

127183

**KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİNİN VEYA
BENZER MAKİNELERİN CEVHER KAZISINDA
KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Hakan TUNÇDEMİR
(505962011)**

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2002**

**Tez Danışmanı :
Diğer Jüri Üyeleri**

Prof.Dr. Nuh BİLGİN

Prof.Dr. Senai SALTOĞLU (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Mete GÖKTAN (O.G.Ü.)

Prof.Dr. Mustafa ERDOĞAN (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Ali KAHRİMAN (İ.Ü.)

HAZİRAN 2002

127183

ÖNSÖZ

Verimli ve ucuz bir maden işletmeciliği için kayaç ve cevher kazısı aşamasında oluşan maliyetlerin mümkün olduğu kadar azaltılması, emniyet sınırları içinde, yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada da bu düşünceden yola çıkarak Türkiye'deki yeraltı madenlerinde hızlı ve ekonomik kazı tekniklerinin geliştirilebilmesi ve uygulanabilmesi için cevher üretim aşamasında kullanılması düşünülen mekanik kazıcıların -ele alınan madenler için- uygunluğu araştırılmıştır.

Çalışmalarım sırasında danışmanlığımı yapan, bugüne kadar sahip olduğum mühendislik alt yapısını oluşturmamda hiç bir yardımı esirgemeyen, yönlendirmeleriyle ufku açan değerli hocam Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e özellikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Senai SALTOĞLU, Prof. Dr. Mustafa ERDOĞAN ve Doç. Dr. Ali KAHRİMAN'a yolumu açan tavsiyelerinden ötürü teşekkür ederim.

En başta ağabeyim, birlikte çalışmaktan çok zevk aldığım ve çok şey öğrendiğim, değerli Yard. Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR'a, yaptığım deneyler sırasında yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşlarım Araş. Gör. Cenk FERİDUNOĞLU ve Maden Y. Müh. Bülent KOÇAK'a da minnettarım.

Bazı şekillerin çizimini yapmakla kalmayıp, motivasyon güçleriyle enerjimi daima en yüksek seviyede tutan değerli arkadaşlarım Aynur DİKBAŞ ve Gürsel SUNAL, Durşen ve Michael HINCZEWSKI'ye ne kadar teşekkür etsem azdır.

Bu tez çalışması, NATO-TU "bilim için istikrar projesi" çerçevesinde oluşturulan laboratuvar imkanları, DPT 141 nolu proje kapsamında verilen destekler vasıtasıyla yapılmıştır. Bunu sağlayan DPT ve NATO yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

Yurt ağabeyliği ve ablalığı sistemi ile kampüs ortamı içerisinde barınmamızı temin eden, bu sayede düzenli bir çalışma ortamı sağlayan, Araştırma Fonu 1316 nolu proje ile bu tezi destekleyen İ.T.Ü. Rektörlüğü ve Yurtlar Koordinatörlüğü'ne, ayrıca tez çalışmalarım süresince iletişimi hızlı ve hatasız yürüten -başta enstitü sekreteri Azize ÇİRTLİK, birim memurları Özlem KATIRCIOĞLU ve Filiz YEŞİLTAŞ olmak üzere- F.B.E. çalışanlarına şükranlarım sonsuzdur.

Dostluk, sevgi ve desteklerini kalbimde hissettiğim arkadaşlarım Şerife Sevtap TOKER ve Sadettin SAKARYA'ya daima yanımda ve itici güç oldukları için çok teşekkürler.

Ömrüm boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme; dualarıyla ve sevgileriyle bir koruma kalkanı oluşturan annem ve babama, öğrenme ve çaba sarfetme konusunda daima örnek aldığım biricik ablama teşekkürlerimi bu satırlara sığdıramam.

Haziran 2002

Hakan TUNÇDEMİR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xviii
ÖZET	xx
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
1.2. Yöntem	4
1.2.1. Mekanik madencilikte modelleme ve yapılan testler	5
2. MEKANİK KAZICILAR VE CEVHER KAZISINDA UYGULAMALARI	9
2.1. Kollu Galeri Açma Makineleri	13
2.1.1. Kollu makinelerin sınıflandırılması	14
2.1.1.1. Ağırlığına göre sınıflandırma	14
2.1.1.2. Kesici kafa tipine göre sınıflandırma	15
2.1.2. Kollu makinelerde kullanılan keskiler	16
2.1.2.1. Keskilerde aşınmaya etki eden faktörler	17
2.1.3. Kesme teorileri	19
2.1.3.1. Kalem uçlu keskilerle ilgili kesme teorileri	19
2.1.3.2. Kama uçlu keskilerle ilgili kesme teorileri	20
2.2. Kollu Makinelerde Kazı Performansını Etkileyen Faktörler	21
2.3. Performansı Belirlemek Amacıyla Kullanılan Terimler	23
2.4. Mekanik Kazıcılar İçin Performans Tahmini	25
2.4.1. Performans tahmin yöntemleri	25
2.4.1.1. Tam boyutlu doğrusal kazı seti performans tahmin yöntemi	25
2.4.1.2. Küçük boyutlu kazı seti performans tahmin yöntemi	26
2.4.1.3. Performans tahmini için ampirik yaklaşımlar	26
2.4.1.4. Performans tahmini için yarı teorik yaklaşımlar	28
2.4.1.5. Arazide gerçek bir makine ile deneme kazısı	28
2.4.2. Kazı esnasında keskilerin kayacı parçalama mekanizması	28
2.5. Mekanik Kazıcıların Uygulanabilirlik Sınırları	31
2.5.1. Makine özellikleri	31
2.5.2. Jeolojik özellikler	32

2.6. Cevher kazısında mekanik kazı uygulamaları	33
2.6.1. ABD-Magma Bakır Madeni'nde TBM uygulaması	33
2.6.2. ABD-Newmont Altın Şirketi-Carlin East Altın Madeni'nde KGAM uygulaması	35
2.6.3. Cevher kazısında kullanılan diğer alet-ekipmanlar ve uygulamaları	37
3. ELE ALINAN MADENLERİN TÜRKİYE VE DÜNYA MADENCİLİĞİNDEKİ YERİ	43
3.1. Türkiye Metal Madenciliği	43
3.2. Makine İle Cevher Üretimi ve Zenginleştirme Boyutları	47
3.3. Krom	49
3.3.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi	50
3.3.2. Krom standartları	51
3.3.3. Dünyada krom üretim ve tüketimi	53
3.3.4. Pazarlama koşulları	54
3.3.5. Krom satış fiyatları	54
3.3.6. Türkiye krom madenciliği	55
3.4. Trona (Doğal Soda)	56
3.4.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi	58
3.4.2. Trona standartları	59
3.4.3. Dünyada trona üretim ve tüketimi	60
3.4.4. Trona satış fiyatları	61
3.4.5. Türkiye trona madenciliği	62
3.5. Selestit	62
3.5.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi	63
3.5.2. Selestit standartları	64
3.5.3. Dünyada selestit üretim ve tüketimi	65
3.5.4. Selestit satış fiyatları	66
3.5.5. Türkiye selestit madenciliği	66
3.6. Bakır	67
3.6.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi	69
3.6.2. Bakır standartları	69
3.6.3. Dünyada bakır üretim ve tüketimi	70
3.6.4. Bakır satış fiyatları	72
3.6.5. Türkiye'de bakır madenciliği	73
4. ELE ALINAN MADENLER İÇİN YAPILAN ARAZİ ÇALIŞMALARI	75
4.1. Pınarbaşı-Pulpınar Yeraltı Kromit Madeni'nde Yapılan Çalışmalar	75
4.1.1. Madenin yeri	75
4.1.2. İşletmenin tanıtılması	75

4.1.3. Ocağın jeolojisi	77
4.1.3.1. Yerüstü sondajlarının karot randımanları	78
4.1.3.2. Yeraltı sondajlarının karot randımanları	78
4.1.4. Üretim yöntemi	78
4.1.5. Cevher hazırlama işlemleri	85
4.1.6. Cevherin kullanım alanları	91
4.1.7. Madenin projeksiyonu	91
4.1.8. Maliyetler, randımanlar, malzeme tüketimi	93
4.1.9. Numune alınması	96
4.1.10. Yerinde yapılan deneyler	97
4.1.10.1. Schmidt Çekici deneyleri	97
4.2. Mihallıççık-Kavak Yeraltı Kromit Madeni'nde Yapılan Çalışmalar	101
4.2.1. Madenin yeri	101
4.2.2. İşletmenin tanıtılması	101
4.2.3. Ocağın jeolojisi	102
4.2.4. Üretim yöntemi	103
4.2.5. Cevher hazırlama işlemleri	107
4.2.6. Madenin projeksiyonu	109
4.2.7. Maliyetler, malzeme tüketimi	109
4.2.8. Numune alınması	109
4.2.9. Yerinde yapılan deneyler	110
4.3. Parkteknik Beypazarı Trona Madeni'nde Yapılan Çalışmalar	112
4.3.1. Madenin yeri	112
4.3.2. İşletmenin tanıtılması	112
4.3.3. Ocağın jeolojisi	113
4.3.4. Sahada yer alan soda damarları ve yan kayaçların jeomekanik özellikleri	115
4.3.5. Beypazarı doğal soda sahasının maden işletmeciliği açısından değerlendirilmesi	115
4.3.6. Üretim yöntemi	116
4.3.7. Numune alınması ve yerinde yapılan deneyler	117
4.4. Çayeli Bakır Madeni'nde Yapılan Çalışmalar	117
4.4.1. Madenin yeri	117
4.4.2. İşletmenin tanıtılması	117
4.4.3. Ocağın jeolojisi	118
4.4.4. Üretim yöntemi	119
4.4.5. Cevher hazırlama işlemleri	120
4.4.6. Numune alınması	121

5. ELE ALINAN MADENLER İÇİN YAPILAN LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	122
5.1. Laboratuvarda Kullanılan Alet ve Ekipmanların Tanımı ve Özellikleri	122
5.1.1. Kaya mekaniği test ekipmanları	122
5.1.2. Kazı mekaniği test ekipmanları	126
5.1.2.1. Doğrusal kesme deney ekipmanı	127
5.1.2.2. Doğrusal kesme deney yöntemi	132
5.1.2.2. Doğrusal kesme deney parametreleri	133
5.2. Yapılan Deneyler ve Testlerden Elde Edilen Veriler	136
5.2.1. Kaya mekaniği test verileri	136
5.2.1.1. Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni kaya mekaniği test verileri	136
5.2.1.2. Kavak kromit madeni kaya mekaniği test verileri	137
5.2.1.3. Beypazarı trona madeni kaya mekaniği test verileri	138
5.2.1.4. Çayeli bakır madeni kaya mekaniği test verileri	139
5.2.1.5. Barit maden selestit kaya mekaniği test verileri	139
5.2.2. Kazı mekaniği test verileri	140
5.2.2.1. Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeninden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri	140
5.2.2.2. Kavak kromit madeninden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri	146
5.2.2.3. Beypazarı tronadan alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri	150
5.2.2.4. Çayeli bakır madeninden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri	153
5.2.2.5. Barit maden selestit ocağından alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri	156
5.3. Laboratuvarda Yapılan Kesme Deneylerinin Elek Analizleri	158
5.3.1. Kırılmalık ve pasa irilik katsayısı (PİK)	158
5.3.2. Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni kesme deneylerinin elek analizleri	159
5.3.2.1. Kesme deneyi yapılan roş 1 ve roş 2 cevherinin elek analizi verileri	160
5.3.2.2. Kesme deneyi yapılan harsburjit yankayacının elek analizi verileri	168
5.3.3. Kavak kromit madeni laboratuvar kesme deneylerinin elek analizleri	173
5.3.3.1. Kesme deneyi yapılan Kavak cevherinin elek analizi verileri	173
5.3.3.2. Kesme deneyi yapılan Kavak serpantin yankayacının elek analizi verileri	176
5.3.4. Kesme deneyi yapılan Beypazarı trona cevherinin elek analizi verileri	180
5.4. Elde Edilen Verilerin Analizi ve Yorumlanması	184

5.4.1. Ele alınan madenler için yapılan testlerden elde edilen verilerin birlikte irdelenmesi	184
5.4.1.1. Üç ayrı tenöre sahip kromit cevherinin kesme deney sonuçlarının analizi	185
5.4.1.2. Krom, trona, selestit, bakır, harsburjit, serpantin, jips ve anhidrit numunelerinin kesme deney sonuçlarının analizi	189
5.4.1.3. Kesme deneyleri sonucunda elde edilen pasaların analizi	193
6. ELE ALINAN CEVHERLER İÇİN MEVCUT ÜRETİM YÖNTEMLERİ İLE UYGULANABİLECEĞİ DÜŞÜNÜLEN MEKANİZE KAZI SİSTEMLERİNİN ÜRETİM AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI	197
6.1. Yapılan Laboratuvar Deneylerinden Performans Tahmini	197
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	205
KAYNAKLAR	209
EKLER	220
ÖZGEÇMİŞ	295

KISALTMALAR

A.Ş.	: Anonim Şirketi
A/D	: Analog/Dijital
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABLS	: Alpin Kırılma Zonu Tahkimatı
ANFO	: Amonyum Nitrat +%6 Fuel Oil
AOD	: Argon-Oksijen-Dekarbürizasyon
ASTM	: Amerikan Standartları
AT	: Avrupa Topluluğu
AV	: P ve S Dalgaları
B	: Belirsiz
BS	: İngiliz Standartları
BTS	: Çekme Dayanımı
By	: Bilgi yok
CAI	: Cerchar Aşındırıcılık İndeksi
CM	: Sürekli Kazıcı
COMEX	: New York Metal Borsası
d	: Kesme Derinliği
DSS	: Direk Kesme Dayanımı
E	: Elastisite Modülü
E.İ.E.İ.	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ELE 3000	: Elektro-Hidrolik Test Makinası
F°C	: En Büyük Kesme Kuvvetlerinin Ortalaması
F°N	: En Büyük Normal Kuvvetlerin Ortalaması
FC	: Ortalama Kesme Kuvvetleri
FN	: Ortalama Normal Kuvvetler
FOB	: Free On The Board, Limana Teslim
G.L.İ.	: Garp Linyitleri İşletmesi
G.Ü.G.	: Genel Üretim Giderleri
GATT	: Ortak Gümrük Tarifesi
ICR	: Net Kazı Hızı
IH	: Hidrolik Kırıcı
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
İ.T.Ü.	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KBİ	: Karadeniz Bakır İşletmeleri
KDV	: Katma Değer Vergisi
KGAM	: Kısmi Cepheli (Kollu) Tünel/Galeri Açma Makinesi
LCM	: Doğrusal Kazı Seti
LHD	: Load-Haulage-Dump (Yükle-Taşı-Boşalt)
LME	: Londra Metal Borsası
LVDT	: Doğrusal Değişkenli Veri İletici
M. K.	: Mustafa Kemal
M.Ö.	: Milattan Önce

Md	: Makine Ölü Zamanı
MRS	: Paletli Kalkan Tahkimat
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
MU	: Makineden Faydalanma Oranı
N	: Numune
Nc	: Net Kazı Hızı
NX	: 55mm Çapında, 110mm Boyunda Karot Numune
PC	: Kişisel Bilgisayar
Pc	: Ortalama Kesici Uç Sarfıyatı
PİK	: Pasa İrilik Katsayısı
PL	: Nokta Yük İndeksi
PLC	: Proglamlanabilir Mantıksal Kontrol
PPI	: Delinebilirlik İndeksi
Pr	: Ortalama İlerleme Hızı
PUNDIT	: P ve S Dalgaları Test makinesi
Q	: Pasa Hacmi
RMCI	: Kayaç Kütlesi Kazılabilirlik İndeksi
RMR	: Kayaç Kütle İndeksi
RQD	: Kayaç Kalite İndeksi
s	: Keskiler Arası Mesafe
S.S.	: Standart Sapma
s/d	: Keskiler Arası Mesafe/Kesme Derinliği
S35/80H	: Bir Sandvik Marka Keski
SE	: Spesifik Enerji
SHRV	: Schmidt Çekici Sertlik Değeri
SMS100	: Mekanik Düz Takımlı Sondaj Makinesi (Küçük Boyutlu)
SMS750	: Mekanik Düz Takımlı Sondaj Makinesi
T.A.O.	: Türk Anonim Ortaklığı
T.S.	: Türk Standartları
TBM	: Tam Cepheli Tünel/Galeri Açma Makinesi
Tic.	: Ticaret
TS	: Üç Eksenli Basınç Dayanımı
Tur.	: Turizm
TV	: Televizyon
UCS	: Basınç Dayanımı
vb.	: Ve Benzeri

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Kazı sistemleri için geliştirilen çalışma metodu.....	6
Tablo 1.2. Fiziksel özellik testlerinin amacı.....	7
Tablo 1.3. Bu çalışma için uygulanan deneysel çalışma metodu	7
Tablo 2.1. Kollu makinelerin ağırlığa göre sınıflandırılması.....	14
Tablo 2.2. Performansı etkileyen mekanik faktörler	22
Tablo 2.3. Performansı etkileyen jeoteknik faktörler.....	22
Tablo 2.4. Performansı etkileyen işletme faktörleri.....	23
Tablo 2.5. Veri bankasındaki bilgilerin sınıflandırılması.....	30
Tablo 3.1. Türkiye maden endüstrisi hakkında bazı bilgiler.....	43
Tablo 3.2. Türkiye mineral endüstrisi özeti.....	45
Tablo 3.3. Cevherlerin cinsine, boyut aralığına ve kullanım alanlarına göre satış fiyatları.....	46
Tablo 3.4. Kromun özellikleri.....	49
Tablo 3.5. Metalurji sanayinde kullanılan kromun özellikleri.....	52
Tablo 3.6. 1999-2000 Dünya kromit cevheri üretimi.....	53
Tablo 3.7. Krom metalik cevher 1999 yılı konsantre fiyatları.....	54
Tablo 3.8. Kromitin 1940-1998 yılları arasındaki fiyat değişimleri.....	54
Tablo 3.9. Türkiye krom cevherlerinin kullanım alanlarına göre özellikleri.....	55
Tablo 3.10. Doğal soda mineralleri.....	56
Tablo 3.11. Tipik bir trona cevherinin kompozisyonu.....	57
Tablo 3.12. TSE 525 soda standartları.....	60
Tablo 3.13. Soda külünün Türkiye'de kullanım alanları.....	62
Tablo 3.14. Stronsiyum karbonat ve nitrat üretimi için istenen özellikler.....	64
Tablo 3.15. Stronsiyum karbonatın son kullanım alanlarına göre tüketimi...	66
Tablo 3.16. Bakırın özellikleri.....	68
Tablo 3.17. Flaş izabe tesislerinde kullanılabilecek bakır konsantresi standardı.....	70
Tablo 3.18. Sektörlere göre bakır tüketim yüzdesi.....	72
Tablo 4.1. Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeninde yıllara göre tüvenan kromit üretimi.....	76
Tablo 4.2. Tüvenan cevherin triyaj ve jig tesisine beslenmesiyle alınan ürünlerin yüzdesi.....	89
Tablo 4.3. Banu kuyu kapasitesi ve iş programı.....	92
Tablo 4.4. Rıfat kuyu kapasitesi ve iş programı.....	92
Tablo 4.5. Kümülatif randımanlar tablosu.....	93
Tablo 4.6. Ocak-Ağustos 2000 tarihiyle malzeme tüketim tablosu.....	94
Tablo 4.7. Ocak-Ağustos 2000 Banu ocağı üretim maliyet föyü.....	95
Tablo 4.8. Schimidt Çekici deneyi yapılan yerler ve ölçülen değerler.....	99

Tablo 4.9.	Kavak yeraltı kromit madeni yıllara göre tüvenan kromit üretimi.....	102
Tablo 4.10.	Birim ton başına malzeme giderleri.....	109
Tablo 4.11.	L ve N tipi Schmidt Çekici deneyi yapılan yerler ve ölçülen değerler.....	111
Tablo 4.12.	Doğal soda damarlarının sektörlere göre kalınlık değişimi.....	114
Tablo 4.13.	Trona cevher kayacı Schmidt Çekici deney sonuçları.....	117
Tablo 5.1.	Kayaçların Cerchar aşınma indeksine göre sınıflanması.....	125
Tablo 5.2.	Doğrusal kesme deney parametreleri.....	133
Tablo 5.3.	Roş 1, roş 2 ve harsburjit kaya mekaniği deney sonuçları.....	137
Tablo 5.4.	Kavak cevher ve serpantin yankayacı için yapılan kaya mekaniği deneyleri ortalama sonuçları.....	138
Tablo 5.5.	Trona cevher kayacı için yapılan kaya mekaniği deneyleri ortalama sonuçları.....	138
Tablo 5.6.	Çayeli bakır madeni kaya mekaniği sonuçları.....	139
Tablo 5.7.	Barit maden selestit cevheri kaya mekaniği sonuçları.....	139
Tablo 5.8.	Roş 1 ve roş 2 numunelerinin kesme deneyi sonuçları.....	141
Tablo 5.9.	Harsburjit yankayaç numunesinin kesme deneyi sonuçları.....	144
Tablo 5.10.	Kavak cevher kayacı kesme deneyi sonuçları.....	147
Tablo 5.11.	Kavak serpantin yankayacı kesme deneyi sonuçları.....	149
Tablo 5.12.	Trona kesme deneyi sonuçları.....	151
Tablo 5.13.	Çayeli bakır sarı ve siyah cevher kesme deneyi sonuçları.....	153
Tablo 5.14.	Barit maden selestit, anhidrit, jips kesme deneyi sonuçları.....	156
Tablo 5.15.	Örnek bir pasa irilik katsayısı hesap cetveli.....	159
Tablo 5.16.	Roş 1 ve roş 2 cevherleri elek analizi sonuçları.....	160
Tablo 5.17.	Roş 1 cevheri, d=10mm'de elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	161
Tablo 5.18.	Roş 1 cevheri, d=5mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	163
Tablo 5.19.	Roş 2 cevheri, d=10mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	165
Tablo 5.20.	Roş 2 cevheri, d=5mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	167
Tablo 5.21.	Harsburjit yankayacı elek analiz sonuçları.....	168
Tablo 5.22.	Harsburjit, d=5mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	169
Tablo 5.23.	Harsburjit, d=9mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	171
Tablo 5.24.	Kavak cevher numunesi elek analizi sonuçları.....	173
Tablo 5.25.	Kavak Cevheri, d=5mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	173
Tablo 5.26.	Kavak cevheri, d=9mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	174
Tablo 5.27.	Kavak serpantin yankayaç numunesi elek analizi sonuçları.....	177
Tablo 5.28.	Kavak serpantin, d=5mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	178
Tablo 5.29.	Kavak serpantin, d=9mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	180
Tablo 5.30.	Trona d=5 ve 9mm elek analizi sonuçları.....	180

Tablo 5.31.	Trona U4 cevheri d=9mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	181
Tablo 5.32.	Trona U4 cevheri d=5mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri.....	183
Tablo 5.33.	Kromit madenleri kaya ve kazı mekaniği parametreleri ile % tenör değerleri.....	185
Tablo 5.34.	Ele alınan madenlerin kaya ve kazı mekaniği parametreleri ile % tenör değerleri.....	189
Tablo 6.1.	Yardımlı kesme durumundaki kesme deneylerinin özeti ve performans tahminleri.....	200
Tablo 6.2.	Ele alınan cevher kayacı ve yankayaçların kaya mekaniği parametreleri.....	202
Tablo 6.3.	Yüksek içerikli kromit optimum koşullarda elde edilen pasa boyut dağılımı.....	203



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Çalışma yöntemi.....	4
Şekil 2.1 : SE-parça boyutu açısından kazı sistemleri arasındaki ilişki.....	9
Şekil 2.2 : Tünel uzunluğuna bağlı olarak kazı maliyetinin değişimi.....	10
Şekil 2.3 : Klasik-mekanize kazı karşılaştırması.....	11
Şekil 2.4 : İki keski arasında kalan köprü.....	12
Şekil 2.5 : Bir kollu makine ve üniteleri.....	14
Şekil 2.6 : Kesici kafa gücü ile makine ağırlığı arasındaki ilişki.....	15
Şekil 2.7 : Spiral ve tambur tipi kesici kafalar.....	16
Şekil 2.8 : Bir kollu makine uygulamasında kazı performansını etkileyen ana parametreler.....	21
Şekil 2.9 : Kazı sırasında konik bir keskiye gelen kuvvetler ile yardımcı ve yardımcı kesme durumu.....	29
Şekil 2.10 : Magma bakır madeninde kullanılan TBM'in çalışma alanı plan görünümü.....	34
Şekil 2.11 : Magma bakır madeninde kullanılan TBM.....	34
Şekil 2.12 : East Carlin Altın Madeni, KGAM çalışma alanının plan görünümü.....	36
Şekil 2.13 : Paletli kalkan tahkimat.....	38
Şekil 2.14 : ABLS ve sürekli kazıcı kullanılarak bırakılan topukların alınması.....	38
Şekil 2.15 : Topuklar arası yolların hazırlandığı ve sağ-sol topukların beraberce alındığı sürekli kazıcı ve ABLS uygulaması.....	39
Şekil 2.16 : Değişik uygulanan 5 ayrı modelin üretim hızlarındaki değişim...	40
Şekil 2.17 : Topuklar arası yolların önceden hazırlanmadığı durumda yapılan uygulama (Model 4).....	40
Şekil 2.18 : Merdiven şeklinde hareket ederek göçük tarafındaki topukların alınması.....	41
Şekil 3.1 : Türkiye'deki bazı mineral ve maden yataklarının dağılımı.....	44
Şekil 4.1 : Pınarbaşı-Pulpınar yeraltı kromit madeni yerbulduru haritası.....	75
Şekil 4.2 : Rıfat ocağı kesit görünümü.....	79
Şekil 4.3 : Aynadan üretilen cevher LHD'lerle fereye taşınıyor.....	79
Şekil 4.4 : Suni tavan uygulaması.....	81
Şekil 4.5 : Dolgu öncesi soloların ve kamaların dolgu bacalarının tabanına yerleştirilmesi.....	81
Şekil 4.6 : 0,5 m aralıklı dolgu arasına yerleştirilmiş yatay kamaların görünümü.....	82
Şekil 4.7 : Kuyu ana kat girişi hazırlık galerileri.....	82
Şekil 4.8 : Taban yolunda üretilen cevher fere ağzından vagona boşaltılıyor.....	84
Şekil 4.9 : Banu kuyusunun yerüstü çıkış ağızı.....	85

Şekil 4.10	: Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni cevher hazırlama akım şeması.....	86
Şekil 4.11	: Triyaj tesisi girişindeki ızgara.....	87
Şekil 4.12	: Spiral klasifikatör.....	87
Şekil 4.13	: Triyaj bandı.....	88
Şekil 4.14	: Jig tesisi.....	90
Şekil 4.15	: Rıfat ocağı roş 1 numune resimleri.....	96
Şekil 4.16	: Schmidt Çekici ve kesiti.....	97
Şekil 4.17	: Schmidt Çekici abağı.....	98
Şekil 4.18	: Mihallıçık-Kavak yeraltı kromit madeni yerbulduru haritası.....	101
Şekil 4.19	: Cevher yüklemede kullanılan loderler.....	104
Şekil 4.20	: Loderlerle cevher yüklenmiş vagonlar.....	104
Şekil 4.21	: Skip nakliyatı yakından görüntüsü.....	105
Şekil 4.22	: Çamaşırlık kuyusu.....	105
Şekil 4.23	: Yeraltındaki dahili kuyu vinci.....	105
Şekil 4.24	: Desandre ile Erenler Ocağı'na giriş.....	106
Şekil 4.25	: Kavak kromit madeni konsantratör akım şeması.....	108
Şekil 4.26	: Kavak kromit madeninden alınan cevher numunesi resmi.....	110
Şekil 4.27	: Beypazarı trona yatakları.....	112
Şekil 4.28	: Çayeli bakır madeni yerbulduru haritası.....	118
Şekil 4.29	: Çayeli bakır işletmesi üretim plan görünümü.....	119
Şekil 4.30	: Katlar içinde üretim.....	120
Şekil 4.31	: Katlar arası üretim.....	120
Şekil 5.1	: ELE 3000 Elektro-hidrolik test makinesi, yük hücresi ve LVDT-yazıcı.....	122
Şekil 5.2	: Statik elastisite modülü gerilme-deformasyon grafiği.....	123
Şekil 5.3	: Pundit deney setinin tanıtılması ve bağlantı düzeneği.....	124
Şekil 5.4	: Cerchar aşındırıcılık indeksi deney düzeneği.....	126
Şekil 5.5	: Bir konik keskiye etkiyen ortogonal kuvvetler.....	127
Şekil 5.6	: Tam ölçekli doğrusal kesme deney setinin genel görünüşü.....	128
Şekil 5.7	: Tam ölçekli doğrusal kesme deney setinin şematik görünüşü.....	129
Şekil 5.8	: Keski tutucu, keski ve dinamometre sistemi.....	130
Şekil 5.9	: Şematik olarak veri işleme sistemi.....	131
Şekil 5.10	: Örnek bir kesme verisinin grafiksel görünümü.....	131
Şekil 5.11	: S-35/80H konik keskinin teknik resmi ve fotoğrafı.....	134
Şekil 5.12	: Bir spiralli kesme düzeni.....	134
Şekil 5.13	: İki spiralli kesme düzeni.....	135
Şekil 5.14	: Elek analizinde kullanılan elekler.....	135
Şekil 5.15	: Elde edilen karot numunelerin toplu halde görünümü.....	136
Şekil 5.16	: Beypazarı trona karot numuneleri.....	138
Şekil 5.17	: Çayeli bakır cevher kayacından alınan karotlar.....	139
Şekil 5.18	: Kesme deneyleri yapılan roş 1A, roş 1B ve roş 2A, roş 2B numuneleri.....	140
Şekil 5.19	: Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 ve roş 2 kesme kuvveti-s/d arasındaki ilişki.....	142
Şekil 5.20	: Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 ve roş 2 normal kuvvet-s/d arasındaki ilişki.....	142
Şekil 5.21	: Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 ve roş 2 spesifik enerji-s/d arasındaki ilişki.....	143
Şekil 5.22	: Laboratuvara getirilen harsburjit yankayaç numuneleri.....	143

Şekil 5.23	: Kesme deneyleri yapılmış harsburjit yankayaç numunesi.....	144
Şekil 5.24	: Pınarbaşı-Pulpınar harsburjit kesme kuvveti-s/d arasındaki ilişki.....	145
Şekil 5.25	: Pınarbaşı-Pulpınar harsburjit normal kuvvet-s/d arasındaki ilişki.....	145
Şekil 5.26	: Pınarbaşı-Pulpınar harsburjit spesifik enerji-s/d arasındaki ilişki.....	146
Şekil 5.27	: Kavak cevher numunesi için yapılan kesme deneyleri.....	146
Şekil 5.28	: Kavak cevher kayacı kesme ve normal kuvvetlerle-s/d arasındaki ilişki.....	147
Şekil 5.29	: Kavak cevher kayacı spesifik enerji-s/d arasındaki ilişki.....	148
Şekil 5.30	: Kavak serpantin yankayacı üzerinde yapılan deneyler.....	148
Şekil 5.31	: Kavak serpantin kesme ve normal kuvvetler-s/d arasındaki ilişki.....	149
Şekil 5.32	: Kavak serpantin spesifik enerji-s/d arasındaki ilişki.....	150
Şekil 5.33	: Kesme deneyi yapılmış trona numunesi.....	151
Şekil 5.34	: Trona cevheri için spesifik enerji s/d ilişkisi.....	152
Şekil 5.35	: Trona cevheri için kesme normal kuvvetlerle s/d ilişkisi.....	152
Şekil 5.36	: Çayeli bakır sarı ve siyah cevher, kesme derinliği ile yardımsız durumdaki kesme ve normal kuvvetler arasındaki ilişki.....	154
Şekil 5.37	: Çayeli bakır sarı ve siyah cevher, kesme derinliği ile yardımsız durumdaki spesifik enerjiler arasındaki ilişki.....	154
Şekil 5.38	: Çayeli bakır siyah ve sarı cevher s/d ile kesme ve normal kuvvetlerin ilişkisi.....	155
Şekil 5.39	: Çayeli bakır siyah ve sarı cevher s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişki.....	155
Şekil 5.40	: Selestit, jips, anhidrit kesme ve normal kuvvetlerle s/d arasındaki ilişki.....	157
Şekil 5.41	: Selestit, anhidrit, jips s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişki.....	157
Şekil 5.42	: Roş 1 d=10 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	161
Şekil 5.43	: Roş 1 d=10 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki.....	162
Şekil 5.44	: Roş 1 d=10 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki.....	162
Şekil 5.45	: Roş 1 d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki...	163
Şekil 5.46	: Roş 1 d=5 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki.....	164
Şekil 5.47	: Roş 1 d=5 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki.....	164
Şekil 5.48	: Roş 2 d=10 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.	165
Şekil 5.49	: Roş 2 d=10 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki.....	166
Şekil 5.50	: Roş 2 d=10 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki.....	166
Şekil 5.51	: Roş 2 d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki...	167
Şekil 5.52	: Roş 2 d=5 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki.....	167
Şekil 5.53	: Roş 2 d=5 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki.....	168
Şekil 5.54	: Harsburjit d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	169
Şekil 5.55	: Harsburjit d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki.....	170

Şekil 5.56	: Harsburjit d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki.....	170
Şekil 5.57	: Harsburjit d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	171
Şekil 5.58	: Harsburjit d=9 mm için s/d ile SE arasındaki ilişki.....	172
Şekil 5.59	: Harsburjit d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki.....	172
Şekil 5.60	: Kavak cevher d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	174
Şekil 5.61	: Kavak cevher d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki.....	174
Şekil 5.62	: Kavak cevher d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki.....	175
Şekil 5.63	: Kavak cevher d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	175
Şekil 5.64	: Kavak cevher d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	176
Şekil 5.65	: Kavak cevher d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki.....	176
Şekil 5.66	: Kavak serpantin yankayacı d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	177
Şekil 5.67	: Kavak serpantin yankayacı d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki.....	178
Şekil 5.68	: Kavak serpantin yankayacı d=5 mm için SE ile PİK arasındaki ilişki.....	178
Şekil 5.69	: Kavak serpantin d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	179
Şekil 5.70	: Kavak serpantin yankayacı d=9 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki.....	179
Şekil 5.71	: Kavak serpantin yankayacı d=9 mm için SE ile PİK arasındaki ilişki.....	180
Şekil 5.72	: Trona U4 cevheri d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	181
Şekil 5.73	: Trona U4 cevheri d=9 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki.....	182
Şekil 5.74	: Trona U4 cevheri d=9 mm için SE ile PİK arasındaki ilişki.....	182
Şekil 5.75	: Trona U4 cevheri d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki.....	183
Şekil 5.76	: Trona U4 cevheri d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki.....	183
Şekil 5.77	: Trona U4 cevheri d=5 mm için SE ile PİK arasındaki ilişki.....	184
Şekil 5.78	: Pasa irilik katsayısı ile krom yüzdeleri arasındaki ilişki.....	186
Şekil 5.79	: Roş 1, roş 2 ve Kavak cevher numuneleri SE ve s/d değerleri arasındaki ilişki.....	186
Şekil 5.80	: Üç ayrı kromit cevherinin UCS*BTS ile SEopt değerleri arasındaki ilişki.....	187
Şekil 5.81	: Kromit cevheri için UCS*BTS ile SEyard değerleri arasındaki ilişki.....	188
Şekil 5.82	: Kromit ve trona cevheri için UCS*BTS ile SEopt değerleri arasındaki ilişki.....	190
Şekil 5.83	: Kromit ve trona cevheri için UCS*BTS ile SEyard değerleri arasındaki ilişki.....	191

Şekil 5.84	: Üç ayrı kromit ve bir trona cevher kayaçları ile harsburjit ve serpantin yankayaçları için SEopt ile UCS*BTS arasındaki ilişki.....	191
Şekil 5.85	: Kesme deneyi yapılan tüm numuneler için UCS×BTS ile SE arasındaki ilişki.....	193
Şekil 5.86	: Roş 1, roş 2 ve Kavak cevher numuneleri için PİK ile SE arasındaki ilişki.....	194
Şekil 5.87	: Üç ayrı kromit cevheri için d=5 mm ve 10 mm’de yapılan deneylerden elde edilen PİK ve SE değerleri arasındaki ilişki.....	194
Şekil 5.88	: SE, PİK, Q ve s/d arasındaki ilişkiyi gösteren genelleştirilmiş 4’lü grafik.....	195
Şekil 6.1	: Kesme derinliğine (d) bağlı olarak kesme kuvveti (FC) ve pasanın (Q) değişimi.....	198
Şekil 6.2	: Cerchar aşındırıcılık indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki..	201

SEMBOL LİSTESİ

\$/ton	: Dolar/ton
%	: Yüzde
ε	: Birim deformasyon
$^{\circ}$	: Derece
α	: Kesme açısı
Ψ	: Meydana gelen kırılma çatlağı ile yüzey arasındaki açı
π	: Pi
γ	: Poisson oranı,
λ, ϕ	: Kayacın içsel sürtünme açısı
σ_c	: Kayacın tek eksenli basınç dayanımı
VL	: Karotlardaki boy kısalması
σ_{max}	: En büyük gerilme
ϕ_s, γ	: Kayaç ile keski arasındaki sürtünme açısı
τ	: Kesme dayanımı
σ_t	: Çekme dayanımı
$2\phi, 2\theta$	: Keski uç/tepe açısı
Arctg	: Arctanjant
cm	: Santimetre
Cos	: Cosinüs
Cotg	: Cotanjant
Cr/Fe	: Krom/demir oranı
d	: Kesme derinliği
E_D	: Dinamik elastisite modülü
E_s	: Statik elastisite modülü
F	: Keskinin kayaca batması için uygulanan kuvvet
F^*C	: En büyük kesme kuvvetlerinin ortalaması
F^*N	: En büyük normal kuvvetlerin ortalaması
F_c	: Kesme kuvveti
FC	: Ortalama kesme kuvvetleri
FN	: Ortalama normal kuvvetler
GPa	: Gicapascal
h, s	: Saat
Hz	: Hertz
kg/cm²	: Kilogram/santimetrekare
kN	: Kilonewton
kWh/m³	: Kilowat-saat/metreküp
m	: Metre
m³/km	: Metreküp/kilometre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal

Mton	: Milyonton
Q	: Birim mesafedeki pasa hacmi
R²	: Korelasyon katsayısı
SE	: Birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan kesme kuvvetinin oluşturduğu enerji
SE_{opt}	: Optimum koşullardaki spesifik enerji değeri
Sin	: Sinüs
sn	: Saniye
t/gün	: Ton/gün
Tg	: Tanjant
V	: Hız
yd³	: Yardaküp



KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİNİN VEYA BENZER MAKİNELERİN CEVHER KAZISINDA KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Son zamanlarda tüm dünyada oluşan eğilimler, çevresel kısıtlamalar ve diğer piyasa şartları madencilik şirketlerini daha karlı ve rekabet edebilir olmaya zorlamıştır. Karlı işletmeciliğin yollarından biri, cevher üretimi ve galeri kazısı aşamasında kollu makineler, sürekli kazıcılar, hidrolik kırıcılar ve tam cephe tünel açma makineleri gibi mekanik kazıcılar kullanmaktır. Bu makinelerle sürekli kazı işlemi gerçekleştirilebildiği için mekanik kazıcılarla donatılmış madenlerde üretim maliyetlerinin düşeceği, verimliliğin ve rekabet gücünün artacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma, Devlet Planlama Teşkilatı tarafından desteklenen bir araştırma projesinin parçasıdır. Ayrıca, İ.T.Ü. Araştırma Fon Saymanlığı tarafından bir proje ile desteklenmiştir. Çalışmada, Türkiye madencilik endüstrisi, rezervler, üretimleri, ithalat ve ihracat, organizasyon ve mekanik kazıcıların geçmişteki üretimleri açısından özetlenmiştir.

Çalışmanın ana amacı, Türkiye'nin bazı yeraltı madenlerinde cevher üretimi aşamasında hızlı kazı teknolojilerinin kullanımının mümkün olup olmadığını araştırmaktır. Bunun için Türkiye madencilik endüstrisi genel olarak gözden geçirilmiştir. Bir çok maden ziyaret edilmiş ve madenler hakkında bilgi toplanmıştır. Bu madenlerin bazılarından 11 büyük kayaç bloğu alınmış ve kesilebilirlik özelliklerini belirlemek ve üretim hızı tahminleri yapmak için tam boyutlu laboratuvar kesme deneylerine tabi tutulmuştur.

Araştırma sırasında öncelikle, konu hakkında literatür çalışması yapılmış ve daha önce cevher kazısında kullanılan kollu makinelerin performansları, çalışma koşulları hakkında bilgi verilmiştir. Piyasa şartlarında ne gibi standartlar (cevher boyut dağılımı, tenör, fiyat vb.) arandığı belirlenmiştir.

Bundan sonra çalışma konusuna uygun olan madenler seçilmiş, arazide ve laboratuvar da bir dizi araştırma faaliyetleri yapılmıştır.

Arazide yapılan çalışmalar; işletme hakkında bilgi toplama, yerinde yapılan deneyler ve numune alma gibi ana başlıklar altında toplanmışlardır. İşletmenin kime ait olduğu, coğrafi konumu, bulduru haritası, cevher yatağının tipi ve jeolojisi, işletmenin tanıtımı başlığı altında ele alınmıştır. Yerinde yapılan deneyler de Schmidt Çekici'dir. Ocak içerisinde cevher kayası ve yankayaç üzerinde belirlenen değişik noktalarda Schmidt Çekici testi uygulanmış ve sertlik değerleri belirlenmiştir. Son olarak da ocağı temsil eden cevher numuneleri, kazı aynalarından ve yankayaç numuneleri de hazırlık galerilerinden alınmıştır.

Laboratuvar da yapılan deneyler ise kazı mekaniği deneyleri ve kaya mekaniği deneyleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır:

Kazı mekaniği deneyleri; gerçek boyutta keskinlerin kullanıldığı “doğrusal kazı seti” (LCM) ile yapılan kesme deneyleri ve bu deneylerde elde edilen pasalar için yapılan elek analizleridir.

Kaya mekaniği deneyleri ise basınç dayanımı (UCS), çekme dayanımı (BTS), dinamik elastisite modülü deneyi, statik elastisite modülü deneyi ve Cerchar aşındırıcılık deneyi olarak beş başlık altında toplanmıştır.

Yapılan kaya mekaniği deneyleri sonucunda ele alınan madenlerin basınç dayanımları 29 - 82 MPa, çekme dayanımları 2,2 - 5,7 MPa, statik elastik modülleri 3,5 - 2,1 GPa, dinamik elastik modülleri 3,7 - 76,4 GPa, Schmidt çekici sertlik değerleri 28 - 59, Cerchar aşındırıcılık indeksi değerleri 0,8 - 3 arasında değişmektedir. Bieniawski'nin 1989'da yaptığı sınıflamaya göre bu cevher kayacı ve yankayaçlar orta sert ve sert kayaç grubuna girmektedirler.

Tam boyutlu kesme deneyleri, değişik keskinler arası mesafe ve kesme derinliklerinde pratikte kullanılan bir keskiye etki eden kesme kuvvetlerini ve birim hacimdeki kayacı kazmak için gerekli olan spesifik enerjiyi ölçmek için kullanılmaktadır. Optimum spesifik enerji değerleri (kWh/m^3) ise s/d'nin belli değerlerinden bulunur. Bu değerler mekanik kazıcıların performans tahminlerinde kullanılır.

Yapılan kesme deneyi sonucunda elde edilen verilere göre ele alınan kayaçların optimum keskinler arası mesafe/kesme derinliği oranı 2 - 5 arasında, optimum spesifik enerji değerleri ise 2,7 - 9,2 kWh/m^3 arasında değişmektedir. Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni için yapılan hesaplamalar örnek olarak alındığında, eğer 100 kW'lık kesici kafa gücüne sahip bir kollu makine kullanılırsa, bu optimum değerler yıllık 345 612 t/yıl cevher üretimine karşılık gelmektedir. Ancak kromit madeninde en önemli üretim faktörlerinden biri parça boyutudur. Yüksek içerikli ve iri boyutlu cevherler daha yüksek fiyatlarla satılabilmektedir. Bu amaçla 33 kW'lık bir güce sahip hidrolik kırıcı kullanılarak yapılacak kazıda ise iri boyutlarda 328 956 t/yıl cevher üretimi yapılabileceği anlaşılmıştır.

Bu çalışma, metal madenlerinde mekanik kazıcı kullanıldığında halihazırda kullanılan üretim yöntemlerine nazaran yaklaşık 2 - 3 kat daha fazla cevher kazısının verimli bir şekilde yapabileceğini göstermiştir.

Geçmişte yapılan bazı çalışmalar, kazılan kayacın kırılgenliğinin basınç dayanımı ile çekme dayanımının çarpımı ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Altındağ, 2000 senesinde, kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasında oluşan doğrusal ilişki grafiğinin altında kalan alanın kayaç kırılgenliğinin bir fonksiyonu olarak kullanılabildiğini ifade etmiştir. Bu alan bir dik üçgen alanı olduğundan ($\text{UCS} \times \text{BTS}/2$) olarak denkleştirilmiştir.

Bu çalışmalar göz önünde bulundurularak, ele alınan madenler için yapılan kazı mekaniği deneyleri sonucunda tespit edilen optimum spesifik enerji değerleri ile kaya mekaniği deneyleri sonucunda belirlenen basınç dayanımı $\times$ çekme dayanımı parametreleri arasında oldukça yüksek korelasyonlu ($R^2=0,86$) bir ilişki olduğu saptanmış ve (1) eşitliği ile ifade edilmiştir.

$$SE_{\text{opt}} = 0,027 (\text{UCS} \times \text{BTS}) + 0,67 \quad (1)$$

Doğrusal kazı seti ile yüksek, normal ve düşük içerikli kromit numuneleri üzerinde yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen kazı enerjisi (SE) ile elek analizi yapılması (25, 8, 2, 0.5, 0.125 mm elekler) sonucu elde edilen pasa irilik katsayısı

(PİK) beraberce irdelendiğinde, aralarında oldukça yüksek korelasyonlu lineer ve ters orantılı bir ilişki olduğu belirlenmiş ve (2), (3), (4) eşitlikleri ile ifade edilmiştir.

d=5-10 mm de yüksek içerikli kromit için ($R^2=0,91$);

$$SE = -0,057(PİK) + 27,54 \quad (2)$$

d=5-10 mm de normal içerikli kromit için ($R^2=0,79$);

$$SE = -0,075(PİK) + 39,73 \quad (3)$$

d=5-9 mm de düşük içerikli kromit için ($R^2=0,92$);

$$SE = -0,010(PİK) + 53,86 \quad (4)$$

Bu tez çalışması ile cevher kazısı için sarfedilen spesifik enerjinin kayaç mekanik özellikleri ve pasa irilik katsayısı ile kestirilebileceği ortaya konulmuştur.



INVESTIGATION INTO APPLICATION OF BOOM TYPE MACHINES FOR MINERAL EXCAVATION

SUMMARY

Global trends, environmental restrictions, and other market conditions forced, in the last decade, mining companies all over the world to be more profitable and competitive. One of the ways to be more profitable is to use mechanical miners, such as roadheaders, continuous miners, impact hammers and tunnel boring machines, for ore extraction and excavation of development drivages. Since these miners allow for continuous operation, it is expected that mechanization of mines with mechanical miners would increase productivity, decrease production cost and improve competitiveness.

This study, is part of a research project supported by the Turkey Republic Prime Ministry State Planning Organization (DPT) and the Technical University of İstanbul Research Foundation Center. Within the scope of this study, information on Turkey's mining industry was summarized in terms of reserves, mine productions, exports and imports, performance of boom machines in past ore production, and mine organisation.

The basic focus of this study is to investigate the possibility of using rapid excavation systems in some of the underground mines in Turkey. For this objective, first, the Turkish mining industry was generally reviewed. Many mine visits were carried out and information about the mines was gathered. Eleven large block rock samples were collected from some of the mines and subjected to full-scale laboratory cutting tests for cuttability assesment and production rate estimation.

Research activities concerning this thesis can be separated into two groups: insitu and laboratory investigations. Insitu studies have been summarized above. Two different types of laboratory tests were carried out: rock mechanics and rock cutting tests.

The rock cutting tests consisted of cutting tests and sieve analyses. Cutting tests were carried out using LCM (linear cutting machine) and a real life conical cutter. Sieve analyses were performed on yields excavated during the cutting tests.

Five important types of rock mechanic tests were carried out: unconfined compressive strength (UCS), tensile (Brazilian) strength (BTS), dynamic elastic modulus tests, static elastic modulus tests and Cerchar abrasivity tests.

The rock mechanic tests carried out on rock specimens showed that the uniaxial compressive strength tests changed between 29 and 82 MPa, tensile strength tests between 2,2 and 5,7 MPa, static elastic modulus tests between 3,5 and 2,1 GPa, dynamic elastic modulus tests between 3,7 and 76,4 GPa, Schmidt hammer rebound values between 28 and 59, Cerchar abrasivity index between 0,8 and 3. According to the Bieniawski RMR system (1989), these rocks can be classified as medium and hard strength.

Full scale cutting tests were used to measure the cutting forces of real life conical cutter and specific energy values (energy spent to excavate a unit volume of the rock), for different depth of cut (d) and cutter spacing (s). Optimum specific energy values in kWh/m³ are obtained for a specific value of s/d ratio. Optimum specific energy values are used in estimating the cutting performance of mechanical excavators.

The rock cutting tests carried out on different rock samples taken from different mines showed that the optimum s/d values changed between 2 and 5, SE values between 2,7 and 9,2 kWh/m³. As an example these values represent a production rate of 345 612 t/year for Pınarbaşı-Pulpınar chromite mine if a roadheader having a cutting power of 100 kW is used. However it is important to note that the size of material cut by roadheaders dictates the economy of the end product since in chromite there is an optimum size of the material which gives a high price of the ore. A performance model previous used for impact hammers showed that an annual production rate of 328 956 t/year may be easily obtained if an impact hammer having 33 kW braking power.

This investigation proved that the productivity and efficiency of mineral production may be double even three times if mechanical excavators are used in metal mines compared currently used mining methods.

Previous studies showed that brittleness may be significantly represented by the product of ((uniaxial compressive strength × tensile strength) / 2). Therefore, the relationship between optimum specific energy and (Uniaxial compressive strength × Brazilian tensile strength) was analysed, and a significant value of correlation coefficient was found ($R^2 = 0,86$). Based on this, the optimum specific energy can be predicted by using equation (1).

$$SE_{opt} = 0.027 (UCS \times BTS) + 0.675 \quad (1)$$

When the specific energy (SE) values obtained from cutting tests and the coarseness index values (PIK) obtained from sieve analysis were analysed together, a high correlation was discovered between them. This is shown in equations (2), (3) and (4).

For high-grade chromite, d= 5-10 mm, ($R^2 = 0,91$);

$$SE = -0,057(PIK) + 27,54 \quad (2)$$

For medium-grade chromite, d= 5-10 mm, ($R^2 = 0,79$);

$$SE = -0,075(PIK) + 39,73 \quad (3)$$

For low-grade chromite, d= 5-9 mm ($R^2 = 0,92$);

$$SE = -0,010(PIK) + 53,86 \quad (4)$$

This thesis indicated that optimum specific energy values may be predicted from mechanical rock properties and coarseness index.

1 GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak, yüksek yatırımlar gerektiren madencilik sektöründe, en uygun verimlilik düzeyini yakalamak ve işletme maliyetlerini düşürmek için hazırlık ve üretim gibi her aşamada, makine ile kazı kaçınılmaz olmaktadır. Bu görüşün ışığı altında, ülkemizdeki yeraltı madenlerinde de uygulanan üretim yöntemlerinin yeniden gözden geçirilerek daha verimli ve maliyeti düşürücü sistemlere geçişin hızlandırılması gerekmektedir. Bu sayede yüksek maliyetler ve düşük verim yüzünden zarar eden madenlerimizin kapanması engellenecek ve dahası dünyadaki diğer şirketlerle rekabet edebilecek bir seviyeye gelmesi sağlanarak verimlilik kazandırılacaktır.

Madencilik ve inşaat sektöründe mekanizasyona geçiş ile kazı işi oldukça hızlanmış ve formasyona uygun makine seçimi ile yüksek verimde kazı işlemleri gerçekleştirilmiştir. Klasik kazı yöntemi uygulanan İstanbul metrosunda yapılan kazıda günlük ilerleme miktarı birkaç metre iken mekanize kazı yöntemi uygulanan İzmir metrosunda formasyona uygun bir tam cepheli makine seçilmesi ile günlük ilerleme miktarları 22 m.'ye kadar çıkmıştır [1]. Ayrıca ABD, Newmont Carlin East Altın Madeni'nde -cevher kazısında- 4 ay süresince test amacıyla kullanılan kollu galeri açma makinesi ile ortalama 226 t/gün üretim yapılmış, buna göre bu süre içinde madencilik maliyetlerinde % 25 azalma sağlanmış, buna paralel olarak verimlilik de % 15 artmıştır [2]. Yine ABD, Arizona-San Manuel, Magma Bakır Madeni'nde cevher kazısında kullanılan 4,62 m. çaplı tam cepheli tünel açma makinası ile 6,5 m/gün ilerleme sağlanmıştır. Kazılan yüzey alanı hesap edilip ilerleme ile çarpılırsa günlük ortalama 109 m³ kazı yapıldığı ortaya çıkar [3].

Ülkemizde, Parkteknik Çayırhan-Bey pazarı-Ankara ve Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek-Tavşanlı-Kütahya yeraltı kömür madenciliğinde olduğu gibi, üretim aşamasında kesici-yükleyiciler, hazırlık kazılarında da kollu makineler kullanılarak mekanizasyona gidilmekle beraber, herhangi bir yeraltı metal veya endüstriyel hammadde madeninde hızlı kazı sistemlerine geçiş gerçekleştirilememiş, sadece

nakliyat aşamasında yükleme, taşıma ve boşaltma işlemlerini birarada yapan ekipmanlar (LHD) kullanılmıştır.

Oysa dünya metal madenleri piyasasında metal fiyatları gittikçe düşmektedir [4]. Bu yüzden birçok maden kapanma tehlikesi ile karşı karşıya kalmıştır. Maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak amacı ile yeni mekanize üretim sistemleri araştırılmaya başlanmış, kollu makinelerin hareket kabiliyetlerinin yüksekliği ve birçok cevher üretim yöntemiyle birarada çalışabilme özelliği, üretim aşamasında kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Metal cevheri üretiminde bu tür makinelerin kullanılmaları ve üretim yöntemlerinin de bu makinelere göre modellenebilmesi için bir dizi laboratuvar ve arazi çalışmasına gerek vardır.

Kayaçların kazılabilirlik özelliklerini tespit etmek için bu güne kadar bir çok araştırma yapılmış, bazı temel kurallar belirlenerek, kazı mekaniği prensipleri ortaya konulmuştur. Buna rağmen, krom, trona, bakır ve kurşun-çinko gibi cevherlerin kesilebilirlik özellikleri bu güne kadar tam olarak açıklığa kavuşmamıştır. Bu tür cevherlerde kristal boyutlarının, kristaller arası yapı gibi özelliklerin, kesme mekaniğini etkileyeceği çok açıktır. Genelde metal cevherleri aşındırıcı oldukları için yukarıda bahsedilen makineler doğrudan metal cevheri üretiminde kullanılamamaktadır. Bunun için öncelikle cevher numuneleri kazılabilirlik deneylerine tabi tutulmakta ve kazı makinelerinin tariflenen cevherlerde kullanılabilmesi için imalatçı firmalara gerekli bilgiler sağlanmaktadır.

1.1 Amaç

Bilimsel gelişmelerle birlikte endüstrinin hammadde ihtiyacını karşılamak için metal madeni ve endüstriyel mineral gereksinimleri artmıştır. Açık işletmelerle elde edilen cevherlerin tükeniyor olması, yeraltı işletmelerine geçişi zorunlu kılmış ancak beraberinde işletme maliyetlerinin de artmasına yolaçmıştır. Buna ek olarak maden işletmeleri arasındaki rekabetin artması, hurda metallerin yeniden kazanılarak kullanılmaları ve dünyanın çeşitli bölgelerinde meydana gelen ekonomik krizler yüzünden, metal madeni fiyatları düşme eğilimine girmiştir.

Ülkemizde bulunan kömür dışı yeraltı madenlerinin rekabet gücünü artırmak, daha ucuz ve verimli cevher üretimi gerçekleştirebilmek için cevher yatağı formasyonunu

kazmaya uygun, hızlı kazı teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulamaya geçilmesi bu problemlere çözüm olarak düşünülebilir.

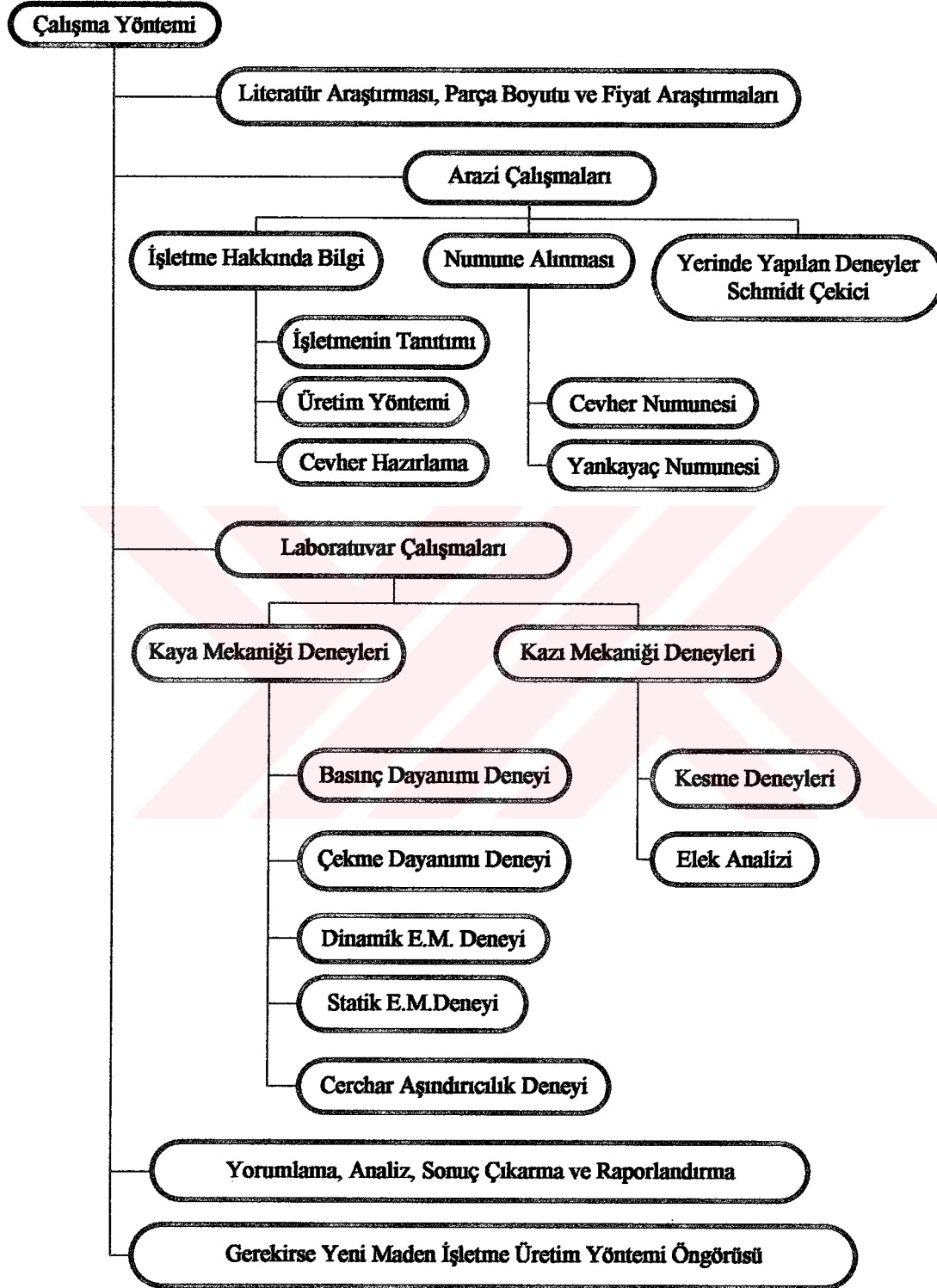
İşte bu yüzden, Türkiye’de kömür dışındaki yeraltı madenlerinde kollu galeri açma makinalarının veya benzer makinaların -cevher üretiminde ve yankayaçların kazısında- kullanımlarının araştırılması gerekmektedir. Bu sayede bahsedilen madenlerde birim zamanda yapılan cevher üretim miktarı artırılabilir, maliyetler düşürülebilir, işletmeler verimlilik kazanacak ve dahası dünyadaki diğer şirketlerle rekabet edebilecek seviyeye ulaştırılarak ülke ekonomisine doğrudan katkı sağlanabilecektir.

Bu düşünceden yola çıkarak, konu ile ilgili araştırılması ve tesbit edilmesi gereken noktalar da şunlardır:

- Kollu galeri açma makinaları ve geniş arınlı sürekli kazıcıların dünyada cevher üretiminde kullanımlarıyla ilgili detaylı kaynak araştırması,
- Araştırma için seçilen Türkiye’deki -kömür dışı- yeraltı madenlerine genel bir bakış; maden yataklarının, üretim yöntemlerinin ve organizasyonlarının incelenmesi,
- Türkiye’deki kömür dışında kalan yeraltı madenlerinde kollu galeri açma makinalarının veya geniş arınlı kazıcıların cevher üretiminde ve yankayaçların kazısında kullanılabilirliğinin araştırılması,
- Seçilen pilot madenlerde, cevherlerin kesilme karakteristiklerinin kayalardan ne kadar farklı olduğunun kazı mekaniği açısından saptanması ve incelenmesi, kesme deneylerinden elde edilecek ortalama kesme ve normal kuvvetlerin maksimum kuvvetlerle ilişkisinin ne olduğunun araştırılarak birim m³ kazı için harcanan enerji ile ilintisinin tespit edilmesi,
- Bu madenlerde kullanılacak makineleri tespit etmek için, bir önceden kazı performansı tahmin metodunun geliştirilmesi,
- Bu madenlerde kullanılan cevher üretim yöntemlerindeki verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için yapılması gerekenlerin kollu galeri açma makineleri veya geniş arınlı kazıcıların kullanımı açısından irdelenmesi ve gerekirse (verimli kazı yapıldığı tespit edilirse) üretim yöntemi öngörüsünün yapılması.

1.2 Yöntem

Bu araştırma için geliştirilen çalışma yöntemi Şekil 1.1'deki gibi oluşmuştur.



Şekil 1.1 Çalışma yöntemi

Öncelikle, konu hakkında literatür çalışması yapılmış ve daha önce cevher kazısında kullanılan kollu makinelerin performansları, çalışma koşulları hakkında bilgi verilmiştir. Piyasa şartlarında ne gibi standartlar (cevher boyut dağılımı, tenör, fiyat vb.) arandığı belirlenmiştir.

Bundan sonra çalışma konusuna uygun olan madenler seçilmiş, arazide ve laboratuvarında bir dizi araştırma faaliyetleri yapılmıştır.

Arazide yapılan çalışmalar; işletme hakkında bilgi toplama, yerinde yapılan deneyler ve numune alma gibi ana başlıklar altında toplanmışlardır. İşletmenin kime ait olduğu, coğrafi konumu, bulduru haritası, cevher yatağının tipi ve jeolojisi, işletmenin tanıtımı başlığı altında toplanmıştır. Yerinde yapılan deneyler de Schmidt Çekici'dir. Ocak içerisinde cevher kayası ve yankayaç üzerinde belirlenen değişik noktalarda Schmidt Çekici testi uygulanmış ve yaklaşık basınç dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Son olarak da ocağı temsil eden cevher numuneleri, kazı aynalarından ve yankayaç numuneleri de hazırlık galerilerinden alınmıştır.

Laboratuvarında yapılan deneyler ise kazı mekaniği deneyleri ve kaya mekaniği deneyleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır:

Kazı mekaniği deneyleri; gerçek boyutta keskinlerin kullanıldığı "doğrusal kazı seti" (LCM) ile yapılan kesme deneyleri ve bu deneylerde elde edilen pasalar için yapılan elek analizleridir.

Kaya mekaniği deneyleri ise basınç dayanımı (UCS), çekme dayanımı (BTS), dinamik elastisite modülü deneyi, statik elastisite modülü deneyi ve Cerchar aşındırıcılık deneyi olarak beş başlık altında toplanmıştır.

1.2.1. Mekanik madencilikte modelleme ve yapılan testler

Uzun yıllar boyunca yapılan araştırmalar ve elde edilen tecrübeler sayesinde geliştirilen bir metotla tüm kazı sistemleri için mühendislik ve araştırma faaliyetleri yürütülmektedir. Elde edilen bu bilgi birikimi, kazılacak bölge için en iyi mekanik kazıcı dizaynının yapılmasına ve işletme gereksinimlerinin ne olduğunun tespit edilmesine yardımcı olmaktadır. Uygulama sonucu elde edilen veriler de bu yöntemlerin verimliliği artırdığını ve maliyetleri düşürdüğünü doğrulamaktadır. Buna göre yapılan detaylı çalışmalar Tablo 1.1'deki gibidir [5].

Tablo 1.1 Kazı sistemleri için geliştirilen çalışma metodu

Arazi çalışmaları		Fiziksel özellik testleri (UCS, BTS, CAI, PPI, PL, E, γ , DSS, TS)* Delik analizi, Schmidt çekici Kayaç kütle sınıflaması ve RQD***			
Tam boyutlu kesme deneyi ve kazı sistemi seçimi	Optimum s/d** oranı için bulunan SE* ile tasarım yapılır	Tam boyutlu kesme ve kesici kafa testleri	Birden fazla keski denenerak yapılır	Keski seçimi	
				En iyi kesme geometrisi	
				Makine özellikleri	
		Makine tipinin seçimi			
		Mekanik parametreler		Baskı, tork ve güç ihtiyacı	
		En verimli üretim için kesici kafa tasarımı		Pasa yükleme ve nakliye sistemi	
Maden tasarımı ve dizaynı				Kazı anında verimli çalışma (efficiency) ve toplam verim elde etme (productivity).	
				Bakım-onarım masrafları ve keski sarfiyatının azaltılması	
				Destekleme elemanlarının ve maden makinelerinin bilgisayarla izlenmesi	
		Makineden faydalanma oranının tespiti için daha önce yapılan uygulamaların gözden geçirilmesi			
		Kaya mekaniği ve tahkimat			
		Havalandırma			
		Kazılan malzemenin yüklenmesi ve taşınması			
		Performans tahmini		Net ilerleme hızı	
				Sistem verimliliği	
Ekonomi ve fiyat analizi		Keski sarfiyatı tahmini		Ortalama ilerleme hızı	
		Tüm proje maliyetleri			

s/d= keskiler arası mesafe ile kesme derinliği arasındaki oran, SE: Birim hacimdeki kayacı kesebilmek için gerekli olan kesme kuvvetinin oluşturduğu enerji miktarı, *(UCS: Basınç Dayanımı, BTS: Çekme Dayanımı, CAI: Cerchar Aşındırıcılık İndeksi, PPI: Delinebilirlik İndeksi, PL: Nokta Yük İndeksi, E: Elastisite Modülü, γ : Poisson oranı, DSS: Direk Kesme Dayanımı, TS: Üç Eksenli Basınç Dayanımı), *RQD: Kayaç Kalite İndeksi.

Bir mekanik kazı projesi Tablo 1.1'deki aşamalardan geçmektedir. Kazı yapılacak kayacın ortam koşullarına göre bu faaliyetlerde değişiklik olabilir, çeşitli ekler yapılabilir.

Bu çalışmada ise, seçilen yeraltı metal madenlerinde cevher ve yankayaçların kazılabilirlik özelliklerinin tespit edilebilmesi için öncelikle kayaç hakkında fikir veren kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Kayaç mekanik özelliklerinin tespit edilmesi için kullanılan testlerin amacı Tablo 1.2'deki gibidir. Bu testler, kayacın kazılabilirliği hakkında ön bilgi verip, kayacın tanınmasına yardım eder. Kazılan malzeme hakkında bilgi sahibi olup seçilecek kazıcı makine için kabaca bir keski sarfiyatı tahmini yapılmasına yardımcı olurlar. Örneğin tek eksenli basınç dayanımı deneyi ile bir kayacın, dayanıma göre yapılan bir kayaç sınıflamasında, sert, orta-sert, yumuşak kayaç sınıflarından hangi gruba girdiği kabaca belirlenebilir.

Tablo 1.2 Fiziksel özellik testlerinin amacı [6]

Tek eksenli Basınç Dayanımı Testi (UCS)	Kayaç dayanımını tespit etmek için en kullanışlı ve yaygın bir test. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM)'in tavsiye ettiği metot.
Endirekt (Brazilian) Çekme Dayanımı Testi (BTS)	UCS ile beraber ele alınarak bir kesilebilirlik ölçümü verir.
Cerchar Aşındırıcılık İndeksi (CAI)	Keski aşınma ve sarfiyatının tespiti için kullanılır.
Elastik değerler Dinamik Elastisite Modülü (E_D) Statik Elastisite Modülü (E_S) P ve S dalgaları (AV)	P ve S dalgaları (AV) ile Dinamik elastisite modülü ve UCS deneyi sırasında yerleştirilen yük hücreleri ile statik elastisite modülü tespit edilir. Elastik değerler kayacın sağlamlığına, kırılabilirliğine ve kolay kazılabilirliğine işaret eder. Kaya mekaniği problemleri için kullanılırlar.
Schmidt Çekici Deneyi (SHRV)	Arazide ve laboratuvarında kolayca uygulanan ve kayacın basınç dayanımı hakkında fikir veren kullanışlı bir test.
Elek Analizleri	Pasa irilik katsayısı tespitinde kullanılır. Kesilen kayacın boyut dağılımı belirlenir.

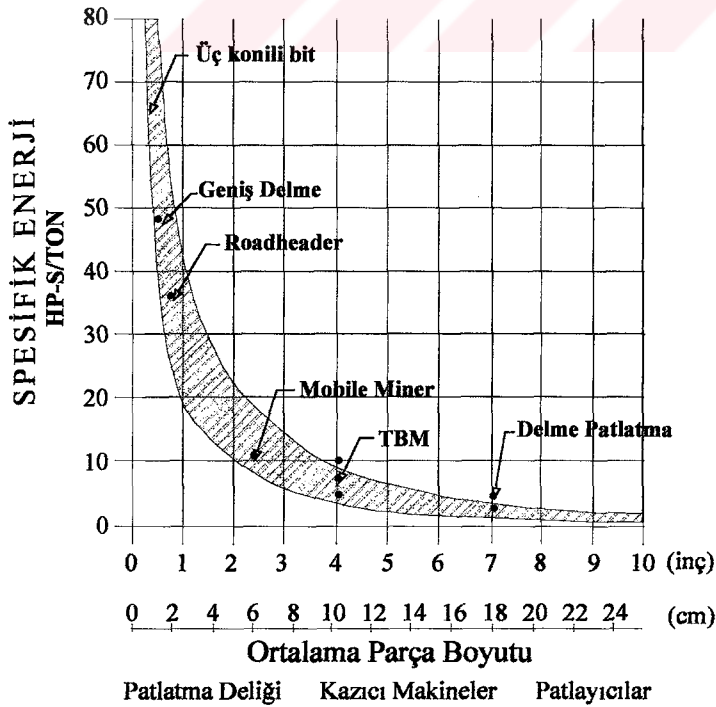
Tablo 1.3 Bu çalışma için uygulanan deneysel çalışma metodu

Kaya Mekaniği Deneyleri	Kazı Mekaniği Deneyleri		
Basınç Dayanımı UCS	Kesme Deneyleri (Aynı koşullarda en az 3 kesme)		Elek Analizleri
Çekme Dayanımı BTS	Tasarım Parametreleri	İşletme Parametreleri	Elek açıklıkları; 25 mm, 8 mm, 2 mm, 0.5 mm, 0.125 mm olan eleklerden 6 ayrı ürün
Elastik değerler Dinamik (E_D) ve Statik Elastisite Modülü (E_S),	Keskiler arası mesafe ile kesme derinliği arasındaki oran, $s/d=1, 2, 3, 5, 8$	FC ve F'C, ortalama ve en büyük kesme kuvvetleri	
Cerchar Aşındırıcılık İndeksi (CAI)	Kesme derinliği $d=5$ mm $d=9 - 10$ mm	FN ve F'N, ortalama ve en büyük normal kuvvetler	Ürünler: +25 mm, +8 mm, +2 mm, +0.5 mm, +0,125 mm, -0.125mm
Arazide Schmidt Çekici Deneyleri (SHRV)	Kesme hızı; $V= 12,7$ mm/sn, sabit	Q, Pasa hacmi m^3/km	Her koşul için "pasa irilik katsayısı" (PIK) değerlerinin belirlenmesi
	kesme açısı; $\alpha =55^\circ$, sabit uç açısı; $2\phi =90^\circ$, sabit	Optimum spesifik enerji tespiti, SE_{opt} kWh/m^3	En büyük irilikteki pasanın elde edildiği kazı durumunun tespiti
Deney sonuçlarının analizi ve yorumlanması			
Performans tahmini ve verimlilik analizi			

Daha sonra da performans tahmini için İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Kazı Mekanizasyonu Laboratuvarları'nda tesis edilmiş olan doğrusal kazı setinde cevher kayaları ve yankayaçlar üzerinde kesme deneyleri yapılarak, mekanize kazıda gerekli olan işletme parametreleri; FC (ortalama kesme kuvvetleri), F'C (en büyük kesme kuvvetlerinin ortalaması), FN (ortalama normal kuvvetler), F'N (en büyük normal kuvvetlerin ortalaması), Q (birim mesafedeki pasa hacmi), en iyi kesme koşullarındaki s/d (Keskiler arası mesafe ile kesme derinliği arasındaki oran) ve SE (birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan kesme kuvvetinin oluşturduğu enerji) [7] değerleri tespit edilmiştir. Bunun yanında krom gibi madenler için parça boyutu sınırlamaları olduğundan elde edilen pasaların elek analizi yapılarak pasa irilik katsayısı (PİK) değerleri tespit edilmiş ve verimlilik analizi yapılmıştır (Tablo 1.3).

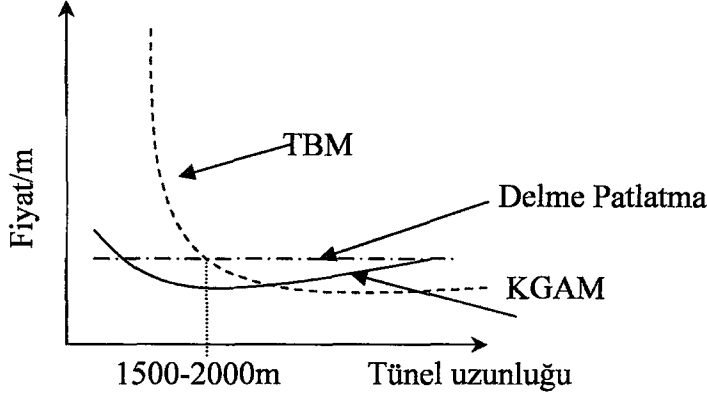
2 MEKANİK KAZICILAR VE CEVHER KAZISINDA UYGULAMALARI

Yeraltında kazı işlemleri genel olarak klasik kazı (delme-patlatma) ve mekanize kazı olmak üzere ikiye ayrılır. Laboratuvar ve arazide uzun süreden beri denenmelerine rağmen, termal parçalama, füzyon, buharlaştırma ve kimyasal parçalama yöntemleri bu güne kadar ticari olarak endüstriyel bazda kullanılmamıştır. Bunun ana nedeni büyük enerji gereksinimleri ve çevresel sorunlardır. Şekil 2.1'den de görüldüğü gibi spesifik enerji, kazı sistemlerinin oluşturduğu parçalanmış kayaç parça boyutuna doğrudan bağlıdır. Parça boyutu büyüdükçe spesifik enerji değeri düşmektedir. Termal yöntemlerde parça boyutu oldukça düşük olduğundan verimsizdir. Örneğin lazer ile kazıda spesifik enerji gereksinimi yaklaşık 3000 kWh/ton, basınçlı su jetleri kullanımı için gereken spesifik enerji ise 300 kWh/ton civarındadır. Patlayıcı madde ile kazıda çok iri parça açığa çıktığından, yöntem diğerlerine nazaran daha verimli olanı diye tanımlanabilir. Fakat ilerleme hızının sınırlı oluşu, titreşimlerin açığa çıkması, aşırı söküm yaparak tahkimat ve emniyet problemleri çıkarması bu yöntemin uygulanışını sınırlamaktadır [8].



Şekil 2.1 SE-parça boyutu açısından kazı sistemleri arasındaki ilişki [8].

Bununla beraber, açılan tünel uzunluğu arttıkça tüm işletme maliyetleri (işçilik, tamir bakım, kontrat süresi aşımında ödenecek cezalar, tahkimat, havalandırma gibi...) göz önüne alındığında tam cepheli tünel açma makinesi (TBM) ve kollu galeri açma makineleri (KGAM) daha verimli kazı yaparlar (Şekil 2.2). Bu yüzden uzun boylu ve sürekli tünel yada galeri kazısında tercih edilirler.

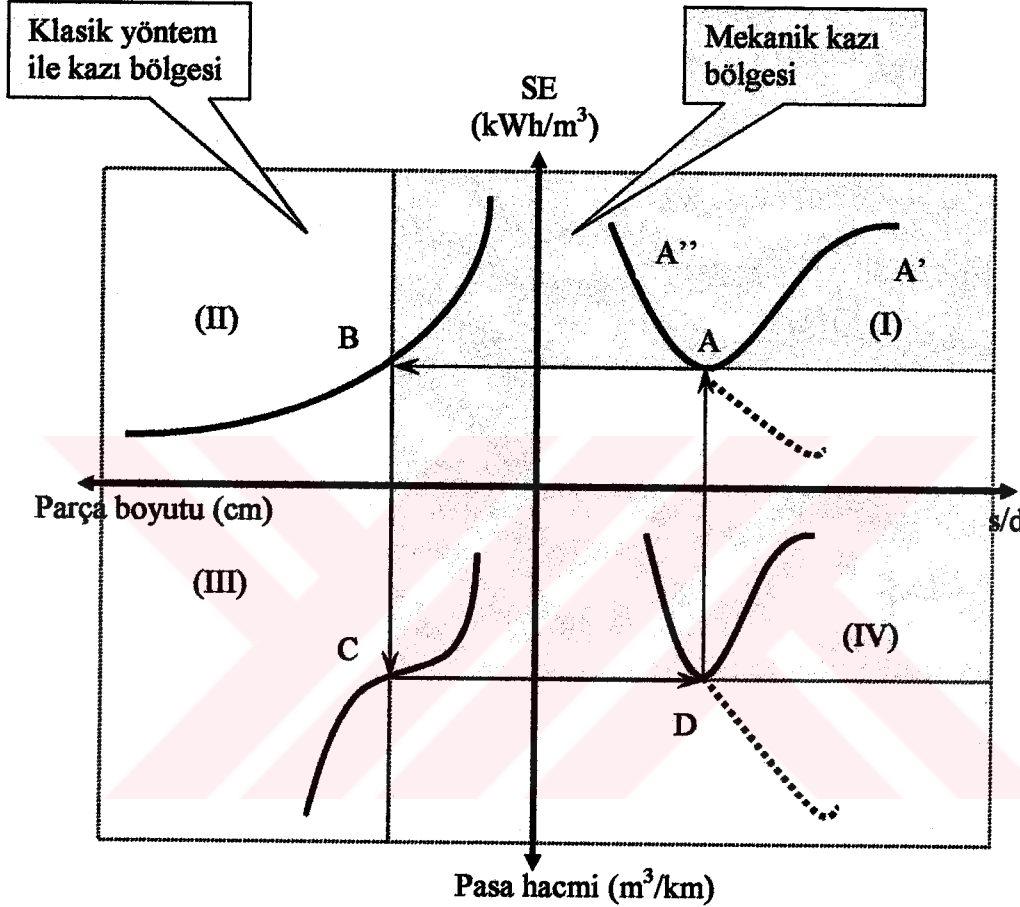


Şekil 2.2 Tünel uzunluğuna bağlı olarak kazı maliyetinin değişimi [9]

Şekil 2.3'te klasik kazı ile mekanize kazıyı karşılaştırmak için, en önemli mekanize kazı işletme parametreleri olan spesifik enerji (SE) (birim hacimdeki kayacı kazabilmek için gerekli olan enerji (kWh/m^3)), keskinler arası mesafe (s) ile kesme derinliği (d) arasındaki oran (s/d) ve hem mekanize kazı hem de klasik kazı parametresi olan parça boyutu (cm) ve pasa hacmi (m^3/km) arasındaki ilişki irdelemiştir.

Şekil 2.3'te (I). bölgede A noktası mekanize kazıda en düşük enerji harcanarak kazı yapılan optimum s/d noktasının yerini göstermektedir. Yani herhangi bir kayaç kazısı için dizayn edilen bir kesici kafada keskinler arası mesafenin en uygun olduğu aralık ve kesme derinliğinin en uygun olduğu derinlik değerlerinde, en düşük spesifik enerji değeri elde edilmektedir (A noktası). Çünkü bu değerde keskinin kayaç üzerinde oluşturduğu mikro çatlaklar birleşerek iki keski arasındaki köprüyü koparır ve en büyük miktarda kayaç kazısı yapılmış olur. Keskinler arası mesafe artarsa kazı için harcanan enerji A' noktasına doğru artar; bu durumda mikro çatlaklar birleşemeyecek ve keskinler arasında kalan köprü koparılamayacaktır. Keza keskinler arası mesafe azalırsa kazı için harcanan enerji A'' noktasına doğru artar; bu durumda keskinler, kazı için harcaması gereken enerjiyi kayacı ufalama işine harcayarak enerji sarfiyatına neden olur ve en iyi kazı bölgesinden uzaklaşılır. Bu nedenle test edilen

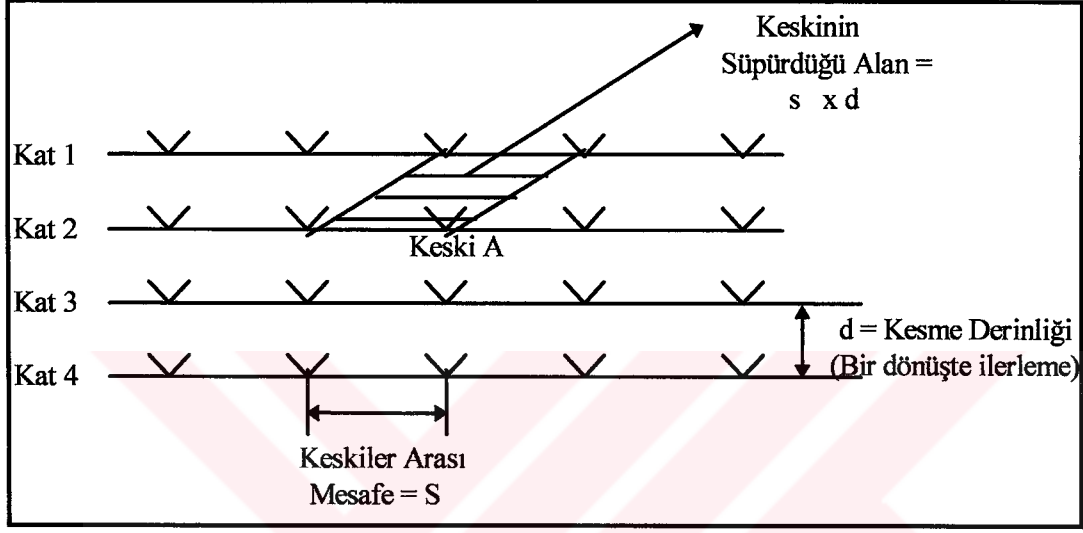
kayacı kazmak için seçilecek bir makinenin kesici kafa dizaynı A noktasındaki SE ve s/d değerlerine göre yapılmalıdır. A noktasının altında kalan alan klasik kazı bölgesi olarak tanımlanabilir. Ancak tüm maliyetler gözönünde alınırse kazı uzunluğu arttıkça mekanize kazının klasik kazıya oranla daha ekonomik kazı yaptığı unutulmamalıdır.



Şekil 2.3 Klasik-mekanize kazı karşılaştırması

Şekil 2.3'te (II). bölge mekanize yada klasik kazı sırasında elde edilen pasaların parça boyutu arttıkça, bu pasayı parçalamak için harcanan spesifik enerjinin de azaldığını gösteren bir bölgedir. Yani klasik yöntem ile kazıda daha büyük parçalar elde edilirken mekanize kazı yönteminde elde edilecek parçaların büyüklüğü ancak, optimum s/d noktasında oluşan spesifik enerjinin meydana gelmesinde rol oynayan pasa parça büyüklüğü kadar olacaktır. Bu durumda oluşan parça büyüklüğü B noktasının apsisinden daha büyük olamaz. Bu yüzden B noktasının solunda kalan bölge klasik kazı bölgesi, sağında kalan bölge de mekanize kazı bölgesi olacaktır.

Şekil 2.3'te (III). bölge parça boyutunun arttıkça pasa hacminin de arttığını göstermektedir. Ancak mekanize kazıda pasa hacmini sınırlayan faktörler vardır: teorik olarak pasa hacmi keskiler arası mesafe (s) ile kesme derinliği (d)'nin oluşturduğu köprü alanı ve kazı uzunluğunun (kağıt yüzeyine dik yönde) oluşturduğu pasa hacim geometrisinden daha büyük olamaz (Şekil 2.4). Bu yüzden C noktasında bir sabitleşme söz konusudur. Ancak bu noktadan sonra klasik yöntem ile kazı bölgesine geçildiğinden parça boyutu da büyüyecek pasa hacmi de artacaktır.



Şekil 2.4 İki keski arasında kalan köprü

Şekil 2.3'te (IV). bölge pasa hacmi ile optimum s/d arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Mekanize kazıda en düşük spesifik enerjinin harcandığı optimum s/d noktasında, en yüksek pasa hacmi elde edilir (D noktası). Elde edilen bu pasanın parça boyutları da mekanize kazı için en büyük parça boyutları olacaktır. Klasik kazıda "s" patlayıcı madde delikleri arası mesafeyi "d" de deliklerin derinliği olarak düşünülürse; patlatma sonrası oluşacak pasa hacmi kesikli çizgi boyunca artacak, yine parça boyutu da bu kesikli çizgi boyunca büyüyecektir.

Kayaç kazısında klasik kazı yöntemi kullanıldığında delme patlatma işleminin istenildiği seviyede olması için; gevşetilen kayanın kaldırılması, taşınması, depolanması ve işlenmesi kolay olan iyi parçalanmış bir cevher veya pasa yığını vermesi, aynı zamanda tahkimat için geçen süre ve maliyetleri en aza indirmek amacıyla galeri cidarının mümkün olduğu kadar az hasara uğramış olması gereklidir. Ancak bu uygulamada mümkün olmayıp ek önlemler alınması gerektirdiği zaman kazı maliyetleri artar.

Mekanize kazı, formasyona uygun kesici kafa tasarımı yapılmış makineler kullanılarak kayacı kesip parçalama esasına dayanan bir yöntemdir. Galeri açma makineleri çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Kazı cephesine göre yapılan bir sınıflandırmaya göre ikiye ayrılırlar:

- Tam kesit kazı yapan makineler (TBM)
- Kısmi kesit kazı yapan makineler (KGAM)

Tam cepheli tünel açma makineleri, prensip olarak bütün yüzeye uygulanan bir baskı kuvveti ile keskinlerin kayacı kesmesi esasına dayanır. Bu tip makineler sadece dairesel kesitli kazı yapabilirler. Kısmi kesit kazı yapan makineler ise kazı esnasında kayayı parçalamak için gereken baskı kuvvetini uygulayabilmek için sabit durmak zorundadırlar. Sadece galeri kesitine oranla çok daha küçük olan kesme kafası ayna üzerinde hareket ederek tüm cepheyi kısım kısım kazarlar. Dolayısı ile her türlü kesiti de açabilirler.

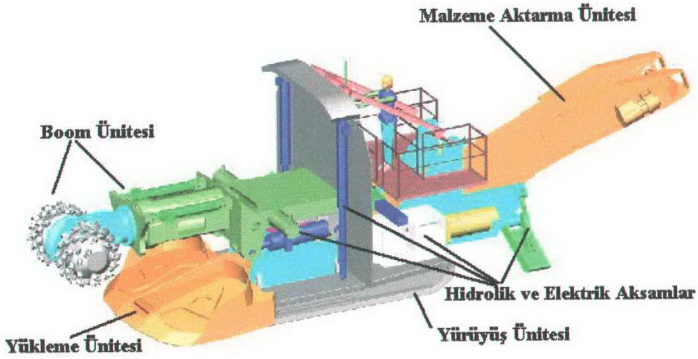
TBM'ler, genel olarak büyük ve ağırdırlar, sert ve basınç dayanımı yüksek olan kayalarda kazı yetenekleri ve ilerleme hızları yüksektir. İlk yatırım maliyetleri yüksek olduğu için kısa kazılarda kullanılamazlar. KGAM'lara göre manevra kabiliyetleri azdır.

Yeraltı maden işletmelerinde galeri kazısında ilk yatırım maliyetleri TBM'e nazaran daha düşük olan, gezici, değişik koşullara kolayca uyum sağlayabilen KGAM'lar kullanılmaktadır.

2.1 Kollu Galeri Açma Makineleri

KGAM'in değişik kapasitede tipleri vardır. Kazılabilirliği güç olan kayalarda, daha güçlü ve daha ağır tipleri kullanılır. Buna paralel olarak maliyetleri de artar. Kazı işlemi yapılan yerin dar olması nedeniyle makinenin çalışma yerine taşınması güçtür. Bu nedenle parçalar halinde yapılırlar ve nakledilirler. Bir kollu makine 5 genel bölümden ibarettir (Şekil 2.5):

1. Bum ünitesi (bum gövdesi ve kesici kafa)
2. Yürüyüş ünitesi (paletler)
3. Malzeme yükleme ünitesi (besleyici tabla ve toplayıcılar)
4. Malzeme aktarma ünitesi (zincirli ve köprülü konveyör)
5. Hidrolik ve elektrik aksamalar



Şekil 2.5 Bir kollu makine ve üniteleri

Bu ünitelerin yanı sıra seçimli olarak kullanılabilen bazı ek donanımlar da bulunabilir. Bunlar stabilite sağlayan yan mahmuzlar, kırıklı çatlaklı formasyonda kullanılan şiltler, tahkimat için boyunduruk kaldırma veya tavan saplama tertibatları olabilir. Kesme kafalarında tozu bastırmak, sürtünme sonucu oluşabilecek kıvılcımların etkisini azaltmak ve kesici uçların aşırı ısınmalarını önlemek amacıyla su püskürtme düzenekleri vardır. Bu tip makineler kazılması istenen formasyon için en fazla kazıyı yapabilecek taşıma ve yükleme kapasitesinde olmalıdırlar.

2.1.1 Kollu makinelerin sınıflandırılması

Genellikle ağırlığına ve kesici kafa tiplerine göre sınıflandırılırlar.

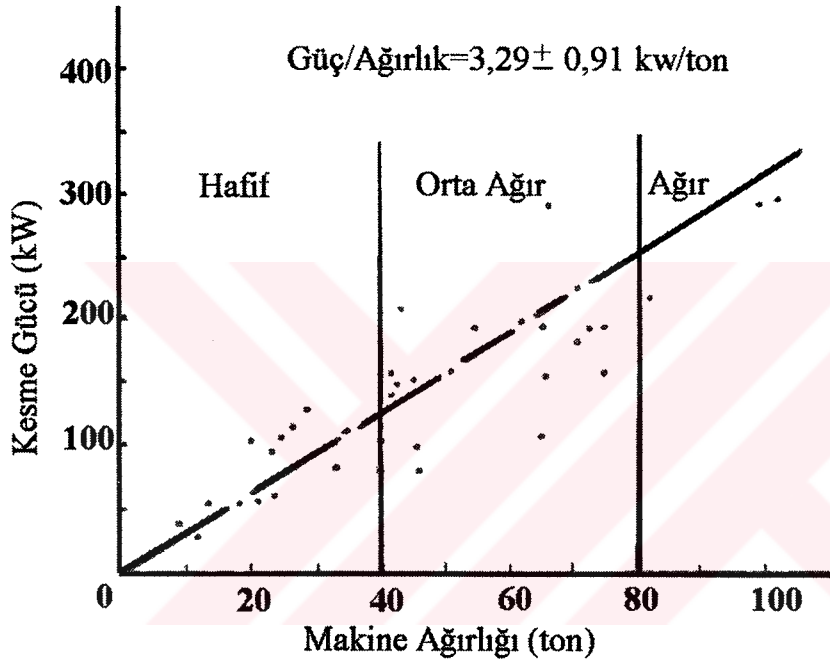
2.1.1.1 Ağırlığına göre sınıflandırma

Makinanın fiyatı, boyutu ve uygulama alanı hakkında fikir verdiğinden en çok kullanılan sistem, ağırlığına göre sınıflandırmadır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Kollu makinelerin ağırlığa göre sınıflandırılması

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

I. sınıf makineler 22 m²'ye kadar kesitli galerileri açabilirler. 40-60 MPa orta basınç dayanımındaki kayalarda ilerleme hızları 25 m/gün'den fazladır. III. sınıf makineler tuz, potas, fosfat, boksit, alçıtaşı, kireçtaşı ve diğer yumuşak minerallerin kazısında yüksek verimde çalışırlar. IV. Sınıf makineler daha yüksek basınç dayanımındaki kayaları kazabilme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca yön kontrol sistemlerine sahiptirler. İstanbul'da yapılan bir çalışmada, piyasada bulunan 46 değişik tip kollu makinenin teknik özellikleri incelenmiş, kurulu güç-ağırlık arasındaki oranın $3,29 \pm 0,91$ olduğu hesaplanmıştır [10]. Bu ilişkiyi gösteren grafik Şekil 2.6'da görülmektedir.



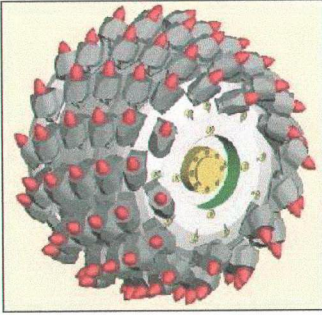
Şekil 2.6 Kesici kafa gücü ile makine ağırlığı arasındaki ilişki [10]

2.1.1.2 Kesici kafa tipine göre sınıflandırma

Kesici kafanın makine üzerindeki konumu ve dizayn şekli, o makineye etkiyen çeşitli kuvvetlerin büyüklüğünü ve etkileme yönünü tayin etmesi nedeniyle kazı performansı açısından önemlidir. Pratikte kollu makineler kesici kafaların bum eksenine göre dönüş yönleri temel alınarak sınıflandırılırlar:

- Dönme eksenini bum eksenine paralel olan kesici kafalı kollu makineler (Spiral Tip).
- Dönme eksenini bum eksenine dik olan kesici kafalı kollu makineler (Tambur Tip).

Spiral tip makinelerde bum ucunda 1 adet kesici kafa tambur tipi makinelerde 2 adet kesici kafa bulunur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Spiral ve tambur tipi kesici kafalar

Her iki tip kesici kafaya sahip makinenin birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Dünyada kullanılan makinelerin dörtte üçü spiral tipli makinelerdir. Tüm koşullar aynı olduğunda tambur tipi kesici kafaya sahip makinelerin 130 MPa'a kadar basınç dayanımına sahip kayaçları kazabildiği; spiral tipli makinelerin ise daha yumuşak kayaçlarda başarılı olduğu tespit edilmiştir [11].

Makinenin kesici kafa tipi ve kazılacak kayanın basınç dayanımı, çekme dayanımı, spesifik kesme enerjisi ve aşındırıcılığı gibi bazı temel özellikleri, kesici kafa dizayn edilirken en önemli parametrelerdir. Basınç dayanımı kesme ve çekme kuvvetlerinden daha büyük olduğundan kayaç kesilirken keskinin uyguladığı kuvvet kayacın kesme ve çekme dayanımını yenecek şekilde tasarlanmalıdır. Yani kayaç serbest bir yüzeye doğru kesilmeli, başka bir deyişle keskinin kazı sırasında oluşturduğu mikro çatlaklar birbirine ulaşacak şekilde kesici kafa dizaynı yapılmalıdır.

Makineye gelen kuvvetler, KGAM'ların hareketinden kaynaklandığı için kesici kafanın en uygun konumda kazı yapması gerekir. Ters durumda makineye aşırı yük geleceğinden metal yorulmaları meydana gelir ve makine ömrü azalır, bu da işletme maliyetini artırır. Dolayısı ile kesici kafanın şekli yanında keskinin kafa üzerindeki yerleşimleri de çok önemlidir.

2.1.2 Kollu makinelerde kullanılan keskinler

Mekanize kazıda, ekonomikliği ve kapasiteyi belirleyen en önemli faktörlerden biri formasyonla direk temas halinde olan keskinlerdir. Kollu makinelerde kullanılan keskinlere genellikle kama tipli keskinler denir. Kama tipi keskinler genel olarak 3 ana

gruba ayrılırlar: Radyal, ileri atımlı ve kalem uçlu keskiiler. Radyal keskiiler kömür ve yumuşak kayalılarda, ileri atımlı (öne eğimli keskiiler) kömür ve orta sertlikteki kayalılarda (genellikle kesici yükleyicilerde), kalem uçlu keskiiler ise orta sertlikteki ve aşındırıcı kayalılarda (orta ve ağır tip kollu makinelerde) kullanılır.

2.1.2.1 Keskiilerde aşınmaya etki eden faktörler

Keskiilerde kayalıl kazısı sırasında, kayacın dayanımına, sert ve aşındırıcı mineral içeriğine, kazı süresine, keski kalitesine ve cinsine bağılı olarak aşınma veya metal yorulmalarının sebep olduğı yıpranmalar meydana gelir.

Keskiiler aşındıkları zaman kesme kuvvetlerinin artmasıyla harcanan enerji de artar. Uçların kayaca girmesi zorlaşır, kesme derinliğı azalır, makine titreşimi artar ve sonuçta kazı verimi düşer, keski sarfiyatında artış meydana gelir.

Keskiilerde birkaç çeşit aşınma mekanizması görülebilir: Sürtünme, sıcaklık, darbe ve titreşim aşınması [12]. Bununla beraber değışik tip aşınma mekanizmaları etkili olabilir. Pratikte en çok sürtünme aşınmasına rastlanır. Uç aşınmalarına etki eden faktörler çok çeşitlidir. Bunlar:

- Tungsten karbürün metalurjik bileşimi
- Keski geometrisi
- Kazı hızı
- Kazılan kayacın özellikleri
- Kazı şartları ve işletme faktörleri
- Diğere faktörler

Tungsten karbür bileşiminin aşınmaya etkisi uç davranışlarını etkileyen imalat değışkenleri olarak ele alınmalıdır. Bunlar:

- Tungsten tozunun tane boyutu
- Bağılayıcı olarak kullanılan kobalt tozunun miktarı
- Tungsten karbitteki karbon tozu miktarı
- Tungsten karbit ucun porozitesi

Yapılan çalışmalar aşınmayı en çok etkileyen faktörün kobalt miktarı olduğunu göstermektedir [7]. Madencilikte kullanılan kesici uçlarda, genellikle % 10 kobalt miktarı kullanılmaktadır. Kuvars miktarı fazla, basınç dayanımı 80 MPa'dan az olan aşındırıcı kayalılarda, kobalt miktarı % 6 ve tane boyu 3,6 mikron ve altında tungsten

karbür bileşimi seçilmelidir. Ancak dayanımı yüksek olan kayalarda bu bileşim kırılğan olacağından, tane boyutu 1,2 mikron ve kobalt miktarı % 10 olmalıdır.

Bir kesici uca kazı esnasında gelen kuvvetler, keski geometrisi ile yakından ilgilidir. Bu parametrelerden aşınmaya en büyük etkisi olan temizleme açısıdır. Aşınmanın düşük olması için bu açı, 5°'den büyük, en iyisi 10° olmalıdır.

Kazılan kayacın fiziksel, mekanik ve mineralojik özellikleri aşınmayı önemli şekilde etkilemektedir. Etkili olan kayaç özellikleri önem sırasına göre şöyledir:

- 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)

Bu faktörlerin tek tek etkilerinden çok birlikte etkileri önemlidir. Kuvars miktarının % 60'tan büyük olması durumunda aşınma miktarı önemli derecede artmaktadır.

Kazı şartları ve işletmeye bağlı faktörler de aşınmayı etkileyen önemli bir parametredir. Bunlar da şöyle sıralanabilir:

- Kesme Hızı: Kesme sırasında kazıcı ucun kayaç üzerindeki hızına kesme hızı denir. Kazı hızı uçta sıcaklığın artmasına neden olur. Sıcaklık arttıkça metal yumuşar ve aşınma hızlanır. Aşınmayı azaltmak amacıyla kesici kafa hızı azaltılabilir. Bu amaçla kesici kafalar birden fazla kesme hızında dizayn edilirler.

