

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜÇÜKSU TÜNELLERİNDE KOLLU GALERİ
AÇMA MAKİNESİNİN PERFORMANS TAHMİNİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Deniz TUMAÇ**

Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : MADEN MEKANİZASYONU VE
TEKNOLOJİSİ**

OCAK 2004

**KÜÇÜKSU TÜNELLERİNDE KOLLU GALERİ AÇMA
MAKİNESİNİN PERFORMANS TAHMİNİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Deniz TUMAÇ
(505011070)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Ocak 2004**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nuh BİLGİN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ali KAHRİMAN
Yrd. Doç Dr. Hanifi ÇOPUR**

OCAK 2004

ÖNSÖZ

İş kalitesinin ve güvenliğinin giderek önem kazandığı globalleşen dünyada madencilik ve inşaat sektörlerinde de bu ivmenin hızla yakalandığı görülmektedir. Ekonomik ve güvenli çalışmanın yanısıra çevreyle olan etkileşimde bu sektörleri teknolojik açıdan büyümeye itmektedir. Şehirleşmenin daha muntazam gelişmesini sağlayabilmek için altyapı ve yeraltı ulaşım ağlarının inşasının zorunlu hale geldiği bilinen bir gerçektir. Özellikle metropol olmuş kentlerde yeraltı kazı işlemlerinin gelişen teknoloji ile mekanize hale geldiği görülmektedir.

Bu çalışmada İstanbul Boğazı'nda bulunan Küçüksu deniz deşarjı projesi dahilinde kullanılan kollu galeri açma makinesinin performansı incelenmiştir. Yerinde yapılan performans analizleri ile teorik olarak hesaplanan makine performansının karşılaştırılması yapılmıştır.

Maden Mühendisi olarak yetişmemde emekleri olan bütün hocalarıma, yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen sayın hocam Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e, Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR'a ve Dr. Vecihi GÜRKAN'a teşekkür ederim.

Şantiyede gerekli çalışmaları yapmama olanak sağlayan Yük. Mak. Müh. Mustafa AKGÜL'e, şantiye şefi İnş. Müh. İsa NURCAN'a ve Proje Müdürü Ali Rıza KARAKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Cenk FERİDUNOĞLU ve Arş. Gör. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatımda beni her konuda destekleyen ve bugünlere getiren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2003

Deniz TUMAÇ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. MEKANİZE KAZI YÖNTEMLERİ	2
2.1. Kollu Galeri Açma Makineleri	4
2.1.1. Kollu galeri açma makinelerinin çalışma prensipleri	5
2.1.2. Kollu galeri açma makinelerinin sınıflandırması	5
2.1.2.1. Makine ağırlığına göre sınıflandırma	5
2.1.2.2. Kesici kafa tipine göre sınıflandırma	6
2.1.3. Kollu galeri açma makinelerinde kullanılan keskiler	7
2.1.4. Kollu makinelerde kazı performansını etkileyen faktörler	9
2.2. Tam Cepheli Tünel Açma Makineleri	10
2.3. Darbeli Kırıcılar	12
2.4. Mikro Tünel Açma Makineleri	13
2.5. Sürekli Yüzey ve Yeraltı Kazıcıları	14
2.5.1. Sürekli yüzey kazıcıları	14
2.5.2. Sürekli yeraltı kazıcıları	14
2.6. Arazi Basıncını Dengeleme Esasına Göre Çalışan Makineler	15
3. PERFORMANS VE KESKİ SARFİYATI TAHMİN YÖNTEMLERİ	20
3.1. Performans Tahmin Yöntemleri	20
3.1.1. Tam boyutlu doğrusal kazı seti ile performans tahmin yöntemi	20
3.1.2. Küçük boyutlu kazı seti ile performans tahmin yöntemi	21
3.1.3. Ampirik yaklaşımlar	23
3.1.3.1. Bilgin yöntemi	23
3.1.3.2. Çopur ve arkadaşlarının yöntemi	24
3.1.4. Yarı ampirik yaklaşımlar	24
3.1.5. Gerçek bir makine ile yerinde (in-situ) kazı yöntemi	24

3.2. Keski Sarfıyatı Tahmin Modelleri	24
3.2.1. Cerchar aşınma deneyi	24
3.2.2. Schimazek aşınma indeksi	25
3.2.3. Çopur modeli	26
4. PROJENİN TANITIMI	27
4.1. Küçüksu Atıksu Tünel Projesi	27
4.2. Proje Kapsamındaki İşler	27
5. JEOLJİ	30
5.1. Genel Jeoloji	30
5.2. Bölgesel Ölçekte Yapısal Jeoloji	31
5.3. İnceleme Alanının Jeolojisi	31
5.4. Küçüksu Tünelinde Yapılan Ölçümler	33
5.4.1. Jeofizik Ölçümler	33
5.4.2. Sondajlar	33
5.5. Küçüksu Bölgesinde Bulunan Kayaç Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri	34
6. PROJE ORGANİZASYONU	37
7. KÜÇÜKSU TÜNELİNDE KULLANILAN KOLLU TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN ÖZELLİKLERİ	39
7.1. Genel Özellikleri	39
7.2. Teknik Özellikleri	40
8. KÜÇÜKSU TÜNELİNDE YAPILAN İŞLERİN İNCELENMESİ	42
8.1. Kesici Bum ile Kazı	42
8.2. Rayların Döşenmesi	43
8.3. Pasa Nakliyatı	43
8.4. Roadheader' ın İlerletilmesi	44
8.5. Roadheader' ın Yönlendirilmesi	44
8.6. Havalandırma Sistemi	45
8.7. Tünel Destekleme Sistemi	45
8.7.1. Birincil kaplama	45
8.7.2. Çimento enjeksiyonu	47
8.7.3. İkincil kaplama	48
9. ARAZİ VE LABORATUAR ÇALIŞMALARI	49
9.1. Arazi Çalışmaları	49
9.2. Laboratuar Çalışmaları	52
9.3. Ölçülen Net İlerleme Hızlarının Performans Tahmin Yöntemleriyle Karşılaştırılması	55
9.4. Kollu Makinenin Ortalama İlerleme Performansı	57
9.5. Roadheader Çalışmasında Oluşan Arızaların Analizi	60
10. DAHA ÖNCEKİ KAYNAKLARDAN OLUŞTURULAN BİR VERİ TABANININ PERFORMANS MODELİ İÇİN KULLANILMASI	66

11. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	72
KAYNAKLAR	74
EKLER	76
ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR

KGAM	: Kollu Galeri Açma Makinesi
TBM	: Tam Cepheli Tünel Açma Makinesi
EPBM	: Arazi Basıncını Dengeleme Esasıyla Çalışan Tam Cepheli Makine
RQD	: Kayaç Kalite İndeksi
RMCI	: Kayaç Kütlesi Kazılabilirlik İndeksi
ICR	: Net Kazı Hızı
IBR	: Net Kırılma Hızı
UCS	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
W	: Makine Ağırlığı
P	: Makine Kesici Kafa Motor Gücü
BCR	: Keski Tüketim Oranı
RCI	: Kollu Makine Keski Tüketim Oranı
CHD	: Kesici Kafa Çapı
TCR	: Toplam Karot Yüzdesi
SCR	: Rijit Alınan Kayaçların Karot Yüzdesi

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Kollu galeri makinelerinin ağırlıklarına göre sınıflandırılması	5
Tablo 2.2. Kesici kafa yapılarına göre kollu makinelerin sınıflandırılması ...	7
Tablo 2.3. Kgam ile sürekli yüzey kazıcıların karşılaştırılması	15
Tablo 3.1. Cerchar aşınma indeksine göre kayaç aşındırıcılıkları	25
Tablo 5.1. Küçüksu çevresinde ve tünel güzergahında açılan sondaj kuyuları, numaraları, yeri, derinliği, kotu ve koordinatları	34
Tablo 5.2. S ₁₂ sondajında derinliğe göre TCR, SCR ve RQD değerleri	35
Tablo 5.3. S ₁₃ sondajında derinliğe göre TCR, SCR ve RQD değerleri	35
Tablo 7.1. Makinenin teknik özellikleri	40
Tablo 9.1. Performans analizinin belirlenmesi için değişik ringlerde tutulan zaman etütleri	50
Tablo 9.2. Her ring kazısı için yapılan ölçümlerin sonuçları	51
Tablo 9.3. İnce kesit analizi ile kayaçların petrografik özelliklerinin tayini...	53
Tablo 9.4. Performans tahmin modelinde kullanılan veriler.....	54
Tablo 9.5. Su geliri $\geq 4\text{lt/dak}$ olan ringlerdeki net ilerlemeler	55
Tablo 9.6. Hesaplanan ve ölçülen net kazı hızları	56
Tablo 9.7. Kollu makinenin en iyi, en kötü ve ortalama ilerlemeleri	57
Tablo 9.8. Aylık toplam ve ortalama ilerlemeler	58
Tablo 9.9. Kollu galeri açma makinesinden kaynaklanan arızalar	61
Tablo 9.10. Kollu galeri açma makinesinden kaynaklanmayan arızalar	61
Tablo 9.11. Küçüksu tünelineki kesici uç sarfiyatı	63
Tablo 9.12. Küçüksu tüneline karşılaşılan mekanik ve elektrik arızalar	64

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Spesifik enerji parça boyu arasındaki ilişki	2
Şekil 2.2 : Tünel uzunluğuna bağlı olarak kazı maliyetinin değişimi	3
Şekil 2.3 : Kollu makine ve üniteleri	4
Şekil 2.4 : Kesici kafa gücü ile makine ağırlığı arasındaki ilişki	6
Şekil 2.5 : Arına dik ve arına paralel hareket eden kesici kafalı kollu galeri açma makineleri	6
Şekil 2.6 : Dosco marka kollu galeri açma makinesi	7
Şekil 2.7 : Kollu makine uygulamasında kazı performansını etkileyen parametreler	9
Şekil 2.8 : Herrenknecht marka tam cepheli tünel açma makinesi	10
Şekil 2.9 : Tam cepheli tünel açma makinesi ve yedekleme sistemleri	11
Şekil 2.10 : ITC-420 model darbeli kırıcı	13
Şekil 2.11 : Mikro tünel açma makinesi kazı sisteminin şematik görünümü ...	13
Şekil 2.12 : Sürekli yüzey kazıcının ana parçaları	14
Şekil 2.13 : Tamrock marka sürekli yeraltı kazıcısı	15
Şekil 2.14 : Arazi basıncı dengeleme şilti kesit görünümü ve elemanları	18
Şekil 3.1 : Tam boyutlu doğrusal kazı seti	21
Şekil 3.2 : Küçük boyutlu kazı seti	22
Şekil 3.3 : Cerchar deney seti	25
Şekil 4.1 : Küçüksu atıksu tüneli güzergah haritası	28
Şekil 4.2 : Kazı sisteminin şematik olarak gösterimi	29
Şekil 5.1 : Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	32
Şekil 6.1 : Proje organizasyon şeması	38
Şekil 7.1 : Roadheader'ın boyuna kesiti	41
Şekil 8.1 : Kesici bumun görünümü	42
Şekil 8.2 : Yönlendirme düzeneğinin tünel eksenine yerleştirilmesi	45
Şekil 8.3 : Segment atölyesi ve titreşimli segment kalıpları	46
Şekil 8.4 : Montaja hazır haldeki segmentler	46
Şekil 8.5 : Segment montajı ve ikincil kaplamanın enine kesiti	47
Şekil 8.6 : Çimento enjeksiyon pompası	48
Şekil 9.1 : Performans analizi	49
Şekil 9.2 : Numunelerin optik mikroskop altındaki görüntüsü	52
Şekil 9.3 : Basınç dayanımı ile net kazı hızı arasındaki ilişki	54
Şekil 9.4 : Ölçülen ile hesaplanan net kazı hızları arasındaki ilişki	56
Şekil 9.5 : Tünel metrajına göre günlük ilerlemeler	59
Şekil 9.6 : Aylık ilerleme grafiği	60
Şekil 9.7 : Aşınma tiplerine göre gruplandırılan kesikilerin yüzdelik dağılımı	62
Şekil 9.8 : Aşınma tiplerine göre gruplandırılan kesici uçlar	63
Şekil 9.9 : Zara gördüğü için kaynaklanmak suretiyle tamir edilen bumun görüntüsü	65

Şekil 9.10	: Tamamen kopan bum şaftı	65
Şekil 10.1	: Çeşitli yayınlardan alınan net ilerleme hızı ile basınç dayanımı arasındaki bağıntılar	66
Şekil 10.2	: Değişik araştırmacılar ait verilerle, oluşturulan yeni modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılması	69
Şekil 10.3	: Küçüksu tüneline alın veriler ile araştırmacıların verilerinden elde edilen model arasındaki ilişki	70
Şekil 10.4	: Bilgin modeli ile araştırmacıların sonuçlarından elde edilen model arasındaki ilişki	71

SEMBOL LİSTESİ

σ_c	: Kayaç basınç dayanımı
σ_t	: Kayacın çekme dayanımı
k	: Enerjinin kayaca iletme katsayısı
SE	: Spesifik enerji
MPa	: Mega Pascal
kW	: Kilowatt
MJ	: Mega Jolule
n	: Porozite oranı
t	: Ton
h	: Saat
Q_{tz}	: Kuvars yüzdesi

ÖZET

Önemli kazı makinelerinden olan kollu galeri açma makineleri tünel ve galeri açılmasında hızlı ve verimlidirler. Fakat bu tip makinelerin kullanılabilirlikleri jeoloji ve kaya formasyonlarının özellikleri ile sınırlanmaktadır. Kollu galeri açma makinelerinin seçim kriterleri tünel açma işlemleri için hayati önem taşımaktadır. Eğer kaya formasyonu için uygun kollu makine seçilmezse, günlük ilerleme miktarı dramatik olarak düşer ve tüm tünelcilik faaliyetlerini etkiler. Yaşanılan bu tip kötü tecrübeler bir çok araştırmacıyı kollu galeri açma makinelerinin performansını incelemeye yöneltmiştir.

Bu çalışmanın amacı yerinde kollu galeri açma makinesinin performans analizini incelemektir. Çalışmalar İSKİ tarafından yaptırılan Küçüksu Atıksu Tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Küçüksu atıksu tüneli İstanbul'un Anadolu yakasında Küçüksu ile Hekimbaşı arasında yer almaktadır. Proje tanıtıldıktan sonra, proje organizasyonu üzerinde durulmuştur. Proje çalışmasında ilk olarak kayaç formasyonun geoteknik özellikleri ve kaya kütlesinin özellikleri yerinde belirlenmiştir. Arazi çalışmasında kollu makinenin performansı yerinde yapılan ölçümlerle belirlenmiştir.

Arazi çalışmaları tünel ekseninin Büyükada formasyonundan geçtiğini ve bu formasyonda kireçtaşı, silttaşı, kumtaşı ve andezit daykları bulunduğunu göstermiştir. Aynada yapılan çalışmalarda RQD'nin %30-%100 arasında değiştiği saptanmıştır. Tünel aynasından alınan numunelerin basınç dayanımlarını bulmak için nokta-yük deneyi laboratuvarında yapılmıştır.

Kollu makinenin performansı yerinde tutulan net kazı hızı, makineden faydalanma oranı ve arızaların değerlendirilmesi ile incelenmiştir. Yerinde ölçülen bu parametreler ile formasyonun geoteknik özellikleri ilişkilendirilmiştir.

Bu projede sonuç olarak sağlam kaya özellikleri günlük ilerlemelerle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca bazı araştırmacıların yayınlarından elde edilen veriler analiz edilerek bir net ilerleme modeli oluşturulmuştur. Küçüksu tüneline elde edilen veriler bu model ile irdelenmiştir.

SUMMARY

Roadheaders are one of the main cutting machines for rapid and efficient tunnel and roadway drivages. On the other hand, the applications of these machines are limited to the geology and geotechnical properties of rock formations. The selection criteria of roadheaders is vital for tunnelling activities. For example, if the selected roadheader is not proper for the rock formations, daily advance rates which effect the whole tunnelling facilities decrease dramatically. These facts lead many researchers to carry out scientific research programs in order to increase the performance of the rapid excavations systems.

The main objective of this study is to investigate the performance of roadhear used for excavation of Küçüksu sewerage tunnel constructed by STFA for Istanbul Water and Sewerage Administration (ISKI). Küçüksu sewerage tunnel driven from Küçüksu to Hekimbaşı is located in Anatolian part of İstanbul .

After giving the description of the project, the job organization of the project is outlined. In order to achieve the main objective of this study, firstly, the geomechanical properties of intact rock (UCS, petrography) and rock mass properties (RQD, water income) of the tunnel zones are found out, then, the in-situ performance of roadheader are recorded in order to find the relationship between the performance of the roadheader and geotechnical properties of rock.

The tunnel route passes throughout Büyükada formation which consists of limestone, siltstone and andezite dykes. Rock quality designation (RQD), which effects the rock mass properties, changes from 30% to 100% . Point load tests are carried out on the rock samples taken from the tunnel zones in the laboratory and the uniaxial comprehensive strenght (UCS) of the rock samples are found by using point load index values.

The general conclusion of this study may be summarized as; that intact (UCS) is well correlated with net cutting rate of the roadheader used in Küçüksu. The

measured cutting rates are also compared with cutting rate found with previously proposed performance prediction models.

1. GİRİŞ

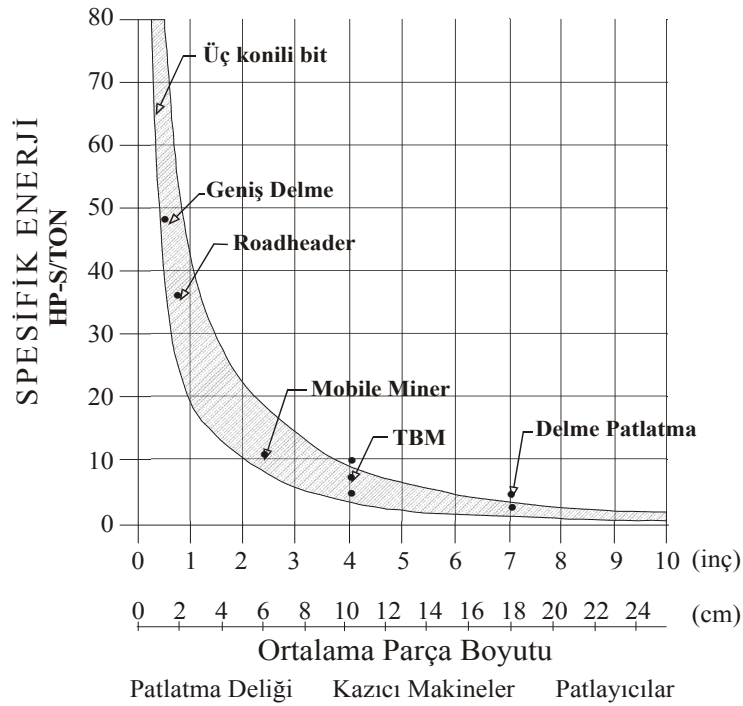
Gelişmekte olan ülkelerde, şehirleşmenin ve nüfus yoğunluğunun giderek arttığı ve buna bağlı olarakta alt yapı gereksiniminin son derece önem kazandığı bilinmektedir. Yeraltı yapılarının inşası çevreye en az rahatsızlık ve yerüstü yapıları ile topografyaya minimum derecede hasar verecek şekilde yapılmalıdır. Bütün bu gereksinimleri karşılamak için yeraltı yapılarının inşasında tünel açma makinelerinin kullanımı giderek artmaktadır.

Küçüksu atıksu tüneli projesi de nüfusun yoğun olduğu İstanbul Boğazında bulunmaktadır. Atıksu tünelinin daha hızlı açılması ve maliyetlerin en az seviyede tutulması için bu projede kollu tünel açma makinesi kullanılmıştır.

Bu tezde atıksu tüneline kullanılan kollu tünel açma makinesinin performansı incelenmiş ve bazı araştırmacıların verileri incelenerek oluşturulan veri tabanından bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Değişen formasyonlarda kollu makinenin performansının nasıl değiştiği yerinde tespit edilmiş ve gelecekteki projelere yol göstermesi açısından yararlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

2. MEKANİZE KAZI YÖNTEMLERİ

Mekanize kazı kayaç ortamının makineler aracılığı ile kazılması işlemi olarak tanımlanabilir. Yeraltı madenciliğinde kazı işlemleri klasik kazı ve mekanize kazı olmak üzere ikiye ayrılır. Laboratuvar ve arazi çalışmaları uzun zamandır süren fakat endüstriye geçirilememiş olan, termal parçalama, füzyon, buharlaştırma ve kimyasal parçalama gibi kazı yöntemleri de bulunmaktadır. Kazının ekonomikliğini kazı sonrası oluşan parça boyutu ve spesifik enerji doğrudan etkilemektedir. Ortalama parça boyutu ile spesifik enerji arasındaki ilişki Şekil 2.1’ de görülmektedir.



Şekil 2.1 SE-parça boyutu arasındaki ilişki[2]

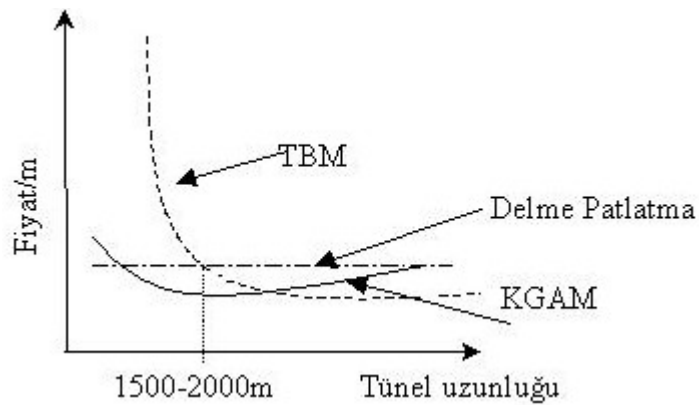
Patlayıcı madde ile kazı sonrasında oluşan parça boyutunun büyük olması yöntemi verimli olarak tarif etmektedir. Fakat ilerleme hızının sınırlı oluşu delme-patlatma yönteminin uygulanışını sınırlamaktadır. Mekanize kazı yönteminin delme patlatma yöntemine olan üstünlükleri şu şekilde özetlenebilir[1].

- Patlayıcı madde kullanılmadığı için iş ve işçi güvenliği daha fazladır ve iş kazası oranı daha azdır.
- Kazı esnasında arazi kontrolü sağlandığından, yeryüzü tasmanları daha azdır.
- Düz ve kalifiye işçi sayısı daha azdır.
- İstenilen kazı profilinin oluşturulması daha kolaydır.
- Pasa nakliyatı daha kolaydır.
- Havalandırma ihtiyacı daha azdır.
- Otomasyon uygulamaları ile kazı hızı arttırılabilir.
- Cevher kazılarında üretim miktarının artmasını sağlar.

Mekanize kazı yönteminin bu avantajlarının yanında bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları da şu şekilde sıralanabilir [1].

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Yeraltında kullanılan makinelerin montaj ve demontaj süreleri uzundur.
- Tecrübeli eleman gereksinimi vardır.
- Özel dizayn edilmiş makine için gerekli ekipman temini uzun süre alabilir.

Bütün bu faktörler göz önünde tutulduğunda, uzun boylu tünel ve galeri uygulamalarında tam cepheli yada kısmi cepheli galeri açma makinelerinin kullanılmasının, maliyetler açısından daha uygun olduğu belirlenmiştir. Tünel uzunluğuna bağlı olarak oluşan birim maliyetler Şekil 2.2’ de verilmiştir.



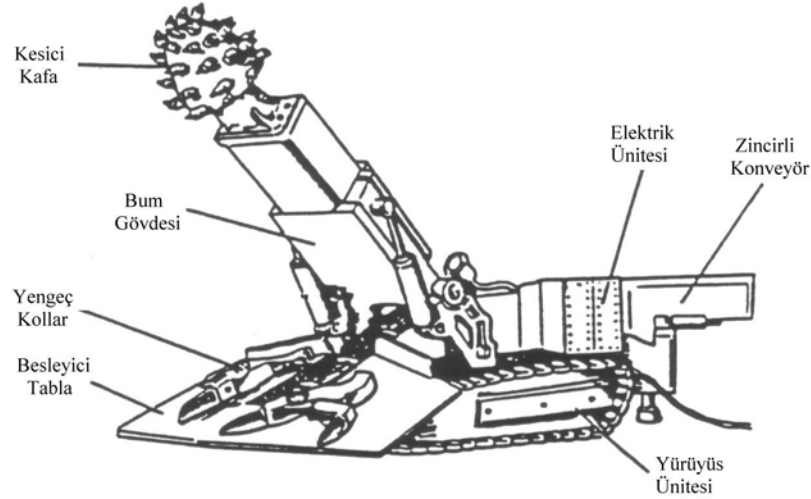
Şekil 2.2 Tünel uzunluğuna bağlı olarak kazı maliyetinin değişimi [3]

Tünel ve galeri açma için kullanılan makineler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılırlar. En çok karşılaşılan sınıflandırma şekli ise kazı arınına göre sınıflandırmadır. Galeri ve tünel açma makinelerinin kazı arınına göre sınıflandırılması ikiye ayrılır.

- Kısmi kesitli kazı makineleri (Kollu galeri açma makineleri)
- Tam kesitli kazı makineleri (Tam cepheli tünel açma makineleri)

2.1 Kollu Galerî Açma Makineleri

Kollu galerî açma makinelerinin mekanize kazı uygulamalarında önemli bir yeri bulunmaktadır. Genellikle yumuşak ve orta-sert olan kayaçların kazısı için kullanılan bu makineler madencilik sektöründe üretim amaçlı, tünelcilik sektöründe kazı amaçlı olarak kullanılır. Bu makinelerle aynanın tamamında aynı anda kazı yapılamadığından bu makineler kısmi cepheli makineler olarak adlandırılırlar. Kollu galerî açma makinelerinin kayaç kazabilirlikleri başlıca iki parametre göz önüne alınarak açıklanabilir. Bunlar jeolojik süreksizlikler ve basınç dayanımıdır. Bu makineler formasyonun RQD değerinin %50 den büyük olması durumunda basınç dayanımları 70 Mpa altında olan kayaçlarda, RQD değerinin %50' den küçük olması durumunda ise basınç dayanımları 120-130 Mpa olan kayaçlarda başarı ile uygulanabilmektedir. Kazılabilirliği güç olan kayaçlarda, daha güçlü ve ağır kollu makineler kullanılır. Bir kollu makine; bum ünitesi, yürüyüş ünitesi, malzeme yükleme ünitesi, malzeme aktarma ünitesi, hidrolik ve elektrik olmak üzere beş genel bölümden oluşmaktadır. Şekil 2.3' de Kollu makine ve üniteleri görülmektedir.



Şekil 2.3 Kollu makine ve üniteleri [4]

Kollu makinelerde genellikle formasyon özelliklerine bağlı olarak ek donanımlara ihtiyaç duyulur. Bunlar kesme kafasında tozu bastırmak ve keskinlerde sürtünmeden kaynaklanan ısınmaları önlemek amacıyla kullanılan su püskürtme düzenekleri,

kırıklı çatlaklı formasyonlarda kullanılan şiltler veya tavan saplama tertibatları olarak açıklanabilir.

2.1.1 Kollu galeri açma makinelerinin çalışma prensipleri

Kollu makinelerin çalışma prensibi, dalma ve kesme olmak üzere iki gruba ayrılır. Kesme periyodunun en zor işi olarak adlandırılan dalma işlemi, kesici kafanın aynaya dayanması ve dönmeye başlaması ile başlar. Kazı yüzeyi masif değil ve süreksizlik içermiyorsa kesici kafaya etki eden kuvvetler yüksektir. Kesme işlemi ise kazı yüzeyinde oluşan derinliğin tüm kazı yüzeyi boyunca genişletilmesidir. Kesme işleminde harcanan enerji, dalma işleminde harcanan enerjiden daha azdır. Bunun nedeni dalma işlemi ile aynada serbest bir yüzeyin oluşmuş olmasıdır.

2.1.2 Kollu galeri açma makinelerinin sınıflandırması

Kollu makineler kesici kafa tipine ve makine ağırlığına göre iki ana grupta sınıflandırılırlar. Bu iki ana grupta kendi içinde yapısal sınıflara ayrılır.

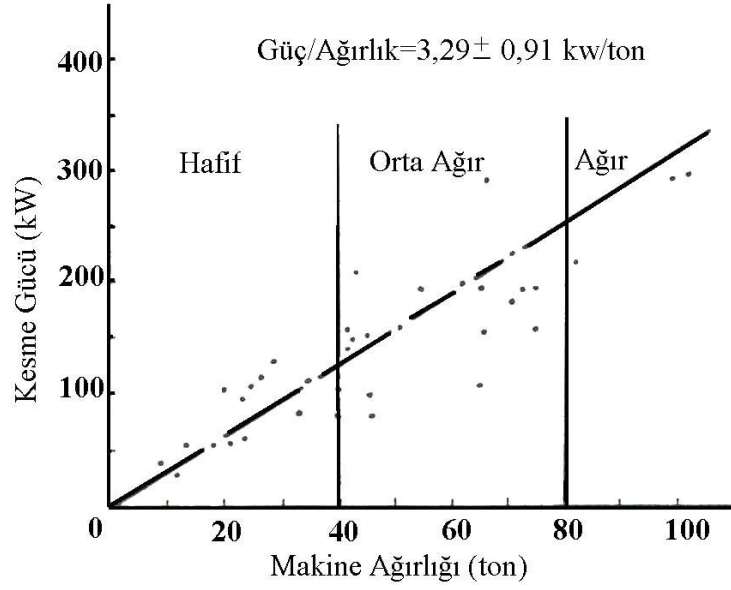
2.1.2.1 Makine ağırlığına göre sınıflandırma

Kollu makinelerin sınıflandırmasında en çok kullanılan sistem, makine ağırlığına göre sınıflandırma sistemidir. Üretici firmalar tarafından makine ağırlığına göre yapılmış en bilinen sınıflandırma Tablo 2.1’ de sunulmuştur.

Tablo 2.1 Kollu galeri açma makinelerinin ağırlıklarına göre sınıflandırılması [5]

Sınıf	Ağırlık (ton)	
0	20	Hafif
I	20 - 30	
II	30 - 50	Orta
III	50 - 75	
IV	75+	Ağır

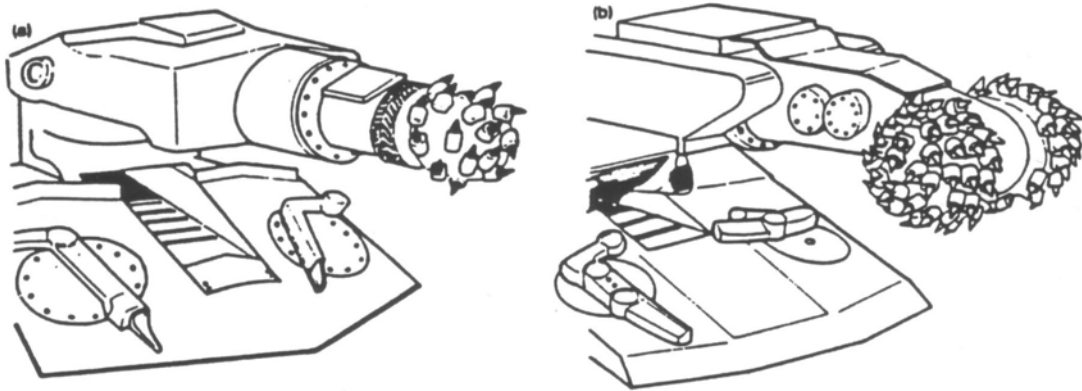
Sert kayaçları kesebilmek için kollu makinelerin ağırlıkları artırılmış, buna bağlı olarak kesici kafa güçleri 500 kW’ a kadar çıkarılmıştır. Böylece kazı sırasında oluşan ve makinenin aşınmasına sebep olan titreşimler en aza indirilmiştir. Kırk altı değişik tip kollu galeri açma makinesinin teknik özellikleri incelenerek, kurulu güç-ağırlık arasındaki oran 3.29 ± 0.91 (kW/ton) olarak bulunmuştur [5]. Bu ilişkiyi gösteren grafik Şekil 2.4’te görülmektedir.



