir. Ayrıca kirli hava ortamı lazer ışını zayıflatır.
10. Lazer kuvveti, lazerin kuvvetini %'de olarak verir. Lazer kuvveti ve ELS amplitude doğru orantılıdır.
11. Data gönderen aygıtların durumu hakkında bilgi veren kısımdır. Yeşil renk aygıtın sorunsuz çalıştığını, sarı renk aygıtın beklemede olduğunu, kırmızı renk ise teknik bir arızanın olduğunu gösterir.
12. Bu kısımda bazı TBM çalışma değerleri gösterilir. Burada kesici kafa baskısı, dönme deviri, kesici kafayı döndüren motorların basıncı, yönlendirme silindirleri açıklıkları ve basınçları görülmektedir [8].



Şekil 10.8 Tünel ilerleme yazılımı ekran görünümü

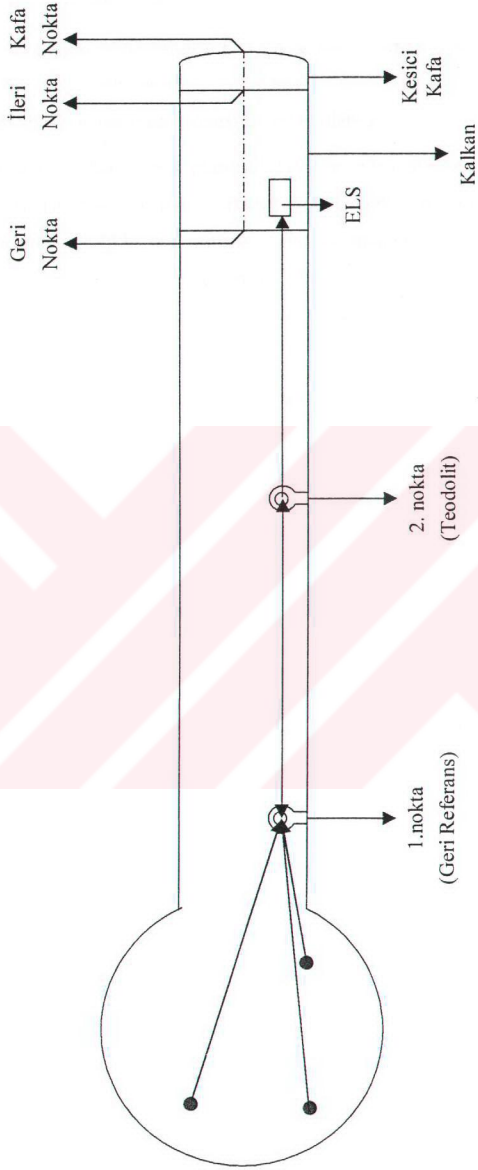
10.3.7 İlerleme Sırasında TBM Pozisyon Tayini

Ölçme sisteminin kurulabilmesi için portal girişindeki şaftın tabanına kordinatları bilinen 3 nokta indirilir. Portal girişinde teodolitin ilk kurulacağı yerin kordinatı indirilen bu 3 nokta vasıtası ile bulunur. TBM'in pozisyon tayini teodolite göre ve geri referans noktasına göre yapılmaktadır. Geri referans noktasının olmasının nedeni teodolite göre yapılan ölçümün kontrolü içindir. Portal içindeki ilk teodolit tesisinden portalın daha ilerisinde 1 nokta daha tesis edilir. Böylece portal içinde kordinatları bilinen 2 nokta hazırlanmış olur. Teodolit 2. noktaya, 1. noktaya ise geri referans noktası olması için reflektör yerleştirilir [10].

Nokta tesis edilmesi işlemleri TBM ilk kazısını yapmadan önce yapılmıştır. Kullanılan teodolit servo motor kontrollü ve lazerli olduğu için ölçüm tam otomatik olarak gerçekleştirilir. Şekil 10.9'da ölçme sisteminin plan görünüşü verilmiştir.

TBM kazıya başladığı zaman lazer ELS'ye odaklanır. ELS lazerin geliş açısını, TBM yuvarlanmasını ve düşey hareketi hesaplar. Teodolitin elektro-optik mesafe ölçüm cihazı ELS'nin alt köşesindeki cam prizma vasıtası ile ELS ile teodolit arasındaki mesafeyi ölçer. ELS ve TBM içindeki referans noktalarının (kafa, ileri, geri) pozisyonu TBM eksenine göre belirlidir. ELS'nin teodolite olan uzaklığı ölçüldüğü zaman transformasyon hesaplamaları ile TBM içindeki referans noktalarının dizayn edilmiş tünel eksenine göre konumları da bulunmuş olur [10].

Teodolite göre pozisyon tayini yapıldıktan sonra teodolit kaç derecelik dönüş yaparsa geri referans noktasına ulaşması gerektiğini hesaplar ve otomatik olarak geri referans noktasına döner. Eğer hesapladığı açıdan farklı bir açıda geri noktayı bulursa hata sınırlarına göre bu farkı kontrol eder. Geri noktanın pozisyonu hata sınırını geçiyor ise teodolit otomatik olarak ölçüm işini durdurur ve hata sinyali verir. Bu ölçüm prosedürü bütün kazı boyunca devam eder [10].



Şekil 10.9 TBM Ölçme Sistemi Plan Görünüşü

11. TBM PERFORMANSI

11.1 TBM Performans Parametreleri

Tarabya atıksu tüneline kullanılan TBM'in performans analizi için vardiya raporları kullanılmıştır. Vardiya raporlarından ilerleme, kazı ve diğer işlerin süreleri, duraklama nedenleri ve süreleri kullanılmıştır. TBM günde 8 saatlik 3 vardiya şeklinde çalışmaktadır. Makine kurulduktan sonra ilk 1 ay günde 2 vardiya çalışmıştır. Bu zaman diliminde makine kullanımı ve sistem öğrenilmeye çalışılmıştır.

TBM performansını ölçerken net kazı hızı, ortalama ilerleme hızı, makineden faydalanma oranı, duraklama nedenleri ve süreleri üzerinde durulmuştur. TBM performans analizi makinenin etkin bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı ortaya koyacaktır. Ayrıca makine performansını etkileyen olayların neler oldukları bulunacaktır. Makine performansının artırılması ve ileride yapılacak bu tip projelere bilgi birikimi sağlaması açısından performans analizi önemlidir.

Net kazı hızı, birim kazı süresinde TBM'in kazdığı kaya miktarı olarak ifade edilir ve 9.1 nolu denklemle hesaplanır [12].

$$\text{Net Kazı Hızı} = \frac{\text{TBM ilerlemesi} \times \text{TBM kazı alanı}}{\text{Kazı süresi}} \quad (\text{m}^3 / \text{saat}) \quad (11.1)$$

Ortalama ilerleme, TBM'in bir gündeki ilerleme miktarının 24'e bölümü ile bulunur. Ortalama ilerlemenin net kazı hızından farkı duraklama sürelerinde hesaba katılmış olmasıdır. Ortalama ilerleme aşağıdaki şekilde bulunur [12].

$$\text{Ortalama İlerleme} = \frac{\text{TBM 1 günlük ilerlemesi}}{24} \quad (\text{m} / \text{saat}) \quad (11.2)$$

Makineden faydalanma oranı, TBM'in kazı yaptığı sürenin vardiya süresi içindeki yüzde değeridir. Makineden faydalanma oranı uluslararası alanda % 40 – 50 arası iyi olarak değerlendirilir [13].

$$\text{Makineden Faydalanma Oranı} = \frac{\text{TBM'in toplam kazı süresi}}{\text{Toplam Vardiya Süresi}} \times 100 \text{ (\%)} \quad (11.3)$$