- Kesme Derinliği: Ucun kayaca batma derinliğidir. Çok küçük kesme derinliklerinde sürtünme arttığı için aşınma artar. Bu nedenle kesme derinliği mümkün olduğunca artırılmalıdır.

- Kesme Uzunluğu: Ucun kazı boyunca katettiği yol kesme uzunluğudur. Kesme uzunluğu arttıkça aşınma da doğal olarak artar.

- Uçların Soğutulması: Uçların su ile soğutulması kazılan kayaç kırıntılarını ortamdaki hızla uzaklaştırdığı ve sıcaklığın etkisini azalttığı için aşınmayı azaltır.

- Diğer Faktörler: Kesici kafa üzerindeki uçların dizaynı, kazı verimini düşürme ve aşınmayı artırma gibi etkileri olduğundan çok önemlidir. Operatörün

makineyi kullanmadaki başarısı da aşınmada önemli bir faktördür. Kazıcı kafa aşınada formasyonu en kolay kazacak şekilde hareket etmelidir.

2.1.3 Kesme teorileri

2.1.3.1 Kalem uçlu kesmelerle ilgili kesme teorileri

Bu konudaki ilk teori 1974 yılında Lundberg tarafından ortaya konulmuştur. Teorisylene göre kalem uçlu kesmelerle kazı esnasında oluşan parça oluşumu (2.1) nolu bağıntıdan hesaplanır [13].

$$\psi = \text{Arctg}((\text{Cotg}(\alpha/2))^{1/3} - (\text{Tg}(\alpha/2))^{1/3}) \quad (2.1)$$

$$\alpha = \theta + \phi_s + \lambda \quad \alpha < \pi/2$$

Ψ = Meydana gelen kırılma çatlağı ile yüzey arasındaki açı (°)

λ = Kayacın içsel sürtünme açısı (°)

2θ = Keski tepe açısı (°)

ϕ_s = Kayaç ile keski arasındaki sürtünme açısı(°)

σ_c = Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm^2)

Burada keskinin kayaca batması için uygulanan kuvvet “F” ile batma derinliği “d” arasında (2.2)’deki bağıntı vardır. Teorisylene göre kayacın basınç dayanımı yenilerek batma işlemi gerçekleşir:

$$F = \frac{\sigma_c \cdot d^2 \cdot (1 - \sin\phi) \cdot \sin(\theta + \phi_s) \cdot \cos\psi}{2\sin^2\psi \cdot \cos(\alpha + \psi)} \quad (2.2)$$

Bu konudaki ikinci teori Evans tarafından 1984 yılında açıklanmıştır. Keskiye etki eden kesme kuvveti (2.3) nolu bağıntıdan hesaplanır. Buna göre kayacı kesmek için gerekli olan kuvvet, kayacın çekme dayanımı ve kesme derinliğinin karesi ile doğru orantılı, basınç dayanımı ile ters orantılı olarak değişir [14].

$$F_c = \frac{16 \cdot \pi \cdot \sigma_t^2 \cdot d^2}{\cos^2\phi \cdot \sigma_c} \quad (2.3)$$

F_c = Kesme kuvveti (kg)

d= Kesme derinliği (cm)

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

2ϕ = Keski uç açısı(°)

σ_c = Kayacın basınç dayanımı (kg/cm^2)

Evans teorisi büyük kesme derinliklerinde yapılan kesmelerde iyi sonuçlar vermemektedir. Göktan, 1997’de bu teorinin üzerinde çalışarak daha gerçekçi sonuçlar bulunan (2.4) eşitliğini geliştirmiştir [15].

$$F_c = \frac{4\pi.\sigma_t.d^2.\sin^2\phi}{\cos\phi} \quad (2.4)$$

2.1.3.2 Kama uçlu kesmelerle ilgili kesme teorileri

Evans teorisi sert kayalar için doğru sonuçlar vermemekte, bu yüzden sert kayalar için Nishimatsu’nun 1972’de oluşturduğu teori kullanılmaktadır:

Nishimatsu teorisine göre kama uçlu keski üzerinde oluşacak maksimum kesme kuvveti; kayacın kesme dayanımı, kesme derinliği, kesmeler arası mesafe ile doğru orantılı olarak değişir [16].

$$F'C = \frac{2\tau.d.w.\cos\phi}{(n+1)(1-\sin(\gamma+\phi-\alpha))} \quad (2.5)$$

Burada;

F'C: Keskiye gelen maksimum kesme kuvvetleri (kg)	γ : kayac ile keski arasındaki sürtünme açısı (°)
τ : kayacın kesme dayanımı (kg/cm ²)	ϕ : kayacın içsel sürtünme açısı (°)
d: kesme derinliği (cm)	α : kesme açısı (°)
w: keski genişliği (cm)	$n=12-(\alpha/5)$ dir.

Bir başka teori de Merchand’ın metal kesme teorisi esasına dayanmaktadır. Potts ve Shuttleworth bu teoriyi kömür kesme için değiştirmiş [17], Roxborough ve Rispin ise bu yaklaşımı eşitlik (2.6) ile ifade etmiş ve daha çok tebeşir taşı gibi nem aldığında plastik özellik gösteren kayalarda doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir [7, 18].

$$F'C = \frac{\tau.d.w.\cos(\gamma-\alpha)}{\sin\phi.\cos(\phi+\gamma-\alpha)} \quad (2.6)$$

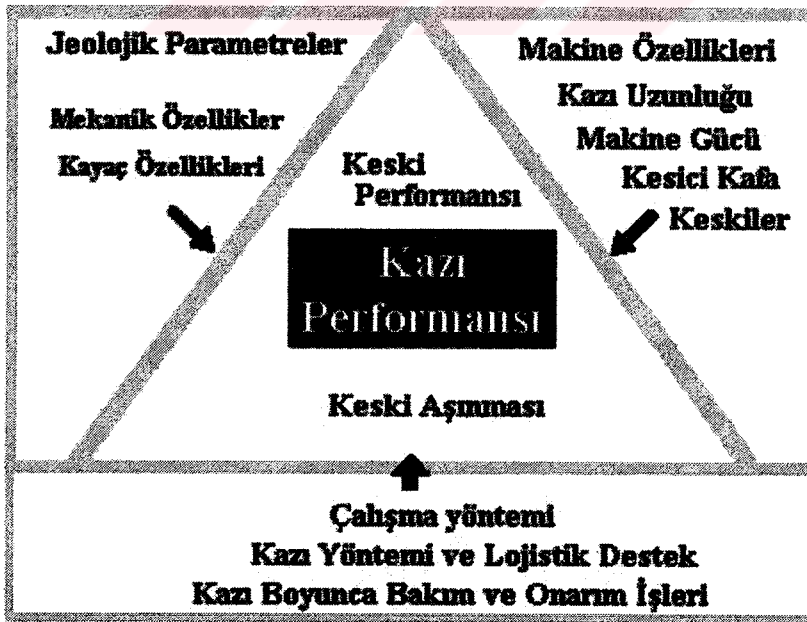
Parametreler (2.5) eşitliğinde verilen parametrelerle aynıdır.

2.2 Kollu Makinelerde Kazı Performansını Etkileyen Faktörler

Bir kazı işlemini en verimli şekilde gerçekleştirmek için, kazılacak formasyona en uygun olan bir makine seçilmelidir. Bunun için mekanize kazı performansını etkileyen faktörler bilinmelidir. Performansı etkileyen faktörler genel olarak 3 gruba ayrılır:

- Makine ile ilgili faktörler (Mekanik Faktörler) Tablo 2.2, Şekil 2.8
- Kayaç ile ilgili faktörler (Jeoteknik faktörler) Tablo 2.3, Şekil 2.8
- İşletme faktörleri Tablo 2.4, Şekil 2.8

Her şeyden önce kazı performansı, kesici kafa dizaynı, keski tipi ve makine gücü gibi makine parametreleri tarafından etkilenir. İkinci olarak, jeoteknik parametreler keski aşınması ve kesme performansını etkiler. Bunlar porozite ve çimentolaşma derecesi, kuvars miktarı gibi parametreleri içeren mineral özellikleri; basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastik modüller gibi parametreleri içeren kaya mekaniği özellikleri; süreksizlik aralığı ve sıklığı gibi parametreleri içeren kayaç kütlesi özellikleridir. Son olarak kazı performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri de çalışma yöntemidir. Kazı boyunca bakım onarımın aksatılmaması, seçilen kazı yönteminin başarıyla uygulanması için gerekli olan iş planlarının yapılması ve lojistik desteğin gerçekleştirilmesi de kazı performansını etkiler (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Bir kollu makine uygulamasında kazı performansını etkileyen ana parametreler [19].

Tablo 2.2 Performansı etkileyen mekanik faktörler

Kesici kafa	Kesici uç sayısı	
	Kesici uç tipi	Radyal/ileri atımlı/kalem uçlu
		Kesici uç geometrisi
		Uç bileşimi
	Kesici kafa dizaynı	
Stabilite	Burn silindirlerin itme kuvveti	
	Kesici kafanın dönme hızı	
	Kesici kafa motor gücü	
	Makinenin sağlamlığı	
İşletme özellikleri	Kazının şekli	
	Operatör tecrübesi	

Tablo 2.3 Performansı etkileyen jeoteknik faktörler

Malzeme Özellikleri	Kesilebilirlik	
	Aşındırma	Sürtünme etkisi
		Darbe etkisi
		Isı etkisi
	Dağılma özelliği	Şlam oluşturma
Kütle Özellikleri	Süreksizlikler	Hacimsel sıklık
		Yönlenme
		Kesme dayanımı
	Karışık arın	
	Formasyon değişimi	
Çevre Özellikleri	Su	Yeraltından gelen
		Makinelerden gelen
	Galeri Geometrisi	Boyut
		Şekil
		Eğim
	Yerinde Gerilmeler	

Bir kollu makine uygulamasında karşılaşılan problemler kazı, yükleme ve destekleme aşamalarında meydana gelen problemler olarak üç ana başlıkta toplanabilir. Kazı anında oluşan problemler; düşük ilerleme hızı, yüksek keski sarfiyatı dolayısıyla keski aşınması ve kesici kafanın ilerleyememesidir. Yükleme anında oluşan problemler; kazılan blokların çok ağır olması yada su etkisiyle çamurlaşan malzemenin taşıma elemanlarını kilitlemesidir. Destekleme problemleri; makinenin yumuşak zeminde batması yada makine sabitleme elemanlarının zemine batarak işlevlerini gerçekleştirememesi olarak tanımlanabilir.

Tablo 2.4 Performansı etkileyen işletme faktörleri

Tahkimat	Tipi, miktarı	
	Bağ atım şekli	
	Mekanizasyon	
	Diğer	Çimentolama Kamalama
Kazılan malzemenin nakliyatı	Arında	Makine önünde Makine çevresinde İkincil kırma
	Arın gerisinde	Konveyör Kamyon Vagon
	Havalandırma	
Yardımcı ekipmanlar	Toz bastırma	Su/pompa Vantüp
	Hat ve kablo uzatımı	Enerji kablosu Haberleşme kablosu Konveyör Ray
İşçilik	Bulunabilirlik	
	Deneyim, yetenek	
	Arına ulaşım	Arına uzaklık/ulaşım süresi Ulaşım yöntemi
Organizasyon	Yönetim	Prim sistemi İletişim
	Vardiya	Toplam süre Verimli süre
Son kullanım	Mühendislik toleransı	Galeri eğimi Galeri istikameti
İş önceliği	Kazının ortamdaki diğer işlerle ilişkisi	
Su	Su atımı ve drenaj	

2.3 Performansı Belirlemek Amacıyla Kullanılan Terimler [20]

Uygulamada, bir kazı makinesinin performansını saptamak amacıyla kazı esnasında birebir kayıtlar tutulur. Bu kayıtlarla makineden faydalanma oranı ve ilgili bazı terimler (2.7) bağıntısından hesap edilerek makine performansı belirlenir.

- Makineden faydalanma oranı (MU, %)
- Makine ölü zamanı (Md)
- Net kazı hızı (Nc)
- Ortalama ilerleme hızı (Pr)
- Ortalama kesici uç sarfıyatı (Pc)

Bu terimler kısaca şöyle tanımlanabilir:

Makineden faydalanma oranı (MU):

$$MU = (A / B) \times 100 = [(B - C) / B] \times 100 = [B - (D + E)] / B \times 100 \quad (2.7)$$

A= Fiili kazı yapılan süre

B= (Galeri kazısının başladığı ve bittiği tarihler arasındaki toplam takvim günleri - tatil günleri)*24, (saat)

C= Toplam duraklamalar, saat

D= Makine ile ilgili duraklamalar, saat. Bu duraklamalar planlanmış (bakım, keski değiştirme) ve planlanmamış (arızalar) olarak 2 gruba ayrılır.

E= Makine ilgili olmayan duraklamalar, saat. Bu duraklamalar havalandırma, nakliyat, tahkimat, drenaj, göçük ve organizasyon eksikliği gibi arızalar.

MU değeri B değerinin ne kadarının fiilen kazıya ayrıldığını gösterir. Günümüzde MU değerinin % 40-60 arasında olması iyi olarak kabul edilir.

Makine Ölü Zamanı (Md), (2.8) nolu bağıntıdan hesap edilir. Md değeri makinenin B süresi içinde ne kadar çalışmadığını gösterir.

$$Md = 100 - MU , \% \quad (2.8)$$

Net kazı hızı Nc (m³/h): (2.9) nolu bağıntıdan hesap edilir

$$Nc = F / A \quad (2.9)$$

F= A süresi boyunca, makinenin kazdığı yerinde kayaç hacmi m³

Ortalama Kazı İlerleme Hızı (Pr) (m/h): (2.10) nolu bağıntıdan hesap edilir.

$$Pr = G / B \quad (2.10)$$

G= B süresi boyunca belirli bir galeri kesiti için kazılan uzunluk, m

Pr değeri m/h olarak ifade edilebildiği gibi m/vardiya, m/gün, m/hafta, m/ay, olarak ifade edilebilir. Ortalama Keski sarfiyatı Pc (keski /m³): (2.11) nolu bağıntıdan hesap edilir. H= A süresi boyunca tüketilen keski adedi

$$Pc = H / F \quad (2.11)$$

2.4 Mekanik Kazıcılar İçin Performans Tahmini

Performans tahmini, başarılı bir kazı gerçekleştirmek için son derece önemlidir. Kazı yapılacak yer için bir makine seçimi, bu makinenin üretim hızı ve keski sarfiyatının ne olacağı performans tahmini ile önceden belirlenebilir. Başarılı bir madencilik işlemi gerçekleştirmek ve uygun kesici kafa ve keski dizaynı yapmak için optimum kayaç koşullarının belirlenmesinin büyük bir önemi vardır. Deneysel yöntemlerle spesifik enerjinin tespit edilmesi optimum kazı işlemini gerçekleştirmek için yapılan performans tahmin yöntemlerinden biridir.

2.4.1 Performans tahmin yöntemleri

Herhangi bir formasyonu kazmak için kullanılacak bir mekanik kazıcının (sürekli kazıcı, kollu makineler, hidrolik kırıcı) performans tahmini kazının ekonomikliğini belirlenmesinde ana faktörlerden biridir. Kazı performansı tahmininde değişik metotlar olduğu bilinmekte ve çok daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için kestirimin bir kaç metot uygulanarak yapılması tavsiye edilmektedir. Bu metotlar; tam boyutlu doğrusal kazı testi, küçük boyutlu kazı seti (karot kesme), ampirik yaklaşımlar, yarı teorik yaklaşımlar ve arazide gerçek bir makine kullanımı olarak bölümlere ayrılabilir.

2.4.1.1 Tam boyutlu doğrusal kazı seti performans tahmin yöntemi

Bu tahmin yöntemi; kaya ortamını temsil eden 70 x 50 x 50 cm boyutlarındaki bir kayaç numunesinin, gerçek boyuttaki konik, kama yada disk keskilerle laboratuvar ortamında kesilerek elde edilen verilerden kestirimin yapılabildiği, oldukça hassas bir yöntemdir. Doğrusal kazı seti ile bir kayaç numunesi keserken pratikte kullanılan bir keskiye etkileyen tam boyutlu keski kuvvetleri ölçülür. 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 keski arası mesafelerde belirlenir ve daha sonra (2.12) bağıntısında verilen eşitlikle mekanik bir kazıcı için üretim hızı hesaplanabilir [21].

$$\text{Net ilerleme hızı (ICR)} = k \frac{\text{Kesici} \cdot \text{kafa} \cdot \text{gücü} \cdot (P)}{SE_{\text{opt}}} \quad (2.12)$$

k: 0.7 – 0.8 arasında değişen enerji transfer katsayısı.

Burada, ICR, m³/h olarak anlık net ilerleme hızı, P, kW olarak mekanize kazıcının kesici kafa gücü ve SE_{opt}, kWh/m³ olarak optimum spesifik enerji değeridir.

Bununla beraber, kazı ile birarada yapılan tahkimat, nakliyat, havalandırma, tamir-bakım ve ölçme gibi diğer faaliyetler kazı işlemi kadar hızlı yapılamadığından, bir vardiyanın sadece % 25-35'inde, en fazla % 50'sinde kazı işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Net ilerleme hızı hesaplanırken bu husus göz önünde bulundurularak üretim miktarı hesaplanmalıdır.

2.4.1.2 Küçük boyutlu kazı seti performans tahmin yöntemi

Bu tahmin yöntemi; 1977'de, I. Mc Feat Smith ve R. J. Fowell tarafından detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Bu yöntem arazide ve laboratuvarında bir çok kayaç üzerinde yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda oluşturulmuş, en yaygın olarak kullanılan yöntemdir [22-25].

7,6 cm çaplı bir karot yada 20 x 10 x 10 cm boyutlarında küçük kaya numuneleri bir planya makinesinde tablaya oturtulur ve uç açısı (-5°), keski genişliği 12,5 mm temizleme açısı (5°), kesme derinliği 9 mm olan bir kama uçlu keski ile kesilir. Üç yönde kesme, dikey ve yanal kuvvetler bir dinamometre kullanılarak kaydedilir ve ortalama kesme kuvvetlerinin birim mesafede kesilen pasa hacmine bölünmesiyle spesifik enerji MJ/m³ veya kWh/m³ olarak bulunur. İndeks değerler olarak sınıflandırılan test sonuçları daha önceden toplanmış arazi performans verilerine göre değerlendirilirler [26 - 28].

Bu yöntemde masif ve süreksizlik içermeyen numune seçilmesi, deney sırasında gerçekçi kesme kuvvetleri, dolayısıyla spesifik enerjinin tespiti açısından önemlidir. Daha önce alçı taşı ve kumtaşı ile benzer özellikler gösteren beton numuneleri üzerinde yapılan kesme deneylerinde yanal basınçların ve jeolojik süreksizliklerin kesme kuvvetlerinde ve elde edilen pasaların miktarında oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir [27, 28].

2.4.1.3 Performans tahmini için ampirik yaklaşımlar

Ampirik performans tahmin modelleri, temel olarak geçmiş deneyimlere ve daha önce bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin istatistiksel analizlerinin yorumlanmasına dayanır. Bu yüzden arazide veri toplanması işi ampirik performans

tahmin modellerinin geliştirilebilmesi için son derece önemlidir. Bu modellerin doğruluğu ve güvenilirliği kaliteli veri alınmasına bağlıdır.

Laboratuvarında yapılan deneylerin yanında daha önce gerçekleştirilen kollu makine uygulamalarında elde edilen datalar da gözönünde bulundurularak kullanılacak makine tipi, makinadan faydalanma oranı, keski tüketimi ve üretim hızı gibi parametreler hesaplanarak önceden performans tahmini yapılabilir [29]. Çayeli Maden Şirketi için cevher üretiminde kollu makinelerin kullanılabilirliğinin etüdü yapılan bir projede küçük boyutlu doğrusal kazı setinde kesme deneylerine tabi tutulan siyah ve sarı cevher numunelerini kesmek için harcanan spesifik enerji sırasıyla 9 kWh/m³ ve 3.5 kWh/m³ olmuştur. Buna göre 150 kW kesme gücüne sahip olan kollu makine için net üretim hızı siyah cevher için 13.3 m³/saat, sarı cevher için 34.3 m³/saat hesaplanmıştır [30].

Beşiktaş, Kuruçeşme, Baltalimanı, Eyüp ve Haliç arasındaki farklı zonlardaki kollektör tüneli kazısında, 95 kW'lık kesici kafa gücüne sahip bir kollu makinenin kullanılması sırasında toplanan istatistiksel verilere (tünel jeolojisi, kayaç kütle ve sağlam kaya özellikleri, makine performansları) dayanarak Bilgin tarafından geliştirilen bir tahmin modelinde, bu tip makinelerin performansının basınç dayanımına ve RQD'ye bağlı olarak değiştiği anlaşılmış ve (2.13) eşitliği ile gösterilen kayaç kazılabilirlik indeksi ile ifade edilmiştir. Çok yaygın bir şekilde kullanılan bu yöntem, birçok tünelde veri toplama çalışmalarına dayandırılan bir yaklaşım ile tamburlu, spiral tipli kollu makine ve hidrolik kırıcıların anlık üretim hızı tahmin edilebilmektedir [31-36].

$$RMCI = \sigma_c \left(\frac{RQD}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.13)$$

Bu indeks kullanılarak bir kollu makine için net kazı hızı (m³/h) eşitlik (2.14)'teki gibi hesaplanır. Burada P, beygir gücü olarak makine gücüdür.

$$ICR = 0.28 P (0.974)^{RMCI} \quad (2.14)$$

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 (m³/h); eşitlik (2.15)'teki gibi hesaplanır.

$$IBR=4.26 P (RMCI)^{-0.567} \quad (2.15)$$

Burada, ICR; m³/h olarak anlık kazı hızı, IBR; m³/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.

2.4.1.4 Performans tahmini için yarı teorik yaklaşımlar

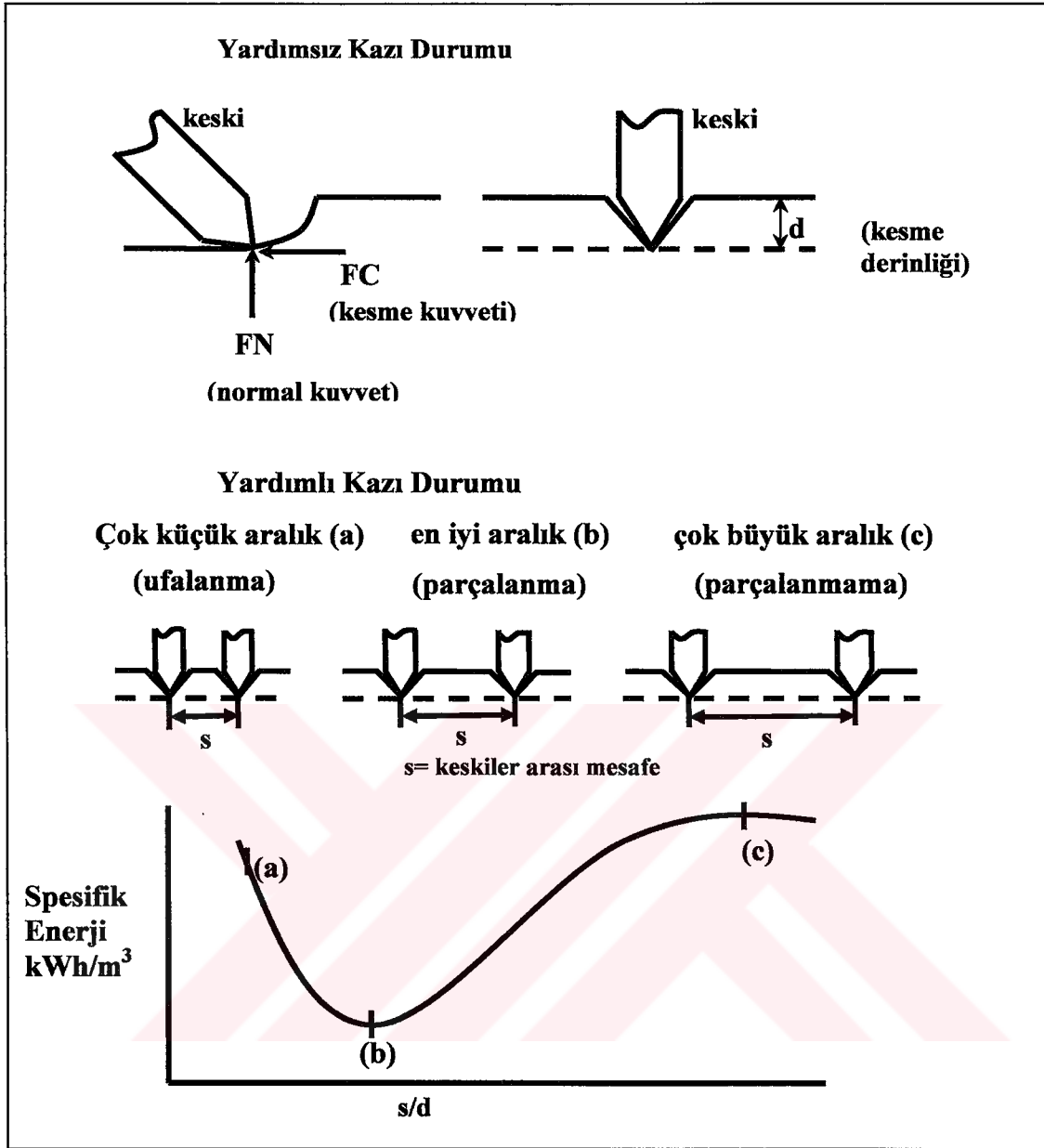
Bu yaklaşımda, bilgisayarla tasarlanarak oluşturulmuş bir model kullanılır. Bu yöntemle, performans tahmini ve kesici kafa dizaynı yapılabilir. Metotun güvenilirliği ve doğruluğu kanıtlanmış, bir çok makine üreticisi, araştırma enstitüsü ve danışman firmalar bu amaç için geliştirilen kendi bilgisayar modellerini geliştirmişlerdir [37-39].

2.4.1.5 Arazide gerçek bir makine ile deneme kazısı

Kullanılmış yada yeni bir makine kiralanır ve kullanılması düşünülen bir madende test edilir (Örneğin Carlin Altın Madeni) [2]. Bu, çok pahalı ve zaman alıcı bir yöntem olmakla birlikte, en doğru performans tahmini yapılabilen bir yöntemdir.

2.4.2 Kazı esnasında keskinin kayacı parçalama mekanizması

Kazı sırasında keskinin belli bir kesme açısıyla kayaca girerek parçalama işlemini gerçekleştirirler. Bu işlem sırasında keskinin batma geometrisinde bir gerilme zonu oluşur ve tanelere gelen hidrolik etkiler kayaç dokusunda minik çatlaklar oluşmasına yol açar. Verimli bir kesme işleminde keskinin arası mesafenin en uygun olduğu mesafe bu çatlakların birbirine ulaşabildiği en büyük mesafedir. Bu durumda en büyük parça boyutlu pasalar elde edilerek verimli bir kazı gerçekleştirilmiş olur. Fakat ne yazık ki bumlu makinelerde, kayaç içinde bulunan safsızlıklar ve süreksizlikler yüzünden titreşim oluşarak aşırı sarsıntı problemleri meydana gelir. Bu da keskinin kayaç ile istenildiği derinliklerde temas etmesini zorlaştırdığından istenilen oranda çatlak oluşumu engellenmiş olur. Dolayısı ile bir sonraki turda keskinin parçalama etkisi daha az olacaktır.



Şekil 2.9 Kazı sırasında konik bir keskiye gelen kuvvetler ile yardımcı ve yardımsız kesme durumu

Keskiler arası mesafe, kesme kuvvetlerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kısa keskiler arası mesafe verimsiz bir kesme, öğütme ve toz oluşumuna neden olur. Keskiler arası mesafe artırıldığında, uygulanan basma kuvvetinin oluşturduğu minik çatlakların birbiriyle kesişebildiği, belli bir noktaya kadar kesme verimi artar, parça boyutu büyür, dolayısı ile toz oranı düşer. Keskiler arası mesafe fazlasıyla artırıldığında keskinin birbirine etkisi olmadığından çatlaklar birbirine ulaşamayarak aradaki köprüyü kopartamayacak ve kesici kafaya aşırı yükler gelerek verimli bir kesme işlemi gerçekleştirilemeyecektir. Bu durumdaki bir kazı işleminde en önemli nokta, uygulanan en az kuvvetle en fazla pasanın elde edileceği kazı şartlarının

belirlenmesidir. Bu da birim hacimdeki kayacı kazmak için gerekli olan kuvvetin oluşturduğu enerji olarak tanımlanan spesifik enerjidir ve kazı verimliliğini etkileyen ana faktördür. Bir kazı sırasında oluşan spesifik enerji ne kadar küçük ise kesme verimliliği de o kadar artacaktır. Kazı enerjisinin en küçük olduğu durumda keski arası mesafe ile kazı derinliği arasında (s/d) en iyi oran elde edilmiş demektir (Şekil 2.9). Bu oran değişik özelliklerdeki her kayaç için farklı olup kollu makine kesici kafa dizaynında ve kesme geometrisinin belirlenmesinde kullanılır. Konik keski için bu oran genellikle 2-4 arasında değişir. Kırılgan bir kayaç için bu oran 4'den daha fazla olabilir [40]. Keski geometrisi de ilerleme hızını ve verimli kazı uygulanabilirliğini etkiler.

İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü ve Colorado Madencilik Okulu'nun daha önce yapılan arazi çalışmalarından derlenen geniş bir veri bankası bulunmaktadır. Elde edilen veriler analiz edilmiş, detaylı bir veri toplama yöntemi geliştirilmiş ve daha sonra sınıflandırılmıştır (Tablo 2.5) [41].

Tablo 2.5 Veri bankasındaki bilgilerin sınıflandırılması

Bilgi	Detaylar
Genel Bilgi	Kazının tipi ve amacı (otoban, tren yolu, kanalizasyon tüneli ve maden galerisi gibi...), yüklenici firma, iş sahibi, danışman, yerleşim yeri, başlama ve bitiş tarihi.
Kollu makine hakkında bilgi	Üretici, makinenin durumu (yeni, değiştirilmiş, kullanılmış), makine özellikleri, ağırlığı, kesici kafa gücü ve çapı, kesici uç sayısı ve tipi, yardımcı ekipmanlar (otomatik profil kontrol, toz bastırıcılar, makine destekleme sistemi vb.)
Teknik ve Uygulama Bilgisi	Kazı uzunluğu, derinliği, eğimi, kazı profilinin boyutları, operatörün deneyimi, aynadaki kazı aralıkları, günlük ve haftalık kazı zamanları, pasa taşıma sistemleri, tahkimat sistemi vb.
Her kaya zone için kayaç kütle bilgileri	Jeolojik köken, jeolojik bölgelerin sayısı ve karakteristiği, hidrojeolojik şartlar, kayaç kütle sınıflamaları, RQD, yataklanma özellikleri, çatlak sisteminin özellikleri (doğrultuları, sıklığı, sağlamlığı, dolgu derecesi, vb.)
Her kayaç zone için sağlam kaya özellikleri	Kayaç kesilebilirlik özellikleri, basınç ve çekme dayanımı, elastik modülü, yüzey sertliği, doku (boşluk oranı, mineral, kuvars içeriği ve tane boyutu, mikroçatlaklar, vb.), aşındırıcılık özellikleri, vb.
Her kayaç zone için performans kayıtları	Kazı hızları, keski ve tutucu sarfiyatı, kollu makine faydalanma oranı ve verimlilik, enerji tüketimi, ortalama ve en iyi ilerleme hızları (vardiyada/günlük/haftalık/aylık), kazıya engel olan önemli duraklamalar, bekleme analizi (makine ile ilgili duraklamalar, arka ekipmanların sebep olduğu duraklamalar, arazi ve destekleme duraklamaları, vb.)

2.5 Mekanik Kazıcıların Uygulanabilirlik Sınırları

Mekanik kazıcı kullanma kararını verebilmek için, kazılacak formasyon için seçilecek kazıcı makinenin göstereceği tahmini performansı ve uygulama koşullarını bilmek gereklidir. Jeolojik şartları değiştirmek mümkün olmadığı için formasyon parametreleri derinlemesine incelenmeli (kayaç sınıflaması ve sağlam kaya özellikleri), bu parametreler makine parametreleri ve ortam jeolojisi ile karşılaştırılmalıdır.

2.5.1 Makine özellikleri

Mekanik kazı, güvenli ve ekonomik olmasının yanında, selektif madencilik yapılabilmesi, esnek kullanım şartları olması, hareket kabiliyetinin yüksek olması, sert ve aşındırıcı kayaçları kazabilme yeteneğinden dolayı tercih edilmektedir.

Selektif madencilik uygulaması, cevher damarı ile yankayacın birarada bulunduğu formasyonlarda cevher içeren kayacın değersiz olan yankayaçla karışmadan kazılabildiği son derece önemli olan bir uygulamadır. Böylece cevhere karışan gang minerallerin ayıklanması için ek bir zenginleştirme yapılmadığı gibi fazladan enerji tüketilmemiş olur ve zenginleştirme işleminin verimi yükselir. Bu tip kazıda cevher aynası kısmi cepheli kazı yapabilen kollu galeri açma makineleri, hidrolik kırıcı (IH) ve sürekli kazıcılar (CM) gibi selektif madencilik yapabilme kabiliyetine sahip makinalarla kazılabilir. Kazı devam ederken keskinler kontrol edilebilir ve değiştirilebilir. Ayrıca daha güvenli çalışma ortamı sağlamak için bir destekleme kalkanının içinde çalışabilirler.

Hareket kabiliyeti, gerekli olduğunda makinenin bir aynadan diğerine kolayca ve en kısa zamanda yerdeğiştirmesi anlamına gelmektedir. Değişen madencilik şartları hareket kabiliyeti yüksek olan kazıcı makinelerin kullanılmasını gerektirir. Bu makineler, madende kolayca hareket edebilsinler ve yeraltındaki açıklıklara sığabilsinler diye mümkün olduğu kadar küçük boyutlu ve hafif olmalıdır. Bu yüzden, kısmi cepheli makineler (KGAM, IH, CM gibi) yüksek hareket kabiliyetleri olan makineler olarak düşünülebilir. Ancak tam cepheli makinalar (TBM'ler) ağır makinalar oldukları için hareket kabiliyeti kısıtlı olan makinelerdir. Ayrıca kısmi cepheli makinelerin montaj ve demontajı kolaydır, parçaları maden alanına kolay getirilir ve götürülür.

Üretimde esneklik, kesit şekli (atnalı, dikdörtgen, dairesel gibi), eğim, dönme çapı düz-engebeli zemin gibi değişik işletme şartlarına adapte olabilme özelliği anlamına gelmektedir. Kısmi cepheli makinalar 90° keskin dönüşler yapabilir, nakliyat için gerekli olan düz zeminleri kazabilir, dik rampa yokuş ve inişleri aşabilirken tam cepheli makineler bunların hiçbirisini yapamaz.

Sert ve aşındırıcı kayaç kazabilme kabiliyeti mekanik kazıcıların uygulamalarını sınırlayan en önemli faktördür. Şimdiye kadar yapılan uygulamalar en verimli şekilde sert kayaç kazabilen keskinin disk keskiçiler olduğunu göstermiştir. Fakat sadece tam cephe çalışan makineler sert ve aşındırıcı kayaçları kesmek için gereken yüksek güç ve torku sağlayabilirler. Kısmi cepheli makinelerde kullanılan kalem uçlu keskiçiler sert ve aşındırıcı kayaçların kazısında kullanılamazlar.

2.5.2 Jeolojik özellikler

Herhangi bir jeolojik formasyonun **kayaç kütlesi** özellikleri (çatlak sayısı ve sıklığı, yataklanma düzlemleri, doğrultuları, hidrojeolojik şartlar, yatak geometrisi vb...) ve **sağlam kaya** özellikleri (kesilebilirlik, aşındırıcılık, dayanım ve doku vb...) mekanik kazıcıların seçiminde, performans tahminlerinde ve kesici kafa dizaynlarında başlıca parametreleri oluşturur.

Tam boyutlu kazı deneylerinden tesbit edilen kayaçların **kesilebilirlik** özelliği makine seçimi, kesici kafa dizaynı ve performans tahmini yapmak için en iyi yoldur. Tam boyutlu kazı deneylerinde büyük boyutlardaki bir kayayı keserken kullanılan gerçek boyuttaki keskiye gelen kesme kuvvetleri ölçülür. Elde edilen bu kuvvet verileri ile kazıcı makine seçimi, kesici kafa dizaynı, en iyi kesme geometrisinin belirlenmesinin yanında, performans ve maliyet tahmini de yapılabilir.

Kayaç aşındırıcılığı keski tüketim oranına etki eden bir faktördür. Eğer kayaç çok aşındırıcı ise keski tüketim oranı çok yüksek olacak, sık keski değişimine bağlı olarak kazı ekonomik olmayacaktır. Bu durum makinenin çok fazla sarsıntılı çalışacağı anlamına da gelir ki kısa zamanda metal yorulması meydana geleceğinden bakım giderleri de artacaktır. Kuvars içeriği ve diğer doku parametreleri (parça boyutu ve şekli, sert mineral içeriği vb...) de aşındırıcılığı etkileyen temel parametrelerdir

Çatlak sıklığı, tabaka düzlemleri ve doğrultusu gibi kayaç zayıflık derecesini etkileyen özellikler, makine, kesme yerine, çekme ve koparma işlemi yaptığı için

kazıyı daha kolay hale getirir. Diğer taraftan zayıf bir formasyonda daha çok destekleme yapılması gerekir. Bu da, tüm bu işler için daha fazla zaman harcanacağından makineden faydalanma oranının düşmesine sebep olur.

2.6 Cevher Kazısında Mekanik Kazı Uygulamaları

Dünyada bir çok örnekleri olmakla birlikte, iki ayrı yeraltı madeninde kullanılan başarılı mekanik kazıcı uygulaması dikkat çekici özellik taşımaktadır:

Bunlardan biri, Alt Kalamazoo, Magma bakır şirketinin San Manuel-Arizona-ABD'deki madeninde Tam Cepheli galeri açma makinesi (TBM) kullanılan uygulama, diğeri de Newmont altın şirketinin Carlin East-ABD'deki altın madeninde kısmi cepheli galeri açma makinesi (KGAM) kullanılan uygulamadır [2, 3, 42]. Kollu makinelerle başarılı bir kazı işlemi için makina ağırlığı, gücü ve kesilecek formasyonun basınç dayanımı arasında bulunan ilişkinin mekaniksel tanımlaması yapılmalıdır [41].

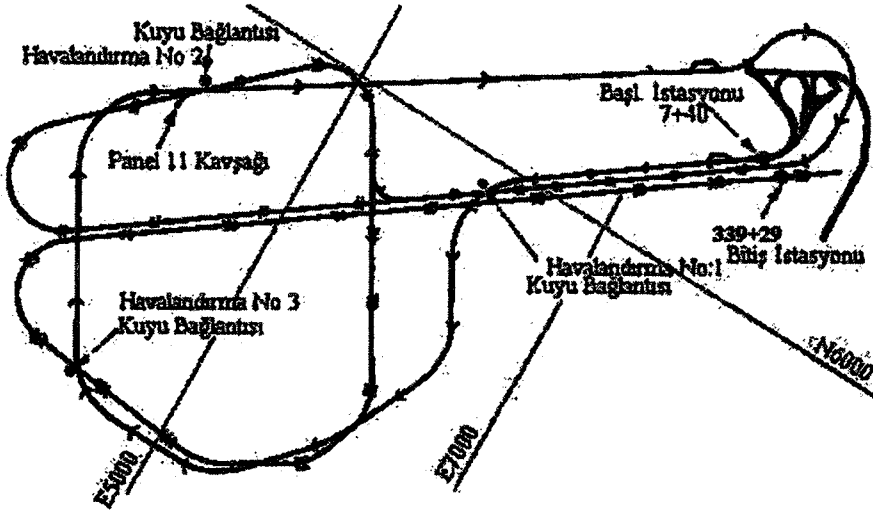
Türkiye'de, bazı tünel projeleri ve kömür madenleri hariç, metal madenciliği cevher kazısı aşamasında mekanik kazı uygulaması bulunmamaktadır.

2.6.1 ABD-Magma Bakır Madeni'nde TBM uygulaması

Alt Kalamazoo'daki bakır ve molibden madenindeki uygulamada bir TBM kullanılmış ve ilerleme hızı, kazı, nakliyat işlerinde başarı sağlanmıştır. Burada daha önce kullanılan madencilik yöntemi blok halinde göçertme metoduydu. Maden üretim yöntemi, TBM kazısına uygun olması için yeniden planlanmış ve Şekil 2.10'daki gibi bir gelişim göstermiştir [3].

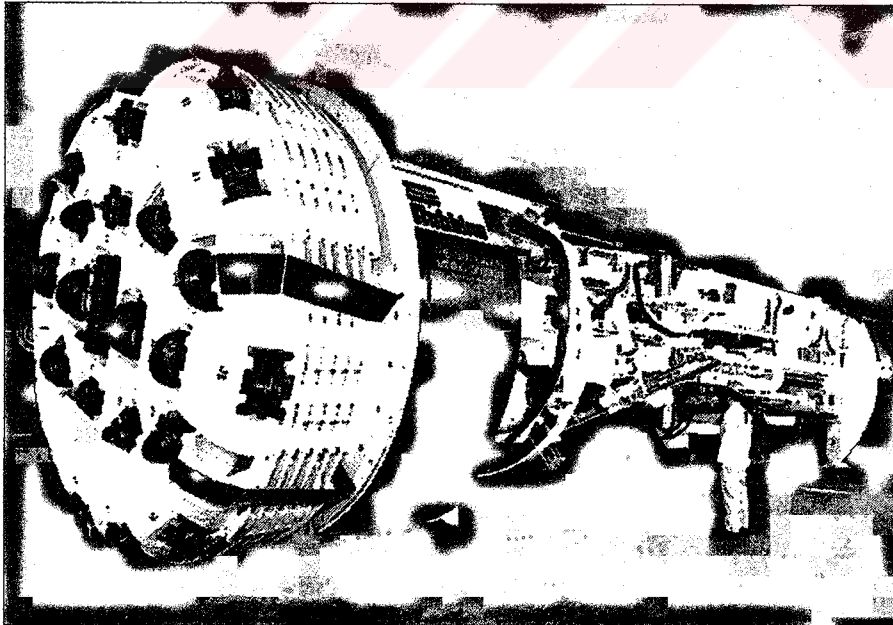
Uygulama alanında kuvarslı monzonit gibi basınç dayanımı 150 MPa ile 180 MPa arasında değişen çok sert kayalar ayrıca bir çift fay zonu bulunmaktaydı. Toplamda 10 364 m'lik ilerleme yapılarak cevher kazısı yapıldı.

Kullanılan makine, 4,62 m çapında açık tipli 20 m uzunluğunda, 200 ton ağırlığında, 1260 kW. kesici kafa gücüne sahip kayaca 680 ton baskı uygulayabilen ve dakikada 4 ten 12 ye kadar dönüş yapabilen Atlas-Copco Robbins (156-275 model) marka bir TBM'di (Şekil 2.11).



Şekil 2.10 Magma bakır madeninde kullanılan TBM'in çalışma alanı plan görünümü [3].

Kazıya Kasım 1993'te başlandı. İlk kazılan 1829 m, kırıklı çatlaklı yapının dökülmesi, destekleme ve oluşan pasayı yükleme gibi problemler nedeniyle umulduğu gibi kazılamadı. Bu problemleri çözmek için Mart 1994'te maden personeli, danışmanlar, yüklenici firma ve makine üreticilerini içeren bir TBM değerlendirme grubu oluşturuldu. Bu grup problemleri tesbit ettikten sonra TBM üzerinde çeşitli değişiklikler yapmaya karar verdi.



Şekil 2.11 Magma bakır madeninde kullanılan TBM

Bu değişiklikler; kesici kafa üzerindeki pasa yükleme sisteminin geliştirilmesi, uygulama torkunun yükseltilmesi ve arazi destekleme sisteminde yapılan değişikliklerdir ve bir ayda tamamlanmıştır.

Bundan sonra ortalama günlük ilerleme 22,6 m'ye kadar ulaşmıştır. Oysa değişiklik öncesi makinanın ortalama günlük ilerlemesi ancak 6,5 m idi. Bu performans 15 ay boyunca Aralık 1995'te rampa tamamlanana kadar devam etmiştir.

2.6.2 ABD-Newmont Altın Şirketi-Carlin East Altın Madeni'nde KGAM uygulaması

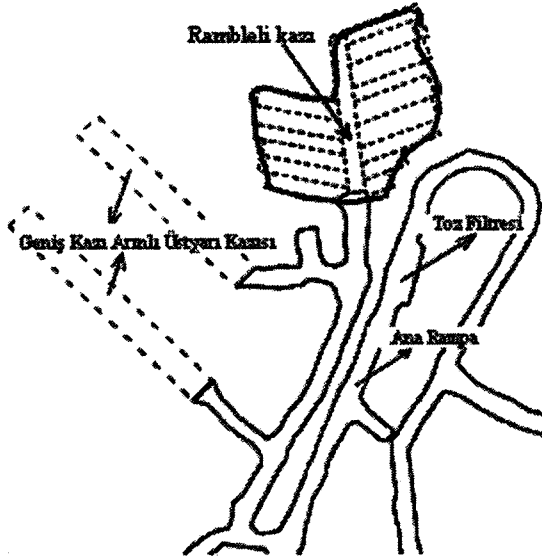
Newmont Altın Şirketi Carlin East Madeni'nde sürekli üretime 1995'in sonunda başlandı. 900 t/gün cevher içeren kaya kazılarak yaklaşık 4700 kg/yıl altın üretimi yapılmaktaydı. KGAM kullanımına özel olarak Carline East Madeni'nde 2 ayrı üretim yöntemi kullanılmaktaydı: Birincisi, üretimin % 70'inin yapıldığı "geniş kazı arınlı üretim yöntemi" (kazılan boşluklar en fazla 15,2 m yükseklikte, 8,5 m genişliğinde 30,5 m uzunluğunda olmuş ve çimentolu dolgu malzemesi ile doldurulmuştur). Diğeri ise geleneksel delme-patlatma ile kazıdır. Bu kazıda açılan boşlukların genişliği 3,7 m ve yüksekliği 4,6 m olmuştur. Bu ikinci yöntemin asıl amacı tutturulması gereken günlük üretim miktarını dengelemektir.

Carlin cevher yatağının jeolojik yapısı dolomitik siltli kireçtaşıdır. Basınç dayanımı 41-117 MPa arasında değişir. Kayaç kütle indeksi (RMR) 41 civarındadır. Dolayısıyla zayıf zemin sınıfına girer.

Madende tahkimat 1,8 ve 2,4 m arasında değişen bulonlar ve çelik hasırlardan oluşmakta, tüm anayol kavşaklarında, geniş arınlı kazı aynalarında bulonlar çakılmakta ve 25 mm kalınlığında çimento enjeksiyonu yapılmaktaydı.

Haftada 6,5 saat günde 10,5 saat olmak üzere 3 ekip çalışmaktaydı. Haftada 1 gün üretim kesilip ocakta havalandırma ve galerilerde genel bakım yapılmaktaydı. Günde 2,5 saat de kazıda kullanılan makineleri yağlamak ve bakımını yapmak için ayrılmıştı.

Newmont Aralık 1996'da "Atlas Copco-Eickhoff ET-210" KGAM seçti. Makine 62 ton ağırlığındaydı ve dakikada 52 kez dönebilen 200 kW kurulu güce sahip, 1,1 m çapında 68 adet keski yerleştirilmiş, aynaya dik kazı yapan bir kesici kafaya sahipti [2].



Şekil 2.12 East Carlin Altın Madeni, KGAM çalışma alanının plan görünümü [2].

Makine Haziran 1997’de kazıya başladı. Üst dilim kazısında ve dolgulu kazı yapılan bölümlerde kullanıldı. KGAM çalışma alanı ana nakliyat galerisine yakın bir yerde seçildi (Şekil 2.12).

30 Eylül’e kadar günlük ortalama üretim 226 ton/gün oldu ve yaklaşık 25 000 ton cevher kazısı yapıldı. Anlık kazı hızları 180 t/saat olarak gerçekleştirildi. Bunun ek kamyon nakliyatı ile daha da artırılacağı ifade edilmişti. Ortalama net ilerleme hızı 147 t/saat olarak gerçekleşmiş ve bu sırada aynada 4.6 m ilerleme kaydedilmişti. Herhangi bir göçük olayı olmamış ve ortalama keski tüketim sarfıyatı 0,012 keski/t olmuştu.

Tahkimat için geçen süre KGAM üretiminde en büyük payı oluşturmaktaydı. Kazı esnasında destekleme için geçen zaman kazı için geçen zamanın 3 katından daha fazlaydı. Mekanize bir bulon çakıcı kazıyı aksatmadan yada kazı durduğunda kullanılmıştı. Üretimde olabilecek bu gecikmeler kollu makine çalışma alanlarının artırılması ile dengelenmeye çalışıldı.

Mekanize kazı patlayıcı kullanımının en az seviyeye indirilmesi ve damarın daha az örselenmesi ile kazı ortamını daha güvenli bir hale getirmişti. Zeminin daha sağlam kalması ile tahkimat gereksinimlerinde azalma olmuş bu da destekleme maliyetlerinin azalmasını sağlamıştı. İlk dört aylık kazı sonucunda elde edilen dataalar madencilik maliyetlerinde % 25 azalma olduğunu göstermişti. Bununla beraber kollu makine madenciliğinin verimi geleneksel rambleli kazı yönteminden % 15 daha iyi gerçekleştirilmiştir. Bu verilere operatörün eğitimi ve görevlendirilmesi için geçen

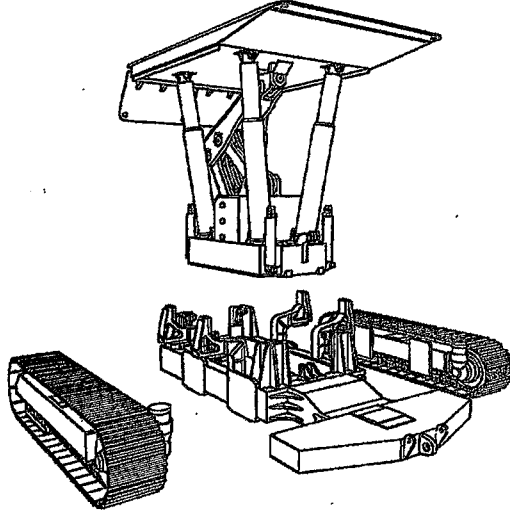
süreler de dahil edilmiştir. Verimlilik gün geçtikçe artmakta ve dolgu yönteme göre iki kat daha fazla verimliliğe ulaşacağı düşünülmektedir. Bu uygulamanın başarısı yeraltı cevher üretiminde KGAM kullanımını artıracığı düşünülmektedir.

Bu iki önemli uygulama dışında, San Manuel’de gerçekleştirilen bir kollu makine uygulamasında basınçlı su jeti yardımı ile oldukça sert kayalar kesilebilmiş ve kazı sırasında çıkan toz problemi büyük ölçüde azaltılmıştır [43]. Kollu makine ve delme patlatma yöntemi bir arada kullanılarak iki vardiya üretim yapılan bir bor madeninde üretim hızları ortalama 163 t/vardiya ve en iyi 474 t/vardiya olmuş, cevher ekonomik olarak çıkarılmıştır [44]. Kollu makine kesici kafaları aynaya dik yada paralel olarak kazı yaparlar. Kesilen kayanın tabakalanma yönü, kırık çatlak oranı, aşındırıcılığı, sertliği ve dayanımı, o formasyonda gerçekleştirilen ilerlemeler sırasında ortaya çıkan keski sarfiyatı hangi tip makine kullanılacağına tespitinde belirleyici faktörlerdir [45].

2.6.3 Cevher kazısında kullanılan diğer alet-ekipmanlar ve uygulamaları

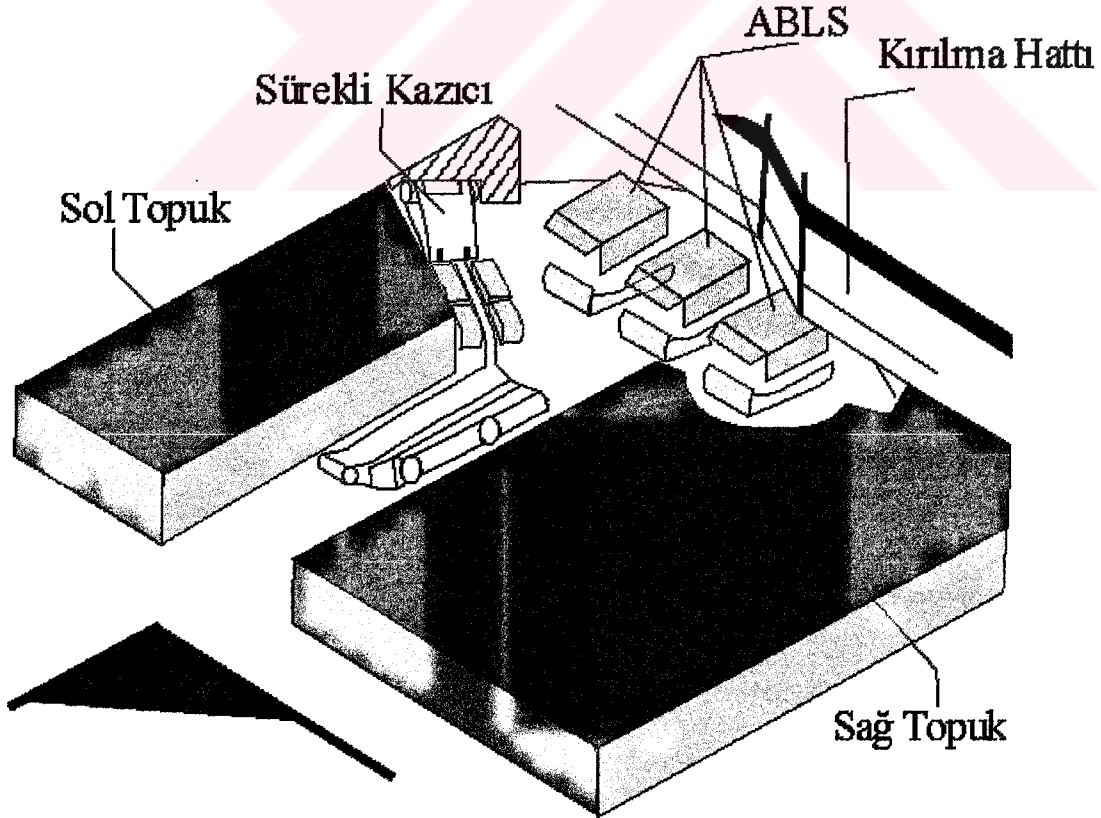
Kollu kazı makineleri geleneksel üretim yöntemlerine (oda topuk üretim yöntemi gibi...) adapte olabilme özelliği, hızlı hareket kabiliyeti ile cevher üretiminde tercih edilen kazı makineleri olmakla beraber [46], bu kazıcılara yardımcı alet ve ekipmanlar geliştirilerek kazı daha sorunsuz hale getirilmiştir. Bunlardan biri yeni paletli kalkan tahkimat (mobil roof support (MRS)) (Şekil 2.13) denilen destekleme sistemleridir. Uzun ayak madenciliğinin verimsiz olduğu, oda topuk yöntemi kullanılan kömür madenlerinde ayak arkası desteklenerek oldukça verimli kazılar gerçekleştirilmiştir.

Bu aletlerin kullanımı ile oda topuk yönteminde bırakılan topuklar da kazanılmaya başlamış buda verimliliği artırmış ve işletme maliyetlerini oldukça düşürmüştür. MRS’lerin çalışma prensipleri mekanize uzun ayak madenciliğinde kullanılan yürüyen tahkimatlarla benzerdir. Hidrolik ayakları tavandaki kalkana doğru 240 t’a kadar destekleme basıncı uygulayabilir. Paletler üzerinde ayakta duran aletin yerdeğiştirme hızı 24 m/dk’dır. Bu da diğer çalışma bölgelerine çabukca ulaşabilmesini sağlamaktadır. Uzaktan kumandalı olan alet, aynada çalışan ekip için son derece güvenli bir ortam teşkil eder [47].

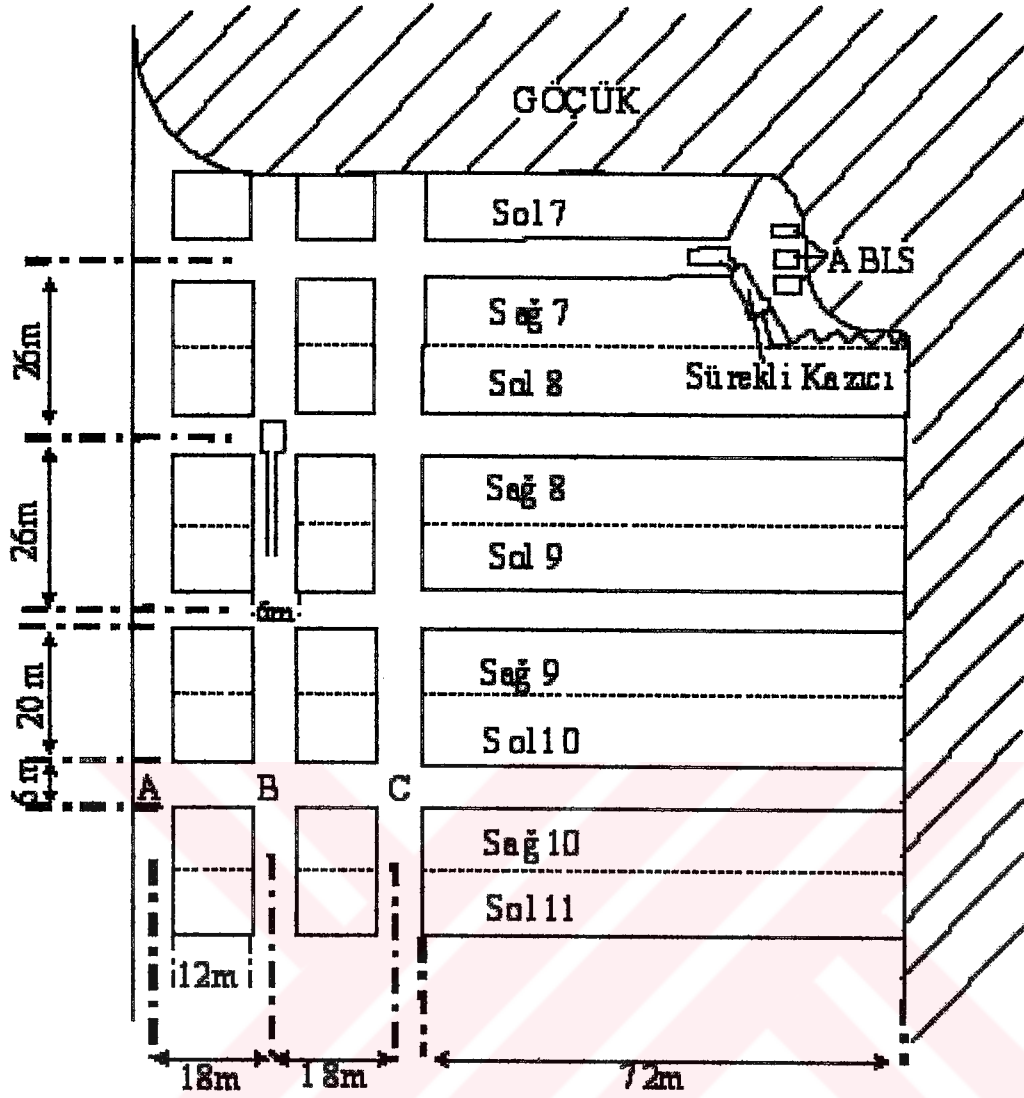


Şekil 2.13 Paletli kalkan tahkimat (mobil roof support)

Ayrıca Şekil 2.13'te Habenicht'in Alpin kırılma zonu tahkimatı (Alpin breaker line support (ABLS)) olarak tanımladığı bu tür mobil destekleyiciler kullanılarak tahkimat yapılan bir kömür madeninde, sürekli kazıcılarla üretimin nasıl yapıldığı görülmektedir. Şekildeki topuklar sürekli kazıcılar tarafından kesilirken ABLS'ler de kırılma hattını tutarak güvenli bir çalışma ortamı sağlamaktadır [48].



Şekil 2.14 ABLS ve sürekli kazıcı kullanılarak bırakılan topukların alınması [48].

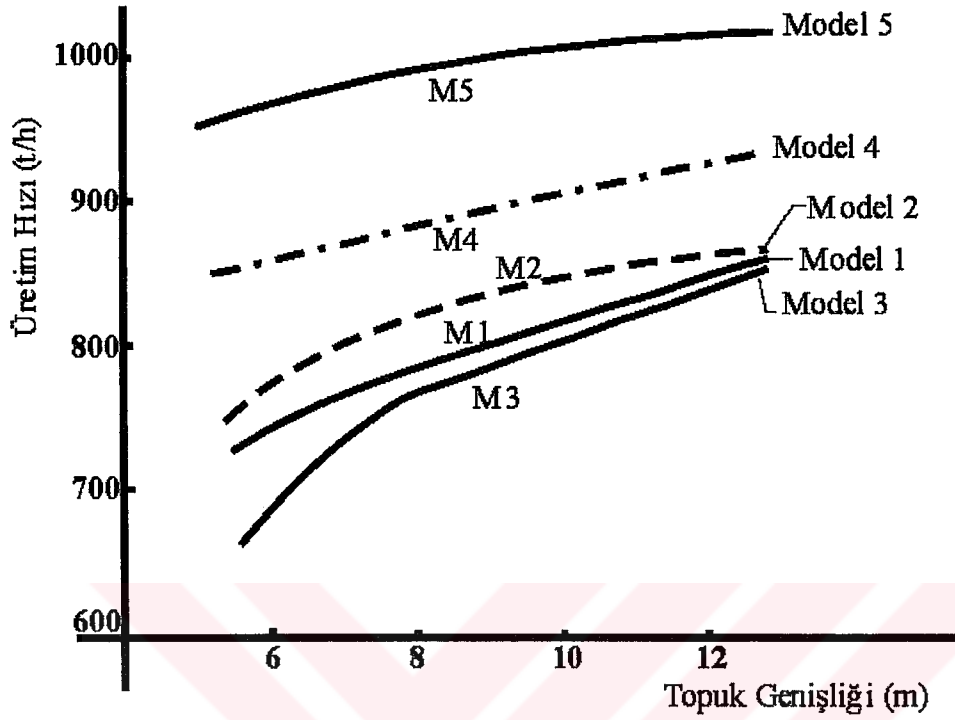


Şekil 2.15 Topuklar arası yolların hazırlandığı ve sağ-sol topukların beraberce alındığı sürekli kazıcı ve ABLŞ uygulaması

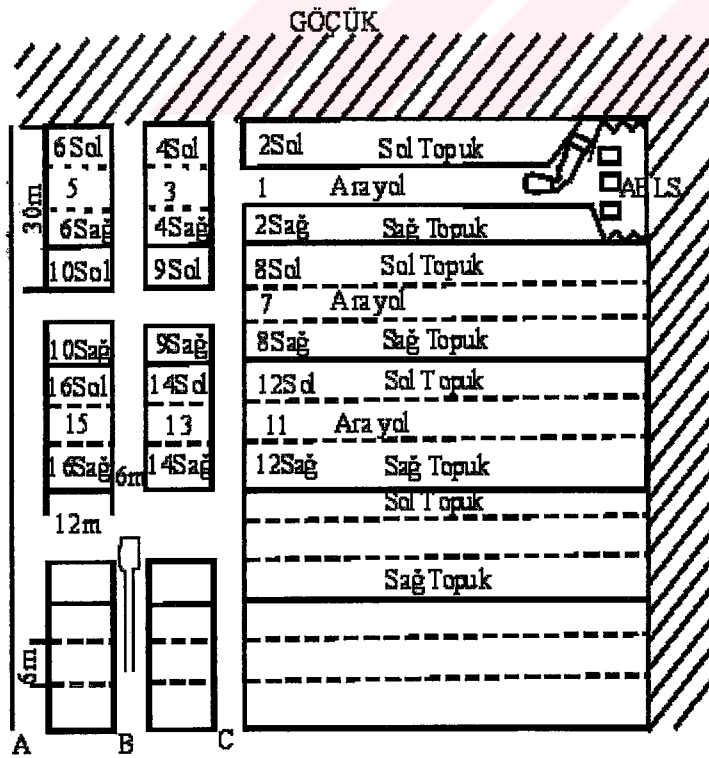
Habenicht ve Neil sürekli kazıcı ve ABLŞ kullanılan 5 ayrı oda-topuk kömür madenciliği uygulamasını karşılaştırmış ve en büyük üretimin göçük tarafında ve kömür tarafında bulunan topukların aynı anda alınarak üretimin yapıldığı “sağ ve sol topukların blok kazısı” olarak adlandırılan yöntemle gerçekleştirildiğini ifade etmişlerdir (Şekil 2.15).

Şekil 2.15’teki uygulamada kazıya başlanmadan önce topuklar arasındaki tüm yollar açılmıştır. Sürekli kazıcı öncelikle göçük tarafında bulunan sol topuk kazısını yapar. Bu tamamlandıktan sonra sol topuğa yakın olan ABLŞ ilerler. Sürekli kazıcı daha sonra sağ tarafın kazısını yapar, bu sırada 2. ve 3. ABLŞ’ler de kademeli olarak hareket ederler. ABLŞ burada hareketli bir domuz damı gibidir. Ayak arkasını hem tutar hem de sürekli kazıcı geriye dönmümlü olarak ilerledikçe ABLŞ’ler de

ilerleyerek kontrollu -tıpkı uzun ayak madenciliğindeki kalkan tahkimatlar gibi- bir göçertme gerçekleştirir. Bu uygulama, Şekil 2.16'daki Model 5'e yani en verimli kazı yapılan uygulamaya karşılık gelmektedir.



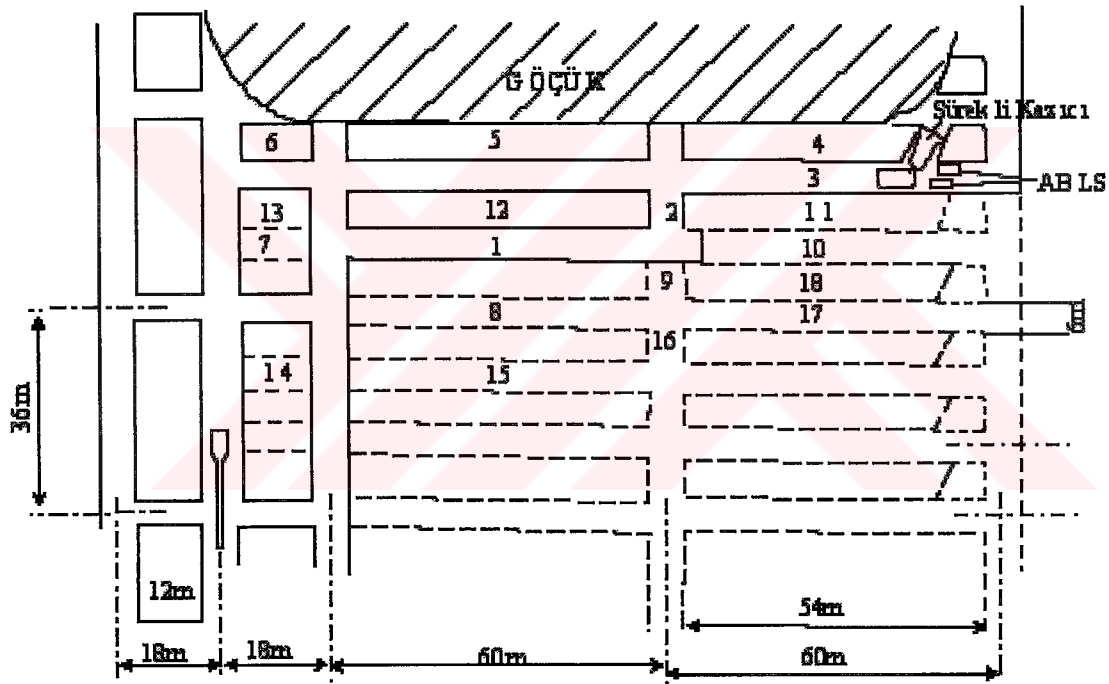
Şekil 2.16 Değişik uygulanan 5 ayrı modelin üretim hızlarındaki değişim



Şekil 2.17 Topuklar arası yolların önceden hazırlanmadığı durumda yapılan uygulama (Model 4)

Şekil 2.15 ve 16'da Model 4, sağ ve sol topukların yine beraber alındığı bir uygulamadır ancak topuklar arası yollar Model 5'teki gibi önceden kazılarak hazır hale getirilmemiştir; kazı sırasında açılır (Şekil 2.17).

Model 3 ise Şekil 2.18'de görüldüğü gibi topuklar arası yolların belirli bir sırada kazılması ve daha sonra da topukların alınması prensibi ile çalışılan bir yöntemdir. Şekile göre önce 1, 2 ve 3 numaralı topuklar arası yollar kazılır ve daha sonra 4, 5 ve 6 numaralı göçük tarafındaki topuklar alınır. Bu periyot, merdiven şeklinde devam eder (7, 8, 9, 10 numaralı topuklar arası yollar ve daha sonra 11, 12, 13 göçük tarafındaki topuklar). Burada dikkat edilmesi gereken nokta topukların daima göçük tarafında kalan tarafının alınıyor olması ve ayak başında bir miktar topuk bırakılıyor olmasıdır.



Şekil 2.18 Merdiven şeklinde hareket ederek göçük tarafındaki topukların alınması

Şekil 2.16'da adı geçen Model 2, göçük tarafındaki topuk alınırken açılan boşluğa ağaç tahkimatın yapıldığı üretim yöntemi iken Model 1 de önce kare topukların oluşturulduğu, daha sonra da bu topukların tamamının kazıldığı uygulamadır.

Bu 5 oda topuk üretim modeli karşılaştırıldığında; topuklar arası yol boyunca, aynı anda sağ ve sol topuk kazısı yapılabildiği, 1 adet fazla ABLS tesis edilerek daha fazla alanın desteklenebildiği ve dolayısı ile kömür tarafındaki (sağ) topuğun daha büyük boyutlarda seçilebildiği, bir vardiyada üretim için ayrılan zamanın arttığı ve bu yüzden de hem üretim miktarının arttırıldığı hem de kazılan malzemeyi taşıyan lastik

tekerlekli taşıyıcıların optimizasyonunun sağlandığı için Model 5 en verimli oda-topuk üretim yöntemi olmuştur. ABLS'nin son derece güvenli bir çalışma ortamı sağlaması ise en dikkat çekici avantajlarından biridir. Uzun ayak madenciliğindeki ilk yatırım maliyetlerinin oda topuk üretim yöntemi, sürekli kazıcı ve ABLS kullanılarak % 25 azaltılmış ve üretimin de % 50 oranında artırılmış olması bu yöntemin bir diğer avantajı olarak gözükmektedir.

Kömür madenciliğinde kullanılan bu sistemin mekanize uzun ayak madenciliği uygulaması mümkün olmayan (örneğin boru tipli, adese tipli cevher yatağına sahip yeraltı krom madenlerinde) ve oda-topuk madenciliği düşünülen ocaklardaki cevherlerin kazısında da kullanılabilir.



3 ELE ALINAN MADENLERİN TÜRKİYE VE DÜNYA MADENCİLİĞİNDEKİ YERİ

Yakın zamana kadar gelişmişliğin bir kriteri olarak görülen metalik maden hammadde üretimi ve kullanımı, 20. yüzyılın sonunda dünyada yerini, daha çok elektronik ve bilgisayar sanayisinin gelişimini destekleyen kaliteli malzeme ile özel alaşımların üretimi ve kullanımına bırakmıştır. Ancak, Türkiye az gelişmiş ve gelişmekte olan bir çok ülkenin hammadde taleplerini karşılamaya devam etmektedir. Bu yüzden, özellikle ekonomik olarak işletilebilir ve kaliteli rezervlere sahip olduğumuz altın, kurşun, bakır, krom, gümüş gibi metalik madenlerin verimli bir şekilde işletilmesi büyük önem arz etmektedir.

3.1 Türkiye Metal Madenciliği

Karmaşık bir jeolojiye ve yaklaşık 775 000 km² yüzey alanı olan Türkiye bir çok mineral ve endüstriyel hammaddeyi içine alan bir coğrafyaya sahiptir. Türkiye madenlerinde üretim maliyetleri, yüksek işçilik maliyetleri ve düşük verimli üretim nedeniyle oldukça büyüktür. Dünyada metal fiyatlarının düşmesine ek olarak bu önemli bir problemdir. Türkiye madencilik endüstrisi hakkında bazı bilgiler birkaç önemli maden için Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1 Türkiye maden endüstrisi hakkında bazı bilgiler ([49] kaynağı geliştirilerek yapılmıştır)

Maden	Toplam Üretim (ton / yıl)	İşgücü Sayısı (işçi / yıl)	İşleme Alınan Maden Sayısı (adet)	Yıllık Üretim/Maden (ton /maden)	İşgücü/Maden (işçi / maden-yıl)
Taş Kömürü	3 196 000	18 257	1	3 196 000	18 257
Linyit	49 588 000	37 411	235	214 000	159
Bakır	3 178 000	2 837	5	626 000	543
Kromit	1 262 000	4 241	80	17 000	51
Barit	228 000	432	10	22 000	39
Bor	1 887 000	3 076	6	391 000	595

Türkiye'nin maden rezervleri yıllık üretimler, ithalat ve ihracat rakamları da Tablo 3.2'de özetlenmiş, Şekil 3.1'deki haritayla da yerleri gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi dünya toplam rezervleri göz önüne alındığında Türkiye metalik maden rezervleri büyük miktarlarda değildir. Hatta küçük olduğu da söylenebilir. Türkiye endüstriyel mineral rezervleri, metalik maden rezervlerinden dikkat çekici bir şekilde daha fazladır. Örneğin bor minerali toplam dünya rezervlerinin yarısından daha fazladır. Fakat dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, dünya toplam rezervine göre düşük yer tutan ancak yüksek metal içeriğine sahip krom madenidir. Bu özelliği, dünya metal piyasasında yüksek fiyatlarla satılmasını sağlamıştır.



Şekil 3.1 Türkiye'deki bazı mineral ve maden yataklarının dağılımı

Türkiye metal madenlerinin çoğunda, alışlagelmiş delme patlatma tekniği uygulanan, yeraltı madenciliği ile üretim yapılmaktadır. Bakır, krom, kurşun-çinko madenleri tamamıyla yeraltı madenciliği ile üretilmektedir. Üretimin çoğu devlet kökenli işletmeler tarafından yapılmasına rağmen son zamanlarda yapılan özelleştirme çalışmaları ile özel sektörde bir kaç firma da üretim faaliyetlerine başlamıştır. Özellikle krom ve kurşun-çinko sektöründe daha fazla özel şirket faaliyet göstermektedir. Mekanize kollu makine madenciliği ise yalnızca birkaç linyit madeninde hazırlık galerilerinin sürülmesi işlerinde, birkaç kesici yükleyici de linyit kazısında kullanılmıştır [42].

Tablo 3.2 Türkiye mineral endüstrisi özeti, [50 - 53]

Maden	Rezerv (Görünür + Muhtemel) (ton)	Dünya Rezerv payı, %	Tüvenan maden üretimi (ton)			İhracat(ton)			İthalat (ton)		
			1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Aluminyum	48 056 250 (Al ₂ O ₃)	0.17	NA(*)	459 028	NA	320	70	136	24 844	25 247	35 758
Antimon	106 306 (Sb)	2.26	550	12 900	NA	60	164	360	1 108	NA	NA
Krom	30 370 182 (%45 Cr ₂ O ₃)	0.40	1 517 908	770 000	545 725	588 910	553 338	471 451	19 497	48 284	69 470
Bakır	2 279 210 (Cu)	0.37	4 043 869	3 979 381	4 473 711	151 533	206 444	190 565	8 219	18 369	56 968
Demir	82 458 000 (Fe)	0.07	5 965 942	6 500 000	4 076 257	6 043	9 900	26 310	3 857 835	2 973 053	4 140 102
Kurşun	860 387 (Pb)	0.72	NA	293 187	NA	500	1 000	4 089	18	2	NA
Kurşun-Çinko	NA	NA	283 199	NA	345 391	8 270	9 800	7 535	NA	NA	NA
Çinko	2 294 479 (Zn)	0.69	64 535	48 837	NA	77 893	68 572	73 796	83 377	59 099	332 709
Magnezyum	50 116 000 (MgO)	1.47	NA	2 703 720	NA	212 250	227 097	235 273	15 164	18 287	79
Gümüş	6 062 (Ag)	1.44	828 603	NA	809 890	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Stronsiyum	210 123 (Sr)	1.75	NA	52 500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Taş Kömürü	1 127 000 000	0.22	2 865 824	2 601 175	3 196 643	4 495	5 196	13 766	8 450 734	6 515 725	13 173 182
Linyit	7 965 000 000	1.52	61 203 154	NA	61 314 974	10	146	69	22 580	9 201	10 730
Barit	35 001 304	7.00	130 155	60 000	120 893	127 714	54 133	99 008	2 069	515	626
Bor	150 000 000 (B ₂ O ₃)	36.00	2 754 082	1 400 000	2 398 220	650 318	665 905	577 175	39	1	1 570
Trona	130 658 000	0.32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

(*) NA = Belirsiz; rekabet koşulları içerisinde öğrenilmesi mümkün olmayan miktarlar.

Tablo 3.3 Cevherlerin cinsine, boyut aralığına ve kullanım alanlarına göre satış fiyatları [54-64].

Cevher	Cinsi	Boyut Aralığı	Satış Fiyatı	Kullanım
Demir	Doğal demir oksitler	+325mesh** üstünde enfazla %1 olmalı	0,60-2\$/kg FOB*	İnce boyutlarda boya yapımında kullanılır.
	Sentetik demir oksitler	+325mesh üstünde enfazla %1 olmalı	1,75-11\$/kg FOB*	İnce boyutlarda boya yapımında kullanılır
Krom			Türkiye \$/t	
	Metalurjik Konsantre	0-2mm	112-118	Çelik üretiminde kullanılır
	Metalurjik parça	0-300mm toz -25mm en fazla %25	70-110	Çelik üretiminde kullanılır
	Refrakter konsantre	0.5-4mm	50-174	Refrakter sanayinde kullanılır
	Kimyasal konsantre	0-2mm	54-87	Kimya sanayinde kullanılır
Manyezit	Döküm kumu	-	51-82	Refrakter sanayinde kullanılır
	Kostik Kalsine	+4cm	90-270\$/ton	İlaç, kağıt, hayvan yemi
	Sinter	-3cm	95-165\$/ton	Döküm, refrakter, demir-çelik
Kurşun-Çinko	İnce cevher	-65 mesh	773,96-1025,03\$/ton	Akü, boya imalatı, kimya sanayi
	Parça cevher	-300mm	230-270\$/ton	Yalıtkan ve korozyon maddeler
	Konsantre cevher	+25-100mm	708-753\$/ton	kozmetik, ilaç ve deri sektörü
	Konsantre	-25mm	-	cam sanayi, temizleyici
Trona	Torbalanmış NaCO ₃	-	160\$/ton	Deterjan yapımı, sondaj çamurları,
	Wyoming Doğal Soda	-	93\$/ton	dış parlatma malzemesi yapımı,
	Polietilen torba	-	140\$/ton	gübre sanayi, yanmaz elbise
	NHCO ₃	-	470\$/ton	şeker saflaştırma, deri işleme
Barit	Öğütülmüş beyaz	%96-98BaSO ₄	195-200\$/ton	Otomotiv, boya kalitesi
	Mikronize	%99 BaSO ₄	140-150\$/ton	Metalurji, petrol işleme
	Elenmiş	%99'u -350 mesh	75-80\$/ton	Su arıtma, çelik sertleştirme
Bakır	Bakır cevheri, blister bakır, rafine bakır, katot bakır	%99 Cu Blister	2 937 \$/ton(1995) 1 578 \$/ton(1993)	Elektrik ve elektronik, inşaat ve ulaşım sanayinde ve diğ.

*FOB: Free on the board, limana teslim, **1 mesh=0,074mm

Türkiye önemli bir ferrokrom ihracatçısı olan bir ülkedir. Aynı zamanda krom, bakır, çinko ve bazı rafine edilmiş metal madenleri de ihraç etmektedir. Bazı önemli madenler için, kullanım alanları, cevherin cinsi, endüstride istenilen boyut aralıklarına göre piyasalarda oluşan fiyat aralıkları Tablo 3.3'te görülmektedir. Son 10 sene içinde Türkiye maden ihracatı toplam ihracat içerisinde % 2-2,5'lik bir orana sahiptir [51]. Bu zaman dilimi içerisinde bürüt yurtiçi üretiminde madenciliğin payı % 1-1,4 olmuştur [52].

3.2 Makine İle Cevher Üretimi ve Zenginleştirme Boyutları

Metal cevherlerinin kazısında üretim yöntemi, tüvenan ve zenginleştirme maliyetlerinin en aza indirilmesi açısından son derece önemlidir. Makine ile kazıda kesici kafaya yerleştirilen keskinlerin aralarındaki mesafe ayarlanarak üniform boyutlarda malzeme elde etmek mümkündür. Kafa dizaynı sırasında, keskinler arası mesafenin daha küçük ayarlanması demek kazılan malzeme parça boyutunun küçülmesi demek olacağından, önemli olan husus, birim zamanda istenilen üretim miktarının gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğinin saptanmasıdır. Bu da ele alınacak ocaklarda, şu anda kullanılan üretim yöntemiyle birim zamanda elde edilen üretim kapasitesi ile sınırlanmıştır. Yani makine ile kazı yapılabilme sınır şartı, birincil kırma maliyetlerini düşürmek için parça boyutlarının üniform ve küçük olması ve birim zamanda en az eski üretim yöntemi ile kazılan cevher kadar üretim kapasitesi ile çalışılabilmesidir. Bu birbirine zıt hareket eden iki sınır şartının optimum değerleri laboratuvarında yapılan kesme deneyleri sonunda belirlenebilir.

Her kayacı verimli bir şekilde kazabilmek için keskinler arası mesafe-kesme derinliği (s/d) arasındaki oranla, birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan kesme kuvvetinin oluşturduğu enerji (SE) arasındaki optimum (en düşük) değerin bilinmesi gerekir. Bu oran kayacın sertliğine, basınç dayanımına, kırılgenliğine, süreksizlik içeriği ve yüzdesine, süreksizliklerin yönelimine, sert mineral içeriğine bağlı olarak her kayaç için farklılık göstermektedir. Dolayısı ile her cevher ve endüstriyel mineral için de farklı değerler gösterecektir. Ancak kazılan parça boyutu küçüldükçe harcanan enerji de artacağından istenilen üretimi sağlayan en iyi kazı koşulu yine kesme deneyleri ile belirlenebilir.

Makine ile tünel yada galeri kazısında kafa dizaynı yapılırken birim zamanda en az enerji harcanarak, kazılan formasyonda en fazla ilerlemenin nasıl yapılacağı araştırılır. Ancak cevher kazısında önemli olan zenginleştirme tesisine gönderilecek cevherin en uygun boyuta indirilebilmesi, bununla beraber de birim zamanda istenilen üretim kapasitesinin tutturulabilmesidir. Çünkü üretim sırasında oluşacak parça boyutu dağılımı zenginleştirme işleminin verimini doğrudan etkileyen bir faktördür. Hatta bazı metal cevherleri, zenginleştirme işlemi uygulanmaksızın, eğer yeterli cevher içeriğine sahip ise, parça cevher olarak direk satışa sunulmaktadır. Örneğin krom cevheri 40-80 mm arasındaki % 46,5 Cr_2O_3 içeriği ile parça cevher olarak düşük karbonlu ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır [62].

Bir cevherin kazısı sonrasında elde edilen parça boyutları endüstride kullanım amaçlarına göre sınıflandırılırlar. Örneğin, % 32-34 tenörlü krom cevheri metalurji sektöründe 0-300 mm arasındaki boyutlarda kullanılır. Yüksek boyutlu ve az kırıntılı +2,5 cm roş krom tercih edilir. Metalurjik ısıt işlemler sırasında toz krom cevheri baca gazları ile uçabilmekte, bu da verimi düşürmektedir. Bu yüzden - 2,5 cm krom oranının % 10'dan düşük olması gerekir [65]. Bununla beraber çok küçük boyutlara indirilerek zenginleştirme işlemi yapılabilen metal cevherleri de vardır.

Makine ile kazıda parça boyut dağılımı yanında daha önce kullanılan yöntemlere göre üretim maliyetleri de belirleyici bir faktör olacaktır. Örneğin ülkemizde çinko madeni aşağıdan yukarı dilimli ramble yöntemi ile kazılmaktadır. Mevcut çinko madenlerimiz dünya standartlarına göre düşük kapasiteli ve yüksek maliyetlidir. Çinko maden üretim maliyeti 10-35 \$/ton arasında değişirken zenginleştirme maliyeti 10 \$/tondur [61]. Tümüyle yeraltı üretim yöntemleriyle üretilen kurşun cevherleri tüvenan maliyeti 5-32 \$ arasında değişmekte cevher hazırlama maliyeti ise 140-200 \$ arasında değişmektedir [63]. Eğer istenilen günlük üretim kapasitesini karşılayabilen ve küçük parça boyutlu cevher kazısı yaparak birincil kırma işlemlerini minimize edebilen bir kollu makine kullanılırsa bu maliyet değerleri biraz daha aşağıya çekilebilir.

Aşağıda bu çalışma için ele alınan Türkiye krom, trona, bakır, selestit gibi metal ve endüstriyel minerallerinin fiziksel özellikleri, ocaktan çıkan cevherin parça boyutları, zenginleştirme boyutları, kullanım alanlarına göre parça boyutları, standartları, satış fiyatları ve mekanize kazıya uygunluğunu etkileyecek sınır şartları hakkında bilgi verilmiştir.

3.3 Krom

Krom 1797’de, kimya profesörü Nicolas-Louis Vauquelin tarafından keşfedilen kimyasal bir elementtir. Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalurji, kimya ve refrakter sanayisinin temel elementlerinden biridir. Kromit minerali birincil olarak krom, ek olarak da demir ve oksijen içerir. Kromun özellikleri Tablo 3.4’te özetlenmiştir.

Kromit ilk olarak boya hammaddesi [66] ve refrakter malzeme üretiminde kullanılmıştı. Bu gün kromun ana kullanım alanı, paslanmaz çelik üretiminin yapıldığı metalurji endüstrisi, nispeten daha az kullanıldığı alan ise kimya ve refrakter sanayidir [67]. Krom ailesi ana elemanları, tüvenan kromit, ferrokrom ve krom metalidir. Ticari olarak kullanılan krom malzemesi ise tüvenan kromun işlenmesiyle elde edilen ferrokromdur.

Tablo 3.4 Kromun özellikleri [68]

Kimyasal Formül	$FeCr_2O_4$
İçeriği	Demir krom oksit, bazen magnezyumla beraber.
Değişken Formülü	$(Fe,Mg)(Cr,Al,Fe)_2O_4$
Renk	Kahverengimsi-yeşilimsi siyah
Farklı renkleri	Koyu kahverengi
Sertlik	5,5
Kristal Şekli	İzometrik oktaedr kristaller, Yaygın olarak küçük boyutlu, masif, damar şeklinde, yumrular halinde bulunur.
Şeffaflık	Opak
Özgül ağırlık	4.2 - 5.0
Parlaklık	Donuk metalik renkte
Klivaj	Yok , parçalanma gösterebilir.
Kırılma	Konkoidalden eşit olmayan parçalara doğru
Kırılma	Kırılma
Diğer önemli izler	Çok az bir şekilde manyetiktir.
Diğer isimleri	Kromit, Ferro-kromit
Grubu	Oksitler ; ikili oksitler ; spineller
Kullanımı	Kromit, krom metali yapmada kullanılır.
Göze çarpan özellikleri	çizgili, sertliği, manyetik olması.
Bulunduğu kayaçlar	Serpantinit, uvarovit, klorit, olivin, magnetit, platinyumla
Oluşumlar	En büyük üreticiler Rusya, Hindistan, Kazakistan, Filipinler, Zimbabve, Türkiye, Brezilya, Küba.

Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kayaç toplulukları, köken, jeolojik konum, mineraloji, doku, v.b. özellikleri yönünden başlıca üç tipe ayrılırlar:

Birincisi, Bushveld (Güney Afrika), Stilwater (ABD) gibi duraylı kıtasal bölgelerde (kraton) bulunan stratiform sokulumlara bağlı krom yatakları olup büyük boyutlu, kilometrelerce devamlılık gösteren tabakalı yataklanmalardır. Yapısal olarak büyük bir karmaşıklık sergilemezler. Küçük tane boylu, düzgün kristal şekilli, Cr/Fe oranı düşük ve yüksek demirli cevher içerirler.

İkincisi, daha çok Alp dağ oluşum kuşakları boyunca görülmeleri nedeniyle Alpin tip diye anılan ultrabazik-bazik kayalar topluluklarına (ofiyolit istifi) bağlı krom yatakları (podiform tip) olup bunlar mercek veya düzensiz şekilli, genelde küçük boyutlu, karmaşık yapısal ilişkiler sergileyen yataklardır. İri tane boylu düzensiz kristal şekilli, Cr/Fe oranı yüksek ve yüksek kromlu cevher içerirler.

Üçüncü tip olarak gruplandırılan; eş merkezli bir iç düzene sahip ultrabazik-bazik kayalar topluluklarına bağlı krom yatakları olup bunların bugün için ekonomik önemi yoktur. Genellikle Alaska'da görülen bu tip yataklardan üretim yapılmamaktadır. Bununla birlikte ABD'de, bu kromitlerin zenginleştirilmesi testleri ve bunların ekonomikliği konusunda çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu tip yataklar genellikle yüksek demirli krom cevheri içerir.

3.3.1 Üretim yöntemi ve teknolojisi

Krom yatakları, maden yatağının boyutuna ve topoğrafyaya bağlı olarak açık veya yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedirler. Geçmiş yıllarda birçok krom yatağı açık işletme yöntemiyle işletilmişse de bu günlerde büyük çoğunlukla yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedirler.

Dünyanın en büyük iki üreticisi Güney Afrika ve Kazakistan'dır. Güney Afrika Cumhuriyeti'ndeki krom yataklarının büyük bir kısmı yeraltı madencilik yöntemi ile işletilmektedir. Kazakistan'daki yatakların ise çoğunlukla açık işletme yöntemleriyle işletildiği belirtilmektedir.

Krom cevheri, ocak çıkışında çoğu halde elle seçme, elekten geçirme, yıkama yoluyla (gang tabir edilen) silikat minerallerinin cevherin bünyesinden ayıklanması sonucu zenginleştirilebilmektedir. Daha ileri aşamada jigler, spiraller, sallantılı masalar veya manyetik ayırıcılar yöntemleri ile düşük tenörlü cevherin bünyesindeki silikat gangı temizlenerek kromit mineralinin zenginleşmesi sağlanır; diğer bir ifadeyle konsantre kromit elde edilir. Konsantre krom cevheri üretiminde en yaygın uygulama, kromit mineraliyle gangı oluşturan olivin, piroksen ve serpantin

mineralleri arasındaki yoğunluk farkı esasına dayalı sallantılı masalar yöntemidir. Manyetik ayırma, flotasyon ve ağır sıvı yöntemleri de bazı işletmelerde kullanılan zenginleştirme yöntemleridir [69].

3.3.2 Krom standartları

Krom cevherleri ticari olarak yalnızca Cr_2O_3 içeriklerine bakılarak ayrılırlarsa da; element içerikleri de dikkate alınarak kimyasal bileşimleri ve fiziksel özelliklerine göre metalurji, kimya, refrakter ve döküm endüstrilerinde kullanıma uygun cevherler diye ayrıca sınıflandırılırlar.

- Cr_2O_3 içeriği % 40'dan az olanlar (3. kalite),
- Cr_2O_3 içeriği % 40-46 arasında olanlar (2. kalite),
- Cr_2O_3 içeriği % 46'dan fazla olanlar (1. kalite)

Metalurji sanayinde kullanılan konsantre krom ve diğer safsızlıkların bileşimi % 46-48 Cr_2O_3 , % 6-8 0-2 mm boyutlu SiO_2 , % 8-15 Al_2O_3 , % 15-20 MgO , % 0,5-2 CaO ve Cr/Fe oranı da (2.6-3:1) olmalıdır [70].

Paslanmaz çelik üretim teknolojisinde AOD (Argon-Oksijen-Dekarbürizasyon) gibi ileri yöntemlerin devreye girmesi, daha düşük Cr_2O_3 içeriği ve Cr/Fe oranına sahip krom cevherlerinin nispeten daha düşük kalitede ferrokrom (yüksek karbonlu ferrokrom) üretilmesinde kullanılmalarını mümkün kılmıştır. Bu gelişmeler ışığında % 40-46 Cr_2O_3 tenörlü Cr/Fe oranı 1,5:1 olan krom cevherleri yüksek karbonlu ferrokrom üretiminde kullanılabilir hale gelmiştir. Öte yandan, düşük karbonlu ferrokrom üretiminde Cr_2O_3 tenörünün % 46'nın ve Cr/Fe oranının 3:1 üzerinde olması şartı hala geçerliliğini korumaktadır.

Peletleme ve briketleme tekniklerinin krom cevherlerine de uygulanır hale gelmesi ve plazma, teknolojisi toz halindeki krom cevherlerinin ferrokrom üretiminde kullanılmasını sağlamıştır.

Metalurji sanayinde kullanılan krom cevherinin ticari bazda kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.5'teki gibi özetlenebilir.

Tablo 3.5 Metalurji sanayinde kullanılan kromun özellikleri [69]

Kimyasal özellikler		Fiziksel özellikler
Cr ₂ O ₃	% 34 - 48	Parça boyu 0-300 mm
SiO ₂	% 8 - 12	
Al ₂ O ₃	% 8 - 15	-25 mm altı en fazla % 25 olmalı
MgO	% 16 - 22	
CaO	% 0,5 - 1	
P+S	eser	
Cr/Fe	2 - 3 / 1	

Refrakter sanayiinde kullanılan krom cevherinin Cr₂O₃ tenörünün % 30-40 arasında, Al₂O₃ içeriğinin % 25-32, Cr₂O₃ ve Al₂O₃ içerikleri toplamının (Cr₂O₃ + Al₂O₃) % 60, SiO₂ oranının ise % 10'un altında olması gerekir. Kırılıp elenerek çeşitli boyutlara ayrılan krom cevheri manyezitle karıştırıldıktan sonra kullanım yerine göre şekillendirilir ve pişirilerek krom manyezit tuğlaları oluşturulur. Kromitin yalnız başına refrakter malzeme olarak kullanılması durumunda SiO₂ oranının % 3'ün altında olması gerekir.

Refrakter sanayinde kullanılan parça krom 10 mm altı % 10-15 olan 0-300 mm boyutlu, en az % 48 Cr₂O₃, en fazla % 4 SiO₂ içerir. Refrakter konsantre ise 0,5-4 mm boyutlu, en az % 50 Cr₂O₃, en fazla % 2 SiO₂ içerir.

Alpin tip krom yatakları, metalurji ve refrakter sanayinde kullanılan krom cevherinin geleneksel olarak üretildiği yataklardır.

Kimya sanayiinde kullanılan krom cevherlerinde aranan kimyasal özellikler biraz daha esnek sınırlara sahipse de, metalurji sanayiinde kullanılan krom cevherleri, satınalma fiyatının uygun olması halinde, maliyeti azaltması bakımından tercih edilebilmektedir.

Cr₂O₃ içeriği % 42 ve daha fazla, Cr/Fe oranı 2'nin altında, kırılğan veya toz cevherler, kimya sanayiinin geleneksel krom cevheri olarak tanımlanırlar.

Stratiform tip olarak tanımlanan Prekambriyen yaşlı krom yataklarının Cr₂O₃ içeriği düşük ve FeO içeriği yüksek kromitleri kimya endüstrisinin tipik cevheri olarak tanımlanmaktadır.

Kimya sanayiinde kullanılan krom konsantresinde, 0-2 mm boyutlu, % 48 baz Cr₂O₃, % 6-7 tipik SiO₂, (Cr/Fe) oranı 3/1, ticari anlamda aranan özellikler olarak göze çarpar

Döküm kumu olarak kullanılan krom cevheri, refrakter sanayinde kullanılan krom cevheri olarak da nitelendirilebilir. Bu amaçla kullanılan krom cevherinin Cr₂O₃

içeriğini en az % 44, SiO₂ içeriği en fazla % 4, Fe₂O₃ (toplam demir) içeriğinin en fazla % 26, CaO içeriğinin en fazla % 0,5 olması gerekir. Bu kimyasal sınırlamaların yanısıra fiziksel özellik olarak, krom cevherinin homojen tane boylu ve köşeli olmayan düzgün tane şekilli olması gerekir.

3.3.3 Dünyada krom üretim ve tüketimi

Dünya kromit potansiyelinin 12 milyar ton dolayında olduğu tahmin edilmekte; krom metali (Cr) bazında dünyada bilinen 3.5 milyar ton dolayındaki tanımlanmış (toplam) rezervin % 94'ü G.Afrika'da bulunmaktadır. Dünya görünür krom rezervlerinde ise G.Afrika'nın payı % 77 düzeyindedir. [62, 71].

Dünya kromit cevheri üretimi 1990 yılında 13.5 Mton iken, 1993 yılında 9.5 Mton, 1995'de 13.3 Mton, 1996'da 11.1 Mton, 1997'de ise 14.1 Mton'a ulaşmıştır. Güney Afrika, Kazakistan, Türkiye ve Hindistan dünyada kromit üretimi açısından önde gelen ülkelerdir. Bunun yanısıra, Brezilya, Finlandiya, Yunanistan, Madagaskar, Yeni Kaledonya, Filipinler, Amerika Birleşik Devletleri, Zimbabve'de kromit üreten ülkeler arasındadır. Krom üretiminin Güney Afrika, % 85'ini, Rusya % 10'unu, Kazakistan % 13'ünü, Japonya ise ; % 0.09'unu ihraç etmiştir. Bu değerler Rusya, Japonya ve Kazakistan'ın ürettikleri kromun büyük kısmını kendi içinde tükettiklerini göstermektedir. Türkiye ise ürettiği kromun tamamına yakın kısmını ihraç etmekte, yalnızca 1500-2000 tonluk (% 1.5-2.0) kısmını yurt içinde kullanmaktadır. Çin, ABD, Almanya, Yugoslavya, İsveç ve İtalya ise önde gelen krom ithal eden ülkelerdir [62]. 1997 Dünya kromit cevheri üretimi Tablo 3.6'da görülmektedir.

Tablo 3.6 1999 - 2000 Dünya kromit cevheri üretimi [70, 72]

Ülke	1999 Üretim×10 ³ ton	2000 Üretim×10 ³ ton
G.Afrika	6480	6500
Kazakistan	1600	1600
Türkiye	1400	1400
Hindistan	1310	1400
Zimbabve	660	650
Finlandiya	611	610
Brezilya	360	350
İran	212	200
Arnavutluk	86	90

Metalleri sanayinde krom; ferrokrom, silikoferrokrom, krom bileşikleri, ekzotermik krom katkıları, diğer krom alaşımları ve krom metali şeklinde tüketilmektedir. Son yıllarda metalurji sanayinde kullanılan kromun % 95'i, ferrokrom şeklinde, başlıca paslanmaz çelik ve ısıya dayanıklı çelik yapımında kullanılmaktadır.

3.3.4 Pazarlama koşulları

Piyasada başlıca yedi ana krom ürünü kullanılmaktadır. Bunlardan dördü metalurjik, kimyasal, refrakter ve döküm kumu sanayilerinde kullanılan kromitler, üçü ise metalurjik kromitten elde edilen yüksek karbonlu ve düşük karbonlu FeCr ile silisli alaşımlardır. Diğer krom ürünleri ise sodyum ve potasyum bikromattır. Bikromatlar; kromoksit, kromikasit, kromiksülfat ve kromatların yapılmasında kullanılmakta olup krom kimyasalları olarak tanımlanmaktadır [73]. Krom, metal ferroalyaj, parça, kırıntı ve toz halinde, kimyasal kromit konsantre olarak, refrakter kromit toz halinde pazarlanmaktadır [62, 74].

3.3.5 Krom satış fiyatları

Krom metal, ferroalyaj, parça, kırıntı ve toz halinde pazarlanmaktadır. 1999 yılı krom cevheri konsantre metal fiyatları Tablo 3.7'teki gibi oluşmuştur.

Tablo 3.7 Krom metalik cevher 1999 yılı konsantre fiyatları [70]

Ülke	Cinsi	Fiyatı
Arnavutluk	Parça cevher, %42-47 Cr ₂ O ₃ , FOB,	90-100\$/t
G:Afrika	Tozlu, %40 Cr ₂ O ₃ , FOB	125-140\$/t
Kazakistan	Parça cevher, , %40-48 Cr ₂ O ₃ , FOB	105-155\$/t
Türkiye	Parça, FOB, Akdeniz %32-36 Cr ₂ O ₃	70-80\$/t
	Parça, FOB, Akdeniz %38-42 Cr ₂ O ₃	85-100\$/t
	Parça, FOB, Akdeniz %44-46 Cr ₂ O ₃	105-110\$/t

FOB: limana teslim,

Ayrıca 1 ton kromitin ortama yıllık fiyat değişimleri de Tablo 3.8 te gösterilmiştir.