Şekil 2.4 Kesici kafa gücü ile makine ağırlığı arasındaki ilişki [5]

2.1.2.2. Kesici kafa tipine göre sınıflandırma

Kollu makineler, dönme eksenini bum eksenine paralel olan kesici kafalı kollu makineler (aksiyel) ve dönme eksenini bum eksenine dik olan kesici kafalı kollu makineler (travers) olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu tipteki kollu galeri açma makineleri Şekil 2.5’de görülmektedir. Görüldüğü gibi arına dik tip kollu makinelerde bum ucunda 1 adet kesici kafa, arına paralel tip kollu makinelerde ise 2 adet kesici kafa bulunmaktadır.



Şekil 2.5 Arına paralel ve arına dik hareket eden kesici kafalı KGAM [4]

Şekil 2.6’ da ise Dosco marka kollu galeri açma makinesinin genel görünümü verilmiş. Bu makineler tek bumlu olanlarına kıyasla performansları ve yapıları göz önüne alındığında daha kullanışlıdır.



Şekil 2.6 Dosco marka kollu galeri açma makinesi

Arına paralel kesici kafalı makinelerle 130 MPa' a kadar basınç dayanımına sahip kayalar kazılabilirken, arına dik kesici kafalı makinelerle daha yumuşak kayalar kazılabilir ve daha düzgün tünel yüzeyleri ortaya çıkarılabilmektedir.

İki tip kollu makine arasında genel bir mukayese yapılacak olursa arına paralel kesici kafalı kollu makineler % 30 oranında daha verimli kazı yapabilirler ve ağırlık bakımından arına dik kesici kafalı kollu makinelere kıyasla % 20-25 oranında daha ağırdırlar. Arına dik ve arına paralel kesici kafalı kollu galeri açma makinelerinin bu tiplerine ve kesici kafa yapılarına göre sınıflandırılması Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2 Kesici kafa yapılarına göre kollu makinelerin sınıflandırılması [6]

Arına Dik Kesici Kafa ($\sigma_c < 60$ Mpa, aşındırıcı olmayan kayalar için)	Arına Paralel Kesici Kafa ($\sigma_c < 120$ Mpa, az aşındırıcı kayalar için)
• Tekil bumlu KGAM • -Teleskopik bum • -Değiştirilebilir bum • İkiz bum • Şiltli KGAM	• Teleskopik • Eklemlı bum • Değiştirilebilir bumlu KGAM • Tilting bum

2.1.3 Kollu galeri açma makinelerinde kullanılan keski

Mekanize kazıda kullanılacak olan kesici ucun seçimindeki en önemli parametre kayacın yapısal özelliğidir. Seçilen en uygun keski ile maksimum kazı verimine ulaşılabilmektedir. Kollu galeri açma makinelerinde kullanılan keski genellikle kama

uçlu keskilerdir. Kama uçlu keskil; radyal, ileri atımlı ve kalem uçlu keskil olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Kömür de ve yumuşak kayalarda radyal keskil, kömür de ve orta sert kayalarda ileri atımlı keskil, orta sertlikteki ve aşındırıcı kayalarda kalem uçlu keskil kullanılmaktadır.

Keskilerin aşınması ve buna bağlı olarak değiştirilmeleri için geçen süre makinenin kazı performansını doğrudan etkilemektedir. Uygun formasyon için seçilecek en uygun keski tipi ile kazı performansını yükseltmek, proje aşamasında alınacak kararla mümkün olmaktadır.

Kayacın içerisindeki aşındırıcı mineral içeriği, kayacın dayanımı, kazı süresi ve kesici ucun kalitesi, kesici ucun kazı sırasında yıpranmasına etki eden faktörlerdir. Kazılan kayacın fiziksel, mekanik ve mineralojik özellikleri aşınmayı önemli şekilde etkilemektedir. Bu özellikler şöyle sıralanabilir [7]:

- Kuvars ve diğer sert mineral içeriği
- Kuvars tanelerinin ortalama tane boyu
- Sert minerallerin tane şekilleri
- Tanelerin birbirleri ile bağlantı şekilleri ve dolgu
- Kayacın mukavemeti (basınç ve çekme dayanımı)

Kazı şartları ve işletmeye bağlı faktörler de kesici uçların aşınmasına etki eden diğer önemli parametrelerdir. Bu özellikler de şöyle sıralanabilir:

- Kesme hızı
- Kesme derinliği
- Kesme uzunluğu
- Operatörün başarısı
- Kesici kafadaki keski dizaynı
- Uçların soğutulması

Bütün bu parametreler proje ve işletme aşamasında doğru şekilde incelendiğinde kazı sırasında minimum keski sarfiyatına ulaşılabacaktır. Doğru seçilmeyen keskilerle yapılan kazılarda, keski sarfiyatlarının çok arttığı ve buna bağlı olarak da proje maliyetlerinin yükseldiği görülmektedir.

2.1.4 Kollu makinelerde kazı performansını etkileyen faktörler

Belirli bir formasyonda maksimum kazı performansına ulaşabilmek ancak bu formasyon için gerekli olan en uygun makinenin seçimiyle gerçekleşebilir. Bunun için makinenin kazı performansını etkileyen parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Performansı etkileyen faktörler üç gruba ayrılır [8].

- Makine ile ilgili faktörler, Şekil 2.7
- Kayacın yapısı ile ilgili faktörler, Şekil 2.7
- İşletme faktörleri, Şekil 2.7



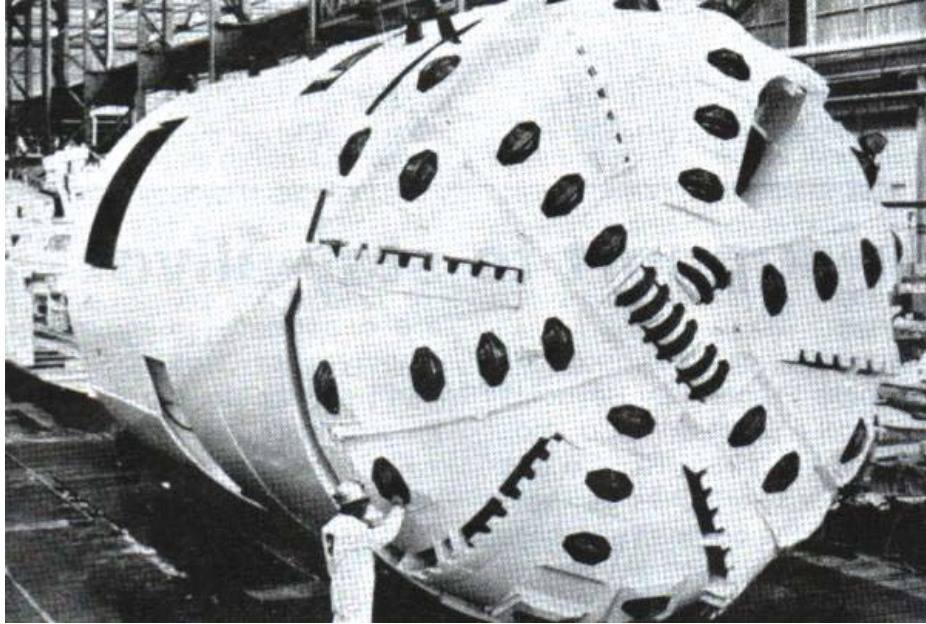
Şekil 2.7 Kollu makine uygulamasında kazı performansını etkileyen parametreler [8]

Kazı performansını etkileyen faktörlerden en önemlisi, kazı için doğru makinenin seçilmiş olmasıdır. Seçilmiş olan makinenin teknik özellikleri örneğin; kesici uç sayısı, kesici uç tipi, kesici kafa dizaynı, kesici kafanın dönme hızı, kesici kafa motor gücü, bum silindirin itme kuvveti ve makinenin ağırlığı kazı performansını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Performansı etkileyen diğer faktörler jeoteknik parametrelerdir. Bunlar; porozite ve kuvars miktarı gibi parametreleri içeren kayacın mineralojik özellikleri. Basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi parametreleri içeren kayacın kaya mekaniği özellikleri. Süreksizlik aralığı, yönlenme, hacimsel sıklık ve kesme dayanımı gibi kayaç kütlesi özellikleridir. Son olarak kazı performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri de çalışma yöntemleridir. Çalışma

yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler ise kazı yönteminin başarıyla uygulanması için kalifiye işçilerin seçilmesi, gerekli olan iş planlarının hazırlanması ve lojistik desteğin devamlılığıdır.

2.2 Tam Cepheli Tünel Açma Makineleri

Tam cepheli tünel açma makineleri 2 ile 14 m. çaplarındaki ayna yüzeylerini, belirli kesme derinliğinde bir defa da kazabilen makinelerdir (Şekil 2.8). Bazı özel tipleri ise 3m. çapında açılmış pilot tünelleri 15m. çapına genişletebilmektedir. Tüm donanım uzunlukları 12-15m. kadardır. Çok kısa olan tam cepheli makinelerle 10-12m. yarıçapında dönemeçler dönülebilmekte, halihazırdaki tam cepheli makinelerle 125-150m. yarıçapında dönemeçler dönülebilmektedir.



Şekil 2.8 Herrenknecht marka tam cepheli tünel açma makinesi

Tam cepheli tünel açma makineleri kazı ve pasa nakliyatı yapabilen, tek birimde birleştirilmiş mekanik ve elektrik parçalar birliğidir. Bu makineler; tam hizalama, pasa nakliyatı, hayati hizmet sağlama sistemi (hava, su, enerji) ve tahkimat gibi alt yapı sistemlerini içine alan geniş kapsamlı mekanize kazı sisteminin bir parçasıdır. Yedekleme alt sistemi bileşenlerinin çoğu tam cepheli makinenin arkasında çekilmekte olan kızak yada platformlar üzerine kurulmuştur. Şekil 2.9 bir tam cepheli tünel açma makinesi ve yedekleme sistemlerini göstermektedir.



Şekil 2.9 Tam cepheli tünel açma makinesi ve yedekleme sistemleri (Herrenknecht)

Tam cepheli tünel açma makineleri yapısal olarak kalkanlı ve kalkansız olabilirler. Kalkansız makineler stabil kaya ortamlarında kullanılmaktadır. Kalkanlı makineler ise kalkanların varlığı nedeniyle akıcı zeminde kazı yapabilme özelliğine sahiptirler. Bu makinelerde kendi içlerinde farklı gruplara ayrılmaktadır. Bunların içinde en önemlilerinden birisi arazi basıncı destekleme esasına göre çalışan makinelerdir.

Tam cepheli tünel açma makinelerinin çalışma yöntemi ise şu şekildedir. Tam cepheli makinelerin ucunda sertleşmiş çelikten yapılmış disk keskilerle donatılmış kesici kafa vardır. Yüksek randımanlı ve güçlü elektrik motorları kesici kafayı yavaşça döndürür. Delici kafanın en gerisinde, makinenin kesici kafasının tünel duvarına yüksek basınç uygulamasını sağlayan, hidrolik presler bulunur. Disk keskilerin yüksek basıncı altında kaya, cips adı verilen küçük parçalara ayrılır. Bu makineler kısa adımlarla ilerler; her delici darbesinden sonra bütün makine ileri çekilerek pozisyonu desteklenir ve tüm bu işler tekrar edilir.

Kesici kafanın tam arkası, çalışanları korumak amacıyla kaya cıvatalar kullanılarak sağlamlaştırılır. Kayacın kalitesine bağlı olarak, buna ilaveten çelik bağlar veya diğer güvenlik önlemleri alınır. Robot kollarla püskürtme döşenir. Gunit olarak da bilinen bu malzeme kemerin içini kaplar ve tünel için çok gerekli olan koruyucu kalkanı oluşturur.

Tam cepheli tünel açma makinelerinin arka tarafına yerleştirilen konveyör ile kazılan malzeme taşınır. Malzeme buradan demiryolu ile tünelin girişine taşınarak tampon bir siloyla yükleme noktasına götürülür. Uygun jeolojik şartlar altında bu makineler günde 50 m. ilerleyebilir.

Tam cepheli tünel açma makinelerinin bütün bu üstünlüklerinin yanında çeşitli olumsuzlukları bulunmaktadır. İlk yatırım maliyetleri çok yüksektir. Kazıya başlandıktan sonra makine üzerinde değişiklik yapılması hemen hemen mümkün olmamakta, aksi durumda maliyeti çok daha yüksek değere çıkmaktadır.

2.3 Darbeli Kırıcılar

Yumuşak ve orta sert formasyonların kazısında başarı ile kullanılması, ilk yatırım maliyetlerinin düşük oluşu ve bakım onarım masraflarının daha az olması nedeni ile diğer kazı makinelerine kıyasla kendilerine geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Bu avantajlar sayesinde darbeli kırıcılar inşaat ve madencilik sektörlerinde başarı ile kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan ITC-420 model bir darbeli kırıcı şekil 2.10'da görülmektedir.

Darbeli kırıcılar inşaat sektöründe galeri yada tünel aım işlerinde kullanılmaktadır bu tip kırıcılar genellikle basınç dayanımı 100 MPa ın altında olan kayaçlarda yani yumuşak yada orta sert kayaçların kazısında kullanılırlar. Madencilik sektöründe ise iri parçalı üretimin yapılmasında kullanılabirler.

Darbeli kırıcının kazı performansını arttırabilmek için kazı işlemi sırasında jeolojik sreksizlerden kazı yapılmalı ve kırıcı gaga aynaya dik şekilde tatbik edilmelidir. Bu kırıcıların performansları masif kayaçlarda düşük olmaktadır. Kazı sırasında ayna önünde oluşan pasanın uzaklaştırılması için geçen zaman nedeni ile kazı performansı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Darbeli kırıcının performansını arttırabilmek için kırıcı ile boş darbe yapılmamalı, kırıcı çalışırken bum oynatılmamalı, kırıcı uç aynı noktaya 30 sn den fazla vurmamalı, tavsiye edilen yağlama süresine uyulmalı, vuruş adedinde düşme olursa veya basınç hortumları anormal derecede titremeye başlarsa kırıcı hemen durdurulmalı, kırıcı dik olarak ve bum ile bastırılarak kullanılmalıdır.



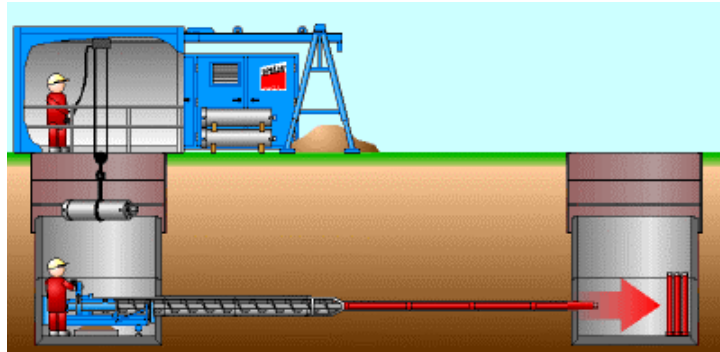
Şekil 2.10 ITC-420 model darbeli kırıcı

2.4 Mikro Tünel Açma Makineleri

Mikro tünel açma makineleri yol, yapı ve benzeri yerlere zarar vermeden ve trafiği aksatmadan kazı yapma işlemine olanak sağlamaktadır. Bu tip makineler şehirlerde altyapı oluşturmak amacıyla boru ve kablo döşeme işlerinde başarı ile kullanılmaktadır.

Mikro tünel açma makinelerinin yaygın olarak kullanılan tipleri, yapı olarak tam cepheli tünel açma makinelerine benzer. Tam cepheli makinelerden en önemli farkları ise boyutlarının daha küçük olması ve otomasyon ile yeryüzünden kontrol edilebilmeleridir. Ayrıca açılan boşluğun tahkimatı, kuyuda bulunan itme silindirleri ile itilen borular vasıtasıyla sağlanır.

Mikro tünel açma makinelerinin çapları 3.5 m den küçüktür. En yaygın olarak kullanılan mikro tünel açma makinelerinin çalışma prensipleri ise arazi basıncını kazılan pasa ile dengeleme yada aynaya çamur karışımının verilmesi esaslarına dayanmaktadır. Şekil 2.11’de Mikro tünel açma makinesi kazı sisteminin şematik olarak görünümü verilmiştir.

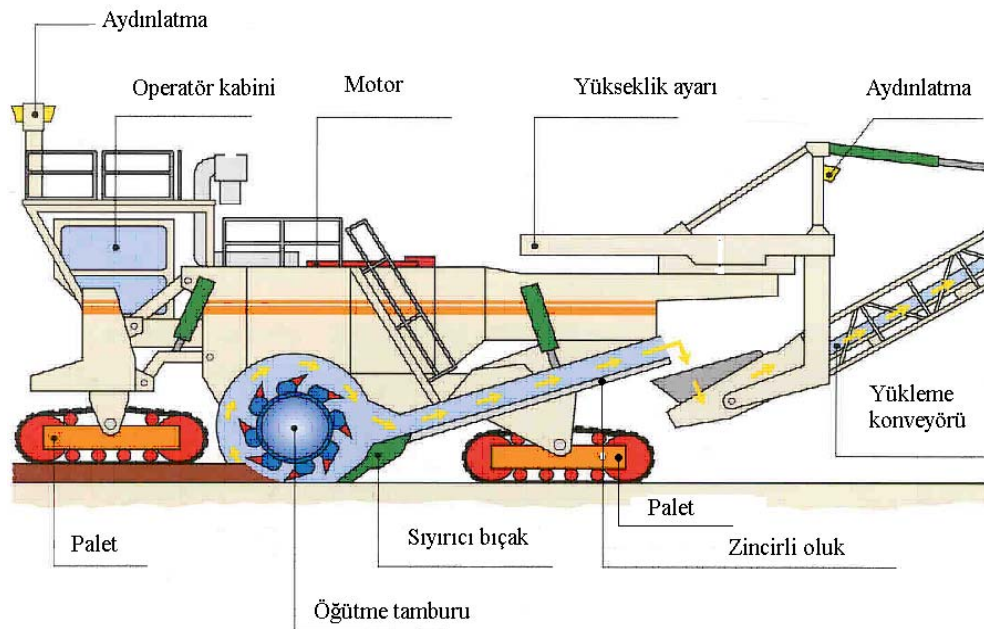


Şekil 2.11 Mikro tünel açma makinesi kazı sisteminin şematik görünümü

2.5 Sürekli Yüzey ve Yeraltı Kazıcıları

2.5.1 Sürekli yüzey kazıcıları

Sürekli yüzey kazıcıları açık işletme kazıları için geliştirilmiş makinelerdir. Selektif madencilik yapabilme özellikleri ile geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Diğer bir üstün yönü ise farklı özelliklere sahip tabakaları istenilen kesme derinliğinde kesebilmeleridir. Kesme işlemi esnasında, yapısında bulunan bant sistemi sayesinde pasa nakliyesi kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Makinenin en önemli dezavantajı kazı sırasında oluşan tozdur. Sürekli yüzey kazıcılarında kullanılan keskiçiler tungsten karbür uca sahip konik keskiçilerdir [9]. Şekil 2.12 Makinenin ana parçalarını göstermektedir.



Şekil 2.12 Sürekli yüzey kazıcısının ana parçaları [9]

2.5.2 Sürekli yeraltı kazıcıları

Kaliteli üretimi amaçlayan yeraltı kömür madenciliğinde, toz ve gürültü problemlerini engelleyebilmek için geliştirilmiş mekanize kazı yapabilen makinelerdir. Özellikle kömür, fosfat ve potas cevherlerinin kazısında kullanılmaktadırlar. Sürekli yeraltı kazıcıları yapısal olarak kollu galeri açma makinelerine benzemektedir. Tablo 2.3 Kollu tünel açma makineleri ile sürekli kazıcıların karşılaştırmasını göstermektedir [6]. Şekil 2.13 Tamrock marka sürekli yeraltı kazıcısını göstermektedir.

Tablo 2.3 KGAM ile Sürekli yeraltı kazıcılarının karşılaştırması [6]

Kollu Galeri Açma Makinesi	Sürekli Kazıcı
- İstenilen geometride kazı imkanı sağlar. - Kesici kol ile her yönde kazı yapılabilir.	- Dikdörtgen kesitte kazı imkanı sağlar. - Kesici kol ile yatayda ve düşeyde kazı yapılabilir.
- Kesici kafada bir motor vardır. - Keski gereksinimi daha azdır.	- Kesici kafada iki motor vardır. - Keski gereksinimi daha fazladır.
Yumuşak zemine oturtulabilir. Stabilite sorunu daha azdır.	Stabilite sorunundan, yumuşak zemine oturtulamaz.
Basınç dayanımı maksimum 120 MPa olan kayaçların kazısında kullanılabilir.	Basınç dayanımı maksimum 60 Mpa olan kayaçların kazısında kullanılabilir.
Kesici kafa daha dardır.	Kesici kafa daha geniştir.
Madencilik ve tünelcilik endüstrisinde kullanılabilir.	Sadece madencilik endüstrisinde kullanılabilir.



Şekil 2.13 Tamrock marka sürekli yeraltı kazıcısı

2.6. Arazi Basıncını Kazılan Pasa İle Dengeleme Esasına Göre Çalışan Makineler

Arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan EPB makineleri ilk olarak Japonya’da 1960-70’li yıllarda görülmeye başlamıştır. Yapışkan olmayan ortamlarda ve yeraltı su seviyesi altında bulunan zeminlerde ilerlemeler sırasında stabilite kaybı

kaçınılmazdır. Genellikle bu gibi alanlarda ve kendini kısa süreli bile tutamayan kayaçların kazısında bu makineden faydalanılır. Temel çalışma prensibi su gelirini veya arazi akmasını kontrol etmek amacıyla ayna boşluğunun kapalı bir hacim haline getirilerek basınç altında tutulması, "bizzat arazi ve içindeki su basıncı etkisiyle, kesme kafası ve ayna boşluğunda doğal bir basıncın oluşmasına imkan verilmesi" diye tanımlanabilir. Bir başka deyişle amaç kazılan malzemenin kesici kafa haznesini doldurması ve tüm yüzeyi desteklemesidir. Bu destekleme basıncının tünel kalınlığındaki doğal arazi basıncını karşılayacak bir değerde ayarlanması gerekir. Bu makineler 10 bara (1 MPa) kadar ulaşan basınç altında çalışabilecek şekilde yapılabilirler. En iyi çalışma koşulları arazi nemlilik oranının % 10-15 veya daha az olduğu durumlardır.

EPB makinesi çok sert kayaçlardan (diskli) çok yumuşak olanlarına (kalem kesikli) kadar, değişik kayaç ve zemin formasyonlarında kullanılmak üzere tasarımılandırılabilirler. Çalışmalarındaki basitlik ve uygulama alanlarının genişliğinden dolayı, giderek çamur makinelerinin (slurry machines) yerlerini almaktadırlar.

Makineler çoğu defa çok amaçlı kullanılabilecek şekilde imal edilmektedirler. İstendiği anda tek veya çift şiltli olarak kullanılabilmektedirler. Keza arazinin durumuna bağlı olarak kapalı (basınç altında) veya açık (atmosfer basıncında) çalışabilecek duruma da kolayca getirilebilmektedirler. Böylece, derin bir deniz altında çalışan bir makine, basınçlı bir damar veya fay zonuna rastlamadığı sürece, çift şiltli, açık bir konumda çalışabilmektedir. Gerektiğinde de çok çabuk olarak kapanabilmekte ve gerçek bir EPB makinesi olarak çalışmaya başlamaktadır.

Bir EPB makinesinde kazılan malzeme bir vida konveyör vasıtası ile kesici kafa haznesinden çıkarılır. Kazı bölgesindeki arazi basıncı azalmalarını ve bu yüzden oluşacak oturmaları engellemek için malzeme aktarımının kontrollü bir şekilde yapılması gereklidir. Bu yüzden vida konveyörün hızı malzeme çıkış hızını kontrol etmek için ayarlanabilir. İstenilen bir şekilde vida hızı ayarlaması bilgisayarlı bir monitörden izleme sistemiyle yapılabilir. Dengeli ve güvenli bir kazı yapabilmek için malzeme çıkış hızının makine ilerleme hızına eşit olması gerekir. Böylece zemin oturmalarına yol açabilecek fazla malzeme çıkışına izin verilmez. Eğer ortamda bulunan suyun basıncı atmosfer basıncının üzerine çok fazla çıkarsa bazı

basınç kilitleri gerekli olabilir. Basınç kilitleri vidanın bir yanından diğerine doğru bir patlamayı önlemek için gereklidir ve vidanın çıkış kapısında konumlandırılır.

EPB makinelerinde diğer metotların aksine ikincil bir destekleme metodu kullanılmaz (sıkıştırılmış hava, süspansiyon). Akıcı formasyon döner kafadaki kesikler tarafından kazılır. İttirme kuvveti aynaya kazı haznesinin doldurulmasıyla meydana getirilen basınç duvarı yoluyla transfer edilir. Böylece kazı bölgesinde kontrolden çıkmış bir şekilde malzeme akışı engellenmiş olur. Kazı bölgesindeki formasyon uygulanan itirme kuvveti nedeniyle daha fazla yük alamadığı anda denge sağlanmış olacaktır. Formasyonu destekleme basıncı, sağlanan dengenin üzerine çıkarılırsa kazı bölgesindeki akıcı formasyon çok daha sağlam bir hale gelecektir. Eğer açılan tünel yeryüzüne yakınsa çok fazla uygulanan itirme basıncı sebebiyle kabarmalar meydana gelebilir.

Tünel boyunca taşıma, bant konveyörlerle, vagonlarla, damperli kamyonlarla ya da borular içerisine taşınmayı kolaylaştıran bir katkı maddesi ekledikten sonra katı taşıma pompaları yardımıyla yapılabilir.

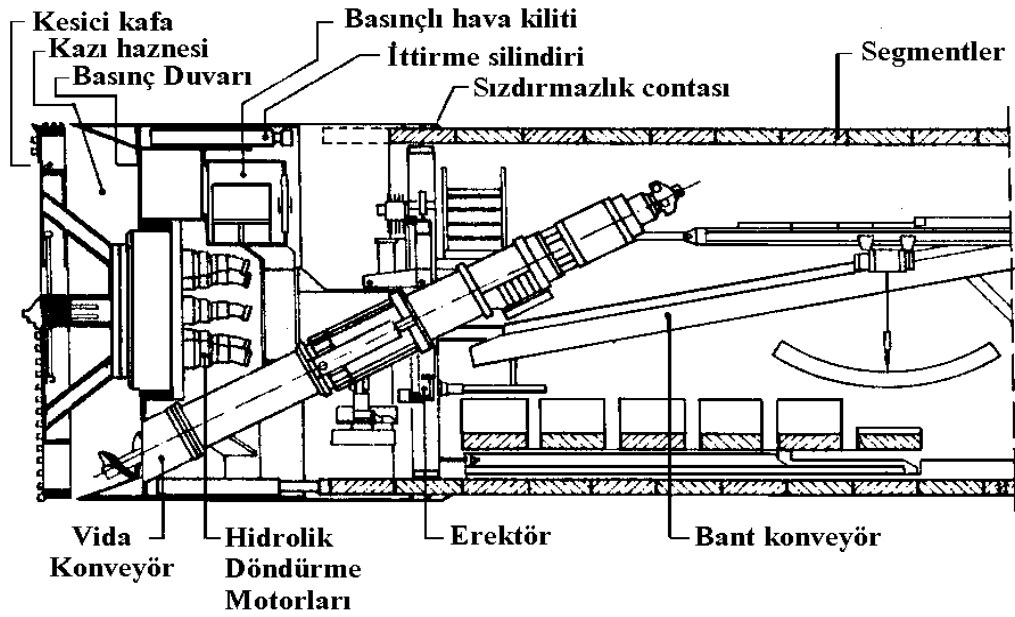
EPB çalışma prensiplerine bağlı olarak çeşitli isimler alır: Malzeme Hapsedici Şiltleri (Soil Confinement Shields), Su Basıncını Destekleme Şiltleri (Water Pressure Balance Shields), Yüksek Yoğunluktaki Çamur Şiltleri (High Density Slurry Shields) ve Çamur Şiltleri (Mud Shields).

Eğer malzeme, destekleme basıncını sağlayabilecek durumda ve vida konveyörle taşınacak kıvamda değilse çeşitli kıvamlaştırıcı katkı maddeleri eklemek gerekebilir. Standart durumda, çeşitli katkı maddeleri kayaca ya kazı aynasında iken direkt olarak ya da kesici kafa haznesine alındıktan sonra enjekte edilir fakat verimlilik açısından en iyisi birinci seçenektir. Bu maddeler 3 amaç için malzemeye enjekte edilir:

- Malzemenin akışkanlığını artırarak kesici kafa ve vida konveyörden geçişini kolaylaştırmak,
- Kesici kafadaki herhangi bir boşluğu doldurmak ve stabiliteyi sağlamak,
- Kazılan kaya eğer geçirgense su fişkirmasını önleyen hemen hemen sızdırmaz bir engel oluşturmak.

EPB makinesinin kazı anında çalışma aşamaları da şu şekilde gerçekleşmektedir: Şekil 2.14'te elemanları görülen bir EPB makinesinin öncelikle kesici kafanın döndürme motorları ile döndürülmesi ve kesici kafaya itirme silindirleri ile araziye

destekleyecek kadar ya da biraz daha fazla kuvvet verilmesiyle akıcı alüvyal zemin kazı haznesine dolmaya başlar. Kazı haznesi tamamen dolduktan sonra istenilen destekleme ortamı yaratılır ve kazılan malzeme vida konveyör yardımıyla normal basınçtaki bölgeye alınmaya başlanır. Burada vida konveyörün en önemli görevi aynada oluşturulan basıncın kademeli olarak düşürülmesi ve normal basınca indirilerek düzenli bir malzeme çıkışının sağlanmasıdır. Vida konveyörün çıkış kapısından bant konveyöre boşalan malzeme kuyruk bölümünde bekleyen vagonlara ulaşır ve buradan da kuyu ağzına gönderilir.



Şekil 2.14 Arazi basıncı destekleme şilti kesit görünümü ve elemanları

Eğer kazı sırasında istenilen miktarda malzeme geliri olmuyorsa yani malzeme yerine su geliyor veya zeminin fazlasıyla kuru olması nedeniyle vida konveyörden malzeme geçişi mümkün olmuyorsa, kazı aynasına doğru malzemeyi daha kaygan yapan ve böylece su geçişini engelleyen bir katkı maddesi enjekte edilmesi gerekebilir. Kazı ilerlerken şildin tam arkasına taşıyıcı raylarla getirilen beton segmentler erektörler yardımıyla yerleştirilirler. Bu arada segmentler ve zemin arasında kalan -şilt kalınlığı kadar olan- boşluklar ya da aşırı sökümler yüzünden oluşan boşluklar şilt üzerinden yapılan bentonit enjeksiyonlarıyla doldurularak kapatılırlar.

Arazi basıncını dengeleme prensibine göre çalışan makinelerin kullanıldığı formasyonları ve bu formasyonların özellikleri ise şu şekilde tarif edilebilir. Bir EPB makinesi şimdiye kadar genellikle kil, silt, kum, çakıl, dolgu malzemesi ve bunların

birbirleri içerisindeki aralanmalarının bulunduğu, zemin özelliği gösteren formasyonlarda kullanılmıştır. Bu formasyonlar bir EPB makinesinin kullanımı açısından şu özellikleri taşırlar:

Kil: 0.002mm den daha küçük parçacıklarla başlayan ve 200mm civarındaki taş parçalarıyla sonlanan boyutlardaki malzeme olarak tanımlanabilir. Suyla doymuş hale getirilmezse yapışkan bir malzemedir. Yumuşak killer sıkıştırma özelliği gösterir yani kazılan bir boşluğa doğru akma eğilimindedirler. Bazı killer su alarak hacimce şişer. Kilin yarattığı en önemli problem şişerek kesici kafanın keskinliğini ve bant konveyörün kilitlenmesine sebep olmasıdır.

Silt: Parça boyutu 0.002mm ile 0.060mm arasında değişir. Kil ve kum arasındaki zayıf ve geçirgen bir malzeme olarak tanımlanabilir. Yapışkan veya akıcı olabilir. Su geçirme özelliği vardır. Fakat küçük boyuttaki parçaların drenajı zordur. Suyu çabucak emmeye eğilimlidir ve su alarak doymuşunda var olan stabilitesini kaybetmeye başlar.