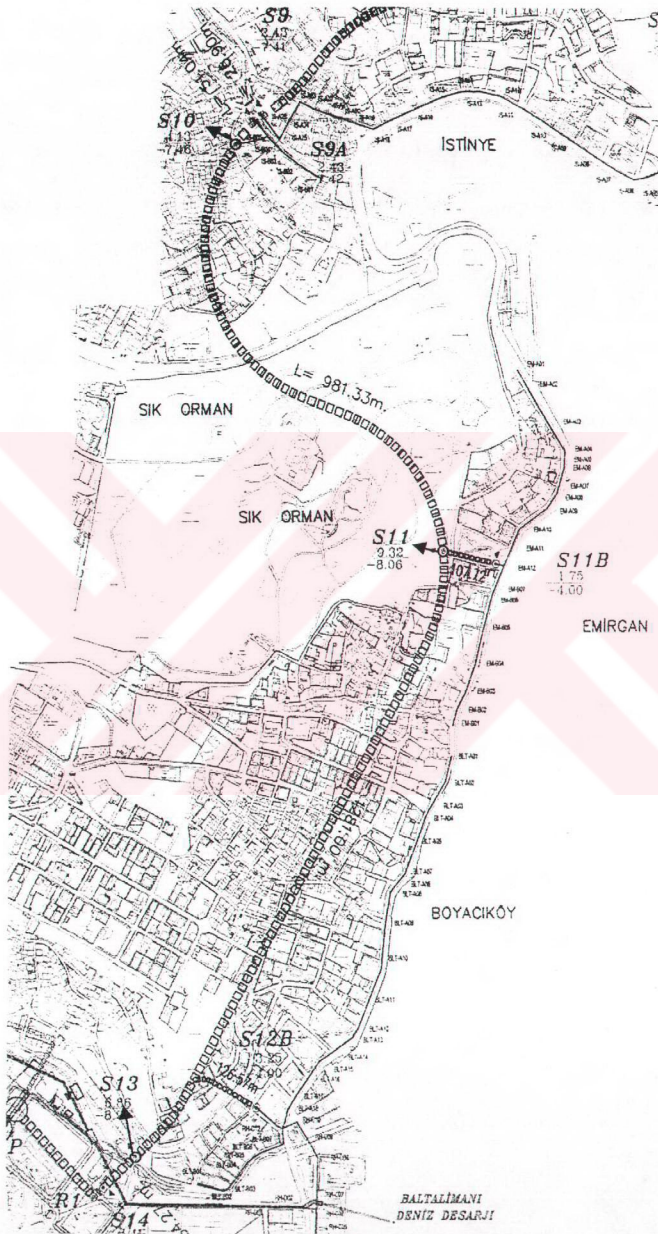
11.2 TBM Performans Değerlendirmesi

TBM performansının değerlendirilmesi toplam 2159,75 m için yapılmıştır. TBM, 01/07/2000 tarihinde S13 şaftındaki portaldan kazıya başlamıştır ve 24/12/2000 tarihinde S11 şaftına ulaşmıştır. S11 şaftında kesici kafa revizyonu ve makine genel bakımı yapılmıştır. TBM 10/01/2001 tarihinde S11 şaftından kazıya başlamıştır ve 01/04/2001 tarihinde S10 şaftının 30 m ilerisinde elle açılan tünele ulaşmıştır. S11 şaftında kesici kafanın ortasında bulunan 1,2,3,4 nolu kesikilerin yatakları kesilerek yerinden çıkarılmıştır. Almanya'dan gelen yeni dizayn edilmiş 1,2,3,4 nolu kesikilerin yatakları kesici kafaya yerleştirilmiştir.

S11 şaftında kesici kafada yapılan revizyondan başka konveyörün bandı değiştirilmiştir ve sistemin komple bakımı yapılmıştır. Bu nedenle makine performansı S13-S11 arası ve S11-S10 şaftları arasında olmak üzere 2 kısımda değerlendirilmiştir. Böylece kesici kafadaki revizyonun makine performansı üzerindeki etkisi ortaya konulmak istenmiştir. Şekil 11.1'de S13-S10 şaftları arası tünelin plan görünüşü verilmiştir. Tablo 11.1'de TBM performansı verilmiştir.

TBM'in ilk çalışmaya başladığı kısımda S13-S11 şaftları arasında makine yeterli verimlilikde kullanılamamıştır. Bunun başlıca nedenleri müteahhit firmanın tecrübesiz oluşu ve TBM kesici kafasındaki dizayn hatasıdır. Makineden faydalanma oranı S13-S11 şaftları arası %28 ve ortalama ilerleme 0,32 m/saat olarak gerçekleşmiştir. S11-S10 şaftları arasında makine performansında artış olmuştur ve makineden faydalanma oranı %35 ve ortalama ilerleme 0,51 m/saat olmuştur. Diğer bir deyişle revizyon sonrası makineden faydalanma oranındaki %25'lik artış ortalama ilerleme hızında %59'luk bir artışa neden olmuştur. Şekil 11.2'de tünel metrajına göre TBM performansı verilmiştir.

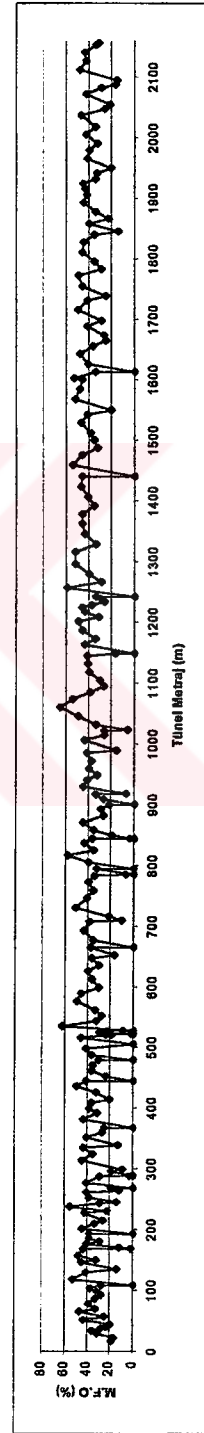
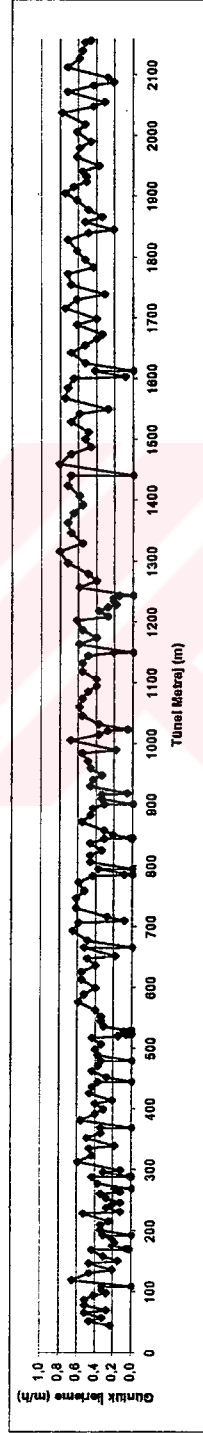
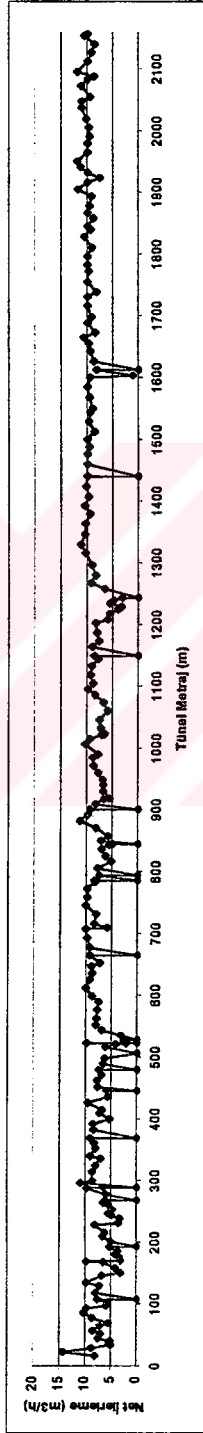
Kesici kafada yapılan revizyon makine performansını olumlu yönde etkilemiştir. S13-S11, S11-S10 ve S13-S10 şaftları arası makineden faydalanmayı gösteren pasta grafikler şekil 11.3, 11.4, 11.5 de verilmiştir.



Şekil 11.1 S13-S10 şafları arası tünelin plan görünüşü



Formasyon	Andezit	Kireçtaşı	Dolomit	Kireçtaşı
-----------	---------	-----------	---------	-----------



Şekil 11.2 Tünel metrajına göre TBM performansı

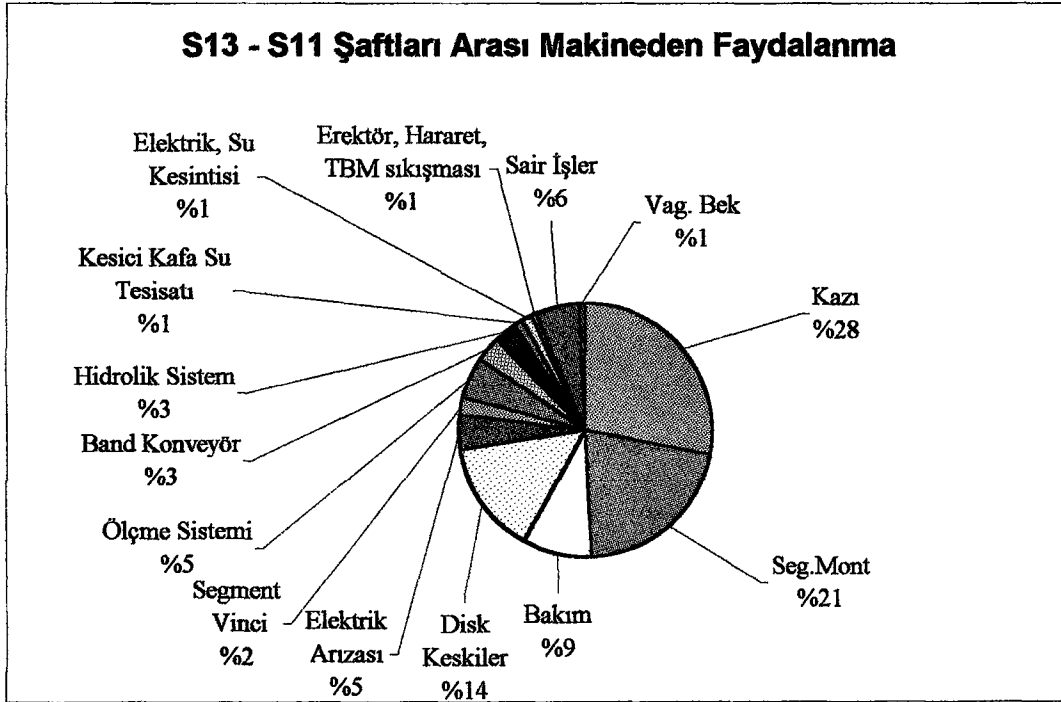
Tablo 11.1 TBM performansı

Makine Performansı	S13 – S11 Şaftları Arası	S11 – S10 Şaftları Arası	S13 – S10 Şaftları Arası
Makineden Faydalanma Oranı (%)	28	35	31
Ortalama Net Kazı Hızı (m ³ /h)	6,52	9,02	7,29
Ortalama İlerleme Hızı (m/saat)	0,32	0,51	0,38
Ortalama Vardiyada İlerleme (m/var.)	2,43	4,11	2,96
En İyi Vardiya İlerleme (m/var.)	7,5	7,5	7,5
En Kötü Vardiya İlerleme (m/var.)	0,75	0,75	0,75
Ortalama Günlük İlerleme (m/gün)	6,86	11,95	8,45
En İyi Günlük İlerleme (m/gün)	16,5	19,5	19,5
En Kötü Günlük İlerleme (m/gün)	0,75	2,25	0,75
Ortalama Haftalık İlerleme (m/hafta)	49,11	77,67	56,74
En İyi Haftalık İlerleme (m/hafta)	81,75	102,75	102,75
En Kötü Haftalık İlerleme (m/hafta)	5,25	18,75	5,25
Ortalama Aylık İlerleme (m/ay)	221,1	309,42	239,39
En İyi Aylık İlerleme (m/ay)	250,5	352,25	352,25
En Kötü Aylık İlerleme (m/ay)	120,75	263,25	120,75