Tablo 3.8 Kromitin 1940 - 1998 yılları arasındaki fiyat değişimleri (\$/ton) [75]

Y*	F*	Y	F	Y	F	Y	F	Y	F	Y	F	Y	F	Y	F	Y	F
1940	13	1947	19	1954	26	1961	18	1968	19	1975	53	1982	65	1989	84	1996	93
1941	12	1948	24	1955	23	1962	18	1969	20	1976	61	1983	60	1990	72	1997	74
1942	16	1949	22	1956	25	1963	16	1970	25	1977	57	1984	56	1991	71	1998	74
1943	20	1950	20	1957	27	1964	18	1971	27	1978	55	1985	54	1992	70		
1944	21	1951	20	1958	25	1965	18	1972	29	1979	60	1986	49	1993	65		
1945	21	1952	25	1959	23	1966	18	1973	25	1980	63	1987	49	1994	69		
1946	17	1953	28	1960	19	1967	18	1974	29	1981	61	1988	69	1995	80		

*Y=yıllar, F=Fiyatlar (\$/ton)

3.3.6 Türkiye krom madenciliği

Dünyadaki sayılı krom üreticisi ülkeler arasında yeralan Türkiye ham cevher, ferrokrom ve krom kimyasalları dış satımından önemli döviz geliri sağlamaktadır. Son yıllarda metalurji, kimya ve refrakter sanayiinin krom cevheri talebi 450 000 tona ulaşmıştır. Ham cevherin iç piyasadaki artan tüketiminin yanı sıra önemli miktarda parça ve konsantre cevher dış satımı da yapılmaktadır.

Türkiye'de krom yatakları belirgin bir dağılım düzeni göstermeksizin ultrabazik kayalar içinde ülke geneline yayılmış durumdadır. Türkiye'de 710 kadar tek veya grup halinde krom yatağı ve krom cevheri zuhuru bilinmektedir.

Açık işletme yöntemiyle işletilen bir krom yatağı, örneğin, Batı Kef (Guleman, Elazığ) yatağında olduğu gibi açık işletmeyle başlayıp bilahare yeraltı işletmesine dönüştürülebilmektedir. Kef dağında cevher dolgulu tavan ayak üretim yöntemi uygulanmaktadır [76].

Krom cevheri, ocak çıkışında çoğu halde elle seçme, elekten geçirme, yıkama yoluyla gang tabir edilen silikat mineralleri cevherin bünyesinden ayıklanarak zenginleştirilebilmektedir. Daha ileri aşamada jigler, spiraller, sallantılı masalar veya manyetik ayırıcılar kullanılarak düşük tenörlü cevherin bünyesindeki silikat gangı temizlenerek kromit mineralinin zenginleşmesi sağlanır; diğer bir ifadeyle konsantre kromit elde edilir.

Türkiye'de üretilen krom cevherlerinin özellikleri, kullanım alanlarına göre Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9 Türkiye krom cevherlerinin kullanım alanlarına göre özellikleri [69]

Cevher çeşitleri	Cr ₂ O ₃ (%)	Cr/Fe	Boyut
Metalurjik parça	34-40	en az 2,5/1	0-300 mm
Metalurjik parça	40 veya üstü	en az 2/1	0-300 mm
Metalurjik konsantre	46-48	en az 2,6/1	0-2 mm
Metalurjik Jig ürünü	36 ve üstü	en az 2,5/1	0-25 mm
Kimyasal konsantre	40 ve üstü	en az 1,5/1	0-2 mm
Refrakter parça	en az % 48 Cr ₂ O ₃ , en çok % 4 SiO ₂		
Refrakter parça	en az % 60, Cr ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ en çok %4 SiO ₂		
Refrakter kons.	en az % 50 Cr ₂ O ₃ , en çok % 2 SiO ₂		
Döküm kumu	en az % 44 Cr ₂ O ₃ , en çok % 4 SiO ₂		
	en çok % 26 Fe ₂ O ₃ , en çok % 0,5 CaO		

Türkiye'nin başlangıcından günümüze krom cevheri üretimi 45 milyon ton olarak hesap edilmektedir. Son 25 yılın ortalama krom cevheri üretimi 1 000 000 ton/yıl olarak gerçekleşmiştir. Üretim 1995 yılında 2.080.043 ton ile en üst seviyeye ulaşmıştır [69]. Ayrıca, Türkiye'de kurulu 17 krom cevheri zenginleştirme tesisinin kapasitesi 810.000 ton/yıl'dır [77].

3.4 Trona (Doğal Soda) [78]

Trona, tabiatta doğal olarak bulunan soda minerallerinden en yaygın olarak bulunabilenidir. Fakat trona çok kolay eridiği için doğada hiç mostra vermemekte ve genç Tersiyer havzalarında bulunabilmektedir. Oluşumu çok özel şartlar gerektiren trona yataklanmaları başka amaçla yapılan arama çalışmalarında tesadüfen ortaya çıkmaktadır. Tabiatta doğal olarak bulunan diğer soda mineralleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10 Doğal soda mineralleri [79]

Mineral	Kompozisyon	Na ₂ CO ₃ %
Termonatrit (Monohidrat)	Na ₂ CO ₃ .H ₂ O	85.5
Trona (Seskikarbonat)	Na ₂ CO ₃ .NaHCO ₃ .2H ₂ O	70.4
Nakolit (sodyumbikarbonat)	NaHCO ₃	63.1
Bradleyit	Na ₂ PO ₄ .MgCO ₃	47.1
Pirsonit	Na ₂ CO ₃ .CaCO ₃ .2H ₂ O	43.8
Northupit	Na ₂ CO ₃ .NaCl.MgCO ₃	40.6
Tychit	2MgCO ₃ .2NaCO ₃ .Na ₂ SO ₄	42.6
Natron	Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	37.1
Dawsonit	NaAl (CO ₃) (OH) ₂	35.8
Gaylusit	NaCO ₃ .CaCO ₃ .5H ₂ O	35.8
Şortit	Na ₂ CO ₃ .2CaCO ₃	34.6
Burkeit	Na ₂ CO ₃ .2Na ₂ SO ₄	27.2
Hanksit	2Na ₂ CO ₃ .9Na ₂ SO ₄ .KCl	13.6

Trona, monoklinal sistemde kristalleşen, doğal olarak oluşmuş hidrat sodyum seskikarbonatın (Na₂CO₃.NaHCO₃.2H₂O) saf olmayan şeklidir. Cevherin içerdiği organik maddeye bağlı olarak rengi kahverengiden koyu sarıya kadar değişir. Saf numunelerinde ise renk beyazdan şeffafa kadar değişmektedir.

Tronanın sertliği; Mohs ölçeğine göre 2,5-3, yoğunluğu 2,17 gr/cm³'dür. Suda çözünür, asitte köpürür, ısının etkisi ile Na₂CO₃'e dönüşür. Saf trona % 70 Na₂CO₃

içerir. 1 ton soda külü üretmek için 1.8 ton trona gerekmektedir. Tipik bir trona cevherinin kompozisyonu Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11 Tipik bir trona cevherinin kompozisyonu [78]

Bileşim	%
Na ₂ CO ₃	41.8
NaHCO ₃	33.1
H ₂ O	14.1
TOPLAM	89.0
Çözünmeyenler ve Empüriteler	
Dolomit CaCO ₃ .MgCO ₃	5.5
Kuvars SiO ₂	1.1
Feldspat (K, Na) Al ₂ O ₃ .SiO ₂	3.3
Kil 2K ₂ O.3MgO.8Fe ₂ O ₃ .24SiO ₂ .2H ₂ O	0.6
Shortite Na ₂ CO ₃ 2CaCO ₃	0.1
Organik Madde (Elementel C)	0.2
Diğer	0.2
TOPLAM	11.0
GENEL TOPLAM	100.0

Doğada Tersiyer öncesi trona yataklarına bugüne kadar rastlanmamıştır. A.B.D.'de Wyoming-Green River formasyonunda rastlanan trona yatağı Eosen yaşlı, Beypazarı trona yatağı ise Miyosen yaşlıdır. Bunun yanında çok genç oluşum halinde trona yataklarına da rastlanmaktadır.

Dünya'da doğal olarak çok az sayıda doğal soda yatağı bulunmaktadır .Dünya'nın en büyük soda yatağı Amerika Birleşik Devletlerinde Wyoming de yer almakta olup yaklaşık doğal soda potansiyeli 50 milyar tonun üzerindedir. Çin de ve Kenya' da küçük ölçekte doğal soda yatakları bulunmaktadır. Doğal sodyum karbonat mineralleri (soda mineralleri), ya Tersiyer yaşlı playa-göl tortulları içerisinde oluşmuş, gömülü fosil doğal soda yataklarından , ya da güncel alkalin göl playaların salamuralarından elde edilmektedir. Dünya' da bilinen fosil yataklar, Wyoming' teki (ABD) Green River Formasyonu; Ankara- Beypazarı'ndaki (Türkiye) Hırka Formasyonu; ve Wucheng' teki (Çin) Wulidui Formasyonu içerisinde belirlenmiştir. Doğal soda içeren güncel alkalin göl ve playalar ise sırasıyla; Searles Gölü (ABD), Magadi Gölü (Kenya), San Critobal Ecatepec Playası (Meksika), Sowa Pan Playası (Botswana) ve potansiyel olarak Van Gölü (Türkiye) olarak bilinmektedir.

Ülkemizde ise Ankara'ya 115 km uzaklıkta bulunan Beypazarı Trona yatağında % 87 tenörlü 196 milyon ton rezerv mevcuttur. Trona damarları yatakta 2 zon halinde izlenmektedir. Bunlar alt zon ve üst zon olup arada 20-25 m kalınlığında steril zon vardır. Alt trona zonu kalınlığı 40 m olup, saf trona kalınlığı ise 19,10 m'dir. Üst trona zonu kalınlığı da 40 m civarında olup saf trona kalınlığı 21 m kadardır. Her iki zonda kalınlıkları 0,80-9,45 m arasında değişen 10 trona damarı mevcuttur.

3.4.1 Üretim yöntemi ve teknolojisi

Trona cevheri, dünyada göllerden yapılan üretim dışında ABD'de Wyoming Eyaletinin Green River havzasında üretilmektedir. Wyoming tronasının yeraltı madenciliği, kömür madenciliğinin aynısıdır. Ancak trona kömürden daha sert bir mineraldir. Wyoming'de esas olarak kullanılan üretim yöntemleri oda-topuk, uzun ayak, dar kazı arınlı üretim yöntemi ve çözelti madenciliğidir. Bu yöntemler tek başına ya da beraberce kullanılabilir. Oda-topuk yönteminin cevher kazı randımanı % 50-62, uzun ayak ve dar kazı arınlı üretim yöntemi kazı randımanı % 75, çözelti madenciliği randımanı ise yaklaşık % 30'dur.

Oda-Topuk yöntemi bütün firmalarca kullanılmaktadır. dar kazı arınlı üretim yöntemi Texasgulf Soda Ash Inc. tarafından uygulanmakta ve üretim için sürekli kazıcılar kullanılmaktadır. Uzun ayak yöntemi General Chemical Corp. ve FMC Wyoming Corp. tarafından uygulanmaktadır. Bu yöntemde üretim için genellikle yürüyen tahkimat ve kesici yükleyiciler kullanılmaktadır. Bu arada konvansiyonel patlatma yöntemleri de uygulanmakta ve patlayıcı olarak ANFO kullanılmaktadır.

Trona, 1985 yılından beri çözelti madenciliği ile de üretilmektedir. Sistem kısaca; üretim kuyularının açılması, kuyuların arasında kalan cevherin çatlatılması, daha sonra çözücünün (seyretilik sodyum hidroksit) basınçla kuyudan verilmesi ve cevherin eritilerek yeryüzüne alınması esasına dayanır.

Trona endüstride doğrudan kullanılan bir mineral olmayıp tabi soda külü üretiminde kullanılır. Soda külü, Na_2CO_3 beyaz, kristalin, kuvvetli alkaline reaksiyonla higroskopik bir tozdur. Soğuk suda ılımlı olarak çözülebilir. (14 gr/100 gr çözücünde ve 15°C'de) 33° C'de suda çözelti ağırlığının yaklaşık (32 gr/100 gr) % 30'u çözünebilir. Yüksek sıcaklıklarda çözünürlüğü az eksilir. Erime noktası 851°C'dir. Soda külü farklı iki yoğunlukta hafif soda külü ve ağır soda külü olarak satılır.

Günümüzde soda külü üretiminin yaklaşık % 70'i sentetik yoldan % 30'u ise doğal olarak tronadan elde edilmektedir.

Sentetik soda külü üretimi Solvay prosesi ile olup hammadde olarak tuz ve kireçtaşı kullanılır. 1 ton sentetik soda külü üretmek için; 2,8 ton buhar, 1,7 ton tuz, 1,4 ton kireçtaşı, 0,6 ton kömür (kazanlar için), 0,2 ton kömür (kurutucular için) gerekmektedir.

Günümüzde soda külü iki değişik yöntemle üretilmektedir. Birincisi doğal soda veya (sodyum karbonat ve monohidrat-doğal soda) mineralinden doğal olarak, ikincisi ise tuz ile kireçtaşı ham madde olarak kullanan solvey prosesi ile sentetik olarak elde edilmektedir. Her iki yöntemde de “hafif ve ağır” soda külü olmak üzere iki tür üretim yapılmaktadır .Hafif sodanın yoğunluğu 500-850 gr/lt arasında değişmekte olup daha çok deterjan ve çeşitli kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Ağır soda ise cam endüstrisinin temel ham maddelerinden birisi olup yoğunluğu 950-1250 gr/lt arasında değişmektedir. Monohidrat prosesi, trona cevherinin kalsinasyonu sonucu oluşan saf olmayan sodanın saflaştırılmasıdır. Prosese göre kırılan trona cevheri döner fırına verilerek 163-204° C sıcaklıkta kalsine edilir ve ağır soda külü ile yan ürün olarak karbondioksit ve su elde edilir. Kalsine edilen malzeme su verilerek çözündürülür. Çözünmeyen kısımlar (istenmeyen impüriteler) çöktürülerek veya filtre edilerek çözeltiden ayrıştırılır. Çözeltinin bir kısmı buharlaştırılarak sodyum karbonat monohidrat kristalleri ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) çökeltir. Diğer çözünen impüriteler (sodyum klorür veya sodyum sülfat) ise çözeltide kalır. Kristaller ve likör santrifüj işlemi ile birbirinden ayrıştırılırlar. Sodyum karbonat monohidrat kristalleri 150°C’de dehidratasyona tabi tutulur. Bu yöntemle üretilen sodyum karbonat kristalleri soğutulup yüklemeye önce çok az bir elemeye ihtiyaç gösterir. Çünkü kristal boyutları buharlaştırıcı kristalizatörde özenle kontrol edilmektedir [80].

3.4.2. Trona standartları

Soda külü için iki standart mevcuttur. Biri; ASTM D458-74 (American Society for Testing and Materials), ikincisi; İngiliz Standardı (BS) 3674:1963. BS’ye göre soda külü içinde Na_2O oranı % 57,25 den az, Fe_2O_3 oranı % 0,005 den fazla olmamalıdır. ASTM standardına göre ise, Na_2CO_3 oranı minimum % 96,16 olmalıdır. Cevherin içerdiği organik maddeye bağlı olarak rengi kahverengiden koyu sarıya kadar değişir. Saf numunelerinde ise renk beyazdan şeffafa kadar değişmektedir.

Türkiye'de soda külü (sodyum karbonat) Mersin Soda Sanayii A.Ş. tarafından Solvay yöntemi ile sentetik olarak üretilmektedir. Sodyum Karbonat için (kalsine) T.S.525 ve sodyum bikarbonat için T.S.3050 Türk Standartları mevcuttur. Soda Sanayii A.Ş. Türk Standartlarına uygun olarak üretim yapmaktadır. T.S. 525'in istediği özellikler ve Soda Sanayii A.Ş.'nin fiili değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3.12'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12 TSE 525 soda standartları [81]

T.S.525 Kalsine Soda		Soda Sanayi A.Ş. Ort.Değerler
Na ₂ O ₃	Min. % 99,1	% 99,41
SO ₄	Max. % 0,027	% 0,02
Cl	Max. % 0,4	% 0,25
Fe	Max. % 0,004	% 0,003
Cu	Max. % 0,003	% 0,003
Çözünmezler	Max. % 0,02	% 0,02

3.4.3 Dünyada trona üretim ve tüketimi

Soda külünün pek çok kullanım alanı mevcut olmakla beraber en fazla cam sanayiinde hammadde olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber kimya sanayiinde, deterjan sanayiinde, su tasfiyesinde, baca gazı desülfürizasyonunda, selüloz ve kağıt sanayiinde, alümina üretiminde, sondaj çamurlarında, galvaniz kaplama banyolarında, kurşun rafinasyonunda, bakır flotasyon konsantrelerinden telleryum'un geri kazanılmasında, rafine edilmiş diatomit'in üretiminde, fotoğrafçılıkta, bromine'in üretiminde, tar'ın distilasyonunda, hidrojen sülfidin geri kazanılmasında, döküm kumlarında ve tekstil sanayiinde kullanılır.

Cam endüstrisi dünya soda külü tüketiminde % 46'lık bir payla en önemli kullanım alanı durumundadır. Bunu % 21 gibi bir payla kimya sanayii takip etmektedir.

Cam üretiminde her 1 ton cam üretimi yaklaşık 200 kg. ağır soda külü tüketimi gerekmektedir. Burada soda külü daha ziyade bir sodyum oksit kaynağı olarak ergime sıcaklığını düşürmek gayesiyle kullanılır. Prosese bir faydası da açığa çıkan karbon dioksitin ergimiş kütlede içinden yukarı çıkarken camı karıştırıcı bir etki yapmasıdır. Soda külündeki düşük klorür oranının fırın performansını artırdığı belirtilmektedir. Bu nedenle doğal soda külü sentetik soda külünden daha

avantajlıdır. Özellikle düz cam üretiminde klorür oranının düşük olması daha büyük bir önem arz etmektedir.

Kimya sanayiinde ise sodyum hidroksit, sodyum fosfat, sodyum seskikarbonat, sodyum silikat, sodyum bikarbonat, sodyum kromat gibi pek çok sodyum kimyasalının üretiminde kullanılmaktadır [82].

Doğal soda yataklarından soda üretimi, A.B.D., Çin, Meksika ve Kenya'da, sentetik soda üretimi ise Rusya, Ukrayna, İngiltere, Almanya, Fransa, Çin, Bulgaristan ve Japonya'da gerçekleştirilmektedir. Dünya soda külü üretimi yaklaşık olarak yılda 30 milyon ton civarındadır. Ülkemizde sentetik olarak Mersin Soda Sanayi A.Ş. yılda 300.000 ton sentetik soda üretimi gerçekleştirmektedir. Son yıllarda bu firma yeni tesislerle kapasite artırımına gitmiştir.. Günümüzde dünya üzerinde 11 ülke 1 milyon ton civarında soda külü üretebilme kapasitesine sahip bulunmaktadır. Bunların başlıcaları A.B.D., Rusya, Ukrayna, Çin, Almanya, Fransa, Bulgaristan ve Hindistandır. A.B.D'de 6 değişik firma yılda 11 milyon ton soda külü üretimi gerçekleştirmektedir. .A.B.D'nin 1999 yılı iç tüketimi 7 milyon ton civarındadır. Üretiminin yaklaşık % 28'sini başta Japonya olmak üzere Asya ülkelerine, Latin Amerika ülkelerine ve yaklaşık % 5'inide Avrupa ülkelerine ihraç etmektedir. Avrupa ülkelerinin yaklaşık yıllık soda külü talebi 300.000 ila 400.000 ton civarındadır [83].

3.4.4 Trona satış fiyatları

Mayıs 1990 da Wyoming doğal sodasının satış fiyatı 93 \$/ton'du. Fiyatlandırma kriterleri piyasa koşullarına bağlı olarak değişmekle beraber sodyum karbonat, % 58 Na₂O içeriği için torbalanmış olarak 160 \$/ton fiyatla alıcı bulmaktadır. Mersin Şişe cam sanayi polietilen torba fiyatı ise (% 99.1 Na₂CO₃ olarak) 140 \$/ton dolayındadır. NaHCO₃ boyut niteliğine göre 470 \$/ton üzerinden işlem görmektedir. Çeşitli kimyasallar ise niteliklerine ve istenen özelliklerine göre 1-3 \$/kg arasında satılmaktadır.

Dünyada soda külü üretimi yapan firmaların üretim maliyetleri incelendiğinde, doğal soda külü 60 \$/ton, buna karşılık yapay soda 120 \$/ton'dur. Soda külünün Batı avrupa limanı teslim bazında satış fiyatı ortalama olarak 170-180 \$/ton civarındadır.

3.4.5 Türkiye trona madenciliği

Mersin soda Sanayii A.Ş. Türkiye'nin tek soda külü üreticisi olup Solvay yöntemi ile kayatuzundan soda külü elde edilir. Bölgedeki kayatuzu rezervleri işletmenin yaklaşık 100 yıl ihtiyacını karşılayacak kapasitededir.

Halen proje çalışmaları devam eden Etibank Beypazarı trona yataklarının işletilebilir 196 milyon ton rezervi mevcuttur.

Mersin Soda Sanayiinde soda külü üretimi Amonyak-Soda usulü olarak bilinen Solvay yöntemi ile yapılır. Bu yöntem sentetik soda üretiminde genel olarak kullanılan yöntemdir. Soda külünün ülkemizdeki kullanım alanları sektör bazında Tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13 Soda külünün Türkiye'de kullanım alanları (1992) [84]

Kullanım Alanı	%
Cam Sanayii	57,0
Tekstil Sanayii	6,0
Sabun, deterjan ve temizlik maddeleri	10,0
Kağıt Sanayii	0,7
Fiberglas + Seramik	3,4
Yiyecek ve İlaç Sanayii	3,0
Deri Sanayii	0,5
Yem Sanayii	0,5
Diğerleri	1,3
TOPLAM	82,4

Beypazarı trona yataklarının üretiminde birçok üretim yöntemi kullanılabilir. Oda topuk yöntemi büyük kayıplar göze alınarak uygulanabilir [85]. Ancak paletli yürüyen tahkimat (mobil roof support) ile bu sorun giderilebilir.

Mekanize uzun ayaklar teşkil ederek kazı yapmak mümkündür ancak kayacın yumuşaklığı göz önünde bulundurulduğunda makinenin batmasını engellemek için hızlı ilerleme yapılmalıdır.

3.5 Selestit [86]

Uzun süre boyunca Ba minerali olarak düşünülen stronsiyonitin yeni bir elementin bileşiği olduğu Adair Crawford (1790) tarafından bulunmuştur. Doğada serbest olarak bulunmayan stronsiyum (Sr), yerkabuğunda diğer olağan alkali toprak elementleri, Ca ve Ba'dan daha az bulunur.

Stronsiyumun iki önemli minerali vardır; %56,4 SrO içeren selestit (SrSO_4) ve % 70,1 SrO içeren Stronsiyonit (SrCO_3). Bunlardan önemli olanı, bolluğu ve geniş yayılım göstermesi nedeniyle selestittir. Stronsiyonit ise daha yüksek stronsiyum içerdiği halde, daha az bulunması nedeniyle ticari önemini kaybetmekte, ayrıca doğrudan doğruya asitle etkilenmesi ile stronsiyum bileşikleri yapımı için ideal bir durum yaratmasına rağmen, her zaman Ca içermesi nedeniyle yüksek saflıkta stronsiyum bileşikleri elde edilmesinde selestitin yerini alamamaktadır.

Selestitin ekonomik yataklanmaları buharlaşma sonucu gerçekleşmektedir. Gelgit üstü, lagün gibi buharlaşmanın etkisini gösterebileceği sığ denizel ve geçiş ortamları selestit oluşumuna olanak sağlamaktadır. Jips, kireçtaşı, marn gibi kimyasal çökelim kayalarlarıyla birlikte bulunur ve gang olarak kalsit, dolomit, Ba, F, S, As içerebilir. Cevherin yataklanma tipi genelde mercer ve katman şeklinde olup jips içerisine saçılmış halde de gözlenebilir.

Dünyada en büyük stronsiyum rezervleri İspanya, Meksika, İngiltere, Türkiye ve İran'da bulunmaktadır. Roskill Information Services'in 1989 yılında yaptığı araştırmaya göre dünya rezervlerinin 12 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir.

3.5.1 Üretim yöntemi ve teknolojisi

Stronsiyonit minerali daha fazla Sr içermekteyse de, genellikle Ca içerdiğinden yüksek evsafda stronsiyum bileşikleri yapımında kullanılamaz. Gerek stronsiyonit ve gerekse selestit, stronsiyum bileşikleri haline dönüştürülür ve çeşitli alanlarda kullanılır. Stronsiyumun önemli bileşikleri şunlardır; karbonat, nitrat, klorit, hidroksit, kromat, ferrit, titanat, oksalat ve zirkonat.

Stronsiyumun en çok kullanılan bileşiği stronsiyum karbonat olup, aşağıdaki iki yöntemle üretilmektedir:

A) Soda (Doğrudan Çevirim) Yöntemi: İnce öğütülmüş selestit, kızgın soda eriyiğinde sindirilir ve daha az eriyen stronsiyum karbonat üretilir.

B) Kavurma (Siyah Kül) Yöntemi: İnce öğütülmüş kömür, selestitle birlikte kavru olarak, eriyebilen stronsiyum sülfür elde edilir ve suyla ısıtılarak filtre edilir. Daha sonra karbondioksit veya arzu edilen tuzun asiti ile tepkimeye sokularak karbonat veya diğer tuzlar elde edilir.

Stronsiyum metali, stronsiyum oksitin metalik alüminyum ile ısıt reaksiyonu veya stronsiyum klorür ve amonyum veya potasyum klorürün elektrolizi ile elde edilir.

3.5.2 Selestit standartları

Stronsiyum karbonat ile stronsiyum nitrat üretimi için aranan selestitin özellikleri Tablo 3.14'teki gibidir.

ABD Ulusal Stoklar Satınalma Şartnamesi'nde SrSO_4 oranı en az % 96, jips oranı en çok % 2 ve nem en çok % 2 olarak belirtilmiştir. Çok düşük demir oranı parlaticı ve beyazlatıcı ürün olarak kullanılan selestitde önemli olmakla beraber kalsiyum ve baryum oranı o kadar önemli değildir. Boyalarda beyaz dolgu maddesi olarak kullanılacak selestitde % 97 oranında SrSO_4 tercih edilmektedir.

Tablo 3.14 Stronsiyum karbonat ve nitrat üretimi için istenen özellikler [86]

İçerik	Stronsiyum karbonat için	Stronsiyum nitrat için
SrSO_4 %	90 (en az)	95 (en az)
CaSO_4 %	-	1,5 (en çok)
BaSO_4 %	2 (en çok)	2 (en çok)
Fe %	0,1 (en çok)	2 (en çok)
Boyut	15 cm(en çok)	6 mm - 15 cm

İngiltere'de pazarlanan selestitde SrSO_4 en az % 95,0, BaSO_4 en çok % 2,0, Silis en çok % 2,0, Kireç en çok % 0,5, Fe_2O_3 en çok % 0,5 olmalıdır.

Stronsiyum metalinin kimyasal analizine örnek olarak alınabilecek Kanada ürününde; Sr % 98,5, Ba % 0,1, Ca % 0,8 ve Mg % 0,5 oranındadır.

Boyacılıkta kullanılan sarı stronsiyum kromatlı boya astarlarında kromat oranı % 1,29 dan % 15'e kadar değişmekle beraber çoğunlukla % 3-5 stronsiyumkromat içeren astarlar kullanılır.

TV tübü camlarında kullanılacak stronsiyumkarbonatlarda demirin çok düşük olması gerekir. Bazı alıcılar demirin 100 ppm'den fazla olmamasında ısrar etmektedirler. Stronsiyum ferrit üreticileri ise demirin 1000-2000 ppm olmasını doğal karşılamaktadırlar. Piroteknikte kullanılan stronsiyumnitratın en az % 99,5 saf olması gerekir.

3.5.3 Dünyada selestit üretimi ve tüketimi

İngiltere, uzun yıllar dünyada en fazla stronsiyum üreten ülke olmuştur. II. Dünya Savaşı öncesine kadar dünyada tüketilen stronsiyum minerallerinin % 90'dan fazlası İngiltere'nin güneybatısındaki yataklardan karşılanmıştır. 1969 yılına kadar İngiltere dünya üretiminin % 50-70'lik kısmını karşılamaya devam etmiş, sonraki yıllarda bu üretim yılda 20.000 t civarında olmuştur.

İspanya'nın üretime geçtiği 1968 yılına kadar Meksika, dünya selestit üretiminde dünya ikinciliğini korumuştur. 1971-1975 yılları arasında Kanada'nın dünya üretimine liderlik ettiği görülmüştür.

ABD, 1959'dan beri stronsiyum minerali üretmemektedir. 1974 yılından itibaren Türkiye önemli bir selestit üreticisi olarak göze çarpmaktadır. Dünyada şu anda İspanya, Meksika ve Türkiye en büyük selestit üreticisi ülkelerdir.

Baryum karbonat düşük derecelerde erimiş camın akışkanlığı ile camın kırılma endeksini artırarak ekranın parlaklığını geliştirdiğinden ve röntgen ışınlarına karşı bir engel oluşturduğundan uzun zamandır siyah-beyaz TV tüplerinde kullanılmaktadır. 1960'ların sonunda renkli TV yapımı yüksek miktarlara ulaşmış ve kullanılan yüksek voltaj daha yüksek seviyede X-ışını yayılımına sebep olduğundan bunun nötralize edilmesi gerekmiştir. Ba ve Sr elementlerinin atom çapları geniş olduğundan yüksek oranda X-ışını emicidirler. Belirli bir frekansta yayılan X-ışınları için stronsiyumun daha koruyucu olduğu düşünülmektedir. ABD ve Japonya'da üretilen renkli TV tüplerinde daha yüksek voltajlar kullanıldığından bu ülkelerde Sr kullanılmaktadır. Avrupa'da daha düşük voltajlı renkli TV'ler üretilmekte ve genelde Ba kullanılmaktadır.

Diğer bir kullanım alanı ile ferritlerdir. Ferritler seramik olarak otomotiv sanayinde, demir cevheri seperatörlerinde, fotokopi makinelerinde ve özel alaşımlarda kullanılmaktadır.

Ayrıca aleve verdiği kırmızı renk dolayısıyla havai fişekler ve sinyal maddeleri üretiminde; cam, boya, ilaç sanayiinde; çinko elektrolizinde; kuru fırın ve uçak motoru gibi makinelerde kullanılan mil yataklarını yağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

Genelde stronsiyum tüketimi stronsiyum karbonat şeklinde olmaktadır. Stronsiyum karbonatın son kullanım alanlarına göre tüketimi Tablo 3.15'teki gibidir.

Tablo 3.15 Stronsiyum karbonatın son kullanım alanlarına göre tüketimi [86]

Kullanım alanı	%	(×1000 ton)
Renkli TV tübü	69,1	75,9
Elektroseramik	15,2	16,7
Çinko rafinasyonu	2,9	3,2
Piroteknik	4,8	5,3
Seramik ve cam	0,8	0,8
Havayi fişek v.s.	2,7	3,0
Diğer	4,5	5,0
TOPLAM	100,0	109,9

3.5.4 Selestit satış fiyatları

Dünya piyasalarında selestitin fiyatı ise ülkelere göre değişmektedir. Örneğin Türkiye selestitinin (% 92 SrSO_4) tonu 80 \$'dır ve her % 1'lik kalite artımında fiyat 6 \$ artmaktadır (FOB İskenderun). Meksika selestitinin tonu 90 \$ (FOB), İspanya selestitinin (% 94 SrSO_4) ise tonu 85 \$'dır (FOB). 1996-1998 yılları arasında FOB fiyatlar % 94 SrSO_4 içerikli Meksika cevheri için 65-75 \$/ton, İspanya cevheri için 55-65 \$/ton, % 96 SrSO_4 içerikli Türkiye cevheri için 70-80 \$/ton, % 92 SrSO_4 içerikli İran cevheri için 65-75 \$/ton olmuştur. Bu fiyatlar 1999 senesinde aynı içerikli Meksika cevheri için 65-75 \$/ton, İspanya cevheri için 50-60 \$/ton, Türkiye cevheri için 65-80 \$/ton ve İran cevheri için 60-70 \$/ton olmuştur [87].

3.5.5 Türkiye selestit madenciliği

1972 yılında Barit Maden Türk A.Ş. Sivas'ın 29 km güneyinde Sivas-Kangal karayolunda Miyosen yaşlı jipsler içerisinde önemli bir selestit yatağını işletmeye başlamıştır. Daha sonra yapılan araştırmalarda Sivas Tersiyer Havzası'nda çok sayıda selestit yatağı saptanmış ancak bir kısmı rezerv ve tenörce ekonomik bulunmamıştır. MTA Genel Müdürlüğü-Maden Etüt ve Arama Dairesi'nin saptayıp ortaya koyduğu Kabalı (Hafik), Battalhöyüğü Tepe (Ulaş) ve daha küçük rezervli onlarca selestit cevherleşmesi vardır [88-90]. Barit Madencilik A.Ş.'nin şu anda 3-4 ruhsatlı selestit sahası bulunmaktadır.

Ekonomik olan tüm selestit yatakları Üst Eosen ve Alt Miyosen yaşlı evaporitik çökeller içerisinde katmansı veya merccekler şeklinde, genelde jipslerle birlikte gözlenmekte ve bir kısmı CaCO_3 içermektedir.

Bundan başka Konya Ereğli ve Malatya'da yeni zuhurlar bulunmuş, ancak Sivas yöresindekiler dışında ekonomik olabilecek bir yatağa henüz rastlanamamıştır.

Türkiye'nin rezervi tam olarak bilinmemekle birlikte, Barit Maden Türk A.Ş.'nin ruhsatlı sahalarında bir kısmı CaCO_3 içeren 2-2,5 milyon ton toplam rezerv olduğu tahmin edilmektedir. Diğer özel sektör ve MTA ruhsatlı sahalarda toplam 500 000 ton rezerv olduğu sanılmaktadır. Bu durumda Türkiye'nin toplam selestit rezervi 3 milyon ton civarındadır.

Türkiye'de sadece Çinkur elektrolizde stronsiyum karbonat kullanılmaktadır. 1978'den başlayarak Barit Maden Türk A.Ş.'den satın alıp, kendi tesislerinde soda yöntemiyle stronsiyum karbonata çevirmektedir. Yıllık stronsiyum karbonat tüketimi 2-30 ton arasında değişmektedir.

Türkiye'de selestit üretimi açık işletmeyle yapılmakta, kırıcılar elekler ve sallantılı masa yardımıyla % 95 SrSO_4 'e zenginleştirmektedir. Zenginleştirme işlemi şu anda CaCO_3 içeren cevher için yapılamamaktadır.

Barit Maden Türk A.Ş.'nin tipik selestit cevheri: % 96,37 SrSO_4 , % 0,49 BaSO_4 ve % 2,07 CaSO_4 , 0-2 mm tane boyu özelliklerine sahiptir.

3.6 Bakır [91, 92]

Bakır insanların M.Ö. 8000 yılından beri çeşitli amaçlar için kullandığı ve günümüzde de sanayinin temel girdileri arasında yer alan önemli metallere biridir. Doğada saf olarak bulunabildiği gibi çoğunlukla bileşikler halindedir. Bakır ergitme işleminin M.Ö. 3500 yılında Mezapotamya ve Anadolu'da gerçekleştirildiği bilinmektedir.

Endüstride bakırın önemli rol oynamasının ve çeşitli alanlarda kullanılabilmesinin nedeni, çok çeşitli özelliklere sahip olmasıdır. Bakırın en önemli özellikleri arasında yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınmaya karşı direnci, çekilebilme ve dövülebilme özelliği, antikorozif özellikleri sayılabilir. Ayrıca alaşımları çok çeşitli olup endüstride değişik amaçlı kullanılmaktadır. Bakırın fiziksel özellikleri Tablo 3.16'da görülmektedir. Bakır doğada az miktarda nabit, genellikle sülfürlü, oksitli ve kompleks halde bulunur. Bakır ürünleri, tüvenan cevher (maden sahasından çıkmış hali), konsantre bakır cevheri, blister bakır, rafine bakır, katot bakır gibi isimler alır.

Tablo 3.16 Bakırın özellikleri [93]

Kimyasal Formül	Cu
İçeriği	Genellikle demir ve gümüşle beraber bulunur.
Değişken Formülü	Cu, Fe, Ag
Renk	Kahverengi, bazen yeşil ve siyah
Mohs Sertliği	2,5-3
Kristal Şekli	Kübik e dodekedral kristaller, .
Şeffaflık	Opak
Özgül ağırlık gr/cm ³	8,9
Parlaklık	metalik
Klivaj	yok
Kırılma	Kesilir gibi
Kırılma	Bükülgen ve dövülebilir
Diğer önemli izler	Çok iyi iletken.
Gurubu	Metalik elementler
Kullanımı	Saf bakır üretiminde, elektrik telleri ve aletleri üretiminde...
Bulunduğu kayaçlar	Kalsit, kuprit, malakit, azurit, gümüş
Oluşumlar	En büyük üreticiler Amerika, İngiltere, Fransa.

Bakır, elektrik ve elektronik, inşaat ve ulaşım sanayiinde, endüstriyel ekipmanlarda, askeri ve diğer sanayii kollarında kullanılmaktadır Bakırın yerine kullanılabilen ürünler, sırasıyla alüminyum, fiber optikler, plastik borular ayrıca özel durumlarda bazı metal alaşımlarıdır.

Dünyadaki bakır rezervlerinin yoğun olduğu en büyük cevher kuşağı Amerika'nın batısı boyunca Şili'den geçerek Peru, Meksika'dan sonra, Arizona, New Mexico, Nevada, Utah (ABD) ve Kanada'yı içine alan jeolojik bir zondur. Söz konusu bu kuşak batı dünyası bakır üretiminin % 50'sini temsil etmektedir. Porfiri tipi bakır rezervleri aynı zamanda pasifik halkasının güney-batısı boyunca uzanan kuşak içinde bulunur ki bu kuşaktan geçtiği ülkeler Endonezya, Papua Yeni Gine ve Filipinlerdir. Aynı tip cevherler içeren diğer bir kuşak Avrupa'nın güney-doğusundan İran ve Pakistan'a uzanır. Afrika'daki en önemli rezervler sedimanter bakır kuşağı olarak kıtanın ortasında yer alır. Ayrıca oldukça büyük boyutlardaki masif sülfürlü rezervler Kanada'nın doğusunda, Amerikanın kuzeyinde, İspanya'da, Namibya'da, Güney Afrika'da ve Avustralya'da yer alırlar. Magmatik tipi rezervler ise, Kanada'nın doğusunda Sudbury bölgesinde yoğunlaşmıştır. Doğu Bloku ülkeleri arasında Eski Sovyetler Birliği ve Çin'de önemli derecede porfiri rezervler mevcut olup, Polonya'da sedimanter tipi rezervler mevcuttur.

Dünya görünür bakır cevheri rezervlerinin, Cu içeriği olarak 650 milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Dünya görünür bakır rezervlerinin halen 340 milyon tonunun işletilebilir rezerv olduğu kabul edilmektedir. U.S. Geological Survey, dünya (görünür + muhtemel + mümkün) rezervlerini 1,6 milyar ton olarak tahmin etmektedir. Ayrıca okyanus diplerindeki manganez yumrularında da 690 milyon ton bakır potansiyeli bulunmaktadır. Dünya bakır rezervlerini porfiri, volkanogenik masif sülfid ve sedimanter bakır yatakları oluşturur.

3.6.1 Üretim yöntemi ve teknolojisi

Bakır madenciliği açık ve yeraltı işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. %1-2 Cu içeren sülfürlü cevherler, flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmektedir. Bu işlemlerde, cevherdeki bakır genelde % 80'in üzerinde metal randımanları ile zenginleştirilerek % 15-25 Cu içeren bakır konsantreleri elde edilmektedir. Daha sonra bu konsantrelerden konvansiyonel izabe yöntemleri ile % 99 Cu içeren blister bakır üretilmekte ve daha sonra blister bakır, rafinasyon işlemlerine tabi tutularak elektrolitik bakır üretimi gerçekleştirilmektedir. Dünya bakır üretiminin yaklaşık % 15'i hidrometallurjik uygulamalarla gerçekleştirilmekte olup, genellikle oksitli bakır cevherleri yerinde (in-situ) veya yığın liç işlemleri ile değerlendirilmektedir. Liç işlemleri ile çözeltiye alınan bakır daha sonra çözültide "solvent ekstraksiyon ve elektrowinning" ile metal bakır olarak kazanılmaktadır. Son yıllarda bakır fiyatlarının düşük seyretmesi sonucunda flotasyon maliyetlerinin mümkün olduğunca düşürülmesi amacıyla yapılan araştırmalar ölçeği büyütüp maliyetleri düşürmeye yöneliktir.

3.6.2 Bakır standartları

Sektörün üretmiş olduğu ara ürün bakır ve pirit konsantresidir. Bu ürünlerde aranılan standart, ürünün kullanıldığı teknolojiye göre değişmektedir (izabe, kavurma).

Tablo 3.17'de flaş izabe tesislerinde kullanılabilecek bakır konsantresi standardı verilmiştir.

Tablo 3.17 Flaş izabe tesislerinde kullanılabilecek bakır konsantresi standartı [94]

Element	% Minimum	%Maksimum
Cu	24	32
S	26	38
Fe	22	34
SiO ₂	b.y.*	7
As	b.y.	0,4
Bi+Sb	b.y.	0,2
Pb+Zn	b.y.	3
Hg	b.y.	100 ppm
Al ₂ O ₃	b.y.	1.5
Au	b.y.	2 gr/ton
Ag	b.y.	70 gr/ton
Nem	b.y.	9

*b.y.=bilgi yok

3.6.3 Dünyada bakır üretimi ve tüketimi

Dünyada çok geniş alanlara yayılmış olan bakır cevheri her kıtada üretilmektedir.

Afrika'nın bilinen tüm ticari bakır işletmelerinin 1992'deki 840 000 ton'luk üretiminin yaklaşık % 98'i Afrika'nın güneyindedir. Yedi Afrika üreticisi içinden altısı bu bölgede bulunmakla birlikte, üretim Zambia, Güney Afrika ve Zaire'de yoğunlaşmıştır. Bu üç üretici ülke, kıta üretiminin yaklaşık % 90'ını sağlamaktadır. Diğer büyük üreticiler Namibia, Botswana, Fas ve Zimbabwe'dir.

1992'de Asya'daki toplam üretim 685 000 ton olarak gerçekleşmiştir. Asya'da Çin hariç (Çin Doğu Bloku içinde yer almıştır) dokuz önemli bakır üreticisi mevcuttur. 1992'de Asya üretiminin % 77'sini sağlayan üç büyük üreticinin üretimleri şöyledir: Endonezya 290 000 ton, Filipinler 135 000 ton ve İran 105 000 ton. Diğer üreticiler Hindistan, Türkiye, Malezya, Umman, Japonya ve Myanmar'dır.

Asya'da iyi kalitede bakır üreten birkaç bölge mevcuttur. Bunlardan biri Güneydoğu Asya'nın adalar grubunun etrafını çevrelemektedir. Buna Endonezya da dahildir. İkincisi Türkiye'nin de içinde bulunduğu Himalaya'lara kadar uzanan bölgedir. Bu bölgede İran ve BDT'nin güney devletleri de bulunmaktadır (Kazakistan, vb.). Üçüncüsü ise Filipinler'dir. Bu üç bölge, aynı zamanda Asya'daki bakır araştırmalarının geleceği açısından da çok önemlidir. Gelecek için önemli olan dördüncü bölge ise doğudan batıya doğru Güneydoğu Asya'nın doğusuna kadar uzanmaktadır. Kuzey Myanmar, Kuzey Tayland ve Kuzey Vietnam bu bölgededir.

Gelecek yedi yıl içerisinde tedrici bir üretim artışı gözlenmektedir. Gözlenen son artışlar mevcut ya da ekonomik ve politik nedenlerle kapanıp tekrar açılan işletmelerle ilgilidir.

Okyanusya kıtasında halen iki önemli bakır üreticisi mevcuttur. Bunlardan biri Ok Tedi ve diğeri Mt. Isa kuruluşlarıdır. Bu iki kuruluşun 1992'deki toplam bakır üretimi 355 000 ton'dur. Bu miktarın 190 000 ton'u Ok Tedi'ye ve 165 000 ton'u ise Mt. Isa'ya aittir. Okyanusya'nın toplam bakır üretimi ise 535 000 ton'dur.

Avrupa'da bakır üretimi üç önemli bölgede yapılmaktadır. İspanya Yarımadası, İskandinav Ülkeleri ve Yugoslavya. Avrupa bakır üretimi endüstrisi iyi gelişmiştir ve yatakları iyi işletilmektedir. Avrupa'nın üç büyük üreticisi Avrupa bakırının % 91'ini üretmektedir. Portekiz 1992'de % 43 (152 000 ton) ile Avrupa'nın en çok bakır üreten ülkesi olmuştur. Arkasından % 25 (91 000 ton) ile Yugoslavya ve % 23 (81 000 ton) ile İsveç gelmektedir.

Latin Amerika'da And bakır kuşağı ile Meksika olmak üzere iki önemli bakır üretim bölgesi bulunmaktadır. Latin Amerika'da en büyük ve verimli bakır üreten bölge, tüm Şili boyunca Batı Peru'dan Kuzey Peru'ya uzanan, doğuda Batı Arjantin ve Bolivya'ya doğru genişleyen And bakır kuşağıdır. Bu bakır kuşağının Şili'nin ortasından Peru'nun ortasına kadar uzanan 30 km'lik bölümünde tenör ve rezervi yüksek zengin porfiri bakır yatakları mevcut olup, doğuya gidildikçe bakır tenörü düşmekle birlikte altın ve gümüş tenörü artmaktadır.

Latin Amerika'da 1992 yılında yıllık bakır üretimi, 2 582 000 ton'a ulaşarak, diğer bölgelerin hepsini geride bırakmıştır. 2000 yılına kadar yıllık rafine bakır üretiminde her yıl için 100 milyon ton düzeyinde artış olması beklenmektedir. Bazı yıllar için yıllık artışın 200 milyon tonu aşacağı tahmin edilmektedir.

Kuzey Amerika'daki bakır üretimi prensip olarak üç farklı kaynaktan temin edilmektedir. Bunlar Güneybatı Amerika porfiri kuşağı, Batı Kanada porfirileri ve Kanada'daki polimetalik (nikel/bakır veya çinko/bakır) rezervleridir. ABD ve Kanada'da bakır üretimi uzun bir geçmişe sahiptir. 1980'li yılların sonlarına doğru Şili'nin öncülüğü ele geçirmesine kadar Amerika Birleşik Devletleri dünyanın en büyük bakır üreticisi olmuştur.

Kuzey Amerika'daki bakır üretimi gelecek dönemlerde önemli miktarda artacaktır. Bu gelişmenin büyük kısmı Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleşecek olup, sadece ufak bir kısmı Kanada'da görülecektir.

Kuzey Amerika bakır üretiminin % 70'i Amerika Birleşik Devletleri'nce yapılmakta olup, 1992 yılı üretimi 1 751 000 ton olarak gerçekleşmiştir. 2000 yılına kadar Amerika Birleşik Devletleri üretimi Kuzey Amerika üretiminin % 73'ünü oluşturacak şekilde devam edecektir.

Kanada'daki bakır üretimi nikel ve çinko gibi diğer metallerin üretimine bağlıdır. Kanada bakır rezervleri önemli miktarlarda kıymetli metaller ve molibden içerir. Kanada'daki bir çok primer bakır yatağının işletme masrafları, yatakların küçük ve düşük tenörlü olmalarından dolayı yüksektir. Bunun yanı sıra Kanada'da iyice bilinen belirli sayıda büyük rezervli yataklar mevcut olmasına rağmen ulaşım imkanlarının güçlüğü nedeni ile bunlar işletmeye alınamamıştır. Örneğin Windy Craggy bunlardan biridir.

Bakır, üstün fiziksel ve kimyasal özelliğinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Sektörlere göre bakır tüketiminin dağılımı Tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18 Sektörlere göre bakır tüketim yüzdesi [95]

Kullanım Alanı	Dünya (%)	ABD (%)	Japonya (%)	Almanya (%)
Elektrik ve Elektronik Sanayi	50	25	52	54,3
İnşaat Sanayi	17	39	15	14,0
Ulaşım Sanayi	11	11	11	10,7
Endüstriyel Ekipman	16	15	15	14,0
Diğerleri (Kimya, Kuyumculuk, Boya San. ve Turistik Eşya gibi)	6	10	7	7

3.6.4 Bakır satış fiyatları

Bakır cevher ve konsantreleri ile pirit konsantresi için AT'ın Ortak Gümrük Tarifesi (GATT) tüm ülkeler için sıfırdır. Bu ürünler için herhangi bir taviz de (koruma, tercihli rejim) bulunmamaktadır.

Bakır cevher ve konsantre fiyat tesbitinde, bakır satış fiyatları baz alınmaktadır. Bakır satış fiyatları Londra Metal Borsasında (LME) £/ton olarak ve New York Metal Borsasında (COMEX) cent/lb olarak her gün belirlenmektedir.

Bakır fiyatları, arz talep durumuna göre iniş ve çıkışlar göstermiştir. Son 6 yılda en yüksek bakır değeri 1995 yılında 2,937 \$/ton'a ulaşmıştır. En düşük değeri ise 1993 yılında, 1,578 \$/ton olmuştur.

3.6.5 Türkiye'de bakır madenciliği

Türkiye'de MTA tarafından etüt edilen 650'ye yakın bakır mostrası bulunmaktadır. Genellikle mağmatik kökenli olan cevherleşmeler jeolojik özelliklerle kayaç türlerine göre köken ve parajenez yönünden farklılıklar gösterirler.

Bakır yataklarımız jenetik olarak şu şekilde sınıflandırılabilir;

1. Porfiri bakır yatakları,
2. Masif sülfür yatakları,
3. Hidrotermal damarlar ve kontakmetasomatik yataklar.

Hidrotermal ve kontakmetasomatik yataklar sayıca en çok olup, rezerv yönünden büyük değildirler. Porfiri tip yataklar da, rezerv ve tenör yönünden işletilebilir düzeyde değildirler. Buna karşılık masif sülfür yatakları ülkemizin bakır madenciliği açısından önemlidir. Murgul, Çayeli-Madenköy, Lahanos, Ergani, Siirt-Madenköy ve Küre ülkemizde bilinen en önemli masif sülfür bakır yataklarıdır.

Alp orojenik kuşağında yer alan Türkiye'de, bakır yatakları dört ana metalojenik provens içerisinde görülür. Bunlardan birincisi ve en önemlisi Makedonya-Balkanlar'dan gelerek Istranca'dan sonra Karadeniz'den geçerek Sinop yakınlarından itibaren Doğu Karadeniz boyunca devam eden, Kafkaslar ve İran üzerinden Himalayalara doğru uzanan kuşaktır. Bu kuşakta porfiri bakır yatakları ve Kuroko tipi masif sülfür yatakları yaygındır. İkinci sırada, Kıbrıs üzerinden gelerek İskenderun-Hakkari arasında devam eden ve daha sonra İran'a geçen Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağı yer alır. Bu metalojenik provenste Kıbrıs tipi masif sülfür yatakları bulunur. Üçüncü metalojenik provens, Kıbrıs tipi masif sülfür yataklarının yer aldığı Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki Küre yöresidir. Asidik plutonizmaya bağlı hidrotermal damar ve kontakmetasomatik Cu-Pb-Zn yataklarının bulunduğu Kuzeybatı Anadolu Bölgesi dördüncü metalojenik provensi oluşturur.

Türkiye'de işletilen ve ekonomik olduğu belirlenen yatakların tümü bu metalojenik bölgeler içinde yer almaktadır. Diğer bölgelerimizdeki değişik tipteki cevherleşmeler düşük tenörlü ve küçük rezervlidir. Pb-Zn yataklarında bulunan bakır

EC YATIRIM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

cevherleşmeleri ikinci derece olup, bunlar Balya, Sisorta, Şavşat, Asarcık, Bulancak, Gölköyde olduğu gibi, genellikle asidik plütonizmaya bağlı damar ve saçınımlar şeklindedir. Üst Kretase ile Eosen-Oligosen yaşlı dasitik, andezitik volkanizmayla ilgili lav ve tüflerde oluşan bazı yataklar özellikle Kuzey Anadolu Fayı boyunca görülmektedir. Çorum ve Çankırı illerinde Üçoluk, Konaçköy, Hacıosman ve Tahtalıköy'de bulunan zuhurlar jipsli Oligo-Miyosen serilerinde yeralan sedimanter kökenli sekonder oluşuklar olup, yumrular halinde dağılmış çok önemsiz oluşuklardır.

Ülkemiz bakır rezervleri ile ilgili çalışmalar MTA Genel Müdürlüğü, Etibank ve KBI tarafından yürütülmektedir. Türkiye, bakır rezervleri açısından Doğu Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri olmak üzere iki önemli bölgeye sahiptir. Türkiye görünür bakır rezervi, 31.12.1993 tarihi itibarıyla Cu içeriği olarak 2 123 863 tondur.

Türkiye'nin bakır-pirit madenciliği sektöründeki iki ana kuruluş olan KBI Murgul işletmelerinde açık ocak maden işletmeciliğiyle cevher üretimi ve flotasyon yöntemiyle konsantre üretimi, Kutlular işletmesinde yine açık ocak işletmeciliğiyle cevher üretimi ve flotasyon yöntemiyle konsantre üretimi, Etibank'ta ise Ergani ve Küre işletmelerinde açık ocak maden işletmeciliğiyle cevher üretimi ve flotasyon yöntemiyle konsantre üretimi ve KBI'nin 1991 yılında Etibank'a devrettiği Bakibaba ocağında yeraltı metoduyla üretim yapılmaktadır.

Yurdumuzdaki bakır cevherleri konsantratörlerde zenginleştirilip, yaklaşık % 15 ile % 25 Cu içeren konsantreler elde edilmekte ve izabe tesislerimizin kullanımına sunulmaktadır. Dünya piyasalarında % 20 Cu değerinin üzerinde bakır içeren konsantreler tercih edilmektedir. Halen, ülkemizde üretilen bakır konsantreleri (Küre hariç) uluslararası spesifikasyonlara uygundur.

4 ELE ALINAN MADENLER İÇİN YAPILAN ARAZİ ÇALIŞMALARI

4.1 Pınarbaşı-Pulpınar Yeraltı Kromit Madeni'nde Yapılan Çalışmalar [96]

4.1.1 Madenin yeri

Pulpınar Yeraltı Kromit Madeni, Kayseri'ye 80 km uzaklıktaki 13 000 kişinin yaşadığı, halkının tarım, nakliyat ve madencilikle uğraştığı Pınarbaşı İlçesi sınırları içinde faaliyet göstermektedir (Şekil 4.1). Madenin işletme sahası Pınarbaşı'nın merkezinden 25 km uzaklıktaki Pulpınar Köyü'nün yanında konuşlanmıştır. Bununla birlikte 1986'dan önce kurulmuş Pınarbaşı Konsantretörü de ilçe merkezindedir.



Şekil 4.1 Pınarbaşı-Pulpınar yeraltı kromit madeni yerbulduru haritası

4.1.2 İşletmenin tanıtılması

Maden, 1986 yılından beri Dedeman Madencilik Tur. Tic. A.Ş. tarafından işletilmektedir. Bölgede, birbirlerine yaklaşık 600 m uzaklıktaki Banu ve Rıfat adı verilen iki yeraltı ocağından üretim yapılmaktadır. Rıfat ocağının üretimini taşıyan bir firma üstlenmiştir ve 1986'dan beri bu iki cevher yatağından toplam 742 511 ton kromit cevheri üretimi yapılmıştır (Tablo 4.1).

Bu ocaklarda bulunan Rıfat ve Banu isimli kuyulardan sırasıyla 53 000 ton/yıl ve 57 000 ton/yıl kapasiteyle üretim yapılmaktadır. Dolayısıyla işletmenin üretim hedefi 110 000 ton/yıl'dır.

İşletmede maden mühendisi bir müdür, bir yeraltı vardiya maden mühendisi, bir cevher hazırlama maden mühendisi, bir jeoloji mühendisi, bir jeodezi mühendisi, bir makina mühendisi görev yapmaktadır. Bununla beraber yeraltında vardiyada ortalama 13 kişi çalışmakta, yerüstünde triyaj tesisinde 5-6 kişi, jig tesisinde 1 kişi ve yerüstü hizmetleri olarakta 10'un üzerinde şoför, bir ahçı ve bir hizmet elemanı çalışmaktadır.

Tablo 4.1 Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeninde yıllara göre tüvenan kromit üretimi

Yıllar	Banu Kuyusu (ton)	Rıfat Kuyusu (ton)	Toplam (ton)
1986	0	0	0
1987	0	13.040	13.040
1988	0	13.245	13.245
1989	0	25.931	25.931
1990	0	20.953	20.953
1991	0	10.800	10.800
1992	0	32.556	32.556
1993	0	34.432	34.432
1994	21.708	48.513	70.221
1995	75.290	42.009	117.299
1996	83.748	48.597	132.345
1997	29.989	58.221	88.210
1998	67.741	16.966	89.707
1999	50.050	48.722	98.772
TOPLAM	328.526	413.985	742.511

İşletmenin makine parkında 10 kamyon vardır. Dört lastik tekerlekli loder, 2 paletli kepçe, 8 kamyon, 1 ekskavatör, 1 dozer ve ayrıca servis amacıyla minibüsler bulunmaktadır. Ekskavatörün kepçesi çıkarılıp hidrolik kırıcı takılarak iri ramble malzemelerinin kırılması işlemi de yapılabilmektedir.

İşletme günde 3 vardiyada sürekli çalışacak şekilde planlanmıştır:

- 1.vardiya işe geliş 07:00 işten çıkış 16:25
- 2.vardiya işe geliş 15:00 işten çıkış 00:25
- 3.vardiya işe geliş 23:00 işten çıkış 08:25

4.1.3 Ocağın jeolojisi

Cevherleşmenin Üst Kretase'nin sonlarında Maestrihtiyen'de oluşmuştur. Burada bulunan stratigrafik seri Ofiyolitik Seri'nin alt kısımlarını teşkil etmektedir. Zengin cevherler genellikle bu serinin en altında yer almakta, cevherin alt tabanında bu yüzden tenör yüksek, tavanda ise düşük olmaktadır.

Harsburjit içerisinde oluşan Dünitik zonların içinde cevherleşme oluşmuştur. Yani cevherin gang minerali dünit yantaşı da Harsburjit'tir. Doğada dağınık olarak bulunan kromit çeşitli tektonik olaylarla biraraya gelip, Dünit mineralinin içinde Podiform adese tipli yataklar oluşturmuştur. Bununla beraber diyabaz dayklarının cevherleşmenin içine sokulduğu zonlar da mevcuttur. Ocakta açılan hazırlık galerileri ve rampalar Harsburjit kayası içinde sürülmektedir.

Banu ocağı adese tipli bir cevher yatağı, Rıfat ocağı ise hortum yada boru şeklinde çeşitli kıvrımlara sahip, eğimli ve dalımlı yapıda bir cevher yatağıdır.

Cevher yatağının tavanında genelde kuzey güney doğrultulu düşük tenörlü fabrikalılık cevher bulunmaktadır.

Cevher yatağının tabanında ise doğu-batı doğrultulu zengin tenörlü cevher topluluğu mevcuttur.

Rıfat ve Banu ocakları için daha önce yapılmış herhangi bir kaya kalitesi çalışması yoktur.

Her iki ocakta da cevherin devamlılığını saptamak amacıyla dahili sondajlar yapılmaktadır. Ocağın içinde alınan sondajlarda karot randımanı düşüktür. Fakat cevherin varlığını gösterdiği için bu durum önemli değildir. Yeraltında çalışan sondaj makinesi, mekanik tipte düz takım denilen sistemdir. Yani morset hidrolik olarak değil el ile açılıp kapanmaktadır.

Yerüstünde cevher rezervi tespitinde yapılan sondajların karot randımanı görünür rezerv tesbiti yapıldığı için önemlidir. Yerüstü sondajları arasında kablolu (wireline) sondajlar karot yüzdesini artırmaktadır. Bu yüzden bu yöntem tercih edilmektedir. Bu sistemde ortalama karot yüzdesi % 80'i bulmaktadır. Düz takımlı olan sondajlarda karot yüzdesi artmakta, çift karotiyerle çalışılan yerlerde ise daha da yükselmektedir. Bu yüzden cevhere yaklaşıldığı anlaşıldığında karot yüzdesini artırmak için çift karotiyerli sondaj yapılmaktadır.

4.1.3.1 Yerüstü sondajlarının karot randımanları

Yerüstü sondajları SMS750 mekanik düz takımlı sondaj makinesi ile yapılmıştır. Sedimanlarda ilk metreler karotsuz, cevhere yaklaştıkça tek tüplü karotlu, cevher içerisinde çift tüplü karotlu ve cevherden çıkınca da yine tek tüplü karotlu olarak delinmektedir. Bununla beraber karot yüzdesini etkileyen faktörler zeminin faylı oluşu ve tek tüp veya çift tüplü karot alınmasıdır. Banu Ocağı için yapılan yerüstü sondajlarında çok faylı olan tavan taşı ve tabantaşı zonlarında karot randımanları % 20'lere kadar düşmüş sağlam zonlarda % 50-60 arasında değişmiştir. Cevherde ise çift tüplü karot alınmasına bağlı olarak karot randımanları % 50-100 (% 30-50 Cr₂O₃ tenörlü cevher) arasında değişmiştir.

4.1.3.2 Yeraltı sondajlarının karot randımanları

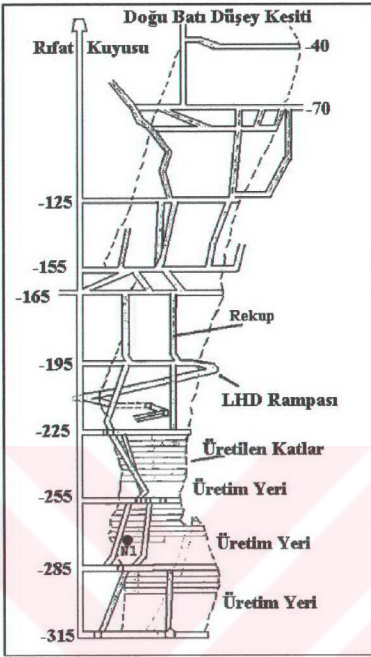
Sondajlar SMS 100 Mekanik düz takımlı sondaj makinesi ile açılmıştır. Bu makina SMS750 makinesinin minyatürüdür. SMS750 600 m sondaj yapabilirken SMS100 100 m yapabilmektedir. Rıfat ve Banu ocağı için yapılan yeraltı sondajlarında tavan taşı ve tabantaşı zonlarında karot randımanları % 50 ve daha yukarısı olmuştur. Cevherde ise yüksek tenörlü cevher olmasına bağlı olarak (% 50-55 Cr₂O₃ tenörlü) % 20'lere kadar düşmüştür.

4.1.4 Üretim yöntemi [97]

Yeraltı maden ocağında üretim faaliyetleri; mevcut ana istihraç kuyusundan itibaren 30 m kot farkı ile, cevher yatağının doğrultusuna dik ve paralel olarak oluşturulan ana nakliye yolları ile, bu ana yolları birbirine bağlayan cevherleşmenin eğiminde taban taşından çıkılan başyukarıdan sağlanmaktadır (Şekil 4.2).

Maden ocağı dikey olarak (aşağıya doğru) 30'ar m'lik ana katlara (üretim panolarına) ayrılmış bulunmaktadır. Bu panolarda 2,5 m'lik katlar halinde “**sunî tavanlı, yatay dilimli dolgulu, aşağı doğru ilerletimli**” yöntem ile cevher üretimi yapılmaktadır.

Her panoda en üst kısımdan (tavan yolunun altından) başlanarak, cevher naklinde kullanılan başyukarılar içerisinden giriş yapılarak, cevherin taban taşında rekuplar sürülmektedir. Cevhere ulaşıldıktan sonra cevher içerisinde 2,5 × 2,5 m kesitinde yatay dilimler halinde ana yollar sürülerek ve ana yollardan dik bacalar girilerek üretim yapılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Rıfat ocağı kesit görünümü



Şekil 4.3 Aynadan üretilen cevher LHD'lerle fereye taşınıyor.

Ayrıca bu ana yollar; dolgu malzemesi nakli için taban taşının içinde başyukarılar oluşturularak üstteki tavan yoluna, cevher nakli için ikinci başyukarılara bağlanmaktadır. Böylece bir panoda iki cevher oluğu, bir pasa oluğu açılmaktadır.

Ana yol sürülürken girilen üretim bacaları arasında en az 5 m cevher topuğu bırakılmakta, cevheri alınan bacaların boşlukları ocak içerisinden ve ocak dışından sağlanan dolgu malzemesi (pasa) ile usulüne uygun bir şekilde doldurulmaktadır.

Daha sonra bir alt üretim katının hazırlığı için hangi başyukarıdan giriş yapılacak ise o taraftaki ana yolun uç kısmından başlayarak yanlara doğru baca girilmekte bu sırada cevher topukları alınmakta ve cevheri alınan bacalar ile ana yolun dolgusu yapılarak geriye doğru kat toplanmaktadır. Çalışılan üretim katının yarısı alındıktan sonra da bir alt üretim katının hazırlığına başlanmaktadır.

Cevherin taban ve tavan taşı ile alt ve üst dalım sınırlarındaki cevherler yan taş karışmayacak şekilde ve cevher zayıtı verilmeden tam olarak alınmaya çalışılmaktadır.

Üretim esnasında cevherin fazla tozlanmaması için delik sayısı ve deliklere konulan patlayıcı madde miktarı asgari düzeyde tutulmaktadır.

Aşağıya insan düşmesini önlemek için üretim katı girişlerinde, fere içerisine tahkimat, merdiven ve oluk ağızlarına kapak yapılmaktadır.

Üretim katlarında cevher içinde sürülen ana yollarda ve bacalarda 0,8 m aralıklarla bağ atılmakta, anayollarda ayrıca her 3 m’de bir sololu sarma çekilmektedir. Sarma ve boyunduruklarda 18-20 cm yandirek ve dikmelerde 16-18 cm kalınlıkta ağaç direkler kullanılmaktadır. Bir üst katın cevher sınırının dolayısıyla bir üst katın ızgarasının (suni tavanın (Şekil 4.4) dışına sürülen üretim bacalarının tavanı 7-8 cm kalınlıkta sürme kamalar kullanılarak tutulmaktadır. Üretimi yapılan cevher boşluklarını dolgu işlemine geçilmeden önce, dolgu bacalarının tabanına, boyuna olarak üç adet (iki kenara ve orta kısma) 12-14 cm kalınlıkta ağaçtan solo uzatılarak ve bu soloların üzerine enine olarak 3 cm kalınlıkta kamalar döşenerek badama (ızgara) yapıldıktan sonra üstüne dolgu yapılmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Suni tavan uygulaması



Şekil 4.5 Dolgu öncesi soloların ve kamaların dolgu bacalarının tabanına yerleştirilmesi



Şekil 4.6 0,5 m aralıklı dolgu arasına yerleştirilmiş yatay kamaların görünümü



Şekil 4.7 Kuyu ana kat girişi hazırlık galerileri

Dolgu bacalarında tabana yatırılan sololar, en az 3 m boyunda olmakta, baca uzun ise 4 m'lik ağaç kullanılmaktadır. Soloların birer ucu yan taş 30-40 cm, ek yerlerindeki uçları birbirine en az 20 cm girecek şekilde oturtulmaktadır. Izgara kamaları aralarında açıklık bırakılmayacak şekilde ayarlanmaktadır.

Dolguların ön kısmına ve iki kenarına iri taşlarla duvar örülerek, duvar içerisine 0,5 m aralıklarla yatay olarak ağaç kamalar yerleştirilmektedir. Dolguların bir üst katın ızgarasına teması sağlanmalıdır (Şekil 4.6).

Kuyu ana kat girişi hazırlık galerileri (çift yol ve makas bağlanan kısım) B8 kesitinde olacak şekilde açılmakta (Şekil 4.7), bunun dışında açılacak ana kat hazırlık galerileri B5 kesitinde kazılmaktadır. Üretim kotlarında galerilerin kesiti $3 \times 2,7-2,8$ m'dir.

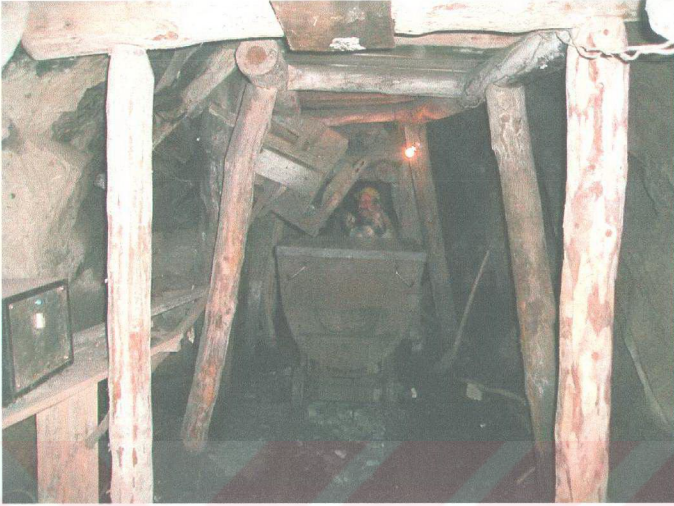
Taş içerisinde sürülen hazırlık galerilerinin kesiti düzgün ve tavanı kemerli olmalıdır. Hazırlık galerilerinin sağlam olmayan zeminden geçen kısımlarına tahkimat yapılmaktadır.

Hazırlık galerilerinde taban eğimi % 0,3 olarak ayarlanmakta, tabana açılan su kanalı genişliği 25 cm, derinliği 18 cm olmaktadır.

Ana kat hazırlık galerisi cevher yatağına ulaştıktan sonra ana katın cevher üretimi yapılarak, cevher izohipsi belirlenmektedir (Şekil 4.2). Cevher içerisinde sürülen ana yollarda ve bacalarda usulüne uygun tahkimat yapılarak, tavan dilme ve kamalarla tutulmaktadır. Cevher üretimi biten bacaların tabanına usulüne göre badama (ızgara) döşenerek, dolguları yapılmaktadır.

Ana katın cevher izohipsi belirlendikten sonra cevherleşmenin doğrultusuna paralel taş içerisinde hazırlık galerileri sürülmekte daha sonra bu hazırlık galerileri, cevherleşmenin eğiminde taban taşından çıkılan başyukarılarla bir üstteki ana kat hazırlık galerisine bağlanmaktadır. Bu Şekil 4.2'deki kesit görünümünden izlenebilir.

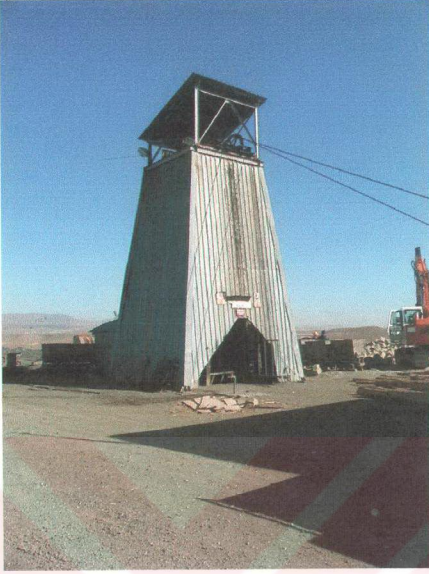
Üretim sırasında parça boyutu çok önemli olduğundan, tozlanma çok olmamalıdır. Bu yüzden cevheri gevşetmek için yapılan delme-patlatma işlemi az delik delinerek yapılmakta ve delikler içerisinde normalden daha az patlayıcı madde kullanılmaktadır. Fakat yine de üretilen kromit içerisinde toz cevher de, fındık cevher de, roş cevher de bulunmaktadır.



Şekil 4.8 Taban yolunda üretilen cevher fere ağzından vagona boşaltılıyor

İki kat arasında genellikle iki fere bulunmakta; üretilen cevher en yakın fereye boşaltılmaktadır (Şekil 4.8). Bu sayede cevher alt nakliye yoluna ulaştırılmaktadır. Buradan da kuyulara vagonlarla gönderilerek kafes nakliyatı ile yeryüzüne çıkarılmaktadır. Şekil 4.9'da Banu kuyusunun yeryüzündeki çıkış ağzı görülmektedir. Yeryüzüne çıkarılan cevher de ilgili (Tüvenan 1, tüvenan 2 gibi) cevher stoğunun bulunduğu yere boşaltılmaktadır .

Yeraltında çalışan işçiler hem delme patlatma işlemini, hem tahkimat işlemini , hem de üretilen cevheri loderlere yükleyerek ferelere taşıma işlemini de yine kendileri gerçekleştirmektedir. Bununla beraber alt nakliyat katında ferelerden yüklenmiş vagonların kuyuya kadar taşınması işlemini de yapmaktadırlar. Bunun yanında loderlerle dolgu yerlerine getirilen dolgu malzemesi de işçiler tarafından el ile yerleştirilmektedir. Bir üretim katında 2 işçi ve bir loder sürücüsü çalışmaktadır. Bu üç kişilik ekip günde 18 m³ kazı yapmaktadır. Hazırlık yapmak için açılan boşluklar günde 3 m ilerlemektedir. Genellikle 1 vardiyada 1-1,5 m ilerleme oluşmakta ve normal koşullarda günlük 3-4,5 m ilerleme kaydedilmektedir. Bununla beraber ramble yerinde günlük 2-2,5 m yer doldurulabilmektedir.



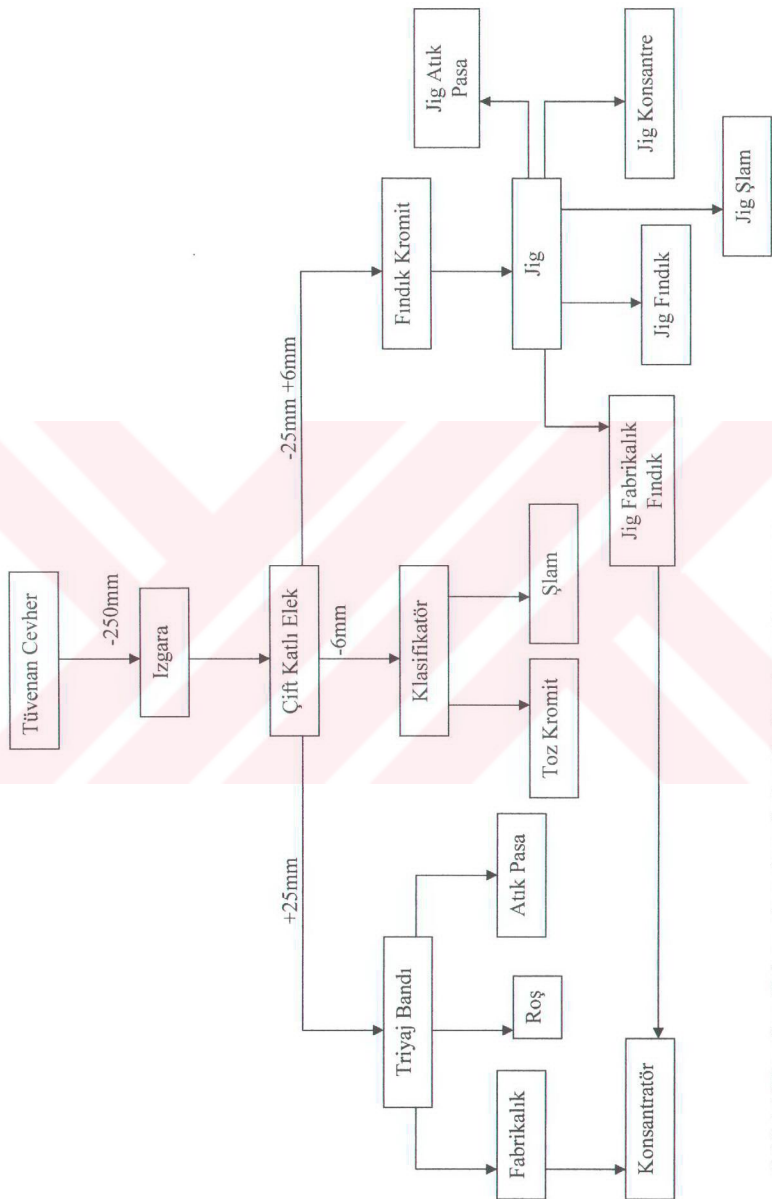
Şekil 4.9 Banu kuyusunun yerüstü çıkış ağız

İşçiler aynaya vardiya başında geldiğinde tahkimat gerekiyorsa tahkimat yapmaktadır. Bu işlemden sonra lağım atılmakta ve gevşeyen cevher yada yantaş loderlerle taşınarak ferelere götürülmektedir. Daha sonra vakit kalırsa kazılan yerin tahkimatı yapılmaktadır.

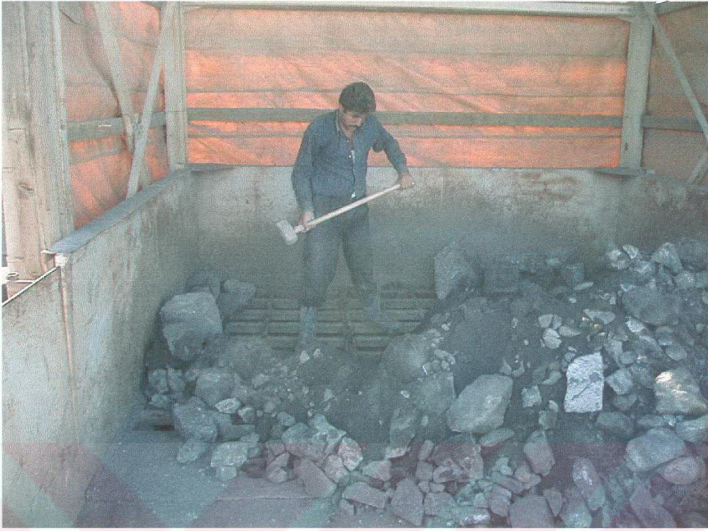
Ocağın su geliri günlük ortalama 6 m³/gün olup, bunlar pompalarla yeryüzüne basılmaktadır.

4.1.5 Cevher hazırlama işlemleri

İşletmede 3 ayrı tüvenan bulunmakta, yani 3 ayrı kalitede kromit cevheri üretilmektedir: tüvenan 1, tüvenan 2 ve tüvenan 3. Bunlar da Şekil 4.10'da akım şeması verilen cevher hazırlama tesisine gönderilir. Ocaklardan gelen tüvenan cevherler triyaj tesisi girişinde 20 cm'lik bir ızgaraya beslenmektedir (Şekil 4.11). Iızgarada tüm cevher 20 cm altına indirilmekte, eğer büyük parçalar varsa balyozla kırılmaktadır.



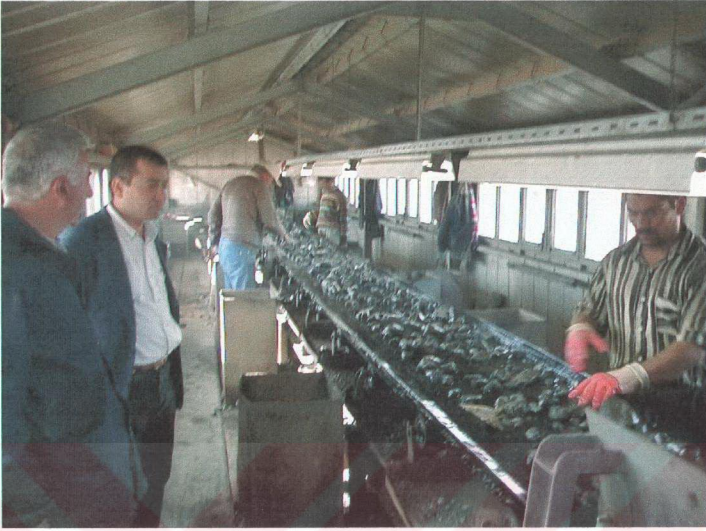
Şekil 4.10 Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni cevher hazırlama akım şeması



Şekil 4.11 Triyaj tesisi girişindeki ızgara



Şekil 4.12 Spiral klasifikatör



Şekil 4.13 Triyaj bandı

Daha sonra cevher, +6mm ve +25 mm'lik 2 katlı titreşimli elekten elenerek ayrıldıktan sonra, -6 mm spiral klasifikatöre gönderilmekte ve burada şlamı ayrılmaktadır (Şekil 4.12). +6 mm -25 mm fındık silosuna beslenmekte, +25 mm de banta beslenip el ile ayıklama yapılmaktadır. Burada ilk önce en yüksek kaliteli refrakter ürün ayıklanmaktadır. Yantaş el ile ayrı bir siloya, fabrikalık ürün de başka bir grup işçi tarafından başka bir siloya ayrılmaktadır. Nihayi siloya da roş 1 gönderilmektedir. Triyaj tesisinde 5-6 işçi çalışmaktadır (Şekil 4.13). Sonuçta toz ile beraber 6 ürün elde edilmektedir.

Triyaj tesisinde elde edilen ürünler beslenen tüvenan ürünün cinsine göre değişmektedir. Örneğin Triyaj tesisine tüvenan 1 beslenirse alınan ürünler roş 1, fındık 1, toz 1 gibi... olacaktır. Tüvenan 2 beslenirse indisler 2 olarak değişecektir. Elde edilen tüvenan 1 ürünlerin kromit yüzdesi % 46-50, tüvenan 2 ürünlerinin kromit yüzdesi % 42-46, tüvenan 3 ürünlerinin kromit yüzdesi % 38-42 arasında değişmektedir.

Ancak tüvenan 1'in tenörü, triyaj bandından alınan roş 1 ürününe göre haliyle % 3-4 daha az olmaktadır. Yani ocaktan alınan tüvenan 1 % 43-45 arasında değişmektedir. tüvenan 2 % 40-42 arasında, tüvenan 3'te % 36-38 arasında değişmektedir.

Tablo 4.2’de belli tarihler arasında triyaj ve jige beslenen tüvenanlardan alınan ürünlerin yüzdesi görülmektedir.

Tablo 4.2 Tüvenan cevherin triyaj ve jig tesisine beslenmesiyle alınan ürünlerin yüzdesi

Alınan Ürünler ve tarihleri	Trijaj			Alınan Ürünler ve tarihleri	Jig		
	1	2	3		4	5	6
	Banu Tüvenan1 5.04.2000-10.10.2000	Rıfat Tüvenan1 1.4.2000-28.9.2000	Rıfat Tüvenan2 21.4.2000-30.4.2000		Banu Fındık1 1.9.2000-26.9.2000	Rıfat Fındık1 1.7.2000-31.7.2000	Rıfat Fındık2 1.7.2000-31.7.2000
Refrakter	-	-	%5	Fındık	%48	%54	%55
Roş1	%29	%45	%39*	Konsantre	%35	%30	%32
Roş3	-	%2	-	Fabrikalık	%7	%2	%6
Fındık1	%16	%13	%15	Atık Pasa	%9	%10	%5
Fabrikalık	%4	%6	%3	Şlam	%1	%4	%2
Toz1	%35	%29	%29				
Atık Pasa	%3	%2	%5				
Şlam	%4	%3	%4				

*Roş 1 içinde roş 3’te var

Tablo 4.2’deki ürünlerin tanımı aşağıdaki gibidir:

1) 5 Nisan 2000- 10 Ekim 2000 arasında Banu tüvenan 1 için triyaj bandına beslenen kromit miktarlarının ortalama ürün dağılımı.

2) 1 Nisan 2000- 28 Eylül 2000 arasında Rıfat kuyusundan tüvenan 1 için triyaj bandına beslenen kromit miktarlarının ortalama ürün dağılımı.

3) 21 Nisan 2000- 30 Nisan 2000 arasında Rıfat kuyusundan tüvenan 2 için triyaj bandına beslenen kromit miktarlarının ortalama ürün dağılımı.

4) 1-26 Eylül 2000 tarihleri arasında Rıfat kuyusundan elde edilmiş tüvenan 1’in triyaj bandına beslenmesiyle alınan fındık 1 kromit ürününün jige beslenmesi sonucu elde edilen ürünlerin kromit yüzdesi.

5) 1-31 Temmuz 2000 tarihleri arasında Banu kuyusundan elde edilmiş tüvenan 1’in triyaj bandına beslenmesiyle alınan fındık 1 kromit ürününün jige beslenmesi sonucu elde edilen ürünlerin kromit yüzdesi.

6) 1-31 Temmuz 2000 tarihleri arasında Banu kuyusundan elde edilmiş tüvenan 2’nin triyaj bandına beslenmesiyle alınan fındık 2 kromit ürününün jige beslenmesi sonucu elde edilen ürünlerin kromit yüzdesi.



Şekil 4.14 Jig tesisi

Triyaj bandından çıkan “findık” ürünü de jiglerde zenginleştirilmek üzere jig tesisine yollanmakta (Şekil 4.14), burada jig konsantre ve jig findık diye ayrılmaktadır.

Triyaj tesisinden gelen findık boyutundaki malzeme +6-25 mm saatte ortalama 6 ton besleme kapasitesi ile Jig tesisine beslenmektedir. Tesisten 5 ürün alınmaktadır. Bunlar:

- -6 mm Jig toz konsantre 1 (% 48-50 Cr_2O_3)
- +6-25 mm jig findık 1 (% 4 6-48 Cr_2O_3)
- Düşük tenörlü fabrikalık findık
- Jig şlam: Çok ince (% 35-40 Cr_2O_3) mikron, mertebesinde kromit içermektedir. Çok ince taneli olduğu için henüz satışı yapılamamakta ve şlam havuzlarında çöktürülerek stoklanmaktadır.
- Jig atık pasa: % 1,5-2 arasında tenörlü üründür.

Jige 3 tür cevher de beslenebilir: tüvenan 1, tüvenan 2 ve tüvenan 3. Bu durumda çıkan ürünlerin ismi de tüvenan 1 beslenirse jig findık 1, toz konsantre 1; tüvenan 2 beslenirse jig findık 2, toz konsantre 2 gibi... isimler almaktadır.

Jig tesisinde 1 kişi çalışmaktadır. Arıza halinde ocağın makine teknisyenleri müdahale için görev almaktadırlar.

Bunlara ek olarak ocaktan çıkan düşük tenörlü cevherler ile triyaj tesisinden alınan düşük tenörlü cevherler Pınarbaşı Konsantretörü'nde boyut küçültme işlemine tabi tutularak sarsıntılı masalarda zenginleştirilmektedir.

4.1.6 Cevherin kullanım alanları

Roş ürünler genellikle yurt dışına, refrakter cevher ve konsantre ise yurt içine satılmaktadır.

Refrakter kromit tuğla yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca döküm kumunun içine katılmaktadır. Ama yurt içine çok az satılmaktadır.

Satılık cevherler karayolu ile Mersin'e gönderilmekte ve burada stok sahasına boşaltılmaktadır. Buradan yurt dışına gemilerle nakledilmektedir.

4.1.7 Madenin projeksiyonu [97]

Maden işletmesinde ileriki yıllarda daha derinde üretim yapılması planlanmaktadır. Şu andaki kuyular mevcut derinlikteki yıllık 110.000 ton'luk kapasiteyi karşılayabilmektedir. Ancak kuyuların derinleşmesi ile kafesin iniş çıkış periyot zamanı ve aynaya ulaşım periyot zamanı artacağından istenilen kapasiteye ulaşamayacağı kesindir. Bu nedenle 5 senelik bir hazırlık planı ile alternatif üretim yöntemleri düşünülmektedir. Buradaki amaç üretimi ve verimi artırmak, maliyetleri düşürmektir.

İşletmede 5-6 yıl yetecek kadar görünür rezerv vardır. Bunun yanında 90 m'lik yeraltı sondajları devam etmekte ve cevher yatağının yeraltındaki uzantıları tesbit edilmektedir. Ocakta hazırlıklar 30 m'lik aralarla yapıldığı için 90 m'lik yeraltı sondajları yeterli olmaktadır.

Mevcut kuyu kapasitesini artırmak için çeşitli alternatif yöntemler düşünülmektedir. Kuyu revizyonu sırasında ya yeni bir kuyunun açılması yada mevcut kuyuların kapasitesinin artırılması planlanmaktadır. Düşünölen alternatifler şunlardır:

Birinci alternatifte; -315 m derinlikte olan Rıfat kuyusunda 500 m'ye kadar dahili bir kuyu açılması düşünülmekte ve iki kademeli nakliye yapılması planlanmaktadır.

Banu kuyusu da şu anda -210 m'dedir. Bu kuyunun derinliği -325 m'ye ulaşınca, aynı şekilde bu derinlikten -500 m'ye ikinci bir dahili kuyu inilmesi planlanmaktadır.

İkinci alternatifte; Rifat ve Banu Ocakları'nda dahili kuyular yerine 200 m'lik daha geniş çaplı loder rampası açılması ve bu rampalardan -325 m katına üretilen cevherin loderlerle taşınması düşünülmekte buradan da mevcut kuyular vasıtası ile yeryüzüne ulaştırılması planlanmaktadır.

Tablo 4.3 Banu kuyu kapasitesi ve iş programı

Bir vardiya çalışma süresi	7 saat 30 dak
Vardiya başında, yemek saatinde ve vardiya sonunda insan iniş çıkış süresi (4 x 15 dak.)	1 saat
Malzeme (maden direği, kama, dilme) nakli	30 dak
Bir vardiyaada kafesin cevher naklinde çalışma süresi	6 saat
Banu kuyusunda -160, -190 ve -220 katlarından nakliye yapılmakta olup ortalama kuyu nakliye kapasitesi*	190m
Kuyu başında dolu vagonun alınması, boş vagonun verilmesi	1 dak 39 sn
Kuyu başından -190 katına kafesin inişi	1 dak. 55 sn
-190 katında boş vagonun alınması, dolu vagonun verilmesi	1 dak. 01 sn
- 190 katından kuyu başına kafesin çıkması	2 dak.
Kafesin 1 seferi için geçen toplam süre	6 dak. 35 sn
Bir vardiyaada kafesin cevher nakli sefer sayısı	54 sefer (vagon)
Bir günlük cevher nakli sefer sayısı	3 x 54 = 162 sefer (vagon)
Günlük nakliye kapasitesi (en fazla)	162 x 1,2 ton = 194,4 ton
1 yıllık çalışma günü	347 gün
Yıllık nakliye kapasitesi (en fazla)	347 x 194,4 ton= 67 457 ton

* Kuyu kapasitesi hesaplanırken alt taban yollarının yeryüzüne olan uzaklıkları arasındaki mesafelerin ortalaması alınmaktadır.

Tablo 4.4 Rifat kuyu kapasitesi ve iş programı

Bir vardiya çalışma süresi	7 saat 30 dak
Vardiya başında, yemek saatinde ve vardiya sonunda insan iniş çıkış süresi (4 x 15 dak.)	1 saat
Malzeme (maden direği, kama, dilme) nakli	30 dak
Bir vardiyaada kafesin cevher naklinde çalışma süresi	6 saat
Banu kuyusunda -255, -285 ve -315 katlarından nakliye yapılmakta olup ortalama kuyu nakliye kapasitesi	285m
Kuyu başında dolu vagonun alınması, boş vagonun verilmesi	1 dak 39sn
Kuyu başından - 285 katına kafesin inişi	2 dak. 47 sn
-285 katında boş vagonun alınması, dolu vagonun verilmesi	1 dak. 01 sn
-285 katından kuyu başına kafesin çıkması	2 dak. 56 sn
Kafesin 1 seferi için geçen toplam süre	8 dak. 23 sn
Bir vardiyaada kafesin cevher nakli sefer sayısı	43 sefer (vagon)
Bir günlük cevher nakli sefer sayısı	3 x 43 = 129 sefer (vagon)
Günlük nakliye kapasitesi (en fazla)	129 x 1,2 ton = 154,8 ton
1 yıllık çalışma günü	347 gün
Yıllık nakliye kapasitesi (en fazla)	347 x 154,8 ton= 53 715 ton

Üçüncü alternatifte; her iki ocakta da 500'er m'lik daha yüksek kapasiteli, çapı şimdikinden daha büyük yeni kuyular açılması düşünülmektedir.

Dördüncü alternatifte ise her iki ocağın nakliyesini karşılayacak şekilde iki ocağın ortasında, merkezi bir yerden daha büyük kapasiteli 600 m'ye kadar indirilecek ortak bir kuyu açılması düşünülmektedir.

Banu ve Rıfat Kuyularındaki şu andaki üretim kapasitesi ve iş programı Tablo 4.3 ve 4.4'teki gibidir.

4.1.8 Maliyetler, randımanlar, malzeme tüketimi

Tablo 4.5, 1 Ocak 2000 tarihinden 31.08.2000 tarihine kadar dağıtılan yevmiyelerin Banu ocağı fiili üretimlerine karşı gerçekleşen randımanları göstermektedir.

Tablo 4.6'da ise 1 Ocak 2000'den itibaren işletmede yapılan tüvenan üretimine karşılık gelen birim malzeme tüketim tablosu görülmektedir. Tablo 4.7'de ise yine 2000 yılbaşından itibaren Banu ocak üretim maliyet föyü görülmektedir. Mersin'deki stok sahasına kamyonla nakliye 6.500.000 TL + KDV bedelle yapılmaktadır. Yeraltı işçisi brüt 8 milyon TL/gün ücret, yılda 3.5 maaş da ikramiye almaktadır.

Tablo 4.5 Kümülatif randımanlar tablosu

31.08.2000					
ÜRETİM	MİKTAR	P.PINAR BANU OCAĞI ÜRETİM	JİĞ TESİSİ	P.PINAR SEÇİ	SONDAJ
Çalışan işçi adedi	adet	B	B	B	B
Normal yevmiye adedi	adet	8731	181	2279	1931
Hafta tatili çalışma yevmiye	adet	76	0	0	139
Genel tatil çalışma yevmiye	adet	0	0	0	0
Fazla mesai yevmiye adedi	adet	0	0	42	0
Randımana esas yevm. Ad.	adet	8807	181	2321	2070
Hafta tatili yevmiye adedi	adet	1973	34	422	441
Genel tatil yevmiye adedi	adet	54	0	3	2
Ücretli izin yevmiye adedi	adet	1009	0	0	86
Toplam yevmiye adedi	ton	11843	215	2746	2599
İş miktarı	ton/yev.	39609	9207	74037	10019
Fiili randıman	ton/yev.	4,497	50,867	31,899	4,840
Program randıman	ton/yev.	4,000	0,000	0,000	4,480
Fark	ton/yev	0,497	50,867	31,899	0,360

B: Belirsiz, Her işçi hem kazı, hem tahkimat hem de benzeri işlerde çalıştıkları için randıman, günlük yevmiye ve yapılan iş miktarı cinsinden ele alınmıştır.

Tablo 4.6 Ocak-Ağustos 2000 tarihiyle malzeme tüketim tablosu

BANU OCAĞI				Malzeme Tüketimi		
ÜRETİM	Birim Üretim İçin Tüketim			Toplam		
	Birim	Bu Ay	Bu Aya Kadar	Birim	Bu Ay	Bu Aya Kadar
Maden Direği	Prog m ³ /ton	0,032		m ³	150	1.267
	Fiili m ³ /ton	0,028	0,026	m ³	131	1.026
	Fark m ³ /ton	-0,004	-0,006	m ³	-19	-241
Dinamit	Prog. kg/ton	0,135	0,135	kg	635	5.347
	Fiili kg/ton	0,069	0,108	kg	324	4.259
	Fark kg/ton	-0,066	-0,027	kg	-311	-1.088
Kapsül	Prog. ad./ton	0,500	0,500	adet	2.350	19.805
	Fiili ad./ton	0,138	0,279	adet	650	11.062
	Fark ad./ton	-0,362	-0,221	adet	-1.700	-8.743
Fital	Prog. m/ton	0,550	0,550	m	2.585	21.785
	Fiili m/ton	0,170	0,345	m	800	13.675
	Fark m/ton	-0,380	-0,205	m	-1.785	-8.110
Yakıt (Mazot)	Prog. lt/ton	0,700	0,700	lt	3.290	27.726
	Fiili lt/ton	0,576	0,494	lt	2.708	19.558
	Fark lt/ton	-0,124	-0,206	lt	-582	-8.168
Elektrik	Prog. kW/ton	7,50	7,50	kW	35.250	297.068
	Fiili kW/ton	5,23	5,50	kW	24.578	217.869
	Fark kW/ton	-2,27	-2,00	kW	-10.672	-79.199
Diğer	Prog. \$/ton	0,550	0,550	\$/ton	2.585	21.785
	Fiili \$/ton	0,652	0,397	\$/ton	3.065	15.711
	Fark \$/ton	0	0	\$/ton	480	-6.074
İş Miktarı	Prog. ton	5.470	41.355			
	Fiili ton	4.700	39.609			
	Fark ton	-770	-1.746			
RIFAT OCAĞI				Malzeme Tüketimi		
ÜRETİM	Birim Üretim için Tüketim			Toplam		
	Birim	Bu Ay	Bu Aya Kadar	Birim	Bu Ay	Bu Aya Kadar
Maden Direği	Prog. m ³ /ton	0,028	0,028	m ³	155	1.045
	Fiili m ³ /ton	0,027	0,026	m ³	150	961
	Fark m ³ /ton	-0,001	-0,002	m ³	-5	-84
Dinamit	Prog. kg/ton	0,000	0,000	kg	0	0
	Fiili kg/ton	0,000	0,000	kg	0	0
	Fark kg/ton	0,000	0,000	kg	0	0
Kapsül	Prog. ad./ton	0,000	0,000	adet	0	0
	Fiili ad./ton	0,000	0,000	adet	0	0
	Fark ad./ton	0,000	0,000	adet	0	0
Fital	Prog. m/ton	0,000	0,000	m	0	0
	Fiili m/ton	0,000	0,000	m	0	0
	Fark m/ton	0,000	0,000	m	0	0
Yakıt (Mazot)	Prog. lt/ton	0,044	0,044	lt	244	1.643
	Fiili lt/ton	0,099	0,052	lt	550	1.929
	Fark lt/ton	0,055	0,008	lt	306	286
Elektrik	Prog. kW/ton	7,50	7,50	kW	41.625	280.028
	Fiili kW/ton	5,71	7,72	kW	31.689	288.198
	Fark kW/ton	-1,79	0,22	kW	-9.936	8.171
Diğer	Prog. \$/ton	0,060	0,060	\$/ton	333	2.240
	Fiili \$/ton	0,015	0,043	\$/ton	85	1.594
	Fark \$/ton	-0,04	-0,02	\$/ton	-248	-646
İş Miktarı	Prog. ton	4.910	38.380	ton		
	Fiili ton	5.550	37.337	ton		
	Fark ton	640	-1.043	ton		

Tablo 4.7 Ocak-Ağustos 2000 Banu ocağı üretim maliyet föyü

GİDER	ÇEŞİTLERİ	Fiili			Program	
		TL	TL/ton	\$/Ton	TL/ton	\$/ton
İ Ş Ç İ L İ K L E R	Normal Yevmiye	60.204.736.953	1.519.976	2,54	1.678.120	2,81
	Fazla Mesai+Haf.Tat.Çalışma Üc.	1.316.457.468	33.236	0,06	275.358	0,46
	Hf.ve Gn.Tat.Ücr.	13.662.408.579	344.932	0,58	423.212	0,71
	Ücretli İzin	6.514.323.250	164.466	0,27	141.640	0,24
	İkramiye	27.387.764.583	691.453	1,16	646.615	1,08
	Sosyal Yardımlar	6.165.407.106	155.657	0,26	380.044	0,64
	SSK.İşveren hissesi	26.701.321.312	674.123	1,13	811.456	1,36
	İşsizlik Sigortası	1.352.461.392	34.145	0,06	0	0,00
	Tas. Teş.İşv.hissesi	1.492.396.201	37.678	0,06	73.605	0,12
	Bayram harçlığı	8.512.141.637	214.904	0,36	0	0,00
	Pirim	0	0	0,00	0	0,00
M A L Z E M E	İhbar ve Kıdem Tazm.	5.473.487.555	138.188	0,23	0	0,00
	İşçilikler Toplamı	158.782.906.036	4.008.758	6,70	4.430.050	7,41
	Maden Direği	31.372.529.385	792.056	1,32	1.206.400	2,02
	Dinamit	4.798.713.218	121.152	0,20	175.500	0,29
	Kapsül	1.667.112.037	42.089	0,07	91.200	0,15
	Fital	1.982.130.424	50.042	0,08	94.160	0,16
	Karpit	2.670.133	67	0,00	0	0,00
	Yakıt	9.760.944.732	246.432	0,41	291.942	0,49
	Diğer(Yedek+Sair)	8.108.602.243	204.716	0,34	29.0153	0,55
	Malzemeler Toplamı	57.692.702.172	1.456.555	2,44	2.188.217	3,66
	Mutfak Gid.Payı	20.022.370.565	505.501	0,85	418.919	0,70
Taşeron Gideri		0	0	0,00	0	0,00
OCAK	BAŞI ÜRETİM TOPLAM	236.497.978.773	5.970.814	9,98	7.037.186	11,77
G E N E L	Endirekt İşçilik Gid.	44.121.262.838	1.113.920	1,86	865.280	1,45
	End.İşçilik Gid.Toplamı	44.121.262.838	1.113.920	1,86	865.280	1,45
	Endirekt Malzeme Gid.	3.147.274.653	79.459	0,13	61.500	0,10
	End.Malzeme Gid.Toplamı	3.147.274.653	79.459	0,13	61.500	0,10
	Elektrik Gid eri	11.026.116.862	278.374	0,47	348.956	0,58
	Bakım-Onarım Gid.	2.059.782.834	52.003	0,09	57.937	0,10
	Dolgu Gideri	5.959.231.473	150.451	0,25	327.925	0,55
	Diğer Dış.Sağ .Fay.Hizm.Gid.	7.717.960.005	194.854	0,33	209.167	0,35
	Dış.Sağ.Fay.Hiz.Gid.Top.	26.763.091.175	675.682	1,13	943.984	1,58
	Çeşitli Giderler	4.542.123.003	114.674	0,19	68.750	0,11
	Çeşitli Gider Toplamı	4.542.123.003	114.674	0,19	68.750	0,11
Ü R E T İ M	Vergi,Resim,Harç Giderleri	809.173.376	20.429	0,03	16.667	0,03
	Mad.Dur.Var.Amort.	15.255.921.716	385.163	0,64	140.862	0,24
	Özel Tük.Tab.Var.Amort.	41.358.148.731	1.044.160	1,75	1.052.686	1,76
	İtfa Payları Toplamı	56.614.070.447	1.429.323	2,39	1.193.548	2,00
	Faiz Gideri	51.760.121.804	1.306.777	2,18	1.237.500	2,07
	Finansman Gid.Toplamı	51.760.121.804	1.306.777	2,18	1.237.500	2,07
	G.Ü.G.* TOPLAMI	187.757.117.297	4.740.264	7,93	4.387.228	7,34
G İ D E R İ	Lab.Gid.Payı	970.315.890	24.497	0,04	11.804	0,02
	Ankara Büro Gid.Payı	34.662.619.573	875.120	1,46	823.291	1,38
	Kayseri Büro Gid.Payı	15.835.132.539	399.786	0,67	465.511	0,78
	Nakliye Serv.Gid.Payı	13.645.189.905	344.497	0,58	521.093	0,87
	Mühendislik Hizm.Gid.Payı	25.168.356.621	635.420	1,06	316.348	0,53
	İş Mak.Serv.Gid.Payı	7.903.420.495	199.536	0,33	282.715	0,47
	Müş.Hizm.Un.Gid.Payı	98.185.035.023	2.478.857	4,14	2.420.761	4,05
	SERVİS GİDERLER TOPLAMI	522.440.131.092	13.189.935	22,05	13.845.176	23,15
	İş Miktarı	39.609			41.355	

*G.Ü.G: Genel üretim giderleri

4.1.9 Numune alınması

Pınarbaşı-Pulpınar Kromit Madeni'nde, ocağı temsil eden tüvenan 1 ve tüvenan 2 cevherinden ve hazırlık galerileri, başyukarılar ve taban yollarının açıldığı Harsburjit yankayacından (kaya mekaniği ve kazı mekaniği parametrelerini tesbit etmek için İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Laboratuvarları'nda deneyler yapmak üzere) numuneler alınmıştır.