Kum: Kum parçaları 0.60mm ile 2mm arasında değişir. Kum kuru olduğunda yapışkan olmayan bir malzemedir. Boyutuna, içeriğine ve şekline bağlı olarak 30° den daha büyük bir açıda yığın oluştuğunda serbest olarak kayabilir. Rutubetli olduğu zaman zayıf bir şekilde yapışkandır. Fakat suyla doyarsa serbestçe akar. Boyutuna bağlı olarak önemli derecede su geçirgenliğine sahiptir. Kumun bağımsız hareket etme özelliği tünelleme problemlerinin ana kaynağıdır. Ayrıca kum çok aşındırıcıdır. Kesici kafa yapısında hızlı bir aşınmaya sebep olur.

Çakıl: Çakıl parçaları 2mm ile 60mm arasındadır. Tünel açmadaki zorlukları kuma benzer. Parçalar arasındaki boşluklar daha büyük olduğu için su geçirgenliği daha fazladır. Bu daha fazla su geliri demektir [10].

3. PERFORMANS VE KESKİ SARFIYATI TAHMİN YÖNTEMLERİ

3.1 Performans Tahmin Yöntemleri

Performans tahmin yöntemlerinin amacı; herhangi bir formasyonu kazmak için kullanılacak bir mekanik kazıcının ekonomikliğini belirlenmesidir. Kazı performansı tahmininde değişik metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar; tam boyutlu doğrusal kazı seti, küçük boyutlu kazı seti, ampirik yaklaşımlar, yarı ampirik yaklaşımlar ve gerçek bir makine ile yerinde (in-situ) kazı yöntemi olarak gruplandırılabilir. Gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için birden fazla metodun uygulanması tavsiye edilmektedir.

3.1.1 Tam boyutlu doğrusal kazı seti ile performans tahmin yöntemi

Bu performans tahmin yönteminin uygulanabilmesi için kaya ortamını temsil eden 70×50×50 cm boyutlarında kayaç numunesinin kuyu (shaft) açılırken alınması esastır. Laboratuarda kayaç ortamını temsil eden bu blok numuneler üzerinde gerçek boyuttaki kesmelerle farklı kesme derinliklerinde kesimler arası mesafeler değiştirilmekte, bu sayede bu değerler için normal kuvvetler, kesme kuvvetleri ve spesifik enerji değerleri bulunabilmektedir. Kesme deneyleri sonucunda açığa çıkan malzeme boyutlarından yararlanarak kazı sonrası oluşacak parça boyutları tahmin edilebilmektedir. Tam boyutlu testler, boyuttan ve bilinmeyen kayaç davranışlarından kaynaklanan belirsizlikleri en aza indirir. Ölçülen kuvvetler, mekanize kazıcı ve keski seçiminde, kesme geometrisinin belirlenmesinde, performans ve maliyet tayininde kullanılır. İlgili kayacı parçalamak için gerekli olan kesme, normal kuvvetler ve spesifik enerji değerleri farklı kesme derinliği ve kesimler arası mesafelerde belirlenir ve daha sonra aşağıdaki bağıntıda verilen eşitlikle (3.1) mekanik bir kazıcı için üretim hızı hesaplanabilir [11].

$$\text{Net ilerleme hızı (ICR)} = k \frac{K_{esicika\fa} \cdot g_{üccü} \cdot (kW)}{SE_{opt} (kWh / m^3)} \quad (3.1)$$

Büyük boyutlu blok numune alma işleminin zor ve zahmetli olması tam boyutlu doğrusal kesme deneyinin uygulanabilirliğini azaltmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi, Kazı teknolojisi laboratuvarında performans tahminlerinin yapıldığı tam boyutlu doğrusal kazı seti Şekil 3.1’ de görülmektedir.



Şekil 3.1 Tam boyutlu doğrusal kazı seti

3.1.2 Küçük boyutlu kazı seti performans tahmin yöntemi

Bu tahmin yöntemi arazide ve laboratuvarlarda bir çok kayaç üzerinde yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda 1977 yılında I. Mc Feat Smith ve R. J. Fowell tarafından geliştirtmiştir. Performans tahmin yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Küçük boyutlu kesme deneyleri 7,6 cm çapında karot numunesinin yada 20×10×10 cm boyutlarında kayaç numunesinin bir planya makinesinde tablaya oturtulup ve uç açısı (-5°), keski genişliği 12,5 mm, temizleme açısı (5°), kesme derinliği 9 mm olan

bir kama uçlu keski ile kesilmesi esasına dayanır. Kesme, dikey ve yanal kuvvetler bir dinamometre kullanılarak kaydedilir ve ortalama kesme kuvvetlerinin birim mesafede kesilen pasa hacmine bölünmesiyle spesifik enerji MJ/m^3 veya kWh/m^3 olarak bulunur. İndeks değerler olarak sınıflandırılan test sonuçları daha önceden toplanmış olan arazi performans verilerine göre değerlendirilir [12] .

McFeat Smith ve Fowell'ın kollu galeri açma makinelerinde yaptığı çalışmalarda spesifik enerji değeri arttıkça kesme işleminin de zorlaştığını görmüşlerdir. Araştırmalarında spesifik enerji değerinin 10 MJ/ m^3 olduğu değere kadar kollu galeri açma makineleri yüksek kesme performansı göstermektedir [12]. Kazı teknolojisi laboratuvarında performans tahmini için kullanılan küçük boyutlu kazı seti Şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2 Küçük boyutlu kazı seti

3.1.3 Ampirik yaklaşımlar

Ampirik tahmin modellerinin temeli araziden doğru, güvenilir ve kaliteli veriler alınmasına dayanmaktadır. Yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin istatistiksel analizlerinin yorumlanması ile ampirik modeller oluşturulur. Ampirik yaklaşımlarda tahmin yöntemleri geliştirilirken makine parametreleri ve jeolojik parametreler üzerinde durulmuştur. Aşağıda ampirik yaklaşımların bazıları özetlenmiştir.

3.1.3.1 Bilgin yöntemi

Beşiktaş, Baltalimanı, Eyüp ve Haliç tünellerinde toplanan istatistiksel verilere (tünel jeolojisi, kayaç kütle ve sağlam kayaç özellikleri, makine performansı) dayanılarak Bilgin ve arkadaşları tarafından geliştirilen tahmin modelinde kollu galeri açma makinelerinin net ilerleme hızlarının makinenin gücü, kayacın basınç dayanımı ve RQD'ye bağlı olarak değiştiği anlaşılmış ve (3.2) eşitliği ile gösterilen kayaç kazılabilirlik indeksi önerilmiştir. Yaygın bir şekilde kullanılan bu yöntem ile arına dik ve arına paralel tipli kollu galeri açma makinelerinin anlık üretim hızlarının tahmin edilebileceği ortaya koyulmuştur [13-14].

$$RMCI = \sigma_c \left(\frac{RQD}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.2)$$

Bu indeks kullanılarak bir kollu makine için net kazı hızı (m^3/h) eşitlik (3.3)'teki gibi hesaplanır. Burada P, beygir gücü olarak makine gücüdür.

$$ICR = 0.28 P (0.974)^{RMCI} \quad (3.3)$$

İstanbul Metrosu'nda yapılan kazılarda 33 kW'lık bir güce sahip hidrolik kırıcı kullanıldığı sırada toplanan verilerden de bir hidrolik kırıcı performans tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Buna göre net kazı hızı (m^3/h); eşitlik (3.4)'teki gibi hesaplanır.

$$IBR = 4.26 P (RMCI)^{-0.567} \quad (3.4)$$

Burada, ICR; m^3/h olarak anlık kazı hızı, IBR; m^3/h olarak anlık kırılma hızı, P; beygir gücü olarak makine gücü, RMCI; kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi, UCS; MPa olarak basınç dayanımı, RQD; yüzde olarak kayaç kalite indeksidir.

3.1.3.2 Çopur ve arkadaşlarının yöntemi

50'den fazla kollu galeri açma makinesi kullanılan projelerde, 250 farklı kayada performans verileri değerlendirilmiş ve tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Kazı sırasında makinenin net ilerleme hızı (3.5)' deki denklemle bulunmaktadır [12].

$$ICR = 27.511 \times e^{\left(\frac{0.0023 \times P \times W}{UCS}\right)} \quad (3.5)$$

Bu model arına paralel tip kesici kafalı kollu galeri açma makinelerinin evaporatik kayık kazısı için geçerlidir. Ayrıca bu model kullanılarak, verilen bir evaporatik kayık ve istenen bir üretim hızı için makine gücü ile ağırlığının seçimi yapılabilir.

3.1.4 Yarı ampirik yaklaşımlar

Bu yaklaşımın temelinde bilgisayar modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Performans tahmini ve kesici kafa dizaynı mümkün olmaktadır. Bu metodun doğruluğu yapılan bir çok çalışma ile kanıtlanmıştır. Makine üreticileri, araştırma enstitüleri ve danışman firmalar tarafından kendi bilgisayar modelleri geliştirilmiştir.

3.1.5 Gerçek bir makine ile yerinde (in-situ) kazı yöntemi

Bu performans tahmininin esası kullanılması düşünülen makinenin özelliklerine benzer bir makinenin kiralanarak bir madende test edilmesine dayanır. Bu yöntem en doğru sonucu vermesine rağmen çok pahalı ve zaman alıcıdır [11].

3.2 Keski Sarfiyatı Tahmin Modelleri

Maliyet analizi hesaplarında, proje kapsamında harcanacak olan keski miktarını tahmin edebilmek için keski tüketim tahmin modelleri geliştirilmiştir. Mekanize kazıda kazı hacmine bağlı olarak harcanacak keski miktarının önceden tahmin edilmesi bu yöntemler sayesinde mümkündür.

3.2.1 Cerchar aşınma deneyi

160 kg/mm² çekme dayanımı olan 90° tepe açılı konik bir uç 7 kg. bastırma kuvveti ile gayri muntazam numune üzerinde 1 cm çekilmekte ve uçta oluşan aşınma yüzeyi kayık numunesinin aşındırıcılığını vermektedir. 1/10 mm lik bir aşınma yüzeyi bir birim Cerchar aşınma indeksi olarak tarif edilmektedir. Tablo 3.1 kayıkların aşınma

indeksine göre sınıflandırılmasını göstermektedir [1]. Kazı teknolojisi laboratuvarında, Cerchar aşınma deneylerinin yapıldığı deney seti Şekil 3.3’ de sunulmuştur.

Tablo 3.1 Cerchar aşınma indeksine göre kayaç aşındırıcılıkları [1]

Sınıflandırma	Cerchar İndeksi	Kayaç Tipi
Çok aşındırıcı	4.5	Hornblend,gnays, pegmatit,granit
Oldukça aşındırıcı	4.25-4.5	Amfibol, granit
Aşındırıcı	4.0-4.25	Granit, gnays, şist, kumtaşı, silttaşı
Orta aşındırıcı	3.5-4.0	Dolorit
Biraz aşındırıcı	2.5-3.5	Kumtaşı, silttaşı
Az aşındırıcı	1.25-2.5	Portland kumtaşı
Çok az aşındırıcı	1.2	Kireçtaşı



Şekil 3.3 Cerchar deney seti

3.2.2 Schimazek aşınma indeksi

Schimazek ve Knatz 1970’li yıllarda sedimanter kayaçların petrografik analizlerine dayanarak F_s indeksini tarif etmişlerdir [1].

$$F_s = \frac{Q_{tz} \cdot d \cdot \sigma_t}{100} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3.6)$$

F_s = Schimazek aşınma indeksi

Q_{tz} =Kuars yüzdesi

d = mm olarak ortalama kuvars tane çapı (cm)

σ_t = Kayaçın çekme dayanımı (kg/cm^2)

3.2.3 Çopur modeli

Çopur ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu modelde keski tüketimi (3.7) ve (3.8)'deki eşitliklerle hesaplanır.

$$BCR=897.06(RCI)^2+6.1769(RCI) \quad (3.7)$$

$$RCI=UCS / (P.W.CHD) \quad (3.8)$$

Burada;

BCR: keski tüketim oranı, adet/m³

RCI: kollu makine keski tüketim indeksi

UCS: tek eksenli basınç dayanımı, MPa

W: kollu makine ağırlığı, ton

P: kollu makinenin kesici kafa gücü, kW

CHD: kesici kafa çapı, m

Bu model evaporatik kayalar ve tek eksenli basınç dayanımı 60 MPa dan düşük olan diğer yumuşak kayalar için geçerlidir [12].

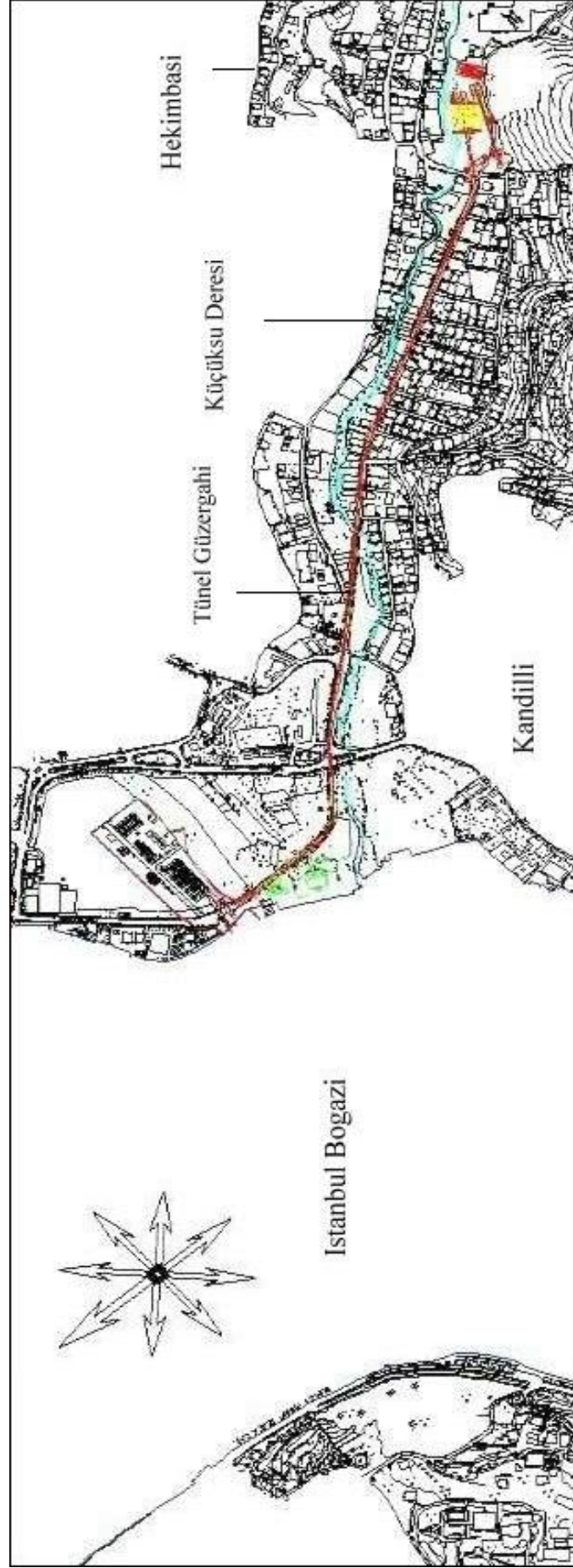
4. PROJENİN TANITIMI

4.1 Küçüksu Atıksu Tünel Projesi

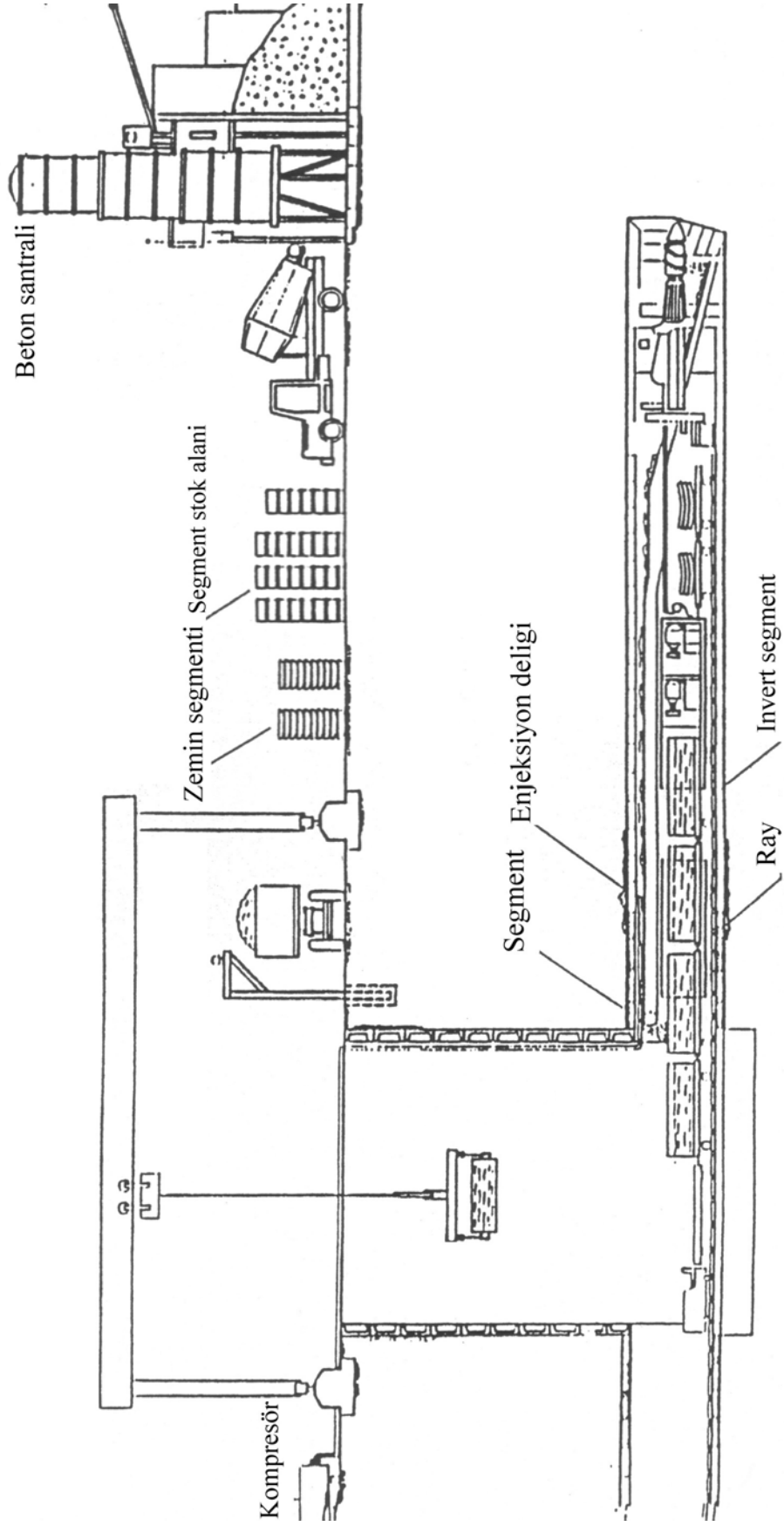
Küçüksu Tüneli Projesi, İstanbul'un Anadolu yakasındaki nüfusu gün geçtikçe artan Küçüksu yöresinin kanalizasyon probleminin çözümü ve bu bölgedeki endüstriye ve konutlara ait artıkların, denize ulaşmadan sahil boyunca kolektörlerle toplanarak arıtma tesisine taşınması ve burada arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra denizin dip akıntılarına boşaltılmasını esas alan, Küçüksu Ön Arıtma Tesisi ve Deniz Deşarjı İnşaatı Projesi'nin bir bölümünü oluşturmaktadır. Küçüksu atıksu arıtma tesisi için daha önce tahsis edilen mevcut saha Küçüksu mahallesi, Kandilli - Göksu caddesi ile Küçüksu deresi kavşağında, fidanlık içinde yer almakta olup 0.8 hektar büyüklüğündedir. Şekil 4.1' de Küçüksu atıksu tüneli güzergah haritası verilmiştir. Kollu galeri açma makinesi kullanılarak gerçekleştirilen kazı işlemlerinde, uygulanan kazı sistemi şematik olarak Şekil 4.2' de gösterilmiştir [15].

4.2 Proje Kapsamındaki İşler

Küçüksu ön arıtma tesisi ve deniz deşarjı projesinin, STFA şirketine ihale edilen kısmında 291702 m³/gün kapasiteli bir arıtma tesisi, üç şaft, iki tünel ve bir açık kazı boru hattı bulunmaktadır. Nihai çapı 2.2 m ve genel eğimi 1/669 olan, 95.79 ve 1037.52 metre uzunluğundaki tünellerin, kesme kafası motor gücü 90 kW ve toplam kurulu gücü 224 kW olan SM1 model Alman Herrenknecht marka kollu tünel açma makinesiyle açılmak üzere planlanmıştır. Bu tez kapsamında incelenen Küçüksu arıtma tesisinden başlayıp Kandilli - Göksu caddesi üzerindeki Küçüksu mahallesinde bitecek olan 1037.52 m uzunluğundaki tünel inşaatının yapımına 27/08/2002 tarihinde başlanmış ve tünel inşaatı 09/08/2003 tarihinde tamamlanmıştır.



Şekil 4.1 Küçüksu atıksu tüneli güzergah haritası [15]



Şekil 4.2 Kazı sisteminin şematik olarak gösterimi [15]

5. JEOLojİ

5.1. Genel Jeoloji

Bölgede temeli Kocaeli Paleozoyik istifini oluşturur. Bu istif stratigrafik olarak en altta mor renkli akarsu ve alüvyon yelpazesi kırıntılarından yapılmış Ordovisyan yaşlı Kurtköy Formasyonu ile başlar. Karasal kırıntıları, plaj setleri şeklinde çökelmiş ve çapraz tabakalı kuvarsarenitlerle kuvars çakıl taşları izler. Yine Ordovisyan yaşlı olan bu birim Aydos formasyonu olarak adlandırılmıştır. Aydos Formasyonu'nu üste doğru yeşilimsi gri renkli, paralel laminalı ve yine Ordovisyan yaşlı şeyiller izler. Gözdağ Formasyonu olarak bilinen bu şeyillerin üst kesimlerinde değişik büyüklük ve kalınlıkta kuvars arenit mercekleri mevcuttur. Gözdağ Formasyonu üzerine yanal ve düşey geçişli olarak Silüriyen yaşlı kısmen resifal kısmen de vake taşı (tane taşı) biçimli kireçtaşları gelir. Dolayoba Formasyonu olarak tanınan bu formasyon üzerinde sarımsı kahverenkli bol fosilli ve üst kesiminde kalsitürbidit ara tabakalı şeyiller gözlenir. Kartal Formasyonu olarak adlandırılmış olan bu formasyon, Alt-Orta Devoniyen yaşlıdır. Bu birim Üst Devoniyen yaşlı masif-yumrulu kireçtaşlarından yapılmış Tuzla Formasyonu ile örtülüdür. Bu formasyon üzerinde alt Karbonifer yaşlı fosfat yumrulu radiolaryalı ve siyah renkli çörtler mevcuttur. Bölgede Paleozoik istifin en üst birimi, türbidit kum taşı-çakıl taşı ara tabakalı şeyillerden kurulu Alt Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonudur. Kocaeli Paleozoik istifini yer yer ve sık sık andezit-dolarit bileşimli damarlarla ve mikrodioritik stoklarla kesilmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde Paleozoik yaşlı temel Kuvaterner yaşlı havzaların kenar kısımlarında alüvyon yelpazeleri orta kesimlerinde ise ince taneli kırıntılarla örtülüdür. Denize komşu havza içlerinde Holosen yaşlı ve genellikle kum-çakıl ara tabakalı killerden oluşan denizel dolgular mevcuttur. Günümüzdeki akarsu yataklarında gevşek çakıl-kum-silt-kil den oluşan alüvyonlar gelişmektedir [16].

5.2. Bölgesel Ölçekte Yapısal Jeoloji

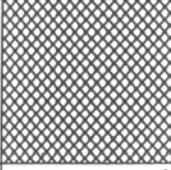
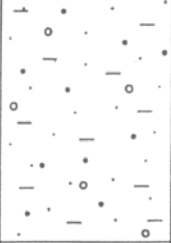
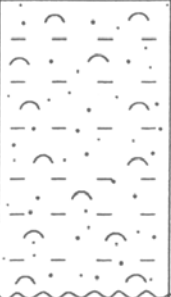
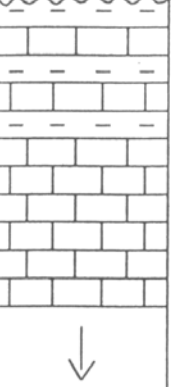
İnceleme alanının içinde yer aldığı İstanbul ve Kocaeli yarımada-ları Paleozoik sonundan itibaren günümüze kadar çeşitli havza gelişimleri ve dağ oluşum deformasyon evrelerinden etkilene-rek bugünkü kıvrımlı ve kırıklı yapılarını kazanmışlardır. Temel kayaları olan Paleozoik istif özellikle Karbonifer sonundan itibaren Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü sıkışmalarla kıvrılmış ve içinde bu deformasyonlarla Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü kıvrımlar ve bindirmeler oluşmuştur. Triyas döneminde normal faylanmalarla havza gelişimleri izlenmiş ve bu havzada çökelen tortullar olasılıkla düşey hareketlerle deforme olmuşlardır. Üst Kretase sonu-Alt Eosen döneminde Kuzey-Güney yönlü sıkışma kuvvetleri ile hem temel ve hem de Kretase havzası istifi deforme olmuş, diğer bir deyişle, kıvrılıp kırılanmıştır. Bu dağ oluşum evresi ile Paleozoik ve Triyas istifleri kuzeye doğru Üst Kretase-Alt Eosen birimleri üzerine itilmiştir. Bölgede bu iki önemli dağ oluşum evresi dışında değişik dönemlerde genelde düşey hareketlerle havzalaşmış ve bu bölgelerde biriken çökeller daha sonra yine benzer tektonikle deforme olmuşlardır. İnceleme alanında yüzeyleyen formasyonlarda böyle hareketlerle gelişen faylanmalara bağlı olarak açık kıvrımlar ve fleksürler oluşturmuştur. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 5.1 de görülmektedir.

Üst Miyosen’ de yeniden havzalaşan bölgede biriken karasal ve lagüner çökeller Pliyosen başlarından itibaren kıta-kıta çarpışmaları sonrasında Anadolu levhasının batıya harekete başlamasıyla gelişen Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun bölgede meydana getirdiği hareketlerle eski çökellerle birlikte kıvrılıp-kırılanmıştır. Bu hareketler günümüzde de devam etmektedir. Geç Kuvaterner döneminde İstanbul ve Kocaeli yarımada-larını kuzey ve güneyden sınırlayan yaklaşık Doğu-Batı yönlü doğrultu atımlı faylarla her iki yarımada saat yönünde dönmüş ve bu deformasyon sonucu İstanbul Boğazı ve batıya doğru birtakım Holosen havzaları gelişmiştir [16].

5.3. İnceleme Alanının Jeolojisi

Küçüksu tünel güzergahında yapılan sondajlarda sondaj derinliği boyunca devam eden gri renkli, orta kalın tabakalı, yoğun kalsit damarlı, eklem yüzeyleri oksitli, az ayrılmış, yer yer pirit dolgulu, az çatlaklı kireçtaşı bulunmaktadır. Bu tabakalardaki TCR=23-100%, RQD=0-100% , σ_c =557-1328 kg/cm² ve n (porozite)=0.05-0.65%

şeklinde değişmektedir. Tünel güzergahında az ayrılmış kireçtaşı kesen yeşil renkli, masif, az ayrılmış diyabaz daykları bulunmaktadır. Bu tabakalardaki TCR=88-100%, RQD=48-100, $\sigma_c=1638-1746 \text{ kg/cm}^2$ ve n (porozite)=0.83% şeklinde değişmektedir.

SİSTEM	YAŞ		FORMASYON	KALINLIK (m.)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	SERİ	KAT				
PALEOZOYİK DEVONİYEN ORTA-ÜST DEVONİYEN TUZLA			KUVATERNER GEÇ KUVATERNER KUŞDİLİ	1.5-7.5 m		Yapay Dolgu : Harfiyat malzemesi, İnşaat molozu, kiremit v.s.
				4.2-28.6 m		Kil-kum-çaklı; koyu gri renkli, gevşek
						Kil : Siyahımsı koyu gri renkli, ince kumlu, çakıllı, kavkılı
				>50 m		Kireçtaşı; mavimsi-kahverengi koyu gri renkli, masif, karstik

Şekil 5.1. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [16]

5.4. Küçüksu Tünelinde Yapılan Ölçümler

5.4.1. Jeofizik Ölçümler

Küçüksu Mevki' inde projelendirilecek ön arıtma tesisi ve deniz deşarjı inşaatı alanında yeraltı yapısının incelenmesi amacıyla 8 noktada düşey elektrik sondajı (DES) ve 3 serim sismik kırılma yöntemi uygulanmıştır.

5.4.2. Sondajlar

Küçüksu Tüneli güzergahı ve tünel güzergahını temsil edebilecek şekilde; Geoteknik ve Sondajcılık Ltd. Şti. tarafından S₉ ve S₁₀ no' lu, Anadolu Yerbilimleri Ltd. Şti. tarafından S₁₂ ve S₁₃ no'lu, Temel Araştırma ve Sondaj Ltd. Şti. tarafından BK 27, BK 28, BK 29 no' lu olmak üzere 7 adet sondaj yapılmıştır. Bu 7 adet sondajda toplam 248,3 metre sondaj kuyusu açılmıştır.

Zeminin formasyonu hakkında daha fazla bilgi edinilmesi amacıyla tünel güzergahında yapılan sondajlar dışında; Küçüksu çevresinde de Temel Araştırma ve Sondaj Ltd. Şti. tarafından BK 24, BK 25, BK 26 ve BK 30 no' lu 4 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu sondaj kuyularının toplam uzunluğu 142,3 metredir. Yukarıda bahsi geçen şirketler tarafından yapılan toplam 11 sondajın Tablo 5.1.' de görüldüğü gibi; numarası, yeri, derinliği, kot ve koordinatları belirlenmiştir.

Yapılan sondaj çalışmaları ve ayna profilleri analiz edilerek jeolojik boy kesiti üzerine işlenmiştir (Ek-A). Analiz sonuçlarına bakıldığında, yeryüzünden aşağıya doğru inildikçe ilk metrelerde dolgu malzemelerine rastlanmıştır. Bu dolgu malzemelerin; molozlu, bloklu, killi ve kumlu yapıdan oluştuğu görülmüştür. Derinlere inildikçe; kireç taşı tabakaları, bazı bölgelerde kireç taşı doğrultusuna uyumlu olarak şeyl tabakaları ve silt taşı tabakalaşmaları görülmüştür. Bazı bölgelerde ise tünel eksenini de keserek yeryüzüne doğru çıkan diyabaz sokulumları tespit edilmiştir.

Yapılan sondajlarda sürekli karotlu ilerleme uygulanmıştır. Sondajda, 76 milimetre çift tüplü karotiyer, 76 milimetre çaplı nwg tipli elmas matkap ve dış-iç çapı 50,8-34,9 milimetre yarık tüplü numune alıcı kullanılmıştır. Karotiyer (karot alma cihazı) aracılığıyla alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenmiş ve zemin hakkında bilgiler edinilmeye çalışılmıştır. Küçüksu bölgesinde yapılan sondajlardan elde

edilen bilgilerle (jeomekanik özellikler, jeoteknik tanımlamalar) jeoteknik raporlar hazırlanmıştır.

Tablo 5.1. Küçüksu çevresinde ve tünel güzergahında açılan sondaj kuyularının numaraları, yeri, derinliği, kotu ve koordinatları

Sondaj ve Kuyu No	Mevki	Derinlik (m)	Kot (+ m)	Koordinatlar	
				X	Y
S ₉	Küçüksu Çevresi	13.00	2.00	—	—
S ₁₀	Küçüksu Çevresi	39.00	27.60	—	—
S ₁₂	Tünel Çalışma Alanı	25.20	8.60	422211.45	4548862.18
S ₁₃	Tünel Çalışma Alanı	27.00	10.80	422310.96	4548813.24
BK 24	Kandilli	15.00	5.04	421547.75	4549625.01
BK 25	Küçüksu Kandilli Evleri altı	50.10	37.07	421597.85	4549469.33
BK 26	Kandilli	54.00	42.87	421722.22	4549323.77
BK 27	Küçüksu Çevresi	48.10	36.86	421842.97	4549115.87
BK 28	Küçüksu Çevresi	48.00	34.86	421951.49	4548948.18
BK 29	Küçüksu Çevresi	48.00	37.80	422132.49	4548804.02
BK 30	Küçüksu Eski Tuğla Fabrikaları	23.20	11.35	422323.56	4548800.89

5.5. Küçüksu Bölgesinde Bulunan Kayaç Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri

Küçüksu çevresinde ve tünel güzergahında yapılan sondajlardan, S₁₂ ve S₁₃ no'lu sondajlar incelendiğinde kayaç birimleri hakkında geniş bilgiler elde edilmiştir. Özellikle Tablo 5.2. ve 5.3.' te görüldüğü gibi kayaç kalite göstergesi (RQD), alınan toplam karot yüzdesi TCR (Total Core Recavere), sadece rijit alınan kayaçların karot yüzdesi SCR (Solit Core Recavere); yapılan sondajlarla ortaya konmuştur.