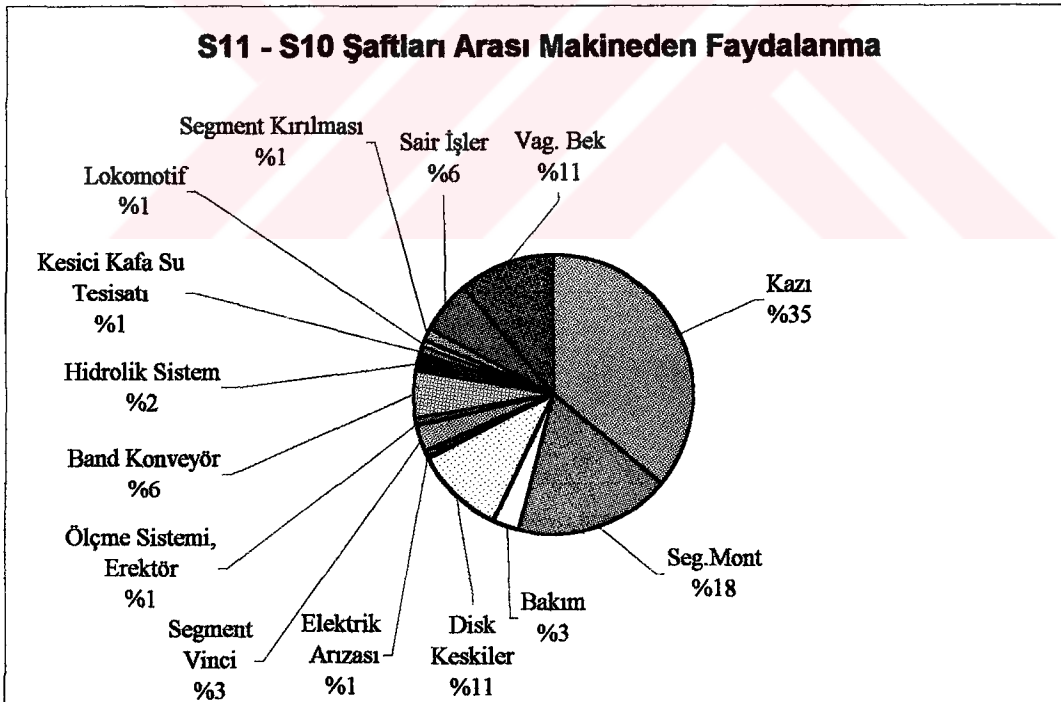
Kesici kafada yapılan revizyonda ortada bulunan 1,2,3,4 nolu keskilerin yatakları değiştirilmiştir. Bu değişimin nedeni mevcut yataklama sisteminin zayıf olması ve gelen yükler karşısında çok sık olarak kırılması dolayısı ile zaman kaybı yaratmasıdır. Yerleştirilen yeni yatak sistemi revizyondan sonra çok az sorun yaratmıştır. Revizyon sonrası makineden faydalanma oranındaki artış çalışanların kazandıkları tecrübesinde göstergesidir.

Ortalama Vardiya ilerlemesi revizyon öncesinde 2,43 m iken revizyon sonrasında %69 artış göstererek 4,11 m olmuştur. Ortalama günlük ilerleme revizyon öncesi 6,86 m iken revizyon sonrasında %74 artarak 11,95 m olmuştur.

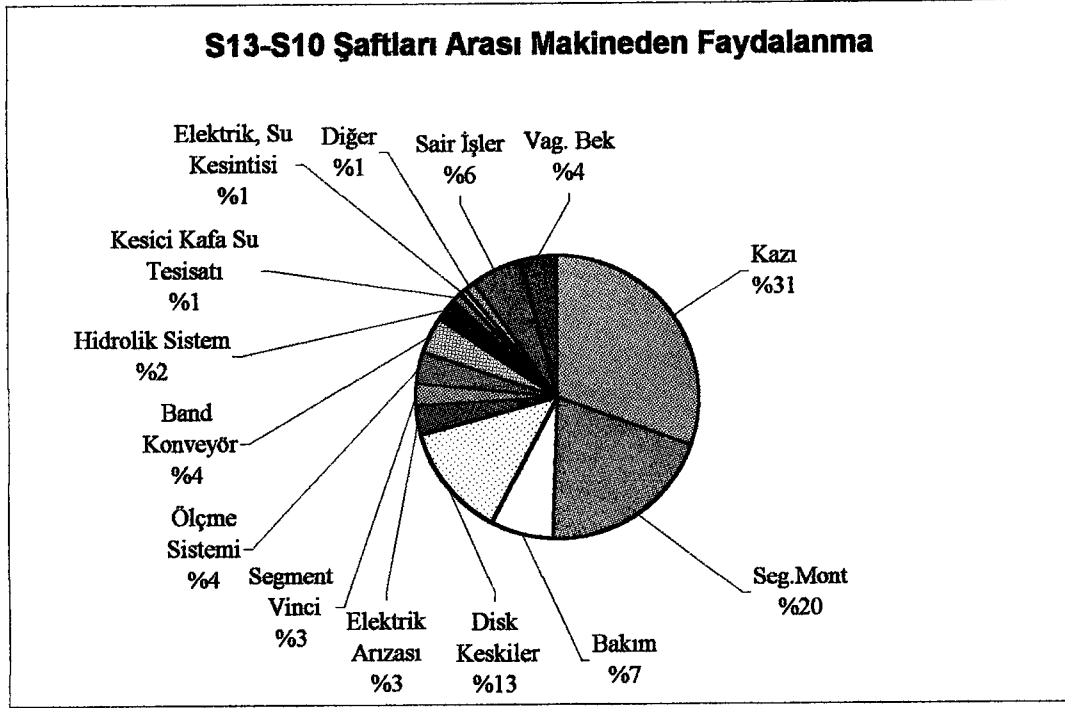
Ortalama haftalık ilerleme revizyondan önce 49,11 m, revizyondan sonra %58 artarak 77,67 m olmuştur. Ortalama aylık ilerleme revizyon öncesinde 221,1 m, revizyondan sonra %40 artarak 309,42 m olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 11.3 S13 – S11 şaftları arası makineden faydalanma



Şekil 11.4 S11 – S10 şaftları arası makineden faydalanma



Şekil 11.5 S13 – S10 şaftları arası makineden faydalanma

S13-S11 şaftları arasında kazı % 28, TBM kaynaklı arızalarda toplam süre içinde %33'lük süre almıştır. Revizyondan sonra S11-S10 şaftları arasında çalışılan sürenin %35'ini kazı ve TBM kaynaklı arızalarda çalışılan sürenin %24'ünü kapsamıştır. S13-S11 ve S11-S10 kısımlarının birleştirilmiş hali S13-S10 şaftları arası çalışılan sürenin %31'inde kazı yapılabilmektedir ve TBM kaynaklı arızalar çalışma süresinin %30'unu kaplamıştır.