Numuneler stok sahasına yeni gelen cevherlerden ve pasadan alınmış, bunların ocaktan geldikleri yerler belirlenmiştir. Buna göre 1 nolu tüvenan 1 numunesi N1, Rıfat Ocağı'nda -272,5 m'de üretim yapılan % 44-46 Cr_2O_3 tenörlü aynadan alınmıştır. 2 nolu numune N2 ise Banu Ocağı'nda -190 m'de açılan hazırlık galerisinden alınan Harsburjit yan kayadır. 3 Nolu tüvenan 2 numunesi, yine Banu Ocağı'nda -150 m'de üretim yapılan % 40-50 Cr_2O_3 tenörlü aynadan alınmıştır.

Numuneler alınırken doğrusal kesme deneylerini rahatlıkla yapabilecek boyutta iri bloklar bulunamamış; bu nedenle küçük boyutta birkaç numune alınmış ve numunelerin düz bir yüzeye sahip olmasına, az süreksizlik içermesine, taşınabilmesini kolaylaştırmak için hafif ve küçük, fakat tüm deneyleri yapabilecek kadar büyük ve özellikle bulunduğu yeri temsil edecek bir numune olmasına özen gösterilmiştir (Şekil 4.15).

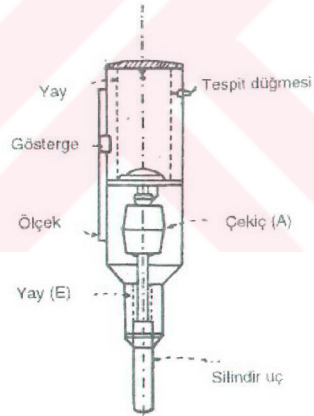
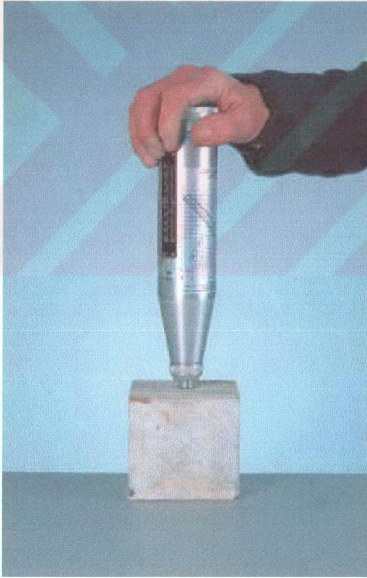


Şekil 4.15 Rıfat ocağı roş 1 numune resimleri

4.1.10 Yerinde yapılan deneyler

4.1.10.1 Schmidt Çekici deneyleri

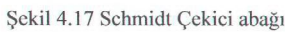
Schmidt Çekici kayaçların ve betonların kalitesini test etmek için kullanılan bir test aletidir (Şekil 4.16). Kurulu bir yay vasıtası ile metalik bir parçanın test edilecek yüzeye vurması ve bunun zıplama mesafesinin ölçülmesi esasına dayanır. Taşınabilir olması ve deneyin kolay yapılabilmesi birçok araştırmacı tarafından kullanılmasını sağlamıştır [98]. Bu test cihazı başlangıçta beton blokların yerinde dayanımlarının ölçülmesi için geliştirilmiş ise de sonraları kayaçların ve kömür damarlarının dayanımlarının ölçülmesi için de kullanılmıştır. Tahmin edileceği gibi jeolojik süreksizliklerin mevcut olduğu durumlarda kayaçların basınç dayanımının Schmidt Çekici değerlerinden hesaplanması doğru neticeler vermemektedir. Buna rağmen deney sonuçlarının kütlede mevcut süreksizlikleri ve basınç dayanımını beraber yansıtmaması, yerindeki dayanım sınıflamasında önemli bir faktör olmaktadır.



Şekil 4.16 Schmidt Çekici ve kesiti

Darbe enerjisinin büyüklüğüne göre değişik tip Schmidt Çekici modelleri vardır. Bunlardan en çok kullanılanı L ve N tipi çekiçlerdir. Birçok araştırmacı

Literatürde farklı şekilde Schmidt Çekici kaydetme teknikleri vardır. Ayday ve Gökten en yaygın olarak uygulanan üç metodu karşılaştırmış (Hucka, Pool ve Farmer, ISRM metodu) ve ISRM'nin tavsiye ettiği metodun diğerlerinden farklı olduğu sonucuna varmıştır [101].



98

özelliklerinin belirlenmesi [102], tahkimat kontrolü [103], kollu makine ve TBM performans tahmini [104] ve delici makine ilerleme hızı [105-107] gibi uygulamalar vardır [108].

Schmidt Çekici, kayacın yüzey sertliğini tespit etmeye yarayan bir test aletidir. Yüzey sertliğinden yola çıkarak ampirik grafikler (Şekil 4.17) veya bağıntılar yardımıyla kayacın basınç dayanımı bulunabilmektedir. Yatay olmayan okumalar için düzeltmeler yapılır. Kayacın plastisite değeri bu ortalama ile 1. değer arasındaki yüzde farktır [7, 99]. Bu çalışmada, sertlik değeri olarak ilk beş değer atılmış ve son 10-15 değerın ortalaması alınmıştır.

Tablo 4.8 Schmidt Çekici deneyi yapılan yerler ve ölçülen değerler

Okuma Sayısı	Okuma Değerleri													
Deneyler	Banu Ocağı									Rıfat Ocağı				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	29	38	22	38	42	30	53	48	53	51	21	51	24	36
2	32	41	32	46	50	39	52	56	52	51	25	48	22	46
3	32	42	40	42	48	39	54	54	56	54	27	50	28	47
4	33	42	52	42	46	42	53	57	58	57	27	47	32	48
5	35	38	51	45	46	40	54	54	58	57	27	54	31	45
6	35	36	54	44	46	38	55	56	58	57	27	52	36	45
7	36	38	51	42	46	35	51	57	58	55	27	50	38	48
8	38	34	52	46	47	38	50	57	50	56	28	52	38	42
9	34	34	53	40	46	41	54	60	52	50	28	52	36	47
10	28	34	55	45	48	41	51	60	52	53	28	54	38	49
11	36	38	54	45	48	43	52	60	54	54	28	54	36	50
12	36	38	52	45	48	44	51	56	46	57	28	54	39	50
13	36	40	54	30	48	43	55	60	42	58	27	52	38	48
14	37	39	54	39	44	42	50	59	44	55	27	56	38	46
15	36	38	54	43	44	42	52	61	52	46	27	54	32	48
16	37	40	53	42	43	44	52	59	53	54	28	51	38	45
17	34	39	46	44	44	40	50	57	51	55	27	52	37	43
18	35	42	48	46	45	36	48	58	52	56	28	52	38	44
19	35	44	54	48	46	29	52	60	56	57	28	52	38	42
20		44	53	42	45	35	52	60	53	56	27	50	38	-
Ortalama	35	39	52	43	46	39	52	59	52	55	28	52	37	46
Plastisite%	17	3	58	12	9	23	0	19	0	7	25	2	35	23

Tablo 4.8’de Banu ve Rıfat kuyusunda yapılan L tipi Schmidt Çekici deneylerinin sonuçları görülmektedir. Bu tabloda yeralan A–N arasındaki harfler deneylerin yapıldığı yerleri ifade etmektedir.

A) Banu kuyusunun batı tarafında 117.5 m derinlikte, rampa hazırlığı yapılan galerideki bir noktadan, taban taşında, yatay alınan Schmidt Çekici değerleri.

B) Banu kuyusunda 117.5 m derinlikte, cevhere 6 m yakınlıkta bir noktada, taban taşında, yatay alınan Schimdt Çekici değeri.

C) Banu kuyusunda 117.5 m derinlikte, fabrikalık (düşük tenörlü) cevher üzerinde, anayolun cevheri kestiği bir noktada, yatay alınan Schimdt Çekici değeri.

D) Banu kuyusunda 117.5 m derinlikte, tüvenan 2 cevher aynası üzerinde çatlaklı yapıya noktada, yatay alınan Schimdt Çekici değeri. (“N3: numune 3 alındığı yer”).

E) Banu kuyusunda -135 m derinlikte, anayol üzerinde bir noktada, yatay alınan Schimdt Çekici değeri.

F) Banu kuyusunda -135 m derinlikte, sağ anayol aynası üzerinde fabrikalık cevher içinde bir noktada, yatay alınan Schimdt Çekici değeri. Tabakalanma ve çatlaklar belirgin, su geliri var.

G) Banu kuyusunda -135 m derinlikte, rampa üzerinde tabantası içinde bir noktada, yatay alınan Schimdt Çekici değeri. Az çatlaklı kayaç.

H) Banu kuyusunda -160m derinlikte, kuyu ile cevher zonu ortası anayolda taban taşı içinde bir noktada, yatay alınan Schimdt Çekici değeri, çok kırıklı ve çatlaklı kayaç.

I) Banu kuyusunda -180 m derinlikte, tavan taşında bir noktada, yatay alınan Schimdt Çekici değeri. Çok kırıklı ve çatlaklı, faylı kayaç

Banu ocağında, tüvenan 1 aynası çok aşırı kırıklı-çatlaklı ve zayıf olması nedeniyle, Schimdt Çekici deneyi yapılamamıştır.

J) Rıfat kuyusunda -272.5 m derinlikte, diyabaz daykı fereden sürülen rekupun aynasında, yatay alınan Schimdt Çekici değeri. Yer yer kalsit dolgulu kayaç.

K) Rıfat kuyusunda -272.5 m derinlikte, tüvenan 1 alınan cevher aynası 2. fere sağ 1. dilimden alınan, yatay Schimdt Çekici değeri. “N1’in alındığı yer, Roş1”

L) Rıfat kuyusunda -272.5 m derinlikte, 1. fere sol anayolda harsburjitten alınan, yatay Schimdt Çekici değeri.

M) Rıfat kuyusunda -297.5 m derinlikte, tüvenan 1 alınan 1. fere sol rekup aynasında, yatay alınan Schimdt Çekici değeri.

N) Rıfat kuyusunda -285 m derinlikte, kuyu cevher arası tahkimatsız bölgede anayolun tam orta kısmında, yatay alınan Schimdt Çekici değeri.

İşletmede bir müdür maden mühendisi, bir yeraltı vardiya maden mühendisi ve şirket bünyesinde yetişen makina, elektrik, maden teknikerleri görev yapmaktadır. Tüm işletmede 3 vardiya çalışan yeraltı işçi sayısı yaklaşık 100 kişi iken yerüstünde çalışan işçi sayısı 86'dır.

Tablo 4.9 Kavak yeraltı krom madeni yıllara göre tüvenan kromit üretimi

Yıllar	Üretim (ton)
1990	81.000
1991	80.000
1992	110.000
1993	44.000
1994	66.000
1995	87.000
1996	81.000
1997	75.000
1998	73.000
1999	57.000
TOPLAM	754.000

İşletmede 1 lastikli yükleyici, bir paletli yükleyici, bir kamyon vardır. Bununla beraber marangoz, tamir bakım atölyeleri de bulunmaktadır.

İşletme günde 3 vardiyada sürekli çalışacak şekilde planlanmıştır:

- 1.vardiya işe geliş 08:00 işten çıkış 16:00
- 2.vardiya işe geliş 16:00 işten çıkış 24:00
- 3.vardiya işe geliş 24:00 işten çıkış 08:00

4.2.3 Ocağın jeolojisi

Cevher yatağının deniz seviyesinden yüksekliği 752 m'dir. Cevherleşme Serpantinit içerisinde oluşmuştur. Bu kayaların genel ismi Peridotitler'dir. Sekonder filon tipli bir yataklanma mevcuttur. Bununla beraber arazide yer yer manyezit mostraları da göze çarpmaktadır. Ortamda faylanma, kırılanma ve süreksizlikler fazladır. Ocakta açılan hazırlık galerileri ve rampalar serpantinitli zonlarda sürülmektedir. Rampalar bir kattan diğerine ulaşırken cevherin taban taşında % 15 eğimle döne döne kazılmaktadır. Cevherin dalımı 50-55°'dir.

Yeraltında cevher yatağının tesbiti için sondajlar yapılmaktadır. Ancak madende herhangi bir kaya kalitesi çalışması yapılmamıştır. Sondajlar sadece cevherin devamlı olup olmadığını anlamak için yapılmaktadır.

4.2.4 Üretim yöntemi [110]

Yeraltı maden ocağında üretim faaliyetleri; mevcut ana istihraç kuyusundan itibaren 30 m kot farkı ile, cevher yatağının doğrultusuna dik ve paralel olarak oluşturulan ana nakliye yolları ile, bu ana yolları birbirine bağlayan cevherleşmenin eğiminde taban taşından çıkan başyukarıdan sağlanmaktadır.

Maden ocağı dikey olarak (aşağıya doğru) 30'ar m'lik ana katlara (üretim panolarına) ayrılmış bulunmaktadır. Bu panolarda 2,5 m'lik katlar halinde "suni tavanlı, yatay dilimli dolgulu, aşağı doğru ilerletimli" yöntem ile cevher üretimi yapılmaktadır.

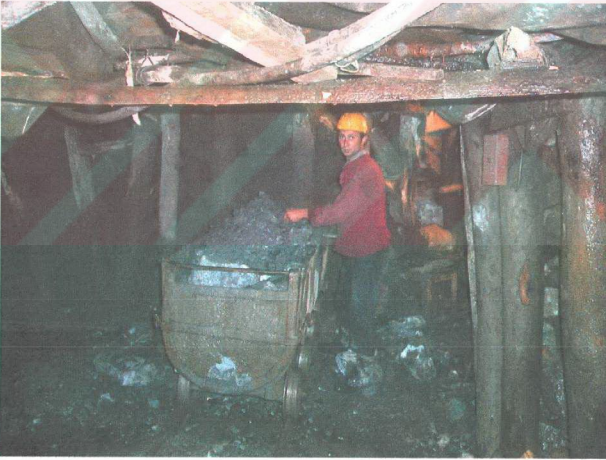
Daha önce üretim aşağıdan yukarıya yapılmaktaydı. Ancak bu sistemde cevher dolguya karışarak % 10-15 kayba sebep oluyordu. Bu sistem değiştirilerek mevcut sisteme geçilmiştir.

Ana yollardan dik galeriler sürülüp cevhere girilince, öncelikle cevherin karşı kontağı bulunmaktadır. Sonra, sağa sola 2,5 × 2,8 m kesitinde, cevher içinde yatay galeriler sürülmektedir. Cevher içerisinde kazılan bu sağ ve sol galerinin yanlarında kalan cevherlerde balık kılıcı gibi geriye doğru kazılmaktadır. Kazılan yerin altı bir alt katın suni tavanını oluşturmak için sololar (ağaç direkler) ile döşenmekte ve üzerine dolgu yapılmaktadır. Taban dolgusu loderlerle yapılırken tavanda boş kalan yerler el ile doldurulmaktadır.

Üretimde yapılan işleri de şöyle sıralamak mümkündür: Öncelikle basınçlı hava ile çalışan tabancalar ile delik delinir. Yerine göre, jelatinit kullanılarak adi kapsül ve barutlu fitil ile patlatılır. Delme patlatma delikleri yarıya kadar patlayıcı madde, yarıya kadar sıkılama ile doldurulmaktadır. Gevşeyen cevher LHD loderler (Şekil 4.19) ile ferelere boşaltılmakta buradan taban yolundaki vagonlara yüklenmektedir (Şekil 4.20). Bu vagonlar 510 kotunda (-242 m derinlikte) tesis edilmiş bant konveyörlere boşaltılmakta, kazılmış cevher buradan aynı kottaki siloya gönderilmektedir. Silodaki cevher çeneli kırıcı ile 15-20 cm altına kırılmaktadır. Daha sonra 6 t kapasiteli skip nakliyatı ile yeryüzüne çıkarılmaktadır (Şekil 4.21).



Şekil 4.19 Cevher yüklemede kullanılan loderler



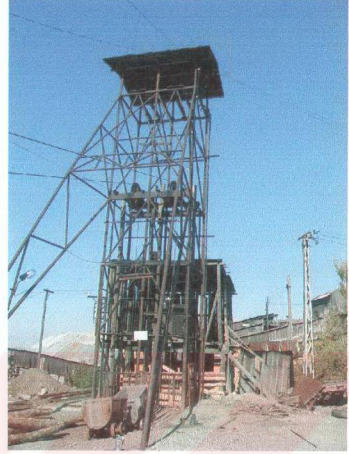
Şekil 4.20. Loderlerle cevher yüklenmiş vagonlar

Kotu 721 m olan Çamaşırlık kuyusundan 510 kotuna (-211 m derinlik) bir ana kuyu inmekte (Şekil 4.22), eğimli olan cevher yatağına yaklaşmak amacıyla, buradan ikinci bir dahili kuyu ile 392 kotuna (-329 m derinlik) inilmektedir (Şekil 4.23). 392 kotundan 385 kotuna (-336 m derinlik) da desandre ile inilmektedir. Ana istihraç

kuyusu daire kesitlidir ve $4,5 \text{ m}^2$ alanlı bir kuyudur. Açılan dahili kuyular ise dikdörtgen şeklinde $4,5 \times 1,5 \text{ m}$ boyutlarına sahip kuyulardır.



Şekil 4.21 Skip nakliyatı yakından görünüş



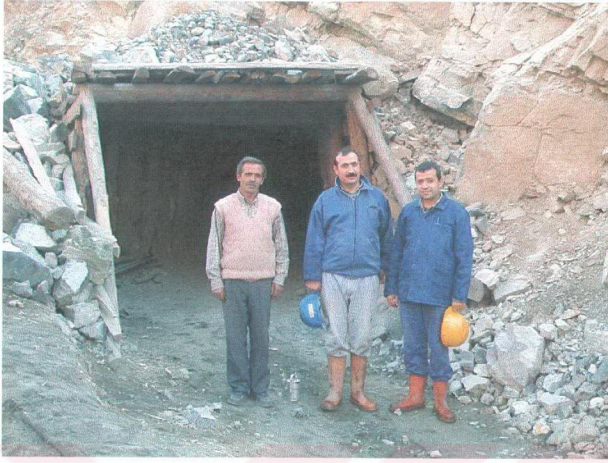
Şekil 4.22 Çamaşırılık kuyusu



Şekil 4.23 Yeraltındaki dahili kuyu vinci

Ocakta katlar arası mesafe 30 m olarak planlanmıştır. Cevherin boyutlarına göre bu iki kat arasındaki fere sayısı da değişmektedir.

Ana nakliye galerilerinde çelik tahkimat, diğer yerlerde ağaç tahkimat kullanılmaktadır. Bununla beraber kendi kendini tutabilen yerler de açık olarak bırakılmaktadır.



Şekil 4.24 Desandre ile Erenler Ocağı'na giriş.

Erenler bölgesinde herhangi bir kuyu yoktur. Ocağın yataklanması araziye uygun olduğu için desandre ile cevhere ulaşılmıştır (Şekil 4.24). Bu ocakta hazırlık ve kazı Çamaşırlık ocağındaki ile aynıdır. Sadece nakliyat farklıdır. Loder aynadan aldığı malzemeyi desandriden yeryüzüne kadar çıkarmakta, buradan kamyonlara yüklenerek konsantratöre gönderilmektedir.

Çamaşırlık ocağında kuyu kapasitesi sınırlaması vardır. Çünkü dahili kuyudan sınırlı miktarda nakliyat yapılabilir. Aslında ana kuyu 4-5 misli daha fazla nakliyat yapabilme kapasitesine sahiptir. Dahili kuyu açılmasının sebebi de yatırım dolayısıyla ana kuyudan uzaklaşan cevher zonuna yaklaşmak ve hazırlık galerilerini daha az mesafelerde sürürerek avantaj sağlamaktır. Cevherdeki ve yankayaçtaki normal ilerleme hızı 1,5 m/vardiya'dır. Ancak zemini bozuk yerlerde bu değer yarıya düşmekte, geriye kalan zamanda tahkimat yapılmaktadır. Hiç bir engel olmadığında teorik dahili kuyu kapasitesi 10-15 ton/h'tir. Tek kuyudan ortalama 100 ton/vardiya cevher alınmaktadır.

Kazı ve üretim işinde 2 işçi görev yapmaktadır.

Çamaşırlık ocağında bulunan üç ayrı yatağın kuyuya uzaklıkları "Çamaşırlık 2" 50 m, "Çamaşırlık 3" 70-80 m, "Yeni Cevher" 100 m'dir.

Normal koşullarda delme patlatma işlemi sırasında, bir atımda 60-70 cm ilerleme kaydedilmektedir. 60 cm'lik, 80 cm'lik ve 150 cm'lik tijleri olan ve basınçlı hava ile çalışan delici makinalar kullanılmaktadır. Bir günde 3 atım yapılmaktadır. Bu üç atım sonucunda ayaktan 60 ton kazılmış cevher çıkmaktadır. Tüvenan cevher tenörü % 20-25 Cr₂O₃'tür.

Yeraltında yaklaşık yüz işçi, yerüstünde ise 86 işçi çalışmaktadır. İşletmede halihazırda 8 loder yükleyici vardır. Bunlardan 3'ü Çamaşırık ocağında, 2'si Erenler ocağında kullanılmakta ve diğeri 3'ü de yedekte bekletilmektedir. Loderlerin bum yüksekliğı 1,40 m, yüksekliliğı 1,5 m, eni 1,5 m, boyu ise 5 m'dir. Loderin keçe kapasitesi 1 yd³'tür. Ocağın su geliri 40 m³/saat'tir. Su havuzunda biriktirilen su, kademeli iki pompa ile yeryüzüne çıkarılmaktadır. Ocaktan alınan yıllık 30.000 ton ürünün sadece 500-1000 tonu roş üretimidir. Yani roş üretimi yok denecek kadar azdır.

4.2.5 Cevher hazırlama işlemleri

Çamaşırık yeraltı ocağından skip nakliyatı ile yeryüzüne çıkarılan cevher direkt olarak konsantretöre verilmektedir. Bir siloda toplanan cevher Şekil 4.25'te akım şeması verilen cevher hazırlama tesisine gönderilir.

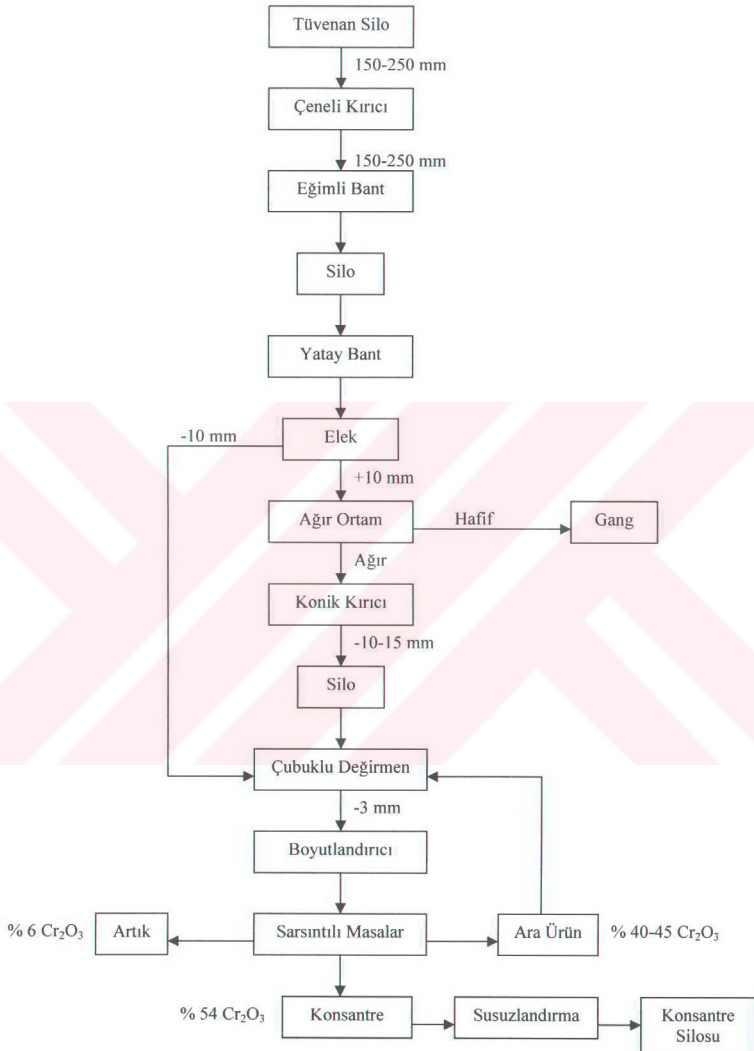
Ocaktan çıkan tüvenan cevher bir çeneli kırıcıya verilmektedir. Burada 150-250 mm altına indirilen cevher bantlarla 10 mm'lik bir eleğe yolları.

Elekten +10 mm ağırortam ayırmasına yollanmakta, -10 mm'de değirmenlere gönderilmektedir. Burada hafif, dolayısı ile gang olan parçalar ağır ortam pülpünün üstünde toplanmakta ve bu kısım artık olarak atılmaktadır.

Ağır ortamın ağırlıktan dolayı alt kısmında kalan kısmı ki bu kromit cevheridir, tane serbestleşmesi sağlamak amacıyla konili bir kırıcıya verilmekte ve boyutları -10 - 15 mm altına indirilmektedir. Konik kırıcıdan çıkan ürün bir siloda biriktirilerek değirmene verilmektedir.

Çubuklu değirmenlerden -3 mm altına indirilen cevher hidrolik boyutlandırıcı siklonlara verilerek sarsıntılı masalara yolları.

Sarsıntılı masalardan % 54 Cr₂O₃ içeren bir konsantre % 6 Cr₂O₃ içeren bir artık ve % 40-45 Cr₂O₃ içeren bir ara ürün elde edilmektedir. Ara ürün, zenginleştirilmek üzere tekrar değirmene yollanmakta, artık ise artık barajına gönderilmektedir.



Şekil 4.25 Kavak kromit madeni konsantratör akım şeması

Elde edilen konsantrenin susuzlandırma bantlarında suyu alınmakta ve kurutma tamburunda kurutulularak konsantre stok sahasına bantlarla gönderilmektedir. Bu konsantre ürünün nemi % 10-15 arasında değişmektedir.

Zenginleştirilen cevher stok sahasından kamyonu yüklenerek, 45 km uzaklıktaki Sazak İlçesi'ne gönderilmekte, Sazak ilçesinden demiryolu ile İzmit Körfezi'ndeki Darıca Deniz gümrüğünden gemi ile yurt dışına yollanmaktadır.

4.2.6 Madenin projeksiyonu

89 adı verilen yeni kuyunun devreye sokulması planlanmaktadır. Böylece malzeme taşınması için harcanan sürede de cevher nakli yapılarak kuyu verimi artırılacaktır.

4.2.7 Maliyetler, malzeme tüketimi

İşletmenin 22 milyar/ay sabit giderleri vardır (2000 yılı fiyatları ile). Buna karşılık işçilik randımanı 1 ton-tüvenan/yevmiye'dir. Ekonomik olarak satılabilir hale gelmiş kromun satış fiyatı 80 \$/ton civarındadır.

Tablo 4.10 Birim ton başına malzeme giderleri

Tüketim Cinsi	Tüketim Miktarı
Dinamit (kg/ton)	0,150
Kapsül (adet/ ton)	0,610
Fitil (m/ton)	0,750
Çam Maden Direği (m ³ /ton)	0,030
Akaryakıt (lt/ton)	2,1
Sarf malzemesi (TL/ton)	2.000.000

Çıkarılan birim ton tüvenan için son 6 aylık malzeme giderleri de Tablo 4.10'da görülmektedir.

4.2.8 Numune alınması

Cevher içerikli kayaç ve yankayacın kaya mekaniği ve kazı mekaniği parametrelerini tesbit etmek için İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Laboratuvarları'nda deneyler yapmak üzere Kavak Kromit Madeni'nde, ocağı temsil eden çamaşırılık ocağı cevherinden ve yankayacından numuneler alınmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Kavak kromit madeninden alınan cevher numunesi resmi

Numuneler kazıldıkları aynadan alınmış buna göre N1 cevher numunesi -453 kotundaki kazı aynasından; N2 numunesi de -445 kotundaki hazırlık galerisindeki serpantinitle yankayacından alınmıştır.

Numuneler alınırken doğrusal kesme deneylerini rahatlıkla yapabilecek boyutta iri bloklar bulunamamış; bu nedenle küçük boyutta birkaç numune alınmış ve numunelerin düz bir yüzeye sahip olmasına, az süreksizlik içermesine, taşınabilmesini kolaylaştırmak için hafif ve küçük, fakat tüm deneyleri yapabilecek kadar büyük ve özellikle bulunduğu yeri temsil edecek bir numune olmasına özen gösterilmiştir.

4.2.9 Yerde yapılan deneyler

İşletmede L ve N tipi olmak üzere iki Schimdt Çekici ile deneyler yapılmıştır. Tablo 4.11'de Çamaşırılık ve Erenler ocağında yapılan Schimdt Çekici deneylerinin sonuçları görülmektedir. Bu tabloda yeralan A-E arasındaki harfler deneylerin yapıldığı yerleri ifade etmektedir. Bunlar;

- A) Çamaşırılık 3, -445 kotu yakınında, cevherleşmenin taban kontağından hazırlık desandresi aynasında, yatay olarak alınan Schmidt Çekici değeri.
- B) Çamaşırılık 3, -453 kotu yakınında, sol klavuz sağ duvarında, kırıklı çatlaklı yapıya sahip, yatay olarak alınan Schmidt Çekici değeri.
- C) Çamaşırılık 2, -424 kotu çok kırıklı çatlaklı cevher aynasında, yatay olarak alınan Schmidt Çekici değeri.
- D) Çamaşırılık 2, -424 kotu çok kırıklı çatlaklı taban taşında sürülen desandrenin sağ duvarında, yatay olarak alınan Schmidt Çekici değeri.
- E) Erenler,-849 kotu kırıklı çatlaklı bir ortamda merkez ocak giriş desandresindeki yankayaçta, yatay olarak alınan Schmidt Çekici değeri.

Tablo 4.11 L ve N Tipi Schmidt Çekici deneyi yapılan yerler ve ölçülen değerler

Okuma Sayısı	Okuma Değerleri N tipi Schmidt Çekici					Okuma Değerleri L tipi Schmidt Çekici				
	Çamaşırılık Oc.				Erenler Oc.	Çamaşırılık Oc.				Erenler Oc.
Deneyleer	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	46	31	30	47	36	44	19	26	55	55
2	50	18	44	44	46	48	22	41	55	56
3	55	25	46	48	50	56	21	47	43	58
4	55	31	35	46	49	60	34	40	50	60
5	55	42	46	45	48	58	26	38	48	58
6	57	38	40	40	50	58	40	43	48	61
7	58	28	44	40	50	48	40	44	42	56
8	58	34	44	40	50	54	44	42	30	56
9	57	38	42	37	53	60	48	44	47	61
10	56	39	43	41	51	55	46	44	51	56
11	56	44	43	42	52	60	47	44	37	56
12	55	28	36	43	50	52	47	43	44	58
13	58	36	43	40	50	55	45	43	45	60
14	58	41	39	44	48	58	42	42	46	56
15	59	44	39	34	47	54	38	42	47	57
16	59	40	42	42	49	60	40	38	50	60
17	59	44	46	41	49	62	42	42	50	58
18	59	42	42	37	51	60	47	41	48	55
19	59	43	42	36	51	62	43	41	46	55
20	58	49	39	40	48	48	42	40	51	57
Ortalama	58	39	42	40	50	56	43	42	46	58
Plastisite%	21	21	29	0	28	21	56	38	0	5

4.3 Beypazarı Trona Madeni'nde Yapılan Çalışmalar

4.3.1 Madenin yeri

Beypazarı trona faaliyet sahası Ankara'ya 100 km uzaklıkta bulunan Beypazarı ilçesinin 20 km güneyinde, Çakıloba, Zaviye (Bağünü) ve Başören Köyleri arasında yaklaşık 8 km² lik bir alanda yer almaktadır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Beypazarı trona yatakları

4.3.2 İşletmenin tanıtılması

Ankara-Beypazarı doğal soda sahası 1979 yılında MTA Genel Müdürlüğü'nün bölgede yapmış olduğu kömür arama çalışmaları sırasında belirlenmiştir. Bugün için dünyada bilinen doğal soda sahaları içerisinde A.B.D.'de Wyoming doğal soda yatağından sonra ikinci büyük potansiyel olarak varsayılmaktadır. Sahadaki ekonomik soda rezervinin çıkarılması ve işlenerek yurt içi ve yurt dışı pazarlara ticari olarak pazarlamaya yönelik olarak Eti Holding A.Ş., Park Holding A.Ş. ve Bayındır Holding A.Ş. arasında konsorsiyum oluşturulmuştur. Daha sonra Bayındır Holding A.Ş. hisseleri Vakıflar Bankası T.A.O.'na geçmiş ve Eti Soda A.Ş.'nin kuruluş çalışmaları halen bu üç firma arasında devam etmektedir. Halihazırda işletmede herhangi bir cevher üretim faaliyeti yoktur. Ancak üretim yapılacak olan damarlara

ulaşılmış, hazırlık faaliyetleri ve üretim yapmak için gerekli olan fizibilite ve rantabilite çalışmaları sonuçlanma aşamasına gelmiştir.

4.3.3 Ocağın jeolojisi

Beypazarı doğal soda (trona) yatağı, Neojen yaşlı tortul ve volkanik kayalar içerisinde, volkano-sedimanter istifin alt bölümlerinde bitümlü şeyl ve kil taşları ile arıdalanmalı olarak yataklanmıştır. Cevherli alan herhangi bir yüzeylenme göstermemektedir. Beypazarı Neojen havzası içinde yükseltiler 800 m ile 1100 m arasında değişmekte olup genelde yumuşak bir morfoloji söz konusudur. Çalışma alanı civarında bitki örtüsü, vadi içlerindeki ekili tarlalar ve meyve ağaçları dışında yok denecek kadar azdır. Bölgede karasal iklim hakimdir, çalışma alanında aktif bir akarsu yoktur.

Beypazarı doğal soda yatağının oluşması için gerekli olan Na iyonunun kaynağı, tortullarla arıdalan tütfitler ile Beypazarı havzasının kuzeydoğusunda tortullara girik halde bulunan yaygın Neojen volkanik kayalaradır [111]. Doğal soda sahasında yeralan ve Beypazarı Grubu olarak da adlandırılan 7 adet formasyon aşağıdan yukarıya doğru Boyalı, Hırka, Karadoruk, Sariağıl, Çakıloba, Zaviye ve Üçyatak Formasyonlarıdır. Soda lı zonlar bu formasyonlardan Hırka Formasyonu içerisinde yataklanmıştır.

Doğal soda damarı Beypazarı sahasında yaklaşık 8 km²'lik görsel bir havza içerisinde, tabakalı şekilde yataklanmıştır. Sahanın ortasından geçen kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Kanlıceviz fayı ile doğal soda sahası iki sektöre bölünmüştür. Bu sektörlerden doğuda yer alan bölüme Arıseki sektörü, batıda kalan sektöre ise Elmabeli Sektörü adı verilmektedir.

Hırka formasyonu içerisinde yeralan doğal soda yataklanması, alt (L) ve üst (U) olarak kodlanan ve üst zonda 6 damar (U1-U6) ve alt zonda 6 damar (L1-L6) olmak üzere iki doğal soda zonundan meydana gelmektedir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen verilere göre Elmabeli ve Arıseki sektörlerinde yataklanma koşulları ve özellikler, bazı farklılıklar arz etmektedir. Özellikle Arıseki sektöründeki damarların daha kalın olduğu ve damarların Elmabeli Sektörüne göre daha derinde bulunması en belirgin özellik farkıdır. Üst doğal soda zonu, toplam 5-40 m'lik bir kalınlıkta tüm sahayı kaplayacak şekilde yataklanmıştır. Bu zonda soda damarlarının kalınlıkları değişken bir yapı göstermektedir. Ara kesmeler

genellikle bitümlü şeyl ve kilaşlarından meydana gelmektedir. Alt doğal soda zonu kalınlık ve diğer özellikler bakımından üst zona göre daba düzensiz bir yapı göstermektedir. Bu zonda doğal soda damarları düzensiz bir yapı göstermekte olup, ara kesmeler genelde bitümlü şeyller, kilaşları ve siltaşlarından meydana gelmektedir. Üst soda zonu ile alt soda zonunu ayıran ve "Steril Zon" olarak isimlendirilen zonun kalınlığı sahada genellikle 20-25 m arasında (bazı yerlerde 30-35 m) değişmektedir. Yeşil kilaşları ve bitümlü şeyller ve tüfitler de bu zon boyunca belirgin bir şekilde izlenmektedir. Tablo 4.12'de sahadaki damarların sektörler bazında kalınlık değişimleri verilmiştir.

Tablo 4.12 Doğal soda damarlarının sektörler göre kalınlık değişimi [112]

Beypazarı Doğal Soda Sahası Soda Damarları			
Elmabeli Sektörü		Arıseki Sektörü	
Damar	KalınlıkDeğişimi (m)	Damar	Kalınlık Değişimi (m)
U1	0-3	U2	0-7.5
U2	0-2.2	U2	0-7
U3	0-3.5	U3	0-7
U4	0-5.5	U4	0-7
U5	0-3.5	U5	0-3.5
U6	0-2	U6	0-2
STERİL ZON 20-25 m			
L1	0-1.5	L1	0-3
L2	0-2	L2	0-4
L3	0-0.5	L3	0-2
L4	0-4	L4	0-2.5
L5	0-8.5	L5	0-6.5
L6	0-9	L6	0-9

Sahada önceki yıllarda değişik kuruluşlar (MTA, E.İ.E.İ., Etibank, Fizibilite Grubu) tarafından farklı zamanlarda 95 adet rezerv tespit sondajları açılmıştır. Tüm bu çalışmalar ışığında son olarak jeostatistik yöntemler ile Fizibilite Grubu tarafından yapılan işletilebilir rezerv hesabına göre sahada Elmabeli Sektöründe 63 milyon ton, Arıseki sektöründe 124 milyon ton olmak üzere toplam 187 milyon ton işletilebilir doğal soda rezervi belirlenmiştir. Uzunayak yöntemi ile üretim yapılması halinde 2 metrenin üzerinde kalan rezerv miktarı ise Elmabeli Sektöründe 35 milyon ton, Arıseki sektöründe ise 90.5 milyon ton olmak üzere toplam 125.5 milyon ton doğal soda rezervi belirlenmiştir [112].

4.3.4 Sahada yer alan soda damarları ve yan kayaçların jeomekanik özellikleri

Soda damarlarının üzerinde tavan kayacı formunda yer alan genelde açık ve koyu yeşil kilaşı, sodalı, tuf içerikli ve bitüm ara katkılı kayaçların farklı jeomekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir .Bu özellik farkının en önemli nedeni kayaçlardaki kil, dolomit, bitüm, tuf ve soda içeriklerine ve ardalanma sıklığına bağlanmıştır.

Saha genelinde doğal soda 0.2 m ile 9 m'ye ulaşan tabakalar içerisinde bazı seviyelerde masif, bazı seviyelerde ise kil, tuf ve dolomit ile bir arada yataklanmıştır. Soda damarları arasında litolojik farklılıklar vardır ve lamine ve çatlaklardaki kil varlığı ve çatlak yapılarının varlığı soda damarlarının çok değişik dayanım özellikleri göstermesine neden olmaktadır. Üst zonda yer alan U4, U5 ve U6 kodlu damarlarda etkin soda minerali trona olup benzer tekno mekanik ve mineralojik özellikler göstermektedir.

Soda damarları arasında kalan genelde sodalı, bitümlü şeyl niteliğindeki kayaçlarda da jeomekanik özellikler değişkenlik göstermektedir. Ara kesme olarak damarlar arasında yer alan killi kayaçlarda etkin kil mineralleri montmorillonit olup az miktarda illit de eşlik etmektedir. Bunlardan montmorillonitli kil ve kilaşları, şişme özelliğine sahiptir. Kil ardalı ve konsolide kil veya kilaşı formundaki ara kesmelerde serbest şişme özelliklerinin önceki çalışmalara göre % 4 ila % 18 oranında deformasyonların olduğu, şişme özelliğine sahip kil ve kilaşlarında basınç altında şişme katsayısının % 7 civarında olduğu görülmektedir [113]. Bu tip formasyonlarda stabilite problemleri yaşanmaması için etkin tahkimat yöntemleri kullanılması gerekmektedir.

4.3.5 Beypazarı doğal soda sahasının maden işletmeciliği açısından değerlendirilmesi

Ankara-Beypazarı doğal soda sahasının yataklanma ve yapısal özellikleri ve içerdiği kayaç özellikleri dikkate alındığında maden işletmeciliği bakımından aşağıdaki maddeler halinde verilen hususların önemli olduğu düşünülmektedir;

- Sodalı zonların üzerindeki konsolide kilaşı formasyonunun üzerinde bulunan akiferdeki suların işletme sırasında sodalı zonlara ulaşması önlenmelidir. Bu nedenle yeraltı suyu dinamiği çok iyi modellenmelidir. Yeraltı suyunun yeraltı akış ve alt kotlara sirkülasyonunun çatlak sistemleri ile direkt

bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Üretime yönelik pano dizaynlarında eklem ve çatlak doğrultularına dik veya 90°'ye mümkün olduğunca yakın açılarla planlama yapılmasının uygun olacağı önerilmektedir. Ayrıca, sahada susuzlandırma çalışmaları ve yeraltı suyu besleme kaynaklarının mümkün olduğunca azaltılması, ve üretim yöntemlerinin belirlenmesinde rambleli yöntemlerin teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi önem arz etmektedir.

- Sodalı zonda yer alan soda damarları ve yan kayaçlarının jeomekanik dayanım parametreleri çok değişkenlik gösterdiğinden, üretime yönelik makine-tehizat seçimlerinde en kötü koşulların dikkate alınarak seçimlerin optimize edilmesinde yarar görülmektedir.
- Sahada yer alan soda damarları ve yan kayaçların akma (creep) özellikleri dikkate alınarak üretim hızı, boyutları ve yöntem seçimi gibi konularda çalışma yapılması zorunluluğu bulunmaktadır.
- Üretim yöntemi olarak olası üretim yöntemleri olarak belirlenmiş olan oda-topuk yöntemi, çözelti madenciliği ve uzun ayak madencilik yöntemleri arasında, saha özellikleri dikkate alındığında, kayaçların akma özelliklerinin zayıf olması nedeniyle ve çok fazla cevher kaybı olacağı için, uzun ayak yöntemi ve yerinde çözelti madencilik yöntemi daha ön plana çıkan yöntemlerdir. Ancak eğer uzun ayak üretim yöntemi seçilmesi durumunda ayak boyu uzunluğunun 70 metreyi geçmemesi ve ayak ilerleme hızının mümkün olduğunca yüksek seçilmesi önerilir [83].

4.3.6 Üretim yöntemi

İşletmede hali hazırda bir üretim faaliyeti yoktur, ancak makine ile cevher kazısı düşünülmektedir. Cevhere ulaşmak için sürülen galeriler kollu makinelerle açılmıştır. Bununla beraber üretim yöntemi seçiminde yarar sağlayacağı düşünüldükçe, trona cevher kayasının kesilebilirlik ve mekanik özellikleri hakkında ayrıntılı bir rapor sunulmuştur.

4.3.7 Numune alınması ve yerinde yapılan deneyler

Trona cevheri dünyada birkaç ülkede yüksek rezerve ve kaliteye sahip olduğu ve sıkı rekabet koşulları arzettiğinden numune alma ve yerini tesbit etme konusundaki tercihler işletme yetkilileri tarafından yapılmış; bunun yanında cevherin alındığı yer

ve tenörü ya da daha başka özellikleri hakkında bilgilere ulaşılamamıştır. Bu nedenle işletmede yerinde yapılması gereken Schmidt Çekici deneyleri laboratuvara gönderilen numuneler üzerinde yapılmıştır. Tablo 4.13'te U4 trona cevher kayacı üzerinde yapılan Schmidt Çekici deney sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.13 Trona cevher kayacı L tipi Schmidt Çekici deney sonuçları

1.nokta				2.nokta			
Vuruş sayısı	Okunan değer	Vuruş sayısı	Okunan değer	Vuruş sayısı	Okunan değer	Vuruş sayısı	Okunan değer
1	36	11	40	1	36	11	44
2	38	12	38	2	38	12	38
3	38	13	36	3	38	13	34
4	36	14	30	4	32	14	36
5	34	15	33	5	36	15	37
6	38	16	34	6	34	16	34
7	34	17	40	7	38	17	35
8	34	18	38	8	34	18	38
9	36	19	39	9	40	19	28
10	39	20	40	10	42	20	34
Ortalama	39			39			39
Plastisite%	15						18

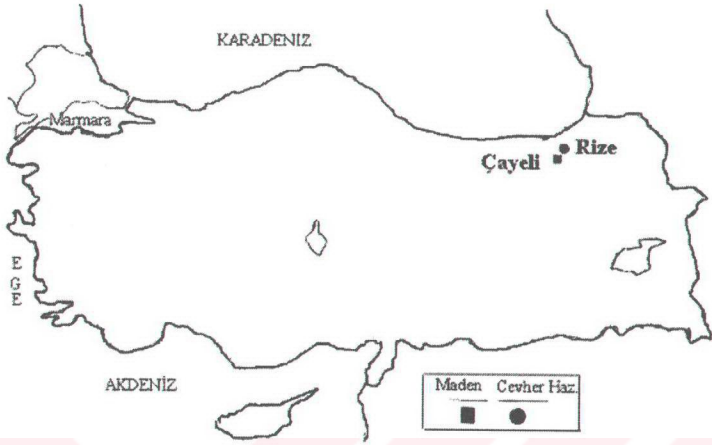
4.4 Çayeli Bakır Madeni'nde Yapılan Çalışmalar [114]

4.4.1 Madenin yeri

Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş., Rize ilinin Çayeli ilçesi, Madenli Belde'sinde faaliyetlerini sürdüren bir yeraltı bakır ve çinko madenidir (Şekil 4.28).

4.4.2 İşletmenin tanıtılması

İşletmenin ortakları, bir Kanada firması olan Inmet (% 48), Etibank (% 45), Metallgesellschaft (Almanya) (% 1) ve Gama (% 6) dır. Maden ilk olarak 1930 ve 1955 yılları arasında Ruslar tarafından işletilmiştir. Geliştirme çalışmalarına ise 1967 yılında MTA tarafından devam edilmiştir. Bugünkü işletmeye temel olacak çalışmalar ise 1982 yılında Phelps Dodge Corporation tarafından başlatılmıştır.



Şekil 4.28 Çayeli bakır madeni yerbulduru haritası

İşletmede yılda 750.000 ton cevher üretilmektedir. Yeryaltında 6x6 m boyutlarında olan ana rampayla ulaşılmaktadır. İşletmede ayrıca yeni inşa edilen 1 milyon ton kapasiteli bir kuyu vardır.

4.4.3 Ocağın jeolojisi

Maden yatağı Kuroko tip volkanik masif sülfür oluşumu şeklindedir. Cevherleşme Makedonya-Balkanlar'dan gelerek Istranca'dan sonra Karadeniz'den geçerek Sinop yakınlarından itibaren Doğu Karadeniz boyunca devam eden, Kafkaslar ve İran üzerinden Himalayalara doğru uzanan kuşak içinde oluşmuştur. Cevherleşmenin olduğu Doğu Karadeniz Pontid kuşağı üç ana kısımdan oluşmaktadır.

1. Prekambrien – Paleozoik kristalin kompleksi,
2. Jürasik-Pliosen volkanik sedimanter seriler,
3. Kretase ve Oligosen yaşlı granitik-granadioritik kompleks,

Çayeli'deki cevherleşme ise alt asidik ve üst bazik serilerin kontağında meydana gelmiştir ve üst üste gelmiş iki mercek şeklindedir.

Yatağın boyutları 450 x 400 x 80 m civarındadır. % 4,4 bakır ve % 6,2 çinko temel alındığında rezervin 12,7 milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Cevherleşme litolojik olarak sarı ve siyah cevher olarak ikiye ayrılmaktadır.

4.4.4 Üretim yöntemi

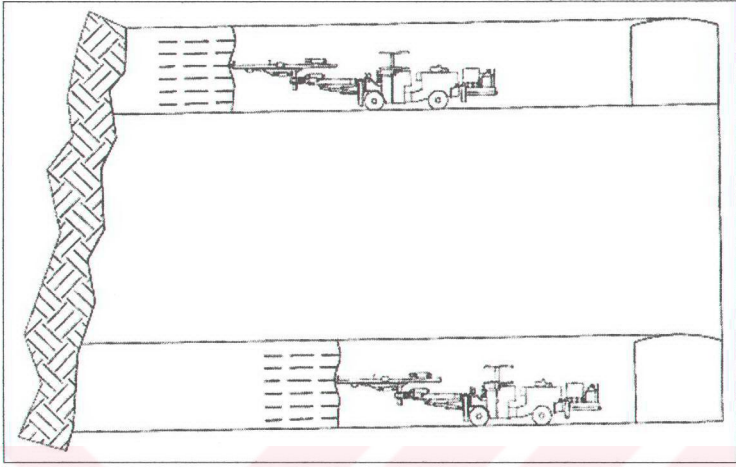
Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.'de mekanize dolgulu arakatlı kazı yöntemi kullanılmaktadır. Ana rampa genellikle bazalttan oluşan tavan taşında sürülmüştür. Rampadan ayrılan her kat, rekuplarla cevheri batıdan doğuya doğru kesmektedir.



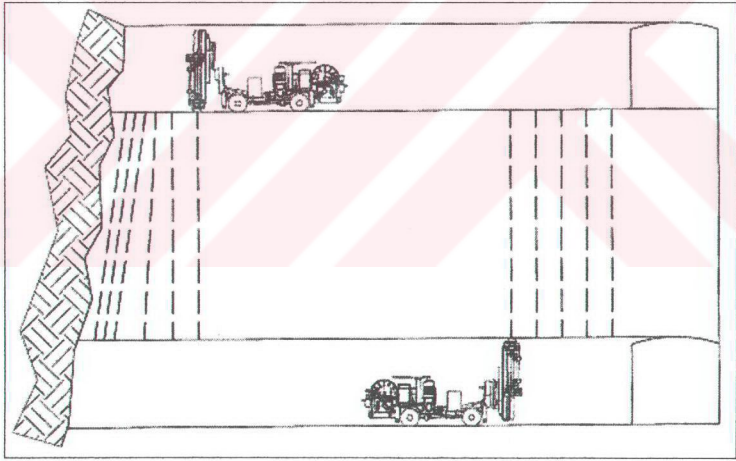
Şekil 4.29 Çayeli bakır işletmesi üretim plan görünümü

Cevher içerisinde sürülen katlar 1080 kotunda başlamakta ve 20 m aralıklarla 900 kotuna kadar inmektedir. Rekuplar cevheri ortadan ikiye ayırarak tabanlarında durmaktadır. Rekuplardan sağa (güney) ve sola (kuzey) lağımlar sürülmüştür. Bu lağımlara dik yönde 7 m genişliğinde galeriler sürülmekte ve arada da 7 m'lik topuklar bırakılmaktadır (Şekil 4. 29). Üretim ise patlatmayla geri dönümlü olarak yapılmaktadır.

Şekil 4.30'da görüldüğü gibi her katta delicilerle delik delinir ve patlatılarak kayaç gevşetilip kazılır. Kat kazısı bittikten sonra Şekil 4.31'de görüldüğü gibi katlar arasında delikler delinmekte, patlatılmakta ve geriye dönümlü olarak geçertilmektedir. Açılan boşluk daha sonra doldurulmakta, bırakılan 7 m'lik topuklar da sonradan alınmaktadır [115].



Şekil 4.30 Katlar içinde üretim



Şekil 4.31 Katlar arası üretim

4.4.5 Cevher hazırlama işlemleri

Çayeli Bakır İşletmesi'nde bakır ve çinko konsantreleri seçimli flotasyon yöntemi ile üretilmektedir. Zenginleştirme işlemi akım şemasına göre cevher, kırma ve öğütmeyi izleyerek kıvam tankına alınır, önce bakır sonra da çinko flotasyon devrelerinde

yüzdürülür. Konsantreler tikinerlerle çöktürülür ve basınçlı filtrelerle susuzlandırılarak nihai ürün elde edilir. Konsantrasyon atıkları genelde piritli atıklardan ve diğer gang minerallerinden oluşmaktadır. Tüm atıklar sahadan itibaren borularla Karadeniz'in 3 km açığındaki ve 380 m derinliğindeki oksijensiz ortamına derin deniz desarj yöntemi ile depolanmaktadır. Tesis verimi % 88-90 arasında değişmektedir [92]. Kurulu cevher zenginleştirme tesislerinde ortalama 800 000 ton/yıl tüvenan cevher işleyerek 150 000 ton/yıl % 22-24 Cu tenörlü bakır konsantresi üretmekte ve serbest piyasa şartlarında pazarlamaktadır [91].

4.4.6. Numune alınması

İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Laboratuvarları'nda deneyler yapmak üzere cevher içerikli kayacın kaya mekaniği ve kazı mekaniği parametrelerini tespit etmek için araştırmaya ekibi tarafından numuneler alınmıştır.

5 ELE ALINAN MADENLER İÇİN YAPILAN LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, kullanılan alet ve ekipmanların özellikleri ve ölçme sistemleri hakkında bilgi verilecek ve bu deney aletleri ile yapılan deneylerden elde edilen veriler irdelenecektir. Deneyler ASTM standartlarına göre yapılmıştır.

5.1 Laboratuvarda Kullanılan Alet ve Ekipmanların Tanımı ve Özellikleri

5.1.1 Kaya mekaniği test ekipmanları

- Basınç ve çekme dayanımları tespiti için ELE 3000 test cihazı

İlgili kayaçların basınç ve çekme dayanımlarını tespit etmek için toplam 300 ton yükleme kapasiteli, küresel merkezlendiricili bir plakaya sahip, ELE 3000, elektro-hidrolik test makinası kullanılmıştır (Şekil 5.1).



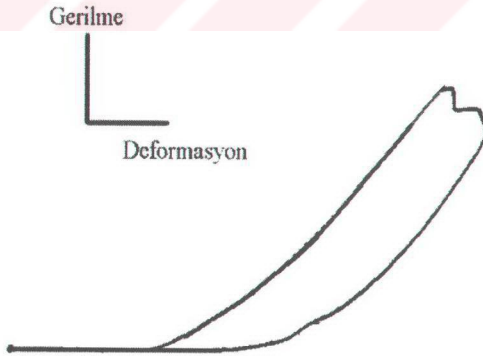
Şekil 5.1 ELE 3000 Elektro-hidrolik test makinesi, yük hücresi ve LVDT-yazıcı

Sıkıştırma plakalarının çapı 310 mm ve plakalar arası en fazla yükseklik 378 mm'dir. Test cihazı kayacın basınç dayanımını test etmek için 55 mm çapında ve 110 mm

boyunda (NX), çekme dayanımını tespit etmek için ise 55 mm çap ve boyunda silindirik numunelere uygulanmıştır. Bu deney aletinde yükleme hızı kontrol edilebilmekte ve kayacın kırılma yükü kaydedilip digital olarak gösterilebilmektedir. Bu deney basınç ve çekme dayanımı tespitinde ISRM'nin tavsiye ettiği bir metottur.

- Statik Elastisite modülü için LVDT ve Yazıcı

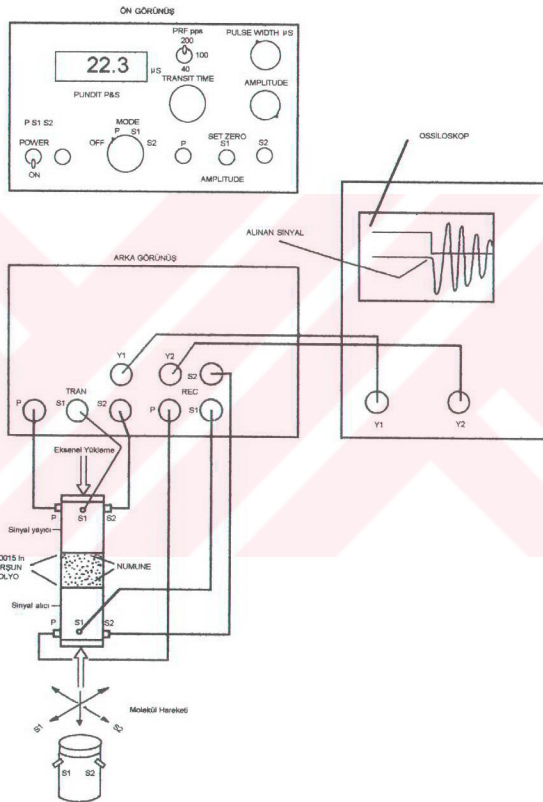
Statik elastisite modülü, ELE 3000 test aletine test edilmek üzere yerleştirilmiş bir NX numunenin üzerine konulan yük hücresiyle beraber yüklenmesi ve kırılma anındaki düşey (gerilme) ve yatay (deformasyon) yerdeğiştirmenin bir milimetrik kağıda yazıcı vasıtası ile kaydedilmesi sonucu oluşan gerilme-deformasyon grafiğinin yorumlanması ile bulunur (Şekil5.2). Bu işlem sırasında numune üzerinde oluşan oldukça küçük boy kısalmaları (VL), 10 mm stroklu “doğrusal değişkenli veri iletici (LVDT)” ile yazıcıya iletilir. Bu 10 mm’lik strokun tamamı milimetrik kağıt üzerinde 184 mm’lik yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelmektedir. Statik Elastisite modülü (MPa), yükleme sırasında karot numunenin dayanımının aşılp kırıldığı andaki oluşan maksimum gerilmenin (σ_{max}), bu yükleme sonucunda karot numune de oluşan birim deformasyona (ϵ) ($\epsilon=VL/L$ karottaki toplam boy kısalması) oranı olarak tanımlanır. Bu deneylerde gerçek zamanlı olarak elde edilen yük-birim deformasyon grafiğinden ASTM D-3148 standartlarına uygun olacak şekilde “ortalama elastisite modülü” hesaplanmıştır.



Şekil 5.2 Statik elastisite modülü gerilme-deformasyon grafiği

- Dinamik modül için Pundit Test cihazı [116]

P ve S dalgalarının ölçümünde laboratuvar ölçeğinde, kayaçlar için geliştirilmiş dijital göstergeli C.N.S. Elektronik Şirketi (London, U.K.) tarafından üretilen PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) deney aleti kullanılmıştır [117]. Deneylerde sinyalleri görmek için çift kanallı dijital bir osiloskoptan yararlanılmaktadır.



Şekil 5.3 Pundit deney setinin tanıtılması ve bağlantı düzeneği

P, S₁ ve S₂ dalgaları; maden yataklarının aranmasında, madencilik faaliyetlerinde, ön araştırmalarda, kayaç dinamik elastisite modülünün belirlenmesinde

kullanılmaktadır. Yeralında çeşitli amaçlar için yayılan sismik dalgalar boyuna ve enine dalgalar olmak üzere ikiye ayrılır. Boyuna dalgalar P dalgası olarak bilinirler. Enine dalgalar S şeklinde ifade edilirler. S dalgalarının yayınımlında enine olan parçacık salınımı yatay düzlem üzerinde ise dalga SH adını alır, eğer parçacık hareketleri düşey düzlem üzerinde kalıyorsa SV dalgası olarak adlandırılırlar. Dinamik elastik modülü tespiti için yapılan bu deneylerde NX karot numuneleri (55 mm çapında 110 mm boyunda) karot numuneler kullanılmaktadır.

Deneylerde P ve S dalgalarını ölçmek için kullanılan sistemin blok diyagramı Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Deneye tabi tutulan numuneler sinyal üreten alıcı ve vericinin arasına konulur. Kayaç ile sinyal üreticisinin arasına kurşun folyo yerleştirilerek temas yüzeyinin daha sağlam olması sağlanır. BNC soketlere şekilde gösterilen kablolar bağlanır. Hazırlanan bu set eksenel yükü sabit verebilen bir presin arasına konularak 200 kg'lık sabit yükü yüklenir. Çıkan sinyaller iki kanallı osiloskop yardımı ile görülebilmektedir.

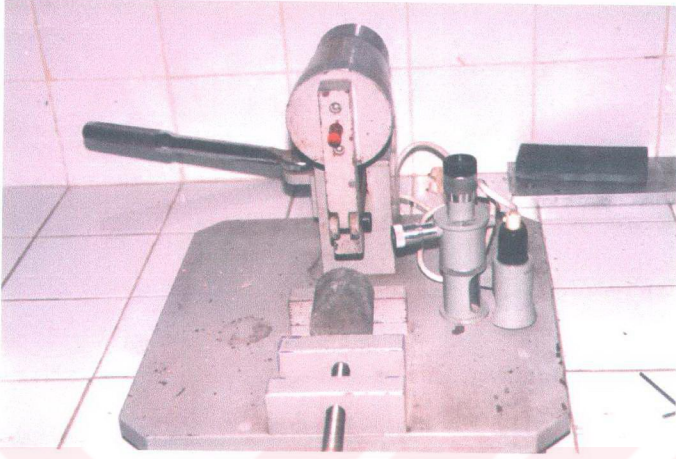
- Cerchar aşındırıcılık deney düzeneği [7]

Kayaç ve cevher numunelerinin aşındırıcılığının belirlenmesi için "Cerchar aşındırıcılık testi" kullanılmaktadır. Atkinson ve arkadaşları 1986 da Cerchar indeksini ele alarak kayaçları aşındırıcılıklarına göre sınıflandırmışlardır (Tablo 5.1) [118].

Tablo 5.1 Kayaçların Cerchar aşınma indeksine göre sınıflandırması

Sınıflandırma	Cerchar İndeks Değeri	Kayaç Tipi
Son derece aşındırıcı	> 4,5	Hornblent gnays, pegmatit, granit
Oldukça aşındırıcı	4,25 - 4,5	Amfibolit, granit
Aşındırıcı	4,0 - 4,21	Granit, gnays, kumtaşı
Kısmen aşındırıcı	3,5 - 4,0	Kumtaşı, silttaşı
Orta seviyede aşındırıcı	2,5 - 3,5	Dolorit, gnays
Düşük aşındırıcı	1,25 - 2,5	Portland kumtaşı
Çok düşük aşındırıcı	< 1,25	Kireçtaşı

160 kg/mm² çekme dayanımı olan 90° tepe açılı konik bir uç 7 kg bastırma kuvveti ile düz yüzeye sahip olması gerekmeyen bir numune üzerinde 1 cm çekilmekte ve ucun tepesinde oluşan aşınma yüzeyi kayaç numunesinin aşındırıcılığını vermektedir. Aşınma yüzeyinin ortalama boyu, ucu 10 kere büyütebilen ölçekli bir mikroskopla ölçülür. 1/10 mm'lik bir aşınma yüzeyi, bir birim Cerchar aşınma indeksi olarak tariflenmektedir. Şekil 5.4'te test sırasında kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.4 Cerchar aşındırıcılık indeksi deney düzeneği

- Schmidt Çekici

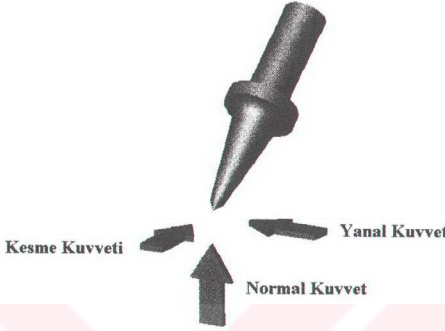
Schmidt Çekici deneyi ve test aleti Bölüm 4.1.10.1'de ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

5.1.2 Kazı mekaniği test ekipmanları

Tam ölçekli doğrusal kesme deneyleri ile, büyük boyutta bir kayaç bloğu, pratikte kullanılan bir keski ile kesilir ve keskiye etkiyen kuvvetler üç boyutlu olarak ölçülür. Bu deneylerin tam ölçekli olması, bir çok belirsizliği ortadan kaldırmakta ve amaca uygun veriler elde edilmesini temin etmektedir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, kazıcı makine seçimi ve tasarımı, keski seçimi, optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi, kesici kafa tasarımı, performans (üretim hızı) ve maliyet tahmini amaçlarına yönelik kullanılabilir. Şekil 5.5'te bir konik keskiye etkiyen ve doğrusal kesme deney setinde ölçülen ortogonal (birbirine dik) kuvvetlerin şematik bir çizimi görülmektedir.

Doğrusal kesme deneyleri ile ölçülen kesme kuvveti, keskiye kesme doğrultusunda etkiyen kuvvettir ve kayacı kesmek için gereken spesifik enerjinin hesaplanmasında kullanılır. Spesifik enerji, birim hacimdeki kayacı kesmek için gereken enerji miktarı olarak tanımlanır. Dolayısı ile, kesme kuvveti, verilen kesme şartlarında kazıcı makinenin güç ihtiyacının tesbit edilmesinde kullanılır. Ayrıca, kesme kuvveti kazıcı

makinenin tork ihtiyacı ile doğrudan ilişkilidir. Spesifik enerjiyi kullanarak, kesici kafa gücü belli olan bir kazıcı makineden elde edilecek üretim hızı da hesaplanabilmektedir.



Şekil 5.5 Bir konik keskiye etkiyen ortogonal kuvvetler

Normal kuvvet, kesilen yüzeye dik yönde etkiyen kuvvettir ve kazıcı makinenin sahip olması gereken baskı kuvveti ve makine ağırlığının hesaplanmasında kullanılır. Yanal kuvvet, keski hareket yönüne dik yönde etkiyen kuvvettir ve normal kuvvet ve kesme kuvveti ile birlikte kesici kafaya etkiyen toplam kuvvetlerin ve momentlerin dengelenmesi amacıyla kullanılabilir.

5.1.2.1 Doğrusal kesme deney ekipmanı

Doğrusal kesme deney seti ana gövde, kesme kutuları, keski tutucuları, dinamometre ve çeşitli elektronik aygıtlardan oluşan yaklaşık 12 ton ağırlığında bir laboratuvar aletidir. Şekil 5.6'da bu makinenin bir fotoğrafı ve Şekil 5.7'de ise şematik bir çizimi görülmektedir. Ana gövde kolonlar (Şekil 5.7, no. 2), kiriş (Şekil 5.7, no. 3), keski tutucusu bağlama sistemi (Şekil 5.7, no. 1, 4, 5, 6), araba (Şekil 5.7, no. 9), numune kutusununu hareket ettiren iki küçük hidrolik silindir (Şekil 5.7, no. 8) ve arabayı iten büyük hidrolik silindirden (Şekil 5.7, no. 10) oluşur. Kirişin altında dinamometre ve keski tutucusunu taşıyan bir plaka mevcuttur. Bu plaka kirişe bir hidrolik silindir (Şekil 5.7, no.1) ile ve dört adet mil ile bağlanmıştır. Kesme derinliğinin ayarlanması için keski tutucusu bağlama sistemini yukarı aşağı hareket ettiren bu silindir üzerine dış açılmış ve dinamometre bağlama plakasına bir somun ile sabitleştirilmiştir.

Şasi üzerindeki kızaklar (Şekil 5.7, no. 11) çelikten yapılmış, üzerleri krom kaplanmıştır. Numune kutusunu (Şekil 5.7, no. 7) taşıyan araba kızaklar üzerinde dört adet grafitli teflon yatak (Şekil 5.7, no. 12) ile durmaktadır. Araba üzerinde numune kutusunu sağa sola hareket edtiren hidrolik silindirler (Şekil 5.7, no. 8) mevcuttur. Arabaya hareketi veren şasi üzerine oturmuş bir hidrolik silindir sağlamaktadır (Şekil 5.7, no. 10) [119].

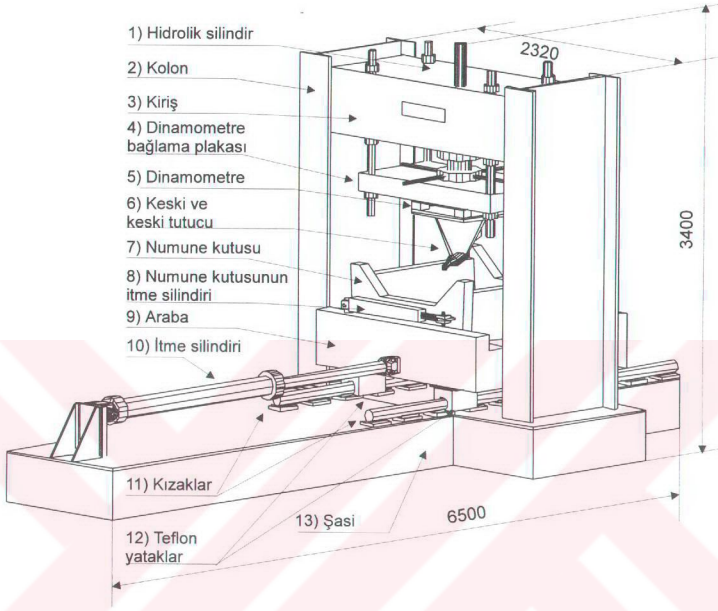


Şekil 5.6 Tam ölçekli doğrusal kesme deney setinin genel görünüşü

Gövdenin taşıyacağı maksimum dikey kuvvet 50 ton, toleransı ile birlikte 75 ton, kesme (itme) kuvveti ve yanal kuvvet 15 ton'dur. Kazı seti üç kademedede 127, 254 ve 381 mm/sn hızlarda kesme yapabilecek şekilde tasarlanmıştır, fakat istenildiğinde ara hızlar da elde edilebilmektedir.

1250 x 500 x 1400 mm boyutundaki numune kutusu 1000 x 500 x 1200 mm boyutundaki bir kayaç numunesini alabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kayaç numunesi numune kutusu içinde etrafına dökülen beton ile sabit tutulabilmektedir. Kesme kutusunun ağırlığı numune ile birlikte 2,5 ton'a yaklaştığından ancak bir forklift ile kaldırılıp taşınabilmektedir. Kesme derinliği, dinamometre bağlama plakasının hidrolik silindir ile 250 mm boyutuna kadar değiştirilebilmektedir. Kaya numunesi, her kesmeden sonra küçük yanal itme silindirleri vasıtasıyla sağa sola keskinin yeni bir kesme hattına getirilebilmesi için hareket ettirilmektedir. Bu yanal hareket,

keskiler arası mesafeyi ayarlayarak, bir kesici kafadaki çok sayıdaki keskinin en iyi yerleşim düzeninin belirlenmesi için yapılır.



Şekil 5.7 Tam ölçekli doğrusal kesme deney setinin şematik görünüşü

Doğrusal kazı setinin hareket kontrol sistemi ile veri erişim sistemleri birbirlerinden bağımsız olarak tasarımılandırılmıştır. Numune kutusunun hareketini sağlayan valflar ve hız ayarları endüstriyel boyutlu bir PLC (Programmable Logic Control) sistemi ile gerçekleştirildiği halde veri erişim sistemi PC bazlı olarak seçilmiştir. Kesme derinliğini ayarlayan hidrolik silindir ve numune kutusunu yanal yönde ilerleten küçük hidrolik silindirlere ise hidrolik valflarla, elle kumanda edilmektedir.

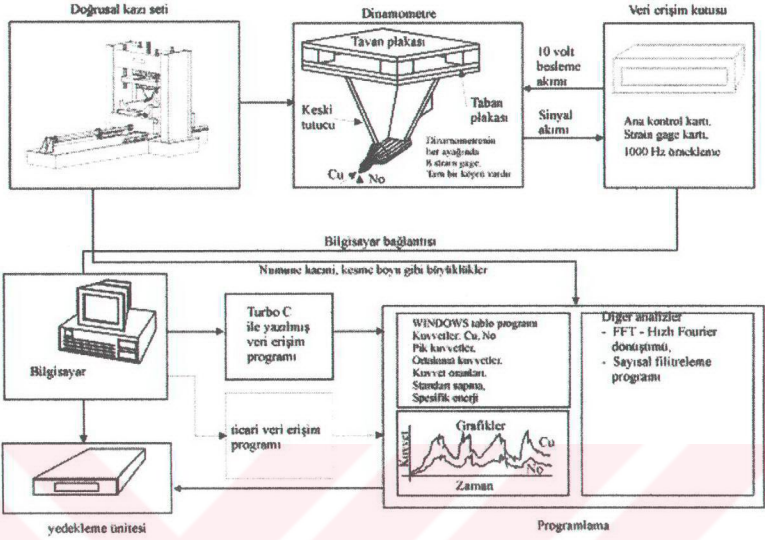
Doğrusal kazı setinden elde edilecek en önemli bilgi keskiye üç yönde gelecek kuvvetlerdir. Kuvvetlerin ölçülmesi amacıyla yastık (pillar type) tipli birim deformasyon ölçerli bir dinamometre kullanılmaktadır. Dinamometre, yüksek mukavemetli uçak alüminyumundan monoblok gövdeden işlenerek yapılmıştır. Dinamometrenin üst ve alt plakasını birleştiren dört ayağına birer Wheatstone köprüsü oluşturacak 4 adet yük hücresi yerleştirilmiştir. Bu sayede ön ve arka

ayakların farkı kesme, yan ayakların farkı yanal ve tüm ayaklara gelen kuvvetin ortalaması, normal kuvvet olarak hesaplanabilmektedir. Dinamometre ve keski tutucu sistemin bir fotoğrafı Şekil 5.8’de görülmektedir.

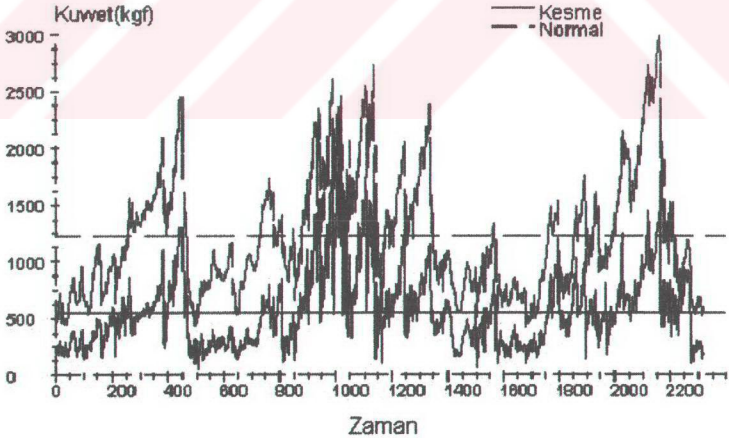


Şekil 5.8 Keski tutucu, keski ve dinamometre sistemi

Keski kuvvetleri (birim deformasyon ölçer ile) kaydının sayısal olarak yapılması amacıyla IBM-PC uyumlu bilgisayarlar için ürettiği bilgisayardan bağımsız bir şasiye oturtmuş bir veri toplama aygıtı (veri toplama kutusu) kullanılmaktadır. Veri toplama kutusu iki adet birim deformasyon ölçer, voltaj sağlayıcısı ve güç ünitesini içerir. Kaya kesmede karşılaşılan kuvvet değişim frekansı 1000 Hz.’den az olduğundan bunun iki - üç katı kadar yüksek bir frekans ile birim deformasyon ölçerlerin örnekleme yapılmaktadır. Sekiz kanallı, 16 bit’lik, analog dijital çevirme (A/D) kartı bu sebepten dolayı toplam 50.000 Hz. frekanslı olarak seçilmiştir. A/D kartı bir yazılım ile 1-10 arası yükseltme yapabilmektedir, 0-10 V. akımlara uygun, +30 V.’a kadar toleranslıdır. Veri toplama kutusu IBM-uyumlu bir bilgisayara bir ISA kartı ile bağlanmıştır. Verileri depolamak için bir bilgisayar kullanılmaktadır.



Şekil 5.9 Şematik olarak veri işleme sistemi



Şekil 5.10 Örnek bir kesme verisinin grafiksel görünümü

Veriler, veri toplama kutusundan doğrudan bilgisayarın RAM hafızasına yüklenmektedir. Veri toplama kutusuna uygun olarak, DOS için geliştirilmiş hazır bir program kullanılmaktadır. Bu program, ham veriyi WINDOWS altında çalışan bir tablo programına aktarmaktadır. Bu programda yazılmış makrolar ile birim deformasyon ölçer sinyalleri önce voltaj değerinden kuvvete dönüştürülmekte sonra da dik, yatay ve düşey bileşenlere ayrılarak, istatistiksel değerlendirme yapılmaktadır. Veri kontrol ve erişim sistemi, şematik olarak Şekil 5.9'da görülmektedir. Kesme deneylerinde elde edilen örnek bir kuvvet diyagramı Şekil 5.10'daki gibidir [120].

5.1.2.2 Doğrusal kesme deney yöntemi

Araziden alınan yeterli büyüklükteki ve uygun özellikteki bir kayaç numunesi, çelik kayaç kutusuna yerleştirilerek, beton ile kutuya sabitlenir. Numune kutuya sabitlenirken, tabakalanma yönü gözönüne alınarak, arazideki gerçek kesme koşullarını uyarlamak için tabakalanmaya paralel-dik veya herhangi bir açıda kesme yapılması temin edilir. Numunenin yüzeyi traşlanarak deneye hazır duruma getirilir. Arazi koşullarında, kesimler daima bir önceki kesme hareketi nedeni ile kazılmış bir yüzey üzerinde kesme yaparlar. Bu kesme yüzeyi, kazıcı makinenin kesici kafasındaki tasarıma bağlıdır. Kesme derinliği ve keskilerarası mesafe ayarlandıktan sonra, numunede de böyle bir yüzey hazırlanır ve daha sonra veri toplamak için yapılacak deneylere geçilir.

Deneylerden önce, keski, keski tutucuya yerleştirilir ve keskinin kalibrasyonu yapılır. Numune kutusu, uygun kesme parametreleri ayarlandıktan sonra, bir hidrolik piston vasıtası ile sabit bir pozisyonda duran dinanometre ve keski tutucu sistemine doğru itilir ve kesme esnasında bir bilgisayar programı ile elektronik veri toplanır. Daha sonra bu ham veriler, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmış olan bir makro program yardımıyla analiz edilir ve değerlendirilir. Doğrusal kesme deneylerinde, dalma açısı, ve spiral sayısı da simule edilebilmektedir. Her kesmede, kesilen kaya kırıntıları itina ile toplanarak ağırlığı ölçülür. Ağırlık, spesifik enerji hesaplamalarında kullanılır. Ayrıca, bu kırıntılar ile elek analizi yapılarak, boyut dağılımı ortaya konur. Veriler, kazılabilirlik tayini, performans tahmini, makine spesifikasyonu belirlenmesi ve kesici kafa tasarımı gibi amaçlar için kullanılabilir.

5.1.2.3 Doğrusal kesme deney parametreleri

Doğrusal kesme deney programı, beş ana bağımsız değişken içermektedir: keskiler arası mesafe (w), kesme derinliği (d), keski çeşidi, dalma açısı (keskinin yatayla yaptığı açı) ve spiral sayısı.

Tablo 5.2 Doğrusal kesme deney parametreleri

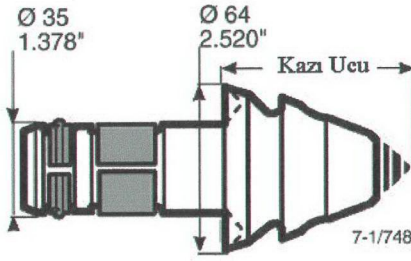
Dalma Açısı	Spiral Sayısı	Keski Tipi	Kesme Derinliği d (mm/dev.)	Keskiler arası Mesafe s (mm)	
55°	1	S35/80H	5	5	
				10	
				15	
				25	
				Yardımsız (*)	
			9 ve 10	9	10
				18	20
				27	30
				45	50
				Yardımsız	
(*) Yardımsız kesme, keskilere arası mesafenin çok fazla olduğu, bir keskinin diğer bir kesmeyi etkilemediği durumdur. Yardımsız kesmede spiral sayısı söz konusu değildir.					

Bağımlı değişkenler (ölçülen veya hesaplanan) ise şunlardır: ortalama keski kuvvetleri (normal ve kesme), spesifik enerji ve kayaç kırıntılarının boyut dağılımı. Deneylerdeki sabit parametreler şunlardır: kayaç cinsi, tabakalanma yönü (tabakalanma düzlemine dik), kesme hızı (127 mm/sn), veri toplama hızı 2000 Hz. Ayrıca, bir deneyde en az 3 tekrar yapılarak ortalamalar bulunmaktadır. Doğrusal kesme deney parametreleri Tablo 5.2’de özetlenmiştir.

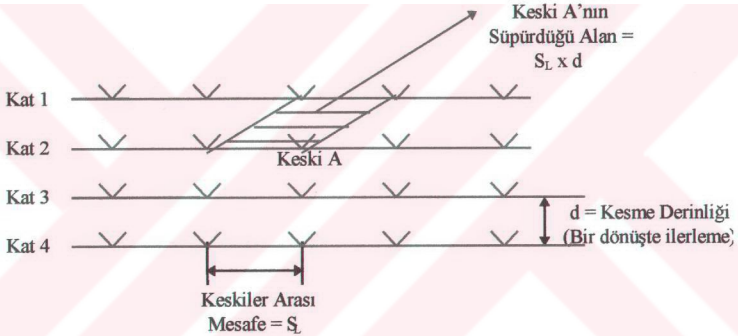
Doğrusal kesme deneylerinde Sandvik S-35/80H konik keski kullanılmıştır. Ancak kullanılması düşünülen başka bir keski varsa uygun bir keski tutucu ile birlikte doğrusal kazı setine yerleştirilerek kullanılabilir.

S-35/80H, 80 mm gövde uzunluğuna, 64 mm etek çapına (flange) ve tungsten karbit uç; 22 mm çapına sahiptir. Bu uç, iki kademeli açığa sahip olup, uç açısı 80°’dir. Bu keskinin bir teknik resmi ve bir fotoğrafı, Şekil 5.11’de yer almaktadır.

Dalma açısı, keskinin simetri eksenine ile yatay düzlem arasında kalan açıdır. Deney programında 55°’lik dalma açısı kullanılmaktadır. Bu dalma açısı bir mekanize kazıcıda kullanılabilecek maksimum değerdir.

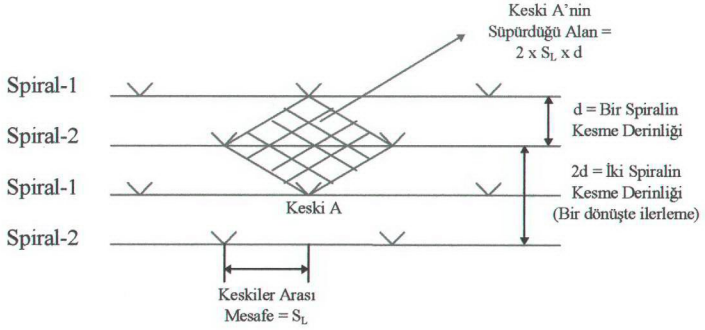


Şekil 5.11 S-35/80H konik keskinin teknik resmi ve fotoğrafı



Şekil 5.12 Bir spiralli kesme düzeni

Spiral sayısı, bir mekanize kazıcının kesici kafasında keskinin spiral olarak dizilimi ile ilgilidir. Ampirik olarak, spesifik enerji ile performans tahminlerinde ve optimum kesme koşullarının belirlenmesinde bir spiralli deney sonuçları kullanılmaktadır. Yarı-teorik performans tahminlerinde (bilgisayar simülasyonu) ve kesici kafa tasarımlarında (güç-tork-baskı hesapları) iki spiralli deney sonuçları kullanılmaktadır. Deneylerde bir spiralli keski dizilimi uygulanmıştır. Bu iki keski düzeni, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te, kesme düzlemine dik düzlem üzerinde açıklanmıştır.



Şekil 5.13 İki spiralli kesme düzeni



Şekil 5.14 Elek analizinde kullanılan elekler

Deneylerde çeşitli kesme derinlikleri ve keskilerarası mesafeler kullanılmıştır. Bu parametrelerin seçimi, keskilerarası mesafe/ kesme derinliği (S_L/d) oranına bağlıdır. Konik keskiler için optimum S_L/d oranı genellikle 1 ile 5 arasında değişmektedir. Keskilerarası mesafe, maksimum üretimi sağlamak amacıyla mümkün olduğunca geniş tutulmalıdır, fakat burada sınırlayıcı faktörler keskinin yük alma kapasiteleri, istenilen pasa boyut dağılımı ve kesici kafanın tasarımı ile ilgili faktörlerdir.

Bunlara ilave olarak, tüm yapılan kesme deneylerinde, kesilen pasalar toplanmış, ağırlıkları ölçülerek spesifik enerji hesaplamalarında kullanılmış ve elek analizi

deneyleri yapılarak pasanın boyut dağılımı +25, +8, +2, +0,5, +0,125 ve -0,125 mm olacak şekilde ortaya konulmuştur (Şekil 5.14).

5.2 Yapılan Deneyler ve Testlerden Elde Edilen Veriler

5.2.1. Kaya mekaniği test verileri

5.2.1.1 Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni kaya mekaniği test verileri

Pınarbaşı-Pulpınar Yeraltı Kromit Madeni'nden alınan Roş 1 cevher numunesi için 11 adet karot numunesi hazırlanmıştır. Bu karot numunelerin 7 tanesi basınç dayanımı testi için, 4 tanesi de çekme dayanımı testi için kullanılmıştır (Şekil 15).



Şekil 5.15 Elde edilen karot numunelerin toplu halde görünümü

Tüm bu numunelerin boyutları ve kaya mekaniği deney sonuçları EK-A, Tablo A.1'de verilmiştir. Numunelerin ortalama yoğunluğu $4,03 \text{ gr/cm}^3$, ortalama basınç dayanımı ve standart sapması; $32,2 \pm 4,4 \text{ MPa}$, ortalama çekme dayanımı ve standart sapması; $3,7 \pm 0,6 \text{ MPa}$, statik elastisite modülü; $3,5 \text{ GPa}$, dinamik elastisite modülü; $31,2 \text{ GPa}$ olarak bulunmuştur. Tablo 5.3'te yapılan deneylerden elde edilen verilerin ortalamaları gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Roş 1, roş 2 ve harsburjit kaya mekanikliği deney sonuçları

Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Basınç Day. $\pm$ S.S.(MPa)	Çekme Day. $\pm$ S.S.(MPa)	Statik Elast. Mod. (GPa)	Dinamik Elast. Mod. (GPa)
Roş1	4,03	32,2 $\pm$ 4,4	3,7 $\pm$ 0,6	3,5	31,2
Roş2	3,39	46,0 $\pm$ 10,9	4,5 $\pm$ 0,6	2,3	76,4
Harsburjit	2,65	57,7 $\pm$ 27,4	5,5 $\pm$ 1,0	2,1	16,1

S.S.=Standart sapma

Roş 2 cevher numunesi için 11 adet karot numune hazırlanmıştır. Bunlardan 7'si basınç dayanımı, 4'ü de çekme dayanımı testi için kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama yoğunluk, ortalama basınç ve çekme dayanımı ile bunların standart sapmaları, statik ve dinamik elastik modülleri Tablo 5.3'teki gibidir. Roş 2 numunelerinin boyutları ve kaya mekanikliği deney sonuçları EK-A, Tablo A.1'de verilmiştir.

Harsburjit yankayacı için 11 adet karot numune hazırlanmıştır. Bunlardan 7'si basınç dayanımı, 4'ü de çekme dayanımı testi için kullanılmıştır. Elde edilen kaya mekanikliği parametreleri Tablo 5.3'teki gibidir. Harsburjit yankayacı kaya mekanikliği deney verilerinin tamamı ise EK-A, Tablo A.2'de yer almaktadır.

5.2.1.2 Kavak kromit madeni kaya mekanikliği test verileri

Kavak Kromit Madeni'nden alınan cevher kayaç numunesi için 10 adet karot numune hazırlanmıştır. Bu karot numunelerin 5 tanesi basınç dayanımı testi için, 5 tanesi de çekme dayanımı testi için kullanılmıştır (Şekil 5.15). Karot boyutları basınç dayanımı için; yaklaşık olarak, 55-110 mm, 38-76 mm, çekme dayanımı için 55-55 mm, 38-38 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Dinamik ve statik elastisite modülleri de Pınarbaşı-Pulpınar Kromit'te olduğu gibi belirlenmiştir. Elde edilen ortalama sonuçlar Tablo 5.4'teki gibidir. Kavak cevher kaya mekanikliği deney verilerinin tamamı ise EK-A, Tablo A.3'te yer almaktadır.

Kavak Kromit Madeni'nden alınan serpantin yankayaç numunesi için 11 adet karot numune hazırlanmıştır. Bu karot numunelerin 5 tanesi basınç dayanımı testi için, 7 tanesi de çekme dayanımı testi için kullanılmıştır (Şekil 5.15). Karot boyutları ve dinamik-statik elastisite modülleri tespiti diğer gruplarda olduğu gibi belirlenmiştir. Elde edilen ortalama sonuçlar ve standart sapmalar Tablo 5.4'teki gibidir. Kavak serpantin numunelerinin boyutları ve kaya mekanikliği deney verilerinin tamamı ise EK-A Tablo A.4'te yer almaktadır.

Tablo 5.4 Kavak cevher ve serpantin yankayacı için yapılan kaya mekaniği deneyleri ortalama sonuçları

Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Basınç Day. +S.S. (MPa)	Çekme Day. +S.S. (MPa)	Statik Elast. Mod. (GPa)	Dinamik Elast. Mod. (GPa)
Kavak Cev.	2,88	46,5 ± 7,6	3,8 ± 0,8	2,9	35,2
Serpantin	2,49	38,1 ± 10,6	5,7 ± 0,5	2,3	13,9

S.S.=Standart sapma

Yapılan kaya mekaniği deneyleri sonucunda elde edilen verilerden de görüleceği gibi Pınarbaşı-Pulpınar ve Kavak Kromit cevher ve yankayaçları, orta sert kayaç sınıfına girmektedir.

5.2.1.3 Beypazarı trona madeni kaya mekaniği test verileri

Beypazarı Trona Madeni'nden alınan cevher kayaç numunesi için 15 adet karot numune hazırlanmıştır. Bu karot numunelerin 11 tanesi basınç dayanımı testi için, 4 tanesi de çekme dayanımı testi için kullanılmıştır (Şekil 5.16). Karot boyutları basınç dayanımı için; yaklaşık olarak, 55-110 mm, 38-76 mm, çekme dayanımı için 55-55 mm, 38-38 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Dinamik ve statik elastisite modülleri de kromitte olduğu gibi belirlenmiştir. Elde edilen ortalama sonuçlar Tablo 5.5'teki gibidir. Kavak cevher kaya mekaniği deney verilerinin tamamı ise EK-A Tablo A.5'te yer almaktadır.



Şekil 5.16 Beypazarı trona karot numuneleri

Tablo 5.5 Trona cevher kayacı için yapılan kaya mekaniği deneyleri ortalama sonuçları

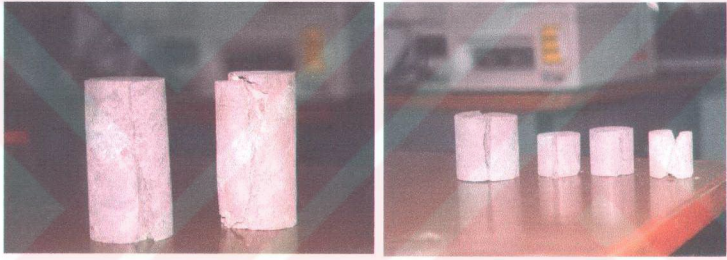
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Basınç Day. +S.S. (MPa)	Çekme Day. +S.S. (MPa)	Statik Elast. Mod. (GPa)	Dinamik Elast. Mod. (GPa)
Trona	2,13	29,7 ± 0,2	2,1 ± 0,4	3,4	3,7

5.2.1.4 Çayeli bakır madeni kaya mekaniği test verileri

Çayeli Bakır Madeni'nden alınan sarı ve siyah cevher kayacı numunesinden karot numuneler hazırlanmış, basınç ve çekme dayanımı testi yapılmıştır (Şekil 5.17). Numunelerin boyutları basınç dayanımı için 55-110 mm çekme dayanımı için ise 55-55 mm'dir. Deneyler sonucunda elde edilen ortalama basınç ve çekme dayanımı değerleri Tablo 5.6'daki gibidir.

Tablo 5.6 Çayeli bakır madeni kaya mekaniği sonuçları [119]

Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Basınç Day. (MPa)	Çekme Day. (MPa)	Dinamik Elast. Mod. (GPa)	Statik Elast. Mod. (GPa)
Sarı Cev.	4,13	32,8	3,4	42,0	-
Siyah Cev.	4,07	41,4	5,7	49,6	-



Şekil 5.17 Çayeli bakır cevher kayacından alınan karotlar

5.2.1.5 Barit maden selestit kaya mekaniği test verileri

Barit Maden A.Ş. Selestit Madeni'nden alınan selestit cevher kayacı ve anhidrit ve jips yankayacı numunelerinden karot numuneler hazırlanmış, basınç ve çekme dayanımı testi yapılmıştır. Numunelerin boyutları basınç dayanımı için 55-110 mm çekme dayanımı için ise 55-55 mm'dir. Deneyler sonucunda elde edilen ortalama basınç ve çekme dayanımı değerleri Tablo 5.7'deki gibidir.

Tablo 5.7 Barit maden selestit cevheri kaya mekaniği sonuçları

Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Basınç Day. +S.S. (MPa)	Çekme Day. +S.S. (MPa)	Dinamik Elast. Mod. (GPa)	Statik Elast. Mod. (GPa)
Anhidrit	2,90	82±6	5,5±0,8	-	-
Selestit	3,97	29±2,9	4,0±0,5	-	-
Jips	2,32	33±2,2	3,0±0,2	-	-

5.2.2 Kazı mekaniği test verileri

5.2.2.1 Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeninden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri

İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Laboratuvarları'na getirilen tüvenan roş 1 ve tüvenan roş 2 numuneleri için alınan ve roş 1A, roş 1B ve roş 2A, roş 2B adı verilen 2 şer adet numune bir kayaç kutusuna inşaat çimentosu ile sabitlenerek kalem uçlu keskilerle kesme deneylerine tabi tutulmuştur (Şekil 5.18).

Bu kesme deneyleri, keski derinliği $d= 5$ ve 10 mm olacak şekilde yapılmıştır. Keskiler arası mesafe(s) ile kesme derinliği arasındaki oran (s/d) 1, 2, 3, 5 ve yardımsız olacak şekilde değiştirilip kesme deneyleri yapılarak, birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan kuvvetin oluşturduğu spesifik enerjinin (kWh/m^3) optimum olduğu s/d oranı tesbit edilmiştir ve Tablo 5.8'de özetlenmiştir. Yapılan kesme deneylerinin tamamı Ek-B, Tablo B.1 – B.4'te verilmiştir.



Şekil 5.18 Kesme deneyleri yapılan roş 1A, roş 1B ve roş 2A, roş 2B numuneleri

Tablo 5.8 Roş 1 ve roş 2 numunelerinin kesme deneyi sonuçları

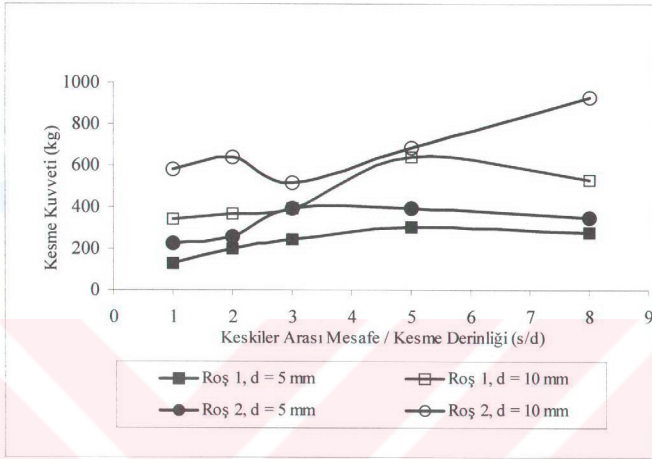
Numune İsmi	s/d	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Kesme Kuv. (kg)	Kesme Pik (kg)	Normal Kuv. (kg)	Normal Pik (kg)	Spesifik Enerji (kWh/m ³)
ROŞ 1	1	5	5	130	373	102	282	12,3
	2	5	10	202	600	166	503	11,0
	*3	5	15	242	838	213	704	9,3
	5	5	25	301	984	263	793	9,9
	8	5	yardımsız	279	716	231	552	11,1
ROŞ 1	1	10	10	342	966	230	609	8,9
	2	10	20	366	1332	251	885	4,3
	*3	10	30	395	1425	272	887	3,9
	5	10	50	638	2017	437	1181	3,9
	8	10	yardımsız	530	1483	354	923	5,8
ROŞ 2	1	5	5	224	535	190	419	20,1
	*2	5	10	255	669	224	549	12,8
	3	5	15	391	906	361	800	15,7
	5	5	25	396	986	334	732	13,8
	8	5	yardımsız	347	1021	302	786	14,8
ROŞ 2	1	10	10	579	1347	410	1021	12,5
	*2	10	20	641	1833	448	1194	6,4
	3	10	30	516	1433	379	950	9,3
	5	10	50	682	1872	527	1705	13,5
	8	10	yardımsız	931	2649	666	1649	12,0

*Daha koyu yazılanlar, en verimli kesme yapılan değerlerdir.

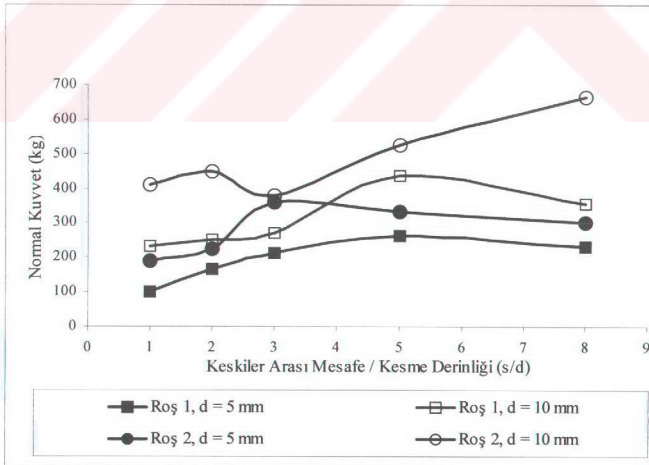
Tablo 5.8 ve Şekil 5.19, 20, 21'e göre roş 1 cevheri için d=5 mm, keskil arası mesafe s=15 mm; yani s/d=3 iken yapılan kesme deneylerinde, en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir (SE= 9,3 kWh/m³). Yine roş 1 cevheri için d=10 mm, keskil arası mesafe s=30 mm; yani s/d=3 iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir (SE= 3,9 kWh/m³). Roş 1 için kesme derinliği d=5 mm, 10 mm ile karşılaştırıldığında d=10 mm de daha düşük bir spesifik enerji değeri elde edildiğinden daha verimli bir kazı yapılmıştır.