Yapılan S₁₂ sondajının 5. metresine kadar olan kısmında yapay dolgunun olduğu belirlenmiştir. Bu yapay dolgu; molozlu, bloklu, killi ve kumlu yapıdan oluşmuştur. 5 ile 25,2. metreler arası; ayrılmış kireç taşı, grimsi-kahverenkli sık çatlaklı yer yer killenmiş şeyl ara tabakalı çok zayıf yapıdadır.

Tablo 5.2. S₁₂ Sondajında derinliğe göre TCR, SCR ve RQD değerleri [16]

Derinlik (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)
0.00 – 5.00	-	-	-
5.00 – 6.00	71	12	-
6.00 – 7.80	43	21	9
7.80 – 9.00	66	83	23
9.00 – 10.50	85	62	23
10.50 – 12.00	100	27	13
12.00 – 13.50	100	58	38
13.50 – 15.00	100	64	30
15.00 – 16.50	100	71	30
16.50 – 18.00	100	-	-
18.00 – 22.50	100	40	8
22.50 – 24.00	100	38	14
24.00 – 25.20	100	50	66

S₁₂ sondajı verilerine bakıldığında RQD kavramına göre; ilk 12 m' lik kısımdaki kayalar çok zayıftır. 12 ile 16,50. metrelerdeki kayalar zayıftır. 24 ile 25,2. metreler arasındaki kayalar ise orta sınıf kayaçlardır.

Tablo 5.3. S₁₃ Sondajında derinliğe göre TCR, SCR ve RQD değerleri [16]

Derinlik (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)
0.00 – 4.94	—	—	—
4.94 – 6.90	17	—	—
6.90 – 7.50	58	17	7
7.50 – 9.00	33	4	—
9.00 – 10.50	27	—	—
10.50 – 12.00	37	—	—
12.00 – 13.50	23	5	—
13.50 – 15.00	41	—	—
15.00 – 16.50	35	—	—
16.50 – 18.00	100	59	33
18.00 – 19.50	100	61	25

Tablo 5.3. S₁₃ Sondajında derinliğe göre TCR, SCR ve RQD değerleri (Devamı)

Derinlik (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)
19.50 – 21.00	100	36	7
21.00 – 22.50	100	87	65
22.50 – 24.00	90	71	42
24.00 – 25.50	65	20	—
25.50 – 27.00	43	10	—

Yapılan S₁₃ sondajının ilk 1,5 metrelik kısmında yapay dolgu bulunmuştur. Bu yapay dolgu; moloz, blok, kil ve kumdan oluşmaktadır. 1,5 ile 4,94. metrelerde şeyl yapı mevcuttur. 5 ile 20,5. metreler arasında çok sık çatlaklı yeşilimsi renkte dolarit bulunmuştur. 20,5 ile 25. metrelerde ise az çatlaklı orta zayıf yapıda gri renkli kireçtaşı mevcuttur.

S₁₃ sondajı incelendiğinde kaya kalitesi göstergesine göre; 21 ile 22,5. metreler arasında kalan kayaçlar orta sınıf kayaçlardır. 22,50 ile 24. metreler arasındaki kayaçlar, zayıf kayaçlar olarak tanımlanırlar. 6,9 ile 7,5. metrelerdeki kayaçlar ise çok zayıf kayaçlar olarak adlandırılırlar.

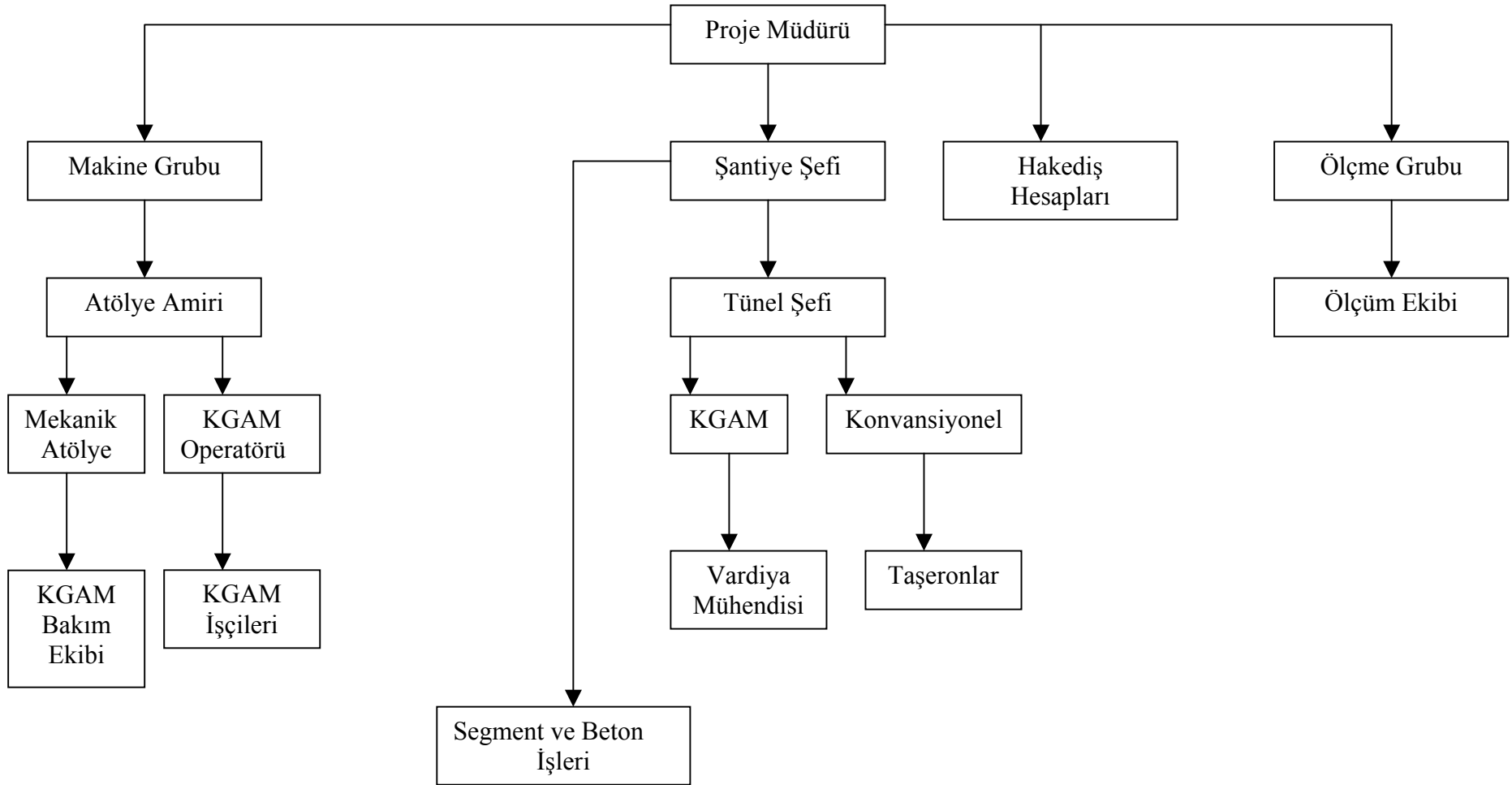
6. PROJE ORGANİZASYONU

Küçüksu atıksu tüneli STFA şirketi tarafından yapılmıştır. Proje organizasyonun başında proje müdürü bulunmaktadır. Proje müdürünün görevi, şantiye organizasyonunu oluşturmak, gerekli olan mühendis, formen ve işçileri görevlendirmek, işlerin eksiksiz ilerlemesini sağlamaktır. Proje organizasyon şeması Şekil 6.1’de verilmiştir. İdari şartnameye göre projede çalışacak olan mühendislerin, benzeri işlerde en az 5 yıllık deneyime sahip olmaları gerekmektedir. Proje müdürünün ise yine benzeri işlerde en az 10 yıllık yönetim deneyimine sahip olması gerekmektedir. Küçüksu projesi tünel inşaatı kapsamında çalışan teknik elemanlar aşağıda verilmiştir.

Proje Müdürü	: İnşaat müh. (1)
Hakediş Hesapları	: İnşaat müh. (1)
Şantiye Şefi	: İnşaat müh. (1)
Tünel Şefi	: İnşaat müh. (1)
Ölçme Grubu	: Harita müh. (1), Topograf (1)
Vardiya Müh.	: İnşaat müh. (1), Harita müh. (1)

Bir vardiyalık kollu makine çalışmasında kazı, pasa nakli, segment montajı, bakım, arıza, beton enjeksiyonu ve hava, su, ray hatlarının montajı işleri yapılmaktadır. Küçüksu tüneline bir gün içerisinde 12 saatlik iki vardiya çalışması planlanmıştır. Bir vardiyada çalışanların listesi aşağıda verilmiştir [17].

Formen	: 1 kişi
Makine operatörü	: 1 kişi
Segment montajcı	: 2 kişi
Şaft altı	: 1 kişi
Şaft üstü	: 1 kişi
Lokomotif sürücüsü	: 1 kişi
Elektrikçi	: 1 kişi
Tamir bakım	: 4 kişi



Şekil 6.1 Proje organizasyon şeması

7. KÜÇÜKSU TÜNELİNDE KULLANILAN KOLLU TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN ÖZELLİKLERİ

7.1 Genel Özellikleri

Küçüksu tünellerinde kullanılan SM-1 Model kollu tünel açma makinesi iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar şild (kalkan) ve roadheader dır.

Taşımayı sağlamak için, şildler kalkanla (loose tails) yumuşak çelik kullanılarak kaynaklanmış ve kalkanla şild komple bir yapı oluşturmuştur. Şild ve diyafram kaplama kalınlıkları 25 mm ; kuyrukta ise (tail) 20 mm.'dir. 400 mm lik gusset plaka ve kaplama levhaları iç içe girdirilmiş ve kesici kenarlarla birleştirilmiştir.

Şildlerin toplam uzunluğu 6.9 m. dir. Kurbalarda çalışmayı kolaylaştırmak için iki parçadan oluşmuştur.

Şildlerin içerisinde bütün hidrolik ekipmanı destekleyecek elektrik güç sistemi mevcuttur. Operatör shield içindeki yerinden makinenin çalışmasını kontrol eder. Şildlerin arkasına segmentleri yerleştirmek ve monte etmek için bir erektör vardır. Bununla birlikte 60 cm genişliğinde bir pasa taşıyıcı sistem kazılan malzemeyi tünel makinesi boyunca taşır.

Makine pistonlar sayesinde kazı istikametinde hareket eder ve pistonlar shield'in arka yüzeyindeki taşıyıcılardır. Pistonlar makineyi bir önceki ringden destek alarak kontrol ederler. İtme sistemi her biri 70 ton kaldırma kapasiteli 9 pistondan oluşur ve bu pistonların her biri çok sıkı bağlanmış poliureton çiftlenmiş piston ayaklarına monte halindedir. Bu pistonlar bağımsız olarak operatör tarafından, makineyi aşağı yukarı yönlerde hareket ettirmek için kontrol edilir.

Roadheader shield'in bir parçası olan ana gövdelerinde kayıcı tabliye üzerine monte edilidir. Roadheader'ın makineye iyi yerleştirilmiş olması ve geri hareketi dolayısıyla, aynanın tamamı kazılabilir. Roadheader'ın toplam boyu 3.5 m'dir.

Roadheader iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar bum ve kazıcı kafadır. Kazıcı kafa koniksel parçadır ve kendi ekseni etrafında döner. Kazıcı kafa 36 adet kalem

uçlu keskidenden oluşur. Bu uçlar kayaları aşındırır ve kırar. Koniksel parçanın arkasında üzerinde burmalı kanatlar mevcut bulunan scroll tüp, çıkan malzemeyi eğimli ilk taşıyıcıya götürür.

Scroll tüp ve kazıcı kafa birbirlerine roadheader buminin sonunda monte edilmiştir. Bum ana makine gövdesine hareket edebilir şekilde monte edilmiştir. Roadheader bumin hareketleri joystick kontrollüdür. Bu işlem segmentten dolayı gelebilecek zararları ve olumsuzlukları önlemek için ve özellikle pasa atımında, iksaların yerleştirilmelerinde, iş alanını arttırmada daha fazla iş kazandırır. Ani kazılar ve kaplama bu şekilde daha pratik yapılabilir.

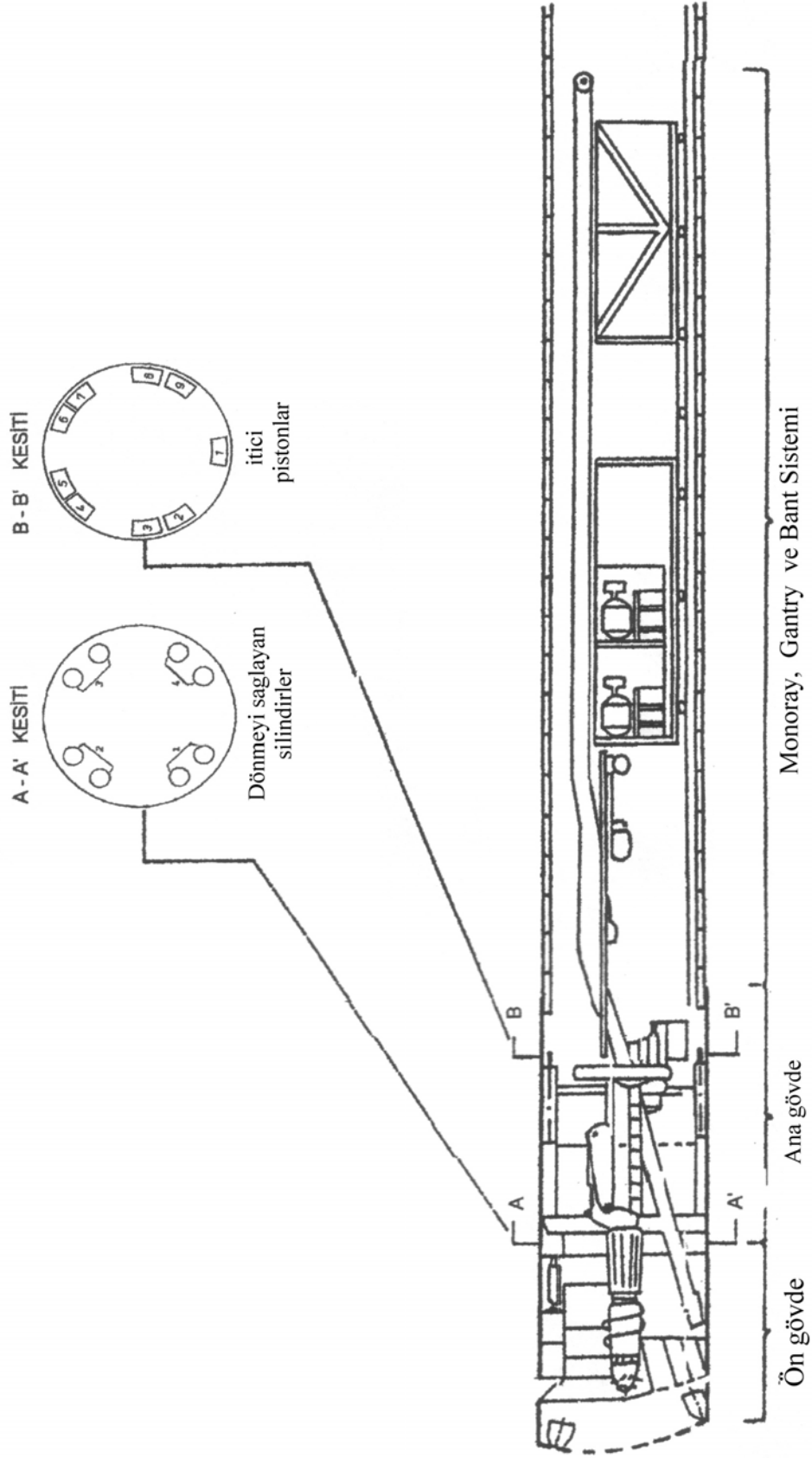
Bu tip roadheaderlar kaya kesiminde kullanılır. Yapışkan ve yapışkan olmayan kesimlerde, roadheader yerine backhoe kazıcı takılabilir [15].

7.2 Teknik Özellikleri

Herrenknecht firması tarafından üretilmiş olan SM-1 model Roadheader; gövde, konveyör, erektör ve segment taşıyıcı, roadheader, transformatör ve kablo taşıyıcı, güç ünitesi ve konveyör taşıyıcı araba elemanlarından oluşmaktadır. Makinenin teknik özellikleri ise Tablo 7.1’ de verilmiştir. Şekil 7.1’ de ise Herrenknecht firmasına ait SM-1 model Roadheader’ ın boyuna kesiti görülmektedir [15].

Tablo 7.1 Makinenin teknik özellikleri [17]

Makinenin modeli	SM-1
Üretici	Herrenknecht
Kesme kafası motor gücü	90kW
Kesme kolu ileri-geri, sağ-sol motor gücü	45 kW
Konveyör-Erektör motor gücü	37 kW
Havalandırma motor gücü	2x7,5 kW
Şild motor gücü	37 kW
Toplam kurulu güç	224 kW
Kesme kafası dönme hızı	0-55 devir/dak
Erektör dönme açısı	380°
Bant hızı	0-44 m/dak
1. Bant uzunluğu	2070 mm
1. Bant genişliği	600 mm
2. Bant uzunluğu	3730 mm
2.Bant genişliği	650 mm
Makine çalışma basıncı	35 MPa
Makine ağırlığı	67 ton



Şekil 7.1 Roadheaderin boyuna kesiti [15]

8. KÜÇÜKSU TÜNELİNDE YAPILAN İŞLERİN İNCELENMESİ

8.1 Kesici Bum ile Kazı

Roadheaderın bir parçası olan kesici bum üzerinde; her iki yöne dönebilen, üzerinde 36 adet kalem uçlu keski (pick) olan aksiyel kafa bulunmaktadır. Ayrıca bumun üzerinde burmalı kanatları olan (helezon yapıda) scroll tüp de mevcuttur. Şekil 8.1’ de Küçüksu tünellerinde kazıyı gerçekleştiren kesici kafa görülmektedir. Bum her yönde hareket edebilme özelliğine sahiptir. Roadheaderın ana gövdesine bağlı olan bumun hareketleri operatör tarafından bir kol (joystic) ile kontrol edilmektedir. Operatör bu kol yardımıyla buma kazı için gerekli hareketi verir. Kazı işlemine, kazı aynasının sağ alt kısmından başlanır ve sol alt kısmına kadar kesme gerçekleştirilir. Daha sonraki kesme işlemleri soldan sağa doğru dilimler halinde yapılır.



Şekil 8.1 Kesici bumun görünümü

Kesici kafanın performansı, formasyona bağlı olduğu kadar operatörün tecrübesine de bağlıdır. Operatör yukarıda belirtilmiş olan kazı sistemini kullanılır ve bozulan kesimleri zamanında değiştirir ise kazı verimini doğrudan etkilemiş olacaktır.

8.2 Rayların Döşenmesi

Makine ilerledikçe ulaşımın sağlanabilmesi için tabanda mevcut döşenmiş segmentler üzerine 60 cm. aralı ve bunun dışında 100 cm. aralı 2 ray hattı döşenir. 60 cm. aralı ray hattı tünel içinde ulaşım için gerekli olan hattır ve tüm işler bitene dek kullanılacaktır. Diğer ray grubu, güç grubunun naklini sağlar. 3'er m.' lik raylardan oluşan bu kısımda güç grubu boyuncadır ve sürekli olarak arkada boşa çıkan ray öne bağlanır. Bu işlem tünel bitene dek tekrarlanır. Raylar, tünel içine segment şaseleriyle taşınır. Raylar, taban taşları üzerine konulmuş ahşap traverslerin üstüne konur ve ray çivileriyle tutturulur. Raylar üzerinden hafriyat kovalarının taşınması esnasında, ray çivileri esnemediği dolayısı ile gevşer. Bu nedenle rayların açılmaması için, bir boy ray üzerine iki adet çelik travers bağlanır. Tünelde her 8 ring ilerlemede bir boy ray bağlanır. Bir boy rayın uzunluğu standart 6 m' dir (güç grubunun naklini sağlayan raylar 3 m' dir). Pratikte 6 metrelik rayların her iki taraftan tamamlanıp birbirine bağlanması ve ahşap traverslere ray çivisiyle çakılması ile sabitlenir.

8.3 Pasa Nakliyatı

Pasanın taşınması iki adet hareketli bant tarafından sağlanmaktadır. Her bant için bir tambur bulunmaktadır. Bu sistemde birinci ve ikinci bantlar 600 mm. genişliğindedir. Birinci bant eğimli konumlandırılmıştır ve uzunluğu 2,07 m.' dir. İkinci bant ise yataydır ve uzunluğu 3,73 m.' dir. Dakikada yaklaşık 30 m. hareket kapasitesine sahip bu bantlar, hidrolik sistemle çalışırlar. Bu bantlar geri çalıştırılarak gerekli ekipmanların aynaya taşınması sağlanabilir. İki bant kilitlenebilir ve bant kontrolü kazıcı operatör istasyonunda ve pasanın döküldüğü yerde yapılabilir.

Kazıdan çıkan malzemeler scroll tüp aracılığıyla eğimli ilk banda gelir. Öne dökülen hafriyat, zırh içinde eğimli bir şekilde konumlandırılan birinci bant yardımıyla aynadan alınır ve yatay olan ikinci banda aktarılır. İkinci bant vasıtasıyla hafriyat, vagonlara (kovalara) doldurulur. Tünelde gerekli taşıma işlerinin yapılması için; 1 adet 3 vagonlu lokomotif, 1 adet 2 vagonlu lokomotif bulunmaktadır. Banttan gelen pasa, 2.5 m³ hacimli vagonlara doldurulur. Bu vagonlar, 21 hp güce sahip olan Clayton lokomotif tarafından taşınarak dışarı çıkartılır. Taşımanın devamlılığını sağlamak için iki hatta çalışan pasa taşıma vagonları mevcuttur. Lokomotif tarafından tünelin dışına çıkarılan vagonlar, şaftın ağzında bulunan vinç yardımıyla

yukarı çıkarılır ve pasa kamyonlarına boşaltılır. Boşaltılan vagonlar tekrar vinç yardımıyla yerine geri konur. Çıkan pasanın dışarı atılması bu şekilde devam eder. Şaft ağzında kullanılan vinç, jeddah tipi bir vinçtir. Bu vinç köprü şeklindedir ve şaft ağzında ileri geri gezebilir özelliğe sahiptir. Vincin taşıma kapasitesi 8 tondur [15].

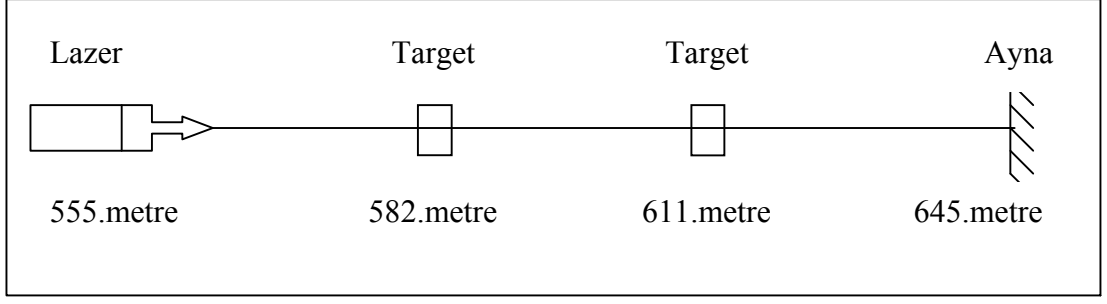
8.4 Roadheader'ın İlerletilmesi

Kazı işlemi gerçekleştirilip ardından pasa nakli yapıldıktan sonra segmentlerin bağlanıp bir ring ilerlemenin yapılması için makinenin ilerletilmesi gerekmektedir. Makinenin ilerletilmesi işleminde itme pistonları kullanılır. 9 adet itme pistonu bir önceki ringe basar durumdadır, pistonlar yaklaşık 90 cm geri çekilir ve pistonlarla bir önceki ringe arasına yeni segment taşları yerleştirilir, yerleştirme ve bağlama işleri bittikten sonra pistonlar yeniden segmentlere basar ve sistem yeni ringin kazısı için hazır hale gelmiş olur. İtme işlemi sırasında pistonlarının her biri bir önceki ringe yaklaşık 100 ton basınç uygular.

8.5 Roadheader'ın Yönlendirilmesi

Yön ve istikamet kontrolü çıkış çapı 4 mm olan, lazer ışını 300 m mesafede 10 mm çapına erişen He-Ne gazı lazeri yardımıyla yapılmaktadır. Lazerin eksenini belirlemek için; ülke koordinatlarına bağlı olan poligonlardan tünel içerisine poligon noktaları tesis edilir. Tünel içindeki poligondan tünel aksı üzerine bir nokta alınır. Bu noktaya ölçme aleti konularak tünel aksını gösteren semt açısına dönülür. Lazer, bu ölçme yöntemiyle aksa getirilir. Lazerin proje kotu, poligon kotlarından faydalanarak bulunur ve böylece lazerin, tünel içindeki eksenini ayarlanmış olur.

Lazer kaynağının kazı arınına uzaklığı 90 m. olmalıdır. Bu mesafe aralığına 2 adet target (hedef) yerleştirilir. Lazerin ışığı iki hedeften geçerek makineye ulaşır. Lazer kaynağından elde edilen ışık izinin makine üzerindeki ölçekli plakadaki yerine göre tünel makinesinin yönlendirilmesi, makine kalkan ek yerindeki yönlendirme pistonları aracılığıyla yapılır. Tünel eksenindeki lazer kaynağının ve hedef noktalarının aynaya olan mesafelerinin şematik görünümü Şekil 8.2'de verilmiştir.



Şekil 8.2 Yönlendirme düzeneğinin tünel eksenine yerleştirilmesi

8.6 Havalandırma Sistemi

Tünelde havalandırma işlemi için her biri 7,5 kW gücünde 2 adet emici vantilatör bulunmaktadır. Havalandırmada, P.V.C’ den yapılmış 500 mm çaplı borular kullanılmaktadır. Emici vantilatörler, tünel içindeki pis havayı emip dışarı atarlar. Dışarıdan içeriye temiz hava, doğal havalandırma akımı ile sağlanmaktadır.

Havalandırmada, aynanın 1 m²’ sine 18 m³/dak. hava akımı öngörülmektedir. 100 metre tünel uzunluğunda 28 mm cıva basınç kaybı kabul edilmiştir. Ayrıca her 200 m’ de bir vanalı çıkışlar bırakılması öngörülmüştür. Makinenin, yanıcı ve patlayıcı gazlara karşı otomatik alarmlı gaz detektörü bulunmaktadır.

8.7 Tünel Destekleme Sistemi

8.7.1 Birincil kaplama

Kazı sonrası pasa, helezon şeklindeki kesme kafasından yararlanılarak makine ortasından geçen 1. banda ve oradan da 2. banda aktararak 2,5 m³’lük vagonlara yüklenerek akülü ağırlığı 3,5 ton olan lokomotiflerle kuyu dibine ve oradan da vinçlerle yeryüzüne çıkarılmaktadır.

Kazı bittikten sonra makine bir segment boyu olan 75 cm ilerletilmektedir. Kollu galeri açma makinesinde kazılan zemini geçici olarak tutan 6,9 metre uzunluğunda ve 30 mm kalınlığında zırhla kaplı bir kalkan vardır. Kalkanın hemen arkasında ilk tahkimat betonarme prekast segmentlerle yapılmaktadır. Bu betonarme prekast segmentler titreşimli hazır kalıplar kullanılarak segment atölyesinde dökülmektedir. Segment atölyesi ve titreşimli segment kalıpları Şekil 8.3’ de görülmektedir. Şekil 8.4 ise segment atölyesinde hazırlanan segment taşlarının kuyu dibindeki hazır haldeki görünümüdür. Segmentlerin mukavemeti 40 N/mm² ‘dir. Segment

mukavemetinin istenilen düzeye gelmesi için 28 gün beklenilmekte ve alınan numuneler üzerinde kalite kontrol laboratuvarlarında deneyler yapılmaktadır. Prekast segmentlerin boyu 0,75 m ve kalınlığı ise 160 mm'dir. Küçüksu tüneline kullanılan tipik bir tahkimat şekli, Şekil 8.5' de verilmiştir. Her ring 5 segment (2 tavan segment, 2 yan segment, 1 taban segment) ve 1 kilit taşından oluşmaktadır. Bant altına getirilen segmentler, paralel çalışabilen ve her biri 500 kg kapasiteli monoray üzerinde hareket eden vinçlerle alınıp şild arkasındaki erektöre verilmektedir. Tahkimat parçaları erektörün kancalarına takılarak istenilen yere yerleştirilmektedir. Bu parçalar birbirlerine ve bir önceki ringe 6-20 lik cıvatalarla bağlanmaktadır.



Şekil 8.3 Segment atölyesi ve titreşimli segment kalıpları



Şekil 8.4 Montaja hazır haldeki segmentler



Şekil 8.6 Çimento enjeksiyon pompası

8.7.3 İkincil kaplama

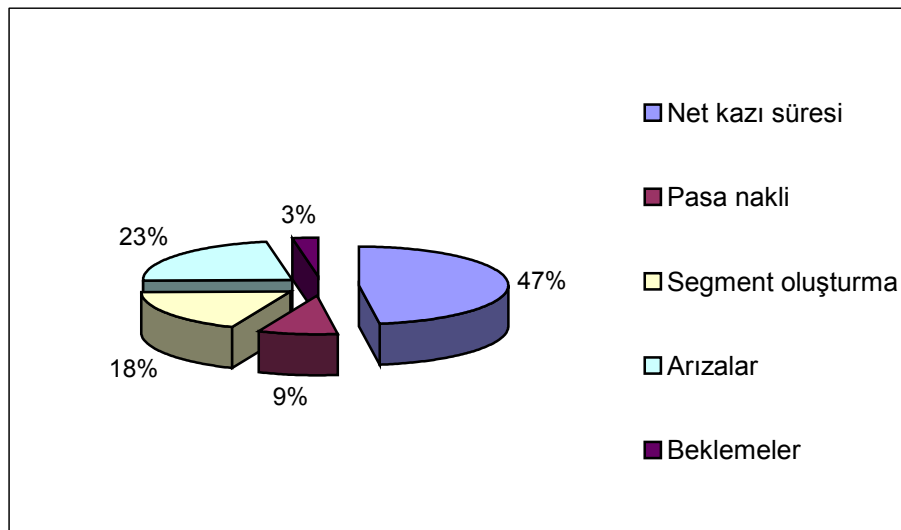
Tünel ikinci kaplamasında, dairesel CIFA veya benzeri teleskopik çelik kepenk kalıp kullanılır. Tünelin içini PVC kaplamak için, PVC levhaları bütün deliği kaplayacak şekilde gerdirilir. Beton üretme santralinden elde edilen beton şafttan döküm yerine vagonlarla taşınır ve kepenk üzerindeki deliklerden beton pompalanır. Betonlama işlemi belli bir noktaya geldiğinde pompanın hortumu kepenkteki delikten çekilir. Beton, birbirine monte edilmiş birkaç vibratörün çalışması ile vibratörlenir. Segment montajı ve ikincil kaplamanın enine kesitinde de görüldüğü gibi (Şekil 8.5) ikincil kaplamanın kalınlığı 125 mm' dir.

9. ARAZİ VE LABORATUAR ÇALIŞMALARI

Küçüksu atık su tünel inşaatında kullanılan Herrenknecht marka SM1 model kollu tünel açma makinesinin performans analizi yerinde yapılan ring etütleri ve her ring kazısından sonra alınan numunelerle laboratuvarda yapılan deneylerin analizleri sonucunda elde edilmiştir. Küçüksu tünel inşaatı sırasında yapılan çalışmalar iki ana grupta toplanabilir. Bunlar arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmalarıdır.