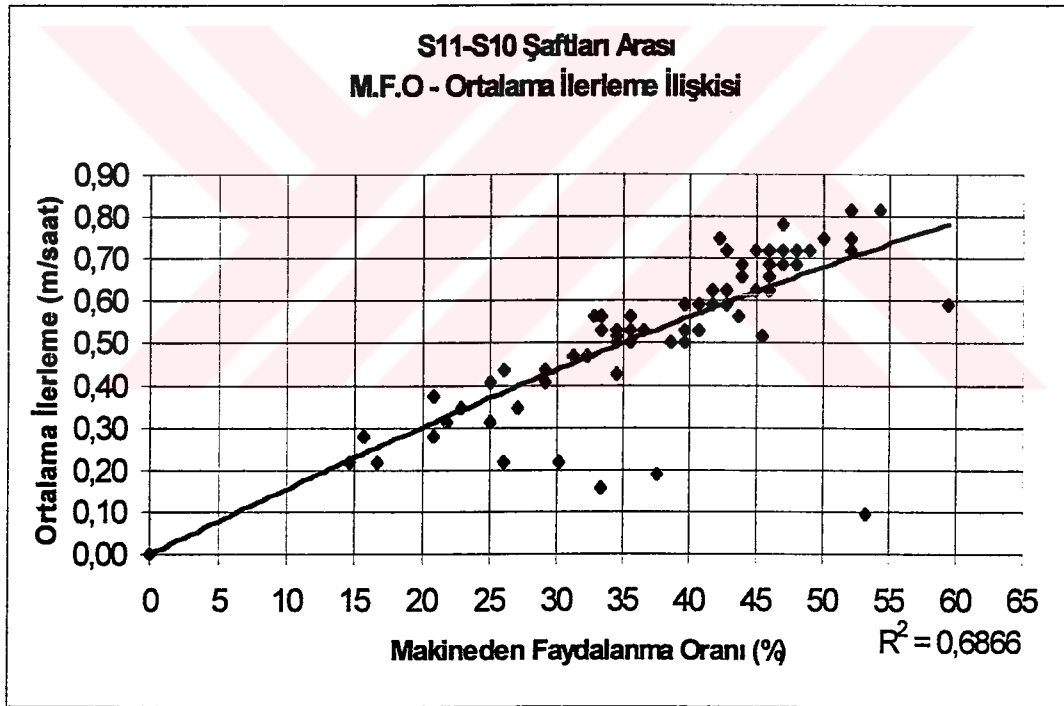
TBM'den kaynaklanmayan duraklamalar ise S13-S11 şaftları arasında %3, S11-S10 şaftları arasında ise %12'lik çalışma süresini kaplamıştır. S13-S10 şaftları arasında da TBM'den kaynaklanmayan arızalar toplam çalışma süresinin %6'sını oluşturmuştur. S11-S10 şaftları arasında TBM'den kaynaklanmayan duraklamaların başında vagon beklemesi gelmektedir.

S11-S10 arasında vagonların beklemesi %11'lik süre tutmuştur. Vagonların beklenmesinin bu kadar çok zaman alması S11 şaftının işletme şaftı yapılmamasından ve lokomotif arızası nedeni ile zaman zaman tek lokomotif ve katarla çalışılması gerektiği içindir. S11 şaftı işletme şaftı yapılmış olsa idi makine daha çok kazı yapabilirdi ve makineden faydalanma oranı %40'ı aşabilirdi.

Organizasyon yetersizliği ve şirketin daha önce TBM kullanmamasından kaynaklanan tecrübesizliği makinenin etkin bir şekilde kullanılmasına olanak vermemiştir.

Makineden faydalanma oranının artması için şantiye içi organizasyonun iyileştirilmesi ve çalışanların bilgi düzeyinin artırılması şarttır. Ayrıca bir çok tünel projesinde olduğu gibi TBM içinde çalışanların vardiya ilerlemesine göre prim alması çalışanlar için ekstra bir motivasyon kaynağı olacaktır.

S13-S10 şaftları arasında disk problemleri ve tecrübesizlikten makine performansı düşük olmuştur. Projenin geri kalan kısmı için makineden faydalanma oranına göre ortalama ilerlemeyi tahmin etmek amacı ile S11-S10 arasında elde edilen veriler kullanılarak şekil 11.6 oluşturulmuştur.



Şekil 11.6 S11-S10 şaftları arasında makineden faydalanma oranı ortalama ilerleme arasındaki ilişki

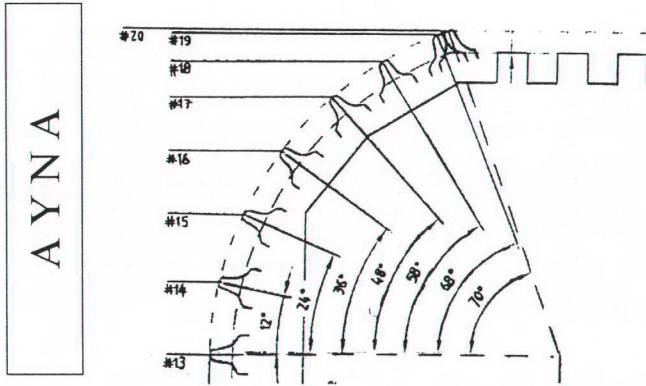
12. DİSK KESKİLERDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

12.1 Kesici Kafa Dizayını

Tünel açma makinesi sert kaya makinesi olarak dizayn edilmiştir. Kesici kafa disk keskilerle donatılmıştır. Kafa da 20 adet disk keski bulunmaktadır. Kullanılan keskiler sabit kesitlidir (Constant Cross Section). Kesici kafada 7 adet disk köşe pozisyonunda (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 nolu diskler) belirli bir açı ile yerleştirilmiştir. Ortada bulunan 4 adet disk keskinin yatak sabitlemesi diğer 16 diskten farklıdır. Orta kısım haricindeki disk keskinin yatak sabitleme sistemleri aynıdır. Keskiler arkadan değiştirilmektedir. Kesici kafada 3 adet pasayı içeri küreyen kanat vardır. Ayrıca 3 adette keskilere soğutmak ve tozu bastırmak için su püskürtme deliği mevcuttur. Kesici kafanın resmi ve disk keski numaraları şekil 12.1’de görülmektedir. Şekil 12.2 de köşe keskilerin pozisyonu verilmiştir. Tablo 12.1’de disklerin merkeze uzaklıkları ve duruş açıları verilmiştir.



Şekil 12.1 Tarabya Atık Su tüneline kullanılan TBM'in Kesici Kafası



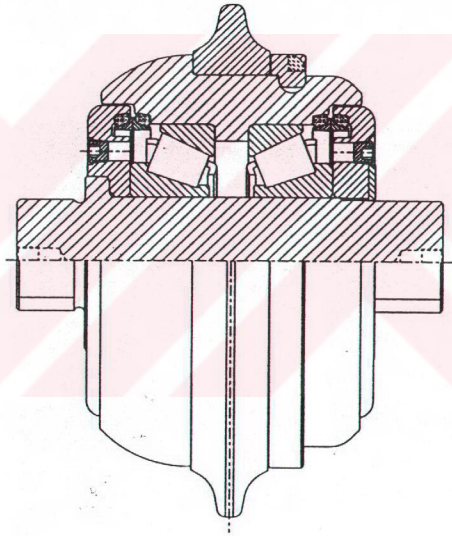
Şekil 12.2 Köşe keskinlerin pozisyonu

Tablo 12.1 Disklerin merkeze uzaklıkları ve duruş açıları

Disk No	Dönüş Yarıçapı (mm)	Duruş Açısı ($^{\circ}$)	Önceki Diskten Yatay Uzaklık (mm)	Disk Pozisyonu
1	50	0	50	Orta
2	135	0	85	Orta
3	220	0	85	Orta
4	305	0	85	Orta
5	391	0	86	Ayna
6	477	0	86	Ayna
7	563	0	86	Ayna
8	649	0	86	Ayna
9	735	0	86	Ayna
10	821	0	86	Ayna
11	907	0	86	Ayna
12	993	0	86	Ayna
13	1079	0	86	Ayna
14	1164,6	12	85,6	Köşe
15	1244,1	24	79,5	Köşe
16	1316,6	36	72,4	Köşe
17	1378,7	48	62,2	Köşe
18	1420,8	58	42,7	Köşe
19	1452,5	68	31,7	Köşe
20	1457,5	70	5	Köşe

12.2 Karşılaşılan Disk Problemleri

Kullanılan disk keskinin kesiti şekil 12.3’de görülmektedir. TBM ‘ de disk problemleri 0+170,25 m’den sonra başlamıştır. Disk problemleri 3 vardiya çalışmaya başlandıktan sonra sıklaşmıştır. Makinenin çalıştığı ilk 1 aylık zamanda disklerle ilgili herhangi bir problemle karşılaşılmaştır. Bunun nedeni ilk ayda makine kullanımı öğrenme süreci yaşanmıştır ve yoğun çalışma olmamıştır. En fazla problem 18 nolu keski de yaşanmaktadır. 18 nolu disk yatağı bloke olmakta ve disk çok kısa zamanda aşınmaktadır. Bir diğer sık karşılaşılan problemde orta pozisyonundaki disklerin yataklarında yaşanmaktadır.



Şekil 12.3 Disk keski kesiti

Disk keskilerde karşılaşılan problemler şöyle özetlenebilir ;

- Keski yatağının bloke olması,
- Aşırı keski aşınmaları,
- Keski yatağının içine pislik girmesi,

- Keski yatağını kafaya sabitleyen sistemin kırılması,
- Keski yatak millerinin eğilmesi.

12.2.1 Keskinin Yatağının Bloke Olması

Disk keskide düz yüzeyler şeklinde aşınmaların gözlenmesi keski yatağının kilitlendiğinin göstergesidir (Şekil 12.4). Keski yatağının bloke olması durumu en çok 18 nolu diskte görülmektedir. Bunun çeşitli nedenleri olmaktadır;

- 18 nolu disk köşe keski pozisyonunda bulunduğu için 58° açı ile durmaktadır. Diskin açılı durması itme kuvvetini her zaman yatak ekseninde almasını engellemektedir. Eğer disk itme yükünü yatak ekseninde alamaz ise yatak içindeki rulmanlar zarar görmektedir.
- Diskin içerisine pislik girmesi yatak içindeki yağlanmanın verimini düşürmektedir ve rulmanlara zarar vermektedir. Bu da yatağın kısa sürede arıza yapmasına neden olmaktadır.



Şekil 12.4 Yatağı bloke olmuş ve aşınmış bir disk keski

12.2.2 Aşırı Keski Aşınmaları

Keskilerin aşırı aşınmasının birinci derecede nedeni çalışılan formasyonun özellikleridir. İkinci olarak TBM kullanım parametreleridir ve aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Kesici kafa dizaynı, itme kuvveti, tork,
- TBM'in keskin dönüşler yapıcak şekilde yönlendirilmesi.