Tablo 5.8 ve Şekil 5.19-20-21'e göre roş 2 cevheri için d=5 mm, keskil arası mesafe s=10 mm; yani s/d=2 iken yapılan kesme deneylerinde, en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir (SE= 12,8 kWh/m³). Yine roş 2 cevheri için d=10 mm, keskil arası mesafe s=20 mm; yani s/d=2 iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir (SE= 6,4 kWh/m³). Roş 2 için kesme derinliği d=5 mm, 10 mm ile karşılaştırıldığında d=10 mm'de daha düşük bir spesifik enerji elde edildiğinden daha verimli bir kazı yapılmıştır.

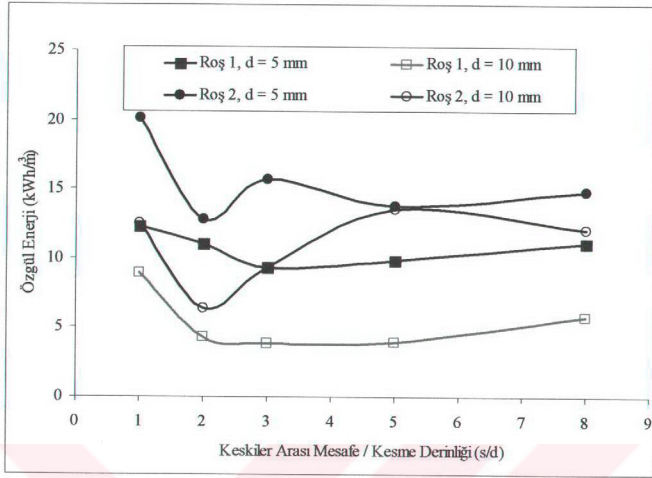
Sonuç olarak denilebilir ki; roş 1 cevheri $d=10$ mm ve keskiler arası mesafe $s=30$ mm, yani $s/d=3$ iken en verimli kazı yapılmış; roş 2 cevheri ise $d=10$ mm ve keskiler arası mesafe $s=20$ mm, yani $s/d=2$ iken en verimli kazı yapılmıştır.



Şekil 5.19 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 ve roş 2 kesme kuvveti-s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.20 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 ve roş 2 normal kuvvet-s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.21 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 ve roş 2 spesifik enerji-s/d arasındaki ilişki

Pınarbaşı-Pulpınar Kromit Madeni harsburjit yankayaç numunesi için kesme deneyleri yapmak üzere laboratuva getirilen (Şekil 5.22) numuneler bir kayaç kutusuna inşaat çimentosu ile sabitlenerek kalem uçlu keskimlerle kesme deneylerine tabi tutulmuştur (Şekil 5.23).



Şekil 5.22 Laboratuvara getirilen harsburjit yankayaç numuneleri

Bu kesme deneyleri, keski derinliği $d=5$ mm ve 9 mm olacak şekilde yapılmıştır. Kesimler arası mesafe (s) ile kesme derinliği arasındaki oran (s/d) 1, 2, 3, 5 ve

yardımsız olacak şekilde değiştirilip kesme deneyleri yapılarak, birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan kuvvetin oluşturduğu spesifik enerjinin (kWh/m^3) optimum olduğu s/d oranı tesbit edilmiştir ve Tablo 5.9'da özetlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin tamamı ise EK-B, Tablo B.5'te verilmiştir.



Şekil 5.23 Kesme deneyleri yapılmış harsburjit yankayaç numunesi

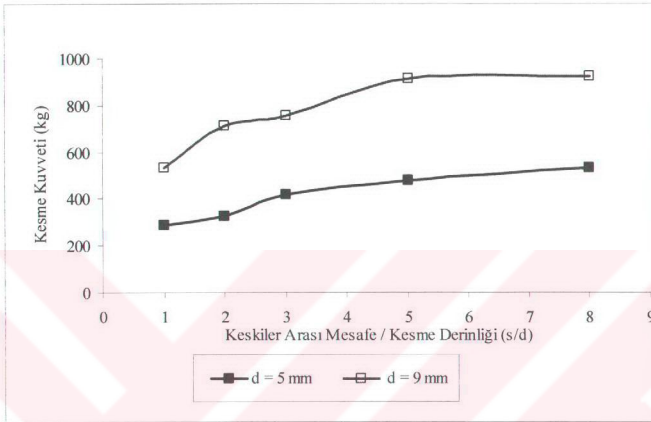
Tablo 5.9 Harsburjit yankayaç numunesinin kesme deneyi sonuçları

Numune İsmi		Kesme Derinliği s/d(d(mm))	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Kesme Kuv. (kg)	Kesme Pik Kuv. (kg)	Normal Kuv. (kg)	Normal Pik Kuv. (kg)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
Harsburjit	1	5	5	286	815	318	839	28,7
	2	5	10	328	1038	353	914	14,6
	*3	5	15	421	1308	477	1157	13,6
	*5	5	25	478	1481	518	1362	12,9
	8	5	yardımsız	531	1497	621	1447	18,6
Harsburjit	1	9	9	531	1430	591	1476	16,9
	2	9	18	713	2151	760	2035	11,0
	3	9	27	758	2239	851	2052	10,1
	*5	9	45	911	2611	944	2273	8,4
	8	9	yardımsız	922	2691	952	2188	9,4

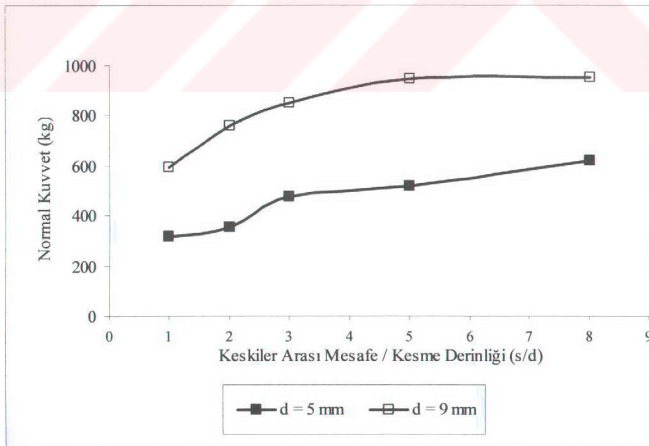
*Daha koyu yazılanlar, en verimli kesme yapılan değerlerdir.

Tablo 5.9 ve Şekil 5.24-25-26'ya göre harsburjit yankayaç için yapılan kesme deneylerinde $d=5$ mm, keskiiler arası mesafe $s=15$ ve 25 mm; yani $s/d=3-5$ iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE=13,6-12,9 \text{ kWh/m}^3$). Yine harsburjit yankayaç için $d=9$ mm, keskiiler arası mesafe $s=45$ mm; yani $s/d=5$ iken en düşük

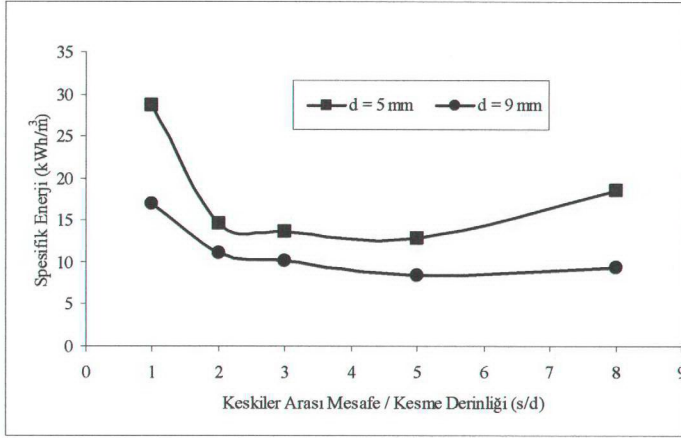
spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE= 8,4 \text{ kWh/m}^3$). Harsburjıt yankayacı için kesme derinliği $d=5 \text{ mm}$, 9 mm ile karşılaştırıldığında, $d=9 \text{ mm}$ 'de daha düşük bir spesifik enerji elde edildiğinden daha verimli bir kazı yapılmıştır. Sonuç olarak denilebilir ki; harsburjıt yankayacı $d=9 \text{ mm}$ ve keskiler arası mesafe $s=45 \text{ mm}$, yani $s/d=5$ iken en verimli kazı yapılmıştır.



şekil 5.24 Pınarbaşı-Pulpınar harsburjıt kesme kuvveti-s/d arasındaki ilişki



şekil 5.25 Pınarbaşı-Pulpınar harsburjıt normal kuvvet-s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.26 Pınarbaşı-Pulpınar harsburjit spesifik enerji-s/d arasındaki ilişki

5.2.2.2 Kavak kromit madeninden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri

Laboratuvarlara getirilen Kavak cevher kayacı numunesi bir kayaç kutusuna inşaat çimentosu ile sabitlenerek kalem uçlu keskimlerle kesme deneylerine tabi tutulmuştur (Şekil 5.27).



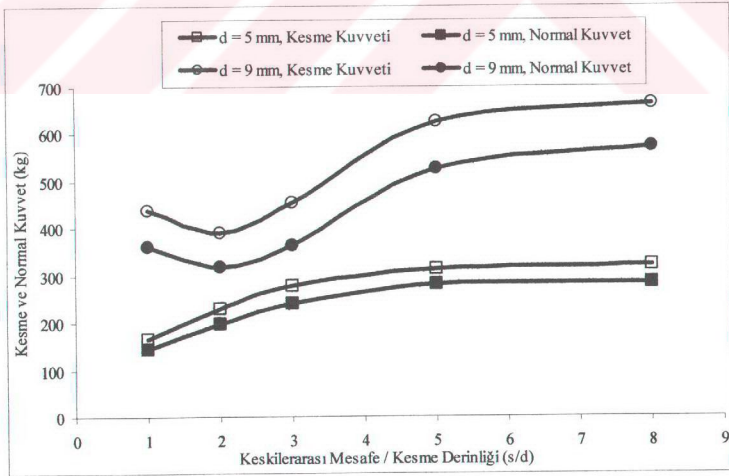
Şekil 5.27 Kavak cevher numunesi için yapılan kesme deneyleri

Bu kesme deneyleri, keski derinliği $d=5$ mm ve 9 mm olacak şekilde yapılmıştır. Keski arası mesafe(s) ile kesme derinliği arasındaki oran (s/d) 1, 2, 3, 5 ve yardımsız olacak şekilde değiştirilip kesme deneyleri yapılarak, birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan kuvvetin oluşturduğu spesifik enerjinin (SE) (kWh/m^3) optimum olduğu s/d oranı tesbit edilmiş ve Tablo 5.10'da özetlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin tamamı ise EK-B, Tablo B.6'da verilmiştir.

Tablo 5.10 Kavak cevher kayacı kesme deneyi sonuçları

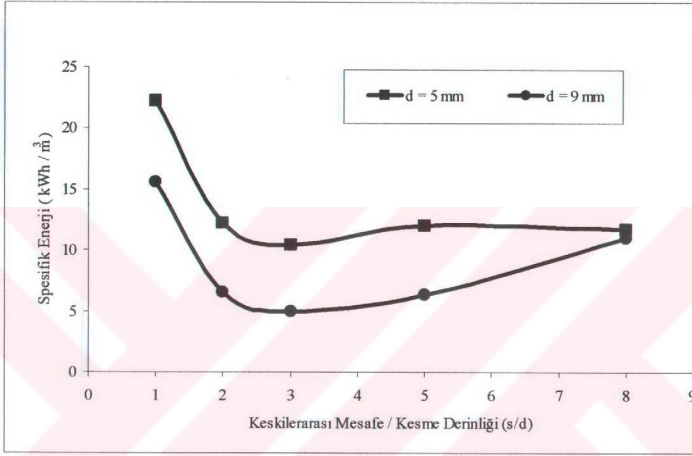
Numune Adı	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Kesme Kuv. (kg)	Kesme Pik Kuv. (kg)	Normal Kuv. (kg)	Normal Pik Kuv. (kg)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
Kavak Cevher	5	5	165	492	143	382	22,2
	5	10	229	638	198	537	12,2
	*5	15	277	803	241	667	10,4
	5	25	313	843	281	706	12,0
	5	yardımsız	319	871	285	714	11,7
Kavak Cevher	9	9	437	930	361	694	15,6
	9	18	390	1134	317	769	6,6
	*9	27	455	1404	363	1028	5,0
	9	45	624	1656	527	1242	6,3
	9	yardımsız	663	1624	572	1185	11,0

*Daha koyu yazılanlar, en verimli kesme yapılan değerlerdir.



Şekil 5.28 Kavak cevher kayacı kesme ve normal kuvvetlerle-s/d arasındaki ilişki

Tablo 5.10 ve Şekil 5.28-29'a göre Kavak cevheri için $d=5$ mm, keskiler arası mesafe $s=15$ mm yani $s/d=3$ iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE=10,4$ kWh/m³). Kavak cevheri için $d=9$ mm, keskiler arası mesafe $s=27$ mm yani $s/d=3$ iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE=5,0$ kWh/m³). Kesme derinliği $d=5$ mm, 9 mm ile karşılaştırıldığında $d=9$ mm'de daha düşük bir spesifik enerji elde edildiğinden daha verimli bir kazı yapılmıştır.



Şekil 5.29 Kavak cevher kayacı spesifik enerji-s/d arasındaki ilişki



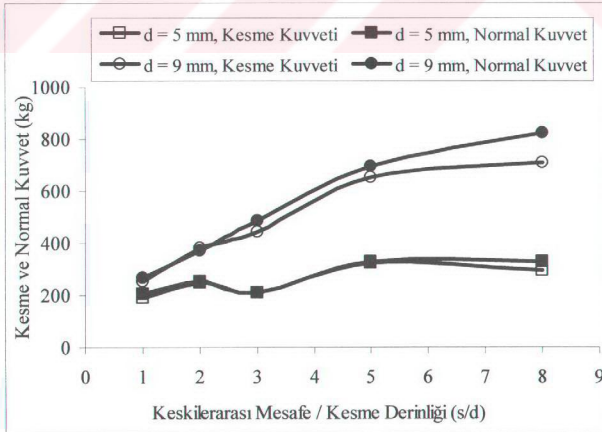
Şekil 5.30 Kavak serpantin yankayacı üzerinde yapılan deneyler

Kavak serpantin yankayacı üzerinde kalem uçlu keskilerle yapılan kesme deneyleri Şekil 5.30'da gösterilmiştir. Bu kesme deneyleri, keski derinliği $d=5$ mm ve 9 mm olacak şekilde yapılmıştır. Keskiler arası mesafe (s) ile kesme derinliği arasındaki oran (s/d) 1, 2, 3, 5 ve yardımsız olacak şekilde değiştirilip kesme deneyleri yapılarak, birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan kuvvetin oluşturduğu spesifik enerjinin (SE) (kWh/m^3) optimum olduğu s/d oranı tesbit edilmiş ve Tablo 5.11'de özetlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin tamamı ise EK-B, Tablo B.7'de verilmiştir.

Tablo 5.11 Kavak serpantin yankayacı kesme deneyi sonuçları

Numune İsmi	Kesme Derinliği (mm)	Keskilerarası Mesafe (mm)	Kesme Kuv. (kg)	Kesme Pik Kuv. (kg)	Normal Kuv. (kg)	Normal Pik Kuv. (kg)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
Kavak Serpantin	5	5	193	589	203	498	20,1
	5	10	249	680	252	594	12,4
	*5	15	211	839	210	735	7,0
	5	25	323	872	327	774	8,1
	5	yardımsız	295	785	326	883	9,5
Kavak Serpantin	9	9	251	939	265	836	11,2
	9	18	382	1196	371	1102	6,5
	*9	27	444	1406	484	1281	6,2
	9	45	652	1748	695	1504	6,5
	9	yardımsız	710	2015	823	1760	8,1

*Daha koyu yazılanlar, en verimli kesme yapılan değerlerdir.



Şekil 5.31 Kavak serpantin kesme ve normal kuvvetler-s/d arasındaki ilişki

Kesme Derinliği (mm)	Kesme Hızı (m/dk)	Kesme Mesafesi (mm)	Kesme Derinliği / Kesme Mesafesi (s/d)	Spesifik Enerji (kJ/m³)
5	100	100	1	20.5
5	200	100	2	12.5
5	300	100	3	6.5
5	400	100	4	6.5
5	500	100	5	8.5
5	600	100	6	9.0
5	700	100	7	9.5
5	800	100	8	10.0
9	100	100	1	11.5
9	200	100	2	6.5
9	300	100	3	6.5
9	400	100	4	6.5
9	500	100	5	6.5
9	600	100	6	7.0
9	700	100	7	7.5
9	800	100	8	9.0

5.2.2.3 Beypazarı tronadan alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri

Bu kesme deneyleri, dalma açısı 55° , kesme derinliği $d=5$ mm ve 9 mm olacak şekilde yapılmıştır. Keskiler arası mesafe (s) ile kesme derinliği arasındaki oran tek spiralde (s/d) 1, 2, 3, 5 ve yardımsız olacak şekilde değiştirilip kesme deneyleri yapılarak Tablo 5.12’de özetlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin tamamı ise EK-B, Tablo B.8’de verilmiştir.

150

edilmiştir ($SE=2,7\text{kWh/m}^3$). Baypazarı U4 cevheri için kesme derinliği $d=5\text{ mm}$, 9 mm ile karşılaştırıldığında $d=9\text{ mm}$ 'de daha düşük bir spesifik enerji elde edildiğinden daha verimli bir kazı yapılmıştır.

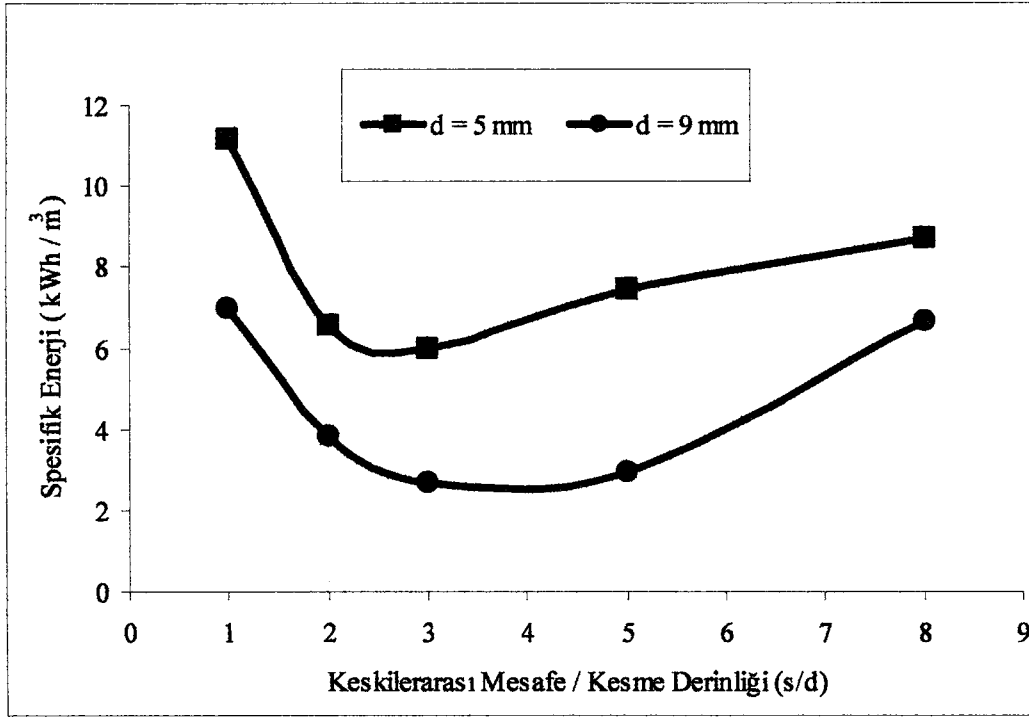


Şekil 5.33 Kesme deneyi yapılmış trona numunesi

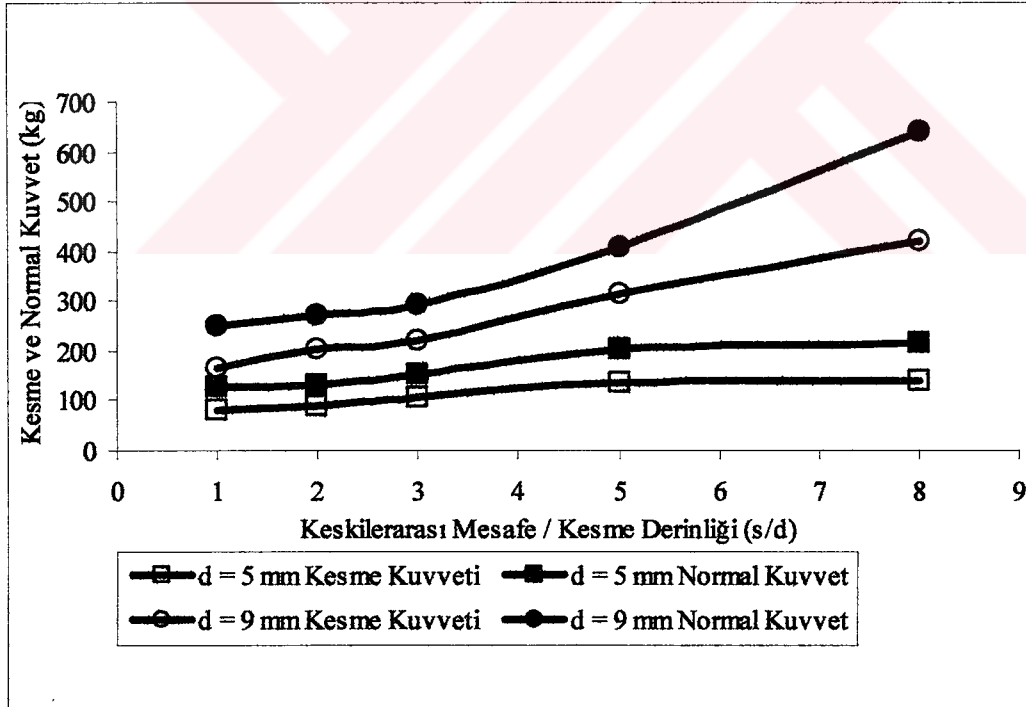
Tablo 5.12 Trona kesme deneyi sonuçları

Numune İsmi	Kesme Derinliği (mm)	Kesilerarası Mesafe (mm)	Kesme Kuv. (kg)	Kesme Pik Kuv. (kg)	Normal Kuv. (kg)	Normal Pik Kuv. (kg)	Spesifik Enerji (kWh/m^3)
Trona	5	5	82	238	125	351	11,2
	5	10	91	277	130	348	6,6
	*5	15	105	313	152	381	6,0
	5	25	137	476	205	618	7,4
	5	yardımsız	139	388	215	490	8,7
Trona	9	9	167	656	250	758	7,0
	9	18	203	830	273	808	3,8
	*9	27	222	909	294	862	2,7
	9	45	315	1204	405	1177	3,0
	9	yardımsız	420	1226	639	1380	6,7

*Daha koyu yazılanlar, en verimli kesme yapılan değerlerdir.



Şekil 5.34 Trona cevheri için spesifik enerji s/d ilişkisi



Şekil 5.35 Trona cevheri için kesme normal kuvvetlerle, s/d ilişkisi

5.2.2.4 Çayeli bakır madeninden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri

Laboratuvarlara getirilen Çayeli bakır cevher numunesi bir kayaç kutusuna inşaat çimentosu ile sabitlenerek kalem uçlu keskilerle kesme deneylerine tabi tutulmuştur.

Bu kesme deneyleri, dalma açısı 55° , kesme derinliği $d=10$ mm olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca sarı cevher için $d=4, 5, 7, 12$ mm'lik derinliklerde, siyah cevher için $d=2, 4, 5, 7$ mm'lik derinliklerde yardımsız kesme yapılarak kuvvetlerin değişimi belirlenmiştir. Yapılan kesme deneylerinin sonuçları Tablo 5.13'te özetlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin tamamı ise EK-B, Tablo B.9 ve B.10'da verilmiştir.

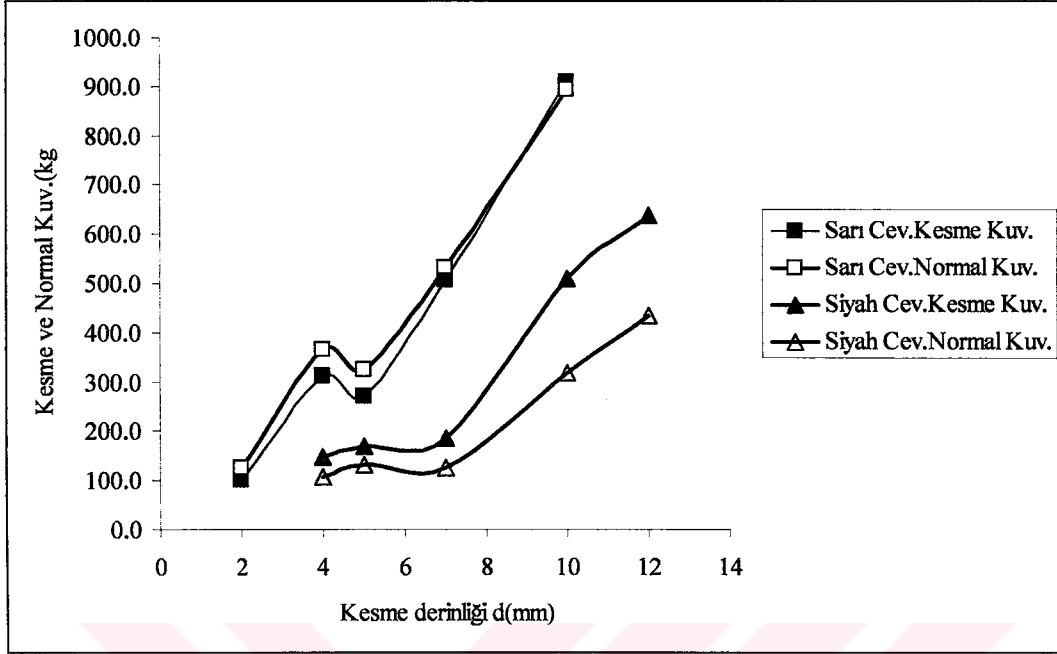
Tablo 5.13 Çayeli bakır sarı ve siyah cevher kesme deneyi sonuçları

Numune İsmi	s/d	Kesme Derinliği (mm)	Keskiler arası Mesafe (mm)	Kesme Kuv. (kg)	Kesme Pik Kuv. (kg)	Normal Kuv. (kg)	Normal Pik Kuv. (kg)	Spesifik Enerji (kWh/m ³)
Sarı Cevher	1	10	10	198	648	138	427	6,2
	2	10	20	350	1075	219	654	4,0
	*4	10	40	381	1227	239	771	3,3
	6	10	60	439	1383	265	864	4,3
	8	10	yardımsız	509	1507	317	864	5,2
	-	4	yardımsız	148	500	107	335	7,4
	-	5	yardımsız	170	440	131	321	7,7
	-	7	yardımsız	187	657	127	452	4,0
	-	12	yardımsız	639	1824	435	1271	3,7
	-	10	10	484	1435	480	1263	14,9
Siyah Cevher	*2	10	20	626	1693	599	1464	9,9
	*4	10	40	810	2465	773	2332	9,2
	5	10	50	898	2173	887	2032	10,6
	8	10	yardımsız	908	2582	894	2410	14,9
	-	2	yardımsız	102	344	125	430	17,5
	-	4	yardımsız	312	868	365	971	18,0
	-	5	yardımsız	270	733	323	819	19,3
	-	7	yardımsız	507	1557	531	1651	15,9

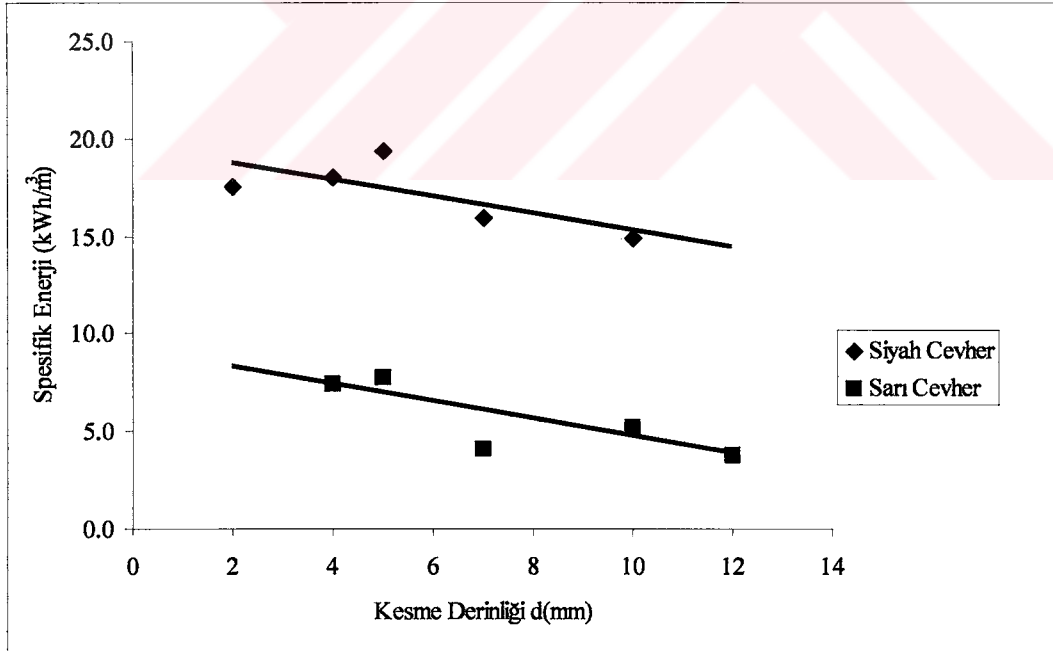
*Daha koyu yazılanlar, en verimli kesme yapılan değerlerdir.

Çayeli bakırdan alınan numunelerin küçük boyutlarda olması nedeni ile iki ayrı kesme derinliğinde ($d=5$ ve 10 mm) keskiler arası mesafe değiştirilerek deney yapılamamıştır. Bunun yerine yardımsız durumda, bir kaç kesme derinliğinde ($d=2, 4, 5, 7, 10, 12$ mm), kesme deneyleri yapılmış ve $d=10$ mm'de keskiler arası mesafeler değiştirilerek deney yapılmasına karar verilmiştir. Yardımsız durumda

kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetleri ve spesifik enerjinin değişimini gösteren grafikler Şekil 5.36 ve 5.37'deki gibidir.



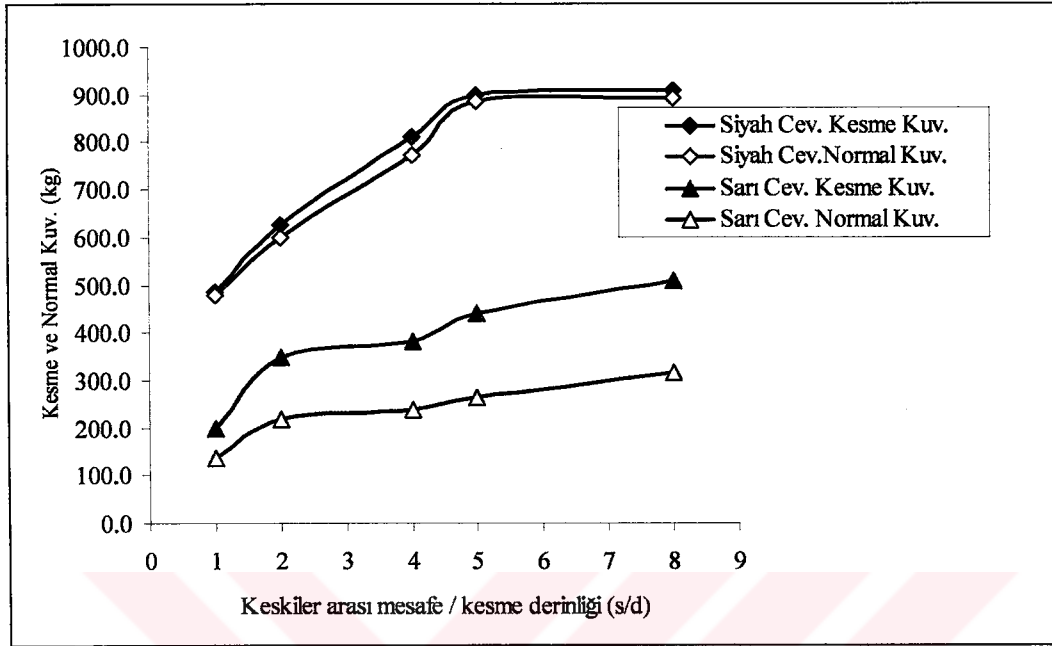
Şekil 5.36 Çayeli bakır sarı ve siyah cevher, kesme derinliği ile yardımsız durumdaki kesme ve normal kuvvetler arasındaki ilişki



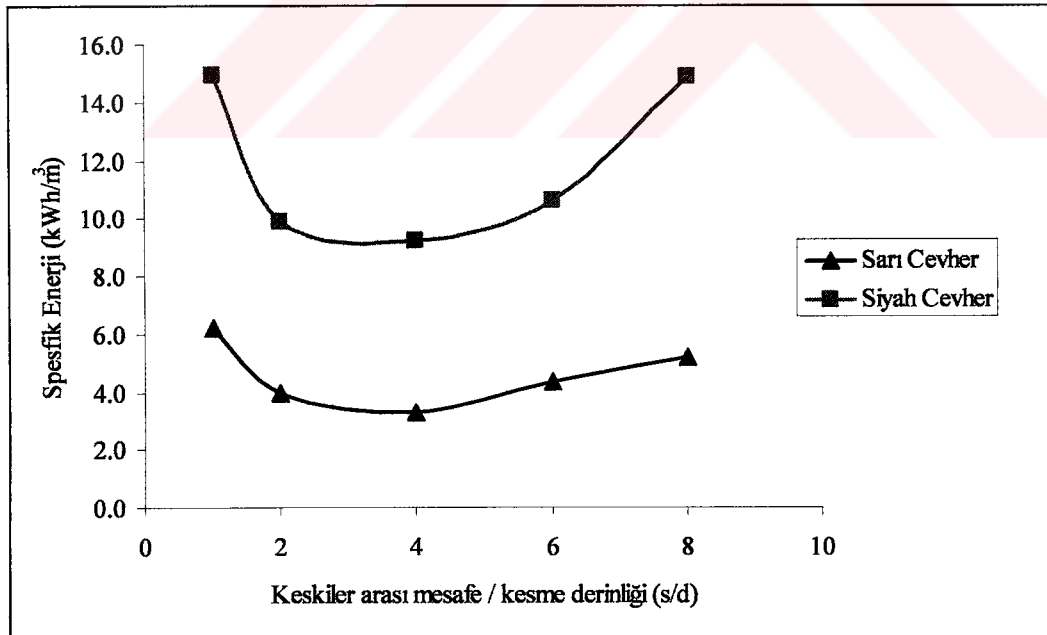
Şekil 5.37 Çayeli bakır sarı ve siyah cevher, kesme derinliği ile yardımsız durumdaki spesifik enerjiler arasındaki ilişki

Tablo 5.13, Şekil 38 ve 39'a göre Çayeli bakır sarı cevher d=10 mm'de, kesmeler arası mesafe s=40 mm; yani s/d=4 iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir

(SE= 3,3 kWh/m³). Çayeli bakır siyah cevher d=10 mm'de, kesmeler arası mesafe s=20-40 mm; yani s/d=2-4 iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir (SE=9,9-92 kWh/m³).



Şekil 5.38 Çayeli bakır siyah ve sarı cevher s/d ile kesme ve normal kuvvetlerin ilişkisi



Şekil 5.39 Çayeli bakır siyah ve sarı cevher s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişki

5.2.2.5 Barit maden selestit ocağından alınan numuneler üzerinde yapılan kesme deneyleri

Laboratuvarlara getirilen selestit, jips ve anhidrit numuneleri ayrı ayrı bir kayaç kutusuna inşaat çimentosu ile sabitlenerek kalem uçlu keskilerle kesme deneylerine tabi tutulmuştur.

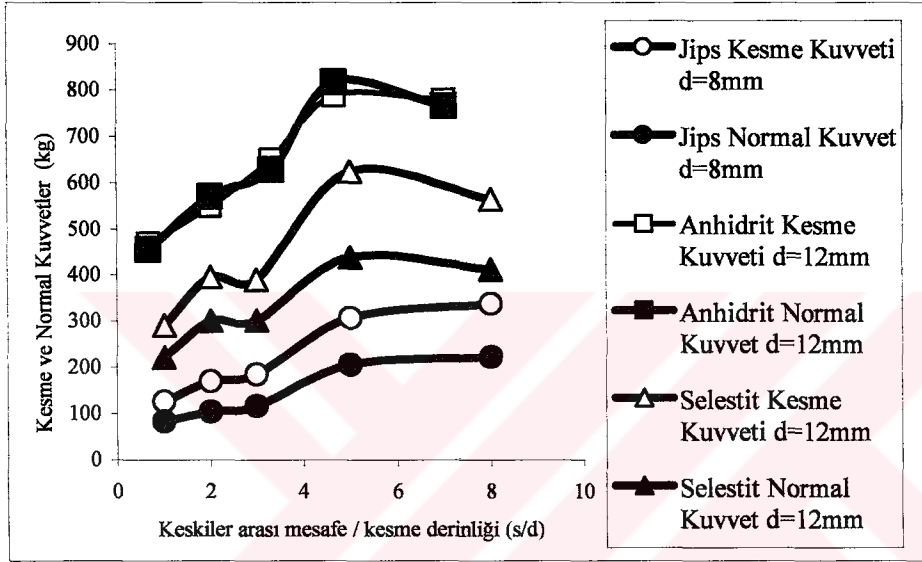
Bu kesme deneyleri, dalma açısı 55°, kesme derinliği d=8 ve 12 mm olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca selestit, jips ve anhidrit için d=4, 8, 12, 16 mm'lik derinliklerde, yardımsız kesme yapılarak kuvvetlerin değişimi belirlenmiştir. Yapılan kesme deneylerinin sonuçları Tablo 5.14'te özetlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin tamamı ise EK-B, Tablo B.11 – B.13'te verilmiştir.

Tablo 5.14 Barit maden selestit, anhidrit, jips kesme deneyi sonuçları

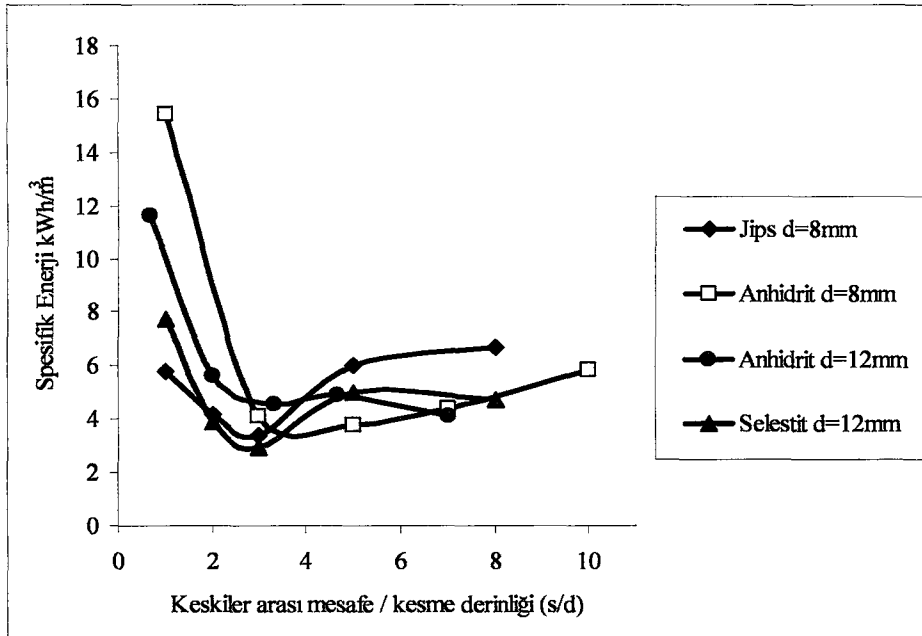
Numune İsmi	s/d	Kesme Derinliği (mm)	Keskiler arası Mesafe (mm)	Kesme Kuv. (kg)	Kesme Pik Kuv. (kg)	Normal Kuv. (kg)	Normal Pik Kuv. (kg)	Spesifik Enerji (kWh/m ³)
Selestit	1	12	12	291	778	221	559	7,8
	2	12	24	396	1070	300	755	3,9
	*3	12	36	390	1194	301	831	3,0
	5	12	60	624	1675	439	1133	5,0
	8	12	yardımsız	565	1543	414	1028	4,7
		4	yardımsız	150	474	126	370	8,1
		8	yardımsız	343	907	256	639	5,5
		16	yardımsız	872	2409	606	1569	4,4
Jips	1	8	8	127	268	84	189	5,8
	2	8	16	170	352	104	225	4,2
	*3	8	24	185	421	117	267	3,4
	5	8	40	307	658	206	446	6,0
	8	8	yardımsız	338	653	222	439	6,7
		4	yardımsız	401	872	289	670	7,7
		12	yardımsız	687	1295	515	1000	6,6
		16	yardımsız	979	1942	673	1348	6,5
Anhidrit	1	8	8	353	683	322	515	15,5
	3	8	24	297	648	263	556	4,1
	*5	8	40	451	1099	452	921	3,8
	7	8	56	478	1074	460	897	4,4
	10	8	yardımsız	519	1630	557	1518	5,9
	0,7	12	8	469	1052	457	736	11,6
	2	12	24	549	1329	570	1101	5,6
	*3,3	12	40	650	1481	629	1057	4,6
	4,7	12	56	788	1636	818	1318	4,9
	7	12	yardımsız	778	2608	766	2247	4,1
		4	yardımsız	338	1252	401	1245	6,4
		16	yardımsız	1343	4371	1260	3336	4,3

*Daha koyu yazılanlar, en verimli kesme yapılan değerlerdir.

Tablo 5.14 ve Şekil 40 ve 41'e göre Barit Maden Selestit cevheri $d=12$ mm'de, kesmeler arası mesafe $s=36$ mm; yani $s/d=3$ iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE= 3,0$ kWh/m³). Barit Maden jips için $d=8$ mm'de, kesmeler arası mesafe $s=24$ mm; yani $s/d=3$ iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE= 3,4$ kWh/m³), Barit Maden anhidrit için $d=8$ mm'de, kesmeler arası mesafe $s=40$ mm; yani $s/d=5$ iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE= 3,8$ kWh/m³); $d=12$ mm'de ise kesmeler arası mesafe $s=40$ mm; yani $s/d=3,3$ iken en düşük spesifik enerji değeri elde edilmiştir ($SE= 4,6$ kWh/m³).



Şekil 5.40 Selestit, jips, anhidrit kesme ve normal kuvvetlerle s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.41 Selestit, anhidrit, jips s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişki

5.3 Laboratuvarda Yapılan Kesme Deneylerinin Elele Analizleri

5.3.1 Kırılğanlık ve Pasa İrilik Katsayısı (PİK)

Mekanik kazıcılarla herhangi bir kayaç kazılırken oluşan parçaların boyutu, kayacın kırılğanlığı, içerdığı sert mineral yüzdesi, süreksizlik içeriğı ve bunların yönelimi ile ilgilidir. Kayaçtan kayaca değışen bu özellikler mekanik kazıda, verimi belirleyici parametrelerdir. Makine ile kazıda en iyi kazı, formasyonu kazmak için uygulanan en küçük kuvvetle en büyük parça boyutunun dolayısı ile en fazla pasanın elde edilebildiğı kazı şartlarını sağlayan kazıdır. Bu yüzden mekanik bir kazıcının kesici kafasında tesis edilmiş olan keskinlerin dizilimi, kayacı kazarken yukarıda bahsedilen en küçük kuvvet-en fazla pasa koşulunu sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. Bunun için Bölüm 2.4.1’de değinilen performans tahmin yöntemleriyle sabit bir kesme derinliğinde oluşan kılcal çatlakların birleşerek keskinlerin arasında kalan kayaç köprüsünün koparılabildiğı maksimum mesafenin, dolayısı ile optimum s/d oranının ve bu mesafe boyunca elde edilen pasanın boyutlarının belirlenmesi gerekir. Kazılan kayacın kırılğanlığı ne kadar fazlaysa, optimum s/d oranı da o kadar büyüyecek ve en iyi kazı için gerekli olan koşul sağlanmış olacaktır [37].

Kırılğanlık en önemli kayaç özelliklerinden biridir. Başlangıçta Morley [121] ve Hatenyi [122] kırılğanlığı kaya yüklenirken, çatlama olmaksızın -plastik bir şekilde-deforme olabilme özelliğinin eksikliği olarak tanımlamışlardır. Hucka ve Das kırılğan bir kayacın uzamasının az olduğunu, çatlayarak kırıldığını, genellikle homojen bir yapıda olduğunu, basınç ve çekme dayanımı arasındaki oranın oldukça yüksek olduğunu, daha fazla esnek ve yüksek içsel sürtünme açısına sahip olduğunu ifade etmişlerdir [123, 124].

Pasa irilik katsayısı ise kazının verimliliğini belirten boyutsuz bir sayıdır. Belirli sayıdaki eleklerden elenen pasaların kümülatif ağırlık yüzdelerinin toplamı olarak ifade edilir [7]. Eleme için seçilen eleklerin boyutu elde edilen pasa boyutunu karşılayacak şekilde olmalıdır. Pasa irilik katsayısının kolayca anlaşılması ve hesaplanabilmesi için bir kazı işlemi sonucunda elde edilen pasanın boyut dağılımını gösteren Tablo 5.15’ten yararlanılırsa, pasa irilik katsayısının 424 olarak bulunduğı görülür.

Tablo 5.15 Örnek bir pasa irilik katsayısı hesap cetveli [125]

Boyut Dağılımı (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık Yüzdesi (%)	Kümülatif Ağırlık (%)
+25	150	20	20
-25 +8	180	24	44
-8 +2	240	32	76
-2 +0,5	90	12	88
-0,5 +0,125	60	8	96
-0,125	30	4	100
Toplam	750	100	PİK=424

Tablo 5.15'ten de görüldüğü gibi bu elek setinde 5 ayrı elek kullanılmış ve 6 ayrı ürün elde edilmiştir. Eğer bir kazı işlemi sonucunda kazılan malzemenin tamamı +25 mm üzerinde olsaydı, her bir elek grubu için kümülatif ağırlık yüzdesi 100 olacağından bu set için PİK değeri 600'den fazla olamazdı. Aynı mantıkla hareket edilecek olursa; eğer kazılan malzemenin tamamı -0,125 mm altında kalmış olsaydı, bu kez PİK değeri 100'den düşük olamazdı. Bu durumda 5 elek kullanılan ve 6 ürün elde edilen bir elek setinde PİK sayısı en az 100 en fazla da 600 olmak zorundadır [125]. Kazılan malzemenin parça boyutu ne kadar büyükse malzeme o kadar ağır olacağından PİK'te 600 sayısına doğru yaklaşacaktır. Kazılan malzemenin parça boyutu ne kadar küçükse malzeme o kadar hafif olacağından PİK'te bu kez 100'e doğru yaklaşacaktır.

Krom gibi bazı metal madenlerinde yüksek tenör içerikli parça cevherler daha yüksek fiyatla alıcı bulabilmektedir. Bu sebeple bu çalışma için yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen pasaların parça boyut dağılımının tespit edilmesi ve kırılgenlikle ilişkisinin irdelenmesi gerekmektedir.

5.3.2 Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni kesme deneylerinin elek analizleri

Parça boyut dağılımını tesbit etmek amacıyla, Pınarbaşı-Pulpınar Kromit Madeni'nden alınan cevher ve yankayaç numunelerinin kesme deneyine tabi tutulması ile elde edilen pasaların elek analizleri yapılmış ve Tablo 5.16'daki veriler elde edilmiştir. Her kesme koşulu için yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen veriler ve bunların parça boyut dağılımı grafikleri, EK-C, Tablo C.1 – C.20'deki gibidir. Bu deney yapılırken elek açıklığı 25, 8, 2, 0,5 ve 0.125 mm olan elekler kullanılmış, elek üstünde kalan parçaların ağırlıkları ölçülmüş 5 elek üstü ürün ve bir elek altı toz ürün elde edilmiştir.

Tablo 5.16 Roş 1 ve roş 2 cevherleri elek analizi sonuçları

Elek	s/d	1	2	3	5	8
Açıklığı (mm)	s (mm)	5	10	15	25	Yardımsız
25	Roş1 d=5 mm Elek üstü (g)	0	0	0	0	0
8		4	38	108	233	32
2		48	126	171	299	122
0,5		91	135	166	327	207
0,125		87	111	135	269	164
Toz		35	45	62	88	55
25	Roş1 d=10 mm Elek üstü (g)	0	0	227	665	73
8		143	277	384	738	383
2		160	122	231	319	274
0,5		145	110	263	294	328
0,125		126	92	205	281	259
Toz		45	32	78	92	73
25	Roş2 d=5 mm Elek üstü (g)	0	0	0	0	0
8		5	34	38	38	28
2		35	103	94	64	76
0,5		34	61	39	34	65
0,125		29	49	34	28	51
Toz		16	24	19	16	24
25	Roş2 d=10 mm Elek üstü (g)	0	117	33	0	18
8		103	680	177	75	88
2		133	285	93	52	70
0,5		86	111	60	21	57
0,125		90	116	50	22	47
Toz		30	50	23	13	18

5.3.2.1 Kesme deneyi yapılan roş 1 ve roş 2 cevherinin elek analizi verileri

Tablo 5.16’da d=5 mm ve 10 mm, keskiler arası mesafe s=5, 10, 15, 25 ve yardımsız durumlarda roş 1 ve roş 2 cevherleri için yapılan kesme deneyleri ile elde edilen pasaların tartılması ile ağırlıklarını gösteren elek analizi sonuçları görülmektedir.

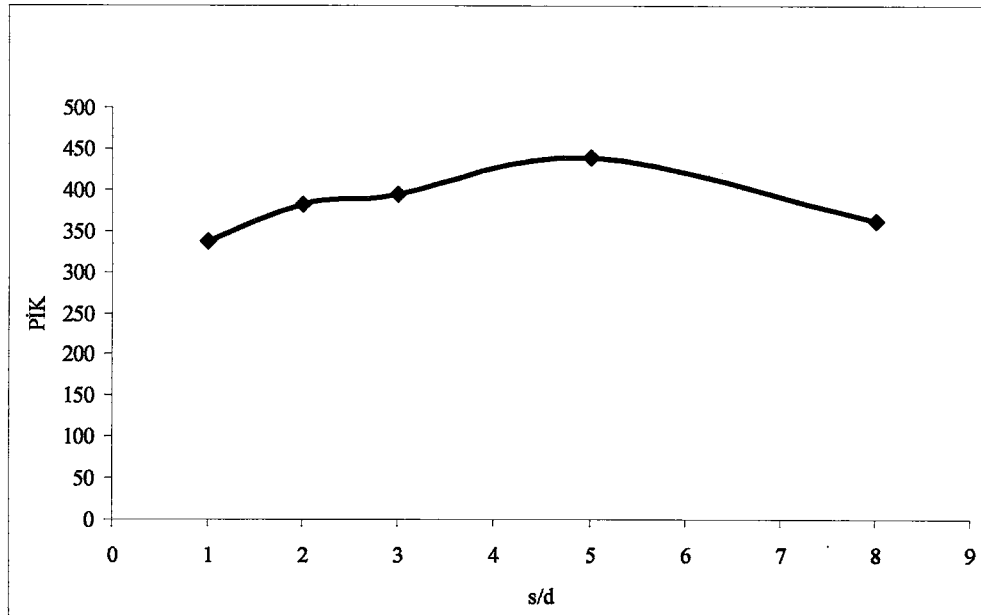
Tablo 5.17’de ise Roş 1 cevheri, d=10 mm için elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 5.17, Şekil 5.42 ve 43’ten görüleceği üzere s/d=3 ve 5’te elde edilen optimum spesifik enerji değerlerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=3,9 kWh/m³ için PİK=395 ve SE=3,9 kWh/m³ için PİK=439). Bu demektir ki s/d= 3 ve 5 iken yapılan kesme deneyleri sırasında en büyük parça boyutlu ve en ağır olan pasa elde edilmiştir. Bu da SE’nin en düşük değeri almasını sağlamıştır. Buradan optimum keskilerarası

mesafenin, dolayısı ile optimum spesifik enerjinin pasa irilik katsayısı ile karşılaştırılarak kestirilebileceği anlamı çıkarılabilir. Yani pasa irilik katsayısının en yüksek olduğu s/d oranında keski en verimli kazıyı yapmış ve optimum spesifik enerji değeri elde edilmiştir.

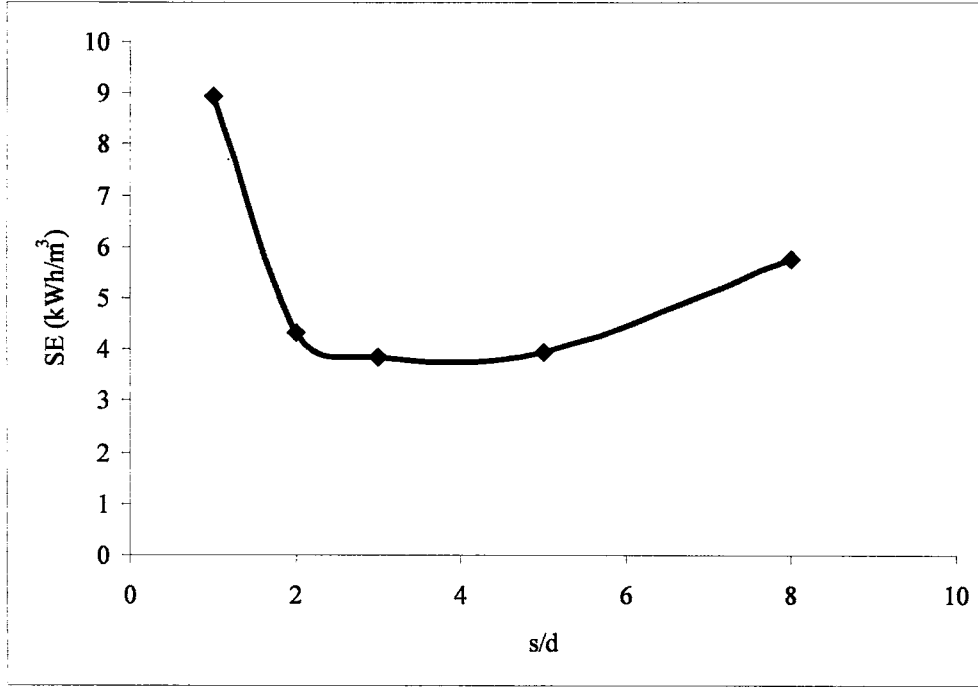
Tablo 5.17 Roş 1 cevheri, d=10 mm'de elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

Numune İsmi	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Spesifik Enerji SE (kWh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
ROŞ 1	10	10	8.9	337
	10	20	4.3	382
	10	30	3.9	395
	10	50	3.9	439
	10	yardımsız	5.8	361

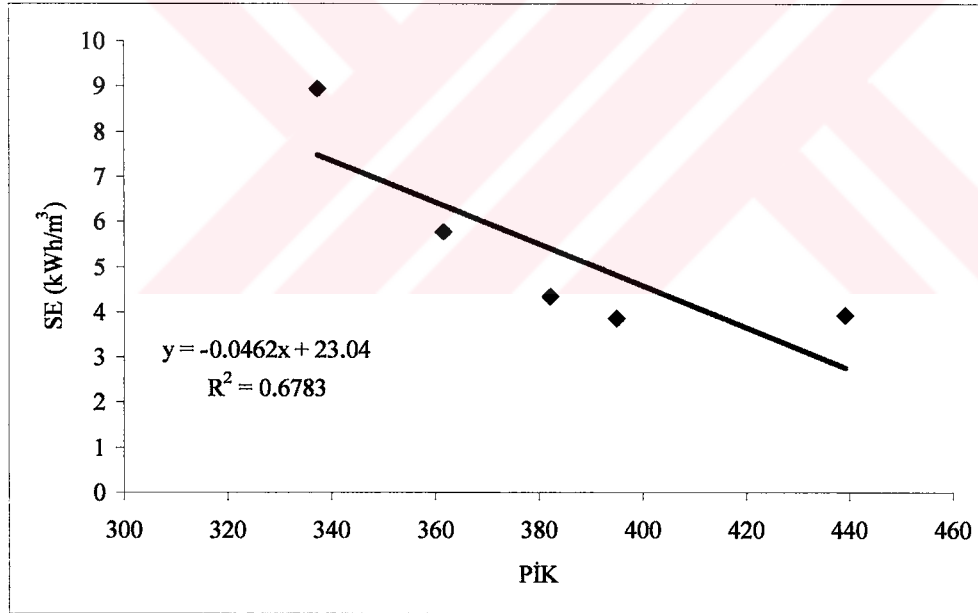
Tablo 5.17'de gösterilen en büyük pasa irilik katsayısı (PİK=439) optimum SE değerinde değilde (3,9 kWh/m³) biraz daha büyük bir keski arası mesafe değerinde (s=50 mm için SE=3,9 kWh/m³) elde edilen SE değerinde elde edilmiştir. Bunun sebebi numune üzerinde bulunan süreksizlikler ve ince bantlı kayaç dolgularının aşırı söküme yol açması ve iri boyutlu parçaların elde edilmesi olabilir. Aynı sebepten dolayı Şekil 5.44'teki pasa irilik katsayısı ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin korelasyonu da düşük çıkmış olabilir ($R^2=0,6783$).



Şekil 5.42 Roş 1 d=10 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.43 Roş 1 d=10 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki



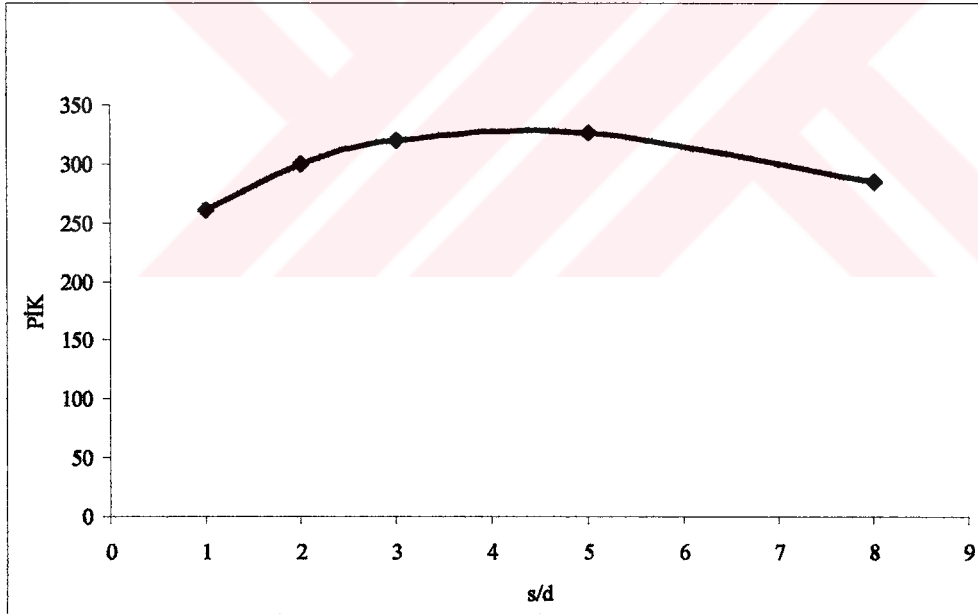
Şekil 5.44 Roş 1 d=10 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki

Tablo 5.18'de Roş 1 için d=5 mm kesme derinliğinde elde edilen SE değerleri ile pasa irilik katsayısı değerleri karşılaştırıldığında, d=10 mm ile elde edilen değerlerle benzerlik göstermektedir. Tablo 5.18, Şekil 5.45 ve 46'dan görüleceği üzere s/d=3 ve 5'te elde edilen optimum spesifik enerji değerlerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=9,3 kWh/m³ için PİK=320 ve SE=9,9 kWh/m³ için PİK=326). Bu demektir ki s/d= 3 ve 5 iken yapılan kesme deneyleri sırasında en büyük parça

boyutlu ve en ağır olan pasa elde edilmiştir. Bu da SE'nin en düşük değeri almasını sağlamıştır. Buradan tıpkı roş 1 cevheri $d=10$ mm'de olduğu gibi; optimum keskilerarası mesafenin, dolayısı ile optimum spesifik enerjinin pasa irilik katsayısına bakarak kestirilebileceği anlamı çıkarılabilir. Yani pasa irilik katsayısının en yüksek olduğu s/d oranında keski en verimli kazıyı yapmış ve optimum spesifik enerji değeri elde edilmiştir.

Tablo 5.18 Roş 1 cevheri, $d=5$ mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

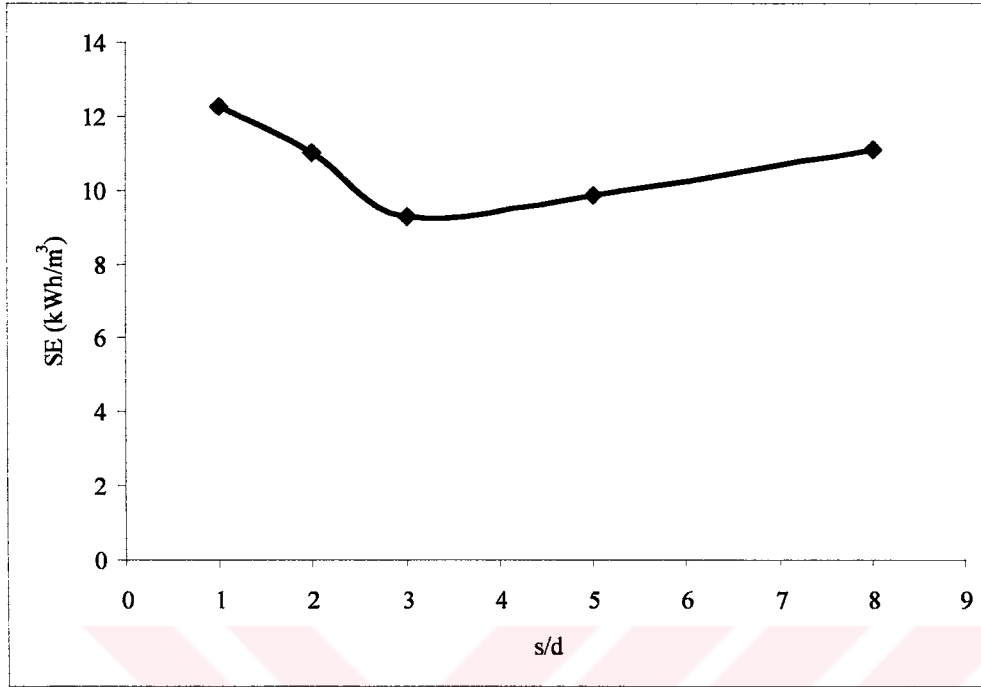
Numune İsmi	Kesme Derinliği d (mm)	Keskilerarası Mesafe s (mm)	Spesifik Enerji SE(kWh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
ROŞ 1	5	5	12.3	261
	5	10	11.0	300
	5	15	9.3	320
	5	25	9.9	326
	5	yardımsız	11.1	285



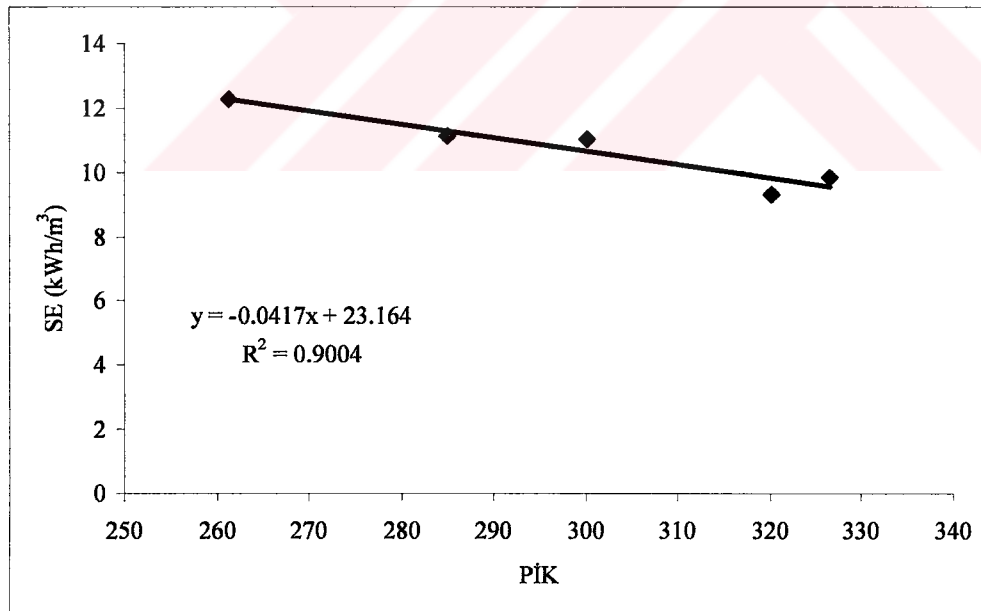
Şekil 5.45 Roş 1 $d=5$ mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki

Tablo 5.18'de gösterilen en büyük pasa irilik katsayısı ($PİK=326$) optimum SE değerinde değil de ($9,3 \text{ kWh/m}^3$), biraz daha büyük bir SE değerinde ($9,9 \text{ kWh/m}^3$) elde edilmiştir. Bunun sebebi numune üzerinde bulunan süreksizlikler ve ince bantlı kayaç dolgularının aşırı söküme yol açması ve iri boyutlu parçaların elde edilmesi

olabilir. Buna rağmen, Şekil 5.47'deki pasa irilik katsayısı ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin korelasyonu da oldukça yüksek çıkmıştır ($R^2=0,9004$).



Şekil 5.46 Roş 1 d=5 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki



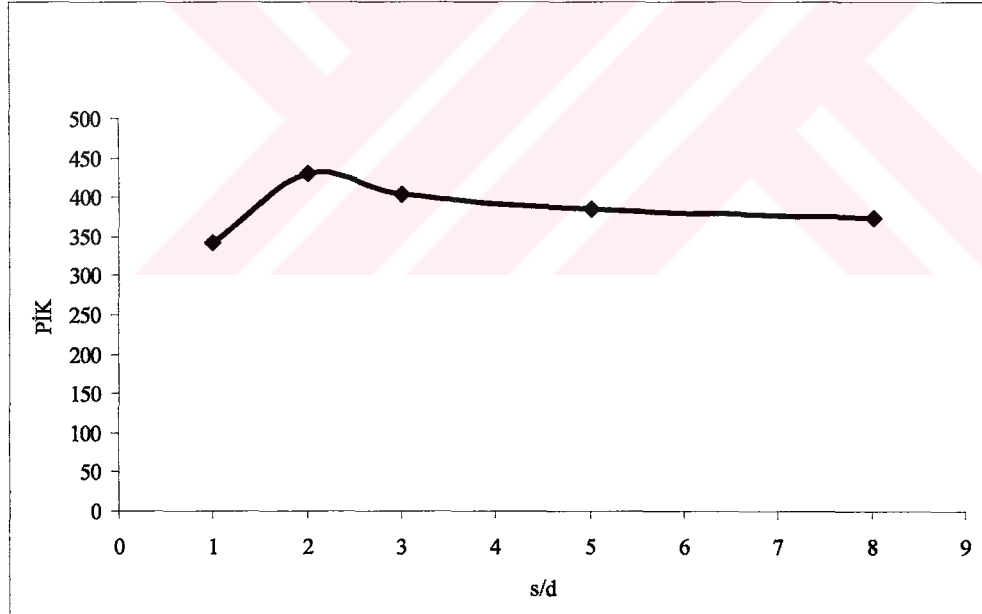
Şekil 5.47 Roş 1 d=5 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki

Tablo 5.19, Şekil 48 ve 49'dan görüleceği üzere, Roş 2 cevheri d=10 mm için, s/d=3'te elde edilen optimum spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=6,4 kWh/m³ için PİK=404). Bu demektir ki s/d= 3 iken

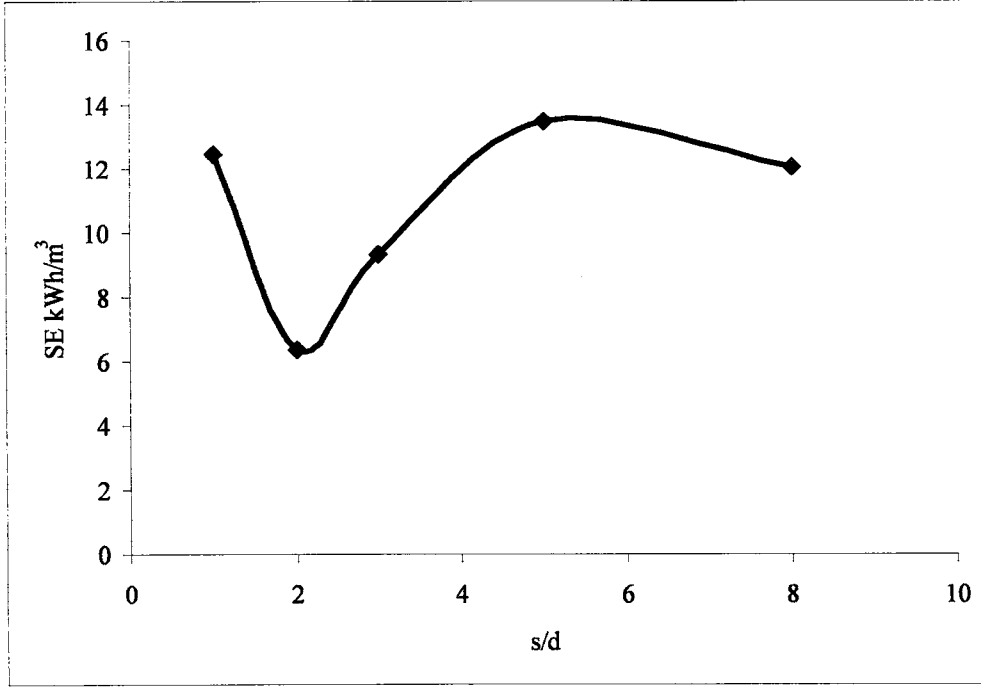
yapılan kesme deneyleri sırasında en büyük parça boyutlu ve en ağır olan pasa elde edilmiştir. Bu da SE'nin en düşük değeri almasını sağlamıştır. Yani pasa irilik katsayısının en yüksek olduğu s/d oranında keski, en verimli kazıyı yapmış ve optimum spesifik enerji değeri elde edilmiştir denilebilir. Şekil 5.50'deki SE ile PİK arasındaki korelasyon süreksizliklerden ve ince dolgu bantlarından dolayı düşük çıkmıştır ($R^2=0,68$).

Tablo 5.19 Roş 2 cevheri, d=10 mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

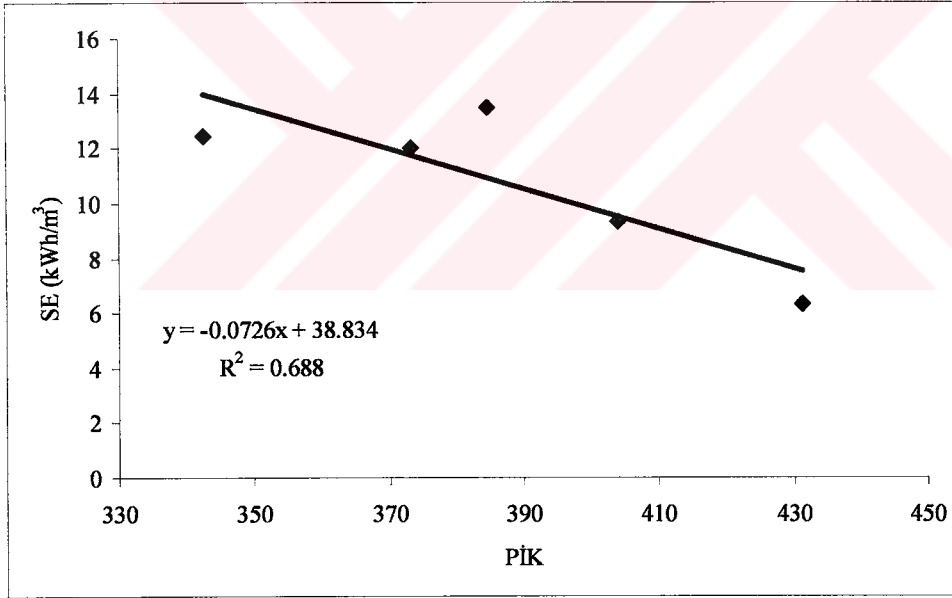
Numune İsmi	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Spesifik Enerji SE(kWh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
ROŞ 2	10	10	12.5	343
	10	20	6.4	431
	10	30	9.3	404
	10	50	13.5	385
	10	yardımsız	12.0	373



Şekil 5.48 Roş 2 d=10 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.49 Roş 2 d=10 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki

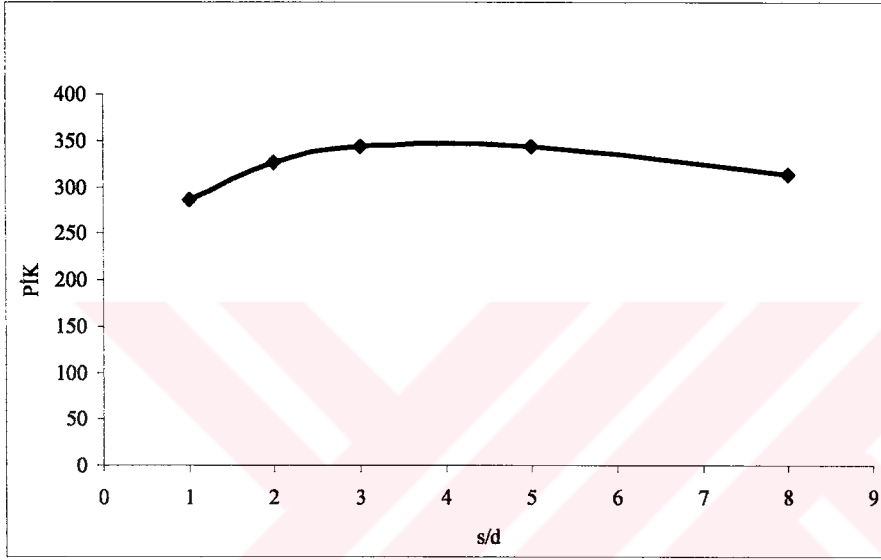


Şekil 5.50 Roş 2 d=10 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki

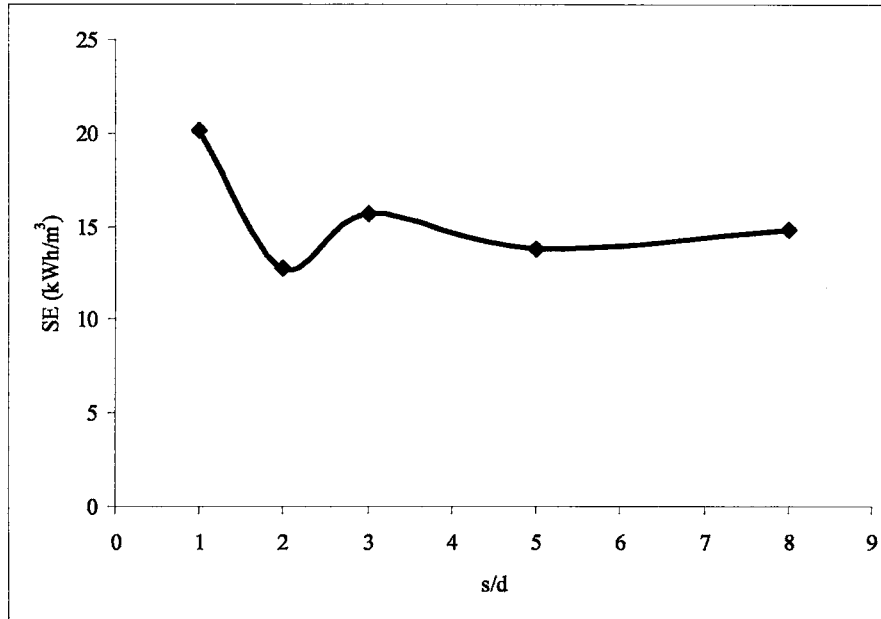
Tablo 5.20, Şekil 5.51 ve 5.52'den görüleceği üzere, Roş 2 cevheri d=5 mm için, s/d=3 ve 5'te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=15,7 kWh/m³ için PİK=344 ve SE=13,8 kWh/m³ için PİK=344). SE ise s/d=2'de en küçük değerini almıştır. Şekil 5.53'teki SE ile PİK arasındaki korelasyon da çok düşük çıkmıştır ($R^2=0,56$).

Tablo 5.20 Roş 2 cevheri, d=5 mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

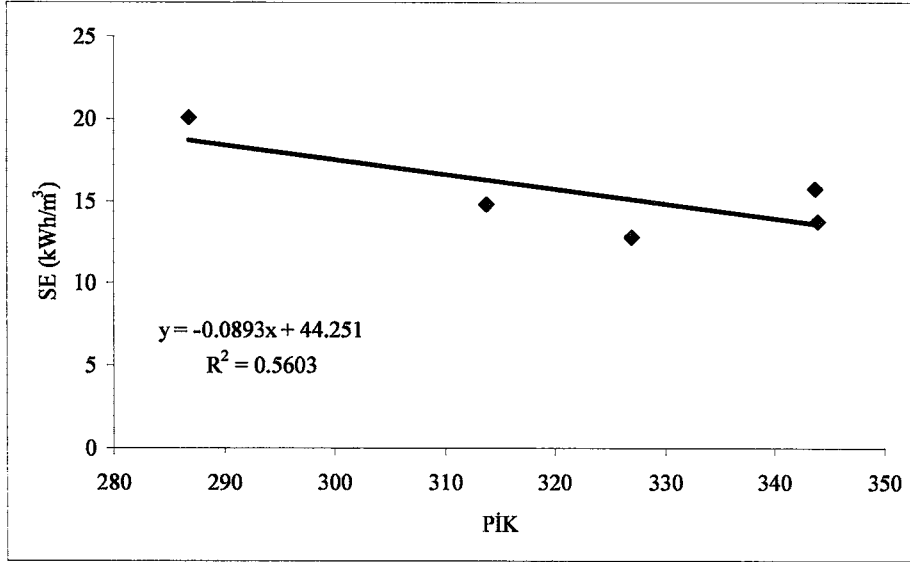
Numune İsmi	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Spesifik Enerji SE(kWh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
ROŞ 2	5	5	20.1	287
	5	10	12.8	327
	5	15	15.7	344
	5	25	13.8	344
	5	yardımsız	14.8	314



Şekil 5.51 Roş 2 d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.52 Roş 2 d=5 mm için spesifik enerji ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.53 Roş 2 d=5 mm için spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasındaki ilişki

5.3.2.2 Kesme deneyi yapılan harsburjit yankayacının elek analizi verileri

Parça boyut dağılımını tesbit etmek amacıyla, Pınarbaşı-Pulpınar Kromit Madeni'nden alınan yankayaç numunelerinin kesme deneyine tabi tutulması ile elde edilen pasaların elek analizleri yapılmış ve Tablo 5.21'deki veriler elde edilmiştir. Her kesme koşulu için yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen veriler ve bunların parça boyut dağılımı grafikleri, EK-C, Tablo C.21 – C.25'teki gibidir. Bu deneyler yapılırken kullanılan elek seti, kromit cevheri için kullanılan setle aynıdır.

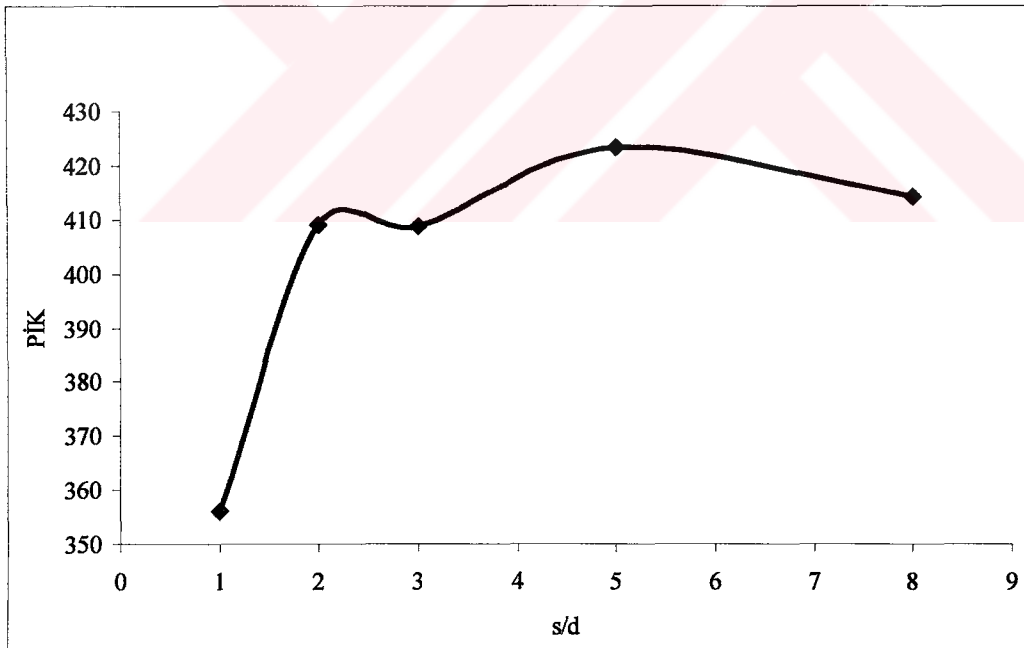
Tablo 5.21 Harsburjit yankayacı elek analiz sonuçları

Elek	s/d	1	2	3	5	8
Açıklığı (mm)	s (mm)	5	10	15	25	Yardımsız
25	Harsburjit d=5 mm Elek üstü (g)	0	0	0	0	0
8		5	38	45	98	56
2		21	36	29	48	42
0,5		6	9	9	17	12
0,125		4	5	8	10	7
Toz		3	4	4	7	4
25	Harsburjit d=9 mm Elek üstü (g)	0	30	25	46	30
8		54	163	166	261	116
2		26	65	45	69	41
0,5		9	20	15	22	14
0,125		6	13	9	13	7
Toz		4	9	5	8	5

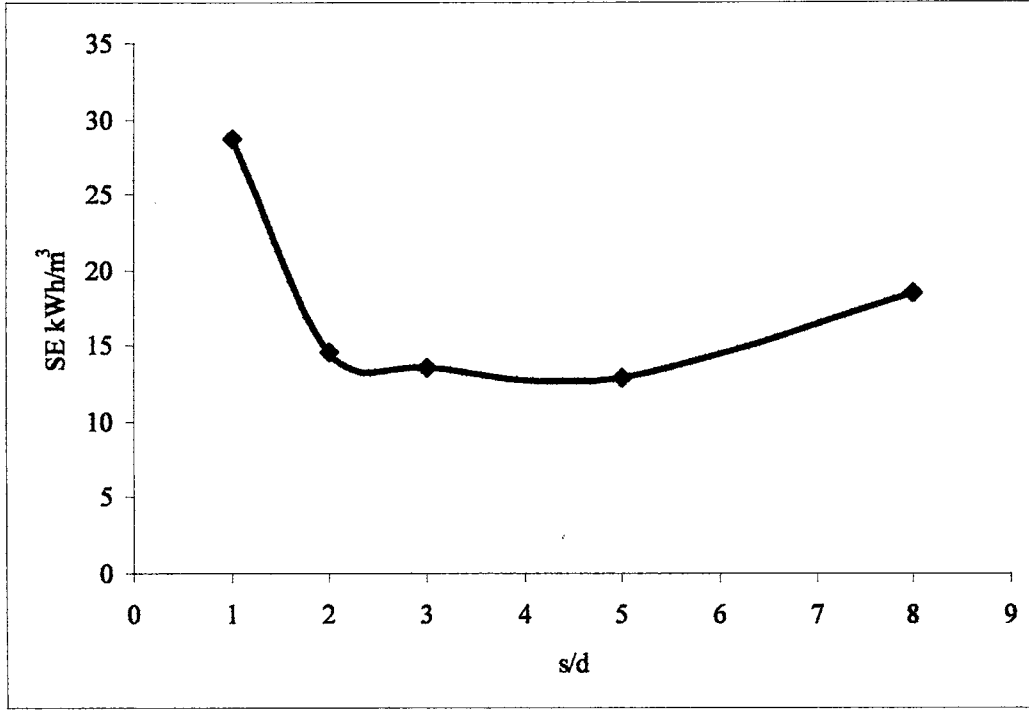
Tablo 5.22, Şekil 5.54 ve 5.55'ten görüleceği üzere, Harsburjit yankayacı $d=5$ mm için, $s/d=3$ ve 5 'de elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur ($SE=13,6$ kWh/m³ için $PİK=409$ ve $SE=12,9$ kWh/m³ için $PİK=423$). SE ise kırık ve çatlaklar aşırı söküme neden olduğundan $s/d=5$ 'de en küçük değerini almıştır. Şekil 5.56'daki SE ile $PİK$ arasındaki korelasyon da yüksektir ($R^2=0,87$). Buradan pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi kestirmek mümkündür.

Tablo 5.22 Harsburjit, $d=5$ mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

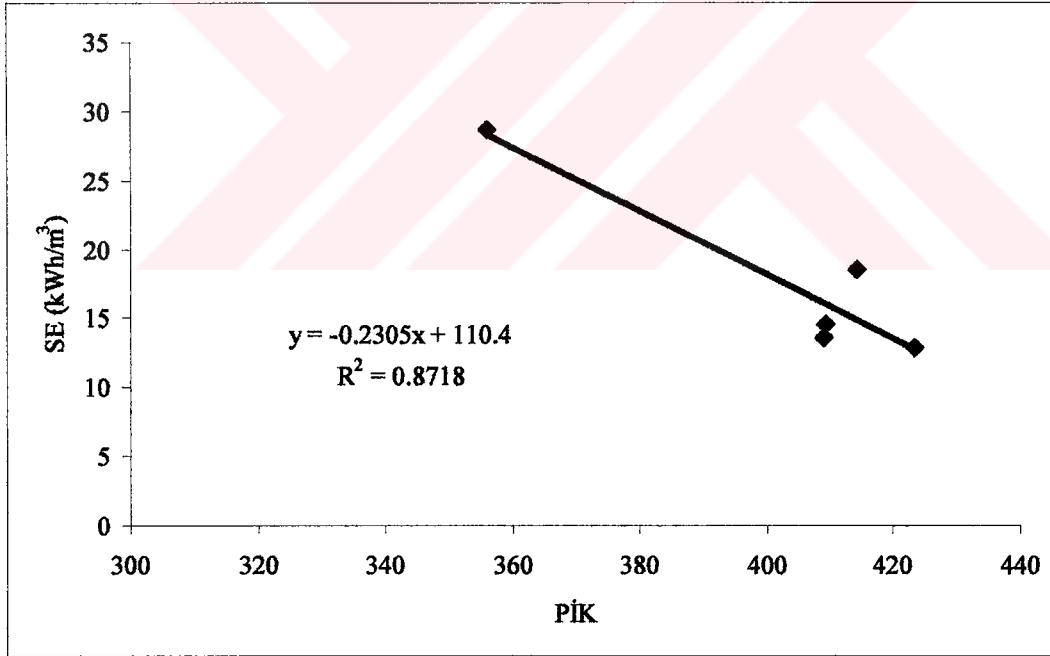
Numune İsmi	Kesme Derinliği s(mm)	Keskilerarası Mesafe d(mm)	Spesifik Enerji SE(kWh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
Harsburjit	5	5	28.7	356
	5	10	14.6	409
	5	15	13.6	409
	5	25	12.9	423
	5	yardımsız	18.6	414



Şekil 5.54 Harsburjit $d=5$ mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.55 Harsburjit d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki



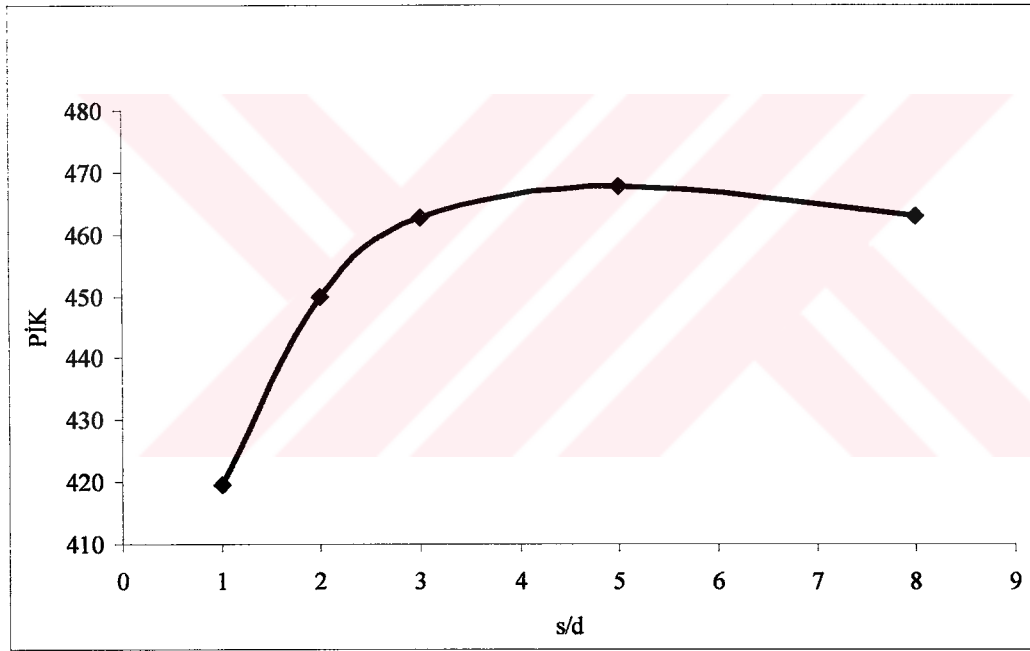
Şekil 5.56 Harsburjit d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki

Tablo 5.23, Şekil 5.57 ve 5.58'den görüleceği üzere, Harsburjit yankayacı d=9 mm için, s/d=3 ve 5'te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=10,1 kWh/m³ için PİK=463 ve SE=8,4 kWh/m³ için PİK=468). SE ise kırık ve çatlaklar aşırı söküme neden olduğundan s/d=5'te en

küçük değerini almıştır. Şekil 5.59'daki SE ile PİK arasındaki korelasyon da yüksektir ($R^2=0,98$). Buradan pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi tahmin etmek mümkündür.

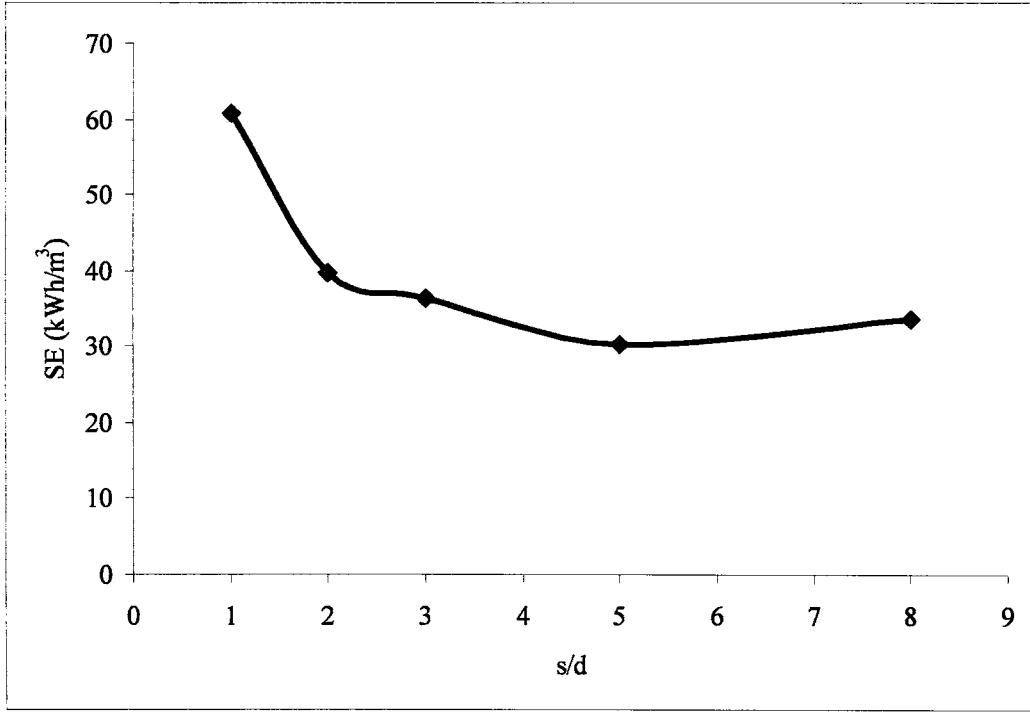
Tablo 5.23 Harsburjıt, d=9 mm, elde edilen spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

Numune İsmi	Kesme Derinliği s(mm)	Keskilerarası Mesafe d(mm)	Spesifik Enerji SE(kWh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
Harsburjıt	9	9	16.9	419
	9	18	11.0	450
	9	27	10.1	463
	9	45	8.4	468
	9	yardımsız	9.4	463

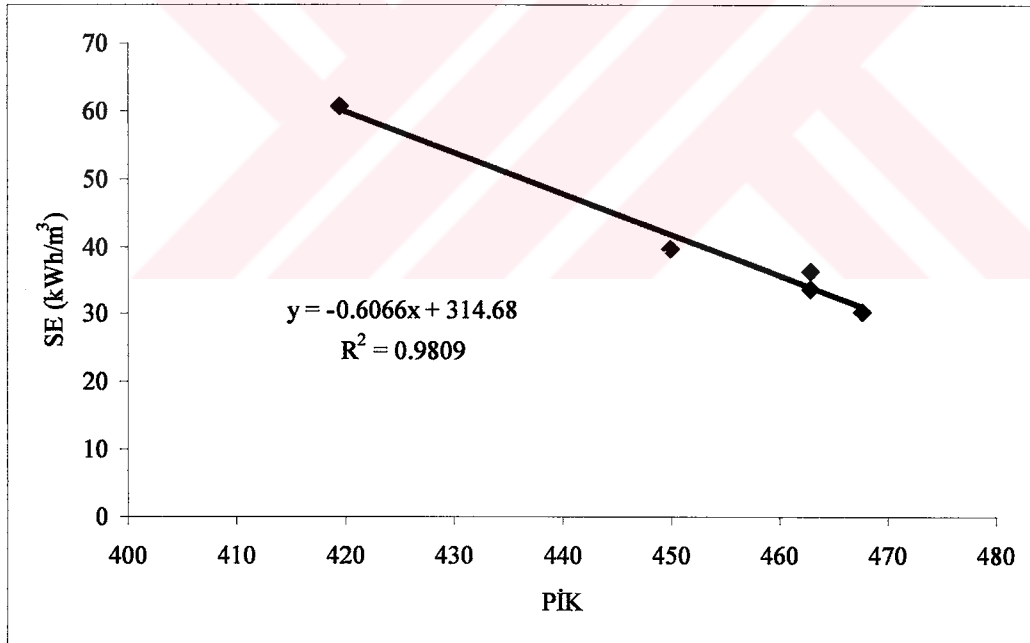


Şekil 5.57 Harsburjıt d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki

Sonuç olarak, d=9 ve 5 mm'de yapılan deneyler karşılaştırıldığında (Tablo 5.22-23); her iki durumda da s/d=5 iken en küçük spesifik enerji ve en büyük pasa irilik katsayısı değerleri bulunmuştur (d=5 mm için SE=12,9 kWh/m³ PİK=423, d=9 mm için SE=8,4 kWh/m³ PİK=468). Bununla beraber, d=9 mm'de daha küçük spesifik enerji (8,4 kWh/m³ < 12,9 kWh/m³) ve daha büyük pasa irilik katsayısı (468 > 423) değerleri bulunduğundan daha verimli bir kesme işlemi yapılmıştır denilebilir.



Şekil 5.58 Harsburjit d=9 mm için s/d ile SE arasındaki ilişki



Şekil 5.59 Harsburjit d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki

5.3.3 Kavak kromit madeni laboratuvar kesme deneylerinin elek analizleri

5.3.3.1 Kesme deneyi yapılan Kavak cevherinin elek analizi verileri

Parça boyut dağılımını tesbit etmek amacıyla, Kavak Kromit Madeni'nden alınan cevher numunesinin kesme deneyine tabi tutulması ile elde edilen pasaların elek analizleri yapılmış ve Tablo 5.24'deki veriler elde edilmiştir. Her kesme koşulu için yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen veriler ve bunların parça boyut dağılımı grafikleri, EK-C, Tablo C.26 – C.35'teki gibidir. Bu deneyler yapılırken Pınarbaşı-Pulpınar Kromit Madeni için yapılan analizlerdeki elek seti kullanılmıştır.

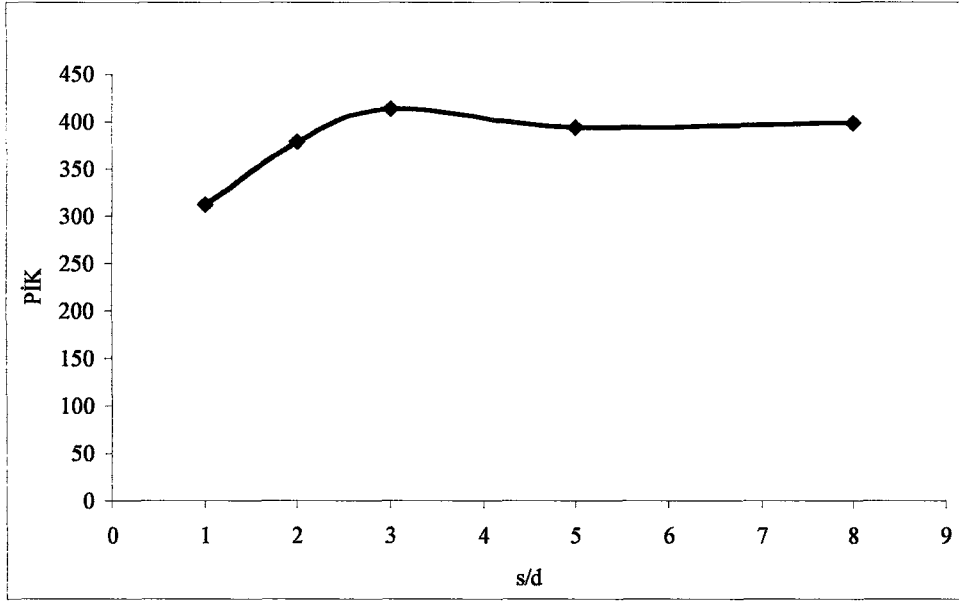
Tablo 5.24 Kavak cevher numunesi elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı	s/d s (mm)	1 5	2 10	3 15	5 25	8 yardımcı
25	Kavak Cevher d=5 mm (g)	0	0	0	0	0
8		1	29	74	50	39
2		20	51	43	44	34
0,5		8	15	14	14	10
0,125		7	12	12	12	8
Toz		5	5	5	6	5
25	Kavak Cevher d=9 mm (g)	0	0	124	134	11
8		44	210	277	301	184
2		48	74	88	100	68
0,5		19	29	35	39	26
0,125		18	23	31	36	24
Toz		12	18	18	21	14

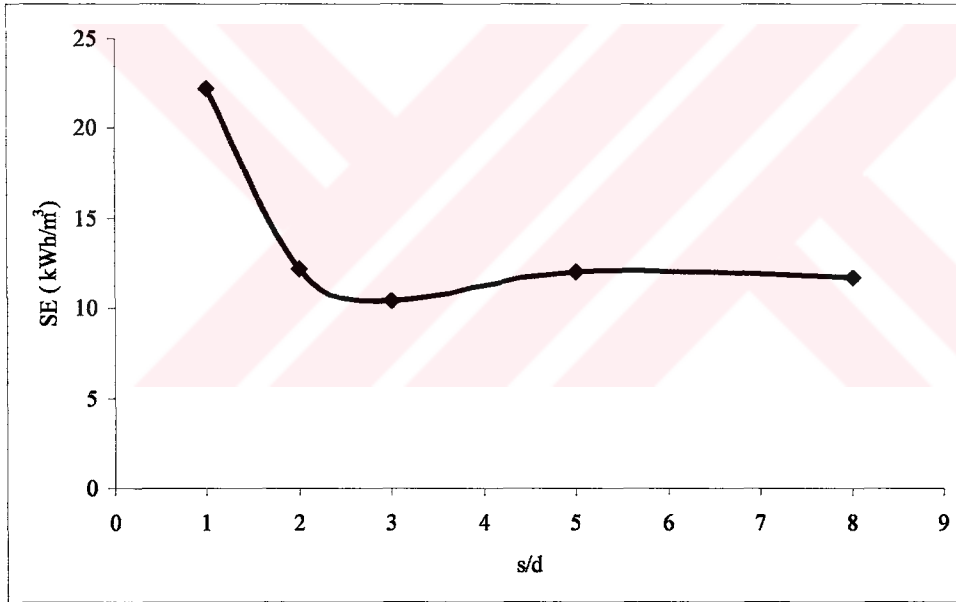
Tablo 5.25, Şekil 5.60 ve 61'den görüleceği üzere, Kavak cevheri d=5 mm için, s/d=3'te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=10.4 kWh/m³ için PİK=414). Şekil 5.62'deki SE ile PİK arasındaki korelasyon da yüksektir (R²=0,96). Buradan pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi kestirilmesi mümkündür.