9.1 Arazi Çalışmaları

Kollu galeri açma makinesi ile kazı işlemine 27/08/2002 tarihinde başlanmıştır. Makinenin performans analizinde kullanılmak üzere 15/11/2002 ve 18/06/2003 tarihleri arasında makine kazı işlemini gerçekleştirirken yerinde zaman etütleri yapılmış ve bir ring için geçen süre zarfındaki net kazı hızı, tahkimat, pasa nakliyatı ve arıza süreleri tek tek kaydedilmiştir. Yapılan incelemelerde makineden faydalanma oranının (net kazıda bulunduğu süre) %47 olduğu görülmüştür. Diğer işlerin toplam zaman üzerinden yüzdelik değerleri ise Şekil 9.1' deki grafikte görülmektedir.



Şekil 9.1 Performans analizi

Makine performans analizinden de anlaşılacağı gibi kazıyı doğrudan etkileyen iş, kazı sırasında meydana gelen arızalardır. Arızaları minimuma düşürebilmenin en etkin yolu daha proje aşamasındayken bütün özellikleri iyice araştırılmış olan formasyon için en uygun makinenin seçilmesidir. Küçüksu tüneline karşılaşılan önemli arızalar ise sert formasyonun sebep olduğu arızalardır (Keskilerin aşınması, kesici kafanın arızalanması, bum aksında meydana gelen arızalar) .

Performans analiz grafiği yerinde yapılan zaman etütleri ile hazırlanmıştır. Performans analiz grafiğinin hazırlanması için her ringin kazısında yapılan zaman etütleri Tablo 9.1’ de sunulmuştur.

Tablo 9.1 Performans analizinin belirlenmesi için değişik ringlerde tutulan zaman etütleri

Ring (no)	Toplam (dak)	Net kazı (dak)	Pasa nakli (dak)	Segment (dak)	Arızalar (dak)	Beklemeler (dak)
327	362	91	14	42	170	45
376	146	71	18	45	-	12
377	143	67	16	40	10	10
400	334	70	15	44	187	18
401	147	77	15	50	-	5
413	157	81	14	40	12	10
491	202	110	15	42	35	0
492	215	133	17	40	25	0
588	252	85	20	47	100	0
594	177	90	22	40	25	0
608	254	158	19	41	36	0
613	236	136	21	44	35	0
641	264	179	25	37	23	0
646	227	152	19	43	13	0
667	230	145	27	44	14	0
722	229	139	21	44	25	0
739	235	144	17	41	33	0
768	330	135	29	46	94	26
810	222	117	27	42	21	15
832	171	91	23	42	-	15
852	227	144	24	42	17	0
872	580	97	21	44	418	0
905	166	94	22	43	7	0
960	177	87	23	46	21	0
1085	166	94	24	41	7	0
Toplam	5849	2787	508	1070	1328	156

Arazide yapılan diğer çalışmalar ise kazı esnasında aynayı teşkil eden numunelerin alınarak mekanik deneylerinin yapılması için laboratuara getirilmesi, aynadan su gelisinin tespiti, bir ring kazısı için harcanan keski sarfiyatının belirlenmesi ve her

ringin kazısı için m³/h cinsinden net kazı hızlarının hesaplanmasıdır. Tablo 9.2’de her ring kazısı için yapılan ölçümlerin sonuçları görülmektedir.

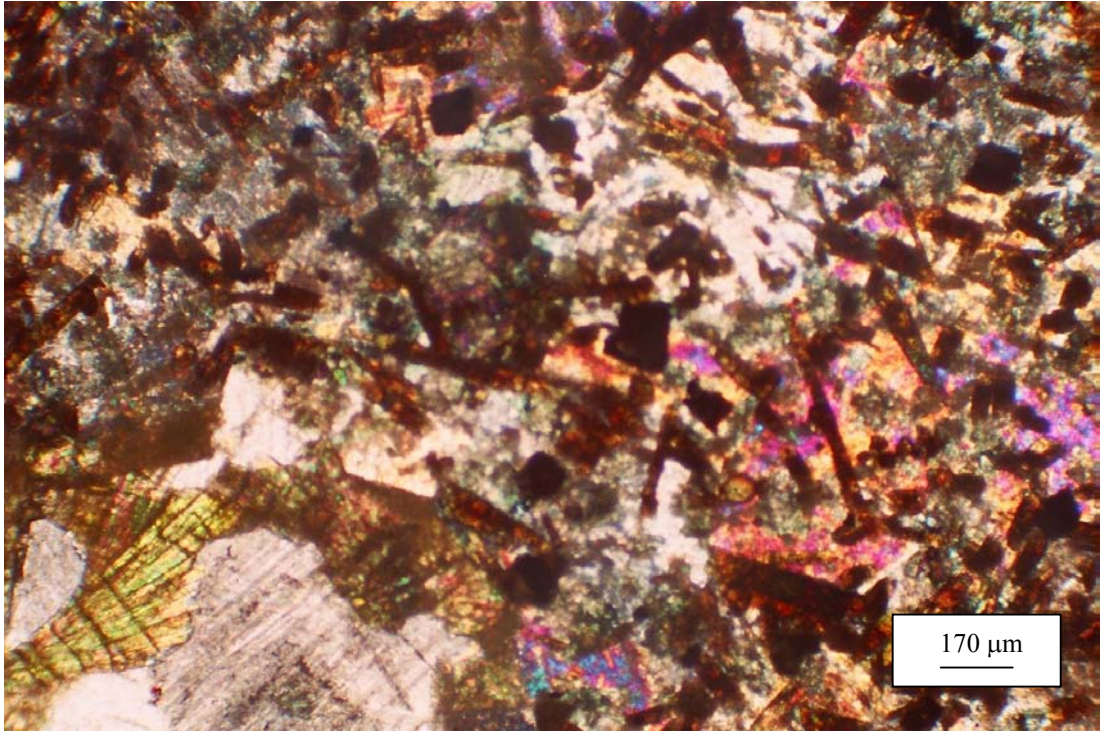
Her ringin kazısından sonra çizilen ayna profilleri ve tünel açılmadan önce gerçekleştirilmiş olan sondajların verileri kullanılarak kollu galeri açma makinesinin geçtiği formasyonlar, tünel en kesit haritası çizilerek üzerine işlenmiştir. Oluşturulan tünel en kesit haritasında, etütlerin yapıldığı ringlere ait formasyon tanımları, su geliri değeri, net kesme hızı ve alınan numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneylerinin sonuçları tek tek işlenmiştir. Tünel en kesit haritası Ek-A’da verilmiştir.

Tablo 9.2 Her ring kazısı için yapılan ölçümlerin sonuçları

Ring No	Tünel metraji (m)	Formasyonun Tanımı	Su geliri (lt/dak)	Net kazı hızı (m ³ /h)	Keski sarfiyatı (adet/m ³)	Basınç dayanımı (kg/cm ²)	RQD (%)
327	251,25	Andezit	2	5,27	0,875	1746	30
376	288,00	Kireç taşı	20	6,76	-	1328	40
377	288,75	Kireçtaşı	20	7,16	-	1328	40
400	306,00	Kumtaşı	20	6,85	-	557	90
401	306,75	Kumtaşı	15	6,23	-	557	90
413	315,75	Kireçtaşı	3	5,92	0,125	600	90
491	374,25	Kireçtaşı	1,5	4,36	0,625	982	90
492	375,00	Silttaşı	1,5	3,60	0,375	924	90
588	447,00	Kireçtaşı	4	5,64	0,25	1264	85
594	451,50	Kireçtaşı	4	5,33	0,25	1265	80
608	462,00	Kireçtaşı	-	3,00	1,0	1227	90
613	465,75	Kireçtaşı	-	3,52	0,5	957	90
641	486,75	Kireçtaşı	-	2,68	0,375	1204	90
667	506,25	Kireçtaşı	sızıntı	3,30	0,25	1278	90
722	547,50	Andezit	sızıntı	3,45	0,25	1638	90
739	560,25	Kireçtaşı	-	3,33	0,5	1452	90
768	582,00	Kireçtaşı	-	3,55	0,375	1205	75
810	613,50	Silttaşı	-	4,10	0,75	826	90
832	630,00	Andezit	sızıntı	5,27	-	741	75
852	645,00	Kireçtaşı	1,2	3,33	0,5	1164	90
872	660,00	Diyabaz	-	4,94	0,25	770	80
905	684,75	Silttaşı	-	5,11	0,25	750	80
960	726,00	Kireçtaşı	-	5,51	0,375	720	80
1085	819,75	Kireçtaşı	-	5,1	0,25	800	60

9.2 Laboratuvar Çalışmaları

Aynadan alınan numunelerden hazırlanan ince kesitler mikroskop altında analiz edilerek ring kazılarında karşılaşılan kayaçların petrografik analizleri yapılmış ve kaya kütlesini oluşturan yapılanmalar en ince ayrıntısına kadar ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Petrografik analizlerin yapılmasının asıl amacı kaya kütlesi içerisindeki yapılanmayı görmektir. Belirli ringlerden alınan numuneler üzerinde yapılan petrografik analizler Tablo 9.3’de verilmiştir. Tabloda belirtilen ringler için hazırlanan ince kesitlerin fotoğrafları çekilerek görsel hale getirilmiştir. Şekil 9.2’de 327 numaralı ringde karşılaşılan formasyonun ince kesitinden elde edilen fotoğraf görülmektedir. Diğer ringler için hazırlanan fotoğraflar Ek-B’ de verilmiştir.



Şekil 9.2. 327 nolu ringden alınan numunenin optik mikroskop altındaki görüntüsü

Tablo 9.3 İnce kesit analizi ile kayaçların petrografik özelliklerinin tayini

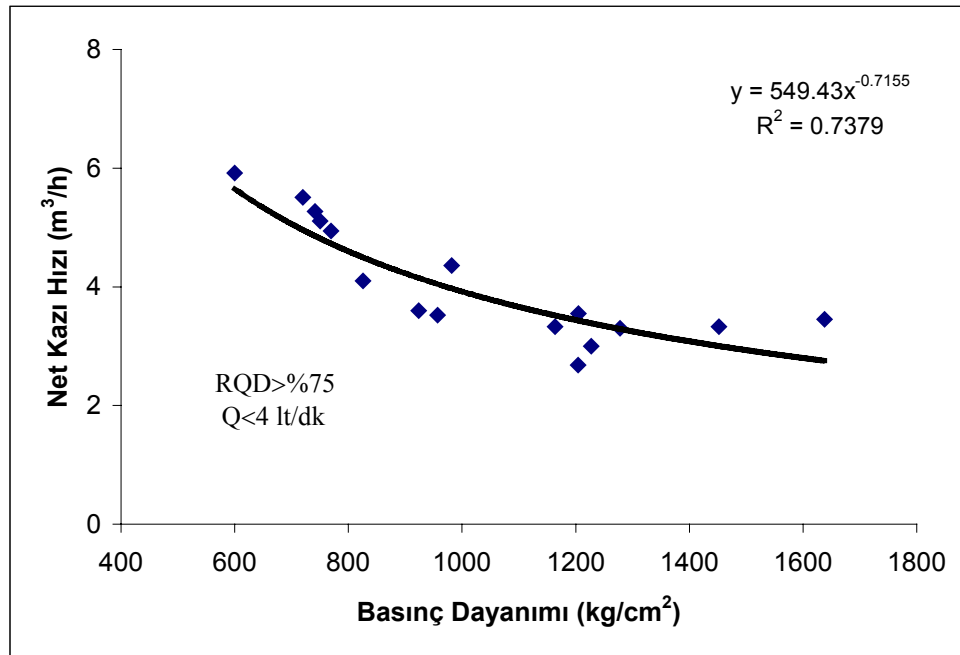
Ring No	Kayaçların Petrografik Tanımı
327	Porfiritik Andezit (plajiyoglas ve hornblend hamurlu, ince orta daneli plajiyoglasça zengin hamurlu ve bol fenokristalli)
376	%95 kalsitli Kireçtaşı
377	%95 kalsitli Kireçtaşı
400	%80 karbonatlı Kumtaşı
401	%80 karbonatlı Kumtaşı
492	Bol kuvarslı,kalsit ve karbonatlı foliasyon yapıları Silttaşı
588	Kavkılı orta daneli kireçtaşı
608	Kireçtaşı(iri kalsit kristalli %90 kalsitli)
613	Kireçtaşı (bol amfibollü, iri plajiyoklaslı, homojen dokulu)
641	Kireçtaşı (fosilli, orta daneli)
667	Kireçtaşı (fosilli, mercanlı)
722	Altere olmuş andezit (albit, kalsit ve epidotlardan oluşuyor)
739	Kireçtaşı (fosilli, orta daneli homojen dokulu)
810	İri daneli karbonatlı Silttaşı (ikincil karbonatlaşma)
832	Kretase yaşlı Andezit (ferrokristalli hornblend ve altere plajiyoglas, ince daneli amfibol, plajiyoglas ve kloritli hamur)
852	Dekristalize Kireçtaşı (orta daneli 1 mm boyutunda %90 kalsitli)
872	Karbonatlaşmış iri daneli Diyabaz (yaygın karbonatlaşma %50 kalsitli, klorit ve feldispat var, amfibol yok)
905	Karbonatlı Silttaşı (tabakalaşmaya verev gelişmiş hafif klivajlı ince daneli 0,1 mm den az, kuvarslı, %35 kalsitli, %7-8 muskovitli, karbonca zengin opaklı)

Küçüksu tüneline kolları galeri açma makinesi ile gerçekleştirilen kazı işleminde her ringin kazısından sonra yerinden numuneler alınarak basınç dayanımlarını tespit edebilmek için laboratuara getirilmiştir. Alınan numunelerin basınç dayanımları nokta yük deney aleti ile bulunmuştur ve ilerleme hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Formasyonun basınç dayanımı ve net kazı hızı arasındaki ilişkiyi belirlemek için su geliri 4 lt/dk dan küçük ve RQD değeri % 75'ten büyük olan ring verileri kullanılmıştır. Şekil 9.3'de basınç dayanımı ile net kazı hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Bu grafiği oluşturmak için kullanılan veriler Tablo 9.4'de verilmiştir.

Tablo 9.4 Performans tahmin modelinde kullanılan veriler

Ring No	Basınç Day. (kg/cm ²)	Su Geliri (Q) (lt/dk.)	Net Kazı Hızı (Ölçülen) (m ³ /h)	RQD (%)
413	600	3	5,92	90
491	982	1,5	4,36	90
492	924	1,5	3,60	90
608	1227	-	3,00	90
613	957	-	3,52	90
641	1204	-	2,68	90
667	1278	sızıntı	3,3	90
722	1638	sızıntı	3,45	90
739	1452	-	3,33	90
768	1205	-	3,55	75
810	825,5	-	4,10	90
832	741	sızıntı	5,27	75
852	1163,7	1,2	3,33	90
872	769,6	-	4,94	80
905	750	-	5,11	80
960	720	-	5,51	80



Şekil 9.3 Basınç dayanımı ile net kazı hızı arasındaki ilişki

Net kazı hızı ile basınç dayanımı arasında üstel bir ilişki vardır. Bu ilişkinin korelasyon katsayısı 0.73 bulunmuştur. Bu ilişki kullanılarak 90kW gücünde kısmi cepheli tünel açma makinesinin, 600 – 1638 kg/cm² basınç dayanımı aralığında performansını tahmin etmek mümkündür.

Tablo 9.2 incelendiğinde su geliri 4 lt/dk dan büyük olan ringlerde, farklı basınç dayanımı ve RQD değerlerinde net ilerleme hızlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aynadaki su geliri doğrudan kayacın makro ve mikro çatlaklarına yerleşerek, kayacın kazılabilirliğini hızlandırdığı yorumu yapılabilir. Yüksek su gelirinin kazılabilirliğe etkisi kaynaklardan araştırılmış ve Küçüksu tünelineki sonuçlarla örtüştüğü belirlenmiştir [18]. Su geliri 4lt/dk dan büyük olan ringler için gerçekleşen net ilerlemeler Tablo 9.5’de verilmiştir.

Tablo 9.5 Su geliri ≥ 4 lt/dk olan ringlerdeki net ilerlemeler

Ring No	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Su Geliri (Q) (lt/dk)	Net Kazı Hızı (Ölçülen) (m ³ /h)	RQD (%)
376	1328	20	6.76	40
377	1328	20	7.16	40
400	557	20	6.85	90
401	557	15	6.23	90
588	1264	4	5.64	85
594	1265	4	5.33	80

9.3 Ölçülen Net İlerleme Hızlarının Performans Tahmin Yöntemleriyle Karşılaştırılması

Beşiktaş, Baltalimanı, Eyüp ve Haliç tünellerinde toplanan istatistiksel verilere (tünel jeolojisi, kayaç kütle ve sağlam kayaç özellikleri, makine performansı) dayanılarak Bilgin ve arkadaşları tarafından geliştirilen tahmin modelinde kollu galeri açma makinelerinin net ilerleme hızlarının makinenin gücü, kayacın basınç dayanımı ve RQD’ye bağlı olarak değiştiği anlaşılmış ve (9.1) eşitliği ile gösterilen kayaç kazılabilirlik indeksi önerilmiştir. Yaygın bir şekilde kullanılan bu yöntem ile arına dik ve arına paralel tipli kollu galeri açma makinelerinin anlık üretim hızlarının tahmin edilebileceği ortaya koyulmuştur [13,14].

$$RMCI = \sigma_c \left(\frac{RQD}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (9.1)$$

Bu indeks kullanılarak bir kollu makine için net kazı hızı (m³/h) eşitlik (9.2)’deki gibi hesaplanır. Burada P, beygir gücü olarak makine gücüdür.

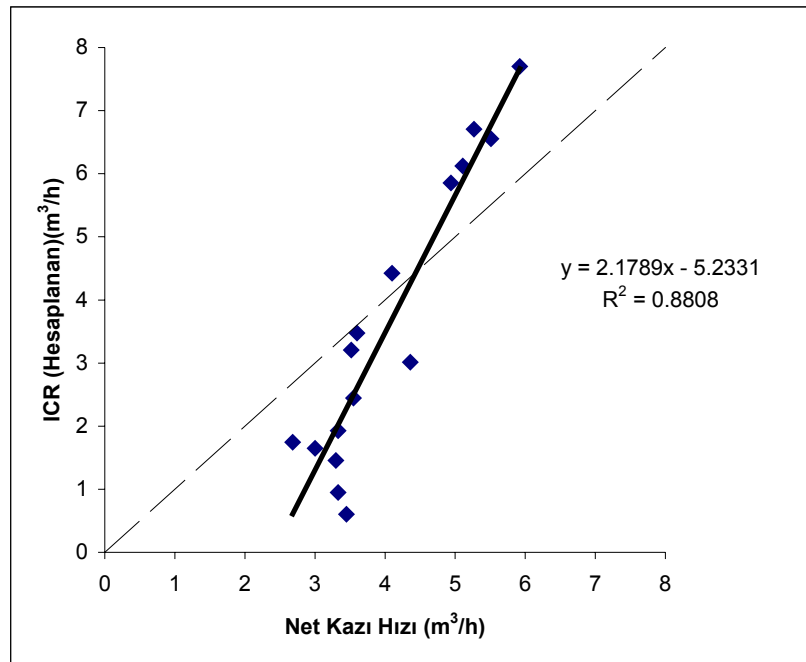
$$ICR = 0.28 P (0.974)^{RMCI} \quad (9.2)$$

Bilgin ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu modelde kazı işlemini gerçekleştirecek kollu galeri açma makinesinin net kazı hızının önceden tahmini mümkündür fakat

yerinde yapılan net kazı hızı ölçümleri ile modele dayanarak hesaplanan net kazı hızı arasında farklılıkların ortaya çıktığı bilinmektedir. Her ringin kazısı için hesaplanan ve ölçülen net kazı hızlarının değerleri Tablo 9.6’da görülmektedir. Makinenin yerinde ölçülen net kazı hızları ile Bilgin yönteminden yararlanarak bulunan net kazı hızları arasındaki ilişki Şekil 9.4’de gösterilmiştir.

Tablo 9.6 Hesaplanan ve ölçülen net kazı hızları

Ring No	RQD (%)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	RMCI (MPa)	Net Kazı Hızı (Ölçülen) (m ³ /h)	ICR (Hesaplanan) (m ³ /h)
413	90	600	55,93	5,92	7,70
491	90	982	91,54	4,36	3,01
492	90	924	86,13	3,60	3,47
608	90	1227	114,38	3,00	1,65
613	90	957	89,21	3,52	3,20
641	90	1204	112,23	2,68	1,75
667	90	1278	119,13	3,3	1,46
722	90	1638	152,69	3,45	0,60
739	90	1452	135,35	3,33	0,95
768	75	1205	103,84	3,55	2,18
810	90	825,5	76,95	4,10	4,43
832	75	741	52,71	5,27	8,38
852	90	1163,7	108,48	3,33	1,93
872	80	769,6	66,32	4,94	5,86
905	80	750	64,63	5,11	6,12
960	80	720	56,76	5,51	7,53



Şekil 9.4 Ölçülen ile hesaplanan net kazı hızları arasındaki ilişki

Hesaplanan ve ölçülen net kazı hızları arasında 0,88 korelasyon katsayısına sahip bir ilişki bulunmuştur. Kayaçların basınç dayanımları göze alınarak yapılacak incelemede, basınç dayanımları 750 kg/cm^2 ile 1000 kg/cm^2 arasında değişen formasyonlarda ölçülen ile hesaplanan net kazı hızlarının birbirine yakın olduğu anlaşılmıştır. Basınç dayanımının 1000 kg/cm^2 den büyük olduğu değerlerde, ölçülen ile hesaplanan net kazı hızlarında önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, artan basınç dayanım değerlerinde net ilerleme hızını etkileyen başka parametrelerinde ön plana çıktığıdır. Örneğin bu parametreler; RQD değerleri, formasyonun tabakalanma yönü, kayaç içindeki mikro çatlaklar ve kollu makinenin süreksizliği kesme yönü olabilir. Belirtilen bu parametreler göz önüne alınarak araştırmalar yapılmalıdır. Bu şekilde geliştirilecek olan performans tahmin modelleri ile kollu makinelerin performansı daha doğru bir şekilde tahmin edilebilir.

9.4 Kollu Makinenin Ortalama İlerleme Performansı

Günlük vardiya raporlarında, her vardiyada inşası tamamlanan ring sayısı rapor edilmektedir. Kollu makinenin günlük ilerlemesi, vardiyada inşa edilen ring sayısından hesaplanır. Makinenin vardiyada ne kadar ilerleme yaptığı bir ring uzunluğu olan 0,75 cm'nin inşası tamamlanan ring sayısı ile çarpımı sonucunda bulunmaktadır. Makinenin performans etüdünün yapıldığı 15/11/2002 - 18/06/2003 tarihleri arasındaki zaman diliminde metre cinsinden vardiya başına düşen ortalama ilerleme, ortalama günlük ilerleme, ortalama haftalık ilerleme ve ortalama aylık ilerlemeler hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 9.7' de topluca verilmiştir. Ayrıca tünel metrajına göre günlük ilerleme grafiği Şekil 9.5'de gösterilmektedir. Küçüksu tüneline vardiya raporlarından hesaplanan toplam aylık ilerlemeler ve aylık ortalama ilerlemelerde Tablo 9.8'da verilmiştir Bu tablodan elde edilen veriler ile hazırlanan aylık ilerleme grafiği ise Şekil 9.6'da görülmektedir.

Tablo 9.7 Kollu makinenin en iyi, en kötü ve ortalama ilerlemeleri

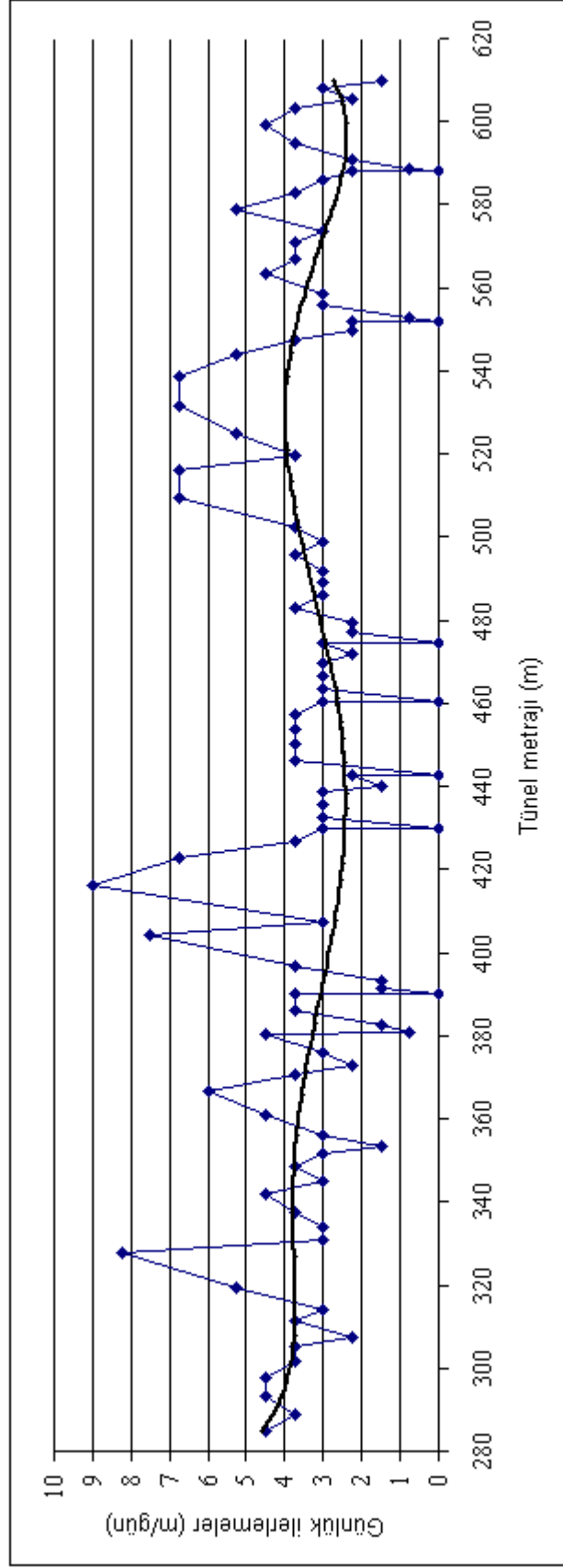
En iyi vardiyalık ilerleme (m/var.)	4,50
Ortalama vardiyalık ilerleme (m/var.)	2,09
En kötü vardiyalık ilerleme (m/var.)	0,75
En iyi günlük ilerleme (m/gün)	9,00
Ortalama günlük ilerleme (m/gün)	3,29

Tablo 9.7 Kollu makinenin en iyi, en kötü ve ortalama ilerlemeleri (Devamı)

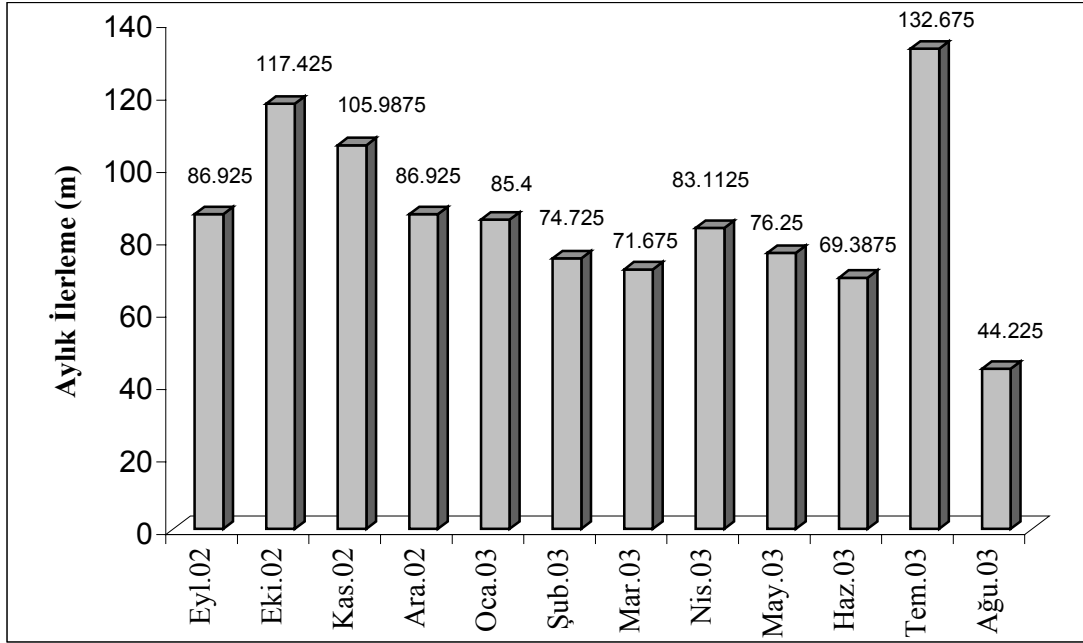
En kötü günlük ilerleme (m/gün)	0,75
En iyi haftalık ilerleme (m/haf.)	36,78
Ortalama haftalık ilerleme (m/haf.)	23,30
En kötü haftalık ilerleme (m/haf.)	14,25
En iyi aylık ilerleme (m/ay)	105,98
Ortalama aylık ilerleme (m/ay)	81,67
En kötü aylık ilerleme (m/ay)	69,38

Tablo 9.8 Aylık toplam ve ortalama ilerlemeler

Aylar	Aylık toplam ilerleme (metre)	İş günü	İlerleme/iş günü
Eylül 02	86,92	26	3,34
Ekim 02	117,42	27	4,35
Kasım 02	105,98	26	4,08
Aralık 02	86,92	25	3,48
Ocak 03	85,40	27	3,16
Şubat 03	74,72	19	3,93
Mart 03	71,67	26	2,76
Nisan 03	83,11	26	3,20
Mayıs 03	76,25	26	2,93
Haziran 03	69,38	25	2,78
Temmuz 03	132,67	27	4,91
Ağustos 03	44,22	7	6,32



Şekil 9.5 Tünel metrajına göre günlük ilerlemeler



Şekil 9.6 Aylık ilerleme grafiği

9.5 Roadheader Çalışmasında Oluşan Arızaların Analizi

Küçüksu kanalizasyon tüneli inşaatında kullanılan kollu tünel açma makinesinde karşılaşılan arızalar yerinde yapılan performans ölçümleri sırasında incelenmiştir. Bu bölümde makinenin yeraltında karşılaştığı arızalar kendi içinde sınıflandırılarak açıklanacaktır.

Tünelcilik faaliyetlerinin pahalı ve yapılan hataların telafisinin zor olması nedeni ile alınan projelerde kullanılacak olan makinenin seçiminin dikkatli yapılması şarttır. Tünelcilik faaliyetlerinde karşılaşılan duraklama ve arızaların başlıca sebebi kullanılan kazı sisteminin değişen kazı ortamının gereklerine uymamasıdır. Duraklama ve arıza sebeplerinin çok iyi irdelenmesi makinenin performansını artıracak ve arızaların sebep olacağı mali harcamaları minimuma indirecektir. Proje aşamasında yapılan doğru ve güvenilir ön çalışmalar sayesinde makine optimum sınırlarda kullanılır ve arızalar minimuma indirilerek makine performansı maksimuma çıkartılabilir.

Projesi yürütülecek olan tünelde ilk önce hangi kazı yönteminin seçileceği belirlenmelidir. Daha sonraki adım ise jeolojisi iyi araştırılmış tünel güzergahı için performans tahmin yöntemlerinin gerçekleştirilmesi ve maliyet analizleri yaparak en uygun kazı makinesinin seçimidir. Kısaca bahsedilen bu araştırmalar yerine

getirilirse yüksek makine performansı ile çalışma sağlanacak ve karşılaşılabilecek arızalar en aza indirilecektir.

Kazı esnasında kollu tünel açma makinesinin duraklamasına sebep olan arızaları kendi içindede çeşitli guruplara ayrılan iki ana grup altında toplayabiliriz. Bu iki ana grup makine kaynaklı arızalar ve makine kaynaklı olmayan arızalardır. Tablo 9.9’da kollu galeri açma makinesinden kaynaklanan arızalar ve Tablo 9.10’da ise kollu galeri açma makinesinden kaynaklanmayan arızalar görülmektedir.