12.2.3 Keski Yatağının İçine Pislik Girmesi

Keski yatağındaki rulmanların ve keçelerin prosedürlere uygun olarak monte edilmeleri çok önemlidir. Yatak montajından sonra yatağın torku kontrol edilmelidir. Yatağın torkunun 20 – 25 Nm arasında olması gerekmektedir. Eğer montajı yapılan bir keski yatağı kontrol edildiğinde gerekli tork aralığında değilse, demonte edilip en baştan montajı yapılmalıdır. Eğer yatağın torku 25 Nm den fazla ise rulmanlar çok sıkılmış demektir. Bu da rulmanların aşırı ısınacağı ve keçelerin zarar göreceği anlamına gelmektedir. Eğer tork değeri 20 Nm'den az ise rulmanlar yeterli sıklıkta değildirlir ve kısa sürede gevşeyip zarar göreceklerdir. Bir diğer önemli nokta keski yatağına konulan gres yağı miktarıdır. Gres yağı yatak içine alttan basılmalı ve yağ basılırken disk döndürülmeli ve üstteki rulmana ulaştığı görüldüğünde yağ basma işlemi bitirilmelidir.

Yatak içinde ısı arttıkça gres yağda genişlemektedir. Eğer yağın genişmesi için yeterli boşluk yoksa, genişşen yağ keçeye baskı yapmaya başlar ve keçeye zarar verir. Keçenin zarar görmesi yatak içine pislik girmesine neden olur. Böylece yatak kısa sürede zarar görür [14].

12.2.4 Keski Yatağını Kafaya Sabitleyen Sistemin Kırılması

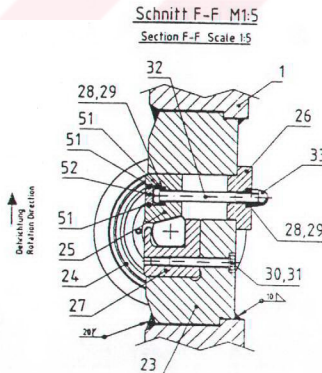
Disk keskiyi kafaya sabitleyen sistem orta pozisyonda (1,2,3,4 nolu keskiler) bulunan keskilerde sorun yaratmaktadır. Ortada bulunan keskilerin sabitlenme şekli diğer 16 diskten farklıdır. Ayna ve köşe keskilerin kafaya sabitlenme sistemi ile ilgili herhangi bir sorun ile karşılaşmamaktadır. Şekil 12.5'de ayna ve köşe keski sabitlenme sistemi görülmektedir. Orta pozisyonadaki keskilerin sabitlenme sistemi

TBM ilk dizaynı yapıldığında şekil 12.6a'da görüldüğü gibidir fakat TBM'i alan firmanın makine fiyatında indirim istemesi sonucu dizayn şekil 12.6b'deki duruma getirilmiştir.

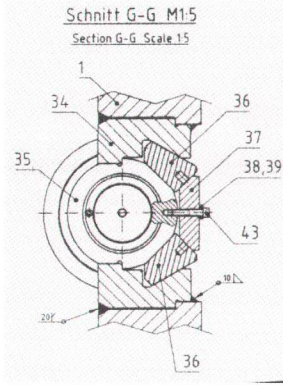
Değiştirilen dizayn daha ucuza mal olmuştur. Fakat beraberinde bir çok sorunu getirmiştir. Civatalar ve çelik parçalar sürekli kırılmakta ve makine performansını olumsuz yönde etkilemektedir. TBM satın alınırken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta disk yataklarının kesici kafaya nasıl sabitlendiği ve kullanılan disk keskilerin yatak mukavemetleridir.

Orta keskinlerin sabitlenmesi 2 adet kep (şekil 12.6b'de 37 nolu parça) denilen çelik parça ve 4 civata ile yapılmaktadır. İlk sorunlar keplerin eğilmesi ve kırılması olarak gerçekleşmiştir. Keplerin kırılmasını önlemek için keplerin kalınlığı artırıldı. Fakat bu sefer de civatalar kırılmaya başladı. Civataların boyutları 20 mm'den 24 mm'ye çıkarıldı ama gene de civata kırılma sorunu giderilemedi.

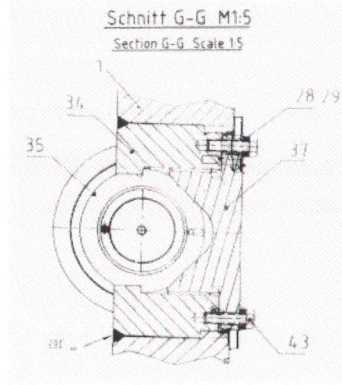
İlk yapılan dizaynda diske gelen itme kuvveti tutucu parçanın yanlara doğru açılması ile gelen yük yayılmaktadır. Fakat makine fiyatında indirim istenmesinden sonra dizayn çok daha ucuza mal olacak şekilde değiştirilmiştir. İkinci dizaynda diske gelen yükü sadece 4 civata karşılamaktadır. Gelen yükü 4 civata kesinlikle taşıyamamaktadır ve sürekli kırılmaktadır. Şekil 12.7 civatası kırılmış kep görülmektedir.



Şekil 12.5 Ayna ve köşe keskinlerin sabitlenme sistemi

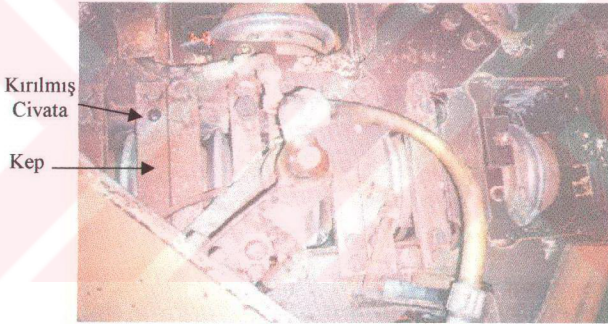


(a) İlk dizayn



b) Uygulanan İkinci dizayn

Şekil 12.6 Orta keskinlerin sabitleme sistemi



Şekil 12.7 Civatası kırılmış kep

Sorunun giderilmesi için TBM üreticisi tarafından gönderilen disk uzmanının gözlemlerine göre yapılması gerekli olan bazı noktalar atlanmaktadır. Disk uzmanının önerileri şöyle özetlenebilir;

- Keplerin disklere tam olarak oturması gerekiyor. Atölyede keplerin disklere tam olarak oturmadığı boşluk kaldığı görüldü.
- Kepleri sabitleyen civatalarda pul kullanılması gerekiyor. Pul civata ile kep arasında boşluk kalmamasını sağlayacaktır.

diskin 5 mm geri de durması sağlanmıştır. Amerika'dan getirilen disklerin yerleştirildiği pozisyonlar aşağıdaki gibidir;

15 nolu disk çift kesikli heavy duty,

16 nolu disk tek kesikli heavy duty,

17 nolu disk çift kesikli heavy duty,

18 nolu disk tek kesikli heavy duty.

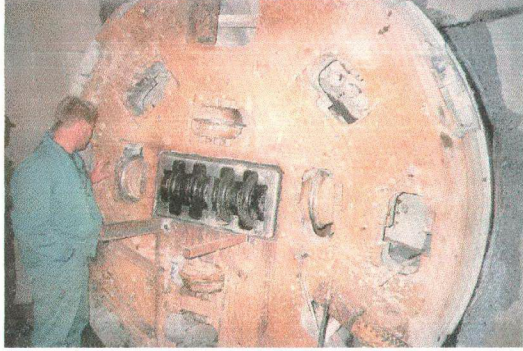
27.10.2000 tarihinde yukarıdaki diskler monte edilmiştir. Yeni disk kesikilerle 18 nolu diskteki problem kısmende olsa çözülmüştür.

18 nolu disk keskinin kesici kafadaki pozisyonunu veya açısını değiştirmek mümkün olmadığı için çözüm olarak yatak mukavemeti daha yüksek disk kesikilerin kullanılmasına gidilmiştir.

Kesici kafadaki diğer önemli bir sorun 1,2,3,4 nolu kesikilerin yataklarının sabitlenmesinde yaşanmaktadır. Bu sorunun kesin çözebilmek için TBM, S11 şaftına ulaştığı zaman 1,2,3,4 nolu kesikilerin yataklarının komple değiştirilmesine karar verilmiştir. TBM üretici firma yeni bir dizayn yaparak 1,2,3,4 nolu keski yataklarını imal etmiştir. TBM, S11 şaftına ulaştığında 1,2,3,4 nolu keski yatakları kesilerek yerinden çıkarılmış ve yeni dizayn edilen keski yatakları monte edilmiştir. 1,2,3,4 nolu keskilere daha az yük gelmesini sağlamak için 5 ve 6 nolu keski pozisyonuna çift kesici ringli ve yatak mukavemeti %50 daha yüksek (heavy duty) olan keskiler takılmıştır. Ayrıca S11 şaftında bütün diskler yenileri ile değiştirilmiştir. Şekil 12.8'de S11 şaftında kesici kafada yapılan revizyon görülmektedir.