Tablo 5.25 Kavak cevheri, d=5 mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

Numune İsmi	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Spesifik Enerji SE (kwh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
Kavak Cevher	5	5	22.2	312
	5	10	12.2	379
	5	15	10.4	414
	5	25	12.0	394
	5	Yardımsız	11.7	398



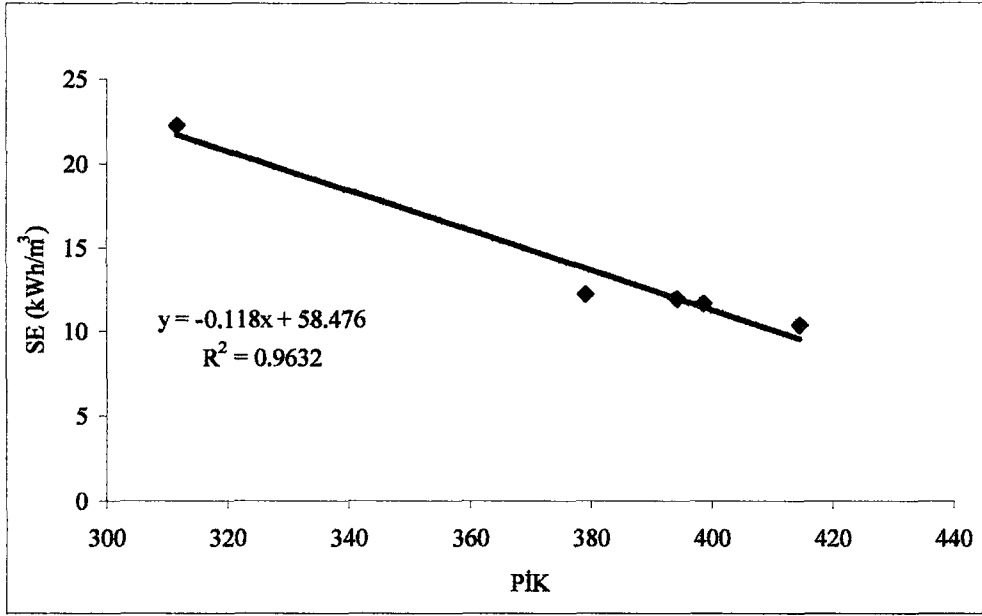
Şekil 5.60 Kavak cevher d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



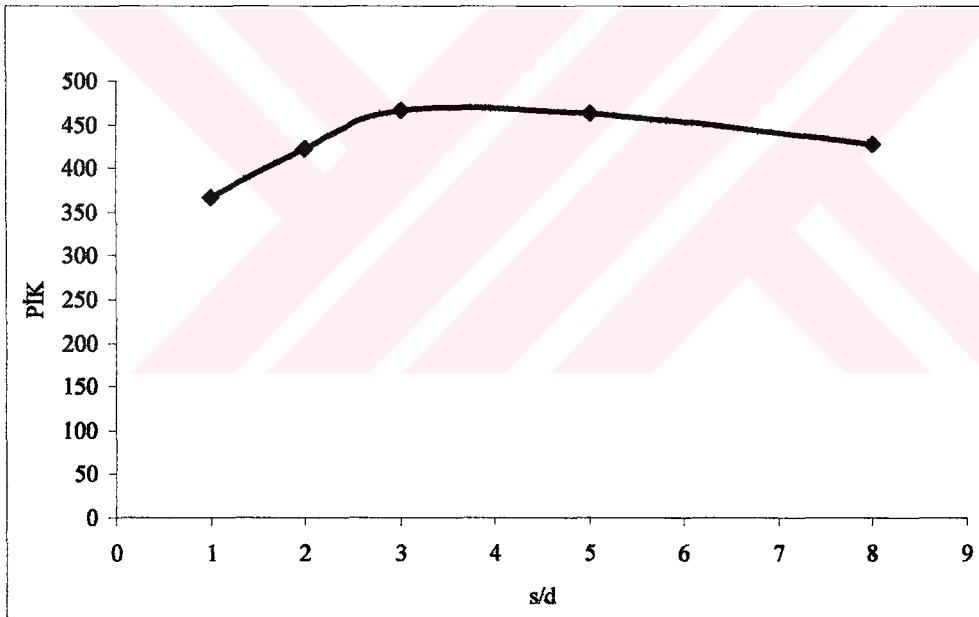
Şekil 5.61 Kavak cevher d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki

Tablo 5.26 Kavak cevheri, d=9 mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

Numune İsmi	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Spesifik Enerji SE (kwh/m³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
Kavak Cevher	9	9	15.6	367
	9	18	6.6	423
	9	27	5.0	465
	9	45	6.3	463
	9	Yardımsız	11.0	427

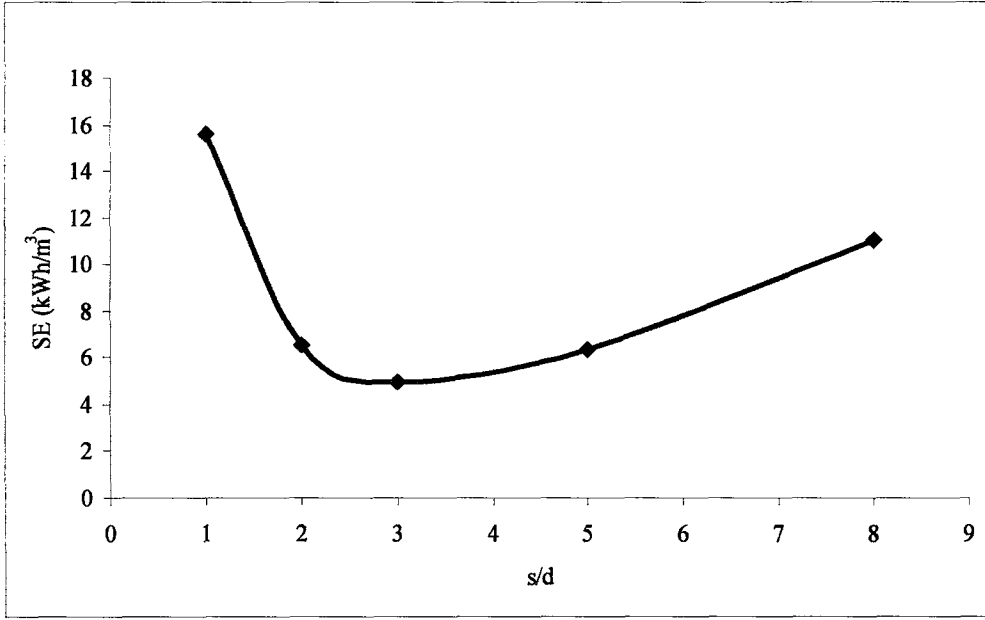


Şekil 5.62 Kavak cevher d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki

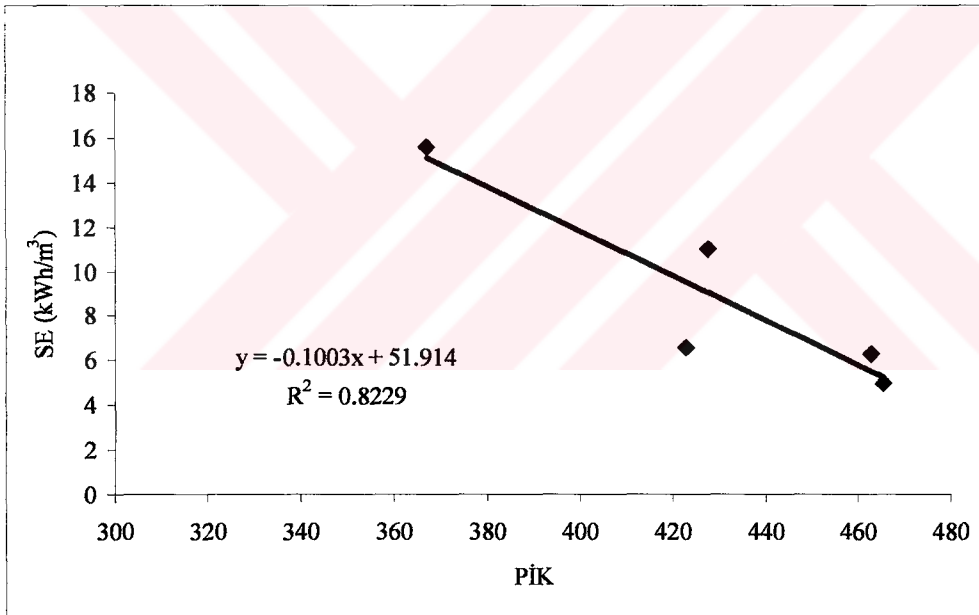


Şekil 5.63 Kavak cevher d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki

Tablo 5.26, Şekil 5.63 ve 64'ten görüleceği üzere, Kavak cevheri d=9 mm için, s/d=3'te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=5,0 kWh/m³ için PİK=465). Şekil 5.65'teki SE ile PİK arasındaki korelasyon da yüksektir ($R^2=0,82$). Buradan pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi tahmin etmek mümkündür.



Şekil 5.64 Kavak cevher d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.65 Kavak cevher d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile SE arasındaki ilişki

5.3.3.2 Kesme deneyi yapılan Kavak serpantin yankayacının elek analizi verileri

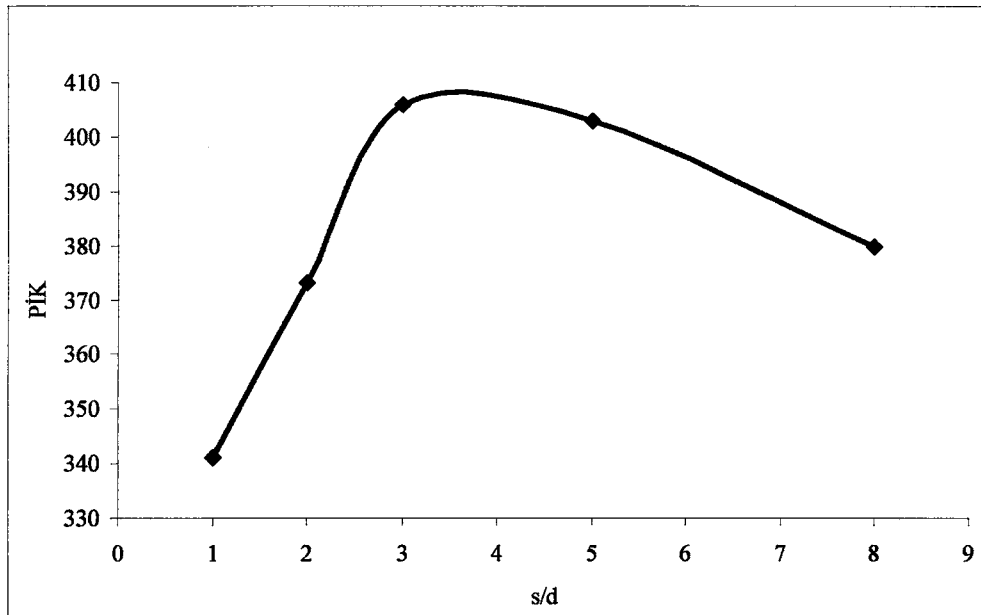
Parça boyut dağılımını tesbit etmek amacıyla, Kavak Krom Madeni'nden alınan Serpantin yankayaç numunesinin kesme deneyine tabi tutulması ile elde edilen pasaların elek analizleri yapılmış ve Tablo 5.27'teki veriler elde edilmiştir. Her kesme koşulu için yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen veriler ve bunların parça boyut dağılımı grafikleri, EK-C, Tablo C.36 – C.45'teki gibidir. Bu deneyler

yapılırken Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeni için yapılan deneylerdeki elek seti kullanılmıştır.

Tablo 5.27 Kavak serpantin yankayaç numunesi elek analizi sonuçları

Elek	s/d	1	2	3	5	8
Açıklığı	s (mm)	5	10	15	25	Yardımsız
25	Kavak Serpantin d=5 mm	0	0	0	0	0
8		3	21	44	49	16
2		22	66	61	63	39
0,5		11	23	17	20	14
0,125		5	9	6	7	5
Toz		3	5	3	4	2
25	Kavak Serpantin d=9 mm	0	0	0	0	0
8		31	132	160	239	134
2		46	86	87	116	99
0,5		14	25	26	35	28
0,125		6	9	10	14	9
Toz		4	5	5	7	5

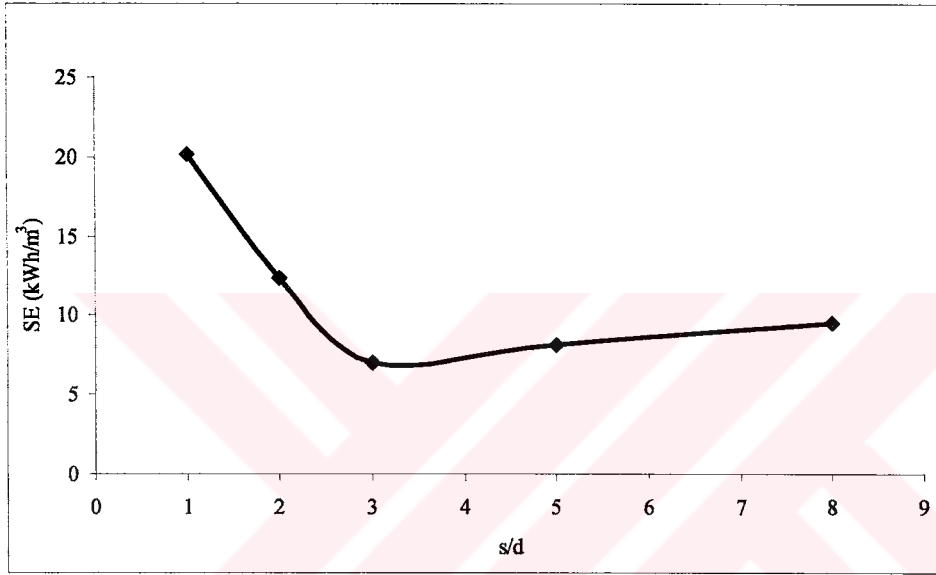
Tablo 5.28, Şekil 5.66 ve 67’den görüleceği üzere, Kavak serpantin yankayacı d=5 mm için, s/d=3’te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur (SE=7,0 kWh/m³ için PİK=406). Şekil 5.68’deki SE ile PİK arasındaki korelasyon da yüksektir (R²=0,93). Buradan pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi kestirmek mümkündür.



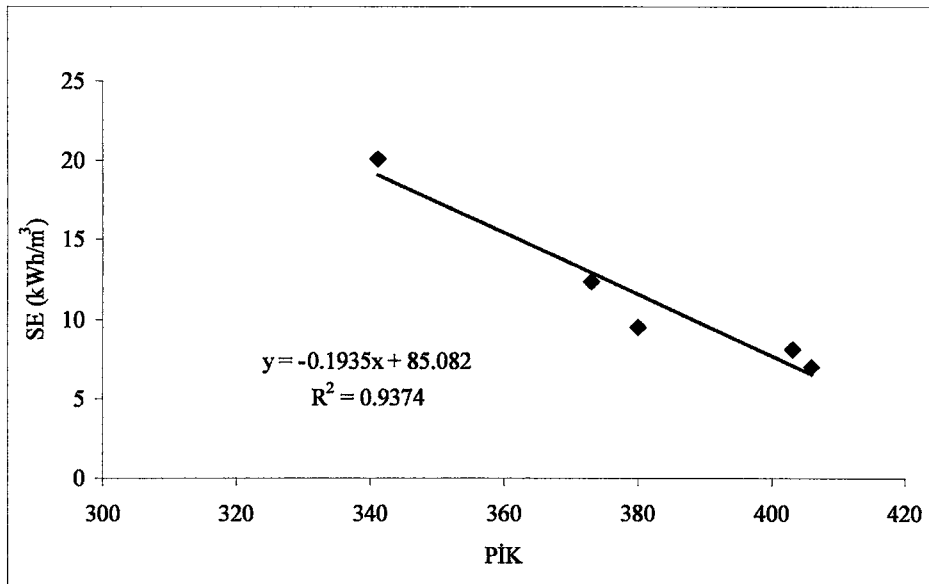
Şekil 5.66 Kavak serpantin yankayacı d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki

Tablo 5.28 Kavak serpantin, d=5 mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

Numune İsmi	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafe s(mm)	Spesifik Enerji SE (kwh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
Kavak Serpantin	5	5	20.2	341
	5	10	12.4	373
	5	15	7.0	406
	5	25	8.1	403
	5	Yardımsız	9.5	380

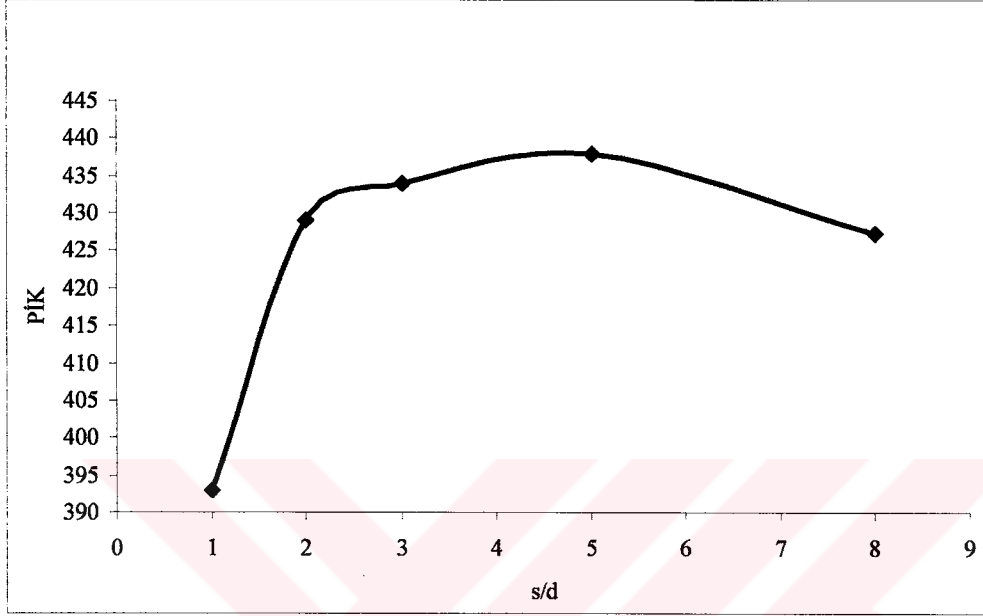


Şekil 5.67 Kavak serpantin yankayacı d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki

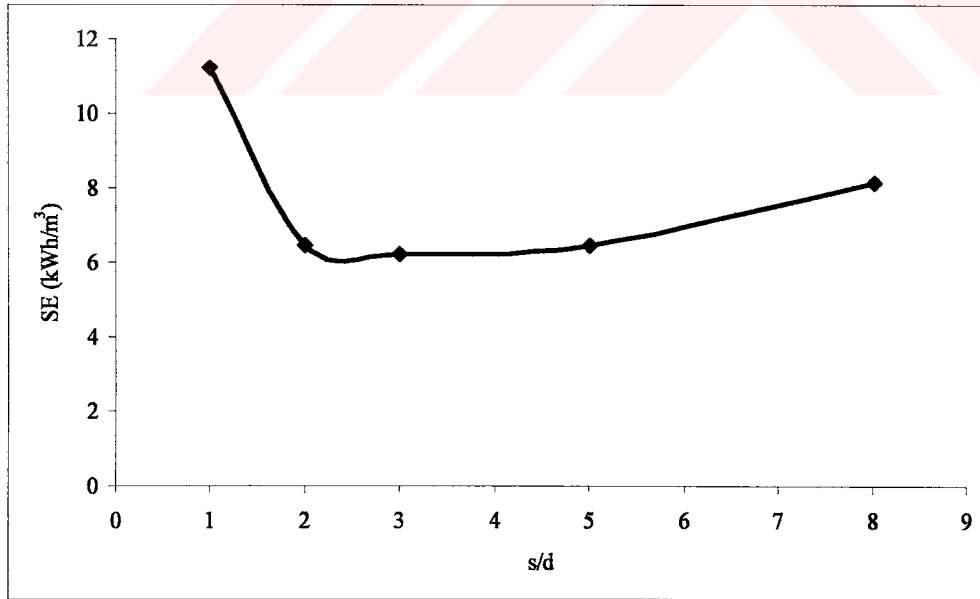


Şekil 5.68 Kavak serpantin yankayacı d=5 mm için SE ile PİK arasındaki ilişki

Tablo 5.29, Şekil 5.69 ve 5.70'ten görüleceği üzere, Kavak serpantin yankayacı $d=9$ mm için, $s/d=3$ 'te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur ($SE=6,2$ kWh/m³ için $PİK=434$). Şekil 5.71'deki SE ile $PİK$ arasındaki korelasyon da yüksektir ($R^2=0,925$). Buradan pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi tahmin etmek mümkündür.



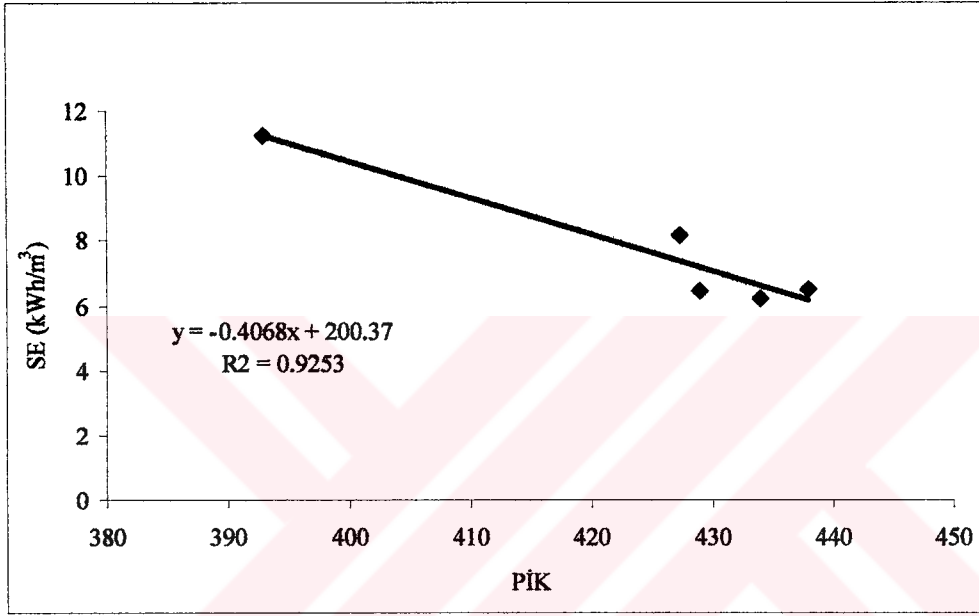
Şekil 5.69 Kavak serpantin $d=9$ mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.70 Kavak serpantin yankayacı $d=9$ mm için SE ile s/d arasındaki ilişki

Tablo 5.29 Kavak serpantin, d=9mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

Numune İsmi	Kesme Derinliği d(mm)	Keskilerarası Mesafesi s(mm)	Spesifik Enerji SE (kwh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
Kavak Serpantin	9	9	11.2	393
	9	18	6.5	429
	9	27	6.2	434
	9	45	6.5	438
	9	Yardımsız	8.1	427



Şekil 5.71 Kavak serpantin yankayacı d=9 mm için SE İle PİK arasındaki ilişki

5.3.4 Kesme deneyi yapılan Beypazarı trona cevherinin elek analizi verileri

Parça boyut dağılımını tesbit etmek amacıyla, Beypazarı Trona Madeni'nden alınan U4 cevher numunesinin kesme deneyine tabi tutulması ile elde edilen pasaların elek analizleri yapılmış ve Tablo 5.30'daki veriler elde edilmiştir. Her kesme koşulu için yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen veriler ve bunların parça boyut dağılımı grafikleri, EK-C, Tablo C.46 – C.55'teki gibidir. Bu deney yapılırken Pınarbaşı-Pulpınar Kromit Madeni için yapılan deneylerdeki elek seti kullanılmıştır.

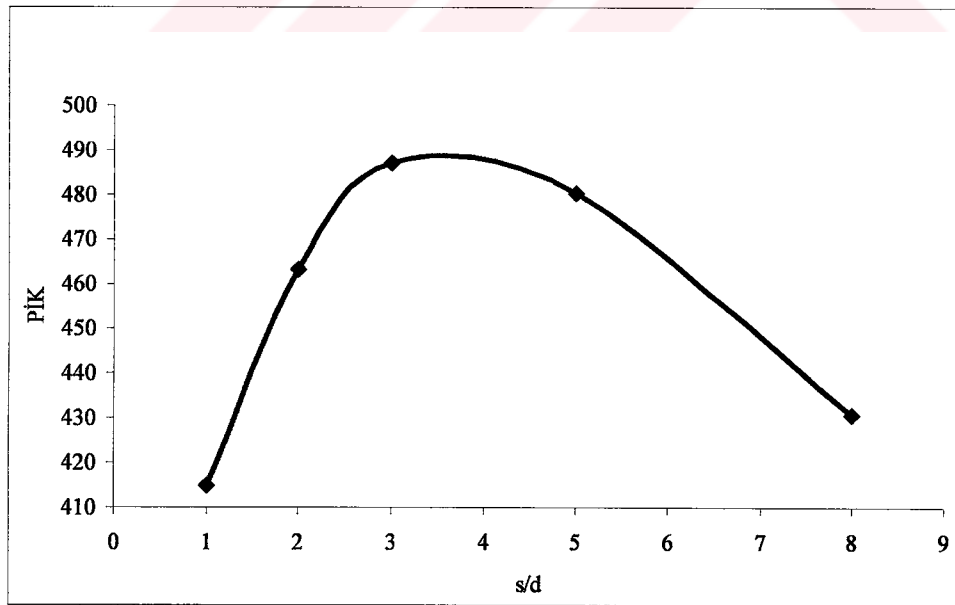
Tablo 5.31, Şekil 5.72 ve 73'ten görüleceği üzere, Trona U4 cevheri d=9 mm için, s/d=3'te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur. (SE=2,7 kWh/m³ için PİK=487). Şekil 5.74'teki SE ile PİK arasındaki korelasyon da yüksektir ($R^2=0,98$). Burada; pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi tahmin etmek mümkündür.

Tablo 5.30 Trona d=5 ve 9 mm elek analizi sonuçları

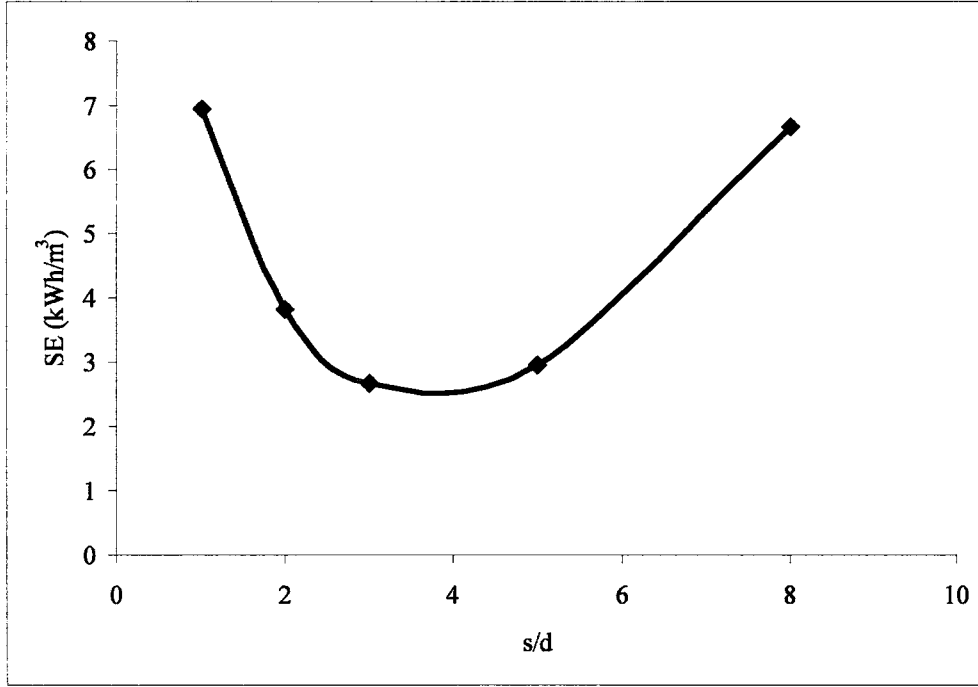
Elek Açıklığı	s/d	1	2	3	5	8
	s (mm)	5	10	15	25	Yardımsız
25	Trona U4 d=5 mm	0	0	0	0	0
8		5	22	39	38	20
2		22	37	38	41	30
0,5		6	8	10	11	7
0,125		5	6	9	9	8
Toz		3	6	5	4	4
25	Trona U4 d=9 mm	8	56	132	151	50
8		63	135	224	218	215
2		41	48	61	68	72
0,5		13	17	22	29	27
0,125		12	16	20	31	36
Toz		6	7	7	9	3

Tablo 5.31 Trona U4 cevheri d=9 mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

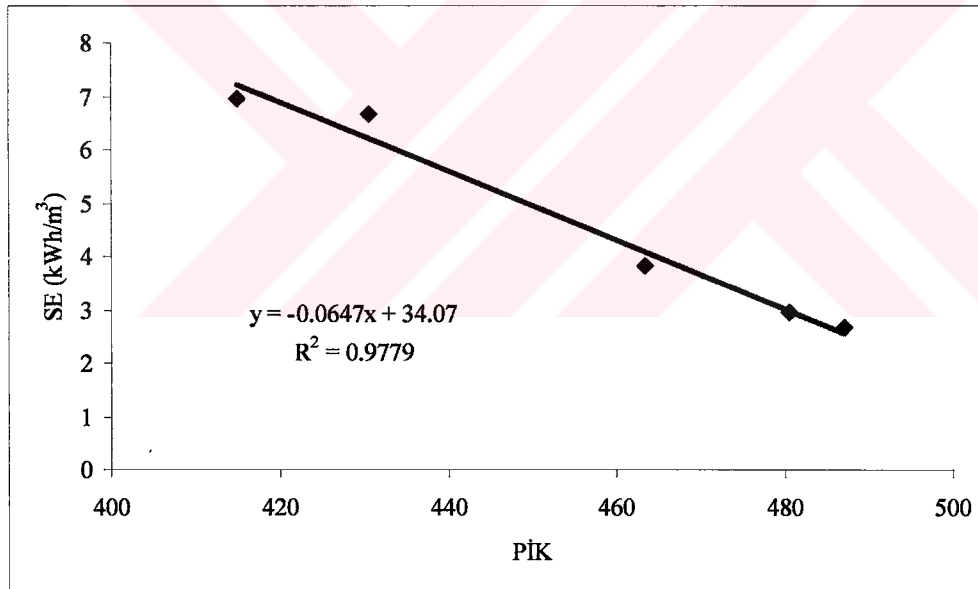
Numune İsmi	Kesme Derinliği (mm)	Keskilerarası Mesafe (mm)	Spesifik Enerji (kWh/m ³)	Pasa İrilik Katsayısı (PİK)
Trona U4	9	9	7.0	415
	9	18	3.8	463
	9	27	2.7	487
	9	45	3.0	480
	9	yardımsız	6.7	430



Şekil 5.72 Trona U4 cevheri d=9 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki

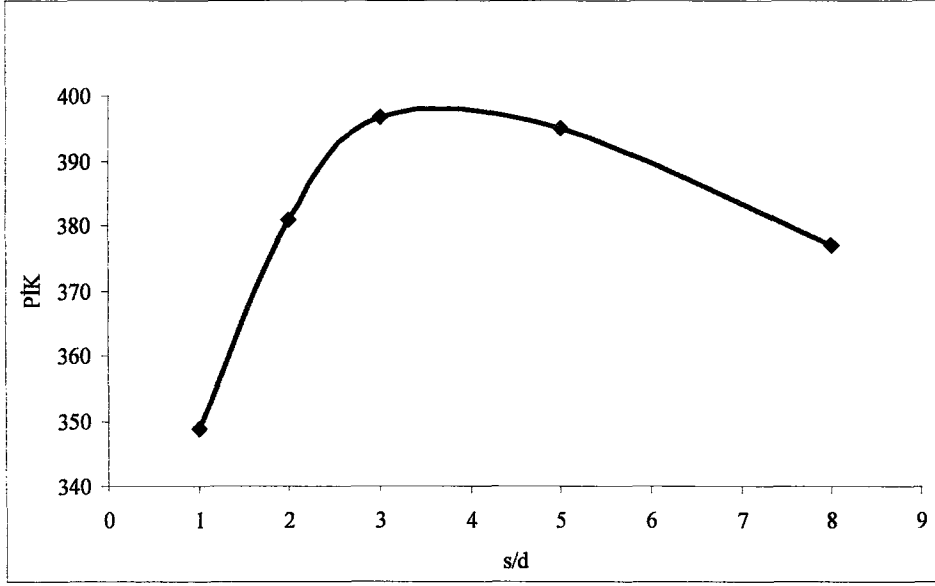


Şekil 5.73 Trona U4 cevheri d=9 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki

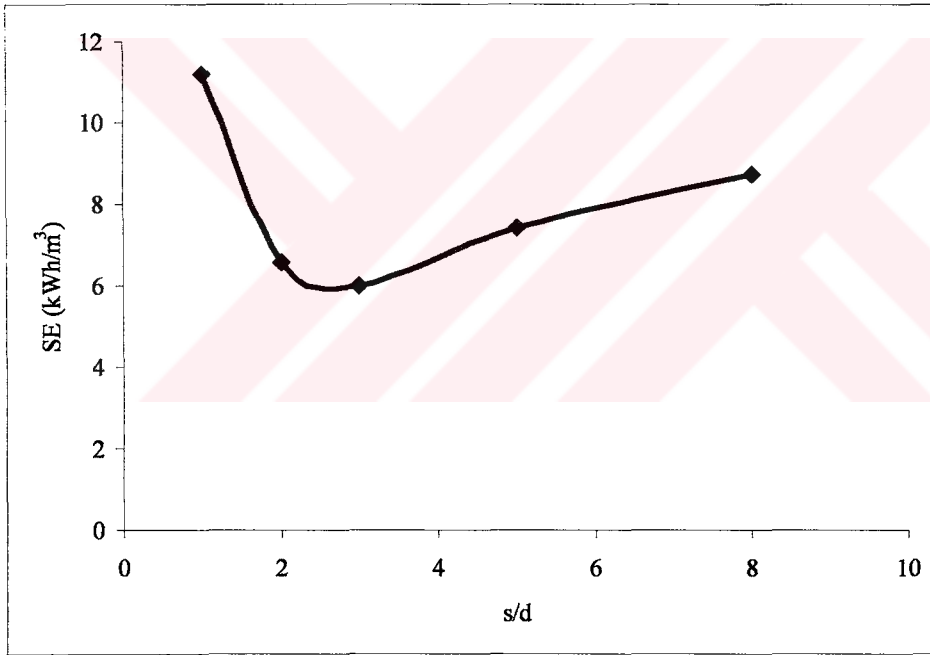


Şekil 5.74 Trona U4 cevheri d=9 mm için SE ile PİK arasındaki ilişki

Tablo 5.32, Şekil 5.75 ve 76'dan görüleceği üzere, Trona U4 cevheri d=5 mm için, s/d=3'te elde edilen spesifik enerji değerinde pasa irilik katsayısı değerleri en yüksek olmuştur. (SE=6,0 kWh/m³ için PİK=397). Şekil 5.77'deki SE ile PİK arasındaki korelasyon da yüksektir (R²=0,83). Buradan pasa irilik katsayısından spesifik enerjiyi tahmin etmek mümkündür.



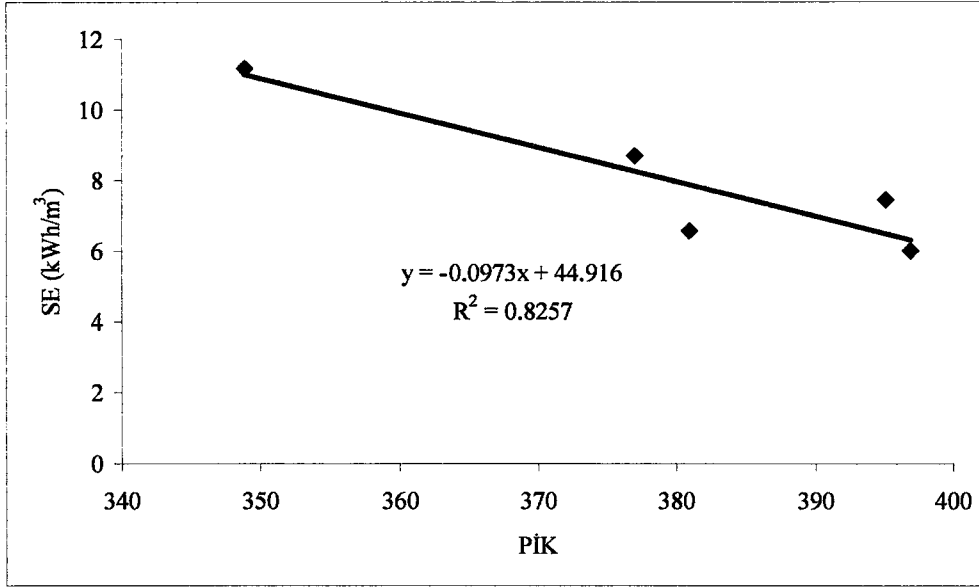
Şekil 5.75 Trona U4 cevheri d=5 mm için pasa irilik katsayısı ile s/d arasındaki ilişki



Şekil 5.76 Trona U4 cevheri d=5 mm için SE ile s/d arasındaki ilişki

Tablo 5.32 Trona U4 cevheri d=5 mm, spesifik enerji ve pasa irilik katsayısı değerleri

Numune İsmi	Kesme Derinliği (mm)	Keskilerarası Mesafe (mm)	Spesifik Enerji (kWh/m³)	Pasa İrilik Katsayısı PİK
Trona U4	5	5	11.2	349
	5	10	6.6	381
	5	15	6.0	397
	5	25	7.4	395
	5	yardımsız	8.7	377



Şekil 5.77 Trona U4 cevheri d=5 mm için SE ile PİK arasındaki ilişki

5.4 Elde Edilen Verilerin Analizi ve Yorumlanması

Bu kısımda bu çalışmanın konusunu oluşturan madenlerden elde edilen veriler göz önüne alınarak analiz ve yorumlama yapılacaktır.

5.4.1 Ele alınan madenler için yapılan testlerden elde edilen verilerin birlikte irdelenmesi

Bu çalışma için üç ayrı maden ziyaret edilmiş, ocakları temsil eden 6 ayrı (roş 1 % 46-50 Cr_2O_3 , roş 2 % 42-46 Cr_2O_3 ve Kavak cevher % 20-25 Cr_2O_3 içerikli, harsburjit ve serpantin yankayaç numuneleri, trona numunesi) kaya bloğu alınarak konik bir keski kullanılan doğrusal kazı setinde kesilebilirlik deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca Çayeli bakır madeni sarı, siyah cevher ve Barit Maden A.Ş. selestit, jips, anhidrit cevheri için daha önce yapılan deneyler de elde edilen datalar da dahil edilip veri bankası genişletilerek analiz yapılmıştır.

İ.T.Ü Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği ve Kazı Mekanizasyonu Laboratuvarları'nda yapılan tam boyutlu kesme, fiziksel ve mekanik özellik testlerinden elde edilen veriler Bölüm 5.2'de verilmişti. Bu kısımda da basınç dayanımlarına bakıldığında Bieniawski'ye göre (1989) [126] orta sert ve sert kayaç grubuna giren bu kayaçların kazısından elde edilen verilerin birlikte analiz edilmesi ile oluşturulan yaklaşımlar ele alınacaktır.

5.4.1.1 Üç ayrı tenöre sahip krom cevherinin kesme deney sonuçlarının analizi

Bu kısımda bir kayaç içerisindeki krom tenörü arttıkça kazılabilirlik açısından ne gibi değişiklikler gösterdiği irdelenmiştir.

Roş 1 % 46-50 Cr_2O_3 , roş 2 % 42-46 Cr_2O_3 ve Kavak cevher % 20-25 Cr_2O_3 içeriklidir. Tenör ile basınç dayanımı, çekme dayanımı gibi kaya mekaniği parametreleri, SE ve kesme kuvvetleri gibi kazı mekaniği parametreleri arasında herhangi bir doğrusal ilişki bulunamamıştır. Ancak pasa irilik katsayısı (PİK) ile kromit tenörleri arasında kuvvetli bir ters orantılı-lineer ilişki görülmektedir (Tablo 5.33) ve (Şekil 5.78). Buradan bir kayaçta kromit yüzdesi arttıkça ufalanma özelliğinin arttığı; bunun da pasa irilik katsayısının düşmesine yol açtığı yargısına varılabilir.

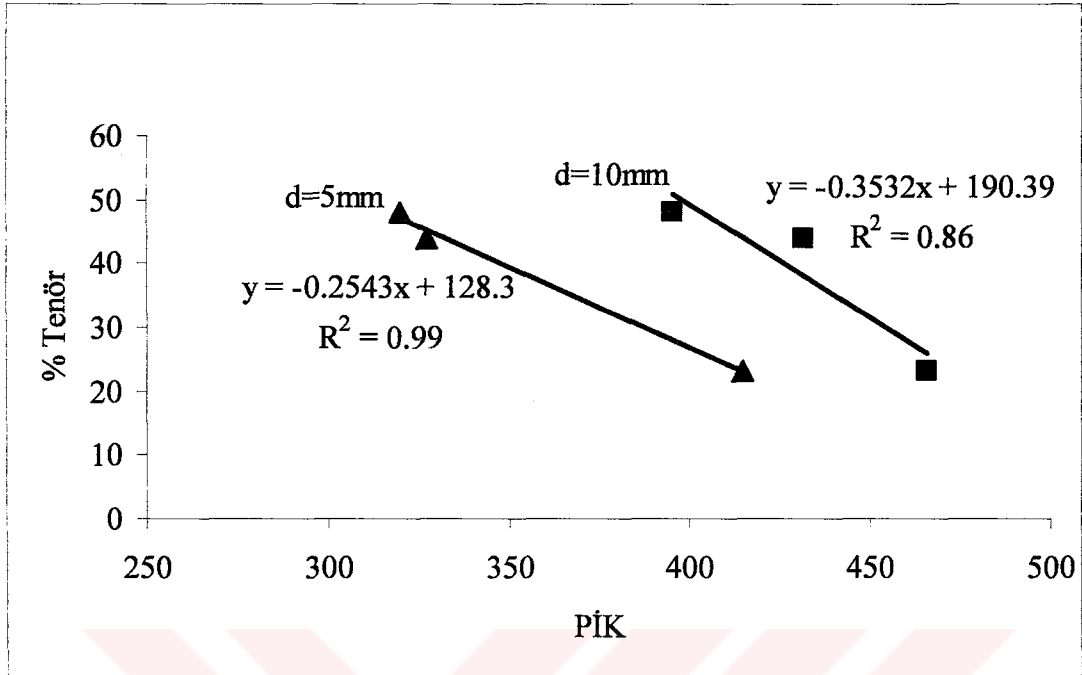
+25 mm'den büyük yüksek tenörlü kromit cevherleri daha yüksek fiyatlarla satılabilmektedir (Bölüm 3). Bu yüzden yüksek tenörlü bir kromit cevheri içeren kaya zonunun kollu bir makine ile kazısı düşünülüyorsa, bu fazla dağılma özelliği gözönünde bulundurularak, kesici kafadaki keskiler arası mesafe/kesme derinliği arasındaki oranın optimum olarak ayarlanması gerekmektedir. Bununla beraber kırma esasına göre çalışan hidrolik kırıcıların (jack hammer) kullanılması ile daha verimli kazı gerçekleştirileceği düşünülebilir.

Tablo 5.33 Kromit madenleri kaya ve kazı mekaniği parametreleri ile % tenör değerleri

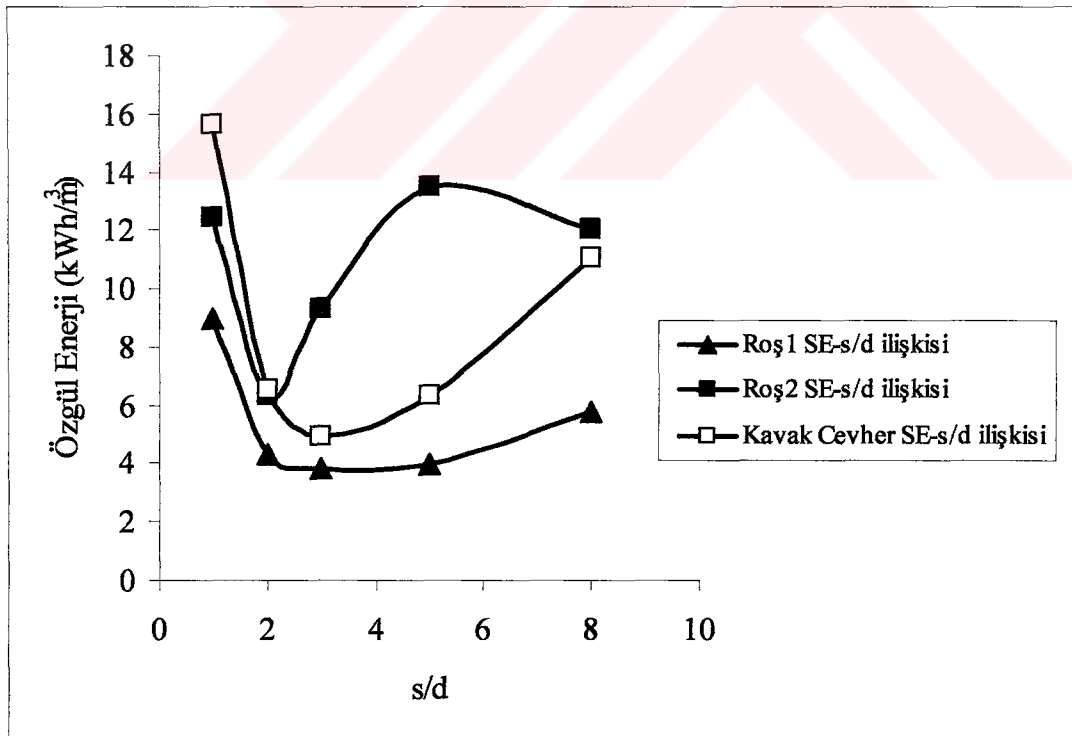
Cevher	Roş 1	Roş 2	Kavak Cev.
UCS (MPa)	32.2	46.9	46.5
BTS (MPa)	3.7	4.5	3.8
$\text{UCS} \times \text{BTS} (\text{MPa})^2$	120.1	209.6	175.1
PİK (d=5 mm)	320.0	326.9	414.4
$\text{SE}_{\text{opt}} \text{ kWh/m}^3$ (d=5 mm)	9.3	12.8	10.4
PİK (d=10 mm)	395.0	431.1	465.4
$\text{SE}_{\text{opt}} \text{ kWh/m}^3$ (d=10 mm)	3.9	6.4	5.0
Ortalama Tenör %	48.0	44.0	23.0
$\text{SE}_{\text{yard}} \text{ kWh/m}^3$ (d=5 mm)	11.1	14.8	11.7
$\text{SE}_{\text{yard}} \text{ kWh/m}^3$ (d=10 mm)	5.8	12.0	11.0

Tam boyutlu kazı setinde üç ayrı tenöre sahip cevher kayaçları üzerinde yapılan kesilebilirlik deneyleri sonucunda, ilgili kayaçları kesmek için gerekli en az enerji miktarını veren keskiler arası mesafe/kesme derinliği (s/d) değerleri, Kavak cevher

ve Pınarbaşı-Pulpınar roş1 numunesinde “3” iken, roş 2 numunesinde “2” olarak ölçülmüştür (Şekil 5.79).



Şekil 5.78 Pasa irilik katsayısı ile kromit tenörü arasındaki ilişki

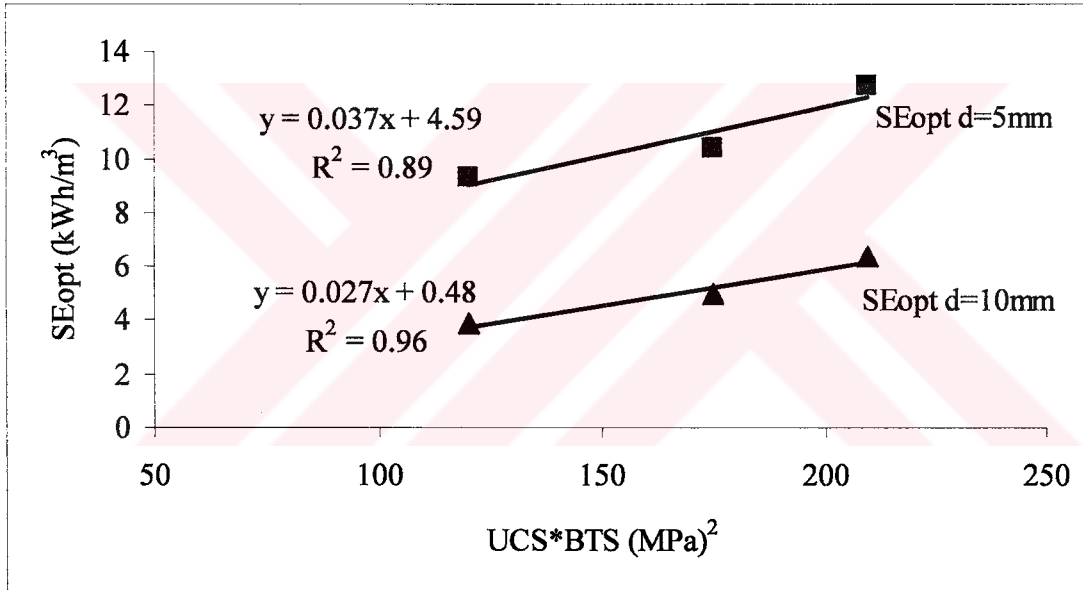


Şekil 5.79 Roş 1, roş 2 ve Kavak cevher numuneleri SE ve s/d değerleri arasındaki ilişki

Şekil 5.79'dan görüleceği üzere % 46-50 cevher içeriği olan ve daha düşük basınç ve çekme dayanımı değerlerine sahip roş 1 cevher kayası daha düşük enerji harcanarak kesilebilmektedir (Tablo 5.33 ve Şekil 5.79).

Geçmişte yapılan bazı çalışmalar, kazılan kayacın kırılabilirliğinin basınç dayanımı ile çekme dayanımının çarpımı ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur [38]. Altındağ, 2000 senesinde, kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasında oluşan doğrusal ilişki grafiğinin altında kalan alanın kayaç kırılabilirliğinin bir ifadesi olarak kullanılabildiğini ifade etmiştir. Bu alan bir dik üçgen alanı olduğundan ($UCS \times BTS / 2$) olarak denkleştirilmiştir [127].

Bu yüzden bu çalışmada da spesifik enerji ile basınç dayanımı $\times$ çekme dayanımı ($UCS \times BTS$) arasındaki ilişki analiz edilmiştir.



Şekil 5.80 Üç ayrı kromit cevherinin $UCS \times BTS$ ile SE_{opt} değerleri arasındaki ilişki

Yapılan regresyon analizleri sonucunda üç ayrı kromit cevher kayası numunesi için basınç dayanımı $\times$ çekme dayanımı ile “optimum” spesifik enerjiler (SE_{opt}) arasında lineer-doğru orantılı ve yüksek korelasyonlu (SE_{opt} d=5 mm için $R^2 = \% 89$, SE_{opt} d=10 mm için $R^2 = \% 96$) bir ilişki olduğu tespit edilmiş (Şekil 5.80 ve Tablo 5.33) ve eşitlik (5.1) ve (5.2) ile ifade edilmiştir. Bu da, eğer cevher içerikleri farklı olan krom numunelerinin basınç ve çekme dayanımı biliniyorsa bunlar için harcanan optimum spesifik enerji miktarının kestirilebileceği anlamına gelir. Ancak bu tahminlerin şimdilik kabaca yapılan kestirimler olduğu, sadece kaya mekaniği (UCS, BTS) ve kazı mekaniği parametreleri (SE, Q) arasındaki ilişki hakkında fikir

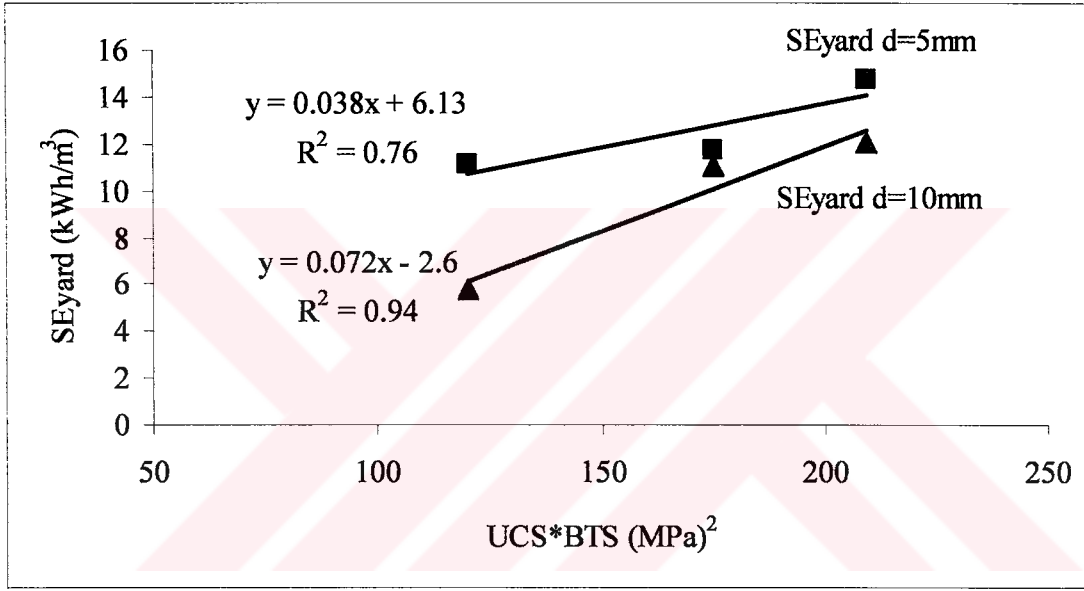
vermek için bulunan yaklaşımlar olduğu unutulmamalıdır. Daha geniş bir veri tabanı ile (değişik tenörlü kromit cevher kayaçlarının kesilmesi ile) daha güvenilir ve gerçekçi sonuçlar elde edileceği açıktır.

d=5 mm için;

$$SE_{opt} = 0,037(UCS \times BTS) + 4,59 \quad (5.1)$$

d=10 mm için;

$$SE_{opt} = 0,027(UCS \times BTS) + 0,48 \quad (5.2)$$



Şekil 5.81 Kromit cevheri için UCS×BTS ile SE_{yard} değerleri arasındaki ilişki

Tam boyutlu olarak, üç ayrı kromit cevher kayası için “yardımsız” durumda yapılan kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar da optimum şartlarda elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermekte ve varılan yargıları desteklemektedir. Yapılan regresyon analizleri sonucunda kromit cevher kayası numuneleri için (UCS×BTS) ile yardımsız spesifik enerji (SE_{yard}) değerleri arasında lineer-doğru orantılı ve yüksek korelasyonlu (SE_{yard} d=5 mm için R²=% 76, SE_{yard} d=10 mm için R²=% 94) bir ilişki olduğu tespit edilmiş (Şekil 5.81 ve Tablo 5.33) ve eşitlik (5.3) ve (5.4) ile ifade edilmişlerdir.

d=5 mm için;

$$SE_{yard} = 0,038(UCS \times BTS) + 6,13 \quad (5.3)$$

d=10 mm için;

$$SE_{yard} = 0,072(UCS \times BTS) - 2,6 \quad (5.4)$$

5.4.1.2 Krom, trona, selestit, bakır, harsburjit, serpantin, jips ve anhidrit numunelerinin kesme deney sonuçlarının analizi

Basınç dayanımı değerleri gözönüne alındığında orta sert kayaç sınıfına giren krom cevher numunelerinden daha düşük basınç ve çekme dayanımı değerlerine sahip trona cevher kayasının kesilebilirlik verileri de dahil edilerek yapılan bir regresyon analizinde basınç dayanımı×çekme dayanımı ($UCS \times BTS$) ile “optimum” spesifik enerjiler (SE_{opt}) arasında doğru orantılı ve çok daha yüksek korelasyonlu (SE_{opt} d=5 mm için $R^2=96\%$, SE_{opt} d=10 mm için $R^2=98\%$) bir ilişki olduğu tespit edilmiş (Şekil 5.82 ve Tablo 5.34) ve eşitlik (5.5) ve (5.6) ile ifade edilmişlerdir.

Tablo 5.34 Ele alınan madenlerin kaya ve kazı mekaniği parametreleri ile % tenör değerleri

Cevher	UCS (MPa)	BTS (MPa)	$UCS \times BTS$ (MPa) ²	PIK		SE_{opt} (kWh/m ³)		Ort. Tenör %
				d=5 mm	d=10 mm	d=5 mm	d=10 mm	
ROŞ 1	32	3,7	118,4	320	395	9,3	3,9	48,0
ROŞ 2	47	4,5	211,5	327	431	12,8	6,4	44,0
Kavak Cv.	46	3,7	170,2	414	465	10,4	5,0	23,0
Harsburjit	58	5,5	319	423	467	12,7	8,4	0,0
Serpantin	38	5,7	216,6	406	434	7,0	6,2	0,0
Trona	30	2,2	66	397	487	6,0	2,7	*
Bakır Cv. (Sarı)	33	3,4	112,2	-	-	-	3,7	4,1
Bakır Cv. (Siyah)	41	5,7	233,7	-	-	-	9,2	4,1
Anhidrit	82	5,5	319	-	-	-	d=12 mm 3,8	
Selestit	29	4,0	216,6	-	-	-	3,0	
Jips	33	3,0	66	-	-	-	3,4	

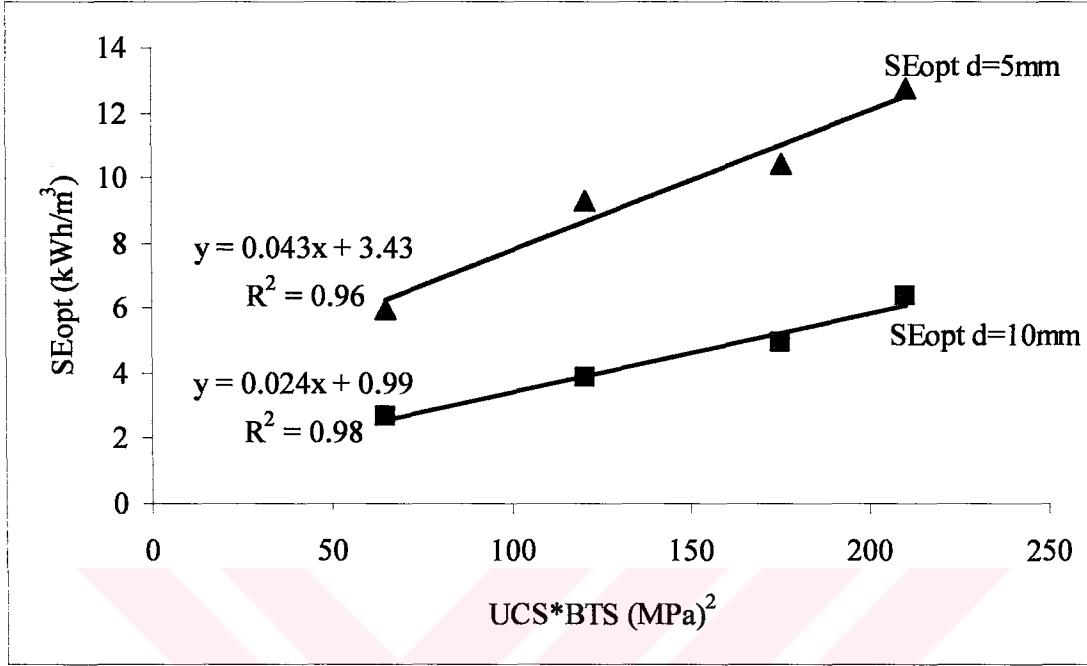
*Belli Değil

d=5 mm için

$$SE_{opt} = 0,043 (UCS \times BTS) + 3,43 \quad (5.5)$$

d=10 mm için

$$SE_{opt} = 0,024(UCS \times BTS) + 0,99 \quad (5.6)$$



Şekil 5.82 Kromit ve trona cevheri için UCS×BTS ile SE_{opt} değerleri arasındaki ilişki

Kromit cevher kayalarına trona cevherinin kesilebilirlik verileri de dahil edilerek yapılan bir regresyon analizinde basınç dayanımı×çekme dayanımı (UCS×BTS) ile “yardımsız” durumdaki spesifik enerjiler (SE_{yard}) arasında lineer-doğru orantılı ve yüksek korelasyonlu (SE_{yard} d=5 mm için R²=% 90, SE_{yard} d=10 mm için R²=% 78) bir ilişki olduğu tespit edilmiş (Şekil 5.83 ve Tablo 5.34) ve eşitlik (5.7) ve (5.8) ile ifade edilmişlerdir.

d=5 mm için;

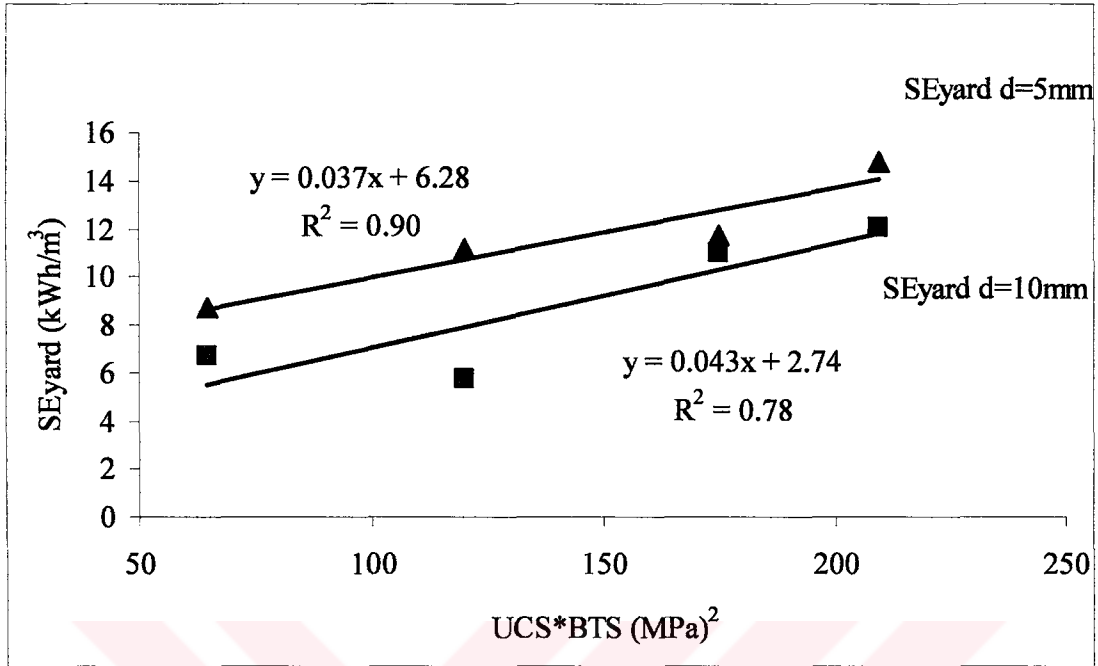
$$SE_{yard} = 0,037(UCS \times BTS) + 6,28 \quad (5.7)$$

d=10 mm için;

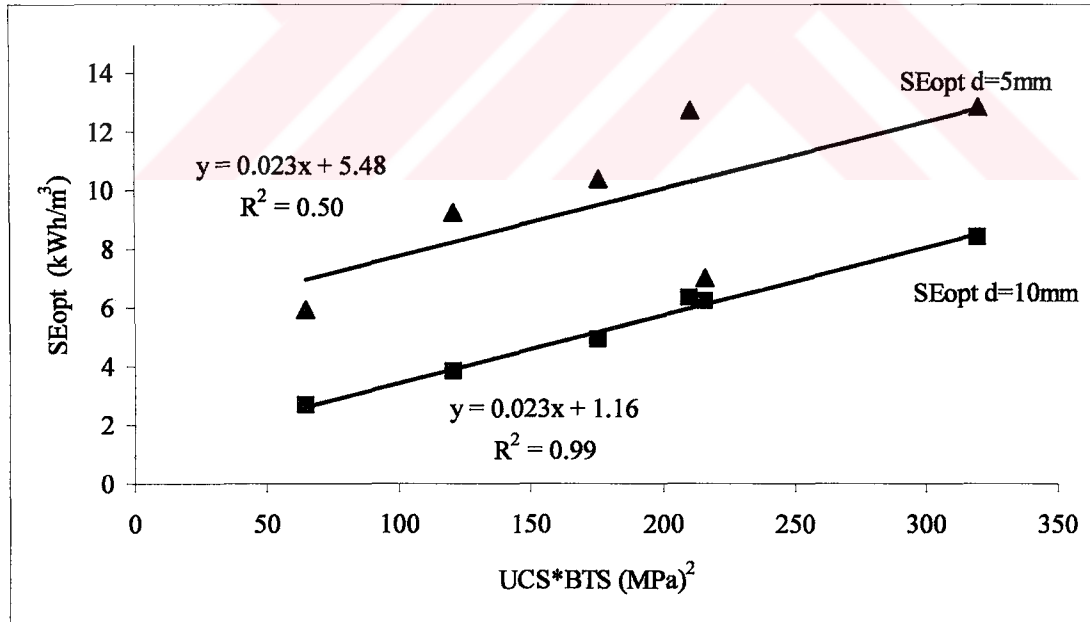
$$SE_{yard} = 0,043(UCS \times BTS) + 2,74 \quad (5.8)$$

Sonuç olarak kromit ve trona gibi orta sert kayaların kaya mekaniği parametreleri olan basınç dayanımı ve çekme dayanımı ile bir kazı mekaniği parametresi olan

spesifik enerji doğru orantılı ve doğrusal bir ilişki gösterdiğinden kabaca tahmin edilebilir.



Şekil 5.83 Kromit ve trona cevheri için UCS×BTS ile SE_{yard} değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.84 Üç ayrı kromit ve bir trona cevher kayaları ile harsburjıt ve serpantin yankayaçları için SE_{opt} ile UCS×BTS arasındaki ilişki

Üç ayrı kromit ve bir trona cevher kayacı ile harsburjıt ve serpantin yankayaçları için yapılan kazı mekaniği deney verileri birarada düşünülerek yapılan analizlerde d=10 mm'de elde edilen verilerde SE_{opt} değerlerinin basınç dayanımı×çekme

dayanımı (UCS×BTS) ile oldukça yüksek korelasyonlu ve doğru orantılı olarak değiştiği (SE_{opt} d=10 mm için $R^2=0.99$); d=5 mm’de elde edilen verilerle yapılan korelasyonun ise düşük çıktığı dolayısı ile herhangi bir lineer ilişki bulunmadığı görülmüştür (SE_{opt} d=5 mm için $R^2=0.50$) (Şekil 5.84 ve Tablo 5.34).

Buradan düşük basınç dayanımına sahip üç ayrı kromit ve bir Trona cevher kayaçları ile Harsburjit ve Serpantin yankayaçlarında basınç ve çekme dayanımının çarpımı, d=10 mm kesme derinliğinde elde edilen optimum spesifik enerji değerleri arasında lineer ve doğru orantılı bir ilişki olduğu yargısına varılabilir (5.9).

d=10 mm için;

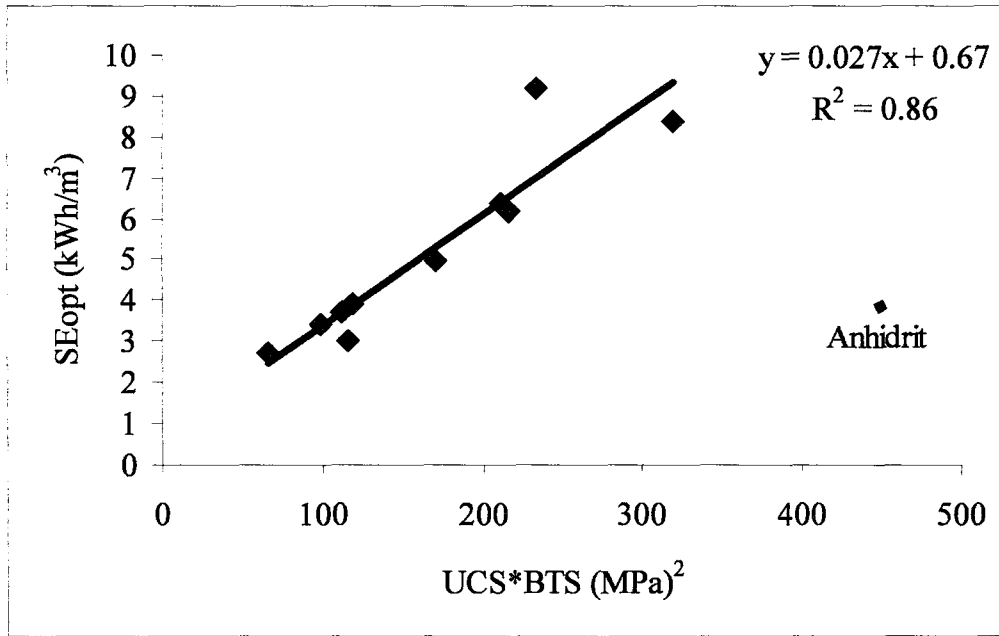
$$SE_{opt}=0,023(UCS \times BTS) + 1,16 \quad (5.9)$$

Düşük basınç dayanımlarına sahip üç ayrı kromit, trona, iki bakır (sarı ve siyah), selestit cevher kayacı ile harsburjit, serpantin, anhidrit ve jips yankayaçları için yapılan kazı mekaniği deney verileri birarada düşünülerek yapılan analizlerde, d=10 mm’de elde edilen verilerde SE_{opt} değerlerinin basınç dayanımı×çekme dayanımı (UCS×BTS) ile yüksek korelasyonlu ve doğru orantılı olarak değiştiği (SE_{opt} d=10 mm için $R^2=0.86$); (Şekil 5.85 ve Tablo 5.34) görülmüştür. Anhidrit değişik yapısal özelliklere sahiptir. Daha önceden de tespit edildiği gibi, beklenenden çok daha değişik kesme deney sonuçları elde edilmiştir [128]. Bu nedenle regresyon analizine dahil edilmemiştir.

Buradan (Tablo 5.34’de 29-58 MPa) “orta sert” cevher ve yankayaçlarında, basınç ve çekme dayanımının çarpımı, d=10 mm kesme derinliğinde elde edilen optimum spesifik enerji değerleri ile lineer ve doğru orantılı olarak değişir yargısına varılabilir (Şekil 5.85). Bu tip orta sert cevher ve yankayaçların kazısında sarfedilecek enerji SE, bu kayaçların UCS×BTS çarpımı ile kestirilebilir. Bu da (5.10) eşitliği ile ifade edilmiştir.

d=10 mm için;

$$SE_{opt} = 0,027 (UCS \times BTS) + 0,67 \quad (5.10)$$



Şekil 5.85 Kesme deneyi yapılan tüm numuneler için UCS×BTS ile SE arasındaki ilişki

5.4.1.3 Kesme deneyleri sonucunda elde edilen pasaların analizi

Tam boyutlu deney seti ile üç ayrı kromit numunesi üzerinde d=5 mm ve 10 mm derinlikte s=1, 2, 3, 5 ve yardımsız durumda yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen kazı enerjisi (SE) ile elek analizi yapılması (+25, 8, 2, 0.5, 0.125 mm elekler) ile elde edilen pasa irilik katsayısı (PİK) değerleri arasında oldukça yüksek korelasyonlu lineer ve ters orantılı ilişkiler tespit edilmiştir (Şekil 5.87).

Her kromit cevher kayası için d=5 mm ve 10 mm’de yapılan deneylerin sonuçları beraberce irdelendiğinde SE ile PİK arasında oldukça yüksek korelasyonlu lineer ve ters orantılı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.86 ve eşitlik 5.11, 5.12, 5.13).

d=5-10 mm’de roş 1 için ($R^2=0,91$);

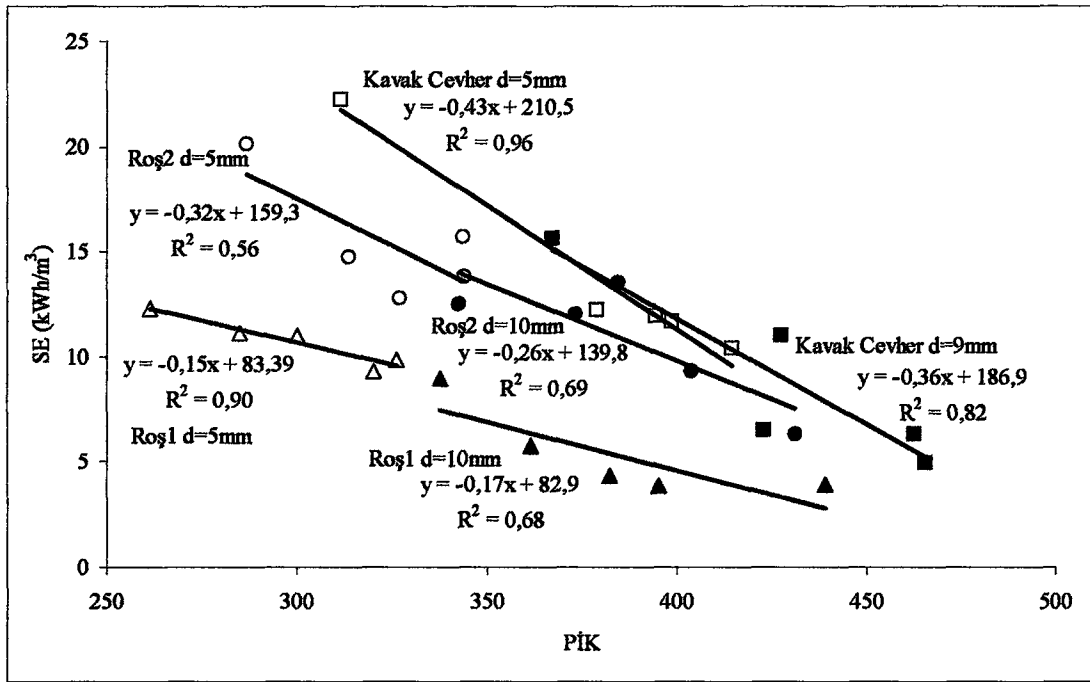
$$SE = -0,057 \times (PİK) + 27,54 \quad (5.11)$$

d=5-10 mm’de roş 2 için ($R^2=0,79$);

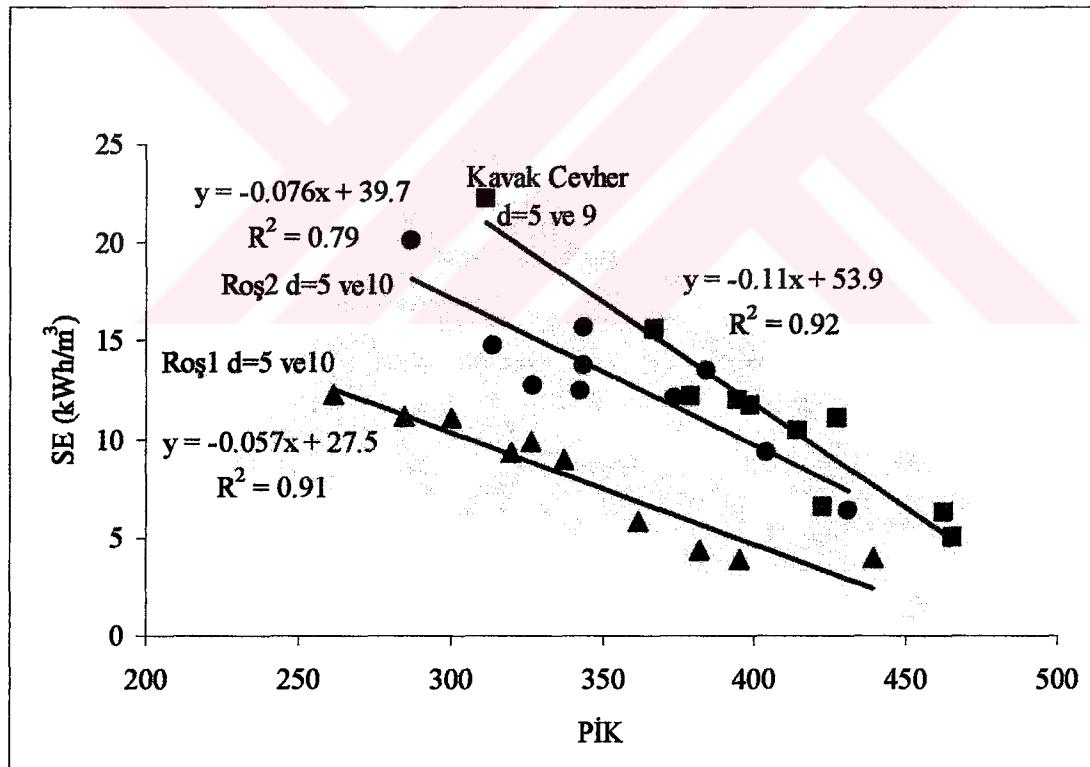
$$SE = -0,075 \times (PİK) + 39,73 \quad (5.12)$$

d=5-9 mm’de Kavak cevher için ($R^2=0,92$);

$$SE = -0,010 \times (PİK) + 53,86 \quad (5.13)$$



Şekil 5.86 Roş 1, roş 2 ve Kavak cevher numuneleri için PİK ile SE arasındaki ilişki



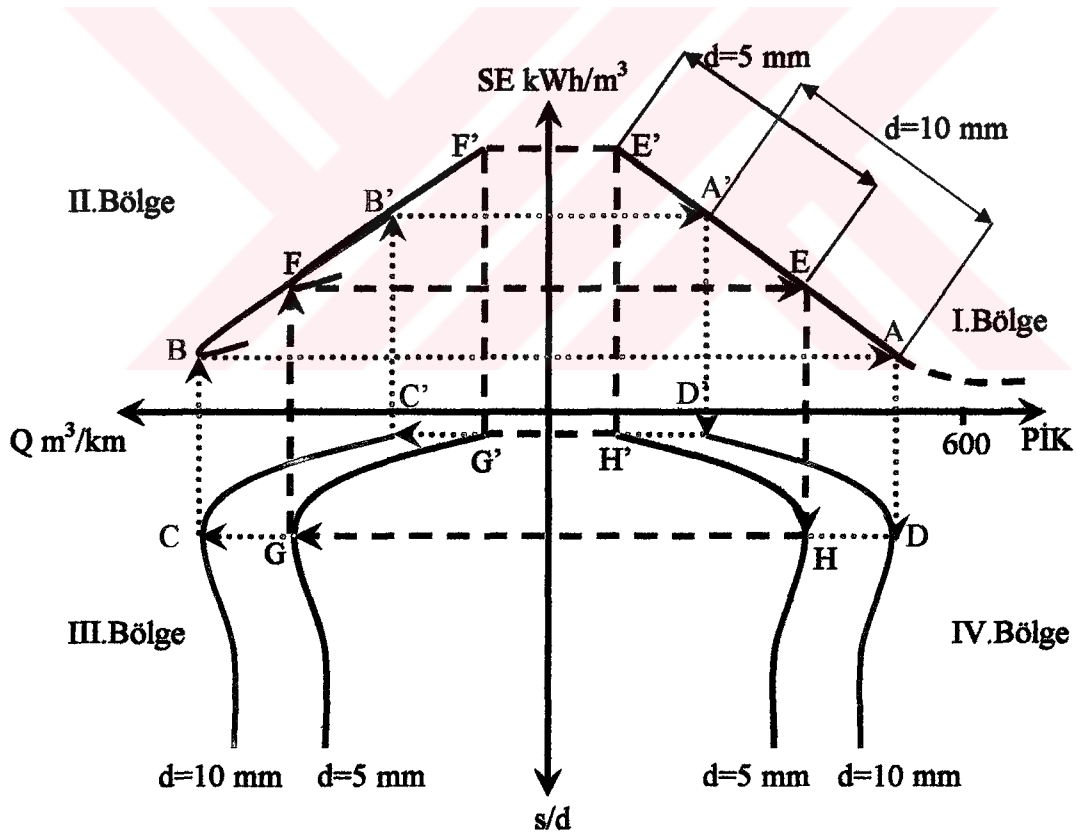
Şekil 5.87 Üç ayrı kromit cevheri için d=5 mm ve 10 mm'de yapılan deneylerden elde edilen PİK ve SE değerleri arasındaki ilişki

Bu üç eşitlikten ve Şekil 5.86 ve 87'den anlaşılabacağı üzere kesme derinliği arttıkça pasa irilik katsayısı da büyümekte ve kazı için harcanan enerji (SE) de azalmaktadır. Bununla beraber kromit cevher kayasının tenörü azaldıkça kazı için gerekli enerjinin

arttığı görülür. Bu da kromit tenörü yüksek olan bir kayacın kazısında elde edilen pasanın daha küçük boyutlu olacağını gösterir.

5 ayrı elek kullanılan (25, 8, 2, 0.5, 0.125 mm) bir elek analizinde PİK elek üstünde kalan ürünlerin toplam pasa ağırlığına oranını veren yüzdelerinin kümülatif toplamıdır. Bir kesme deneyi sonucunda elde edilen pasanın -pratik olarak mümkün olmayan ama teorik olarak mümkün- hepsinin +25 mm üzeri bir pasa yığını oluşturduğu düşünülürse; PİK'in 600'den fazla olamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı şekilde, hepsi -0,125 mm olsaydı PİK 100'den küçük olamazdı.

Yukarıda değinilen noktalar genelleştirilirse pasa irilik katsayısı (PİK) ile özgül enerji (SE), kesmeler arası mesafe / kesme derinliği oranı (s/d) ve pasa hacmi (Q) arasında Şekil 5.88'de görülen dörtlü grafikteki gibi bir ilişki oluşacaktır.



Şekil 5.88 SE, PİK, Q ve s/d arasındaki ilişkiyi gösteren genelleştirilmiş 4'lü grafik

Bu grafikte; I. Bölgede A noktası; d=10 mm'de en yüksek pasa irilik katsayısı ve en düşük spesifik enerjiye sahip olunan optimum kazının yapıldığı noktadır. A' noktası ise d=10 mm'de en küçük pasa irilik katsayısı ve en yüksek spesifik enerjiye sahip

6 ELE ALINAN CEVHERLER İÇİN MEVCUT ÜRETİM YÖNTEMLERİ İLE UYGULANABİLECEĞİ DÜŞÜNÜLEN MEKANİZE KAZI SİSTEMLERİNİN ÜRETİM AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

6.1 Yapılan Laboratuvar Deneylerinden Performans Tahmini

Bölüm 2.4'te mekanize kazı performans tahmin yöntemlerinden bahsedilmişti. Özet olarak; laboratuvar deneylerinden performans tahmini yapmak için, en iyi koşullarda kesme yapılan optimum kesme derinliği (d) ve keskiler arası mesafenin (s), kesme (FC kg, kN) ve bastırma (FN kg, kN) kuvveti miktarının, yapılan deney sonrasında elde edilen pasa hacminin (Q, m³/km) bilinmesi gerekir. Bu işletme parametreleri bilindiğinde formasyonu kazmak için seçilecek bir makinenin birim hacimdeki kayacı kazabilmek için sarfedeceği enerji miktarı (SE) belirlenebilir [7, 129, 130].

$$SE = \frac{FC}{Q} \text{ (MJ/m}^3\text{, kWh/m}^3\text{)} \quad (6.1)$$

Performans tahmini için, öncelikle, kesme deneylerinden, optimum koşullarda oluşan kesme kuvveti ve pasa miktarı belirlenip, eşitlik (6.1)'den de “spesifik enerji” hesaplanır. Daha sonra “net ilerleme hızı” (2.12) eşitliğinden saptanarak, kullanılacak makinenin günlük ilerleme miktarı önceden tahmin edilebilir. Böylece kazı faaliyetlerinde birbirine bağımlı olarak çalışan bir çok alet yada teçhizatın (makine gücü, bant konveyör, vagon sayısı, kuyu vinç kapasitesi gibi...) kapasiteleri de önceden tespit edilebilir. Bu tahminler sonucunda yaklaşık kazı maliyetleri de belirlenerek proje uygulanabilirlik çalışmalarına ışık tutulur.

Kollu makinelerin kazı verimliliğini etkileyen ana faktörlerden biri optimum şartlarda yapılan kazı sonucunda oluşan parçalanmış malzemenin boyutu ve dolayısı ile ağırlığıdır. Laboratuvarında yapılan tam boyutlu kazı deneylerinin amacı da kesici uç bağımlı değişkenlerinin (FC, F'C, FN, F'N, SE, Q gibi...) saptanarak, cevher kayasının parçalanma karakteristiğinin belirlenmesidir. Deneyler sırasında birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli minimum enerjinin sarfedildiği, en iyi kazı şartı aranır.

olunan noktadır. E noktası; $d=5$ mm'de en yüksek pasa irilik katsayısı ve en düşük spesifik enerjiye sahip olunan optimum kazının yapıldığı noktadır. E' noktası ise $d=5$ mm'de en küçük pasa irilik katsayısı ve en yüksek spesifik enerjiye sahip olunan noktadır.

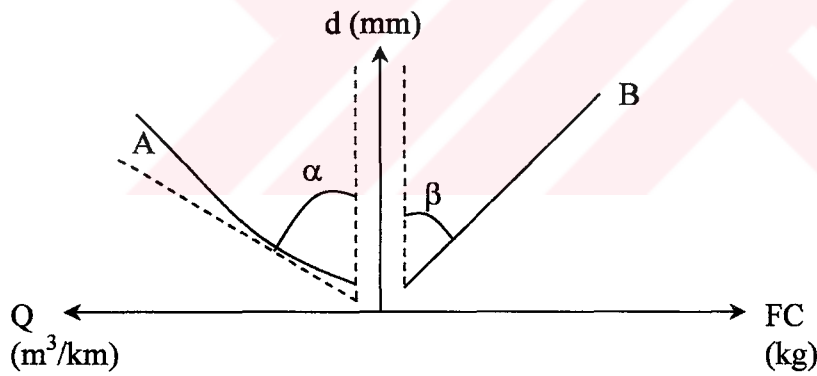
II. Bölgede B noktası; $d=10$ mm'de en yüksek pasa hacmi ile en düşük spesifik enerjiye sahip olunan optimum kazının yapıldığı noktadır. B' noktası ise $d=10$ mm'de en küçük pasa hacmi ile en yüksek spesifik enerjiye sahip olunan noktadır. F noktası; $d=5$ mm'de en yüksek pasa hacmi ile en düşük spesifik enerjiye sahip olunan optimum kazının yapıldığı noktadır. F' noktası ise $d=5$ mm'de en küçük pasa hacmi ile en yüksek spesifik enerjiye sahip olunan noktadır.

III. Bölgede C noktası; $d=10$ mm'de en yüksek pasa hacminin optimum s/d oranında oluştuğunu gösteren noktadır. C' noktası ise $d=10$ mm'de en küçük pasa hacminin oluştuğu s/d oranını gösteren noktadır. G noktası; $d=5$ mm'de en yüksek pasa hacminin optimum s/d oranında oluştuğunu gösteren noktadır. G' noktası ise $d=5$ mm'de en küçük pasa hacminin oluştuğu s/d oranını gösteren noktadır.

IV. Bölgede D noktası; $d=10$ mm'de en yüksek pasa irilik katsayısının optimum s/d oranında oluştuğunu gösteren noktadır. D' noktası ise $d=10$ mm'de en küçük pasa irilik katsayısının oluştuğu s/d oranını gösteren noktadır. H noktası; $d=5$ mm'de en yüksek pasa irilik katsayısının optimum s/d oranında oluştuğunu gösteren noktadır. G' noktası ise $d=5$ mm'de en küçük pasa irilik katsayısını oluştuğu s/d oranını gösteren noktadır.

Pasa irilik katsayısı ile spesifik enerji arasında şekilden de görüldüğü gibi ters orantılı bir ilişki vardır. Daha yüksek kesme derinliklerinde ($d=10$ mm) yapılan kesme deneylerinde elde edilen SE değerleri daha düşük çıkarken; pasa irilik katsayısı değerleri doğal olarak daha yüksek çıkmıştır (I. Bölge A-A' değerleri arası). Kesme derinliği ve pasa hacmi arttıkça, pasa irilik katsayısı da artar, kesimler arası mesafe arttıkça pasa irilik katsayısı artar ve optimum s/d değerinde pasa irilik katsayısı en büyük değerini, spesifik enerji de en küçük değerini alır.

Şekil 6.1'den görüldüğü gibi kazı sırasında kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetleri de doğrusal olarak artmaktadır [7, 129]. Ancak verimli bir kesme işlemi için asıl artırılmak istenen parametre, pasa hacmidir (Q) (A parabolü teğetinin eğimi olan $\tan\alpha$ ve B doğrusunun eğimi olan, $\tan\beta$ 'dan büyük olmalıdır). Bu da keskiler arası mesafe (s) değiştirilerek kazı sırasında oluşan mikro çatlakların birbirine ulaşabildiği en büyük keskiler arası mesafenin belirlenmesi ile mümkündür. Bunun için sabit bir kesme derinliğinde, keskiler arası mesafe (kesme derinliğinin 1, 2, 3, 5... katları olacak şekilde) değiştirilerek mikro çatlakların birbirine ulaşabildiği en büyük keskiler arası mesafe belirlenir. Bu, deneye tabi tutulan kayaç için optimum koşulları sağlayan noktadır ve kayacın kırılgenliğine, dayanımına, süreksizlik ve sert mineral içeriğine, tabakalanma düzlemine, tane boyutuna bağlı olarak kayaçtan kayaca değişir. Keskiler arası mesafe artırıldıkça kesme kuvveti büyümeye devam eder ancak pasa hacmindeki artış oranı, kuvvetlerdeki artış oranından daha fazla olduğu için bu kayaçların parçalanması sırasında sarf edilen enerji azalmış olur. Bu sayede kazı işlemini gerçekleştiren belirli miktarda bir kuvvet ile optimum miktarda pasa elde edilerek en verimli kazı gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 6.1 Kesme derinliğine (d) bağlı olarak kesme kuvveti (FC) ve pasanın (Q) değişimi.

Bu çalışmada da 3 ayrı tenöre sahip kromit, trona, iki ayrı bakır, selestit ve bunların yankayaçları olan harsburgit, serpantin, anhidrit, jips kayaçları üzerinde yapılan tam boyutlu kesme deneyleri ile her kayaç için en verimli kesme işleminin gerçekleştirildiği optimum kazı şartları belirlenmiş ve Tablo 6.1'de özetlenmiştir.

Yapılan kaya mekaniği deneyleri sonucunda elde edilen verilerden de görüleceği gibi (Tablo 5.33) Pınarbaşı-Pulpınar ve Kavak Kromit cevher ve yankayaçları, orta sert ve sert kayaç sınıfına girmektedir. Bu nedenle bu kayaçların kazısında

100 kW'lık kesici kafa gücüne sahip kollu makineler yada 33 kW'lık hidrolik kırıcılar kullanılabilir [131].

Bu düşünceden hareketle Bölüm 2.4'te bahsedilen performans tahmin yöntemleri kullanılarak 100kW'lık bir kollu makine ve 33kW'lık bir hidrolik kırıcı kullanıldığında elde edilecek günlük ilerleme miktarı ve tonajları ile bu sırada oluşacak keski sarfiyatı miktarları da Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Örneğin, yüksek tenörlü krom cevherinde $d=10$ mm.'de yapılan kesme deneyleri sonucunda optimum spesifik enerji değeri $3,9 \text{ kWh/m}^3$ bulunmuştur. Krom cevher kayacını kesmek için 100 kW'lık bir kollu makine kullanıldığında elde edilecek net ilerleme hızı (2.12) eşitliğinden:

$$\text{ICR} = 0.8 \frac{100\text{kW}}{3,9\text{kWh/m}^3} \quad \text{ICR}=20,7 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bulunur.}$$

Bulunan net ilerleme hızı (ICR), yüksek tenörlü kromitin yoğunluğu ($4,03 \text{ t/m}^3$) ile çarpılırsa saatte üretilen tüvenan cevher miktarı 83 t/h olarak bulunur.

Eğer yüksek tenörlü krom cevher kayacını kazmak için 33 kW'lık bir hidrolik kırıcı kullanılırsa, bu kez elde edilecek net ilerleme hızı eşitlik (2.14)'ten bulunur;

RQD % 100 ve Tablo 5.3'ten yüksek tenörlü krom (roş1) basınç dayanımı $\text{UCS}=32,2\text{MPa}$ alındığında, RMCI eşitlik 2.13'ten ;

$$\text{RMCI} = 32,2\text{MPa} \times (100/100)^{2/3}, \quad \text{RMCI}=32,2 \text{ bulunur.}$$

Bu değer, eşitlik (2.13)'te yerine koyulursa;

$$\text{IBR} = 4.26 \times 33\text{kW} \times (32,2)^{-0.567} \quad \text{IBR}=19,7 \text{ m}^3/\text{h} \text{ olarak bulunur.}$$

Bulunan net ilerleme hızı (IBR), yüksek tenörlü kromitin yoğunluğu ($4,03 \text{ t/m}^3$) ile çarpılırsa saatte üretilen tüvenan cevher miktarı 79 t/h olarak bulunur.

Bu şekilde yapılan hesaplamalar sonucunda üç ayrı krom, harsbujit, serpantin, iki ayrı bakır, trona, selestit, jips ve anhidrit kayaları için laboratuvarında yapılan kesme deneyleri sonucunda bulunan optimum spesifik enerji değerlerinden elde edilen net ilerleme hızları ve üretim miktarları Tablo 6.1'de özetlenmiştir.

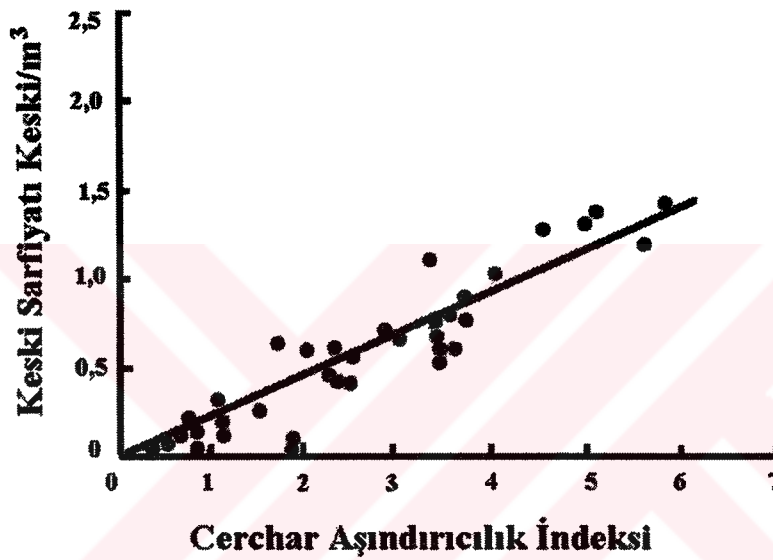
Tablo 6.1 Yardımlı kesme durumundaki kesme deneylerinin özeti ve performans tahminleri

Kayaç	(s/d) _{opt}	d _{opt} (mm)	FC (kg)	F'C FC	FN (kg)	F'N FN	SE _{opt} (kW/h/m ³)	100 kW lık kesici kafa için ICR		33 kW lık Hidrolik Kırcı için IBR		Keski tüketim oranı	
								(m ³ /h)	(ton/h)	(m ³ /h)	(ton/h)	(keski/ m ³)	(keski /ton)
Yüksek Tenörlü Kromit	3	10	395	3.60	272	3.26	3.9	20.7	83	19.7	79	0.53	0.132
Normal Tenörlü Kromit	2	10	516	2.78	379	2.51	6.4	12.6	43	15.8	54	0.40	0.118
Düşük Tenörlü Kromit	3	9	455	3.08	363	2.83	5.0	16.2	47	16.0	46	0.60	0.208
Bakır Cev. (Sarı)	4	10	403	3.13	257	3.12	3.7	21.8	90	19.4	80	0.70	0.169
Bakır Cev. (Siyah)	4	10	810	3.04	773	3.02	9.2	8.7	35	17.1	70	0.75	0.184
Harsburjüt	5	9	911	2.87	944	2.41	8.4	9.5	25	14.1	37	0.20	0.075
Serpantin	3	9	444	3.17	484	2.65	6.2	12.9	32	17.9	45	0.25	0.100
Trona	3	9	222	4.09	294	2.93	2.7	29.6	63	20.4	44	-	-
Anhidrit	5	8	451	2.44	452	2.04	3.8	23.5	68	11.6	34	-	-
Selestit	3	12	390	3.06	301	2.76	3.0	26.7	106	19.4	45	-	-
Jips	3	8	185	2.28	117	2.28	3.4	21.1	49	20.8	83	-	-

s = keskiler arası mesafe, d = kesme derinliği, d_{opt} = en iyi kesme koşullarındaki kesme derinliği, FC = ortalama kesme kuvveti, F'C = en büyük kesme kuvvetleri, FN=ortalama normal kuvvet, F'N = en büyük normal kuvvet, SE_{opt} = en iyi kesme koşullarındaki spesifik enerji, ICR= 100 kW 'lık kesici kafa gücüne sahip roadheader için net ilerleme hızı (ton/h), IBR = 33 kW kesici kafa gücüne sahip hidrolik kırcının net ilerleme hızı (ton/h)

Kollu makinelerin ekonomik uygulama sınırlarının tespitinde keski maliyetleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle kazı fizibilite çalışmaları sırasında keski sarfiyatını önceden belirlemek önem arz etmektedir.

Nizamoğlu ve Fowell yerinde yaptıkları ölçmelerle keski sarfiyatının, formasyonların Cerchar aşınma indeksleriyle (CAI) doğrudan ilişki içerisinde olduğunu göstermiştir [7, 132-134]. Bu ilişkiyi gösteren grafik Şekil 6.2'deki gibidir.



Şekil 6.2 Cerchar aşındırıcılık indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki

Şekil 6.2'deki bu grafik ve Tablo 6.2'deki Cerchar aşındırıcılık indeksi değerleri kullanılarak, Tablo 6.1'deki keski tüketim oranları bulunmuştur. Bu oranlar da Tablo 6.2'deki yoğunluk değerleri ile çarpılırsa 1 ton cevher üretimi başına keski tüketim oranı bulunmuş olur.

Bölüm 4'te Tablo 4.1'e göre Pınarbaşı-Pulpınar Kromit madeninde yıllık tüvenan kromit üretim miktarları 100-120 bin ton arasında değişmektedir. Ayrıca Tablo 4.6 ve 4.7'de görüldüğü gibi bir yılda 347 gün, günde 3 vardiya sürekli çalışarak Banu ve Rıfat yeraltı ocaklarından toplam 121.127 ton üretim yapılmıştır. İ.T.Ü. Maden Fakültesi laboratuvarlarında yapılan kesme deneyleri sonucunda Tablo 6.1'de belirlenen 100 kW'lık, her vardiya 8 saat kazı yapabilen ve makinadan faydalanma oranı % 50 olan bir kollu makine kullanıldığında yıllık üretim miktarı:

$347 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 0.50 \text{ (makinadan faydalanma oranı)} \times 83 \text{ t/saat (} \% 46\text{-}50 \text{ Cr}_2\text{O}_3 \text{ içerikli cevher)} = 345\,612 \text{ ton/yıl olacaktır.}$

Tablo 6.2 Ele alınan cevher kayacı ve yankayaçların kaya mekaniği parametreleri

Kayaç	γ (g/cm ³)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	E _{sta} (GPa)	E _{dyn} (GPa)	SHRV	CAI
Yüksek Tenörlü Kromit (% 46-50 Cr ₂ O ₃)	4.03	32.2	3.7	3.5	31.2	28 - 37	2.12
Normal Tenörlü Kromit (% 42-46 Cr ₂ O ₃)	3.39	46.9	4.5	-	76.4	43	1.60
Düşük Tenörlü Kromit (% 20-25 Cr ₂ O ₃)	2.88	46.5	3.7	2.9	35.2	42	2.40
Bakır Cev. (Sarı)	4.13	32.8	3.4	-	42.0	-	2.80
Bakır Cev. (Siyah)	4.07	41.4	5.7	-	49.6	-	3.00
Harsburjit	2.65	57.7	5.5	2.1	16.1	35 - 59	0.80
Serpantin	2.49	38.1	5.7	2.3	13.9	39 - 58	1.00
Trona	2.13	29.7	2.2	3.4	3.7	39	-
Anhidrit	2.90	82.0	5.5	-	-	-	-
Selestit	3.97	29.0	4.0	-	-	-	-
Jips	2.32	33.0	3.0	-	-	-	-

γ = Yoğunluk, UCS = Basınç dayanımı, BTS = Çekme dayanımı, E_{sta} = Statik elastik modülü, E_{dyn} = Dinamik elastik modülü, SHRV = Schmidth çekici sertlik değeri (N-tipi), CAI = Cerchar aşındırıcılık indeksi

300 gün sabit olarak çalışıldığı ve makinadan faydalanma oranının % 10'a kadar düştüğü düşünülürse;

$300 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 0,10 \text{ (makinadan faydalanma oranı)} \times 83 \text{ t/saat (} \% 46\text{-}50 \text{ Cr}_2\text{O}_3 \text{ içerikli cevher)} = 59\,760 \text{ ton/yıl cevher üretimi yapılabilir.}$

Pınarbaşı-Pulpınar kromit madeninde şu anda her yıl 120.000 ton üretim yapılması planlandığına göre yukarıdaki sabit koşullar altında seçilecek bir kollu makine ile oldukça esnek koşullarda üretim yapılabilecek, arz ve talebe göre üretim artışı veya azalması gerçekleştirilebilecektir.