Tablo 9.9 Kollu galeri açma makinesinden kaynaklanan arızalar

Arıza Yeri	Arıza Cinsi
Kesici kafa + Kalkan	Erektör arızası
	Elektrik sistemi arızası
	Hidrolik sistem arızaları
	Kesici kafa su tesisatı arızaları
Keskiler ve keski yatakları	Keski aşınması ve keski değişimi
Back-up sistemi	Segment vinç arızası
	Konveyör band arızası
	Ölçme sistemi arızası

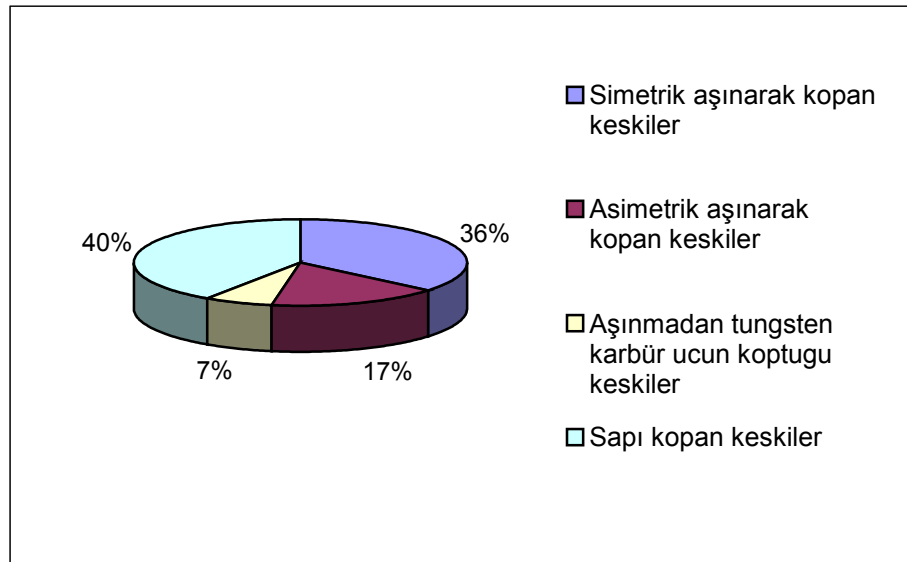
Tablo 9.10 Kollu galeri açma makinesinden kaynaklanmayan arızalar

Kollu makineden kaynaklanmayan Duraklamalar	Aynadan su geliri
	Elektrik kesintisi
	Su kesintisi
	Lokomotif arıza
	Vagon devrilmesi
	Kalkan sıkışması

Küçüksu tüneline gerçekleşen duraklamalar içinde en önemli payı kesici uç aşınması ve kesici kafa arızalarının giderilmesi için geçen zamanlar teşkil etmektedir. Kesici uç değişimlerinin nedeni, kesici uçların aşırı aşınması yada kırılmasıdır. Kesici uçların aşınmasının yada kırılmasının başlıca iki sebebi vardır. Birincil sebep kazı işleminin yürütüldüğü kaya formasyonun özellikleridir. İkincil sebep ise makinenin kullanım parametreleri ile ilgilidir. Makine kazı yaparken operatör itme silindirlerine optimum sınırlar arasında bir itme kuvveti vermelidir. Bu sınırlardan daha az verilen itme gücü kayacı kesmeyecek, daha fazla uygulanan itme gücü ise kayacık ile kesici uçlar arasındaki aşırı etkileşimden dolayı kesici uçların çabuk aşınmasına neden olacaktır. Bu gibi durumlarla karşılaşılmasını için operatörün kayacık özelliklerini de göz önünde bulundurarak itme kuvvetinin şiddetine karar

vermesi gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen kesici uçlarda aşınmaya etki eden ikincil sebepler, deneyimli operatör seçimi ve operatörün çalışmasının düzenli takibi ile minimuma indirilebilir. Devamlı değişen yer altı şartları ve formasyon göz önünde tutulduğunda aşınmaya etki eden birincil sebeplerin azaltılması ilk etapta zor gibi görülmektedir fakat bu aşınmaları azaltabilmek için alınabilecek en önemli önlem tünelin geçeceği güzergahın detaylı araştırmalarının tünel açılmadan önce doğru şekilde yapılmasıdır.

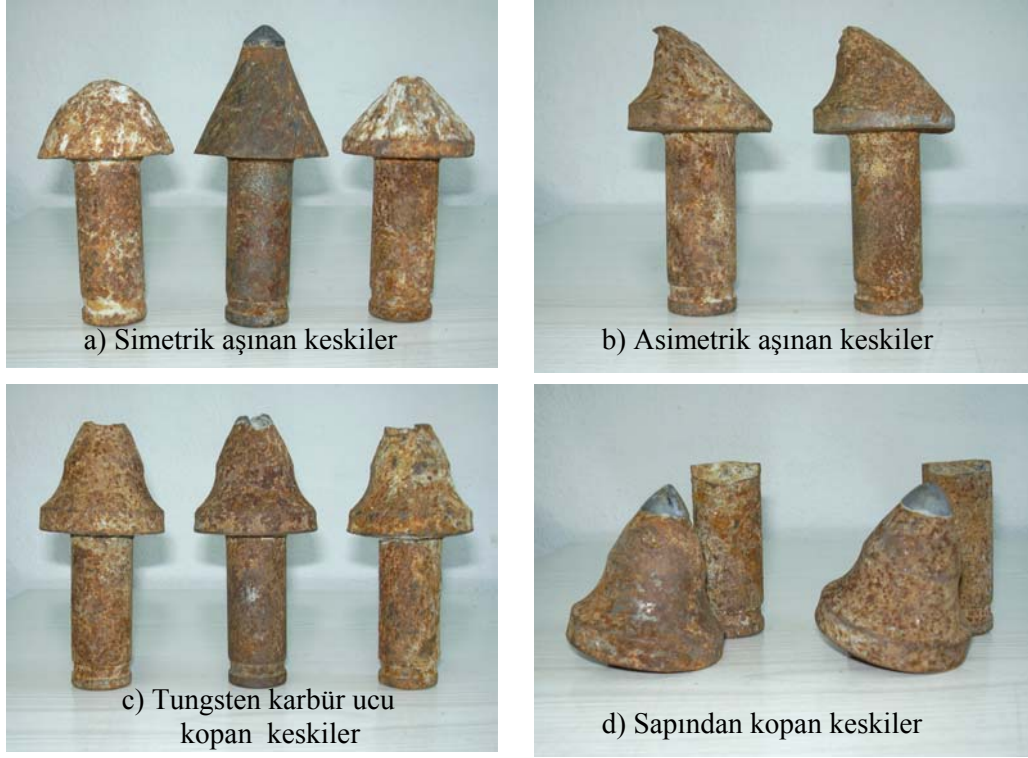
Küçüksu tünel inşaatının son üç ayında 1698,98 m³ kazı yapılmış ve gerçekleşen bu kazıda 349 adet keski aşınmıştır. Bu keskiler üzerinde yapılan incelemelerde, keskilerde dört tip aşınmanın meydana geldiği anlaşılmıştır. Bu dört tip aşınma şeklinin yüzdelik dağılımı Şekil 9.7’de görülmektedir. Şekil 9.8’de ise aşınma tiplerine göre gruplandırılan keskilerin fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 9.7 Aşınma tiplerine göre gruplandırılan keskilerin yüzdelik dağılımı

Küçüksu tüneline dört farklı aşınma tipinin olduğu belirlenmiştir. Kayaç içerisindeki aşındırıcı mineral miktarının fazla olması ve formasyonun sert olması nedeni ile kesici uçlarda simetrik aşınmalar görülmüştür. Kesici uçların asimetrik aşınarak kopmasının en belirgin sebebi ise keskilerin yuvalarında bloke olması ve tam olarak dönememesidir. Bazı durumlarda ise keskilerde aşınma görünmeden tungsten karbür uçlarda kopmalar görülmüştür, bunun en belirgin sebebi kazı esnasında kesici uçların makine kalkanına çarpmasıdır. Formasyonun sert olması nedeni ile kazı sırasında keskilere gelen aşırı kuvvetlerin keski dayanımını yenmesi

sonucunda keskilerin saplarından koptuğu görülmüştür. Küçüksu tüneline ay bazında ki kesici uç sarfiyatı Tablo 9.11’ de verilmiştir.



Şekil 9.8 Aşınma tiplerine göre gruplandırılan kesici uçlar

Tablo 9.11 Küçüksu tünelineki kesici uç sarfiyatı

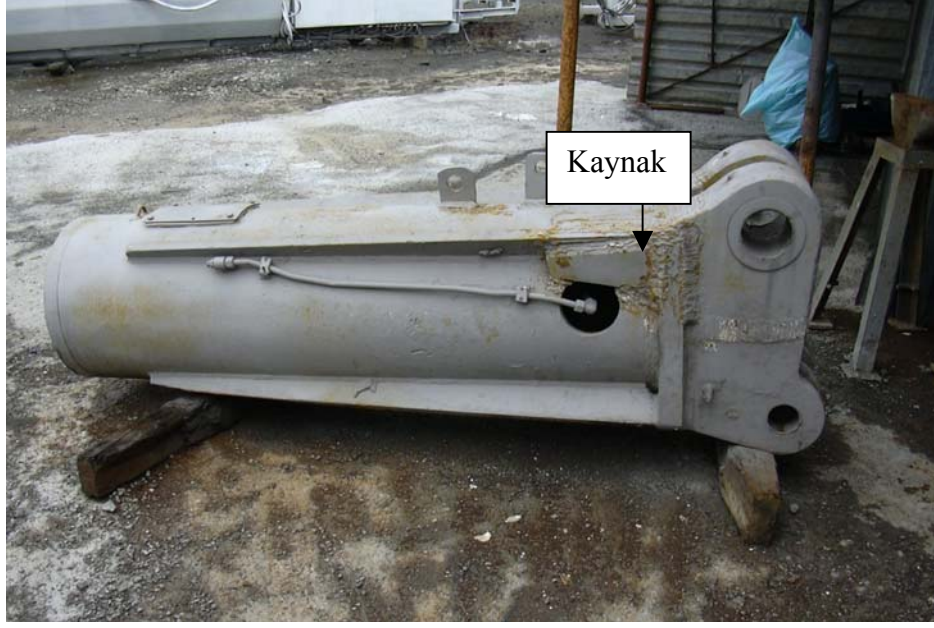
Aylar	Formasyon	İlerleme	Kesici uç sarfiyatı	
		(m ³)	(adet)	(adet/m ³)
Eylül 02	Kumtaşı-Kireçtaşı	599.64	86	0.143
Ekim 02	Kireçtaşı	810.04	214	0.264
Kasım 02	Kireçtaşı-Diyabaz	731.14	223	0.305
Aralık 02	Kireçtaşı-Silttaşı	599.64	46	0.077
Ocak 03	Kireçtaşı-Diyabaz	589.12	266	0.452
Şubat 03	Kireçtaşı-Diyabaz-Silttaşı	515.48	217	0.421
Mart 03	Kireçtaşı-Diyabaz	494.44	331	0.669
Nisan 03	Kireçtaşı-Diyabaz	573.34	372	0.649
Mayıs 03	Kireçtaşı	526.00	205	0.390
Haziran 03	Kireçtaşı	478.66	160	0.334
Temmuz 03	Kireçtaşı	915.24	165	0.180
Ağustos 03	Kireçtaşı	305.08	24	0.079
Toplam		7137.82	2309	0.330

Sert kaya formasyonlarının kazısında kesici uç aşınmasının dışında karşılaşılan diğer bir arıza şekli ise kollu makinenin kesici kafasında oluşan çatlaklar ve keski yuvalarında meydana gelen kırılmalardır. Bu tür arızaların giderilmesi için geçen

zaman keski değiştirmek için geçen zamandan daha fazladır ve oluşan hasarın maliyeti de daha yüksektir. Sert kaya formasyonun sebep olduğu diğer bir arıza şekli ise kollu galeri açma makinesinde kesici kafayı hareket ettiren bumdaki rulmanların dağılmasıdır. Bu arızanın tamiri diğer arızaların tamirinden daha uzun sürmekte ve maliyeti ise çok daha fazladır. şekil 9.9’da sert formasyondan etkilenen bumun zarar grdğu ve kaynaklamak suretiyle tamir edildiği görülmektedir. şekil 9.10’da ise tamamen kopan bum şaftı görülmektedir. Yönlendirme pistonları hidrolik basınç yardımıyla makineye yön değiştirme kabiliyeti verirler. Yönlendirme pistonlarında karşılaşılan arızalar, makine kesici kafasına gereğinden fazla itme gücü uygulandığında ortaya çıkar. Uygulanan itme gücünün etkisiyle hidrolik basınç sağlayan hidrolik yağlar hidrolik hortumların patlamasına neden olmuştur. Küçüksu tünelinde karşılaşılan ve makineden faydalanma oranını düşüren mekanik ve elektrik arızalar Tablo 9.12’ de verilmiştir.

Tablo 9.12 Küçüksu tünelinde karşılaşılan mekanik ve elektrik arızalar

Aylar	Mekanik + Elektrik Arızaları
Eylül 02	II. Bant tamburu değişimleri, kırıcı kafa cıvata değişimleri, filtre değişimleri, hidrolik hortum değişimleri, A4 pompa değişimi
Ekim 02	Bum pistonu değişimi, hidrolik hortum değişimleri, 1.bant arızalarının bakımı, kızak pistonu kulak kaynakları
Kasım 02	Kırıcı kafa değişimleri, hidrolik hortum değişimleri, Oring değişimleri
Aralık 02	2.bant motoru değişimi, shield sacları değişimi, 1.bant tamburu değişimi, erektör pompa arızasının giderilmesi.
Ocak 03	1. bant tamburu ve 2. bant tamburu değişimi, şansızman değişimi, hidrolik hortum değişimleri ve makine trafosunun arızalanması nedeniyle tünel dışına çıkarılması.
şubat 03	Yeni trafonun tünel içine alınarak bağlanması, erektör hortum değişimleri, erektör motoru değişim, soğutucu fan rulmanlarının değişimi.
Mart 03	2. bant tambur motoru değişimi, itme pistonu değişimi, bum şaftı rulman değişimi
Nisan 03	Bum joystick değişimi, şanzızman keçesi değişimi, erektör hortumu değişimi, A4 pompa yayı değişimi, monoray caraskalı arızasının giderilmesi
Mayıs 03	Kumanda valfi arızası, elektrik kontaktör değişimi, kızak pistonu değişimi, kızak göbek rulmanı dağılması nedeniyle göbeğin sklp tünel dışına alınması.
Haziran 03	Kızak göbek rulmanı tünel içine alınarak montesi gerçekleştirilmiştir, göbek cıvataları değişimi, caraskal değişimi, bum kulak kaynakları, bum şaftı değişimi
Temmuz 03	Bum şaft rulmanı değişimi, erektör hortumları değişimi, erektör motoru değişimi
Ağustos 03	-



Şekil 9.9 Zarar gördüğü için kaynaklamak suretiyle tamir edilen bumun görüntüsü

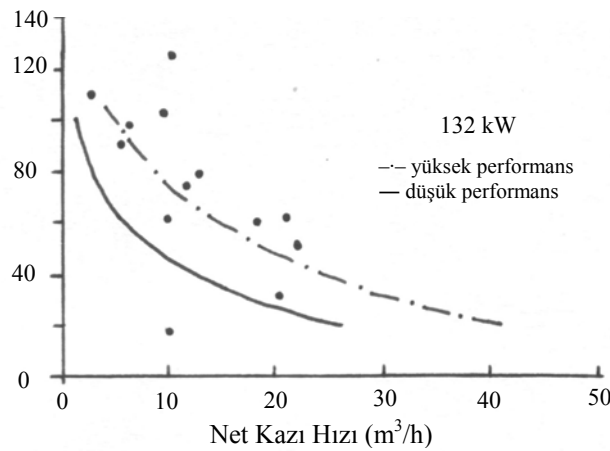


Şekil 9.10 Tamamen kopan bum şaftı

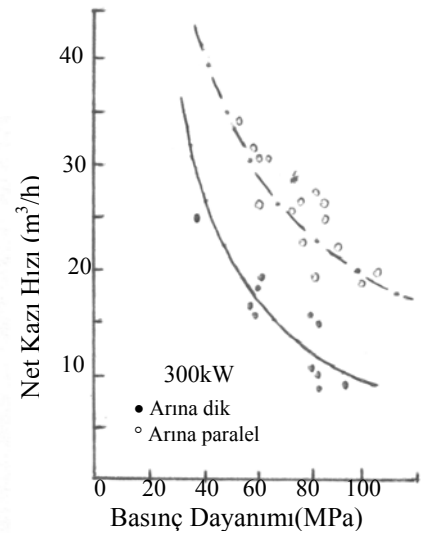
10. DAHA ÖNCEKİ KAYNAKLARDAN OLUŞTURULAN BİR VERİ TABANININ, KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİNİN NET KAZI HIZLARININ TAHMİNİ İÇİN KULLANILMASI

Bu bölümde bazı araştırmacıların daha önceki yayınlarından elde edilen verilen toplu halde incelenmiştir. Farklı motor gücüne sahip kollu galeri açma makineleri ile yapılan kazı çalışmalarında, değişik basınç dayanımlarındaki net ilerlemeler araştırmacıların yayınlarından alınmış ve detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Araştırmacıların basınç dayanımı ile net kazı hızı arasındaki ilişki grafikleri Şekil 10.1’de görülmektedir. Elde edilen değerler bir veri tabanında toplanmıştır. Oluşturulan veri tabanı Ek-C’ de verilmiştir [19-27]. Veri tabanı altında toplanan net kazı hızı (m³/h), makine gücü (kW) ve kayacın basınç dayanımı (kg/cm²) çoklu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bu istatistiksel çalışma sonucunda net ilerleme hızı, basınç dayanımı ve makine gücüne bağlı olarak modellenmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda elde edilen net kazı hızı denklemi eşitlik (10.1)’ de verilmiştir.

$$NCR = 76,072 \times \left(\frac{P}{\sigma_c} \right)^{0,945} \quad (10.1)$$

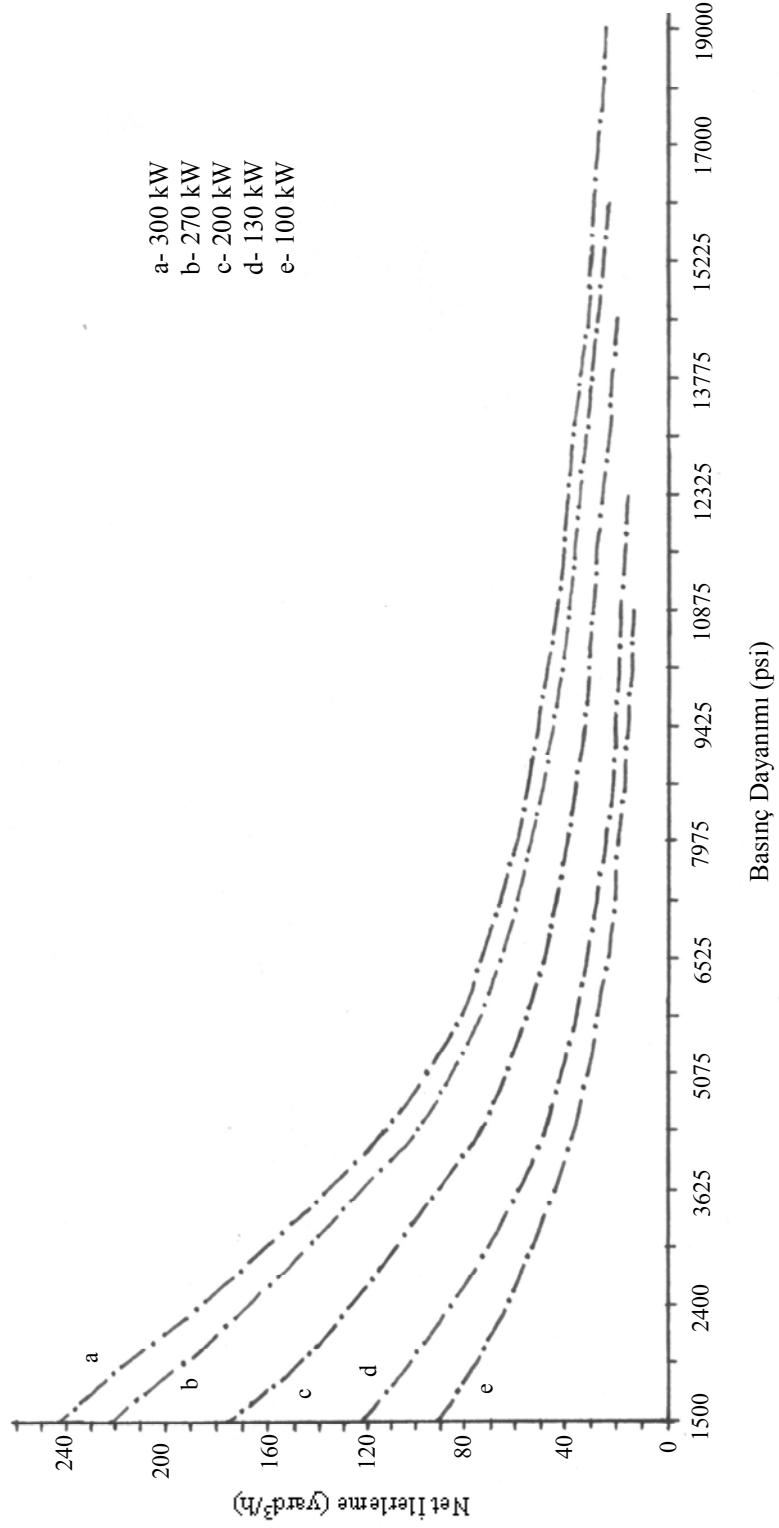


a) K. Thuro (1998) [21]



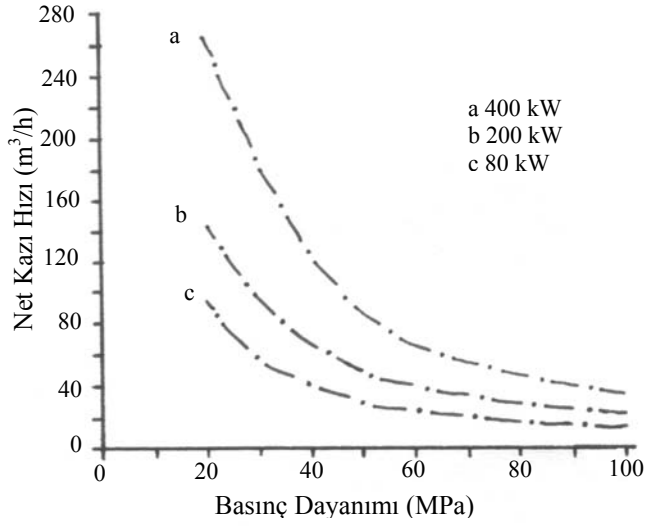
b) K.H.Gehring (1989) [22]

Şekil 10.1 Çeşitli yayınlardan alınan net kazı hızı ile basınç dayanımı arasındaki bağıntılar

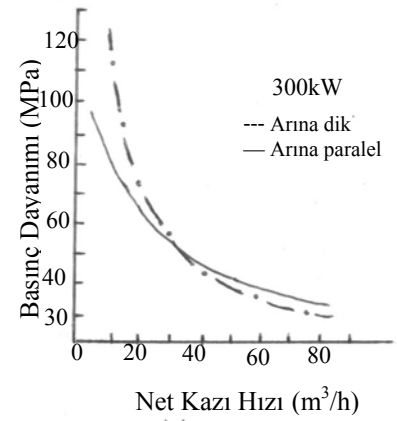


c) Robert Bauer, Sandvik (2002) [23]

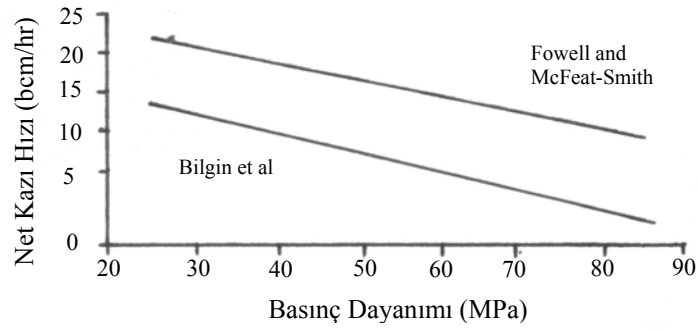
Şekil 10.1 (Devamı)



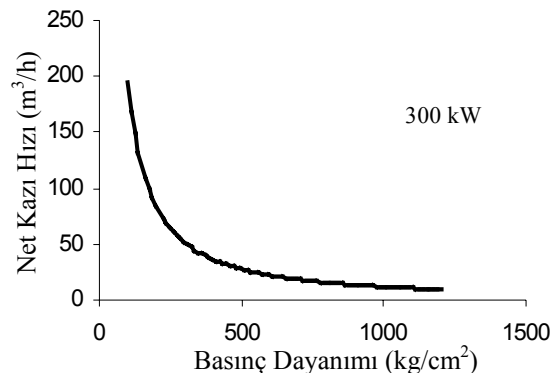
d) Nelson & Laubach (1994) [24]



e) Helmut Schneider (1988) [25]



f) P.G. Dunn (1996) [26]

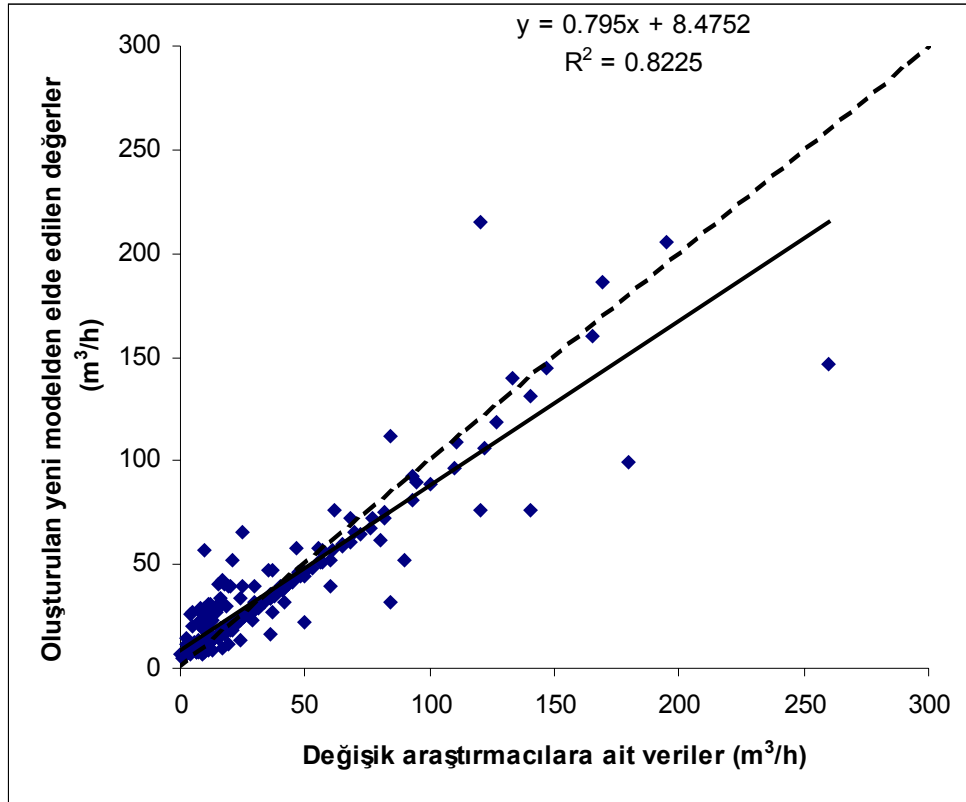


g) Westfalia Becorit (Lüttich E5/E9 tünel verileri), (1993) [27]

Şekil 10.1 (Devamı)

Şekil 10.1’de verilen grafiklerden veri alma işlemi iki türlü gerçekleştirilmiştir. Bazı grafiklerde gerçek performans değerleri verildiği için bu noktalar doğrudan veri tabanına eklenmiştir. Bazı grafiklerde ise gerçek performans değerleri gösterilmemiş bunun yerine eğilim çizgileri verilmiştir. Bu tür grafiklerde, veriler eğilim çizgileri üzerinden alınmış ve veri tabanına aktarılmıştır.

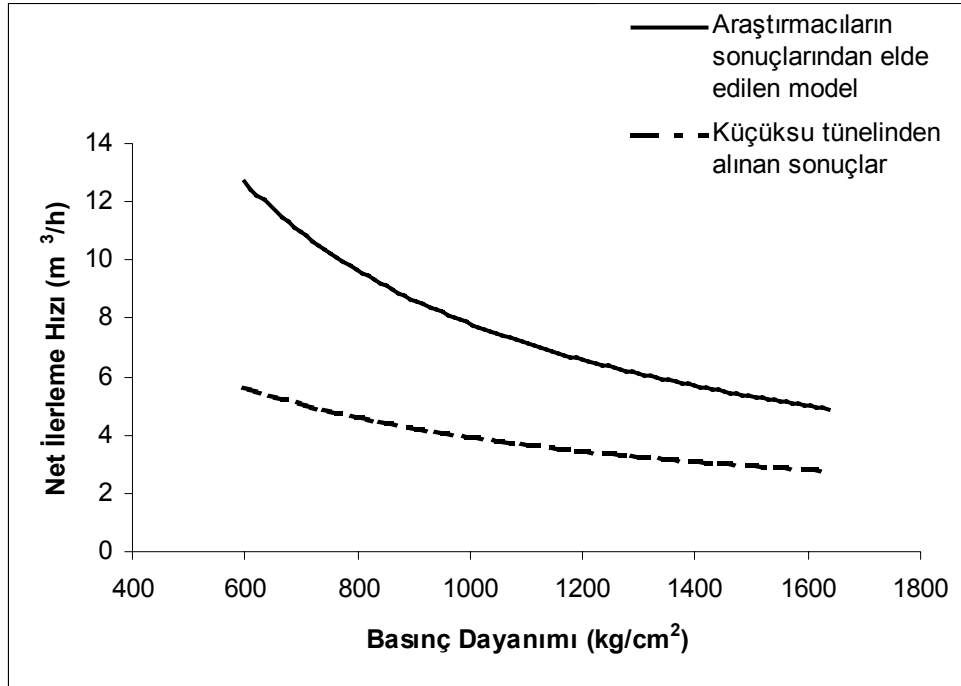
Şekil 10.1’ de verilen grafiklerdeki net kazı hızı ile istatistiksel analiz sonucunda elde edilen net kazı hızı modeli arasındaki ilişki Şekil 10.2’de verilmiştir. Bu çalışmanın amacı ise kollu galeri açma makinelerinin, bilinen kazı performansı ile oluşturulan performans modelinden elde edilen kazı performansı arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmektir.



Şekil 10.2 Değişik araştırmacılara ait verilerle, oluşturulan yeni modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Küçüksu tüneline yapılan çalışmalarda, 90 kW kesici kafa gücüne sahip bir kollu galeri açma makinesinin performansı analiz edilmiştir. Küçüksu tünellerindeki kollu galeri açma makinesinin performansının tespiti için kullanılan veriler (makine gücü ve kayacın basınç dayanımı), istatistiksel analiz sonucunda elde edilen yeni modele yerleştirilerek bu modelin Küçüksu tüneline uygunluğu araştırılmıştır. Küçüksu

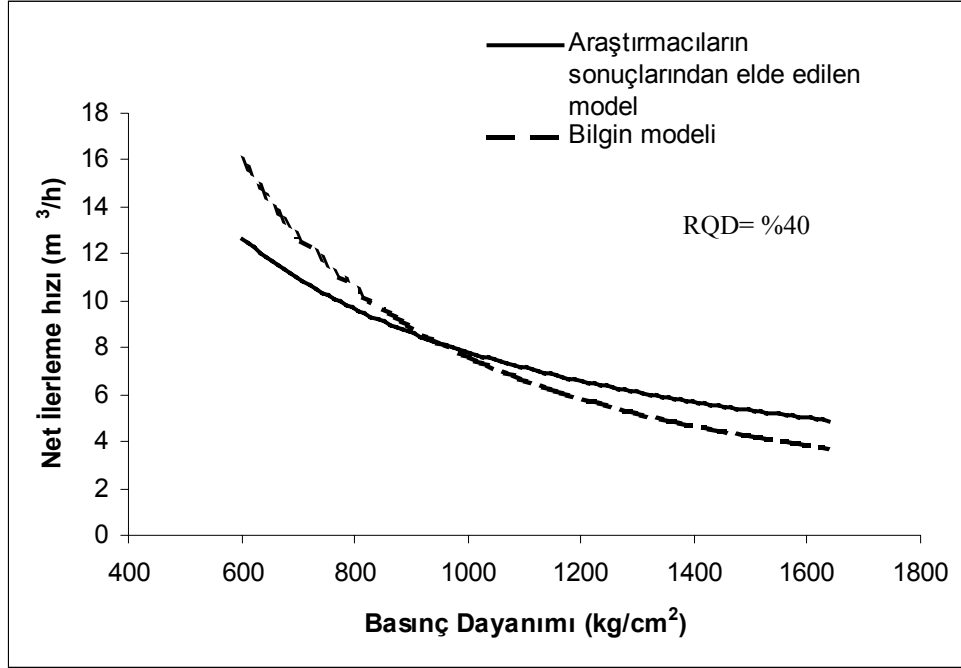
tünelinden alınan veriler ile araştırmacıların verilerinden elde edilen model arasındaki fark Şekil 10.3’de görülmektedir.