Şekil 12.8 S11 şaftında kesici kafada yapılan revizyon

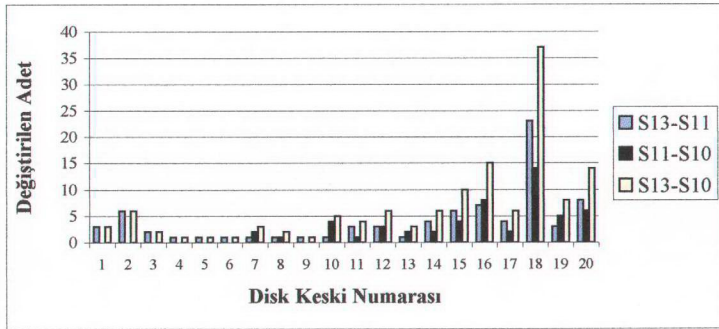


Şekil 12.8 S11 şaftında kesici kafada yapılan revizyon (devam)

12.4 Keski Sarfiyatı

Keski sarfiyatı etkileyen bir çok değişken vardır. Bu değişkenler kazı yapılan formasyonun özellikleri, kesici kafa dizaynı, kullanılan keski tipi, kazı sırasında kesici kafaya uygulanan itme kuvveti, aynada sert ve yumuşak formasyon olması, TBM dönüş durumu olarak sıralanabilir.

Köşe keskiçiler açılı duruşlarından dolayı daha çok yüke maruz kalmaktadırlar. Köşe keskiçilere gelen aşırı yükü azaltmak için keskiçiler arası mesafe giderek azalmaktadır. Tarabya atıksu tüneline kullanılan TBM’de köşe keski pozisyonundaki 18 nolu keski yatağı ve kesici ringi en çok aşınan keskidir. Şekil 12.9’da her keskinin kaç sefer değiştirildiği görülmektedir. Keski sarfiyatı S13-S11 ve S11-S10 şaftları arasında birbirine yakın gerçekleşmiştir. Tablo 12.10’da keski sarfiyatları ve keski maliyetleri verilmiştir.



Şekil 12.9 Disk keski sarfıyatı

Tablo 12.2 Keski sarfıyatları ve keski maliyeti

	S13-S11 Şaftları Arası	S11-S10 Şaftları Arası	S13-S10 Şaftları Arası
Keski Sarfıyatı	108,86 m ³ /keski	114,77 m ³ /keski	111,34 m ³ /keski
	16,37 m/kesci	17,26 m/kesci	16,74 m/kesci
Keski Maliyeti	36,74 DM/m ³	34,85 DM/m ³	35,93 DM/m ³

13. TBM ÇALIŞMASINDA OLUŞAN ARIZALARIN ANALİZİ

13.1 Arızaların Gruplandırılması

TBM kullanılarak yapılan tünellerde değişen kazı ortamının gereklerine kazı sistemi uyamadığında duraklamalar, arızalar meydana gelir. İyi bir tünellerlik çalışması her türlü duraklama ve arızanın minimum olacağı şekilde her şeyi planlamalıdır. Bu yüzden duraklamaların ve arızaların nedenleri ve makine performansı üzerindeki etkileri çok iyi anlaşılmalıdır. [15]

Tarabya atıksu tüneline kullanılan TBM de meydana gelen arızaları S13-S11 şaftları arasında ve S11-S10 şaftları arasında olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmiştir. TBM ilk şafta (S11) gelene kadar en çok keski problemleri ile karşılaşmıştır. İlk şaftta TBM konveyörünün bandı değiştirilmiş ve bütün sistemin bakımı yapılmıştır. Ayrıca kesici kafa da revizyon yapılmıştır. Kesici kafada yapılan revizyonda 1,2,3,4 nolu keskinin yatakları değiştirilmiştir. Yapılan revizyonun arızalar üzerindeki etkisini anlayabilmek için sistem 2 kısımda değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapabilmek için vardiya raporlarından arızaların süreleri alınmıştır ve alınan arıza türleri gruplandırılmıştır. Tablo 13.1 gruplandırılan arızalar verilmiştir. Tablo 13.2 de TBM'den kaynaklanmayan duraklamalar verilmiştir.

Tablo 13.1 Arıza Grupları

Arıza Grubu	Arıza Cinsi
Kesici Kafa + Kalkan	Elektrik sistem arızaları Hidrolik sistem arızaları Kesici kafa su tesisatı arızaları Hararet yükselmesi Erektör arızaları
Keskiler	Orta keski yatakları , keski değişimi
Back-up Sistemi	Konveyör band arızaları Segment Vinci arızaları Ölçme sistemi : bilgisayar, lazer arızaları

Tablo 13.2 TBM'den kaynaklanmayan duraklamalar

TBM'den kaynaklanmayan duraklamalar	Vagon bekleme Vagon devrilmesi Elektrik kesintisi Su kesintisi TBM kalkan sıkışması Aşırı Su Gelmesi Lokomotif Arızaları
-------------------------------------	--

13.2 Arıza ve Duraklamaların Frekansları

S13-S11 şaftları arasında makinenin ilk çalışmaya başladığı 14 gün boyunca vardiya raporu tutulmamıştır. Daha sonra düzenli olarak her vardiyada rapor tutulmuştur. S13-S11 şaftları arasında 476 vardiya çalışma olmuştur. S11-S10 şaftları arasında ise 223 vardiya çalışma olmuştur. Tüm vardiyaların raporları incelenmiştir.

S13-S11 şaftları arasında çalışılan vardiyaların %27'sinde (129 vardiyada) TBM'den kaynaklanan arızalar için duraklama söz konusu olmamıştır. Tüm vardiyaların %12'sinde (58 vardiya) TBM kaynaklı arızalar 8 saatlik tüm vardiyayı kapsamıştır.

S11-S10 şaftları arasında vardiyaların %29'unda (66 vardiya) TBM'den kaynaklanan arıza olmamıştır. Arızanın tüm vardiyayı kapsadığı durum vardiyaların sadece %3'ünde (7 vardiya) olmuştur.

13.2.1 Kesici Kafa ve Kalkan Arızalar Grubu

Kesici kafa ve kalkan TBM'in elektrik ve hidrolik sisteminin en çok bulunduğu bölgelerdir. S13-S11 şaftları arasında bu grupta en sık olan (56 vardiyada) ve en fazla duraklama (çalışılan sürenin %2,64'ü) elektrik arızalarında olmuştur. S11-S10 şaftları arasında ise en sık hidrolik sistem arızaları (16 vardiyada) ve en fazla duraklamayı da yine hidrolik sistem arızaları (çalışılan sürenin %1,71'i) yaratmıştır.

Revizyondan önce kesici kafa ve kalkan kaynaklı arızalar toplam sürenin %6,8'ini kaplarken revizyondan sonra bu oran %3,92'ye düşmüştür. Tablo 13.3 de kesici kafa ve kalkandan kaynaklanan arızaların frekansları ve duraklama yarattıkları süreler görülmektedir.

Tablo 13.3 Kesici kafa ve kalkan arızaları frekansları ve duraklama süreleri

Arıza Grubu	Arıza Cinsi	S13-S11 Şaftları Arası (Revizyondan Önce)				S11-S10 Şaftları Arası (Revizyondan Sonra)				S13-S10 Şaftları Arası			
		Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	
Kesici Kafa + Kalkan	Elektrik Arızaları	56	100,75	2,64	13	17	0,92	69	117,75			2,08	
	Hidrolik Arızaları	25	88,25	2,31	16	31,75	1,71	41	120			2,12	
	Kesici Kafa Su tesisatı	20	38	1,00	8	16,5	0,89	28	54,5			0,96	
	Hararet	23	14,25	0,37	9	7	0,38	32	21,25			0,37	
	Yükselmesi	9	18,25	0,48	10	14	0,75	19	32,25			0,57	
	Erektör Arızaları	133	259,5	6,80	56	86,25	4,65	189	345,75			6,10	
	Toplam												

13.2.2 Keski Arıza Grubu

Keski arızaları 1,2,3,4 nolu keskilerin (orta keski) yatak arızaları ve aşınan keskilerin değiştirilmesi olarak gruplandırılmıştır. S13-S11 şaftları arası orta keskilerin yataklarının civata kesmesi veya kep denilen çelik parçanın kırılması şeklinde oluşan arızalar 80 vardiyada meydana gelmiş ve çalışma süresinde %6,13'lük duraklamaya neden olmuştur. S11 şaftında yapılan revizyonla orta keskilerin yatağının değiştirilmesinden sonra S11-S10 şaftları arasında orta keski yataklarından kaynaklanan duraklama çalışma süresinin %1,58'inde duraklama yaratmıştır. Kesici kafada yapılan revizyon makinenin kazı yapabileceği süreyi arttırarak performansı olumlu etkilemiştir.

Aşınan keskilerin değişmesi S13-S11 şaftları arasında çalışılan sürenin %8,22'sini, S11-S10 şaftları arasında ise %9,08'i kaplamıştır. Revizyonda takılan yatak mukavemeti daha yüksek (Heavy Duty) disk keskilerin değiştirilmesi biraz daha zor olduğu için keski değişim süresi revizyondan sonra artmıştır. Tablo 13.4 de keski arızaları frekansları ve duraklama süreleri verilmiştir.

13.2.3 Back-Up Sistem Arıza Grubu

S13-S11 şaftları ve S11-S10 şaftları arasında back-up sistem arızalarından en sık karşılaşılan band konveyör arızaları olmuştur. Band konveyör yırtılması en çok süre alan band arızasıdır. Çatlaklı formasyonlarda kazı yaparken gelen iri kaya parçaları band konveyörle tavan segmenti arasına sıkışarak bandın yırtılmasına neden olmaktadır. Segment vinç çok basit bir vinç mekanizması olmasına rağmen çok sık arıza yapmaktadır. Segment vincinin yürüme sistemi, elektrik aksamı arızalar yapmaktadır. Çalışma ortamına daha dayanıklı bir vinç sistemi olmaması toplam çalışma süresinde (S13-S10 şaftları arasında) %2,58 kayıp yaratmıştır.