Bununla beraber % 50 makineden faydalanma oranı olan bir makine kullanıldığında elde edilen 345 612 ton/yıl üretim miktarının, mevcut üretim yöntemi ile yapılan kazıda üretilen 121 127 ton/yıl kromit cevherinin yaklaşık 3 katı olduğu görülmekte, buradan da mekanik kazı ile oldukça verimli bir kazı işlemi gerçekleştirileceği anlaşılmaktadır. Makine ile kazının diğer bir avantajı ise kazı ortamı fazla miktarda

örselenmediğinden daha dengeli bir ortamda çalışılacak, destekleme problemleri minimize edilecek ve tahkimat maliyetlerinde de bir azalma elde edilebilecektir.

Krom madeninde kazı yöntemini sınırlayan en önemli faktörlerden biri parça boyutudur. +25 mm büyüklüğünde elde edilen parça kromit daha yüksek fiyatlarla satılabilmektedir. Bu yüzden parça boyutları açısından bir irdeleme yapılması gerekmektedir.

Laboratuvarıda yapılan kesme deneyleri sonucunda yüksek içerikli kromit için optimum koşullarda elde edilen pasaların 5 ayrı elekten elenmesi sonucu elde edilen ürünlerin dağılımı Tablo 6.3' teki gibidir.

Tablo 6.3 Yüksek içerikli kromit optimum koşullarda elde edilen pasa boyut dağılımı

Elek Ürünü No	Elek Boyutu (mm)	Kayaç Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan %	Kümülatif Ağırlık (gr)	Elek üstü Kalan %	Pasa İrilik Katsayısı Kalanların Toplamı
1	25	226.83	16.34	226.83	16.3	395
2	8	383.69	27.64	610.52	44.0	
3	2	231.49	16.68	842.01	60.7	
4	0.500	263.07	18.95	1105.08	79.6	
5	0.125	205.20	14.78	1310.28	94.4	
6	Toz	77.69	5.60	1387.97	100.0	

Bölüm 4'te Tablo 4.3 ve 4.4'te görüldüğü gibi mevcut üretim yöntemi ile Banu ocağı günlük üretim miktarı 194,4 ton/gün, Rıfat ocağı 154,8 ton/gün'dür. Tablo 4.2'den Banu ocağında günlük üretilen cevherin % 29'u, Rıfat ocağından günlük üretilen cevherin % 45'i +25 mm parça krom cevheri olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre Banu ocağından $194,4 \times 0,29 = 56,38$ ton/gün Rıfat ocağından ise $154,8 \times 0,45 = 69,66$ ton/gün parça kromit üretilmektedir.

Tablo 6.3'te laboratuvarıda yapılan deneylerden elde edilen verilere göre kollu bir makine ile yüksek içerikli krom cevherinde yapılacak bir kazıda elde edilecek pasanın +25 mm parça boyutu oranı % 16'dır. Bu da mevcut üretim yöntemi ile yapılan kazıda elde edilen parça boyutu yüzdesinin (% 29) Banu ocağı için üretilen cevherde neredeyse yarısına, Rıfat ocağından üretilen cevherde ise üçte birine (% 45) kadar düşmektedir.

Buradan hareketle, net kazı hızı, kollu bir makineye göre daha düşük olan ($79\text{t/h} < 83\text{t/h}$) (Tablo 6.1) hidrolik kırıcı kullanılması ile bu dezavantaj giderilebilir. Hidrolik kırıcı ile daha iri boyutlarda cevher üretimi yapmak mümkündür.

Buna göre yine kollu makine için belirlenen sabit koşullarda 33 kW'lık bir hidrolik kırıcı kullanıldığında net kazı hızı miktarı Tablo 6.1'den de görüldüğü gibi 79 ton/saat'tir. Pınarbaşı-Pulpınar Kromit Madeni'nde hidrolik bir kırıcıyla yıllık 120.000 ton/yıl üretim gerçekleştirebilmek için makineden faydalanma oranının "U";

$$U = (120\ 000\ \text{ton/ yıl}) / (300\ \text{gün/yıl} \times 3\ \text{vardiya/gün} \times 8\ \text{saat/vardiya} \times 79\ \text{t/saat})\ \text{ise}$$

en az $U = \% 21$ olması gerekir.

Bakır cevheri zenginleştirme aşamasında tane serbestleşmesi sağlamak için ince boyutlara kadar indirilir ve flotasyon yada liç işlemi kullanılarak zenginleştirilir [95]. Bu sebeple kollu makine ile yapılacak bir cevher kazısında üniform parça boyutlu cevher üretileceği için birincil kırma maliyetleri en aza indirilebilecektir.

Trona ise endüstride direkt olarak kullanılan bir cevher değildir. Soda külü yapımında kullanılır. Soda külü beyaz, kristalin bir tozdur [86]. Dolayısı ile makine ile kazıda oluşan parçanın küçük oluşu, hatta toz miktarının fazla olması zenginleştirme aşamasında bir avantaj olarak görülebilir.

Selestit madeni doğrudan çevrim yöntemiyle stronsiyum karbonat üretimi sırasında öğütülerek kızgın soda eriyiğinde sindirilir [86]. Dolayısı ile mekanik bir kazıcı ile cevher kazısı yapıldığında oluşacak parça boyutunun üniform olması, hatta toz miktarının fazla olması zenginleştirme aşamasında bir avantaj olarak gözükmemektedir.

7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

“Kollu galeri açma makinelerinin veya benzer makinelerin cevher kazısında kullanımlarının araştırılması” adlı bu tez konusu çerçevesinde seçilen pilot madenler için detaylı laboratuvar ve arazi çalışmaları yapılmış, pazarlama koşulları ve standartları belirlenerek üretim aşamasında alınması gereken önlemler tartışılmış, bu konuda daha önce yapılan yayınlar gözden geçirilmiş ve kömür dışı yeraltı madenlerinin kazılabilirlik parametrelerini saptamak ve ileriki çalışmalara ışık tutmak için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Seçilen pilot madenlerde yapılan arazi çalışmaları ile işletmelerin yeri, üretim yöntemi, cevher hazırlama tesisi ve organizasyonu hakkında detaylı bilgi verilmiş, yerinde Schmidth Çekici deneyleri yapılmış, laboratuvarında deney yapmak üzere, ocağı temsil eden, uygun boyutlarda numuneler alınmıştır.

Laboratuvara getirilen numunelerin öncelikle fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş, daha sonra da kesilebilirlik deneyleri yapılmıştır.

3 ayrı krom, iki ayrı bakır cevheri, trona, harsburgit, serpantin, selestit, jips ve anhidritin basınç dayanımları 29 - 82 MPa arasında değişmekte ve buradan bu kayaların Bieniawski'nin yaptığı bir sınıflamaya göre [130] orta sert ya da sert kayac grubuna girdikleri anlaşılmaktadır.

Cevherin mekanik kazı yöntemleri ile verimli olarak kazılıp kazılamayacağının anlaşılması için seçilen cevher ve yankayaçlarının laboratuvarında kesilebilirlik deneylerine tabi tutulması, optimum kesme parametrelerinin (FC = tüm kesme kuvvetlerinin ortalaması, $F'C$ = maksimum kesme kuvvetlerinin ortalaması, FN = tüm normal kuvvetlerin ortalaması, $F'N$ =maksimum normal kuvvetlerin ortalaması, Q =birim mesafede açığa çıkan pasa miktarı, SE = birim hacimdeki kayacı kazabilmek için gerekli olan kuvvetin oluşturduğu enerji, s/d_{opt} =keskiler arası mesafe ile kesme derinliği arasındaki optimum oran, $PİK$ = pasa irilik katsayısı) belirlenmesi, önceden performans tahmin yöntemlerinin kullanılması veya gerçek bir makine ile pilot kazı yapılması gereklidir.

Bu amaçla yapılan kesme deneyleri sonucunda, yüksek tenörlü kromit cevherinde, s/d oranının “3” olduğu durumda, optimum spesifik enerji değerinin “3,9 kWh/m³” olduğu bulunmuştur. Bu durumda kesici kafa gücü 100 kW olan bir kollu makine kullanıldığında elde edilecek üretim miktarı 83 t/h’tir. 33 kW’lık bir hidrolik kırıcı kullanıldığında elde edilecek üretim miktarı ise 79 t/h olarak bulunmuştur. Cerchar aşındırıcılık indeksi kullanılarak yapılan hesaplamalarla keski tüketiminin 0,132 keski/ton olacağı anlaşılmıştır.

Bu çalışma için ele alınan diğer cevher ve yankayaçlar (normal ve düşük tenörlü kromit, trona, sarı ve siyah bakır cevheri, selestit, harsburgit, serpantin, anhidrit, jips) için yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen optimum s/d oranları, optimum spesifik enerji değerleri, 100 kW kesici kafa gücüne sahip bir kollu makine kullanıldığında elde edilecek net ilerleme hızı ve üretim miktarı, 33 kW’lık bir hidrolik kırıcı kullanıldığında elde edilecek net ilerleme hızı ve üretim miktarı ile ortaya çıkacak keski tüketim miktarı ilgili bölümde verilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Kollu galeri açma makinelerinin kullanımlarının verimliliğini araştırmak için yıllık tüvenan kromit üretim miktarları 100 - 120.000 ton arasında değişen Pınarbaşı-Pulpınar kromit ocağı örnek alınmıştır. Ayrıca laboratuvarında yapılan kesme deneyleri sonucunda 100 kW kesici kafa gücüne sahip, her vardiya 8 saat kazı yapabilen ve makinadan faydalanma oranı % 50 olan bir kollu makine kullanıldığında yıllık üretim miktarı:

$347 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 0.50 \text{ (makinadan faydalanma oranı)} \times 83 \text{ t/saat (} \% 46\text{-}50 \text{ Cr}_2\text{O}_3 \text{ içerikli cevher)} = 345\,612 \text{ ton/yıl}$ olacağı bulunmuştur. Buradan da görüldüğü gibi makine ile kazıda elde edilen üretim miktarı, mevcut üretim yöntemi ile yapılan üretim miktarının yaklaşık 3 katı olacaktır.

Ayrıca makine kullanıldığında ocakta patlayıcı madde kullanımı ortadan kalkacağından daha emniyetli çalışma koşulları sağlanacaktır. Bununla beraber, üretim sırasında titreşimler minimuma ineceğinden formasyonların stabilitesi artacak ve tahkimat sorunları dolayısı ile maliyetleri azalacaktır.

Bunların yanı sıra, bir kromit madeninde kazı yöntemini sınırlayan en önemli faktörlerden biri parça boyutudur. +25 mm büyüklüğünde elde edilen parça kromit daha yüksek fiyatlarla satılabilmektedir. Laboratuvarında yapılan deneylerden elde edilen verilere göre kollu bir makine ile yüksek içerikli kromit cevherinde yapılacak

bir kazıda elde edilecek pasanın +25 mm parça boyutu oranının % 16 olduğu bulunmuştur. Oysa mevcut üretim yöntemi ile ilgili ocaklarda günlük üretilen cevherin % 29 ve % 45'inin +25 mm parça krom cevheri olduğu anlaşılmaktadır.

Bu durumda önemli olan hem üretim hızını artırmak hem de mümkün olduğu kadar çok yüksek içerikli parça cevher elde etmektir. Ampirik performans tahmin yöntemleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda “hidrolik kırıcı” kullanılması ile daha iri boyutlarda ve yüksek üretim kapasitesi ile üretim gerçekleştirmenin mümkün olabileceği görülmüştür.

Bu tez çerçevesinde kazı mekaniğine iki konuda katkı sağlanmıştır. Bunlardan birincisi, kazı sırasında çıkan malzemenin parça boyutu ile harcanan enerji arasındaki ilişki, ikincisi ise bu enerjinin kayaç özellikleri ile nasıl değiştiğinin açıklanmasıdır.

Üç ayrı tenöre sahip krom cevheri üzerinde yapılan kesme deneyi sonuçlarının analizi göz önüne alındığında, tenör ile basınç dayanımı, çekme dayanımı gibi kaya mekaniği parametreleri, spesifik enerji ve kesme kuvvetleri gibi kazı mekaniği parametreleri arasında herhangi bir doğrusal ilişki bulunamamıştır. Ancak pasa irilik katsayısı ile kromit tenörleri arasında kuvvetli bir ters orantılı-lineer ilişki bulunmuştur. Buradan bir kayaçta kromit yüzdesi arttıkça ufalanma özelliğinin arttığı; bunun da pasa irilik katsayısının düşmesine yolaçtığı yargısına varılabilir.

Geçmişte yapılan bazı çalışmalar, kazılan kayacın kırılabilirliğinin basınç dayanımı ile çekme dayanımının çarpımı ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur [38]. Altındağ ise kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasında oluşan doğrusal ilişki grafiğinin altında kalan alanın kayaç kırılabilirliğinin bir ifadesi olarak kullanılabildiğini ifade etmiştir. Bu alan bir dik üçgen alanı olduğundan ($UCS \times BTS/2$) olarak denkleştirilmiştir [131].

3 ayrı krom, iki ayrı bakır cevheri, trona, harsburgit, serpantin, selestit, jips ve anhidrit için basınç dayanımı $\times$ çekme dayanımı ile “optimum” spesifik enerjiler (SE_{opt}) arasında lineer-doğru orantılı ve yüksek korelasyonlu bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Anhidrit değişik yapısal özelliklere sahiptir. Daha önceden de tespit edildiği gibi, beklenenden çok daha değişik kesme deney sonuçları elde edilmiştir [132]. Bu nedenle regresyon analizine dahil edilmemiştir.

Tüm bunlar, pahalı, uzun zaman alan ve teknolojik olarak gelişmiş bir laboratuvar seti gerektiren tam boyutlu kesme deneyinden elde edilen spesifik enerji değerinin,

kayacın basınç ve çekme dayanımından, belirli bir doğrulukla, tahmin edilebileceğini ortaya koymuştur.

Tam boyutlu deney seti ile üç ayrı kromit numunesi üzerinde yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen kazı enerjisi (SE) ile elek analizi sonucu elde edilen pasa irilik katsayısı değerleri arasında oldukça yüksek korelasyonlu lineer ve ters orantılı ilişkiler bulunmuştur.

Buradan, “kromit cevher kayaçları kazısı sonucunda elde edilen pasanın pasa irilik katsayısı değerleri, bu tür kayaçları kazarken ortaya çıkan optimum spesifik enerji değerleri ile lineer ve doğru orantılı olarak değişir” yargısına varılabilir. Bu tip cevher kazısında sarfedilecek enerji, bu kayaçların pasa irilik katsayısı değerleri ile kestirilebilir.

Bakır cevheri zenginleştirme aşamasında tane serbestleşmesi sağlamak için ince boyutlara kadar indirilir ve flotasyon yada liç işlemi kullanılarak zenginleştirilir [95]. Bu sebeple kollu makine ile yapılacak bir cevher kazısında üniform parça boyutlu cevher üretileceği için birincil kırma maliyetleri en aza indirilebilecektir.

Trona ise endüstride direkt olarak kullanılan bir cevher değildir. Soda külü yapımında kullanılır. Soda külü beyaz, kristalin bir tozdur [86]. Dolayısı ile makine ile kazıda oluşan parçanın küçük oluşu, hatta toz miktarının fazla olması zenginleştirme aşamasında bir avantaj olarak görülebilir.

Selestit madeni doğrudan çevrim yöntemiyle stronsiyum karbonat üretimi sırasında öğütülerek kızgın soda eriyiğinde sindirilir [86]. Dolayısı ile mekanik bir kazıcı ile cevher kazısı yapıldığında oluşacak parça boyutunun üniform olması, hatta toz miktarının fazla olması zenginleştirme aşamasında bir avantaj olarak gözükmemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Tunçdemir H.**, 1998. Arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan tam cephe tünel açma makinelerinin kazı performansını etkileyen zemin özellikleri ve İzmir metrosu örneği, *4. Ulusal Kaya Mekaniği Bildiriler Kitabı*, 22-23 Ekim, 159, ISBN 975-395-283-X
- [2] **Breitrack, M.E.**, 1998, Using a roadheader for underground gold mining, *Mining Engineering*, **50** no:3, March, 43-46.
- [3] **Atlas-Copco Robbins**, 1996. *TBM Excavates Drift for Early Ore Production*. Project Report Summary
- [4] **Sullivan, D. E., Sznopce, J.L. and Wagner L.A.**, 2001. *20th century U.S. mineral prices decline in constant dollars*, USGS, open file report: 00-389 <http://minerals.usgs.gov/minerals/>.
- [5] **CSM EMI** Web sayfası, <http://www.mines.edu/Academic/mining/research/emi/>
- [6] **Neil D. M., Rostami J., Ozdemir L., Gertsch R.**, 1994. Production estimating techniques for underground mining using roadheaders, *Annual meeting of the Society of Mining Metallurgy and Exploration Engineers*, Albuquerque, NM, Feb. 27.
- [7] **Bilgin, N.**, 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 139-140.
- [8] **Özdemir, L.**, 1994. Mekanik Kayaç Kazısı Prensipleri, *Tünel ve Galeri Açma Meslek İçi Eğitim Semineri*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Editör: Prof. Dr. Şinasi ESKİKAYA, Ekim
- [9] **Pakes., G.**, 1991. Selection of Methods, *World Tunnelling*, **4** no:9, November.
- [10] **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.
- [11] **Tunçdemir, H.**, 1995. Roadheader'ların yapısal ve teknik özellikleri konulu araştırma raporu, *Maden üretim mekanizasyonu yüksek lisans dersi*, Mayıs.

- [12] **Deketh, H.J.R.**, 1995. *Wear of rock cutting tools: laboratory experiments on the abrasivity of rock*. AA Balkema/Rotterdam ISBN: 9054106204
- [13] **Lundberg, B.**, 1974. Penetration of rock by conical indenters, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics*, **11**, no:6, Jun, 209-214
- [14] **Evans, I.**, 1984. A theory of the cutting force for point attack picks, *Internl. J. of Mining Engineering*, **2**, 63-71.
- [15] **Göktan, R.M.**, 1997. A suggested improvement on Evans' cutting theory for conical bits, *4th Int. Symp. on Mine Mech. and Automation*, Brisbane, Australia, July 6-9, 1-5.
- [16] **Nishimatsu, Y.**, 1972. The mechanics of rock cutting, *Int. J. Rock Mech. and Min. Sci.*, **9**, 261-270
- [17] **Potts, E.L.J., Shuttleworth, P.**, 1959. A study of ploughability of coal with special reference to the effects of blade shape, direction of planning to the cleat, Planning speed and influence of water infusion, *Trans. Inst. Min. Engrs.*, **117**, 519-553.
- [18] **Roxborough, F.F., Rispin**, 1973. A laboratory investigation into the application of picks for mechanized tunnel boring in the lower chalk, *The Mining Engineer*, October, 1-13.
- [19] **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.
- [20] **Özdemir, L.**, 1992. Mechanical Excavation Techniques in Underground Construction, *Short Course Notebook*, Technical University of İstanbul, **2**, November 25-27
- [21] **Rostami J., Ozdemir L. and Neil, D. M.**, 1994. Performance prediction: a key issue in mechanical hard rock mining. *Mining Engineering*, Nov, 1263-1267.
- [22] **Mc Feat-Smith, I., Fowell R.J.**, 1977. Rock property testing and cutting performance of tunnelling machines, *Tunnels and Tunnelling*, March, 29-32.

- [23] **Mc Feat-Smith, I., Fowell R.J.**, 1979. The selection and aplication of roadheaders for rock tunnelling, *Proceeding of Rapid Excavation and Tunnelling Conference*, USA, 1, 261-269.
- [24] **Fowell, R.J., Johnson, S.T.**, 1982. Rock classification and assesments for rapid excavation, *Proceeding of The Symposium of Strata Mechanics*.
- [25] **McFeat-Smith I. and Fowell R.J.** 1977. Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines. *Proc. Conference on Rock Engineering*, UK, Conference organized jointly by the British Geotechnical Society and Department of Mining Engineering, The University of Newcastle Upon Tyne, 581-602.
- [26] **Bilgin N.**, 1987. Madenlerde mekanize kazı için bir ölçme sisteminin geliştirilmesi ve T.T.K. Amasra kömür bölgesine uygulanişı, *TÜBİTAK projesi*, MAG 674, 99 .
- [27] **Tunçdemir H.**, 1996. Yanal basınçların ve jeolojik süreksizliklerin kesmelerin kesme performansına olan etkilerinin araştırılması, *Yüksek lisans tezi*, Haziran.
- [28] **Balcı, C.**, 1996. Jeolojik süreksizliklerin kesmelerin kesme performansına olan etkilerinin araştırılması, *Yüksek lisans tezi*, Ocak.
- [29] **Çopur H., Ozdemir L., Rostami J. and Bilgin N.**, 1997, Studies on performance prediction of roadheaders based on field data in mining and tunnelling projects, *Fourth International Symposium On Mine Mechanisation and Automation*, Brisbane, Quinsland, 6-9 July.
- [30] **Bilgin, N., Eskikaya Ş., Balcı C. and Tunçdemir H.**, 1999. Investigation into possibility of using roadheaders in Çayeli copper mine, project report, *Technical University of İstanbul, Faculty of Mines, Mining Engineering Department*, April, 16.
- [31] **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.
- [32] **Bilgin, N. Seyrek, T., Erdinç, E. and Shahriar, K.**, 1990. Roadheaders glean valuable tips for İstanbul Metro. *Tunnels and Tunneling*. 22 n:10, October, 29-32.
- [33] **Hartman, H.L., Breeds, C.D. and Conway, J.J.**, 1992. Rapid excavation, *Mining Engineering Handbook*, 22.1, 1876.

- [34] **Bilgin N., Yazıcı S. and Eskikaya S., 1996.** A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages. *Proc. Eurock 96, Italy-Torino, Balkema, 715-720.*
- [35] **Bilgin, N., Kuzu,C., Eskikaya, Ş. and Özdemir, L., 1997.** Cutting performance of jack hammers and roadheaders in istanbul metro drivages, *World Tunnel Congress 97, Balkema, ISBN 90 5410 8681, 455-460.*
- [36] **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.*
- [37] **Rostami J., Ozdemir L., 1994.** Roadheaders performance optimization for mining and civil construction, *Proceedings of the 13th annual technical conference, Institute of Shaft Drilling Technology (ISDT), Las Vegas, Nevada, April, 18-21.*
- [38] **Çopur H., 1999.** Theoretical and experimental studies of rock cutting with drag bits towards the development of a performance prediction model for roadheaders. *Ph.D. Thesis, Colorado School of Mines, USA-Colorado-Golden, 65.*
- [39] **Hurt K. G., Morris C. J. and Mac Andrew K. M., 1982.** The Design and operation of boom tunneling machine cutting heads. *14th Canadian Rock Mech. Symp., CIM Special 30, 54-58.*
- [40] **Özdemir L. And Miller R.J., 1978.** Mechanical tunnel boring prediction and machine design, *EMI, CSM, Golden Colorado, NSF APR73-07776-A03.*
- [41] **Çopur, H., Özdemir, L. and Rostami, J., 1998.** Roadheader applications in mining and tunneling industries, *SME Meeting, Orlando, Florida, March, 9-11.*
- [42] **Çopur, H., 2000.** Overview of roadheader applications in Turkish mining and civil construction industries. *9th Int. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection, Greece-Athens, Nov. 6-9, 533-537.*
- [43] **Douglas W., 1985.** Roadheaders open new horizons at San Manuel, *Engineering and Mining Journal, August, 22-25.*

- [44] **Garrett, C.R.**, 1985. Development of a roadheader mining system at American Borate Company, *Proceeding of Rapid Excavation and Tunnelling Conf.* New York, 886-901.
- [45] **Gehring K.H.**, 1989. A cutting comparison, *Tunnels and Tunnelling*, November, 27-30.
- [46] **Bert, H.W.**, 1990. The versatile roadheader, *World Mining Equipment*, July/August, 27-33.
- [47] **Unrug, K.F., Tussey, I.J. and Moore, R.**, 1991. Using mobile roof supports for pillar extraction at Martin County Coal, *Mining Engineering*, October, 1215-1218.
- [48] **Habenicht, H. and Neil, M.**, 1989. Panel geometry for full extraction panels using continuous miners and ABLs, *Multinational Conference On Mine Planning and Design*, May.
- [49] **Arioğlu, E.**, 2001. Madencilik sanayii ve problemleri. *Bilim ve Utopya*, Mayıs, 44-50.
- [50] **USGS**, 2001. *The annual metal statistics*. May, <http://minerals.usgs.gov/minerals/>
- [51] **İMMİB**, 2000. Yıllık istatistiksel çalışma raporları.
- [52] **Yıldız, N.**, 1999. XX. Yüzyılın sonunda Türkiye madenciliğinin sorunlarına bir bakış. *16th Madencilik Kongresi*, Ankara, Maden Mühendisleri Odası, 1-8.
- [53] **MTA web sayfası**, 2001. <http://www.mta.gov.tr/>, Mayıs.
- [54] **DPT**, 1996. Bor bileşikleri yedinci beş yıllık kalkınma özel ihtisas komisyonu raporu, Ankara, *T.C. Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No:2427-ÖİK:485*, 8.
- [55] **Harben, P.W.**, 1995. The industrial minerals handbook: a guide to markets, specifications & prices, London, UK, ISBN: 0947671900.
- [56] **Hekimhan-Karakuz**, 1990. Demir cevherlerinden parça cevher ve sinterlik konsantre üretimine yönelik fizibilite projesi, *İ.T.Ü. Yerbilimleri ve Yeraltı Kaynakları Araştırma Merkezi*, Ağustos, İstanbul, 85.
- [57] **MTA**, 1998. Endüstriyel Mineraller ve Metaller Raporları
- [58] **Önal, G., Ateşok, G.**, 1994, *Cevher Hazırlama El Kitabı*, Haziran, İstanbul, ISBN-975-7946-00-1

- [59] **T.D.Ç.İ.**, 1990. Divriği Madenleri Müessesesi Demir Cevheri Zenginleştirme Tesisinin Performans Etüdü, *Arapor*, İ.T.Ü. Yerbilimleri ve Yeraltı Kaynakları Araştırma Merkezi, Şubat, İstanbul.
- [60] **Trabzon Maçka Yöresi**, 1992. Kurşun-çinko cevherinin zenginleştirme deneyleri, *Araştırma Raporu*, İ.T.Ü. Yerbilimleri ve Yeraltı Kaynakları Araştırma Merkezi, Nisan, İstanbul.
- [61] **Önal, G., Özpeker I., Doğan, Z., Altıntığ A. ve Renda D.**, 1997. Türkiye çinko envanteri, *İMMİB*, Temmuz, İstanbul.
- [62] **Önal, G., Özpeker I., Doğan, Z., Altıntığ A. ve Renda D.**, 1995. Türkiye krom envanteri, *İMMİB*, Mart, İstanbul.
- [63] **Önal, G., Özpeker I., Doğan, Z., Altıntığ A. ve Renda D.**, 1997. Türkiye kurşun envanteri, *İMMİB*, Temmuz, İstanbul
- [64] **Yüce, E.**, 1999. Endüstriyel mineraller el kitabı, *İMMİB*, Ekim, İstanbul.
- [65] **Algan, M.**, 2000. Kişisel görüşme.
- [66] **Gray, A.**, 1988. Lead chrome pigments, Ed: Lewis, P.A., Properties and economics: Pigments Handbook, New York, *Wiley-Interscience Publication*, 1, 315-325.
- [67] **Papp, J.F.**, 1994. Chromium life cycle study: *U.S. Bureau of Mines Information Circular* 9411, 94.
- [68] **Chromite**, <http://www.minerals.net/mineral/oxides/chromite/chromite.htm>
- [69] **DPT**, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Ö İ K Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu, Krom Çalışma Grubu Raporu, Ankara ISBN 975-19-2862-1
- [70] **Altunkaynak, Ş.**, 1999. Kromit, Türkiye Endüstriyel Mineral Envanteri, *İMMİB*, İstanbul, Aralık, 96-101.
- [71] **Industrial Minerals**, 1999, Yearly statistical book, Şubat.
- [72] **U.S. Geological Survey**, 2001. Mineral Commodity Summaries, January.
- [73] **Harben P.W.**, 1995. The Industrial Minerals Handbook 2nd Edition, Industrial Minerals Information Services, Metal Bulletin, London, UK, March, 254.
- [74] **Öztunalı, Ö.**, 1973. Maden Yatakları oluşumları ve değerlendirilmeleri, Latin matbaası, İstanbul

- [75] **U.S. Bureau of the Census**, 1997. 1940 through 1997, U.S. Department of Commerce. Based on U.S. chromite ore import statistics.
- [76] **Saltoğlu, S.**, 1988. Madenlerde yeraltı üretim yöntemleri, İ.T.Ü: Maden Fakültesi Matbaası, **25**, İstanbul
- [77] **DPT**, 1993. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Ö İ K Kromit Raporu.
- [78] **DPT web sayfası**, Trona, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/oik474/2.zip>
- [79] **US Bureau of Mines**, 1985. Facts And Problems,.
- [80] **Roskill Information Series**, 1989, The Economics of Soda Ash
- [81] **TS-525**, 1967. Susuz sodyum karbonat ve çamaşır sodası *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [82] **US Bureau of Mines**, 1992. Soda Ash
- [83] **Onargan, T. ve Helvacı C.**, 2001, Ankara-Beyşehir doğal soda sahasının önemi ve işletme parametrelerinin irdelenmesi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 17-18 Ekim, İzmir.
- [84] **DPT**, 1993. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Ö İ K Trona Raporu.
- [85] **Göktekin, A.**, 1988, Etibank Beyşehir Trona Sahasında Yapılan Sondajlardan Alınan Karotlar Üzerinde Yapılan Testler ve Değerlendirmeler, *Araştırma Projesi*, Ocak, İstanbul.
- [86] **DPT**, 2001. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayii hammaddeleri Cilt II (bor tuzları-trona-kaya tuzu-sodyum sülfat-stronsiyum çalışma grubu raporu, Ankara, ISBN 975-19-2822-2.
- [87] **Aykol A, Ergunalp D.**, 1999. Selestit, Türkiye Endüstriyel Mineral Envanteri, *İMMİB*, İstanbul Aralık, 177-180.
- [88] **Kayan, T.**, 1987. Kabalı Köyü (Hafik-Sivas) Selestit Yatağı Maden Jeolojisi, *M.T.A.* Ankara.
- [89] **Çubuk, Y.**, 1992, Battalhöyüğü Tepe (Ulaş-Sivas) Selestit Yatağının Jeolojisi: TJK., Kurultay Bildirileri.
- [90] **Çubuk, Y.**, 1991. Stronsiyum, Sivas-Bölge Yayınları 3, MTA, Ankara.
- [91] **DPT**, 2001. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Metal madenler alt komisyonu bakır-pirit çalışma grubu raporu, Ankara, ISBN 975-19-2861-3.
- [92] **Önal, G., Özpeker I., Doğan, Z., Altıntığ A. ve Renda D.**, 1997. Türkiye Bakır Envanteri, 1997, *İMMİB*, Temmuz, İstanbul.

- [93] **Copper webpage**, <http://www.minerals.net/mineral/elements/copper/copper.htm>
- [94] **DPT**, 1996. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler Alt Komisyonu Bakır Cevheri ve Pirit Çalışma Grubu Raporu, Eylül, Ankara.
- [95] **DPT**, 1987, Demir dışı metal madenleri, Ankara
- [96] **Bilgin, N., Çopur, H., and Tunçdemir H.**, 2000. Türkiye metal madenlerinde üretimi ve verimliliği arttırmak için kollu galeri açma makinalarının kullanılabilirliğinin etüdü, DPT Proje No:141, Dedeman Madencilik A.Ş. Pınarbaşı Pulpınar Yeraltı Kromit Madeni'nde Yapılan İncelemeler İle İlgili Rapor, 11-15 Ekim,
- [97] **Saraç, B.** Kişisel görüşme, Maden Mühendisi, İşletmeler Müdürü, Dedeman Madencilik A.Ş. Pınarbaşı Pulpınar Yeraltı Kromit Madeni.
- [98] **Anon, A.**, 1978. Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks, *Int J Rock Mech Min Sci and Geo. Abs.*, **15**, n.3, 89-97.
- [99] **Poole, R.W. and Farmer, I.W.**, 1980. Consistency and Repeatability, Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing, *Int J Rock Mech Min Sci and Geo. Abs*, **17**, 167-171.
- [100] **Ayday, C. and Göktan, R.M.**, 1992. Correlation Between L and N Type Schmidt Hammer Rebound Values Obtained During Field Testing, *International ISRM Symposium on Rock Characterization*, Chester, Sept., 47-51.
- [101] **Ayday, C. and Göktan R.M.**, 1993. The statistical comparison of the Schmidt hammer recording techniques. *Bull. Rock Mech.* (The Publication of The Turkish National Society for Rock Mechanics), **9**:25-35.
- [102] **Young R.P.**, 1978. Assessing rock discontinuities. *Tun & Tunnelling*, **45-8**.
- [103] **Kidybinski A.**, 1968. Rebound number and the quality of mine roof strata. *Int J Rock Mech Min Sci*, **5**, 283-92.
- [104] **Poole, R.W., Farmer, I.W.**, 1978. Geotechnical factors affecting tunnelling machine performance in coal measures rocks. *Tun. & Tunnelling*, 27-30.
- [105] **Howart, D.F., Adamson W.R. and Berndt J.R.**, 1986. Correlation of model tunnel boring and drilling machine performances with rock properties. *Int J Rock Mech Min Sci*. **23**,171.

- [106] **Kahraman S.**, 1999. Rotary and Percussive Drilling Prediction Using Regression Analysis. *Int J Rock Mech Min Sci*; **36**, 981 - 9 (Technical note).
- [107] **Kahraman S., Balci C., Yazici S. And Bilgin N.**, 2000. Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index. *Int J Rock Mech Min Sci*. **37**, 729-43.
- [108] **Kahraman S.**, 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *Int J Rock Mech Min Sci*; **38**, 981-994.
- [109] **Bilgin, N., Çopur, H., ve Tunçdemir H.**, 2000. Türkiye metal madenlerinde üretimi ve verimliliği arttırmak için kollu galeri açma makinalarının kullanılabilirliğinin etüdü, DPT Proje No:141, Türk Maadin A.Ş. Mihallıççık-Kavak Yeraltı Kromit Madeni'nde Yapılan İncelemeler İle İlgili Rapor, 26-29 Ekim.
- [110] **Beyazadam, M.**, 2000. Kişisel görüşme, Maden Mühendisi, İşletmeler Müdürü, Türk Maadin A.Ş. Mihallıççık-Kavak Yeraltı Kromit Madeni.
- [111] **Helvacı, C. ve İnci, U.**, 1989. Beypazarı trona yatağının jeolojisi, minerolojisi, jeokimyası, ve yörenin trona potansiyeli, TÜBİTAK, Temel Bilimler Araştırma Grubu, Proje No: TBAG-685, Ankara.
- [112] **Aydın, Y. ve Şenkal, S.**, 2001. Kişisel görüşme, İşletme Mühendisleri, Parkteknik Beypazarı Trona işletmesi
- [113] **Onargan T.**, 2001, Ankara Beypazarı Trona Sahası İşletme Projesi, Ana yollarda tahkimat etüdü, DEU-MAG 2001 İzmir.
- [114] **Bilgin N., Eskikaya Ş., Balci C. and Tunçdemir H.**, 1999. Investigation into possibility of using roadheaders in Çayeli copper mine, *Project Report*, Nisan
- [115] **Güven, S.**, 1998. Çayeli Bakır İşletmeleri'nde katlar arası patlatma, 3. Delme ve patlatma sempozyumu, 25-27 Şubat, 95-105.
- [116] **Balci, C., Özbakır, O. ve Avşar, S.**, 1998. Bazı kayaçların dinamik ve statik elastik modüllerinin karşılaştırılması, 4. *Ulusal Kaya Mekaniği Bildiriler Kitabı*, 22-23 Ekim, 13, ISBN 975-395-283-X
- [117] **CNS Electronics Ltd**, Pundit 6 portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester, *Operating Manual*, London.

- [118] **Atkinson, T., Cassapi, V.B. and Singh, I.,** 1986. Assesment of abrasive wear resistance potential in rock excavation machinery.
- [119] **Ertan E.,** 1994. Doğrusal kazı setinin yapısı ve özellikleri, Hidrokraft Ltd Şti.
- [120] **Bilgin, N. ve Diğ.,** 1995. Madenlerde ve tünellerde kazı mekanizasyonu araştırmaları için geliştirilen bir deney setinin tanıtılması. *Türkiye 14. madencilik kongresi*, Ankara, 6-9 Haziran.
- [121] **Morley, A.,** 1944. *Strength of Materials*. Longman, London, 35.
- [122] **Hatenyi, M.,** 1966. Handbook of Experimental Stress Analysis. Wiley, New York, 115
- [123] **Hucka V., and Das, B.,** 1974. Brittleness Determination of Rocks by different methods, *Int. J. Rock Mec. and Min. Sci.* 11 (10): 389-392
- [124] **Kahraman, S.,** 2002. Correlation of TBM and drilling machine performances with rock brittleness, *Engineering Geology*, 65, 269-283.
- [125] **Roxborough F.F. and Rispin A.,** 1972. Report to the transport and road research laboratory of the department of the environment on The Mechanical Characterictics of the Lower Chalk, *Department of Mining Engineering University of Newcastle upon Tyne*, May.
- [126] **Bieniawski Z.T.,** 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York. 251 pages.
- [127] **Altındağ R.,** 2000. Darbeli delmede kırılğanlık analizi. *Yerbilimleri Geosound*, 37, Aralık, sf.161-169.
- [128] **Bilgin, N.,** 1982. The cuttability of evaporites. *Bulletin of the international association of engineering geology*, 25, 85-90.
- [129] **Rostami, J., Neil, D.M. and Özdemir, L.,** 1993. Roadheader aplication for the Yucca Mountain experimental study facility, *CSM*, Final report, Nevada, USA.
- [130] **Roxborough, F.F.,**1973. Cutting rock with picks, *The Mining Engineer* June.
- [131] **Bilgin, N.,** 1994. Yeraltı kazılarında mekanizasyon, *Ulaşımında yeraltı kazıları I. sempozyumu*, TMMOB Maden Müh. Od. Yayını, Aralık, İstanbul, 53.
- [132] **Nizamoğlu, S.,** 1978. Contribution a L’etude du fonctionnement des tunelliers “plain section” et analyse de L’Usure de Leurs Outils de Coupe, These pour obtenir Le Grade De Docteu Ing. Ecole Des Mines Nancy, 139.

- [133] **Johnson, S.T. and Fowell, R.J.**, 1986. Compressive strength is not enough, assessing pick wear rates for drag tool equipped machines, *University of Newcastle upon Tyne*.
- [134] **Fowell, R.J.**, 1993. The mechanics of rock cutting. Compressive rock engineering, Pergamon press, 155-176



EK-A: Kaya Mekanik Deney Sonuçları



Tablo A.1 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1, roş 2 kaya mekaniği deney sonuçları

Numune Adı		Çap (mm)	Boy (mm)	Ağırlık (gr)	Yoğ. (gr/cm ³)	Yük kN	Basınç Day. MPa	Çekme Day. MPa	Statik Elast. Mod. GPa	Dinamik Elast. Mod. GPa
Roş1	A	54.10	114.10	1080.49	4.12	80.20	34.9		3.5	31.2
	C	54.10	81.10	754.78	4.05	62.00	27.0			
	D	37.80	77.70	352.84	4.05	44.00	39.2			
	E	37.90	77.40	352.94	4.04	38.10	33.8			
	F	37.70	77.10	343.30	3.99	34.90	31.3			
	G	37.70	76.80	349.96	4.08	30.10	27.0			
	B	54.10	96.20	912.38	4.13	56.20	*24.5			
	H	37.70	33.30	145.74	3.92	8.80		4.5		
	I	37.70	33.10	147.31	3.99	6.60		3.4		
	K	54.00	49.00	454.78	4.05	12.70		3.1		
	M	54.10	29.20	261.46	3.90	10.00		4.0		
Ortalama					4.03		32.2	3.7	3.5	31.2
Roş2	A	54.30	113.30	929.48	3.54	76.30	33.0			
	B	54.00	101.30	810.21	3.49	80.20	35.0			
	G	37.30	69.90	263.79	3.46	64.70	59.2			
	H	37.30	72.50	281.08	3.55	66.00	60.4			
	D	54.10	60.50	380.14	2.73	69.80	*30.4			
	K	54.2	109.2	890	3.54	111.2	48.2		2.3	76.4
	L	54.4	84	677	3.47	93.4	40.2			
	E	54.20	47.90	380.14	3.44	20.60		5.1		
	F	54.20	37.70	301.80	3.47	11.20		3.5		
	I	38.70	36.40	142.24	3.32	9.80		4.4		
	J	37.70	37.30	145.22	3.49	10.80		4.9		
Ortalama					3.39		46.0	4.5	2.3	76.4

*Koyu ve yana yatık olan değerler ortalamaya dahil edilmemiştir.

Tablo A.2 Pınarbaşı-Pulpınar kromit harsburgit yankayacı kaya mekaniği deney sonuçları

Numune Adı		Çap (mm)	Boy (mm)	Ağırlık (gr)	Yoğ. (gr/cm ³)	Yük (kN)	Basınç Day. MPa	Çekme Day MPa	Statik Elast Mod. GPa	Dinamik Elast Mod. GPa
Harsburgit	B	54.0	112.7	683	2.65	59.6	26.0		*3.2	
	C	54.0	89.4	548	2.68	82.9	36.2			
	F	38.0	77.5	237	2.69	104.5	92.2			
	H	38.0	76.8	236	2.71	86.6	76.4			
	G	38.0	76.9	228	2.62	20.0	*17.6			
	A	54.2	110.0	664	2.62	25.0	*10.8		2.1	16.1
	E	54.0	50.3	299	2.60	23.3		5.5		
	I	38.0	38.0	114	2.64	8.8		3.9		
	J	38.0	38.0	114	2.66	14.7		6.5		
	K	38.0	38.0	114	2.64	14.3		6.3		
Ortalama					2.65		57.7	5.5	2.1	16.1

*Koyu ve yana yatık olan değerler ortalamaya dahil edilmemiştir.

Tablo A.3 Kavak cevher kayası için yapılan kaya mekaniği deneyleri sonuçları

Numune		Çap (mm)	Boy (mm)	Ağırlık (gr)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Yük (kN)	Basınç Day. MPa	Çekme Day MPa	Statik Elast Mod. GPa	Dinamik Elast Mod. GPa
Kavak Cevher	A	54.1	115.0	793	3.00	107.9	47.0		2.9	
	C	54.0	112.6	725	2.81	131.1	57.3			35.2
	F	38.0	77.3	260	2.96	40.5	35.7			
	G	38.0	77.8	264	3.00	52.0	45.9			
	B	54.1	113.5	772	2.96	27.9	*12.1			
	E	54.1	55.5	383	3.01	22.2		4.7		
	H	38.0	38.0	119	2.75	10.4		4.6		
	I	38.0	38.0	126	2.92	8.6		3.8		
	J	38.0	38.0	114	2.65	6.3		2.8		
	K	38.0	40.0	125	2.76	7.1		3.0		
Ort.							46.5	3.8	2.9	35.2

*Koyu ve yana yatık olan değerler ortalamaya dahil edilmemiştir.

Tablo A.4 Kavak kromit serpantin yankayacı kaya mekaniği deney sonuçları

Numune Adı		Çap (mm)	Boy (mm)	Ağırlık (gr)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Yük (kN)	Basınç Day. MPa	Çekme Day. MPa	Statik Elast. Mod. GPa	Dinamik Elast. Mod. GPa
Kavak Serpantin	D	38.0	77.6	221	2.51	53.7	47.4			
	E	38.0	77.5	220	2.51	26.4	23.3			
	F	38.0	76.2	217	2.51	49.3	43.5			
	A	54.0	111.2	649	2.55	38.9	<i>*17.0</i>		2.3	13.9
	B	54.2	110.0	637	2.51	12.9	<i>*5.6</i>			
	G	38.0	38.0	105	2.45	14.1		6.2		
	H	38.0	38.0	107	2.48	12.3		5.4		
	I	38.0	38.0	104	2.42	12.8		5.6		
	J	38.0	38.0	109	2.54	10.6		4.7		
	K	38.0	38.0	103	2.39	13.6		6.0		
	L	38.0	38.0	108	2.50	13.7		6.0		
Ortalama					2.49		38.1	5.7	2.3	13.9

*Koyu ve yana yatık olan değerler ortalamaya dahil edilmemiştir.

Tablo A.5 Trona kaya mekaniği deney sonuçları

Numune Adı		Çap (mm)	Boy (mm)	Ağırlık (gr)	Yük (kN)	Basınç Day. MPa	Çekme Day. MPa	Statik Elast. Mod. GPa	Dinamik Elast. Mod. GPa
Trona	A	37,50	75,20	792,80	16,70	<i>*15.1</i>			
	B	37,50	73,00		11,60	<i>*10.5</i>			
	C	37,50	76,80	725,30	14,70	<i>*13.3</i>			
	D	37,50	75,70	259,69	13,00	<i>*11.8</i>			
	E	37,50	77,60	264,26	11,40	<i>*10.3</i>			
	K	53,6	101,9	124,94	66,50	29,5		3.3	3.7
	O	53,5	91,2		67,00	29,8		3.5	
	L	54,2	108,0		31,20	<i>*13.5</i>		<i>*1.9</i>	
	M	53,5	98,0		14,50	<i>*6.5</i>			
	N	53,8	95,0		41,90	<i>*18.4</i>		<i>*1.9</i>	
	P	53,5	89,3		31,70	<i>*14.1</i>		<i>*1.5</i>	
	G	53,6	33,8	383,25	4,80		1.7		
	H	53,6	56,5	118,62	8,20		1.7		
	I	37,5	41,0	125,61	5,50		2.3		
	J	37,5	42,3	114,02	6,30		2.5		
Ortalama						29.7	2.1	3.4	3.7

*Koyu ve yana yatık olan değerler ortalamaya dahil edilmemiştir. Basınç dayanımı deneyleri 38-76 mm boyutlarında numunelere uygulanmış ancak standartlara uygun bir şekilde kırılmadığı için ortalamaya dahil edilmemiştir. K ve O numunesi 55-110 mm boyutlu numunelerdir ve standartlara uygun bir kırılma gerçekleşmiş, bu yüzden sadece bu değerler ortalamaya dahil edilmiştir.

EK-B: Kazı Mekaniği Deney Sonuçları



Tablo B.1 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 d=5 mm'de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kW/h/m ³)
1B	5	yardımsız	0.382	92.32	0.060	190.7	461.0	153.7	352.5	31.19	8.66
13B	5	yardımsız	0.35	92.89	0.066	215.6	596.7	172.8	445.8	32.12	8.92
17B	5	yardımsız	0.29	87.54	0.075	230.6	746.8	193	541.4	30.20	8.39
2B	5	5	0.382	52.63	0.034	102.3	306.4	80.1	235.8	29.35	8.15
3B	5	5	0.382	49.77	0.032	104.1	280.7	81.2	220.8	31.59	8.77
4B	5	5	0.38	38.34	0.025	108.2	296.9	84.3	236.7	42.40	11.78
5B	5	10	0.386	80.39	0.052	164	473.6	127.8	387.8	31.13	8.65
6B	5	10	0.38	82.77	0.054	173.4	531.5	146.5	450.8	31.47	8.74
7B	5	10	0.35	68.34	0.048	204.9	705.3	176.9	617.8	41.49	11.52
8B	5	15	0.36	112.76	0.078	267.1	1128	239.1	923.5	33.71	9.36
9B	5	15	0.352	94.24	0.066	264.1	919.1	243.5	865	39.00	10.83
10B	5	15	0.35	105.44	0.075	245.7	826.4	228.8	735.9	32.24	8.96
11B	5	25	0.305	96.49	0.079	366.1	1263.5	342.4	1201.2	45.75	12.71
12B	5	25	0.29	94.11	0.081	218.1	721.2	182.5	540.2	26.57	7.38
14B	5	25	0.345	109.16	0.079	348.5	928.7	292.1	725.4	43.54	12.10
15B	5	25	0.34	134.86	0.098	316.9	1155.2	286.2	917.1	31.59	8.77
16B	5	25	0.33	113.53	0.085	299.6	1093.1	275.6	960.8	34.43	9.56
1A	5	yardımsız	0.36	94.32	0.065	260.7	757.2	216.4	567.8	39.34	10.93
13A	5	yardımsız	0.35	93.41	0.066	294.7	883.1	243	687.1	43.65	12.13
17A	5	yardımsız	0.4	122.57	0.076	250.6	729	206.9	621.4	32.33	8.98
2A	5	5	0.355	45.83	0.032	148	423.7	115.9	299.9	45.32	12.59
3A	5	5	0.36	42.23	0.029	165	474.1	129.4	370.1	55.61	15.45
4A	5	5	0.37	37.27	0.025	154.5	456.5	118.7	327.2	60.64	16.84
5A	5	10	0.383	80.48	0.052	213.6	620.7	167.6	503.3	40.19	11.16
6A	5	10	0.388	79.68	0.051	218.5	646.5	180.6	538.5	42.06	11.68
7A	5	10	0.36	64.27	0.044	234.7	623	199.1	521.9	51.97	14.44
8A	5	15	0.38	118.41	0.077	273.9	852.2	233.2	682.8	34.76	9.65
9A	5	15	0.395	106.72	0.067	211.2	658.9	177.8	528.5	30.90	8.58
10A	5	15	0.425	107.29	0.063	192.4	641.1	153.2	486.9	30.13	8.37
11A	5	25	0.42	138.67	0.082	235.7	802.9	193.5	562.6	28.22	7.84
12A	5	25	0.38	139.55	0.091	209.2	850.9	171.8	686.6	22.52	6.26
14A	5	25	0.37	110.79	0.074	434.9	1038.8	380.3	840.9	57.42	15.95
15A	5	25	0.39	131.57	0.084	334.2	1022.9	292.2	839.4	39.16	10.88
16A	5	25	0.395	150.44	0.095	247.2	922.7	210.1	658.9	25.66	7.13

Tablo B.2 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 1 d=10 mm’de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1B	10	yardımsız	0.35	315.23	0.223	404.3	943.8	266.5	592.1	17.75	4.93
2B	10	10	0.35	176.72	0.125	236.9	630.9	157.7	425.1	18.55	5.15
3B	10	10	0.35	132.84	0.094	311.1	921.1	205.8	527.4	32.41	9.00
4B	10	20	0.305	287.37	0.234	412	1421.1	290.7	961.7	17.29	4.80
5B	10	30	0.29	324.68	0.278	443.2	1696.5	330.6	1112.1	15.65	4.35
6B	10	30	0.23	248.49	0.268	423.5	1273.5	289.2	773.9	15.50	4.30
7B	10	yardımsız	0.32	368.97	0.286	488.2	1371.2	314.2	834.2	16.74	4.65
8B	10	50	0.33	616.9	0.464	499.3	2048.7	336.1	1129.3	10.56	2.93
9B	10	50	0.29	526.42	0.450	893.4	2357.8	674.4	1518.5	19.46	5.40
1A	10	yardımsız	0.36	317.16	0.219	535.9	1664.8	372.6	1079.2	24.05	6.68
2A	10	10	0.37	168.36	0.113	404.8	1159.6	275.7	728.1	35.17	9.77
3A	10	10	0.37	142.39	0.095	414.8	1151.9	281.4	756.1	42.61	11.84
4A	10	20	0.38	346.86	0.226	319.6	1243.1	210.6	807.5	13.84	3.85
5A	10	30	0.37	415.43	0.279	415.1	1567.1	282.1	977.3	14.62	4.06
6A	10	30	0.33	402.77	0.303	299.9	1163	187.6	685.9	9.71	2.70
7A	10	yardımsız	0.355	393.64	0.275	689.8	1953.1	464.1	1186.7	24.59	6.83
8A	10	50	0.35	615.93	0.437	567.5	1870.1	385.8	1098.4	12.75	3.54
9A	10	50	0.375	634.47	0.420	589.9	1789.4	352.3	975.9	13.78	3.83

Tablo B.3 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 2 d=5 mm'de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	5	yardımsız	0.205	46.26	0.067	552.5	1410.1	538.4	1249	81.42	22.62
2	5	yardımsız	0.15	19.34	0.038	303.4	701.6	275.2	569.1	78.26	21.74
3	5	5	0.155	12.12	0.023	251.1	586.5	223	504.1	106.79	29.66
4	5	5	0.145	13.76	0.028	329.1	712.7	292.3	580.3	115.33	32.04
5	5	10	0.225	44.41	0.058	298.4	815.5	279.8	741.8	50.28	13.97
6	5	10	0.23	43.09	0.055	309.6	876	282.2	745.3	54.96	15.27
7	5	10	0.24	39.11	0.048	312.3	754.8	277.7	644.1	63.73	17.70
8	5	15	0.24	61.67	0.076	485.8	1103.8	458.3	941.6	62.87	17.46
9	5	15	0.235	61.38	0.077	351	914.7	336.2	852.7	44.69	12.41
10	5	yardımsız	0.18	38.58	0.063	267.3	906.7	200.2	652.9	41.47	11.52
11	5	25	0.205	57.75	0.083	364.5	1070.2	287.2	764.4	43.03	11.95
12	5	25	0.2	77.1	0.114	304.7	1025.3	252.8	688	26.29	7.30
13	5	yardımsız	0.26	50.76	0.058	407.4	1279.8	382.1	1001	69.40	19.28
14	5	yardımsız	0.25	60.73	0.072	309.5	882.4	251.8	633.2	42.37	11.77
15	5	5	0.21	31.26	0.044	175.2	408.3	136.1	290.8	39.14	10.87
16	5	5	0.22	18.36	0.025	122.9	320.3	89.1	245.5	48.97	13.60
17	5	5	0.21	25.08	0.035	164.8	482.1	122.3	326.8	45.89	12.75
18	5	10	0.27	52.28	0.057	175.5	521.3	145	368.1	30.14	8.37
19	5	10	0.24	43.65	0.054	220.6	529.2	179.6	397.7	40.34	11.20
20	5	10	0.24	47.59	0.058	215.9	514.6	180.6	394.6	36.21	10.06
21	5	15	0.24	60.77	0.075	389.5	867.4	361.3	816.4	51.16	14.21
22	5	15	0.245	48.77	0.059	392.8	850.2	354.8	725	65.62	18.23
23	5	15	0.24	53.03	0.065	429.4	990.3	390.9	805.2	64.63	17.95
24	5	25	0.18	65.13	0.107	554.3	1091.3	521.8	910.7	50.95	14.15
25	5	yardımsız	0.225	47.66	0.062	198.6	625.4	139	393.2	31.18	8.66
26	5	25	0.27	58.68	0.064	269.4	795.8	192.3	519.7	41.22	11.45
27	5	25	0.275	65.75	0.071	235.5	652.9	180.3	507.5	32.76	9.10

Tablo B.4 Pınarbaşı-Pulpınar kromit roş 2 d=10 mm'de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1B	10	yardımsız	0.225	219.5	0.288	1128.6	3002.3	778.2	1871.2	38.47	10.7
2B	10	10	0.22	86.95	0.117	829.5	1617.7	591.8	1185.8	69.80	19.4
3B	10	10	0.235	101.81	0.128	744.7	1749.1	569.6	1703.4	57.16	15.9
4B	10	20	0.235	200.13	0.251	746	2158.1	558.9	1476.3	29.13	8.1
5B	10	20	0.22	244.77	0.328	638.8	2150	441.9	1340.4	19.09	5.3
6B	10	20	0.21	210.12	0.295	685.4	2012.6	484.7	1370.2	22.78	6.3
7B	10	yardımsız	0.145	90.87	0.185	374.3	977.6	227.1	510.7	19.86	5.5
8B	10	30	0.185	71.24	0.114	536.7	1247.1	382.1	816.5	46.35	12.9
9B	10	30	0.195	95.73	0.145	575.1	1610.4	446.1	1148.4	38.96	10.8
10B	10	30	0.2	123.84	0.183	554.8	1646.9	415.2	1164.2	29.80	8.3
11B	10	50	0.235	86.9	0.109	717.3	2036.7	556.4	1412.2	64.51	17.9
1A	10	yardımsız	0.295	281.06	0.281	688.1	1453.8	435.6	861.9	24.02	6.7
2A	10	10	0.27	123.37	0.135	290.6	930.2	180.3	494.1	21.15	5.9
3A	10	10	0.275	130.93	0.140	450.9	1090.1	297.2	702.3	31.50	8.7
4A	10	20	0.27	228.21	0.249	498.7	1278.1	328	757	19.62	5.5
5A	10	20	0.27	250.7	0.274	529.8	1334.4	342.2	831.7	18.98	5.3
6A	10	20	0.25	226.29	0.267	749.3	2063.8	533.4	1391	27.53	7.6
7A	10	yardımsız	0.19	82.72	0.128	549.7	1692.1	425.1	1132.7	41.99	11.7
8A	10	30	0.185	98.69	0.157	339.7	953.7	230	594.2	21.18	5.9
9A	10	30	0.2	138.08	0.204	312.2	1061.2	207.8	600.2	15.04	4.2
10A	10	30	0.15	107.55	0.212	351.2	1038.4	249.6	645.1	16.29	4.5
11A	10	50	0.245	97.47	0.117	647.2	1707.1	497.5	1997.7	54.10	15.0

Tablo B.5 Pınarbaşı-Pulpınar kromit harsburgit yankayaçı d=5-9 mm’de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	5	yardımsız	0.175	42.71	0.092	486	1599	577	1507	51.8	14.4
2	5	5	0.165	10.3	0.024	228	656	257	716	94.7	26.3
3	5	5	0.175	13.6	0.029	304	856	334	901	101.8	28.3
4	5	5	0.18	13.44	0.028	326	934	363	900	113.4	31.5
5	5	10	0.185	33.77	0.069	326	1131	345	902	46.5	12.9
6	5	10	0.18	26.86	0.056	336	909	365	897	58.6	16.3
7	5	10	0.185	29.64	0.060	323	1073	350	942	52.4	14.5
8	5	15	0.205	46.92	0.086	428	1316	485	1139	48.7	13.5
9	5	15	0.205	44.61	0.082	414	1300	468	1176	49.4	13.7
10	5	15	0.225	44	0.074	457	1182	541	1241	60.7	16.9
11	5	25	0.21	67.71	0.122	334	1389	372	1281	26.9	7.5
15	5	25	0.22	61.06	0.105	467	1498	502	1327	43.8	12.2
12	5	25	0.22	54.39	0.093	479	1472	515	1458	50.4	14.0
16	5	25	0.225	63.67	0.107	487	1474	536	1302	44.8	12.4
13	5	yardımsız	0.195	43.83	0.085	532	1419	615	1322	61.5	17.1
14	5	yardımsız	0.205	35.13	0.065	575	1473	672	1512	87.2	24.2
1	9	yardımsız	0.135	104.55	0.292	915	2621	911	2024	30.7	8.5
2	9	yardımsız	0.195	125.73	0.243	716	2492	722	1942	28.9	8.0
3	9	9	0.22	27.88	0.048	604	1664	669	2013	124.0	34.4
4	9	9	0.215	55.09	0.097	541	1567	600	1656	54.9	15.3
5	9	9	0.22	44.63	0.077	520	1294	583	1295	66.6	18.5
6	9	18	0.205	88	0.162	768	2025	839	2045	46.5	12.9
7	9	18	0.22	100.64	0.173	714	2235	702	1991	40.6	11.3
8	9	18	0.21	112.09	0.201	658	2192	741	2068	32.1	8.9
9	9	27	0.23	150.24	0.246	674	2213	762	2132	32.8	9.1
10	9	27	0.245	121.17	0.187	1056	2752	1146	2410	55.5	15.4
11	9	27	0.215	117.73	0.207	841	2266	941	1973	39.9	11.1
12	9	yardımsız	0.165	108.53	0.248	929	2762	993	2351	36.7	10.2
13	9	45	0.185	153.1	0.312	805	2681	836	2341	25.28	7.0
14	9	45	0.18	114.48	0.240	942	2465	977	2211	38.52	10.7
15	9	45	0.16	151.64	0.358	985	2688	1020	2266	27.02	7.5

Tablo B.6 Kavak kromit cevher kayacı d=5 ve 9 mm'de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	5	yardımsız	0.235	53.55	0.079	326	948	283	740	40.44	11.23
2	5	5	0.235	12.06	0.018	170	491	145	368	93.34	25.93
3	5	5	0.235	15.00	0.022	160	516	138	412	70.62	19.62
4	5	5	0.235	14.49	0.021	166	470	147	367	75.99	21.11
5	5	10	0.235	37.34	0.055	246	635	217	536	43.68	12.13
6	5	10									
7	5	10	0.275	37.41	0.047	214	642	181	525	44.38	12.33
8	5	10	0.270	39.73	0.051	228	636	195	548	43.76	12.16
8	5	15	0.240	50.96	0.074	241	842	210	714	32.08	8.91
10	5	15	0.240	44.89	0.065	302	778	262	668	45.68	12.69
11	5	15	0.230	54.24	0.082	288	789	251	619	34.56	9.60
12	5	25	0.215	42.42	0.069	330	788	298	720	47.28	13.13
13	5	25	0.205	47.78	0.081	262	795	238	667	31.70	8.81
14	5	25	0.195	37.8	0.067	346	946	309	730	50.43	14.01
15	5	yardımsız	0.220	44.42	0.070	312	794	286	688	43.71	12.14
1	9	yardımsız	0.210	102.64	0.170	647	1677	550	1226	37.38	10.38
2	9	9	0.210	39.18	0.065	423	930	351	689	64.05	17.79
3	9	9	0.210	46.24	0.076	451	886	379	678	57.87	16.08
4	9	9	0.210	55.68	0.092	438	974	354	716	46.64	12.96
5	9	18	0.255	136.2	0.185	424	1212	341	794	22.40	6.22
6	9	18	0.255	126.9	0.173	369	1125	302	753	20.94	5.82
7	9	18	0.240	93.24	0.135	377	1066	307	761	27.40	7.61
8	9	27	0.225	195.57	0.302	400	1527	331	1123	12.98	3.61
9	9	27	0.280	197.65	0.245	442	1470	341	1095	17.69	4.91
10	9	27	0.280	182.1	0.226	525	1216	417	865	22.80	6.33
11	9	yardımsız	0.205	93.77	0.159	680	1571	593	1144	42.00	11.67
12	9	45	0.225	169.73	0.262	713	1871	625	1443	26.70	7.42
13	9	45	0.270	227.16	0.292	624	1448	513	1116	20.95	5.82
14	9	45	0.320	236.37	0.256	536	1647	443	1168	20.49	5.69

Tablo B.7 Kavak kromit serpantin yankayacı d=5 ve 9 mm'de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	5	yardımsız	0.230	51.41	0.091	323	934	385	978	34.73	9.65
2	5	5	0.230	12.23	0.022	180	478	187	479	81.54	22.65
3	5	5	0.230	16.65	0.030	208	738	220	558	69.08	19.19
4	5	5	0.230	15.61	0.028	189	552	201	456	66.97	18.60
5	5	10	0.230	37.86	0.067	229	744	227	514	33.45	9.29
6	5	10	0.230	26.19	0.046	177	493	175	407	37.25	10.35
7	5	10	0.230	27.65	0.049	289	713	305	679	57.83	16.06
8	5	10	0.220	32.08	0.060	300	770	303	776	49.41	13.72
9	5	15	0.210	40	0.078	229	1007	224	793	28.84	8.01
10	5	15	0.220	43.83	0.081	203	712	197	639	24.47	6.80
11	5	15	0.220	47.41	0.088	202	797	210	771	22.54	6.26
12	5	25	0.220	44.91	0.083	434	1071	513	1135	51.11	14.20
13	5	25	0.200	55.51	0.113	321	765	339	761	27.78	7.72
14	5	25	0.160	40.45	0.103	324	980	315	787	30.84	8.57
15	5	yardımsız	0.130	24.7	0.078	266	636	268	787	33.68	9.35
1	9	yardımsız	0.240	136.76	0.233	804	1991	993	2040	33.90	9.42
2	9	9	0.230	29.8	0.053	252	750	274	734	46.69	12.97
3	9	9	0.230	38.21	0.068	229	982	229	883	33.12	9.20
4	9	9	0.210	33.14	0.064	273	1086	294	891	41.51	11.53
5	9	18	0.210	93.58	0.182	389	1341	382	1242	21.00	5.83
6	9	18	0.220	79.76	0.148	311	1200	333	1200	20.58	5.72
7	9	18	0.220	83.08	0.154	445	1047	399	866	28.31	7.86
8	9	27	0.220	108.23	0.201	599	1443	642	1383	29.27	8.13
9	9	27	0.210	94.66	0.184	484	1378	529	1356	25.81	7.17
10	9	27	0.170	86.62	0.208	404	1434	439	1206	19.04	5.29
11	9	yardımsız	0.230	137.79	0.245	616	2039	653	1479	24.70	6.86
12	9	45	0.210	118.81	0.231	555	1733	576	1508	23.59	6.55
13	9	45	0.200	150.25	0.307	587	1821	599	1527	18.79	5.22
14	9	45	0.180	140.65	0.319	749	1764	814	1500	23.04	6.40

Tablo B.8 Beypazarı trona d=5 ve 9 mm' de yapılan kesme deneylerinden elde edilen veriler

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	5	yardımsız	0.325	29.98	0.043	136	385	203	489	30.87	8.58
2	5	5	0.325	13.88	0.020	82	230	109	336	39.91	11.09
3	5	5	0.325	12.01	0.017	83	240	136	361	47.02	13.06
4	5	5	0.325	16.42	0.024	82	244	130	355	33.89	9.41
5	5	10	0.325	26.77	0.039	93	281	135	336	23.60	6.56
6	5	10	0.330	24.5	0.035	76	276	103	311	21.38	5.94
7	5	10	0.325	26.91	0.039	103	273	154	399	25.95	7.21
8	5	15	0.325	30.78	0.044	118	341	170	409	25.96	7.21
9	5	15	0.325	35.42	0.051	102	328	148	367	19.55	5.43
10	5	15	0.325	34.2	0.049	96	270	138	367	19.09	5.30
11	5	25	0.325	38.71	0.056	138	478	211	650	24.26	6.74
12	5	25	0.325	33.24	0.048	141	497	216	668	28.88	8.02
13	5	25	0.325	32.92	0.048	132	453	189	538	27.23	7.56
14	5	yardımsız	0.230	19.9	0.041	143	378	229	484	34.57	9.60
15	5	yardımsız	0.230	22.85	0.047	136	399	212	497	28.69	7.97
1	9	yardımsız	0.350	129.58	0.174	419	1206	616	1294	23.67	6.58
2	9	9	0.345	55.12	0.075	153	554	226	697	20.04	5.57
3	9	9	0.325	42.38	0.061	184	595	277	831	29.51	8.20
4	9	9	0.345	46.28	0.063	164	819	247	745	25.58	7.11
5	9	18	0.320	117.01	0.172	219	868	298	824	12.51	3.48
6	9	18	0.265	81.71	0.145	191	847	243	885	12.96	3.60
7	9	18	0.300	79.03	0.124	200	774	280	714	15.86	4.41
8	9	27	0.300	139.91	0.219	273	907	358	932	12.24	3.40
9	9	27	0.340	168.71	0.233	187	938	254	845	7.86	2.18
10	9	27	0.320	157.38	0.231	206	881	269	808	8.76	2.43
11	9	yardımsız	0.225	81.76	0.171	461	1177	748	1575	26.49	7.36
12	9	yardımsız	0.200	64.13	0.151	420	1066	670	1316	27.36	7.60
13	9	yardımsız	0.300	127.98	0.200	380	1454	523	1335	18.62	5.17
14	9	45	0.270	153.52	0.267	310	1293	400	1266	11.38	3.16
15	9	45	0.270	177.38	0.308	313	1084	407	1074	9.95	2.76
16	9	45	0.275	174.89	0.299	324	1237	410	1191	10.64	2.96

Tablo B.9 Çayeli bakır sarı cevher kesme deneyi verileri

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	10	yardımsız	0.32	360.92	0.273	522.90	1491.10	344.90	904.20	18.78	5.22
2	10	40	0.325	458.57	0.342	335.30	1190.90	226.60	835.80	9.63	2.68
3	10	20	0.34	306.46	0.218	296.30	882.60	172.30	426.10	13.32	3.70
4	10	20	0.3	320.2	0.258	403.10	1266.90	265.21	882.30	15.30	4.25
5	10	40	0.35	421.4	0.292	426.10	1263.37	252.18	705.28	14.34	3.99
6	10	10	0.27	118.4	0.106	107.30	391.60	78.63	236.50	9.91	2.76
7	10	10	0.28	79.26	0.069	233.19	870.40	179.16	594.30	33.38	9.28
8	4	yardımsız	0.275	67.11	0.059	155.70	538.30	111.10	339.60	25.85	7.19
9	4	yardımsız	0.32	66.62	0.050	141.26	461.57	102.25	331.10	27.49	7.64
10	7	yardımsız	0.33	183.49	0.135	185.84	585.80	110.45	363.73	13.54	3.76
11	7	yardımsız	0.31	151.31	0.118	187.30	727.95	142.95	539.90	15.55	4.32
12	10	yardımsız	0.36	386.45	0.260	495.20	1523.20	288.90	823.25	18.69	5.20
13	10	10	0.32	137.61	0.104	253.65	682.30	157.15	449.30	23.90	6.64
14	12	yardımsız	0.37	700.62	0.458	635.77	1513.67	409.83	971.95	13.60	3.78
15	12	yardımsız	0.38	752.36	0.479	643.10	2134.97	460.50	1570.40	13.16	3.66
35	5	yardımsız	0.36	107.25	0.072	204.46	450.43	157.66	343.68	27.81	7.73
36	5	yardımsız	0.33	65.77	0.048	135.78	429.40	103.79	299.09	27.60	7.67
37	7	yardımsız	0.38	162.37	0.103	291.32	795.72	200.30	535.47	27.62	7.68
38	10	yardımsız	0.33	267.7	0.196	527.00	1433.99	364.90	1057.71	26.32	7.32
39	10	40	0.35	407.2	0.282	447.50	1333.93	290.77	859.52	15.58	4.33
40	10	60	0.37	421.02	0.276	439.00	1382.69	264.70	863.79	15.63	4.35

Tablo B.10 Çayeli bakır siyah cevher kesme deneyi verileri

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
16	10	yardımsız	0.31	238.84	0.189	852.10	2351.44	837.60	2064.64	44.16	12.28
17	10	20	0.26	156.54	0.148	676.90	1479.72	691.60	1378.77	44.89	12.48
18	10	10	0.255	111.44	0.107	510.12	1539.13	516.20	1384.53	46.61	12.96
19	10	10	0.2	67.92	0.083	485.11	1512.78	477.20	1316.91	57.03	15.86
20	10	20	0.24	171.73	0.176	667.04	1672.76	628.76	1377.92	37.22	10.35
21	10	10	0.2	63.25	0.078	455.96	1253.37	447.00	1088.85	57.57	16.00
22	10	40	0.32	337.41	0.259	655.94	2427.82	634.26	2398.93	24.84	6.91
23	10	20	0.22	189.87	0.212	534.23	1925.84	476.14	1634.77	24.71	6.87
24	4	yardımsız	0.23	43.26	0.046	297.23	834.99	358.26	964.69	63.10	17.54
25	4	yardımsız	0.21	35.24	0.041	327.55	901.74	372.30	977.49	77.93	21.67
26	7	yardımsız	0.3	103.45	0.085	508.70	1563.95	526.90	1560.96	58.90	16.37
27	7	yardımsız	0.3	109.12	0.089	505.90	1550.78	535.82	1741.87	55.53	15.44
28	10	yardımsız	0.3	183.34	0.150	964.03	2812.76	949.70	2755.63	62.98	17.51
29	10	40	0.29	269.55	0.228	964.50	2502.43	911.30	2264.32	41.43	11.52
30	10	50	0.22	206.2	0.230	897.90	2172.71	886.70	2031.79	38.25	10.63
31	2	yardımsız	0.3	19.1	0.016	94.52	365.69	111.63	459.73	59.28	16.48
32	2	yardımsız	0.28	10.55	0.009	108.84	321.73	137.70	400.85	115.33	32.06
33	5	yardımsız	0.31	56.29	0.045	237.02	735.93	258.34	792.75	52.12	14.49
34	5	yardımsız	0.27	37.46	0.034	302.80	729.98	386.70	845.23	87.14	24.22

Tablo B.11 Barit maden selestit kesme deney verileri

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	12	12	0.76	185	0.074	196.8	608.7	150.4	402.2	26.09	7.25
2	12	12	0.77	250	0.099	339.4	842.2	254.4	617.1	33.63	9.34
3	12	12	0.78	350	0.137	336.9	884.4	256.6	657.5	24.12	6.70
4	12	24	0.75	730	0.298	412.9	1082.0	296.7	746.4	13.59	3.78
5	12	24	0.74	670	0.277	402.7	1117.6	309.1	772.1	14.26	3.96
6	12	24	0.7	595	0.26	372.7	1009.2	294.3	746.5	14.06	3.91
7	12	36	0.7	805	0.352	383.1	1142.2	292.8	757.1	10.68	2.97
8	12	36	0.69	805	0.357	437.9	1319.6	337.7	950.3	12.03	3.34
9	12	36	0.73	880	0.369	350.0	1119.6	273.7	784.0	9.31	2.58
10	12	60	0.72	765	0.325	573.1	1570.5	443.5	1122.1	17.30	4.81
11	12	60	0.72	755	0.321	694.0	1763.1	448.1	1172.9	21.21	5.89
12	12	60	0.67	835	0.381	605.6	1690.8	425.9	1103.4	15.59	4.33
13	12	yardımsız	0.61	665	0.333	574.0	1611.7	409.2	1068.8	16.91	4.70
14	12	yardımsız	0.65	710	0.334	601.9	1486.6	447.8	972.2	17.68	4.91
15	12	yardımsız	0.64	695	0.332	588.3	1739.7	445.0	1245.2	17.38	4.83
16	12	yardımsız	0.75	730	0.298	494.7	1333.7	352.8	824.6	16.29	4.52
17	4	yardımsız	0.55	85	0.047	157.6	440.2	134.5	343.2	32.90	9.14
18	4	yardımsız	0.5	65	0.04	159.1	501.8	132.7	405.8	39.02	10.84
19	4	yardımsız	0.55	155	0.086	132.1	481.2	111.2	362.1	15.07	4.19
20	8	yardımsız	0.52	300	0.176	309.8	838.6	218.7	572.9	17.27	4.80
21	8	yardımsız	0.63	365	0.177	337.8	917.7	263.5	657.0	18.72	5.20
22	8	yardımsız	0.62	325	0.16	381.3	965.1	286.6	687.0	23.38	6.49
23	16	yardımsız	0.64	1160	0.554	819.6	2332.0	567.7	1544.7	14.51	4.03
24	16	yardımsız	0.63	1055	0.512	851.7	2360.3	584.1	1452.2	16.32	4.53
25	16	yardımsız	0.67	1195	0.545	944.7	2535.6	664.9	1709.2	17.00	4.72

Tablo B.12(A) Barit maden anhidrit kesme deney verileri

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	8	8	0.6	65	0.047	317.7	714.0	285.5	440.0	66.30	18.4
2	8	8	0.47	65	0.06	547.6	908.3	502.9	720.0	89.53	24.9
3	8	8	0.59	114	0.084	212.9	467.1	194.7	379.8	24.87	6.9
4	8	8	0.58	105	0.078	332.3	644.0	303.5	521.9	41.79	11.6
5	8	24	0.51	225	0.191	313.8	677.5	268.8	546.7	16.12	4.5
6	8	24	0.5	170	0.147	232.7	575.4	216.9	525.3	15.53	4.3
7	8	24	0.51	310	0.263	344.7	690.3	303.1	596.4	12.86	3.6
8	8	40	0.47	318	0.293	458.4	1260.6	482.5	936.3	15.35	4.3
9	8	40	0.52	435	0.362	443.8	937.6	422.3	905.0	12.03	3.3
10	8	56	0.57	420	0.319	513.2	1105.4	494.7	946.0	15.78	4.4
11	8	56	0.54	445	0.357	448.3	1071.0	390.4	853.9	12.32	3.4
12	8	56	0.52	290	0.241	425.0	982.6	385.5	706.0	17.30	4.8
13	8	56	0.59	390	0.286	523.7	1136.5	570.9	1084.3	17.96	5.0
14	8	yardımsız	0.58	264	0.197	517.9	1016.3	552.9	1005.8	25.79	7.2
15	8	yardımsız	0.65	404	0.269	560.5	2010.3	585.0	1813.0	20.44	5.7
16	8	yardımsız	0.68	410	0.261	548.7	2053.4	615.3	1802.4	20.62	5.7
17	8	yardımsız	0.64	370	0.25	448.6	1441.2	473.9	1452.5	17.60	4.9

Tablo B.12(B) Barit maden anhidrit kesme deney verileri

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)
18	12	8	0.47	162	0.149	483.5	1164.4	458.1	789.1	31.83
19	12	8	0.44	111	0.109	479.1	977.6	459.3	694.4	43.12
20	12	8	0.55	109	0.086	444.3	1013.2	453.4	724.0	50.68
21	12	24	0.51	386	0.328	611.9	1455.0	679.2	1251.8	18.30
22	12	24	0.5	318	0.275	585.4	1464.3	622.4	1222.8	20.88
23	12	24	0.5	238	0.206	450.0	1066.9	409.0	829.0	21.43
24	12	40	0.53	434	0.354	736.0	1451.0	824.3	1205.2	20.40
25	12	40	0.48	436	0.393	661.1	1519.8	577.7	942.9	16.50
26	12	40	0.5	509	0.441	553.3	1472.8	485.3	1023.9	12.31
27	12	56	0.56	588	0.455	904.1	1607.9	1037.6	1410.8	19.49
28	12	56	0.53	512	0.418	672.5	1664.6	597.9	1224.8	15.78
29	12	yardımsız	0.51	489	0.415	866.0	1892.3	837.1	1584.4	20.47
30	12	yardımsız	0.67	865	0.559	725.8	2459.9	703.3	2154.0	12.74
31	12	yardımsız	0.73	782	0.464	792.2	2619.5	781.9	2141.0	16.75
32	12	yardımsız	0.73	890	0.528	817.0	2743.9	812.7	2445.6	15.18
33	4	yardımsız	0.57	194	0.147	273.2	1037.8	299.6	1041.5	18.23
34	4	yardımsız	0.62	166	0.116	330.0	1151.0	394.9	1227.0	27.91
35	4	yardımsız	0.51	205	0.174	410.5	1567.4	509.8	1465.3	23.14
36	4	yardımsız	0.5	85	0.074	370.81	671.577	458.73	662.781	49.16
37	4	yardımsız	0.55	135	0.106	290.08	495.282	350.35	571.613	26.85
38	4	yardımsız	0.62	192	0.134	360.39	643.908	393.09	643.763	26.38
39	16	yardımsız	0.69	1325	0.831	1461.8	4798.9	1351.1	3724.2	17.26
40	16	yardımsız	0.62	1335	0.932	1209.0	4219.4	1117.3	3244.0	12.73
41	16	yardımsız	0.54	1040	0.834	1358.7	4094.9	1312.3	3040.1	15.98
42	16	yardımsız	0.54	1055	0.846	1245.25	2870.54	1235.58	2709.41	14.44
43	16	yardımsız	0.63	1440	0.989	1400.56	3847.76	1200.6	2720.81	13.89
44	16	yardımsız	0.62	1222	0.853	1383.36	2640.93	1336.6	2134.71	15.91

Tablo B.13 Barit maden jips kesme deney verileri

Deney No	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kg)	F'C (kg)	FN (kg)	F'N (kg)	SE (MJ/m ³)	SE (kWh/m ³)
1	8	8	0.47	73	0.056	116.03	257	79.2	187.1	20.33	5.6
2	8	8	0.49	85	0.062	148.3	308.7	96.5	213.9	23.46	6.5
3	8	8	0.5	85	0.061	115.3	238.7	76.4	164.6	18.54	5.2
4	8	16	0.51	160	0.112	160.1	353.1	97.5	225.7	14.02	3.9
5	8	16	0.52	170	0.117	167	355.7	105.4	216.5	14.00	3.9
6	8	16	0.56	165	0.106	182.1	345.6	110.4	231.6	16.85	4.7
7	8	24	0.57	250	0.157	183.7	408.8	112.9	264.9	11.48	3.2
8	8	24	0.6	240	0.143	170.7	382.2	110.7	231.4	11.71	3.3
9	8	24	0.61	245	0.144	200.7	471.9	126.8	303.9	13.67	3.8
10	8	40	0.68	235	0.124	280.4	544.1	184.2	360.6	22.18	6.2
11	8	40	0.7	320	0.164	320.6	723.8	212.98	491.9	19.18	5.3
12	8	40	0.72	270	0.134	320.9	707.3	220.1	484.9	23.49	6.5
13	8	yardımsız	0.57	250	0.157	329.19	585.43	210.1	395.78	20.57	5.7
14	8	yardımsız	0.67	234	0.125	447.26	830.15	300.46	598.4	35.10	9.8
15	8	yardımsız	0.46	180	0.14	237.1	542.7	155.4	322.9	16.61	4.6
16	4	yardımsız	0.67	265	0.142	400.6	872.18	289.2	669.1	27.68	7.7
17	12	yardımsız	0.51	455	0.32	963.96	1798.54	791.2	1544.2	29.55	8.2
18	12	yardımsız	0.52	330	0.227	409.84	791.84	239.2	456.96	17.71	4.9
19	16	yardımsız	0.6	665	0.397	759.8	1549.6	447.3	924.3	18.77	5.2
20	16	yardımsız	0.68	700	0.369	863.4	1728.6	567.2	1205.1	22.95	6.4
21	16	yardımsız	0.61	770	0.452	1314.98	2548.1	1005.2	1915.5	28.54	7.9

EK-C: Elek Analizi Verileri ve Parça Boyut Dağılımı Grafikleri



Tablo C.1 Yüksek içerikli kromit d=10 mm, s=10 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 10

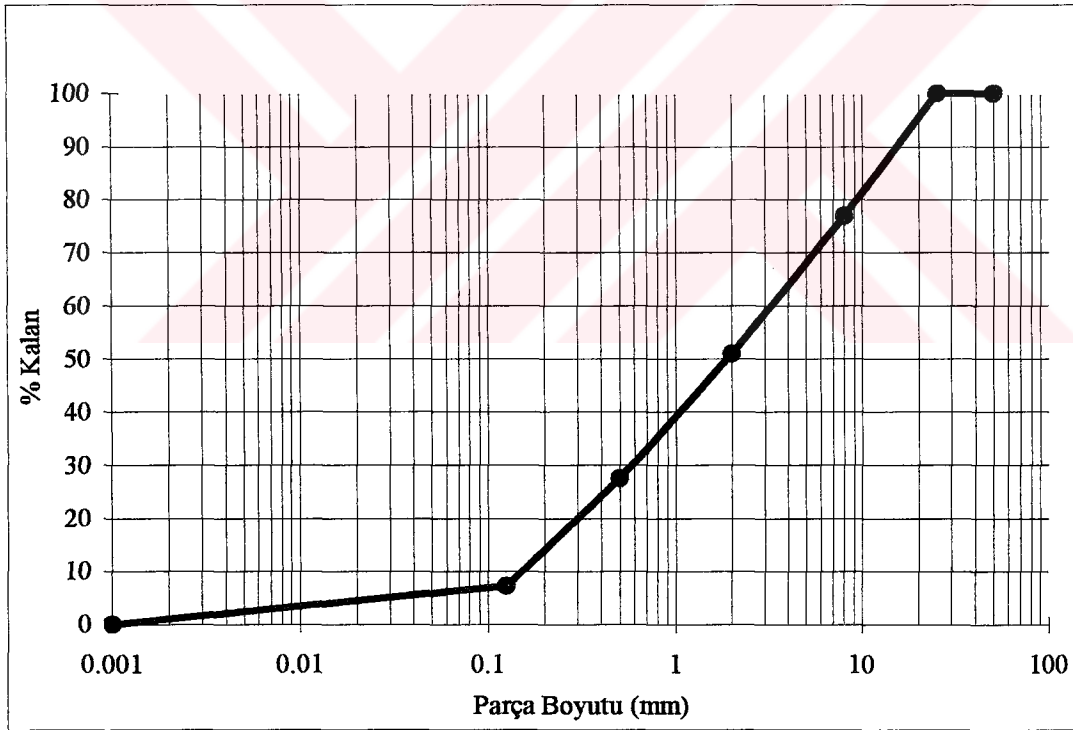
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	337
2	8	0.320		142.78	23.08	142.78	23.1	
3	2	0.080		160.35	25.92	303.13	49.0	
4	0.500	0.020		145.31	23.48	448.44	72.5	
5	0.125	0.005		125.57	20.29	574.01	92.8	
6	Toz	Toz		44.74	7.23	618.75	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.2 Yüksek içerikli kromit d=10 mm, s=20 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 20

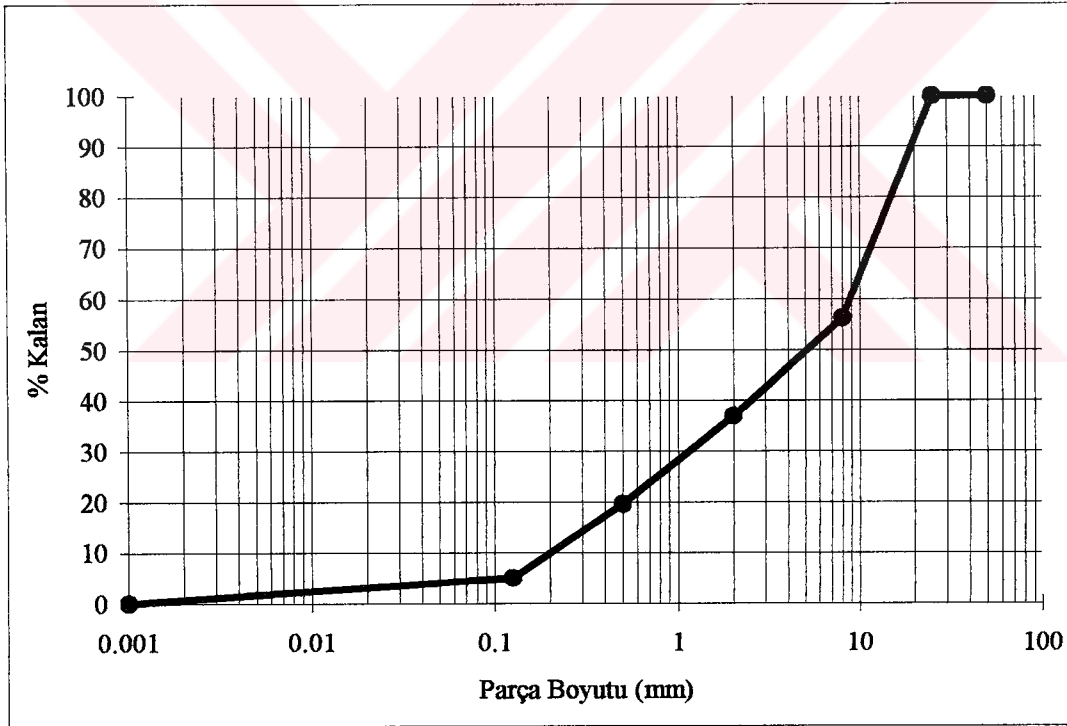
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	382
2	8	0.320		276.86	43.75	276.86	43.8	
3	2	0.080		122.15	19.30	399.01	63.1	
4	0.500	0.020		109.79	17.35	508.80	80.4	
5	0.125	0.005		92.06	14.55	600.86	94.9	
6	Toz	Toz		31.96	5.05	632.82	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.3 Yüksek içerikli kromit d=10 mm, s=30 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 30

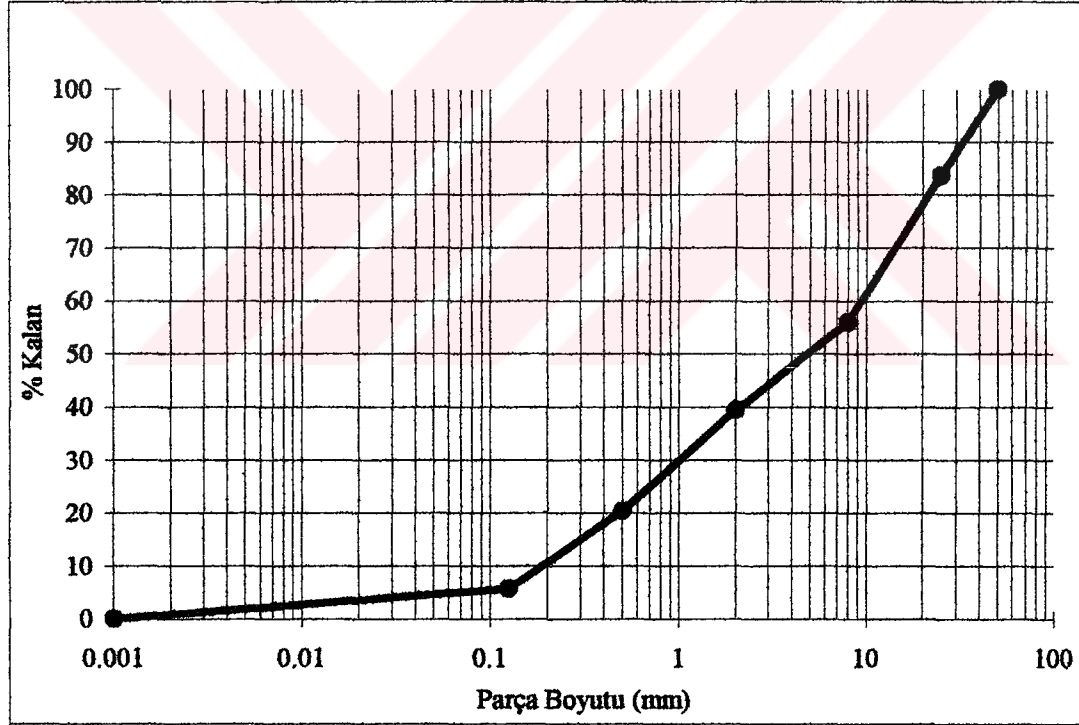
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İriliik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		226.83	16.34	226.83	16.3	395
2	8	0.320		383.69	27.64	610.52	44.0	
3	2	0.080		231.49	16.68	842.01	60.7	
4	0.500	0.020		263.07	18.95	1105.08	79.6	
5	0.125	0.005		205.20	14.78	1310.28	94.4	
6	Toz	Toz		77.69	5.60	1387.97	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.4 Yüksek içerikli kromit d=10 mm, s=50 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 50

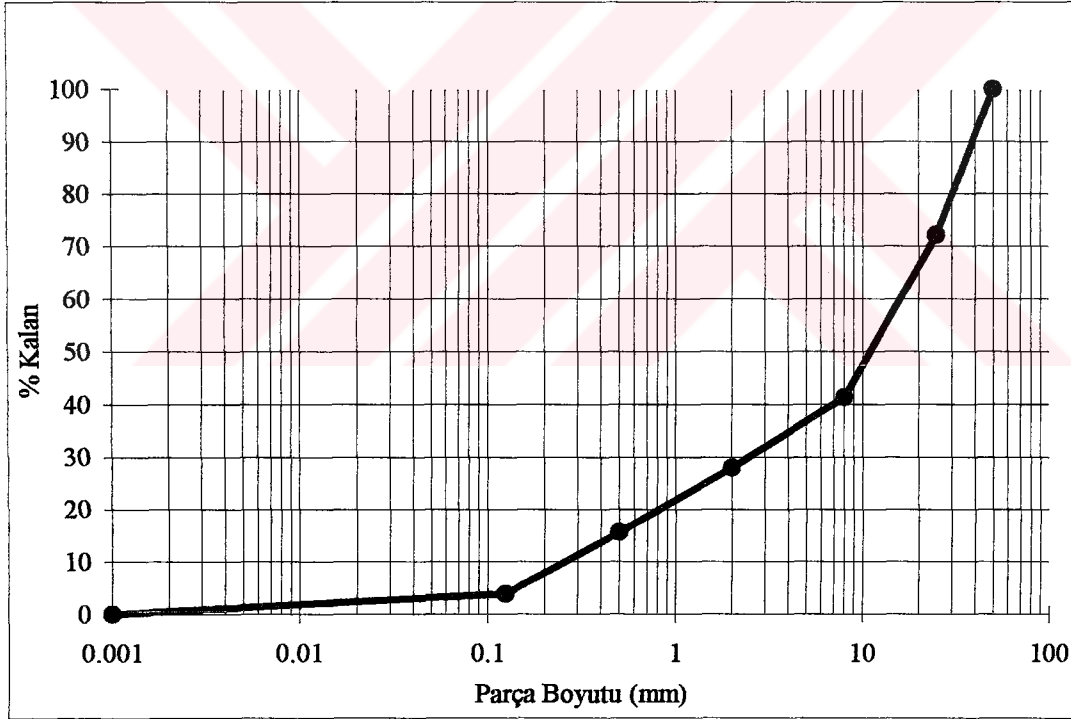
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		664.73	27.84	664.73	27.8	439
2	8	0.320		737.51	30.88	1402.24	58.7	
3	2	0.080		319.25	13.37	1721.49	72.1	
4	0.500	0.020		293.50	12.29	2014.99	84.4	
5	0.125	0.005		281.30	11.78	2296.29	96.2	
6	Toz	Toz		91.72	3.84	2388.01	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.5 Yüksek içerikli kromit d=10 mm, yardımsız durumdaki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MUH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): yardımsız

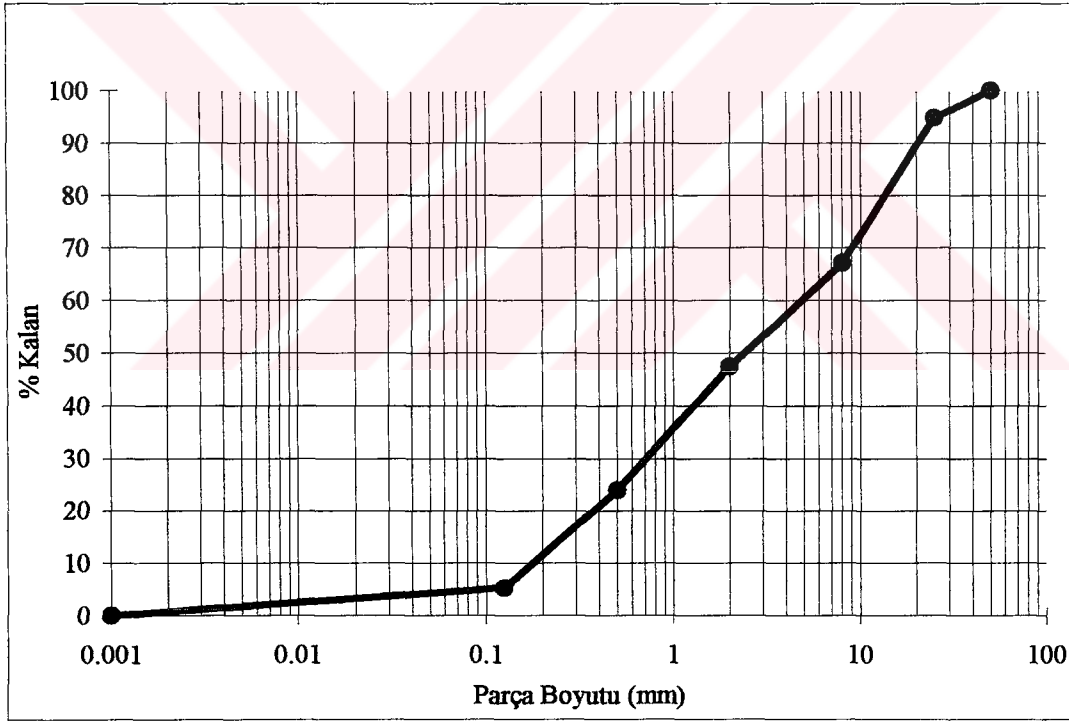
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		73.17	5.26	73.17	5.3	361
2	8	0.320		382.86	27.53	456.03	32.8	
3	2	0.080		274.40	19.73	730.43	52.5	
4	0.500	0.020		328.28	23.60	1058.71	76.1	
5	0.125	0.005		259.00	18.62	1317.71	94.7	
6	Toz	Toz		73.20	5.26	1390.91	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.6 Yüksek içerikli kromit d=5 mm, s=5 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 5

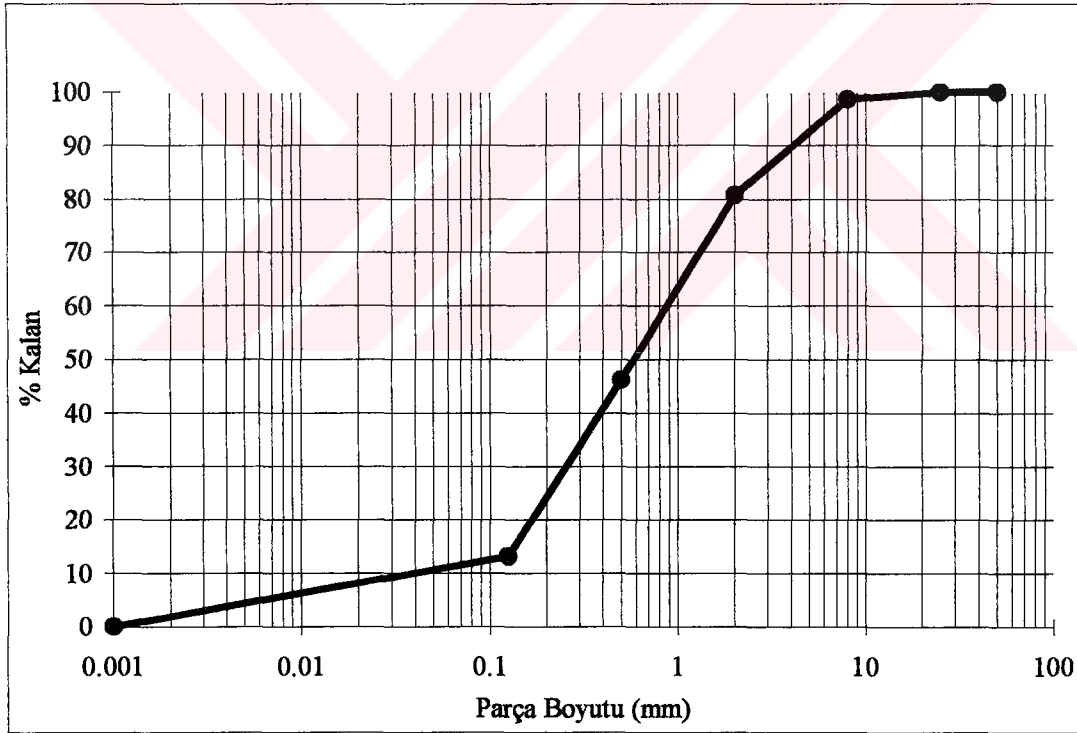
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	261
2	8	0.320		3.56	1.35	3.56	1.3	
3	2	0.080		47.53	17.99	51.09	19.3	
4	0.500	0.020		91.08	34.47	142.17	53.8	
5	0.125	0.005		87.21	33.00	229.38	86.8	
6	Toz	Toz		34.88	13.20	264.26	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.7 Yüksek içerikli kromit d=5 mm, s=10 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 10