Şekil 10.3 Küçüksu tünelinden alınan veriler ile araştırmacıların verilerinden elde edilen model arasındaki ilişki

Şekil 10.3’ teki grafik incelendiğinde Küçüksu tünelinden alınan sonuçlar ile araştırmacıların sonuçlarından elde edilen modelin örtüşmediği görülmektedir. Kollu galeri açma makineleri kırıklı çatlaklı formasyonlarda tercih edilen makinelerdir. Araştırmacıların analiz edilen yayınlarında RQD değerleri hakkında hiçbir veri bulunmamaktadır. Küçüksu tünelinden alınan sonuçların, elde edilen modelle örtüşmemesinin ana nedeni Küçüksu tünelinde ölçülen net ilerleme hızlarının yüksek RQD değerleri için elde edilmiş olması ve araştırmacıların analiz edilen yayınlarında RQD değerleri hakkında hiçbir bilgi olmayışı olabilir. Bu örtüşmemenin diğer bir nedeni ise kayaçların basınç dayanımını belirlemek için hazırlanan karotların ebatları ve uygulanan yöntem farklılıkları olabilir. Bu tür veriler ve uygulanan yöntemlerin yayınlarda belirtilmesi araştırmaların daha doğru ve güvenilir yapılmasına olanak sağlayacaktır.

Araştırmacıların verilerinden analiz edilerek oluşturulan model ile Bilgin ve arkadaşları tarafından geliştirilen model arasındaki ilişki irdelenmiştir (Bilgin ve arkadaşları tarafından geliştirilen modelin detayları Bölüm 3’ te anlatılmıştır). Yapılan bu incelemede kollu galeri açma makinelerinin verimli çalıştığı kırıklı çatlaklı formasyonlar (RQD=%40) esas alınmıştır. Bu iki model arasındaki ilişkinin sonuçları Şekil 10.4’te görülmektedir.



Şekil 10.4 Bilgin modeli ile araştırmacıların sonuçlarından elde edilen model arasındaki ilişki

Düşük RQD değerleri için Bilgin modeli ile araştırmacıların verilerinden elde edilen model arasında gözle görülür ve birbirini tamamlayıcı bir ilişkinin olduğu görülmektedir.

12. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kollu galeri açma makineleri hızlı ve efektif tünel ve galeri açmada kullanılan önemli kazı makinelerindendir. Bunun yanında jeoloji ve kayaçların geoteknik özellikleri bu makinelerin kullanımını sınırlamaktadır. Eğer makine açılacak formasyona göre seçilmemişse tünel ilerleme hızları önemli bir şekilde düşmekte ve kazı maliyeti artmaktadır. Bu durum bir çok araştırmacıyı, hızlı kazı sistemlerinin performanslarını etkileyen faktörleri incelemeye yönlendirmiştir.

Ana kayacı kireçtaşı olan ve tünel ekseni boyunca yer yer silttaşı, kumtaşı ve andezit dayklarına rastlanan Küçüksu atık tünelleri Büyükada formasyonunda açılmıştır. Kazı sırasında kayaçların karşılaşılan RQD değerlerinin, %30'dan %100'e ve basınç dayanımlarının ise 600 kg/cm^2 'den 1638 kg/cm^2 'ye kadar değiştiği belirlenmiştir.

Küçüksu Ön Arıtma Tesis ve Deniz Deşarjı İnşaatı Projesi'nde kullanılan SM-1 Model Herrenknecht marka şildli kollu tünel açma makinesi ile kazı çapı 2,2 m, genel eğimi 1/669 ve uzunluğu 1037,52 m olan atıksu tüneli kazısı gerçekleştirilmiştir. Yerinde ve laboratuarda yapılan çalışmalar sonucunda tünel kazısında meydana gelen arızalar, makine performans analizi ve net kazı hızının araştırmacıların yayınlarından analiz edilerek oluşturulan model ile olan ilişkisi üzerinde durulmuştur.

Küçüksu tünel kazısında karşılaşılan formasyonların bir kollu galeri açma makinesi için nispeten sert olması nedeni ile keski sarfiyatının fazla olduğu belirlenmiştir. Sert kaya formasyonlarının kazısında keskinin aşınmasının dışında karşılan diğer bir arıza şekli ise kollu makinenin kesici kafasında oluşan çatlaklar ve keski yuvalarında meydana gelen kırılmalardır. Bütün bu arızalar göz önüne alındığında makinden faydalanma oranı önemli ölçüde düşmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda Herrenknecht marka kollu tünel açma makinesinden faydalanma oranının %47 olduğu belirlenmiştir. Bu oranın bu tip formasyon için başarılı olduğu söylenebilir.

Yapılan diğer bir inceleme ise net kazı ile basınç dayanımı arasında ilişkidir. Net kazı hızı ile basınç dayanımı arasında üstel bir ilişki olduğu belirlenmiş ve bu ilişkinin

korelasyon katsayısı 0.73 bulunmuştur. Bu ilişki kullanılarak kısmi cepheli tünel açma makinesinin, 557 – 1638 kg/cm² basınç dayanımı aralığında performansını tahmin etmek mümkündür.

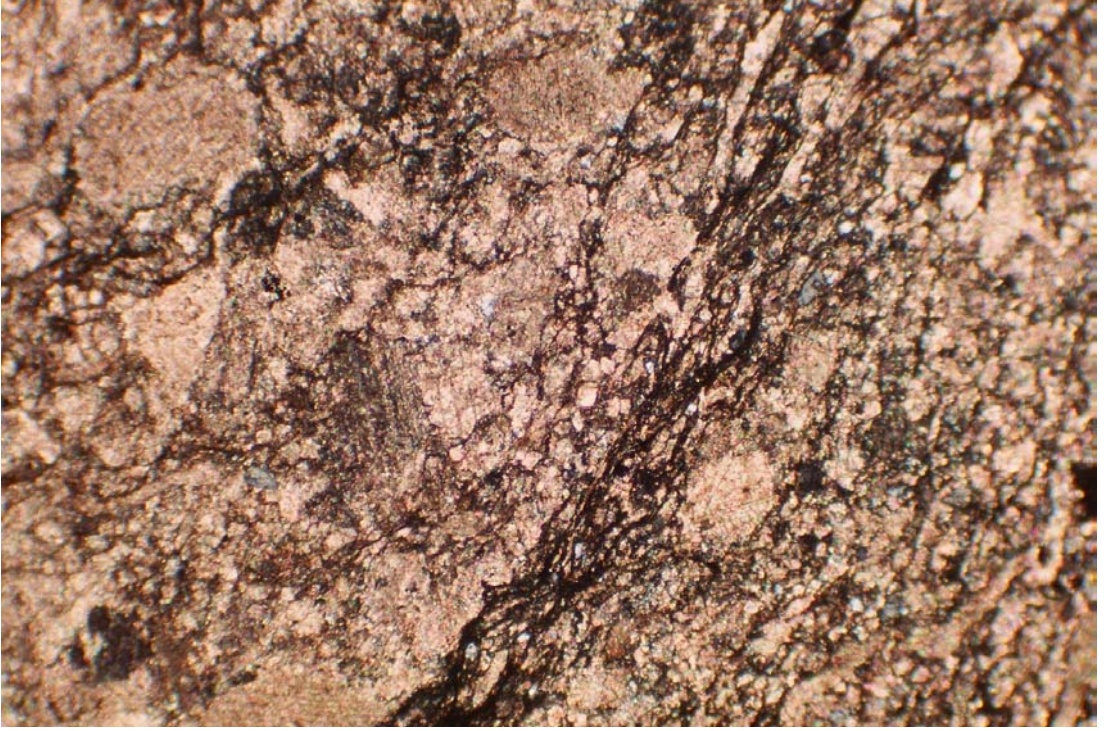
Bazı araştırmacıların yayınlarından elde edilen veriler analiz edilerek makine gücüne ve kayacın basınç dayanımına bağlı olan bir net ilerleme modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu model Küçüksu tünellerinde gerçekleşen net ilerlemelerle ilişkilendirilmiştir. Oluşturulan modelin doğruluğunu anlayabilmek için Bilgin modeli ile arasındaki ilişki gözden geçirilmiş ve düşük RQD değerleri için aralarında azımsanmayacak kadar yakın bir ilişkinin olduğu kanısına varılmıştır.

KAYNAKLAR

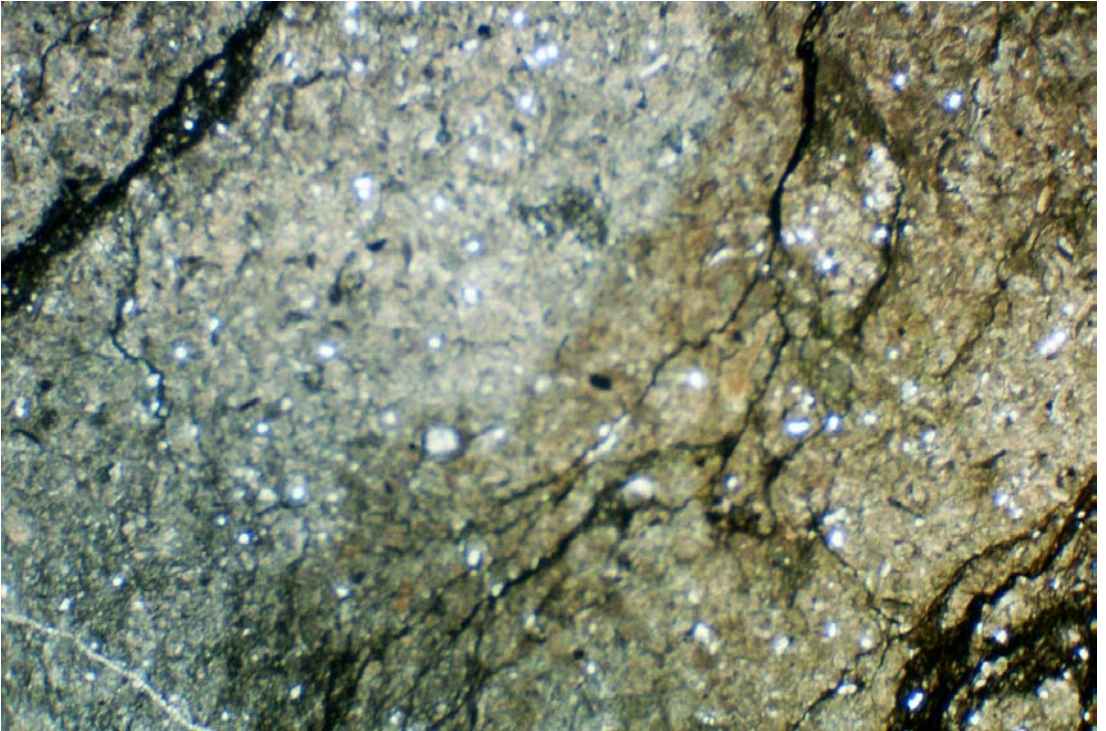
- [1] **Bilgin, N.**, 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- [2] **Özdemir, L.**, 1994. Mekanik Kayaç Kazısı Prensipleri, *Tünel ve Galeri Açma Meslek İçeri Eğitim Semineri*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Editör: Prof. Dr. Şinasi ESKİKAYA, Ekim.
- [3] **Pakes., G.**, 1991. Selection of Methods, *World Tunnelling*, 4 no:9, November.
- [4] **Hekimoğlu, O.Z., Fowell, R.J.**, 1988. Bomlu Kazı Makinalarının Temel Özellikleri ve Seçimleri, *Kömür Kongresi*, Zonguldak, 29-52.
- [5] **Bilgin, N.**, 1994. Roadheader'ların seçim kriterleri ve performans tahmini, *Tünel ve Galeri Açma Meslekiçi Eğitim Semineri*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Editör: Prof. Dr. Şinasi ESKİKAYA, Ekim.
- [6] **Bilgin, N., Çopur, H.**, 2002. Mechanization in Mines and Tunnel Excavation (MAD 412E), İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Lisans Ders Notları.
- [7] **Deketh, H.J.R.**, 1995. *Wear of rock cutting tools: laboratory experiments on the abrasivity of rock*. AA Balkema/Rotterdam ISBN: 9054106204
- [8] **Thuro, K., Plinninger, R.J.**, 1999. Roadheader excavation performance-geological and geotechnical influences, *9th ISRM Congress*, Theme 3: Rock dynamics and tectonophysics / Rock cutting and drilling, Department for General, Applied and Engineering Geology, Technical University of Munich, Germany. Paris, August, 25-28.
- [9] **Yazıcı, S.**, 1984. Galeri Açma Makinelerinin Seçimi için Kazılabilirliğin Saptanması. *Madencilik Dergisi*, Mart, s. 23-31
- [10] **Özdemir, L.**, 1992. *Mechanical Excavation Techniques in Underground Construction*, *Short Course Note*, Volume 1, p. 427
- [11] **Rostami J., Ozdemir L. and Neil, D. M.**, 1994. Performance prediction: a key issue in mechanical hard rock mining. *Mining Engineering*, Nov, 1263-1267.
- [12] **Çopur, H., Ozdemir L. and Rostanmi,J.**, 1998. Roadheader Applications in Mining & Tunnelling Industries. *SME Metting, Orlando, Florida*.
- [13] **Eskikaya Ş., Bilgin N., Dinçer T. and Özdemir, L.**, 1998. A model to predict the cutting performance of rapid excavation systems. *Proc. the Seventh International Symp. on Mine Planning and Equipment Selection*, Calgary, Balkema, 575-579.
- [14] **Bilgin, N., Seyrek, T. and Shahriar, K.**, 1988. Roadheader performance in İstanbul, Golden Horn clean-up contributes valuable data. *Tunnels and Tunneling*. 20 n:6 June, 41-44.

- [15] STFA tünel inşaatı grubu, Tünel dökümanları
- [16] Anadolu Yerbilimleri Ltd. şti., 2002. Zemin araştırmaları ve sondaj log verileri.
- [17] Nurcan, İ., 2002. Kişisel görüşme
- [18] Dinçer, T., 1999. Bazı kayaç özelliklerinin kollu galeri açma makinelerinin ve hidrolik kırıcıların kazı performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Doktora Tezi* , İ.T.. Fen Bilimleri Enstits, İstanbul.
- [19] Bilgin, N., Seyrek, T. and Shahriar, K., 1988. Roadheader performance in İstanbul, Golden Horn clean-up contributes valuable data. *Tunnels and Tunneling*. 20 n:6 June, 41-44.
- [20] Bilgin, N., Yazıcı, S., Eskikaya, ř., 1996. A model to predict the performance of Roadheaders and impact hammers in tunnel drivages. *Proceeding of “Eurock’96 ISRM International Symposium*. Torino, Balkema,
- [21] Thuro, K., Plinninger, R. J., 1998. Geolocial limits in roadheader excavation-four case studies. In Moore & Hungr (eds.), *Engineering geology*. . *A global view from the pacific rim; Proc. 8th International IAEG Congress*, Volcouver, September, 3545-3552
- [22] Gehring, K. H., 1989. A cutting comparision. *Tunnels & Tunnelling*. November, 27-30
- [23] Bauer, R., 2002. Hard rock roadheaders. Colorado school of mines short course notes
- [24] Fowell, R. J., Richardson, G., Gollick, M. J., 1994. Prediction of boom tunnelling machine excavation rates. *Proceedings of The 1st North American Rock Mechanics Symposium*. Balkema, 243-250
- [25] Schneider, H., 1998. Crireria for selecting a boom-type roadheader. *Mining Magazine*. September, 183-188
- [26] Dunn, P. G., Howarth, D. F., Schmidt, S. P. J. and Bryan, I.J., 1997. A review of non explosive excavation projects for the Australian metalliferous mining industry, 1-13
- [27] Westfalia Becorit Industrietechnik GmbH, 1993. *Lttich E5/E9 Project*

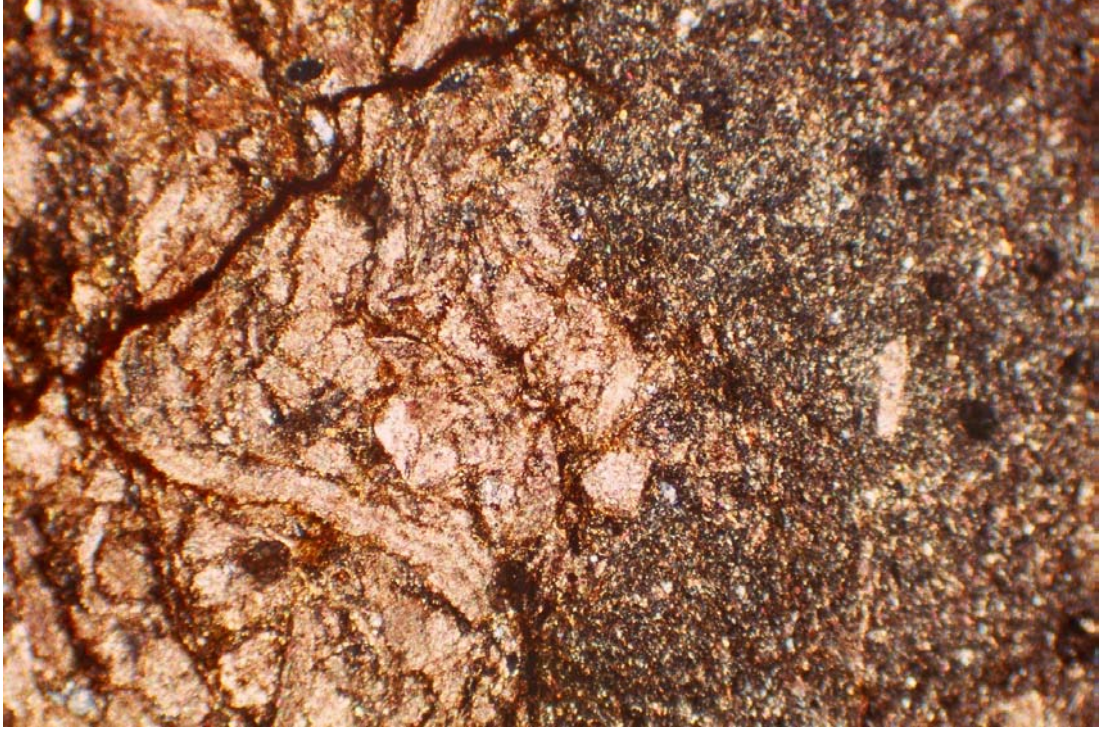
EK-B: Tünel Ekseninden Alınan İnce Kesitlerin Fotoğrafları



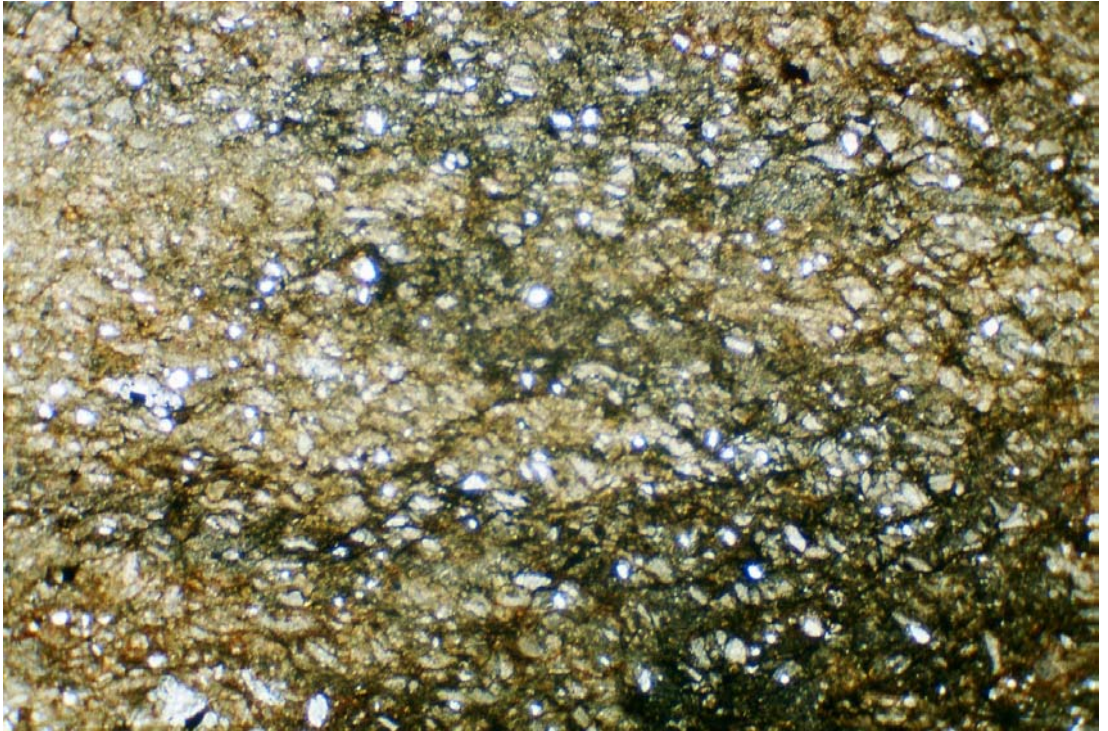
Şekil B.1. 376. Ring, %95 kalsitli kireçtaşı (1cm=170µm)



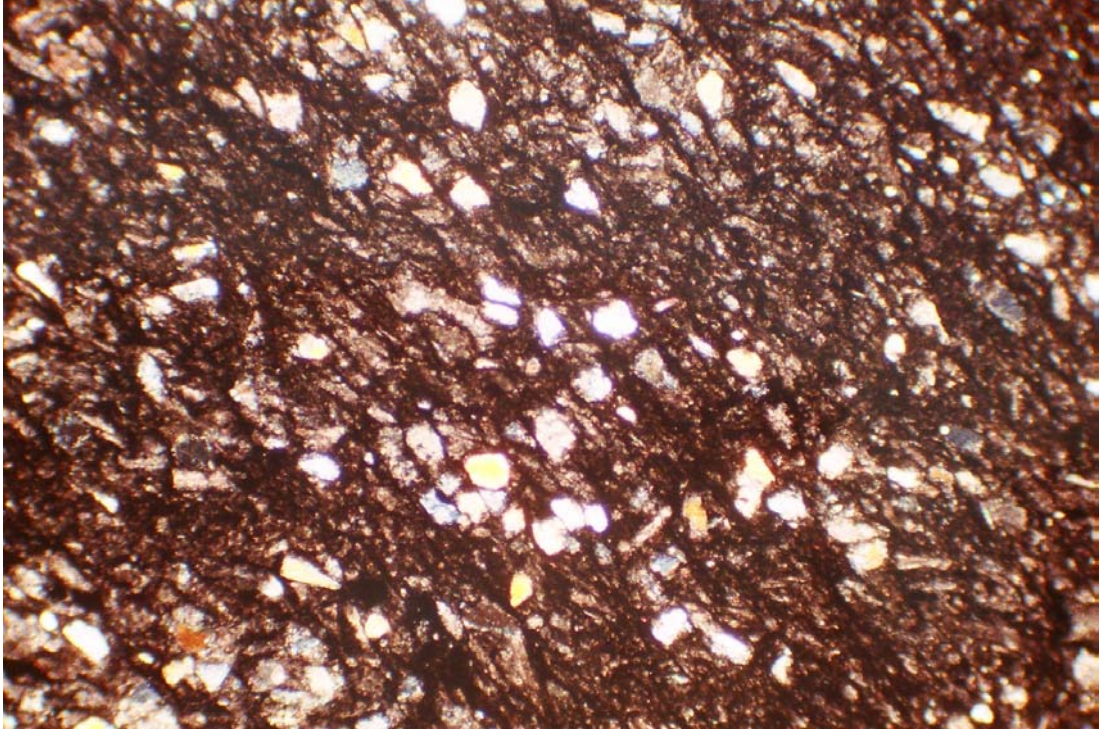
Şekil B.2. 376. Ring, %95 kalsitli kireçtaşı (1cm=170µm)



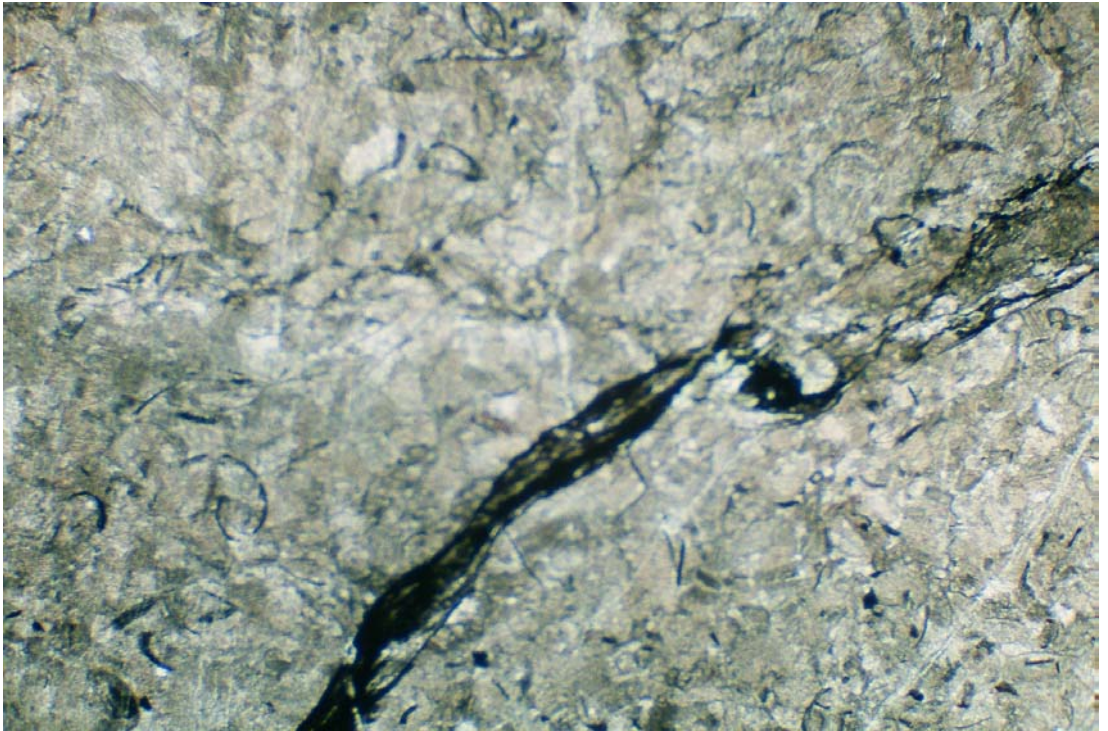
Şekil B.3. 400. Ring, %80 karbonatlı kumtaşı (1cm=170µm)



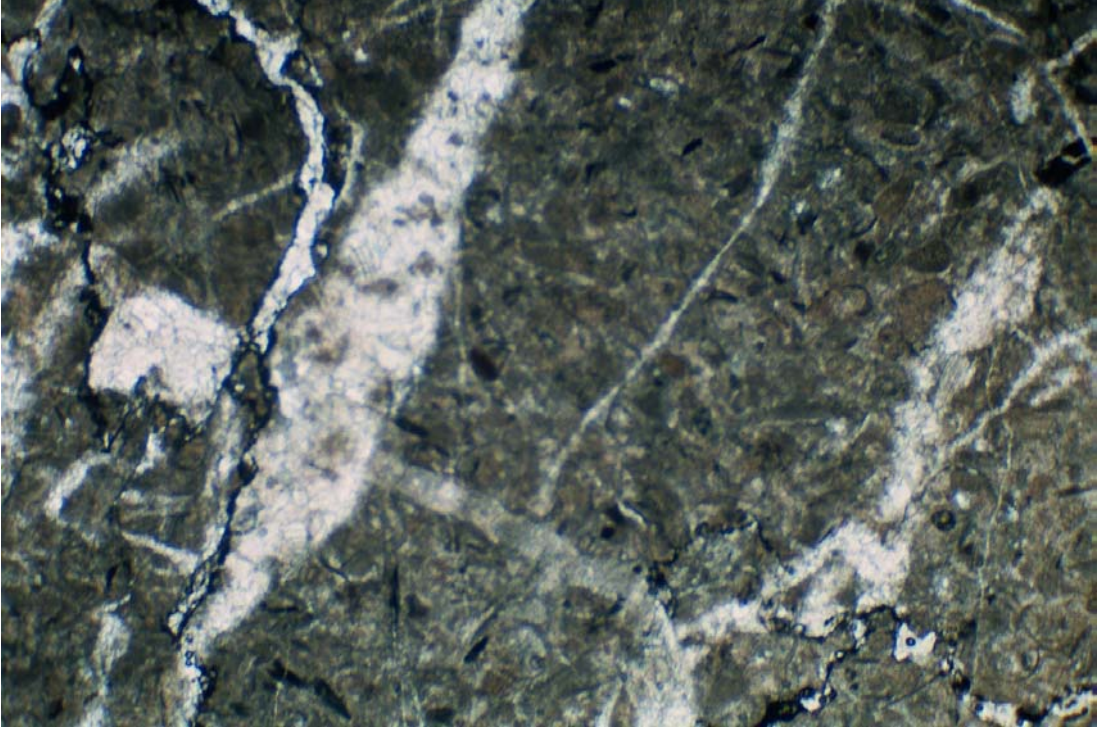
Şekil B.4. 400. Ring, %80 karbonatlı kumtaşı (1cm=170µm)



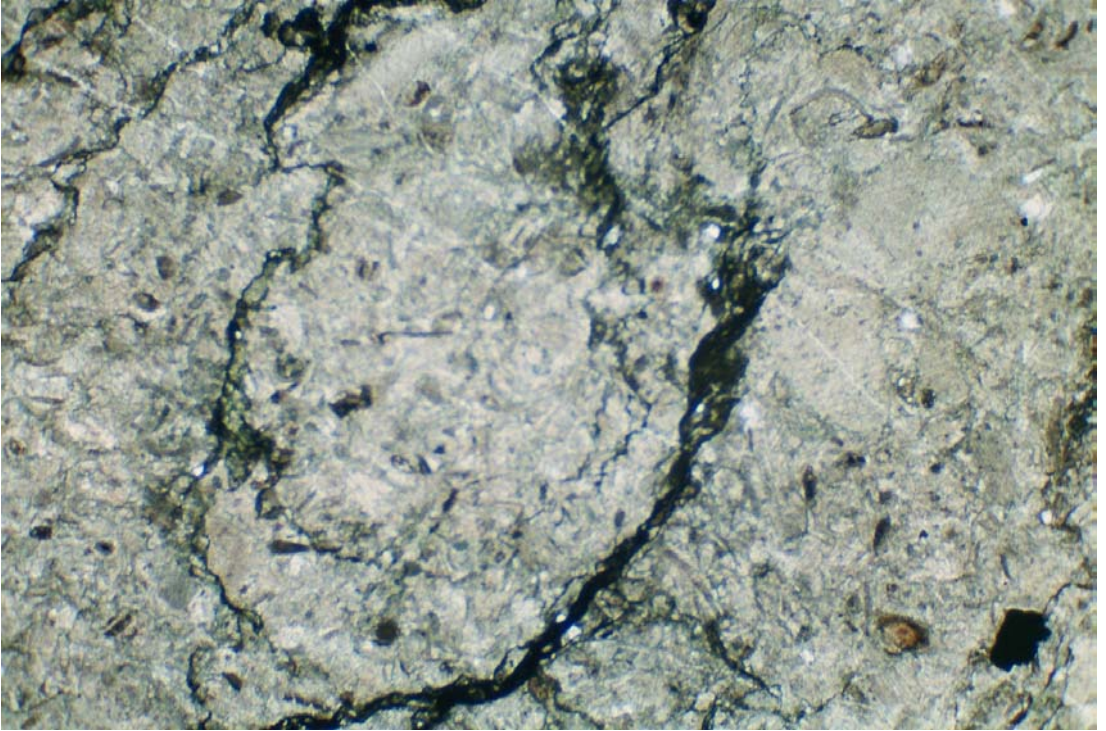
Şekil B.5. 492. Ring, bol kuvarslı kalsit ve karbonatlı foliasyon yapılı silttaşı
(1cm=170µm)