Kalkanın içinde bulunan bilgisayar arızalarının başlıca nedeni ısının ve vibrasyonun yüksek olmasıdır. Bilgisayar back-up sistemde kesici kafadan uzak vibrasyon ve ısının daha az olduğu bir yere yerleştirilebilirdi. Operatörün makine pozisyonu görebilmesi için sadece bir ekran yeterlidir. Bunun yapılmaması toplam çalışma süresinin %2,74'ünde duraklamaya neden olmuştur. Tablo 13.5 back-up sistemi arıza grubu frekansları ve duraklama süreleri verilmiştir.

Tablo 13.4 Keski arızaları frekansları ve duraklama süreleri

Arıza Grubu	Arıza Cinsi	S13-S11 Şaftları Arası (Revizyondan Önce)			S11-S10 Şaftları Arası (Revizyondan Sonra)			S13-S10 Şaftları Arası		
		Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)
Keskiler	Orta Keski Yatakları	80	234	6,13	11	29,25	1,58	91	263,25	4,64
	Keski Değişimi	58	313,75	8,22	60	168,5	9,08	118	482,25	8,50
	Toplam	138	547,75	14,35	71	197,75	10,65	209	745,50	13,14

Tablo 13.5 Back-up sistem arızaları frekansları ve duraklama süreleri

Arıza Grubu	Arıza Cinsi	S13-S11 Şaftları Arası (Revizyondan Önce)			S11-S10 Şaftları Arası (Revizyondan Sonra)			S13-S10 Şaftları Arası		
		Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)
Back-Up Sistem	Band Konveyör Arızaları	65	150,5	3,94	32	107,5	5,79	97	258	4,55
	Segment Vinç Arızaları	62	89	2,33	30	57,5	3,10	92	146,5	2,58
	Bilgisayar Arızaları	44	152	3,98	4	3,5	0,19	48	155,5	2,74
	Lazer Arızaları	19	51,25	1,34	-	-	-	19	51,25	0,90
	Toplam	190	442,75	11,60	66	168,5	9,08	256	611,25	10,78

13.2.4 TBM'den Kaynaklanmayan Duraklamalar

TBM'den kaynaklanmayan duraklamalar S13-S11 şaftları arası çalışılan sürenin %2,86'sını, S11-S10 şaftları arasında ise çalışılan sürenin %11,97'sini kaplamıştır. S11-S10 şaftları arası TBM'den kaynaklanmayan duraklamanın bu kadar büyük olmasının nedeni S11 şaftının işletme şaftı yapılmamasından kaynaklanmaktadır. S11 şaftı işletme şaftı yapılmadığı için vagonlar S13 şaftından boşaltılmaktadır. Mesafenin uzun olmasından dolayı süreyi kısaltmak için hızlı kullanılan lokomotif S11-S10 şaftları arasından 18 defa vagonların raydan çıkmasına neden olmuştur. Katarın en başında bulunan segmentleri taşıyan vagon su seviyesinin yüksek olduğu tünel kesimlerine hızlı girdiğinde suyun kaldırma kuvveti ile raydan çıkmaktadır. S11-S10 şaftları arası vagon beklemesinin fazla olmamasının bir diğer nedenide lokomotiflerden birinin arıza yapmış olması ve bir süre tek lokomotifle çalışılmış olmasıdır. Tablo 13.6 TBM'den kaynaklanmayan duraklamaların frekansları ve süreleri verilmiştir.

S11-S10 şaftları arasında makinenin kazıya hazır olduğu fakat vagon olmadığı için kazı yapamadığı süre çalışılan sürenin % 10,97'sini oluşturmaktadır. Müteahhit firmanın organizasyon yetersizliği ve tecrübesizliği makine performansını önemli ölçüde etkilemiştir.

13.3 Arızaların Değerlendirilmesi

TBM, kesici kafa ve back-up ünitelerinin dizaynı performansı etkileyen en önemli faktörlerdir. Her tünel açma makinesinde arızalar duraklamalar kaçınılmazdır. Keskileri, keskiler arası mesafesi, itme kuvveti ve tork'u belirli bir makinenin tünel içerisindeyken dizaynında değişiklik yapmak çok zor ve maliyeti çok yüksektir. TBM performansını artırmanın en etkin yolu makinenin kazı yapabileceği süreyi arttırmaktır. Makineden faydalanma oranını arttırmak içinde makine arıza ve duraklama sürelerini en aza indirmek şarttır.

Oluşan arıza ve duraklamaların frekanslarına bakıldığında zaman S13-S11 şaftları arasında en sık karşılaşılan duraklama nedeni orta keski yatakları (80 vardiyada) olmuştur. S11-S10 şaftları arasındaki en sık olan duraklama nedeni vagon bekleme (192 vardiyada) olmuştur. Kesici kafa ve kalkan, keskiler ve back-up arıza gruplarının S11 şaftından sonraki kısımda hem frekansları hemde duraklama süreleri

Tablo 13.6 TBM'den kaynaklanmayan duraklamaların frekansları ve süreleri

Arıza Grubu	Arıza Cinsi	S13-S11 Şaftları Arası (Revizyondan Önce)				S11-S10 Şaftları Arası (Revizyondan Sonra)				S13-S10 Şaftları Arası		
		Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)	Toplam Sürenin Çalışma Süresi İçindeki Yüzdesi (%)	Frekans (Vardiya Adet)	Toplam Süre (saat)
TBM'den Kaynaklanmayan Duraklamalar	Vagon Bekleme	49	32,5	0,85	192	179	9,64	241	211,5	3,73		
	Vagon Devrilmesi	4	2	0,05	18	24,75	1,33	22	26,75	0,47		
	Elektrik Kesintisi	17	36,25	0,95	1	0,5	0,03	18	36,75	0,65		
	Su Kesintisi	7	11,75	0,31	-	-	-	7	11,75	0,21		
	TBM Kalkan Sıkışması	8	14,5	0,38	-	-	-	8	14,50	0,26		
	Aşırı Su Gelmesi	2	12	0,31	-	-	-	2	12,00	0,21		
	Lokomotif Arızaları	-	-	-	11	18,5	1,00	11	18,50	0,33		
	Toplam	87	109	2,86	221	222,25	12,00	309	331,75	5,85		

azalmıştır. TBM'den kaynaklanmayan duraklamalar ise S11 şaftından sonra hem frekans olarak hemde duraklama süresi olarak artmıştır. Arıza ve duraklamaların frekanslarına göre sıralaması tablo 13.7'de ve duraklama sürelerine göre sıralamasıda tablo 13.8'de verilmiştir.

TBM'de dizayn hatası olarak yorumlanabilecek olan orta keski yatakları ve ölçme sistemi bilgisayarı S13-S11 şaftları arasında çalışma süresinin %10'ununda duraklamaya neden olmuştur. TBM bilgisayarına vibrasyonu emici bir bağlantı elemanı yerleştirilmiştir. S11-S10 şaftları arasında orta keski yatakları ve TBM bilgisayarı çalışma süresinde %1,8'lik duraklama yaratmışlardır.

Segment vincinde yaşanan sorunlar bir türlü kesin bir çözüm bulunamamıştır. S13-S11 şaftları arasında %2,33 ve S11-S10 şaftları arasında %3,1'lik duraklamaya neden olmuştur.

Tarabya atıksu tüneline kullanılan TBM'in orta keski yatakları, segment vinci ve ölçme sisteminin bilgisayarı S13-S10 şaftları arasında toplam süre içerisinde % 10'luk duraklama yaratmıştır. Ayrıca S11 şaftının işletme şaftı yapılmamasından dolayı oluşan vagon bekleme toplam çalışma süresi içinde %3,73'lük duraklamaya neden olmuştur.

TBM dizayn hataları ve organizasyon bozukluğundan dolayı toplam çalışma süresinin %13,7'sinde duraklama meydana gelmiştir. Dizayn hatalarının düzeltilmesi ve organizasyonun iyileştirilmesi TBM performansının artırılması için kaçınılmazdır.

Tablo 13.7 Arıza ve Duraklamaların Frekanslarına Göre Büyükten Küçüğe Doğru Sıralanması

S13-S11 Şaftları Arası (Revizyondan Önce)	S11-S10 Şaftları Arası (Revizyondan Sonra)	S13-S10 Şaftları Arası
Orta Keski Yatakları	Vagon Bekleme	Vagon Bekleme
Band Konveyör Arızaları	Keski Değişimi	Keski Değişimi
Segment Vinç Arızaları	Band Konveyör Arızaları	Band Konveyör Arızaları
Keski Değişimi	Segment Vinç Arızaları	Segment Vinç Arızaları
Elektrik Arızaları	Vagon Devrilmesi	Orta Keski Yatakları
Vagon Bekleme	Hidrolik Arızaları	Elektrik Arızaları
Bilgisayar Arızaları	Elektrik Arızaları	Bilgisayar Arızaları
Hidrolik Arızaları	Orta Keski Yatakları	Hidrolik Arızaları
Hararet Yükselmesi	Lokomotif Arızaları	Hararet Yükselmesi
Kesici Kafa Su tesisatı	Erektör Arızaları	Kesici Kafa Su tesisatı
Lazer Arızaları	Hararet Yükselmesi	Vagon Devrilmesi
Elektrik Kesintisi	Kesici Kafa Su tesisatı	Erektör Arızaları
Erektör Arızaları	Bilgisayar Arızaları	Lazer Arızaları
TBM Kalkan Sıkışması		Elektrik Kesintisi
Su Kesintisi		Lokomotif Arızaları
Vagon Devrilmesi		TBM Kalkan Sıkışması
Aşırı Su Gelmesi		Su Kesintisi
		Aşırı Su Gelmesi

Tablo 13.8 Arıza ve Duraklamaların Çalışılan Süre İçindeki Yüzdelerine Göre Büyükten Küçüğe Doğru Sıralanması

S13-S11 Şaftları Arası (Revizyondan Önce)	S11-S10 Şaftları Arası (Revizyondan Sonra)	S13-S10 Şaftları Arası
Keski Değişimi	Vagon Bekleme	Keski Değişimi
Orta Keski Yatakları	Keski Değişimi	Orta Keski Yatakları
Bilgisayar Arızaları	Band Konveyör Arızaları	Band Konveyör Arızaları
Band Konveyör Arızaları	Segment Vinç Arızaları	Vagon Bekleme
Elektrik Arızaları	Hidrolik Arızaları	Bilgisayar Arızaları
Segment Vinç Arızaları	Orta Keski Yatakları	Segment Vinç Arızaları
Hidrolik Arızaları	Vagon Devrilmesi	Hidrolik Arızaları
Lazer Arızaları	Lokomotif Arızaları	Elektrik Arızaları
Kesici Kafa Su tesisatı	Elektrik Arızaları	Kesici Kafa Su tesisatı
Elektrik Kesintisi	Kesici Kafa Su tesisatı	Lazer Arızaları
Vagon Bekleme	Erektör Arızaları	Elektrik Kesintisi
Erektör Arızaları	Hararet Yükselmesi	Erektör Arızaları
TBM Kalkan Sıkışması	Bilgisayar Arızaları	Vagon Devrilmesi
Hararet Yükselmesi		Hararet Yükselmesi
Su Kesintisi		Lokomotif Arızaları
Aşırı Su Gelmesi		TBM Kalkan Sıkışması
Vagon Devrilmesi		Su Kesintisi
		Aşırı Su Gelmesi

14. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TBM performansını etkileyen çok çeşitli faktörler vardır. Bunların başında tünel açılacak formasyonun özellikleri, kesici kafa dizaynı, TBM back-up üniteleri ve şantiye organizasyonu gelmektedir. TBM ile yapılacak tünel çalışması için önceden yapılan jeoteknik çalışmaların detaylı yapılması zorunludur. Kesici kafa dizaynı tünel açılacak formasyon özelliklerine ve kazı çapına göre dizayn edilmektedir. Tam boyutlu kesme deneyleri kesici kafa dizaynının optimum yapılmasına imkan vermektedir. Jeoteknik çalışmadaki yetersiz veriler çok pahalı olan TBM'in yanlış dizayn edilmesine ve TBM kullanan şirketin büyük zarara girmesine neden olabilir.

Tarabya atıksu tünelineinde kullanılan TBM'in montajı benzer çapdaki makinelere göre daha uzun sürmüştür. TBM şaft başına geldikten 30 gün sonra kazı yapmaya başlamıştır.

TBM performansı 2 kısımda incelenmiştir bunun nedeni yapılan revizyonun performansa olan etkisinin bulunmasıdır. İlk olarak S13-S11 şaftları arasında gerçekleşen performans incelenmiştir. S11 şaftında kesici kafa revizyonu ve makinenin detaylı bakımı yapılmıştır. Daha sonra S11-S10 şaftları arasındaki performans incelenmiş ve ilk kısım ile karşılaştırılmıştır.

Makineden faydalanma oranı revizyondan önce %28 iken revizyondan sonra %35'e yükselmiştir. TBM ortalama ilerleme hızı 0,3 m/saat'den 0,5 m/saat'e yükselmiştir. S11 şaftında yapılan kesici kafa revizyonu ve makine bakımı TBM'den kaynaklanan arızaların miktarını azaltmıştır. S13-S11 şaftları arasında TBM'den kaynaklanan arızalar çalışma süresinin %35'ini kaplarken S11-S10 şaftları arasında bu oran %24'e düşmüştür. TBM kaynaklı arızaların düşmesinin önemli bir nedeninde çalışanların tecrübesinin artmış olmasıdır.

Disk keskilerde karşılaşılan en büyük problem 1,2,3,4 nolu keskilerin yataklarının kırılmasıdır. S11 şaftında yapılan revizyondan sonra bu sorun ortadan kalkmıştır. Keskilerle ilgili diğer önemli problem 18 nolu disk keskide yaşanmıştır. 18 nolu disk

keski yatağı çok sık bloke olmaktadır. Bu keskiye gelen yükü azaltmak için keskinin 5 mm geride durması sağlanmıştır. Ayrıca 15, 16, 17 ve 18 nolu keskilerde yatak mukavemeti %50 daha yüksek keskiler kullanılarak kısmende olsa bu sorun giderilmiştir.

TBM ölçme sisteminde ve TBM yönlendirilmesinde önemli problemlerle karşı karşıya kalınmıştır. S13-S11 şaftları arası TBM 5 m. kadar dizayn edilmiş tünel ekseninden sapmıştır. TBM dizayn edilmiş tünel eksenine döndürülmesi için TBM zaman zaman limitlerini aşacak şekilde kullanılmıştır. Dönüşlerin keskin yapılması köşe pozisyonundaki disk keskilere gelen yüklerinde artmasına neden olduğu için disk keski problemleri yönlendirme problemleri sırasında sıklaşmıştır. Ayrıca ölçme sisteminin bilgisayarın kalkan içerisinde kesici kafaya yakın bir yerde ısı ve vibrasyonun yoğun olduğu bölgede bulunduğu için çok sık arıza yapmıştır. S13-S11 şaftları arasında çalışılan sürenin % 4'ünde duraklama yaratmıştır.

TBM ile yapılan tünelcilik çalışması çok iyi planlama ve organizasyonu gerektirir. Planlama ve organizasyondaki aksaklıklar makine performansını önemli ölçüde etkilemiştir. TBM'in ilk çıktığı S11 şaftı işletme şaftı yapılmamıştır bu yüzden S11-S10 şaftları arasında çalışılan sürenin %11'i vagonların beklenmesi için harcanmıştır.

TBM performansını artırmak için kesici kafa dizaynı (keski sayısı, keski tipi, keskiler arası mesafe) değiştirilmeli veya makinenin uyguladığı baskı ve tork kuvveti arttırılmalıdır. Kesici kafa dizaynını değiştirmek imkansızdır ve keski yataklarının mukavemetleride uygulanan baskı ve torku sınırlamaktadır.

TBM kullanımında keskilere zarar vermeyecek maksimum baskı kuvveti uygulanmaktadır. TBM performansını arttırmanın tek yolu arıza ve beklemlerin minimumda tutulmasını sağlamaktır. Diğer bir deyişle TBM'in kazı yapmaya uygun olduğu sürenin arttırılması şarttır. Bunun içinde organizasyon ve planlamanın çok iyi oluşturulması gereklidir. Ayrıca çalışanların eğitimi ve makine ilerlemesine göre prim almalarında TBM performansını olumlu yönde etkileyecektir.

TBM satın alınırken kesici kafa dizaynı ve disk keskilerin yataklanması, segment vincinin özellikleri ve ölçme sistemi için varsa bilgisayarın konumuna özellikle dikkat etmek TBM kullanımında karşılaşılabilecek sorunların minimum olması için gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Olgunsöz, Ö., Şennazlı, N. ve Vardar, M.**, 1998. Tarabya Atıksu Kuşaklama Tüneli Jeoteknik Raporu
- [2] Tarabya Atıksu Tüneli Projesi İdari Şartnamesi
- [3] Tarabya Atıksu Tüneli Projesi Teknik Şartnamesi
- [4] Lovat Firması TBM Kataloğu
- [5] TBM teknik dökümanları, Herrenknecht firması
- [6] **Özdemir, L.**, 1992, Mechanical Excavation Techniques In Underground Construction, Short Course Notebook Volume 1, s.22-25
- [7] Ceresola firması teknik dökümanları
- [8] VMT firması Ölçme Sistemi teknik dökümanları
- [9] İnternet adresi : www.vmt.de
- [10] **Öztürk, A. K.**, 2001, Kişisel görüşme
- [11] **Tunnels & Tunnelling**, 1989, Channel Tunnel Laser Guidance System, s. 54
- [12] **Rostami, J., Özdemir, L. and M.Neil, D.**, Performance prediction : A key issue in mechanical hard rock mining, Mining Engineering, November, 1994
- [13] **Nelson, P.**, TBM performance analysis with reference to rock properties, Mechanized Excavation, s.266
- [14] **Ferguson, B.**, 2000, Kişisel görüşme
- [15] **Nelson, P., Thomas, D., Glasser, S.**, 1981, TBM system downtime- Causes, frequency and duration on six tunnel projects, RETC Proceedings Volume 1, s. 751

ÖZGEÇMİŞ

Cenk Feridunoğlu, 4 Haziran 1977 tarihinde İstanbul'da doğdu. 1995 yılında Özel Işık Lisesini bitirdi. 1995 yılında İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümüne girdi ve 1999 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılının başından bu yana Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