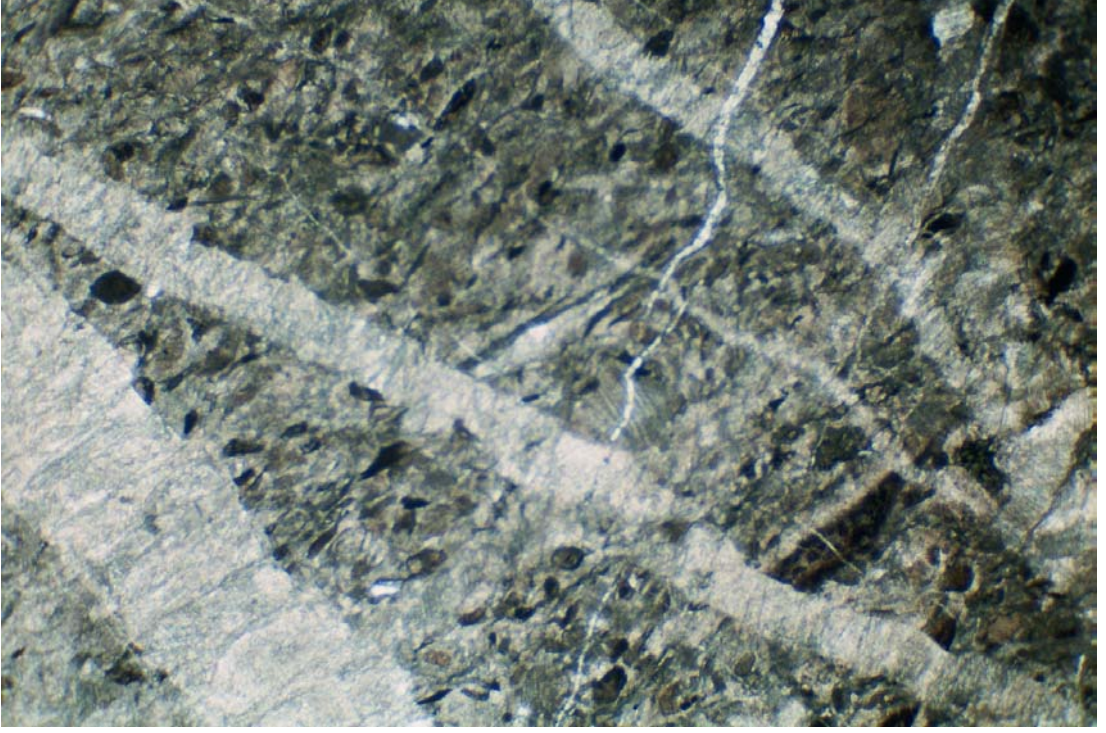
Şekil B.6. 588. Ring, kavkılı orta daneli kireçtaşı (1cm=170µm)



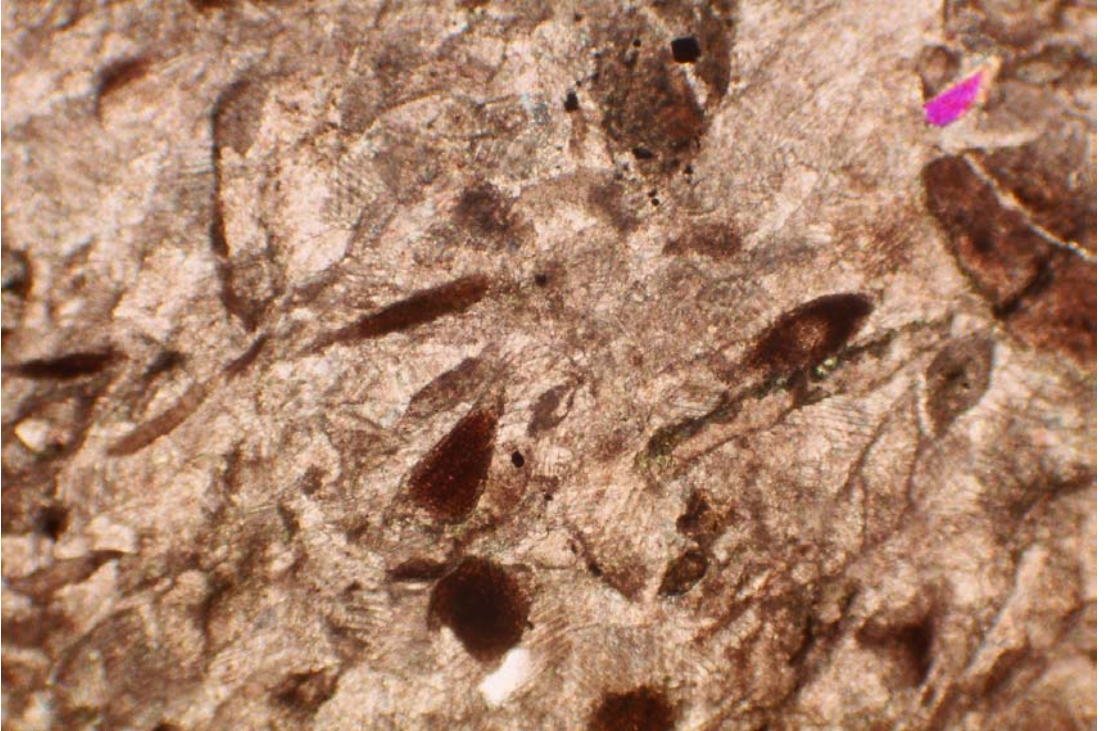
Şekil B.7. 608. Ring, iri kalsit kristalli %90 kalsitli kireçtaşı (1cm=170µm),



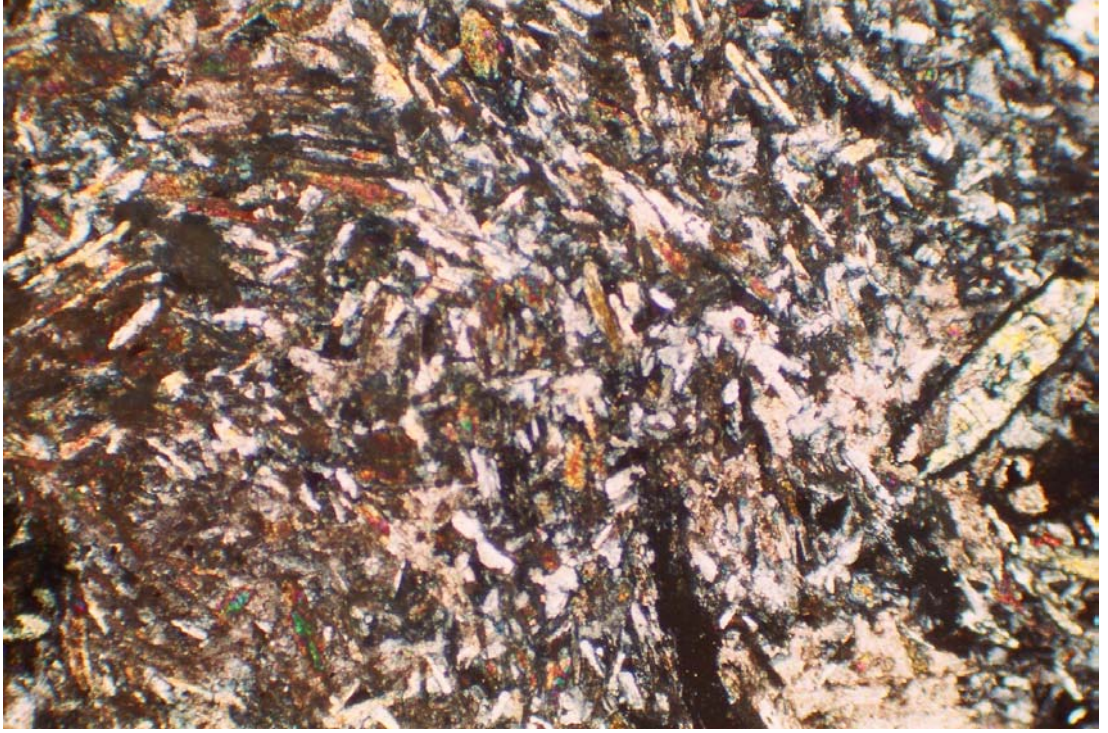
Şekil B.8. 613. Ring, bol amfibollü iri plajioklaslı homojen dokulu kireçtaşı (1cm=170µm)



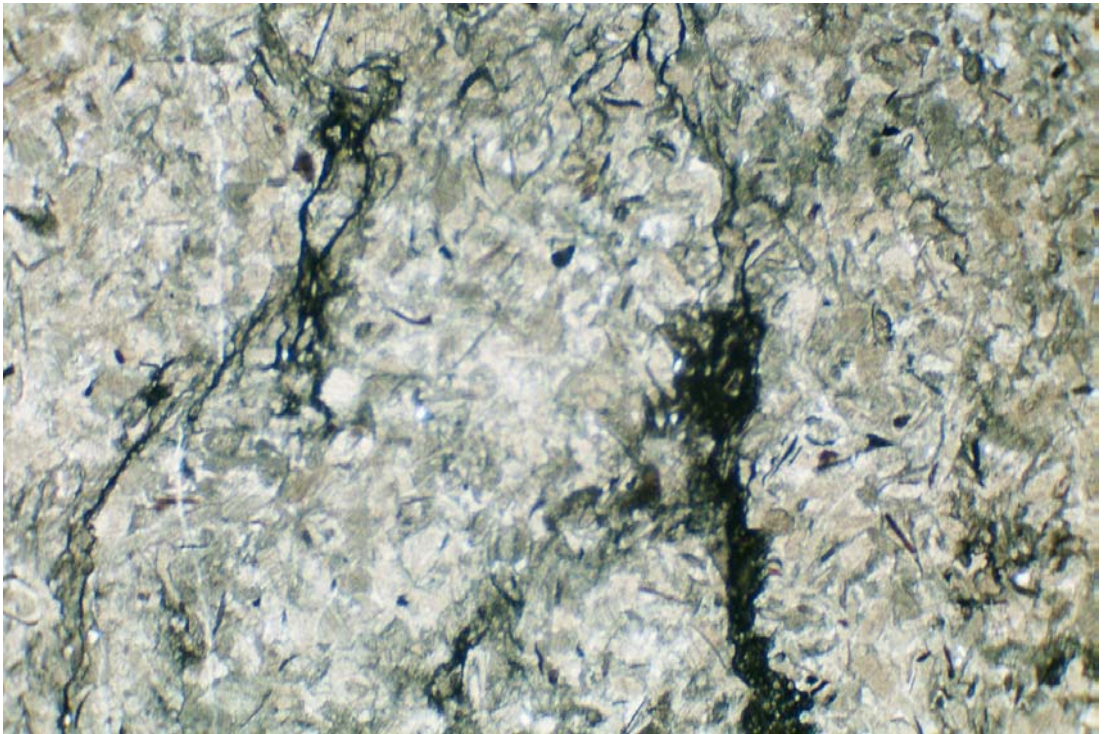
Şekil B.9. 641. Ring, fosilli orta daneli kireçtaşı (1cm=170µm)



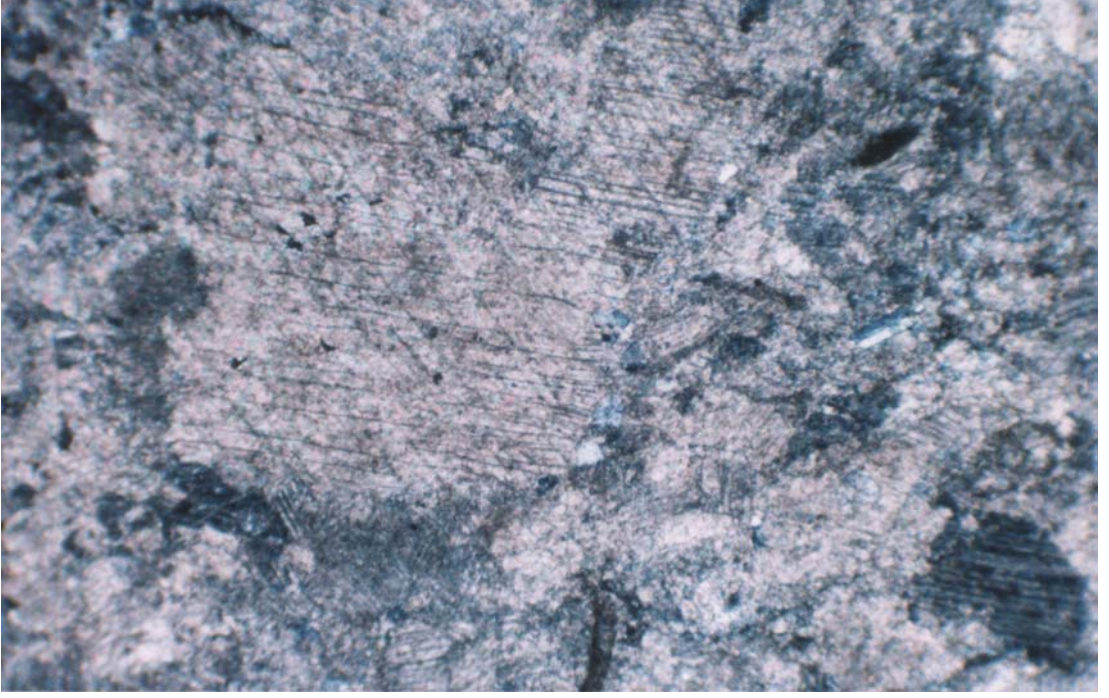
Şekil B.10. 667. Ring, fosilli mercanlı kireçtaşı (1cm=170µm)



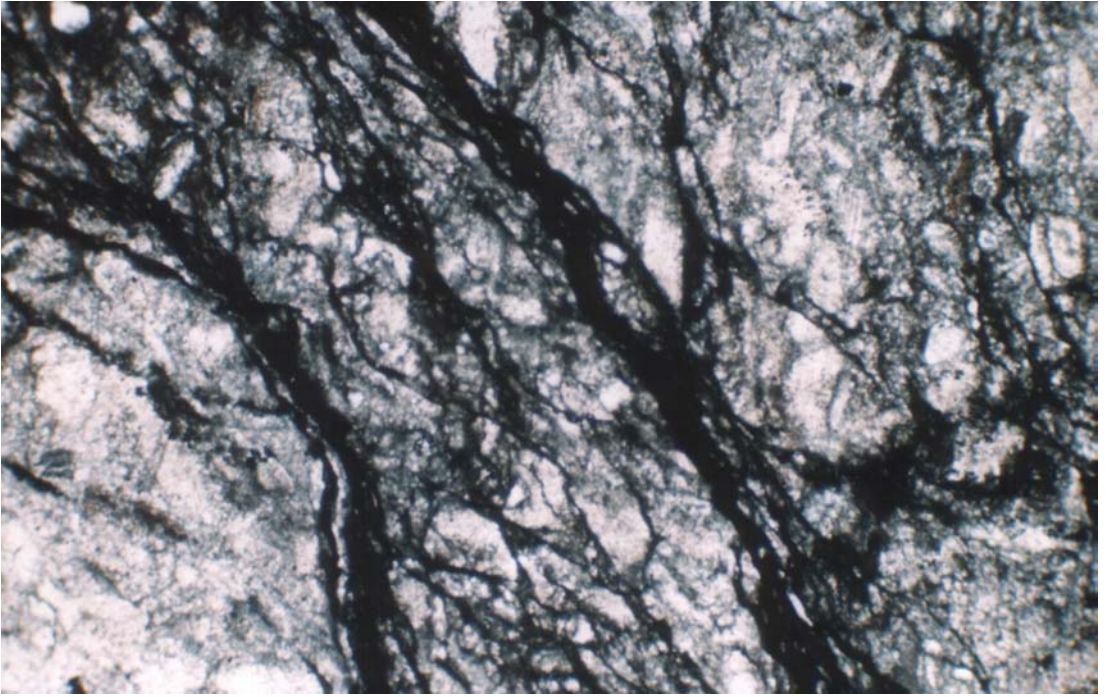
Şekil B.11. 722. Ring, albit kalsit ve epidotlardan oluşan altere olmuş andezit (1cm=170µm)



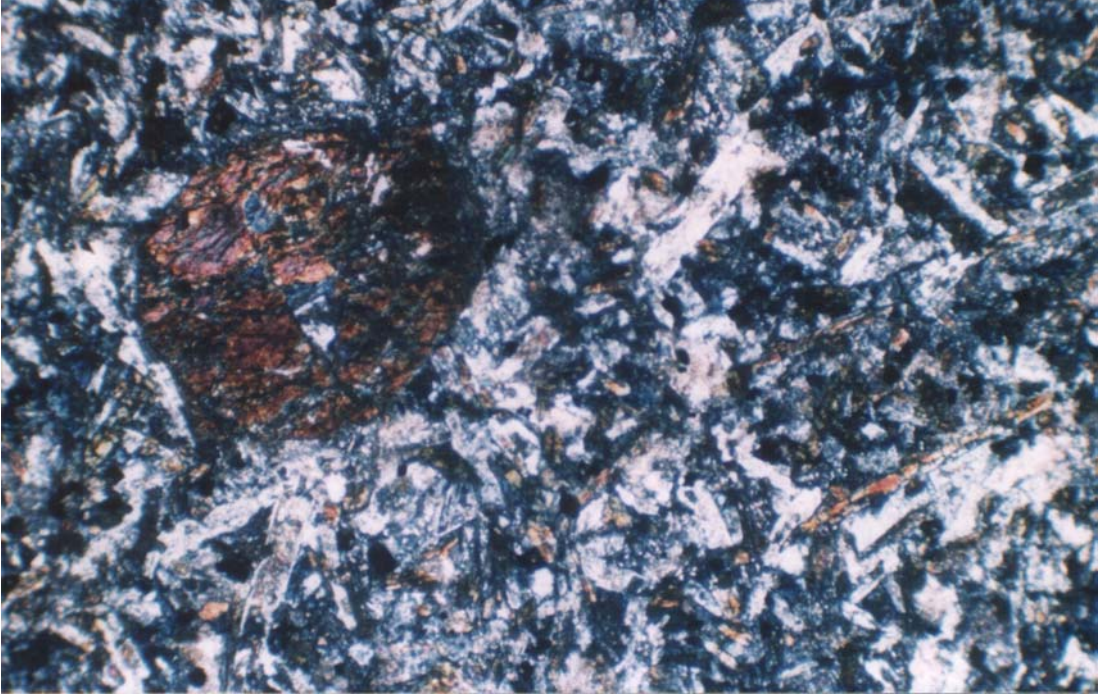
Şekil B.12. 739. Ring, fosilli orta daneli homojen dokulu kireçtaşı (1cm=170µm)



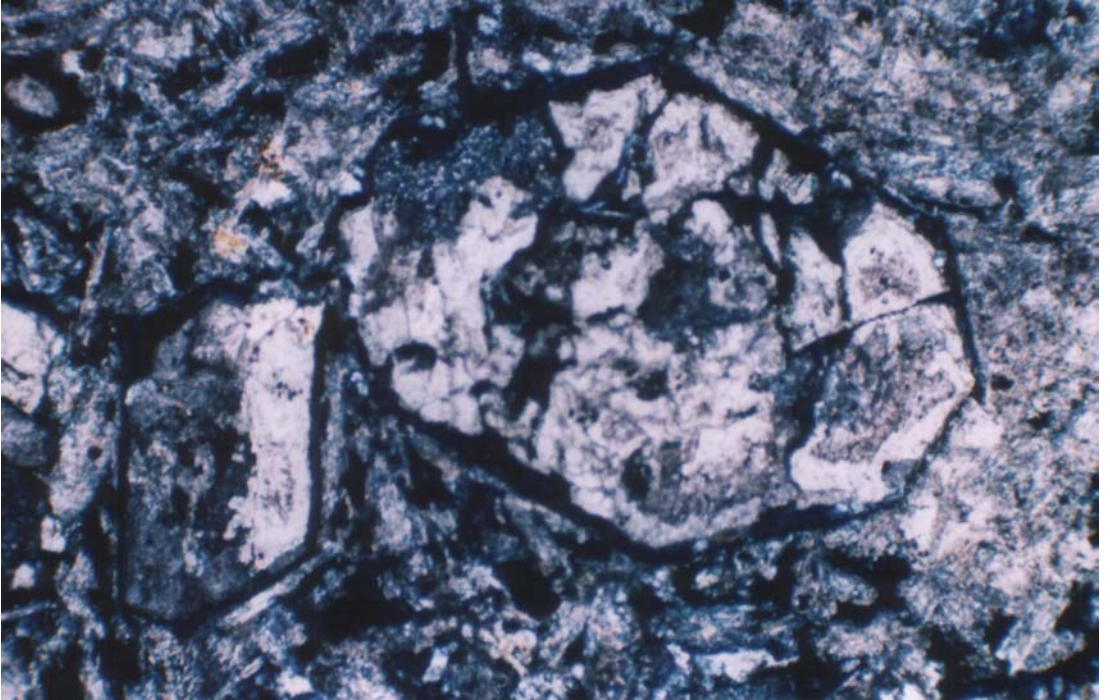
Şekil B.13. 810. Ring, iri daneli karbonatlı silttaşı (1cm=170µm)



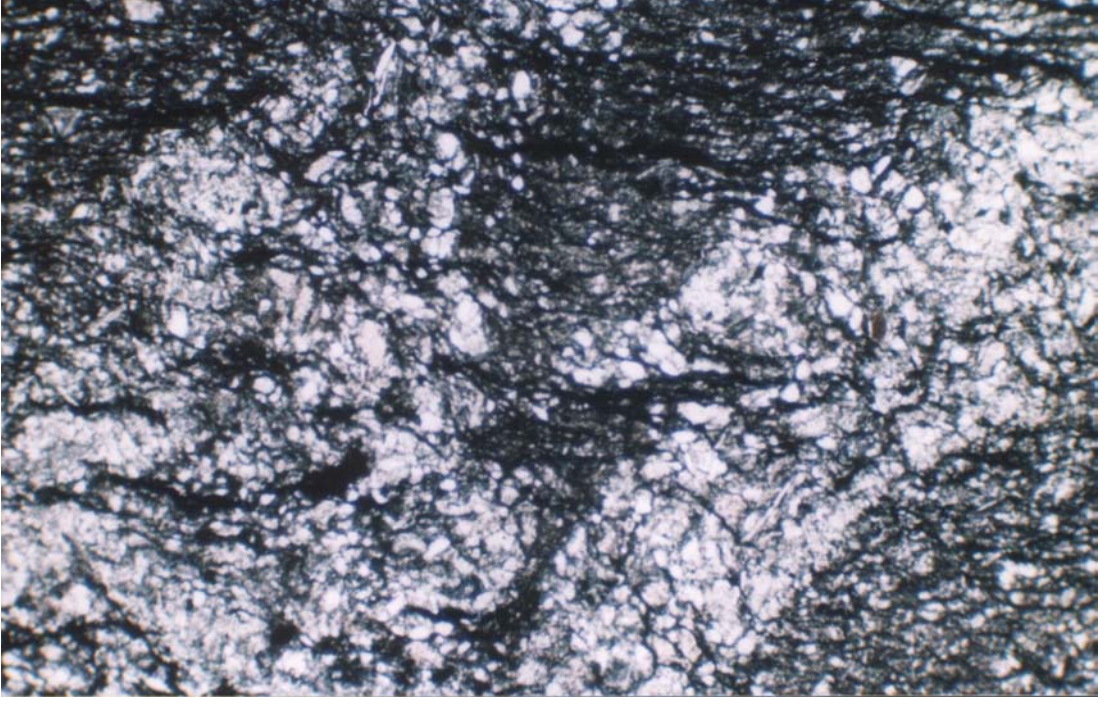
Şekil B.14. 810. Ring, iri daneli karbonatlı silttaşı (1cm=170µm)



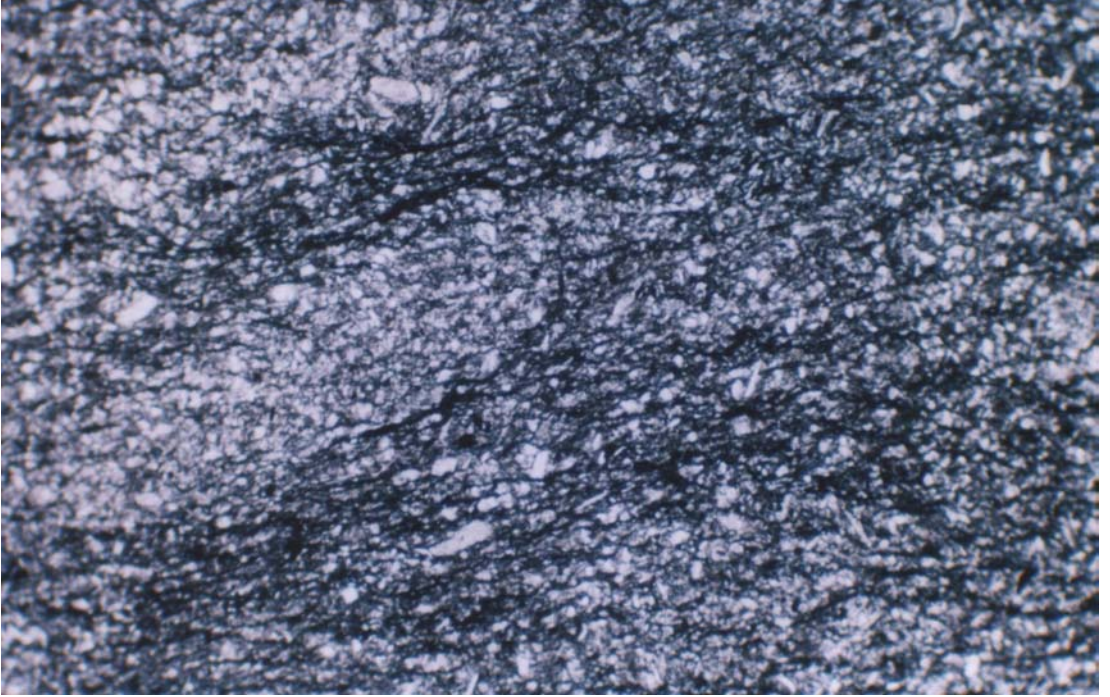
Şekil B.15. 832. Ring, kretase yaşı andezit (1cm=170µm)



Şekil B.16. 852. Ring, orta daneli %90 kalsitli dekrystalize kireçtaşı (1cm=170µm)



Şekil B.17. 905. Ring, karbonatlı kireçtaşı (1cm=170μm)



Şekil B.18. 905. Ring, karbonatlı kireçtaşı (1cm=170μm)

EK-C: Araştırmacıların Yayınlarından Oluşturulan Veri Tabanı

Tablo C.1. Araştırmacıların yayınlarından oluşturulan veri tabanı

Kaynak No	Mak. Gücü (kW)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Net İlerleme (m ³ /h)
19	90	706.3	7.7
19	90	1011.8	2
19	90	520.8	2.3
19	90	891.3	4.6
19	90	864.8	6.6
20	90	980	1.6
20	90	714	2.9
20	90	1034	2.7
20	90	1034	3.7
20	90	690	5.1
20	90	690	2.4
20	90	679	4.3
20	90	1557	0.5
20	90	706	7.7
20	90	1012	2
20	90	891	4.6
20	90	865	6.6
20	90	1050	7.3
20	90	850	11.2
20	90	850	5
20	90	1050	3.7
20	90	580	7.4
20	90	1180	3.8
20	90	1110	0.4
20	90	900	4
20	90	1250	2.3
20	90	1050	3.85
20	90	1050	6.3
20	90	960	6.8
20	90	1050	3.2
21	132	180	9.5
21	132	510	22
21	132	600	18
21	132	610	9.5
21	132	610	21
21	132	730	12
21	132	800	13
21	132	900	5.5
21	132	960	6.5
21	132	1030	9.5
21	132	1100	3
21	132	1250	10
22	300	350	25
22	300	560	17
22	300	600	20
22	300	590	15
22	300	590	18

Kaynak No	Mak. Gücü (kW)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Net İlerleme (m ³ /h)
22	300	790	11
22	300	780	16
22	300	820	10
22	300	820	15
22	300	830	8
22	300	920	9
23	100	105	68
23	100	136.5	57
23	100	168	47
23	100	211	41
23	100	254	34
23	100	305	28
23	100	356	24
23	100	407	20
23	100	458	17
23	100	509	15
23	100	560	15
23	100	611	13
23	100	662	12
23	100	713	11
23	100	764	11
23	130	105	93
23	130	136.5	77
23	130	168	65
23	130	211	53
23	130	254	43
23	130	305	36
23	130	356	31
23	130	407	26
23	130	458	23
23	130	509	22
23	130	560	18
23	130	611	16
23	130	662	15
23	130	713	13
23	130	764	12
23	130	815	11
23	130	866	10
23	200	105	133
23	200	136.5	111
23	200	168	95
23	200	211	82
23	200	254	68
23	200	305	56
23	200	356	48
23	200	407	41
23	200	458	36
23	200	509	33
23	200	560	28

Kaynak No	Mak. Gücü (kW)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Net İlerleme (m ³ /h)
23	200	611	26
23	200	662	24
23	200	713	22
23	200	764	21
23	200	815	19
23	200	866	18
23	200	917	17
23	200	968	16
23	200	1019	15
23	270	105	169
23	270	136.5	147
23	270	168	127
23	270	211	110
23	270	254	93
23	270	305	76
23	270	356	65
23	270	407	56
23	270	458	50
23	270	509	45
23	270	560	42
23	270	611	38
23	270	662	34
23	270	713	30
23	270	764	30
23	270	815	29
23	270	866	26
23	270	917	25
23	270	968	22
23	270	1019	20
23	270	1070	18
23	270	1132	16
23	300	105	195
23	300	136.5	165
23	300	168	140
23	300	211	122
23	300	254	100
23	300	305	82
23	300	356	72
23	300	407	61
23	300	458	57
23	300	509	49
23	300	560	45
23	300	611	41
23	300	662	38
23	300	713	36
23	300	764	32
23	300	815	30
23	300	866	29
23	300	917	27

Kaynak No	Mak. Gücü (kW)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Net İlerleme (m ³ /h)
23	300	968	26
23	300	1019	24
23	300	1070	23
23	300	1132	22
23	300	1195	20
23	300	1265	19
23	300	1335	18
24	80	200	84
24	80	300	50
24	80	400	36
24	80	500	24
24	80	600	19
24	80	700	17
24	80	800	13
24	80	900	10
24	80	1000	9
24	200	200	140
24	200	300	90
24	200	400	60
24	200	500	42
24	200	600	37
24	200	700	29
24	200	800	22
24	200	900	20
24	200	1000	18
24	400	200	260
24	400	300	180
24	400	400	120
24	400	500	80
24	400	600	60
24	400	700	50
24	400	800	40
24	400	900	36
24	400	1000	30
25	300	350	70
25	300	400	55
25	300	500	35
25	300	600	25
25	300	700	16
25	300	775	12
25	300	850	8
25	300	900	5
25	300	950	4
26	200	300	21
26	200	400	19
26	200	500	16
26	200	600	14
26	200	700	13
26	200	750	12

Kaynak No	Mak. Gücü (kW)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Net İlerleme (m ³ /h)
26	200	800	10
26	200	850	9
27	300	100	120
27	300	200	84
27	300	300	61.5
27	300	400	46.5
27	300	500	37
27	300	600	30
27	300	700	24
27	300	800	18.5
27	300	900	14.5
27	300	1000	11
27	300	1100	7.5
27	300	1200	5

ÖZGEÇMİŞ

Deniz Tumaç, 20 Aralık 1978 tarihinde İstanbul'da doğdu. 1995 yılında Vefa Lisesini bitirdi. 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümüne girdi ve 2001 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2002 yılından bu yana Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

	Dolgu
	Kireçtaşı
	Diyaboz
	Silttaşı
	Kumtaşı
	Şeyl