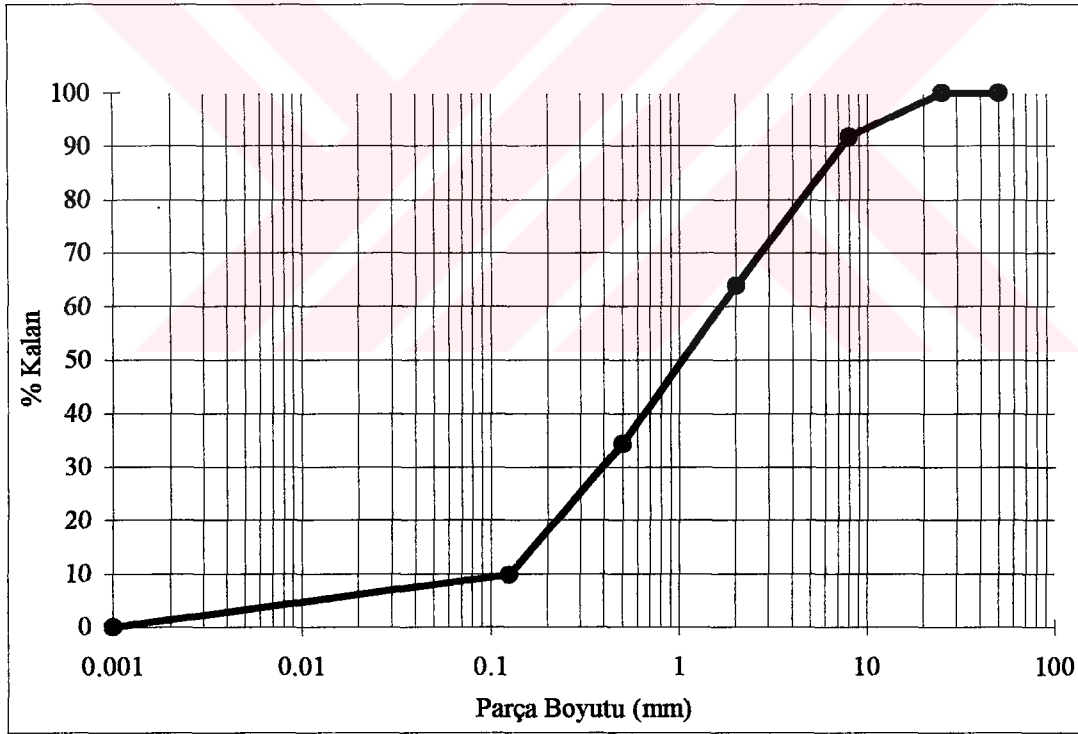
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	300
2	8	0.320		37.50	8.26	37.50	8.3	
3	2	0.080		125.74	27.69	163.24	35.9	
4	0.500	0.020		134.71	29.67	297.95	65.6	
5	0.125	0.005		111.48	24.55	409.43	90.2	
6	Toz	Toz		44.67	9.84	454.10	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.8 Yüksek içerikli kromit d=5 mm, s=15 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALIZI

Proje: DPT (141)

S (mm): 15

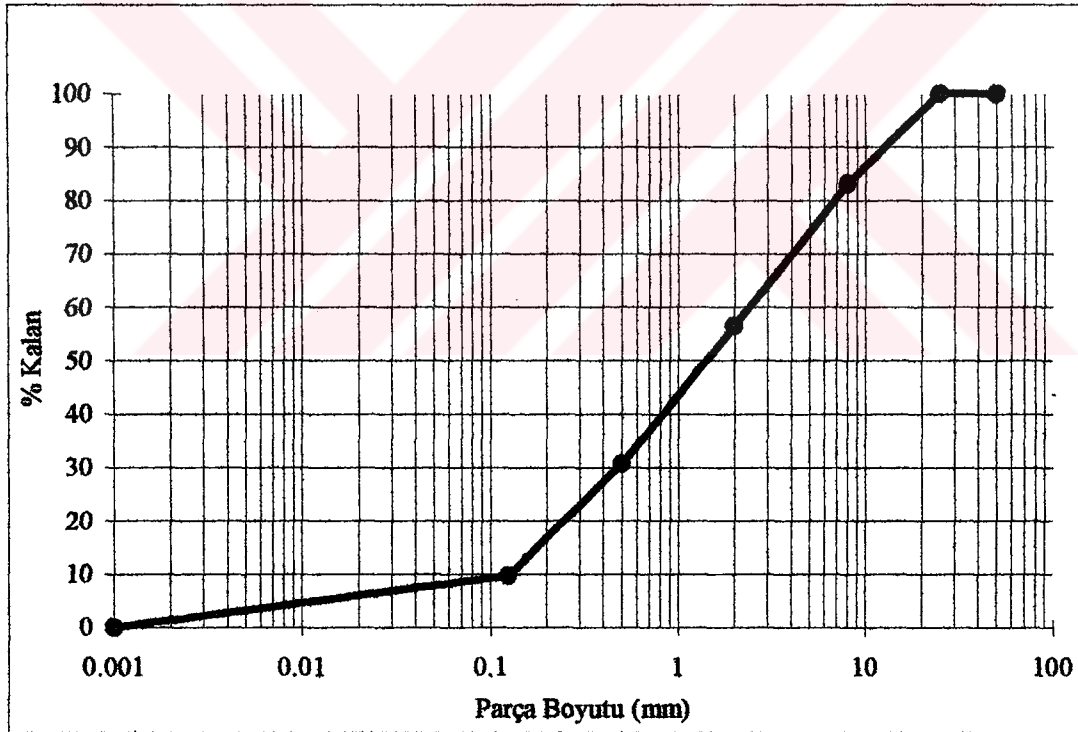
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	320
2	8	0.320		108.34	16.87	108.34	16.9	
3	2	0.080		171.05	26.63	279.39	43.5	
4	0.500	0.020		165.62	25.78	445.01	69.3	
5	0.125	0.005		134.98	21.01	579.99	90.3	
6	Toz	Toz		62.33	9.70	642.32	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.9 Yüksek içerikli kromit d=5 mm, s=25 mm’de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 25

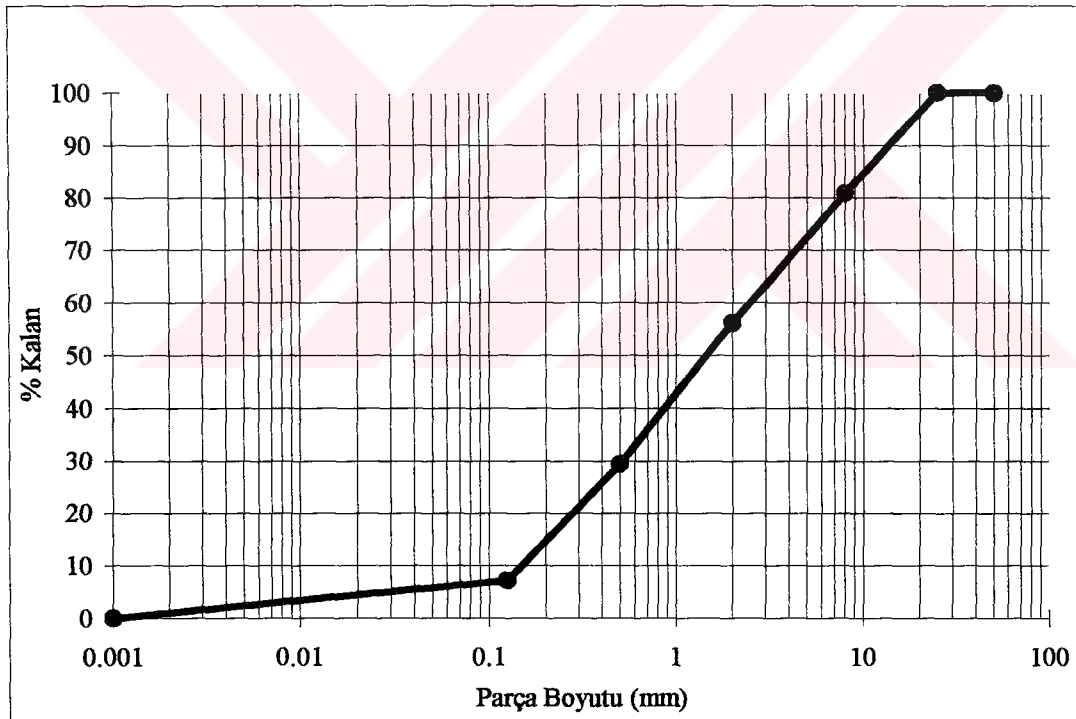
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	326
2	8	0.320		232.75	19.14	232.75	19.1	
3	2	0.080		299.24	24.60	531.99	43.7	
4	0.500	0.020		327.27	26.91	859.26	70.6	
5	0.125	0.005		269.41	22.15	1128.67	92.8	
6	Toz	Toz		87.61	7.20	1216.28	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.10 Yüksek içerikli kromit d=5 mm, yardımsız durumdaki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): yardımsız

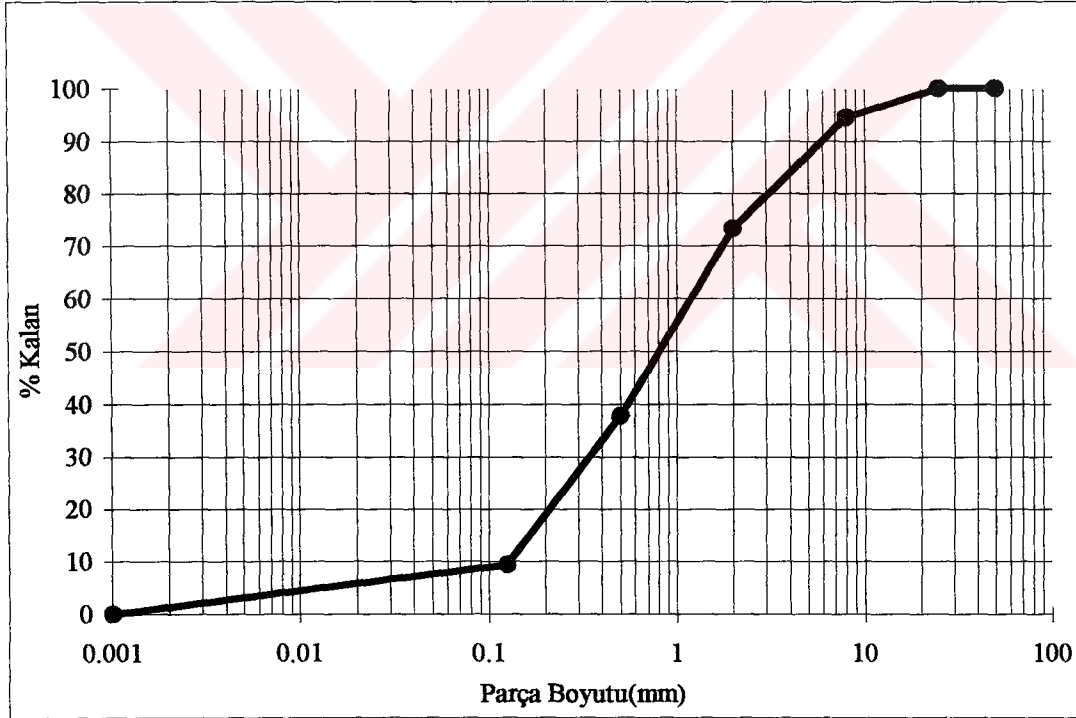
Kayaç: Kromit (Roş1)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	285
2	8	0.320		32.03	5.52	32.03	5.5	
3	2	0.080		122.12	21.04	154.15	26.6	
4	0.500	0.020		207.44	35.74	361.59	62.3	
5	0.125	0.005		164.16	28.28	525.75	90.6	
6	Toz	Toz		54.63	9.41	580.38	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.11 Normal içerikli kromit d=10 mm, s=10 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 10

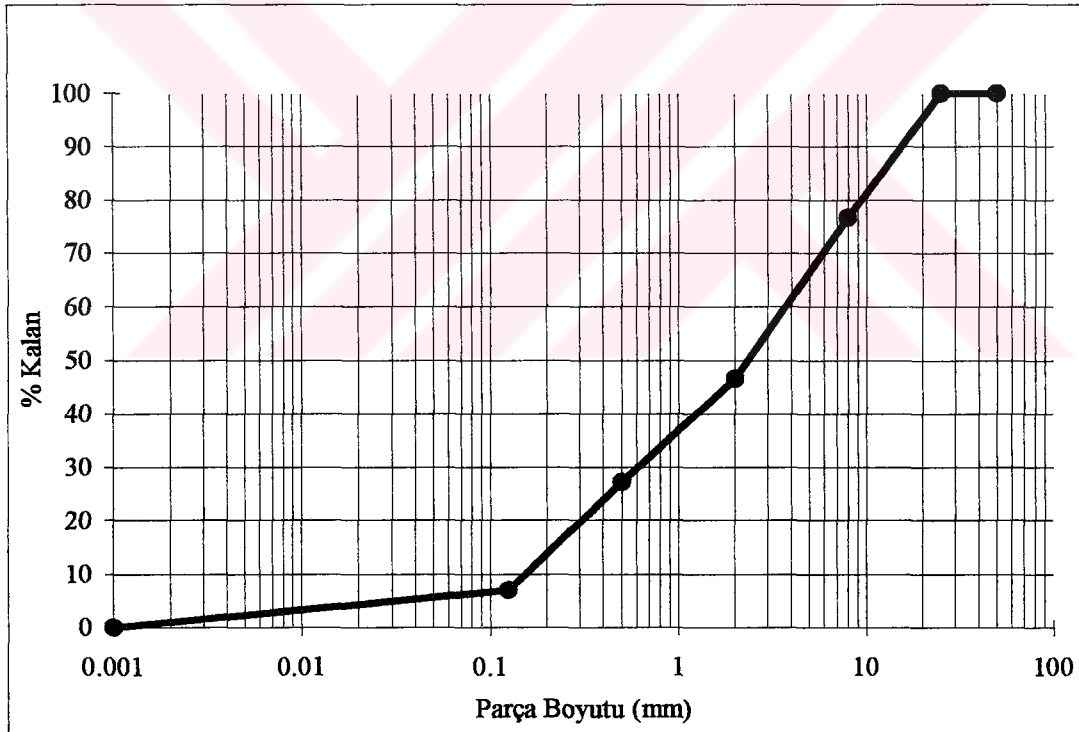
Kayaç: Kromit (Roş2)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	343
2	8	0.320		102.86	23.30	102.86	23.3	
3	2	0.080		132.89	30.10	235.75	53.4	
4	0.500	0.020		85.72	19.42	321.47	72.8	
5	0.125	0.005		89.53	20.28	411.00	93.1	
6	Toz	Toz		30.48	6.90	441.48	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.12 Normal içerikli kromit d=10 mm, s=20 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 20

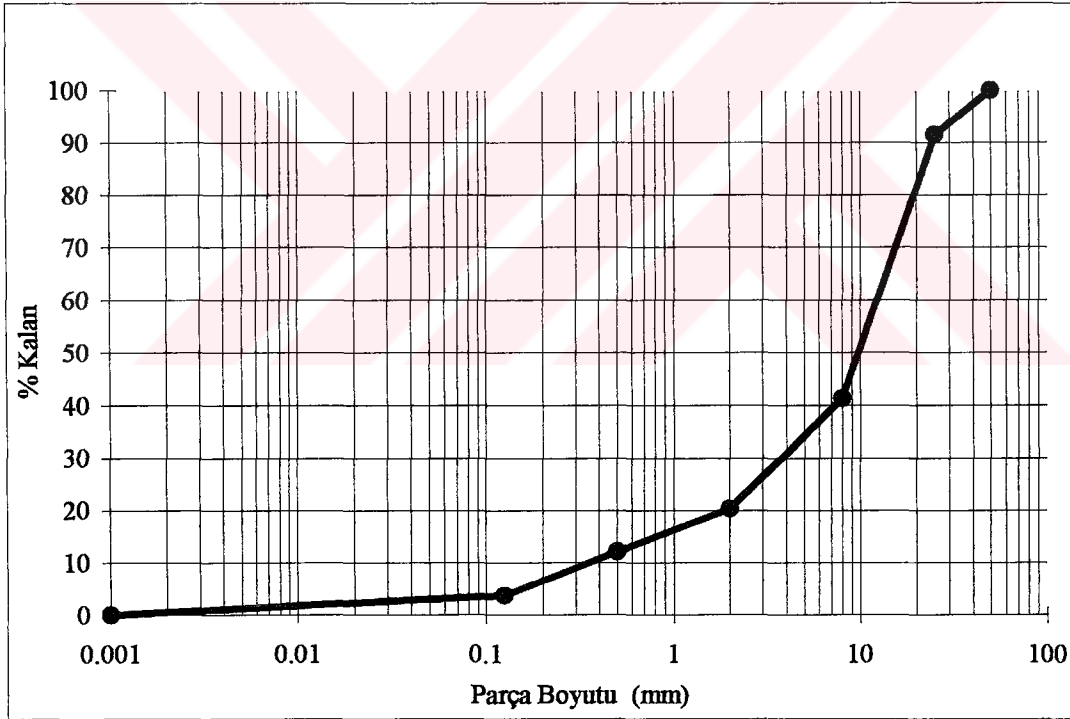
Kayaç: Kromit (Roş2)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		117.30	8.63	117.30	8.6	431
2	8	0.320		679.75	50.02	797.05	58.7	
3	2	0.080		284.87	20.96	1081.92	79.6	
4	0.500	0.020		111.43	8.20	1193.35	87.8	
5	0.125	0.005		115.98	8.54	1309.33	96.4	
6	Toz	Toz		49.51	3.64	1358.84	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.13 Normal içerikli kromit d=10 mm, s=30 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 30

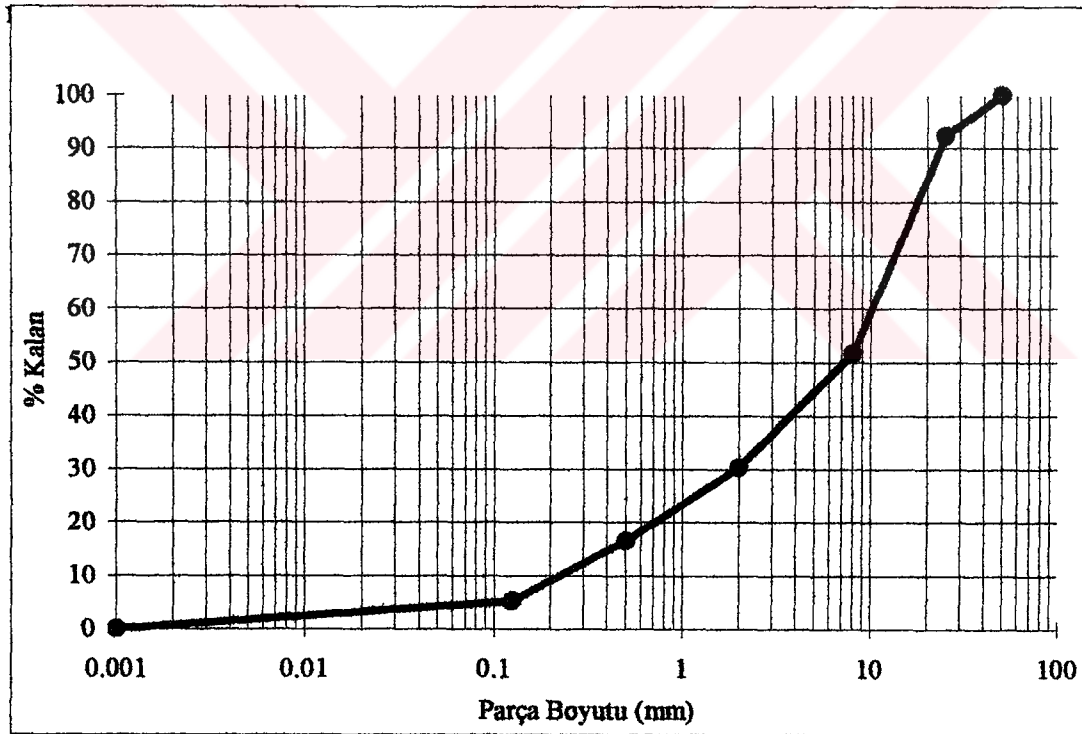
Kayaç: Kromit (Roş2)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		33.28	7.65	33.28	7.7	404
2	8	0.320		177.09	40.72	210.37	48.4	
3	2	0.080		92.55	21.28	302.92	69.7	
4	0.500	0.020		59.78	13.75	362.70	83.4	
5	0.125	0.005		49.58	11.40	412.28	94.8	
6	Toz	Toz		22.58	5.19	434.86	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.14 Normal içerikli kromit d=10 mm, s=50 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kromit (Roş2)

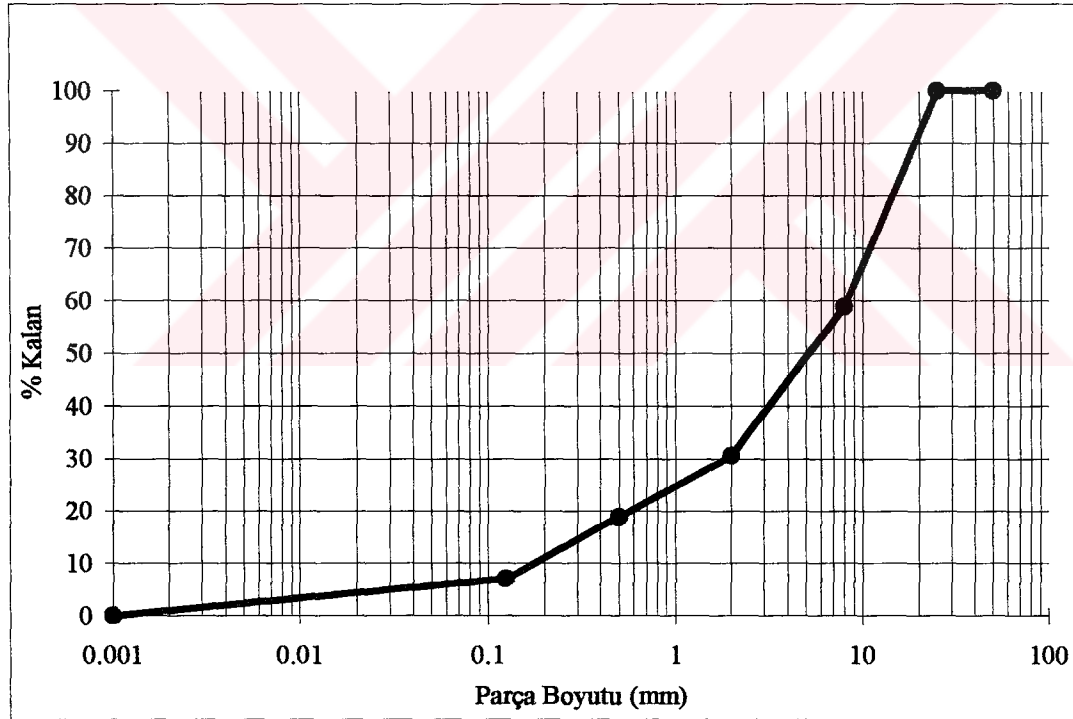
Tarih: 5 Ocak, 2000

S (mm): 50

d (mm): 10

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	385
2	8	0.320		75.43	41.07	75.43	41.1	
3	2	0.080		52.14	28.39	127.57	69.5	
4	0.500	0.020		21.30	11.60	148.87	81.1	
5	0.125	0.005		21.90	11.92	170.77	93.0	
6	Toz	Toz		12.88	7.01	183.65	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.15 Normal içerikli kromit d=10 mm, yardımsız durumdaki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): yardımsız

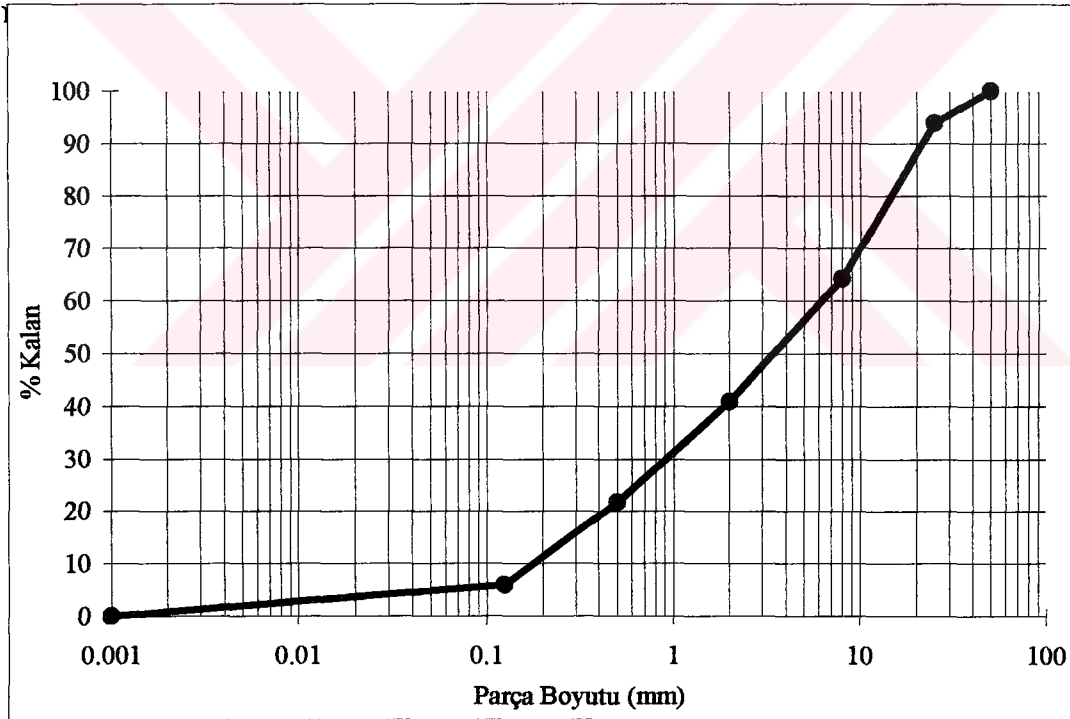
Kayaç: Kromit (Roş2)

d (mm): 10

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		18.18	6.12	18.18	6.1	373
2	8	0.320		87.78	29.53	105.96	35.6	
3	2	0.080		69.65	23.43	175.61	59.1	
4	0.500	0.020		57.22	19.25	232.83	78.3	
5	0.125	0.005		46.94	15.79	279.77	94.1	
6	Toz	Toz		17.51	5.89	297.28	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.16 Normal içerikli kromit d=5 mm, s=5 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 5

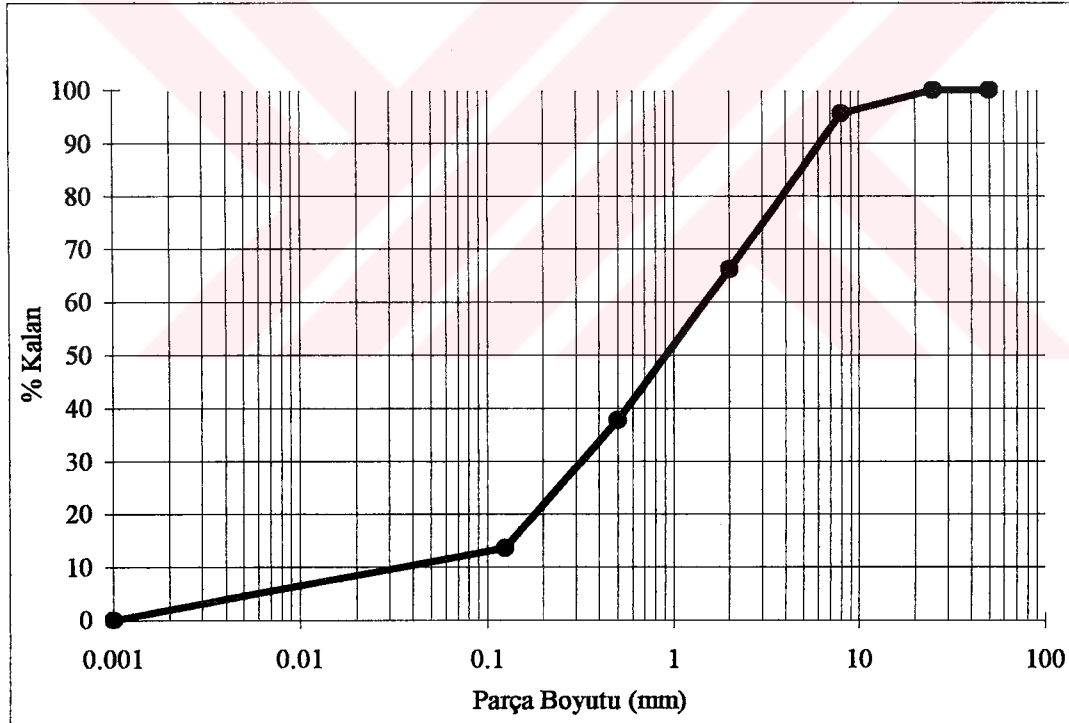
Kayaç: Kromit (Roş2)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	287
2	8	0.320		5.26	4.40	5.26	4.4	
3	2	0.080		35.08	29.38	40.34	33.8	
4	0.500	0.020		34.00	28.47	74.34	62.3	
5	0.125	0.005		28.78	24.10	103.12	86.4	
6	Toz	Toz		16.30	13.65	119.42	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.17 Normal içerikli kromit d=5 mm, s=10 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kromit (Roş2)

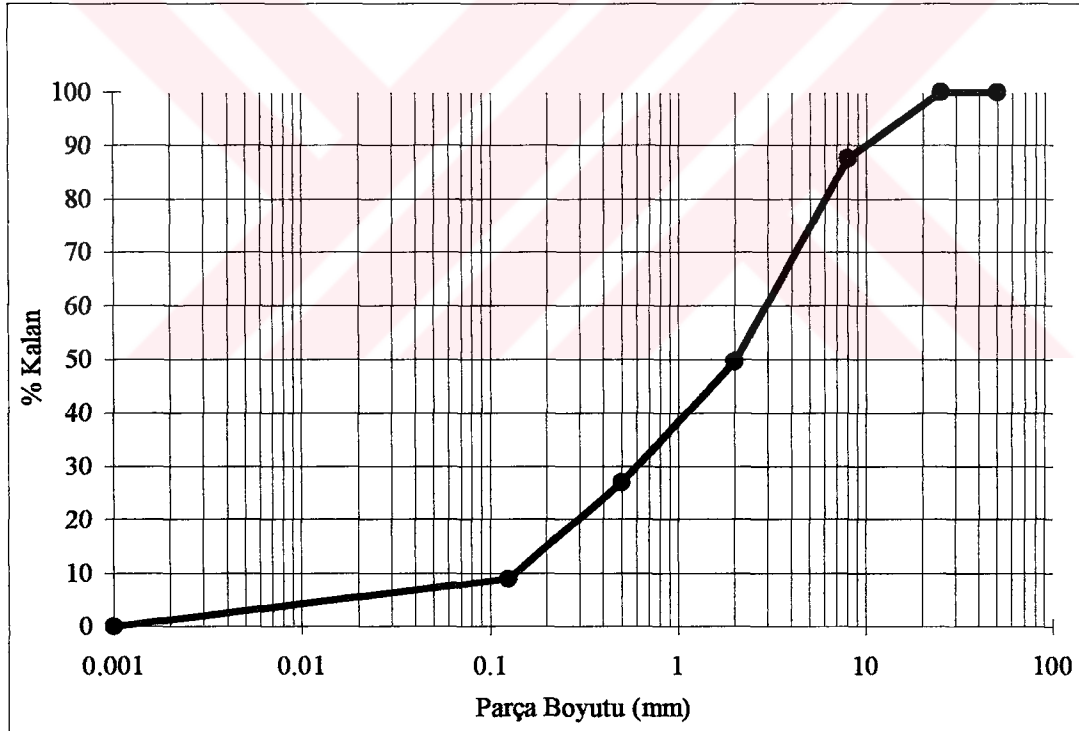
Tarih: 5 Ocak, 2000

S (mm): 10

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	327
2	8	0.320		33.71	12.41	33.71	12.4	
3	2	0.080		103.28	38.02	136.99	50.4	
4	0.500	0.020		61.26	22.55	198.25	73.0	
5	0.125	0.005		49.20	18.11	247.45	91.1	
6	Toz	Toz		24.22	8.92	271.67	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.18 Normal içerikli kromit d=5 mm, s=15 mm'de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 15

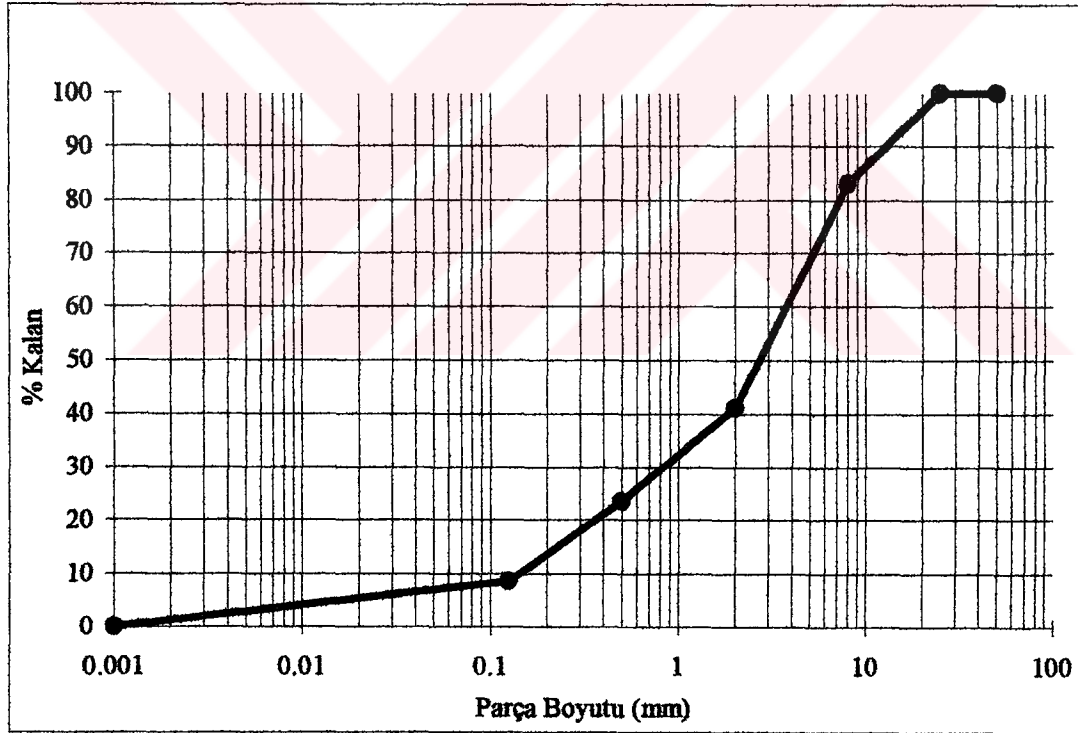
Kayaç: Kromit (Roş2)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İriliği
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	344
2	8	0.320		37.85	16.97	37.85	17.0	
3	2	0.080		93.53	41.94	131.38	58.9	
4	0.500	0.020		38.88	17.43	170.26	76.3	
5	0.125	0.005		33.67	15.10	203.93	91.4	
6	Toz	Toz		19.10	8.56	223.03	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.19 Normal içerikli kromit d=5 mm, s=25 mm’de elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 25

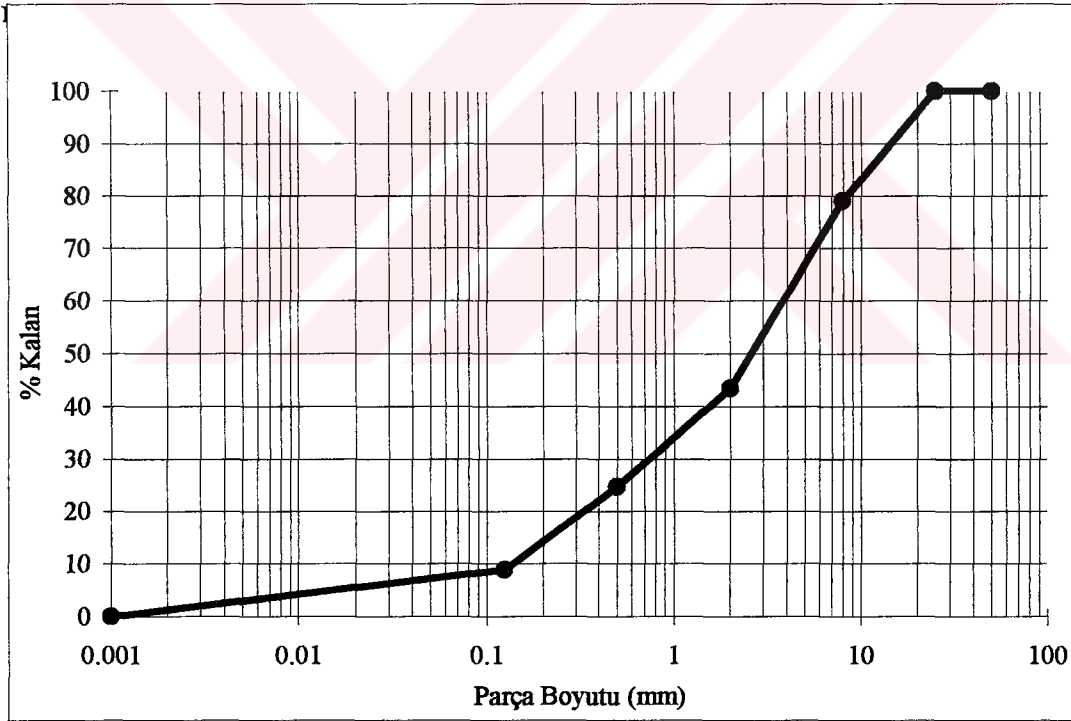
Kayaç: Kromit (Roş2)

d (mm): 5

Tarih: 5 Ocak, 2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İriliği
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	344
2	8	0.320		37.61	20.84	37.61	20.8	
3	2	0.080		64.33	35.65	101.94	56.5	
4	0.500	0.020		34.02	18.85	135.96	75.4	
5	0.125	0.005		28.44	15.76	164.40	91.1	
6	Toz	Toz		16.03	8.88	180.43	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.20 Normal içerikli kromit d=5 mm, yardımsız durumdaki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kromit (Roş2)

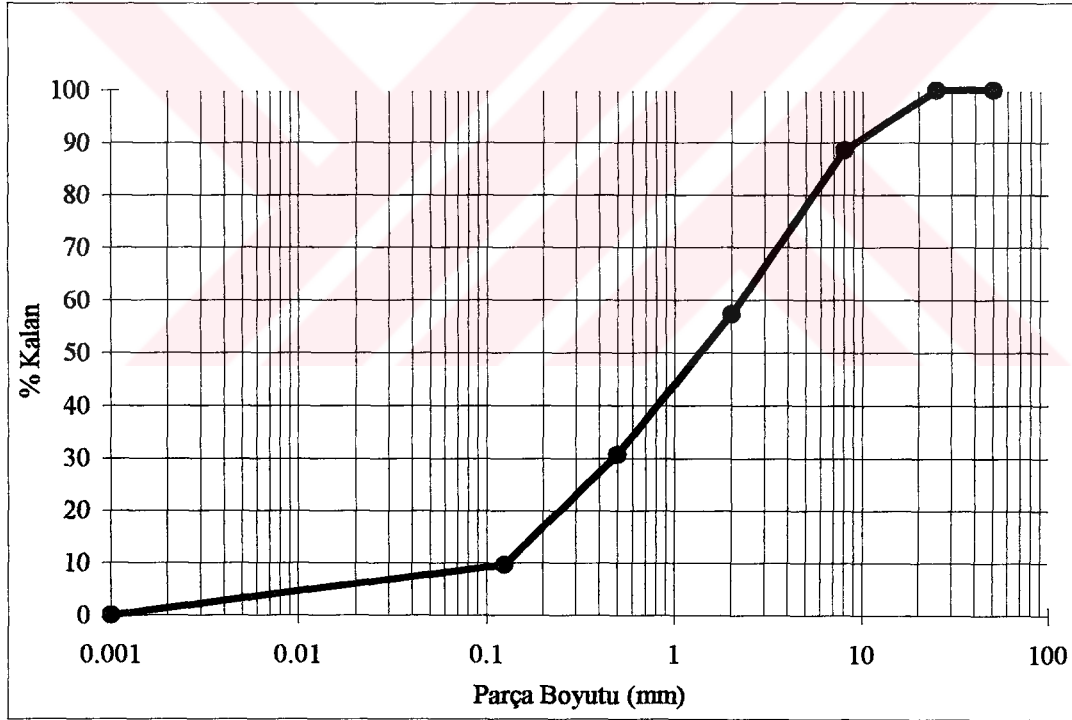
Tarih: 5 Ocak, 2000

S (mm): yardımsız

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	314
2	8	0.320		27.78	11.46	27.78	11.5	
3	2	0.080		75.61	31.18	103.39	42.6	
4	0.500	0.020		64.83	26.74	168.22	69.4	
5	0.125	0.005		50.60	20.87	218.82	90.2	
6	Toz	Toz		23.67	9.76	242.49	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.21 Harsburjit yankayacı d=5 mm, s=5 mm'de elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 5

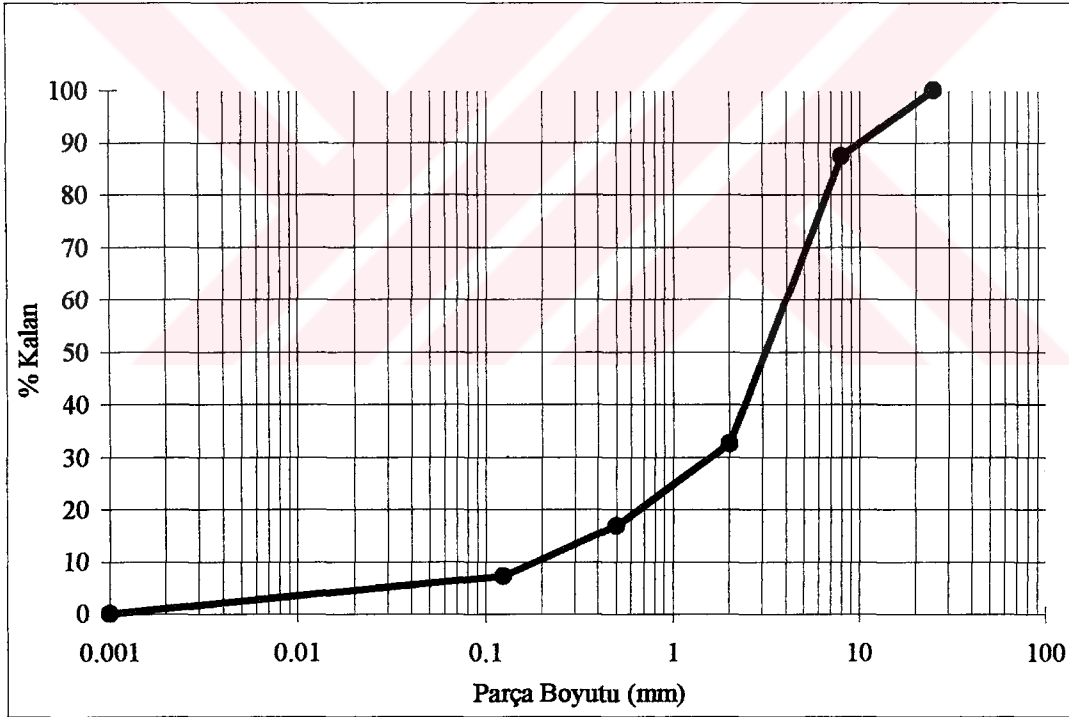
Kayaç: Dedeman Harsburjit

d (mm): 5

Tarih: 16.02.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İriliği
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	356
2	8	0.320		4.74	12.63	4.74	12.6	
3	2	0.080		20.54	54.71	25.28	67.3	
4	0.500	0.020		5.96	15.88	31.24	83.2	
5	0.125	0.005		3.6	9.59	34.84	92.8	
6	Toz	Toz		2.7	7.19	37.54	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.22 Harsburjit yankayacı d=5 mm, s=10 mm'de elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 10

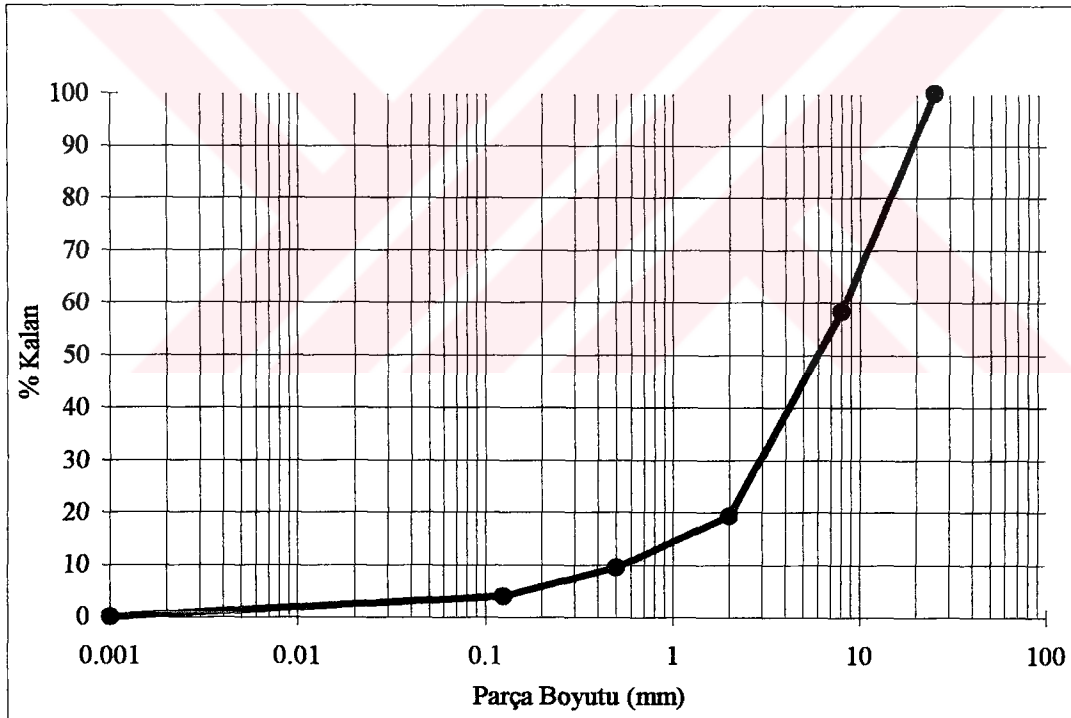
Kayaç: Dedeman Harsburjit

d (mm): 5

Tarih: 16.02.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	409
2	8	0.320		37.86	41.65	37.86	41.7	
3	2	0.080		35.55	39.11	73.41	80.8	
4	0.500	0.020		8.89	9.78	82.30	90.5	
5	0.125	0.005		5.07	5.58	87.37	96.1	
6	Toz	Toz		3.52	3.87	90.89	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.23 Harsburjıt yankayacı d=5 mm, s=15 mm'de elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALIZI

Proje: DPT (141)

Kayaç: Dedeman Harsburjıt

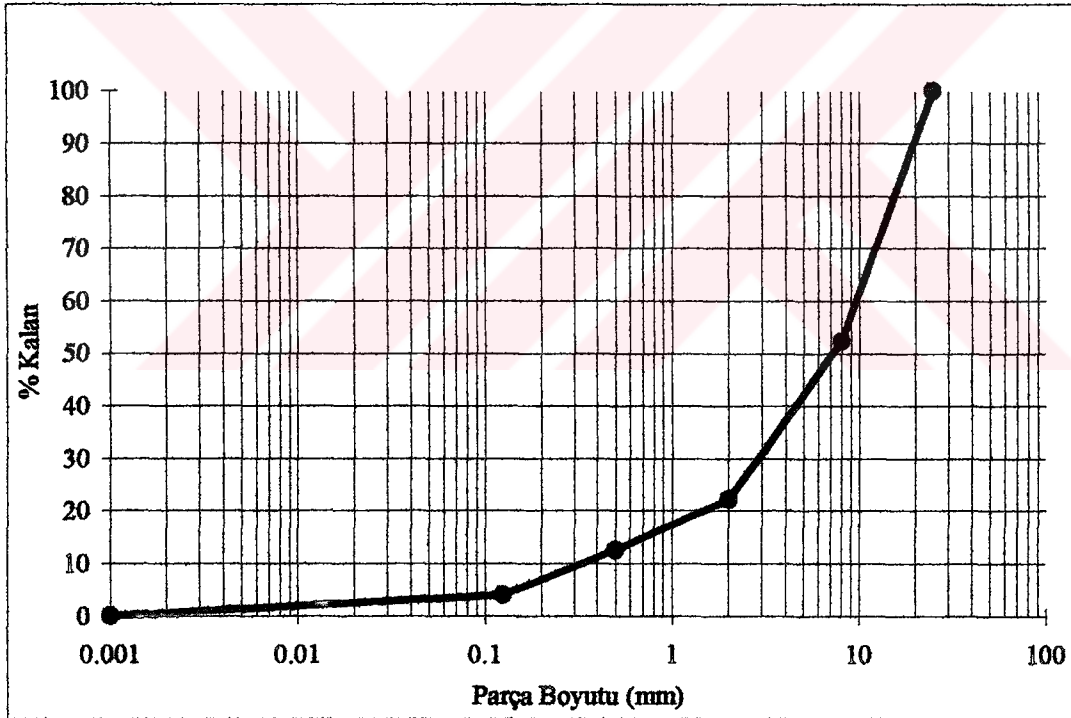
Tarih: 16.02.2000

S (mm): 15

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	409
2	8	0.320		45.34	47.66	45.34	47.7	
3	2	0.080		28.64	30.11	73.98	77.8	
4	0.500	0.020		9.14	9.61	83.12	87.4	
5	0.125	0.005		8.2	8.62	91.32	96.0	
6	Toz	Toz		3.81	4.01	95.13	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.24 Harsburjit yankayacı d=5 mm, s=25 mm'de elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ELEK ANALİZİ

MADEN MÜH. BL.

Proje: DPT (141)

S (mm): 25

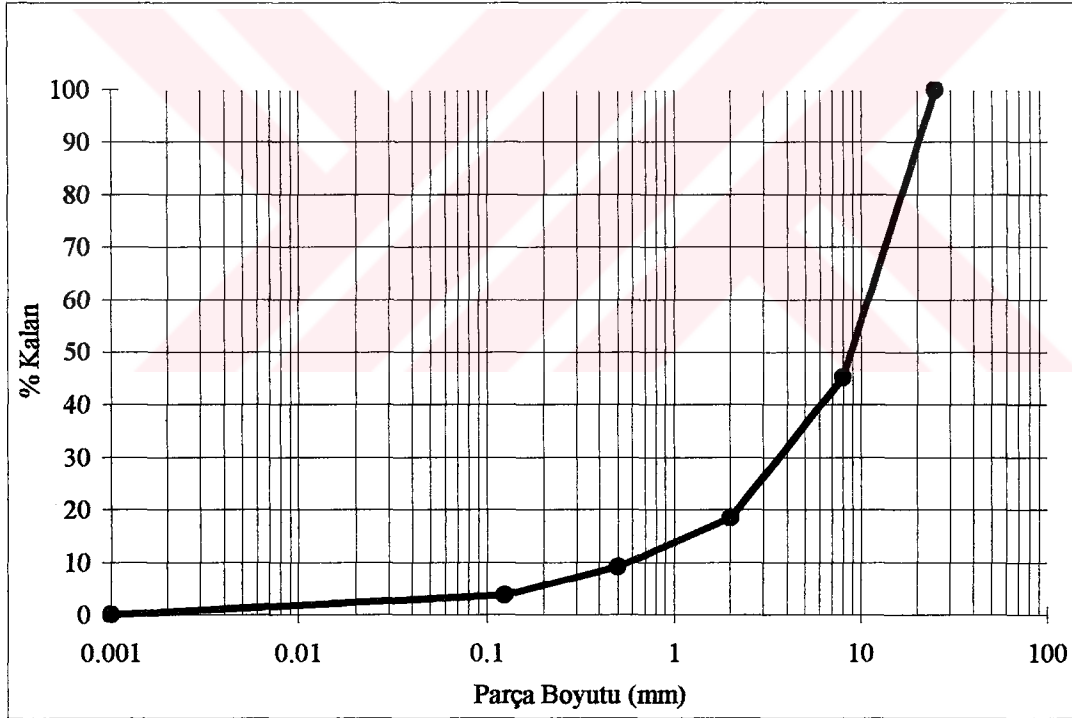
Kayaç: Dedeman Harsburjit

d (mm): 5

Tarih: 16.02.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	423
2	8	0.320		97.5	54.78	97.50	54.8	
3	2	0.080		47.52	26.70	145.02	81.5	
4	0.500	0.020		16.52	9.28	161.54	90.8	
5	0.125	0.005		9.91	5.57	171.45	96.3	
6	Toz	Toz		6.54	3.67	177.99	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.25 Harsburjit yankayacı d=5 mm, yardımsız durumdaki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): Yardımsız

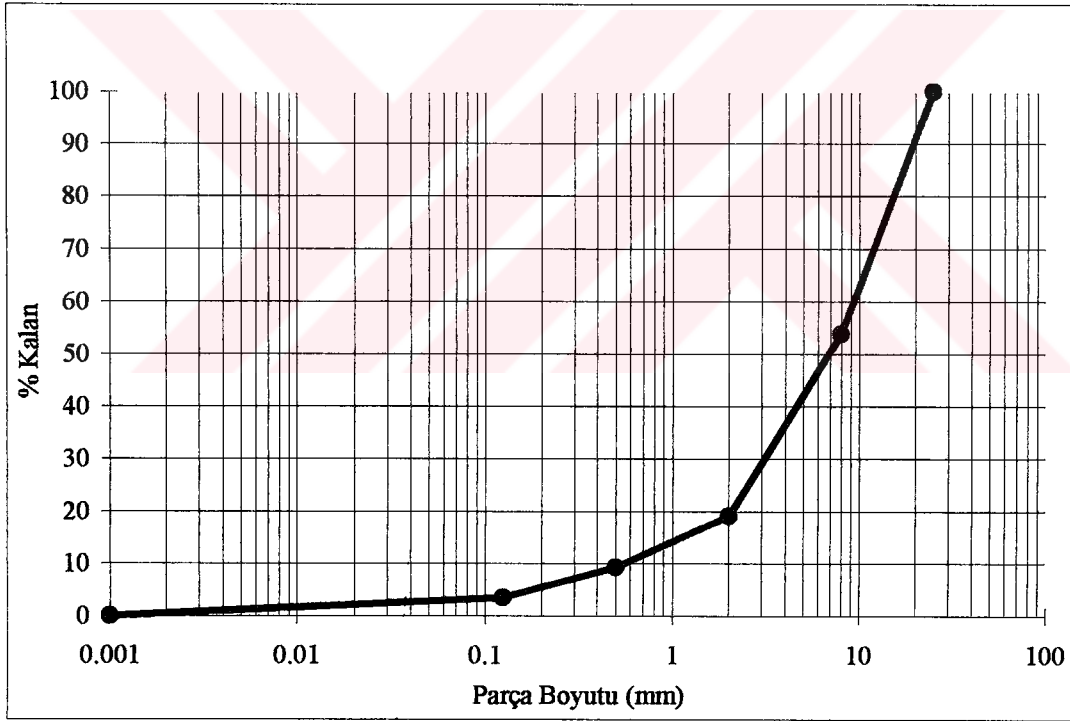
Kayaç: Dedeman Harsburjit

d (mm): 5

Tarih: 16.02.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	414
2	8	0.320		56.25	46.13	56.25	46.1	
3	2	0.080		42.36	34.74	98.61	80.9	
4	0.500	0.020		11.91	9.77	110.52	90.6	
5	0.125	0.005		7.13	5.85	117.65	96.5	
6	Toz	Toz		4.29	3.52	121.94	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.26 Düşük içerikli kromit d=9 mm, s=9 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALIZI

Proje: DPT (141)

S (mm): 9

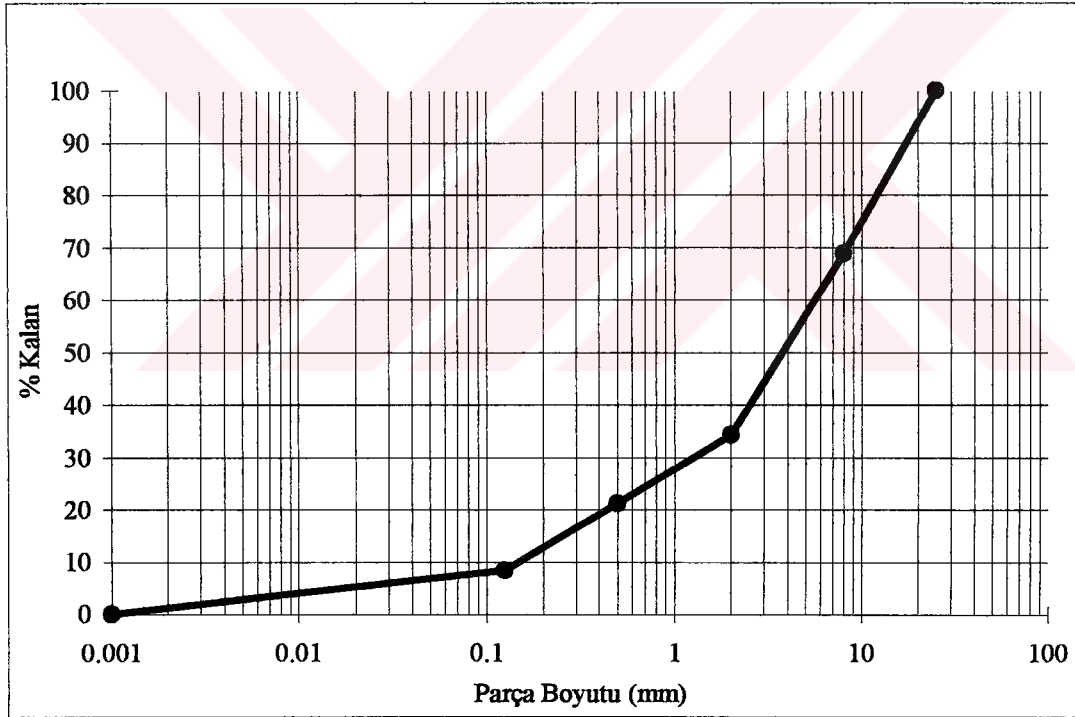
Kayaç: Kavak Cevher

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	367
2	8	0.320		43.74	31.12	43.74	31.1	
3	2	0.080		48.46	34.48	92.20	65.6	
4	0.500	0.020		18.52	13.18	110.72	78.8	
5	0.125	0.005		18.01	12.81	128.73	91.6	
6	Toz	Toz		11.83	8.42	140.56	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.27 Düşük içerikli kromit d=9 mm, s=18 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 18

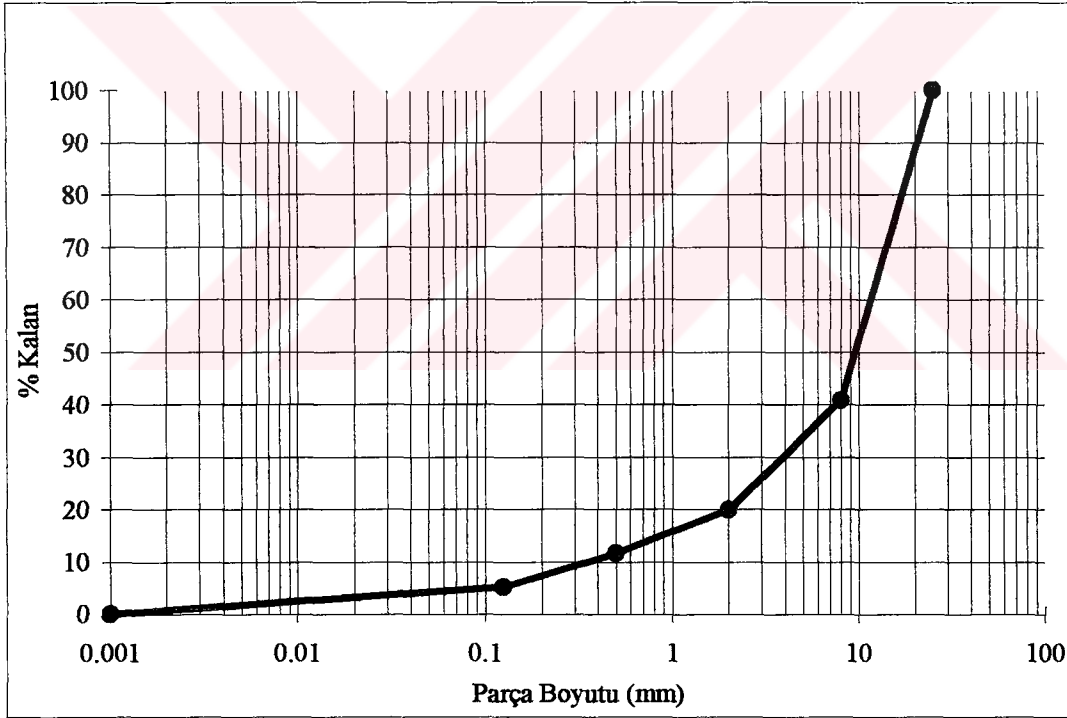
Kayaç: Kavak Cevher

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	423
2	8	0.320		210.11	59.17	210.11	59.2	
3	2	0.080		74.37	20.94	284.48	80.1	
4	0.500	0.020		29.35	8.27	313.83	88.4	
5	0.125	0.005		23.23	6.54	337.06	94.9	
6	Toz	Toz		18.03	5.08	355.09	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.28 Düşük içerikli kromit d=9 mm, s=27 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Cevher

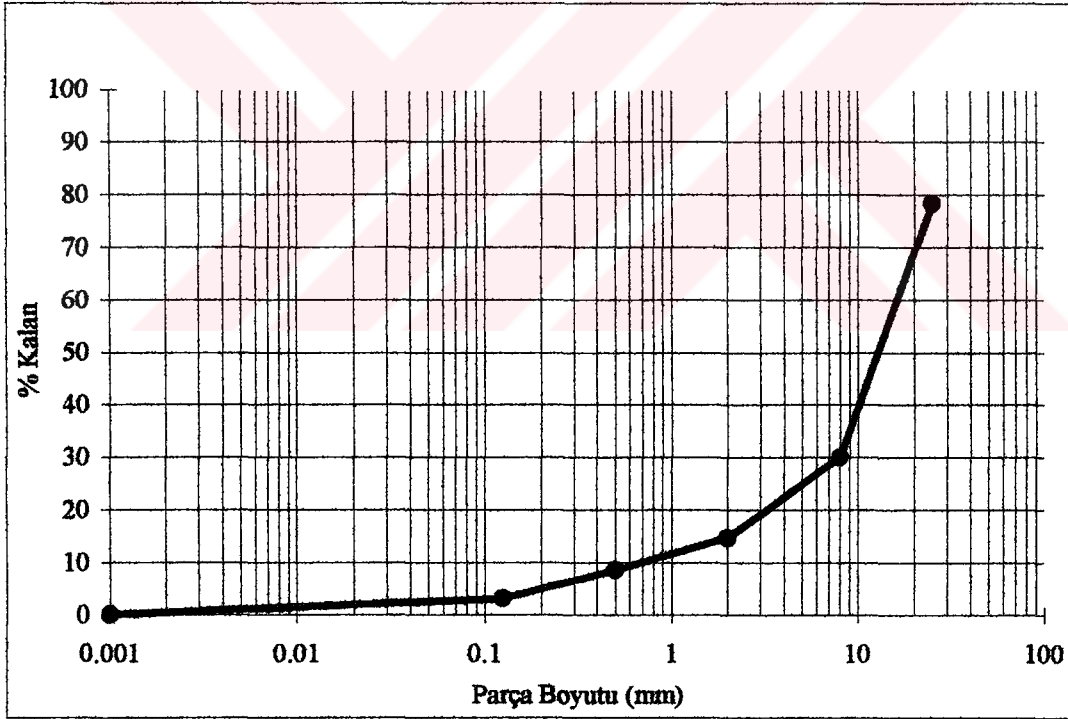
Tarih: 04.04.2001

S (mm): 27

d (mm): 9

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		124.14	21.66	124.14	21.7	465
2	8	0.320		277.06	48.34	401.20	70.0	
3	2	0.080		87.9	15.34	489.10	85.3	
4	0.500	0.020		35.11	6.13	524.21	91.5	
5	0.125	0.005		31.27	5.46	555.48	96.9	
6	Toz	Toz		17.67	3.08	573.15	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.29 Düşük içerikli kromit d=9 mm, s=45 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 45

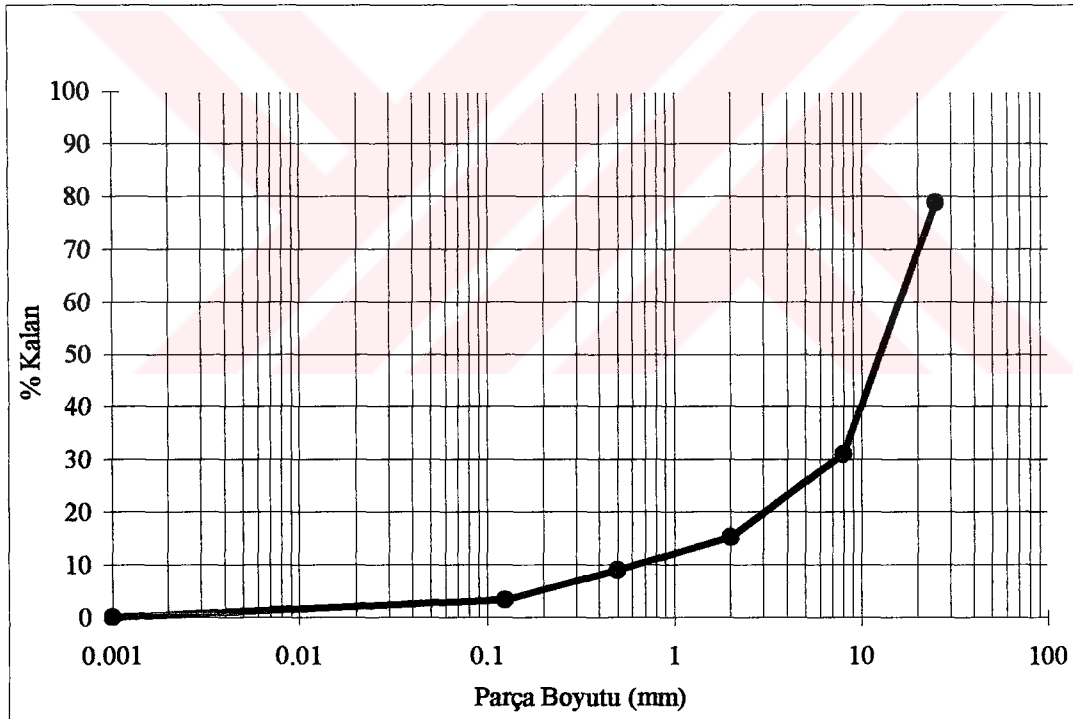
Kayaç: Kavak Cevher

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		133.61	21.17	133.61	21.2	463
2	8	0.320		301.32	47.74	434.93	68.9	
3	2	0.080		99.87	15.82	534.80	84.7	
4	0.500	0.020		39.37	6.24	574.17	91.0	
5	0.125	0.005		36.21	5.74	610.38	96.7	
6	Toz	Toz		20.75	3.29	631.13	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.30 Düşükl içerikli kromit d=9 mm, yardımsız durumdaki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): Yardımsız

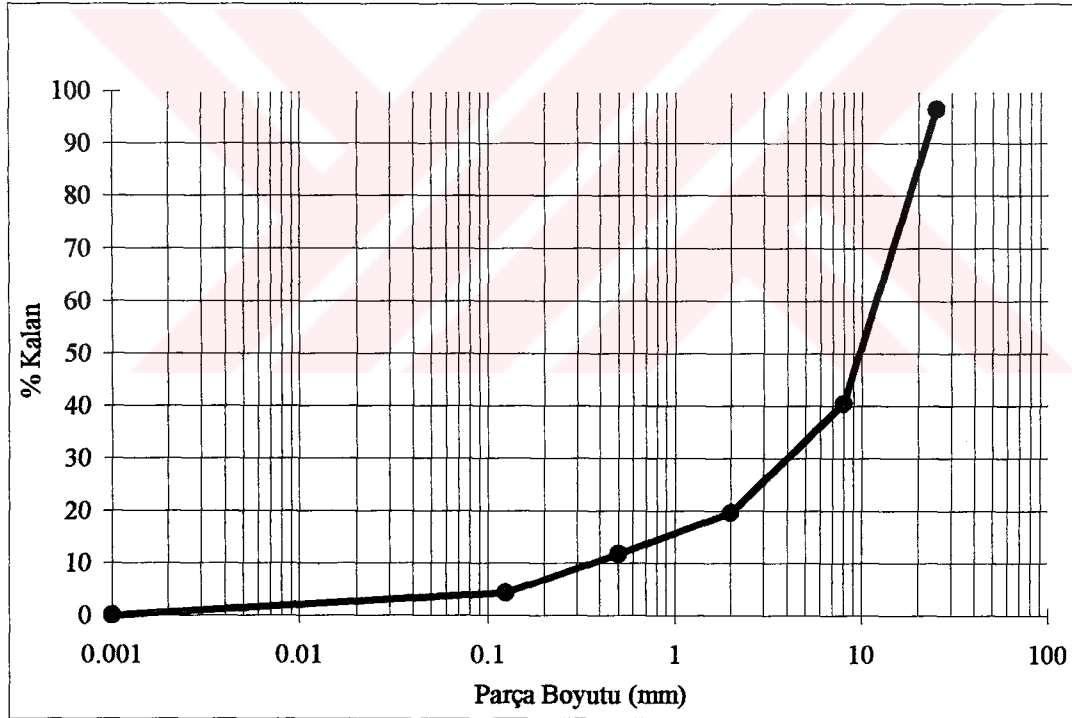
Kayaç: Kavak Cevher

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		11.28	3.44	11.28	3.4	427
2	8	0.320		184.21	56.14	195.49	59.6	
3	2	0.080		68.03	20.73	263.52	80.3	
4	0.500	0.020		26.12	7.96	289.64	88.3	
5	0.125	0.005		24.24	7.39	313.88	95.7	
6	Toz	Toz		14.22	4.33	328.10	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.31 Düşük içerikli kromit d=5 mm, s=5 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ELEK ANALİZİ

MADEN MÜH. BL.

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Cevher

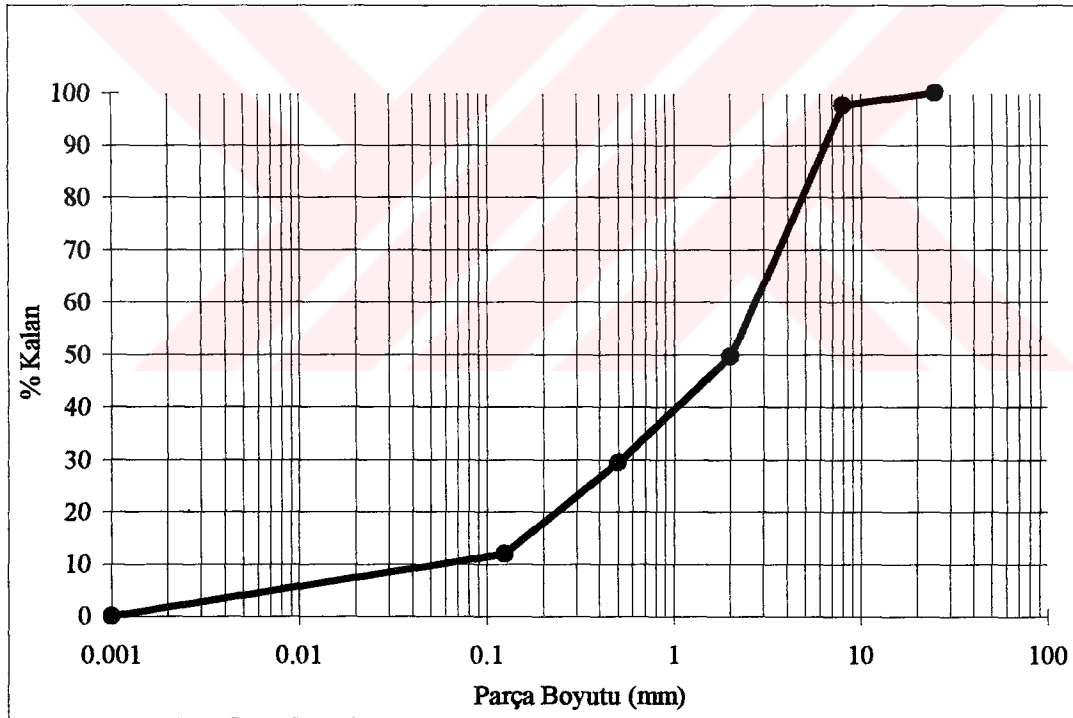
Tarih: 04.04.2001

S (mm): 5

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	312
2	8	0.320		0.98	2.36	0.98	2.4	
3	2	0.080		19.99	48.05	20.97	50.4	
4	0.500	0.020		8.4	20.19	29.37	70.6	
5	0.125	0.005		7.3	17.55	36.67	88.1	
6	Toz	Toz		4.93	11.85	41.60	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.32 Düşük içerikli kromit d=5 mm, s=10 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Cevher

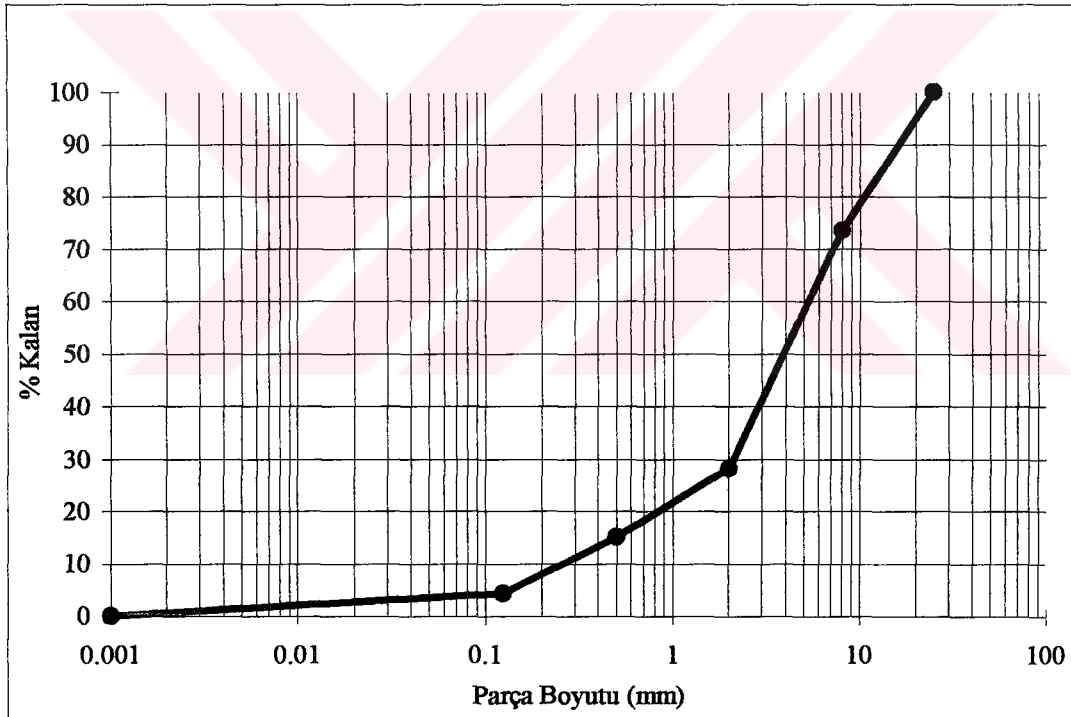
Tarih: 04.04.2001

S (mm): 10

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	379
2	8	0.320		29.42	26.39	29.42	26.4	
3	2	0.080		50.64	45.43	80.06	71.8	
4	0.500	0.020		14.66	13.15	94.72	85.0	
5	0.125	0.005		11.96	10.73	106.68	95.7	
6	Toz	Toz		4.79	4.30	111.47	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.33 Düşük içerikli kromit d=5 mm, s=15 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Cevher

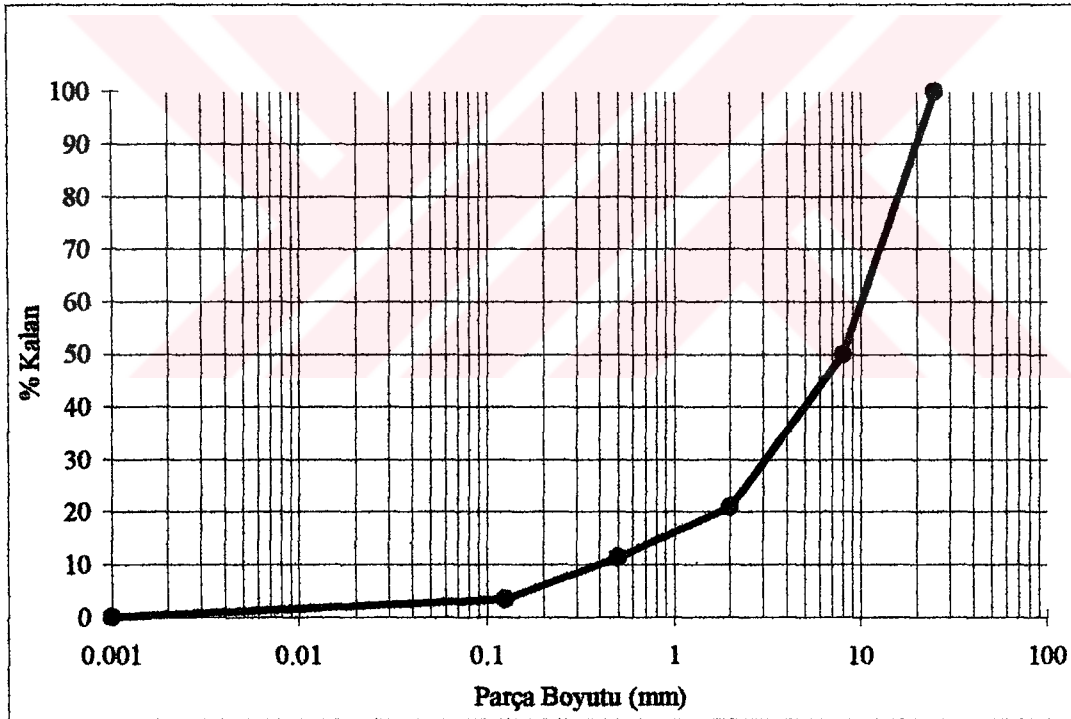
Tarih: 04.04.2001

S (mm): 15

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	414
2	8	0.320		73.93	50.04	73.93	50.0	
3	2	0.080		42.84	29.00	116.77	79.0	
4	0.500	0.020		14.2	9.61	130.97	88.6	
5	0.125	0.005		11.79	7.98	142.76	96.6	
6	Toz	Toz		4.98	3.37	147.74	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.34 Düşük içerikli kromit d=5 mm, s=25 mm'deki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Cevher

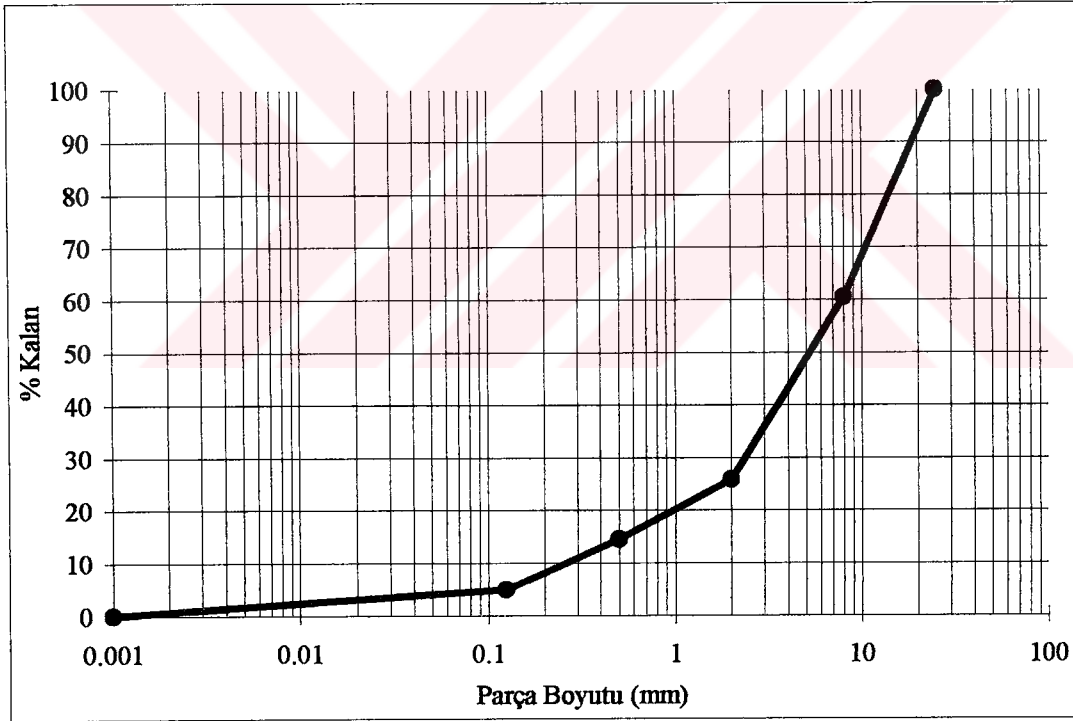
Tarih: 04.04.2001

S (mm): 25

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	394
2	8	0.320		50.47	39.46	50.47	39.5	
3	2	0.080		44.35	34.68	94.82	74.1	
4	0.500	0.020		14.44	11.29	109.26	85.4	
5	0.125	0.005		12.38	9.68	121.64	95.1	
6	Toz	Toz		6.25	4.89	127.89	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.35 Düşük içerikli kromit d=5 mmyardımsız durumdaki elek analizi verileri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): Yardımsız

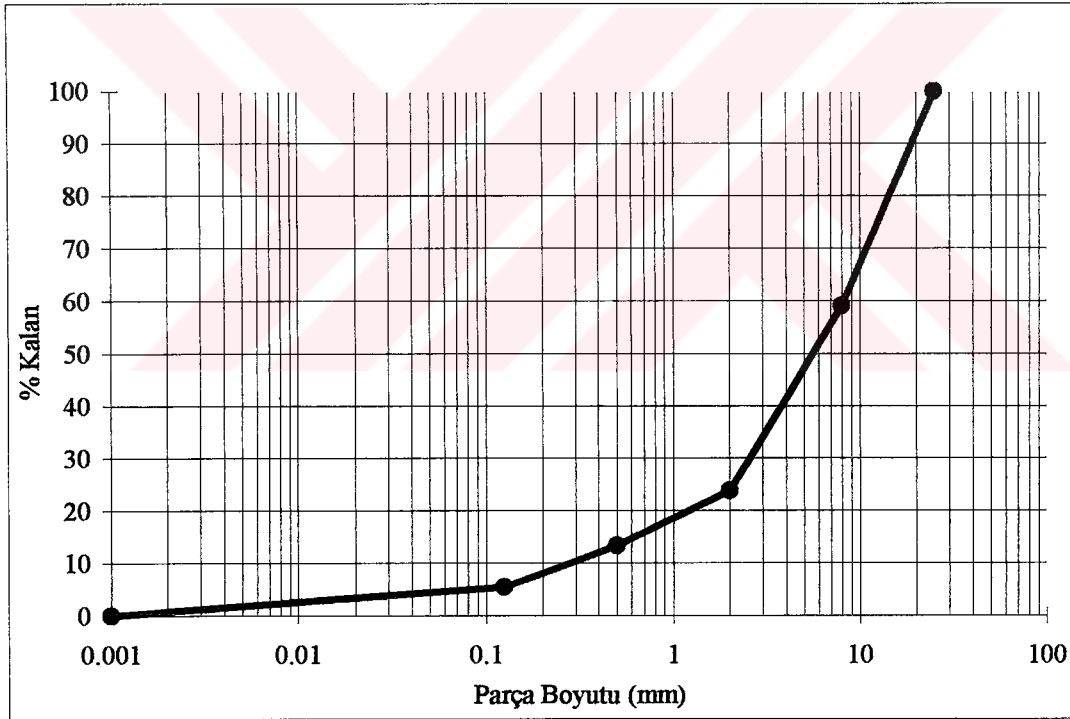
Kayaç: Kavak Cevher

d (mm): 5

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	398
2	8	0.320		39.49	40.91	39.49	40.9	
3	2	0.080		34.15	35.38	73.64	76.3	
4	0.500	0.020		10	10.36	83.64	86.7	
5	0.125	0.005		7.65	7.93	91.29	94.6	
6	Toz	Toz		5.23	5.42	96.52	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.36 Serpantin yankayacı d=9 mm, s=9 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Serpantin

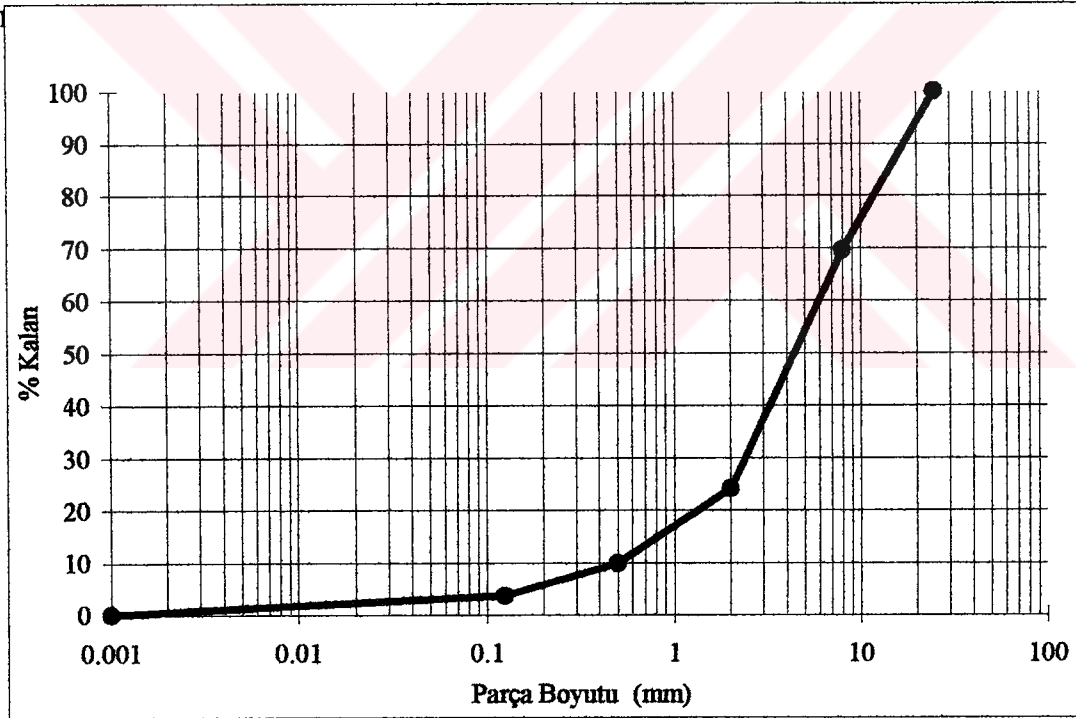
Tarih: 04.04.2001

S (mm): 9

d (mm): 9

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	393
2	8	0.320		30.62	30.33	30.62	30.3	
3	2	0.080		45.97	45.53	76.59	75.9	
4	0.500	0.020		14.39	14.25	90.98	90.1	
5	0.125	0.005		6.32	6.26	97.30	96.4	
6	Toz	Toz		3.66	3.63	100.96	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.37 Serpantin yankayacı d=9 mm, s=18 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 18

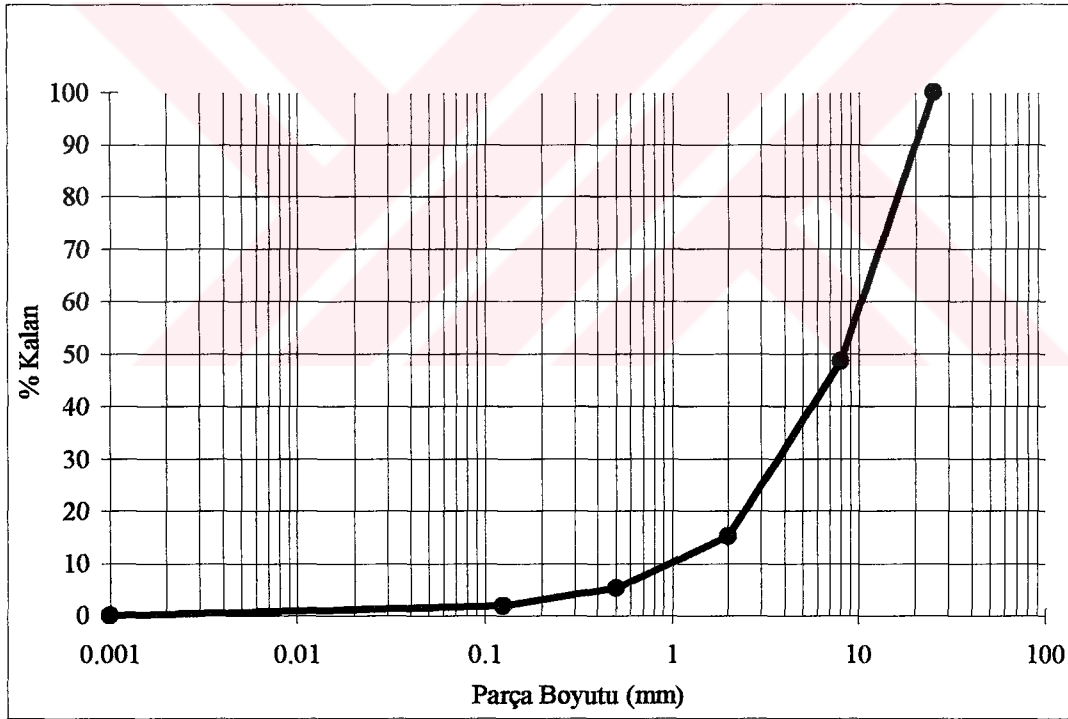
Kayaç: Kavak Serpantin

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	429
2	8	0.320		131.53	51.40	131.53	51.4	
3	2	0.080		85.61	33.46	217.14	84.9	
4	0.500	0.020		25.28	9.88	242.42	94.7	
5	0.125	0.005		8.71	3.40	251.13	98.1	
6	Toz	Toz		4.76	1.86	255.89	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.38 Serpantin yankayacı d=9 mm, s=27 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 27

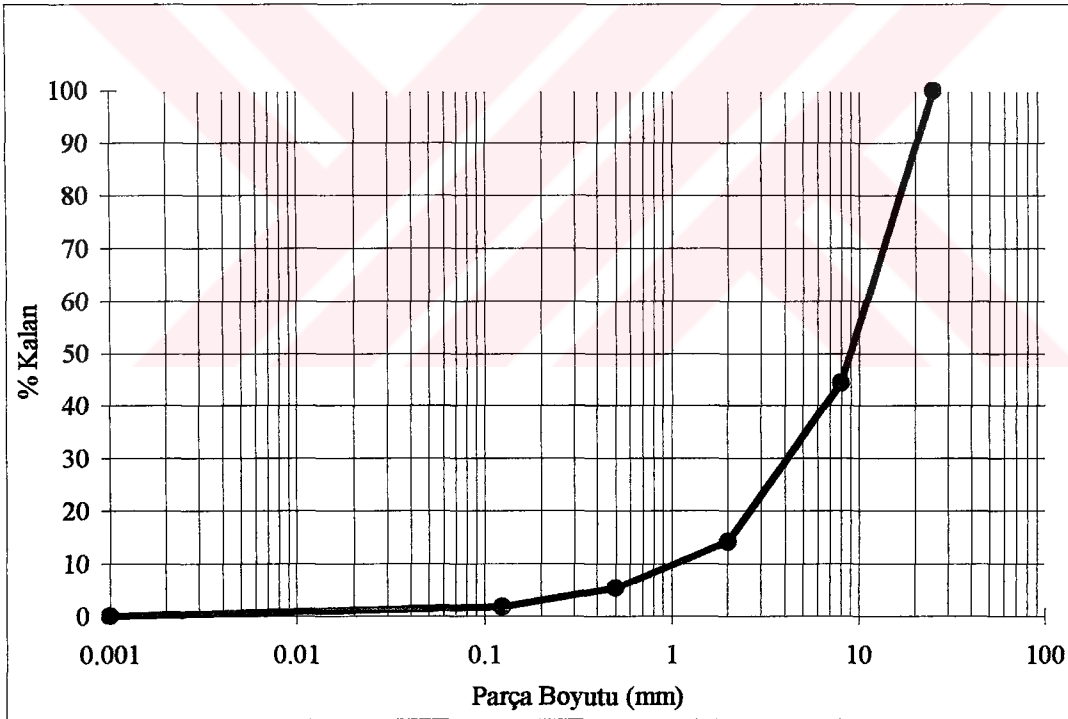
Kayaç: Kavak Serpantin

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	434
2	8	0.320		160.36	55.52	160.36	55.5	
3	2	0.080		87.32	30.23	247.68	85.8	
4	0.500	0.020		25.84	8.95	273.52	94.7	
5	0.125	0.005		10.19	3.53	283.71	98.2	
6	Toz	Toz		5.1	1.77	288.81	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.39 Serpantin yankayacı d=9 mm, s=45 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 45

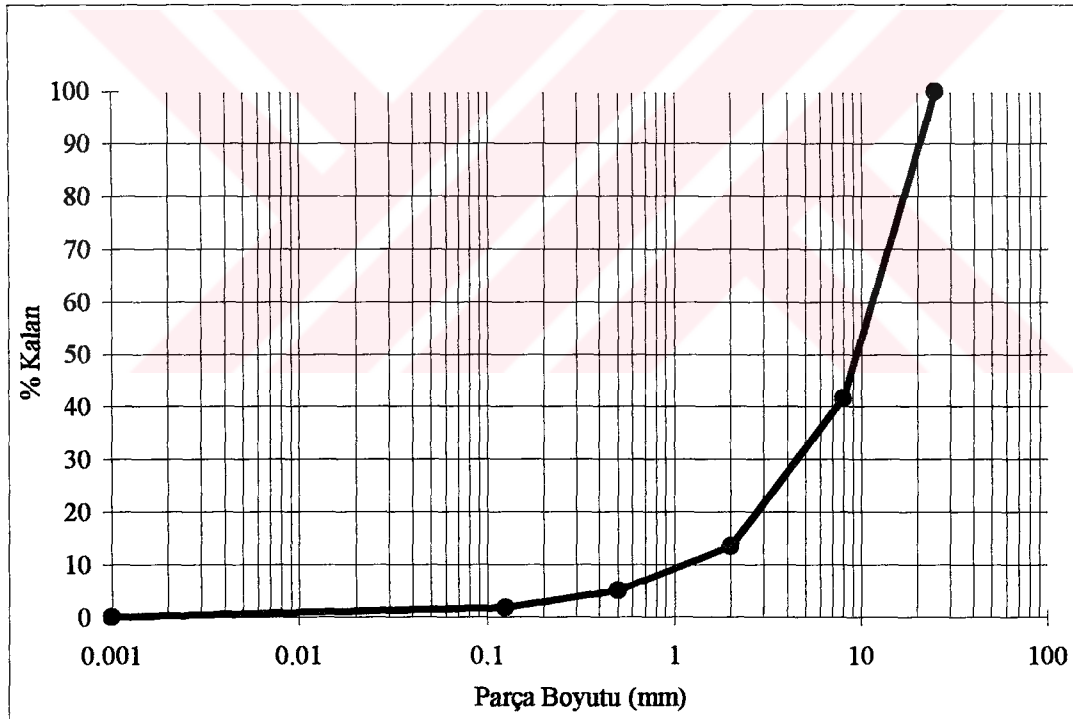
Kayaç: Kavak Serpantin

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	438
2	8	0.320		239.33	58.33	239.33	58.3	
3	2	0.080		115.6	28.17	354.93	86.5	
4	0.500	0.020		34.7	8.46	389.63	95.0	
5	0.125	0.005		13.56	3.30	403.19	98.3	
6	Toz	Toz		7.11	1.73	410.30	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.40 Serpantin yankayacı d=9 mm, yardımsız durumdaki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): Yardımsız

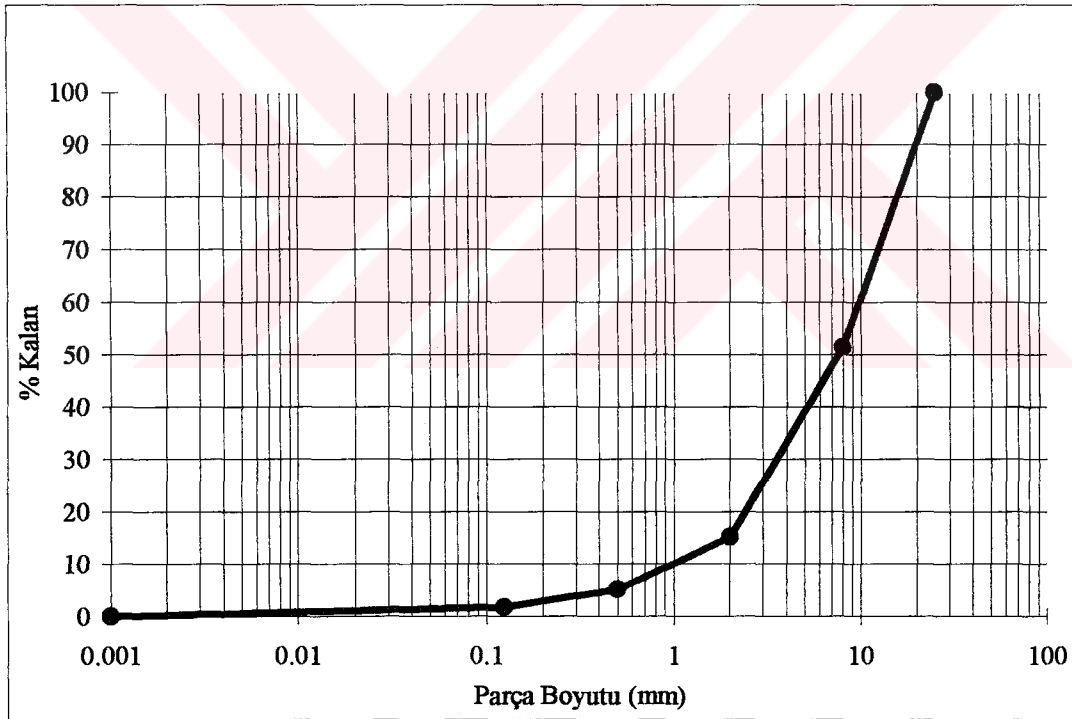
Kayaç: Kavak Serpantin

d (mm): 9

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	427
2	8	0.320		133.71	48.66	133.71	48.7	
3	2	0.080		99.45	36.19	233.16	84.9	
4	0.500	0.020		27.58	10.04	260.74	94.9	
5	0.125	0.005		9.11	3.32	269.85	98.2	
6	Toz	Toz		4.92	1.79	274.77	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.41 Serpantin yankayacı d=5 mm, s=5 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 5

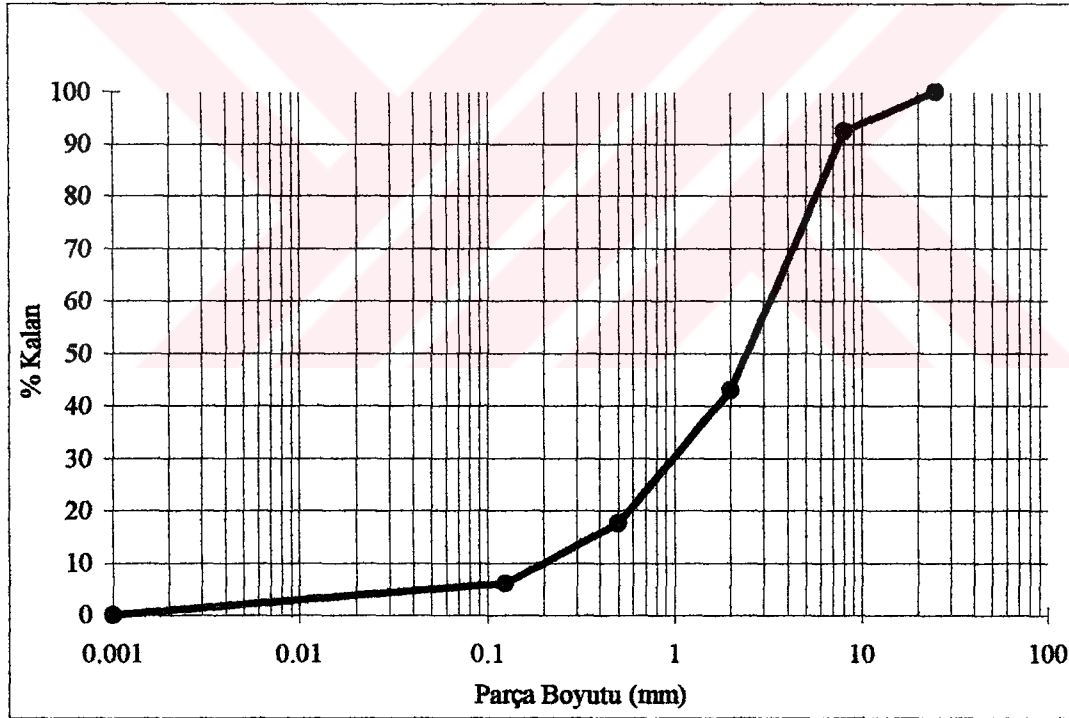
Kayaç: Kavak Serpantin

d (mm): 5

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İriliği
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	341
2	8	0.320		3.34	7.54	3.34	7.5	
3	2	0.080		21.87	49.38	25.21	56.9	
4	0.500	0.020		11.33	25.58	36.54	82.5	
5	0.125	0.005		5.05	11.40	41.59	93.9	
6	Toz	Toz		2.7	6.10	44.29	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.42 Serpantin yankayacı d=5 mm, s=10 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 10

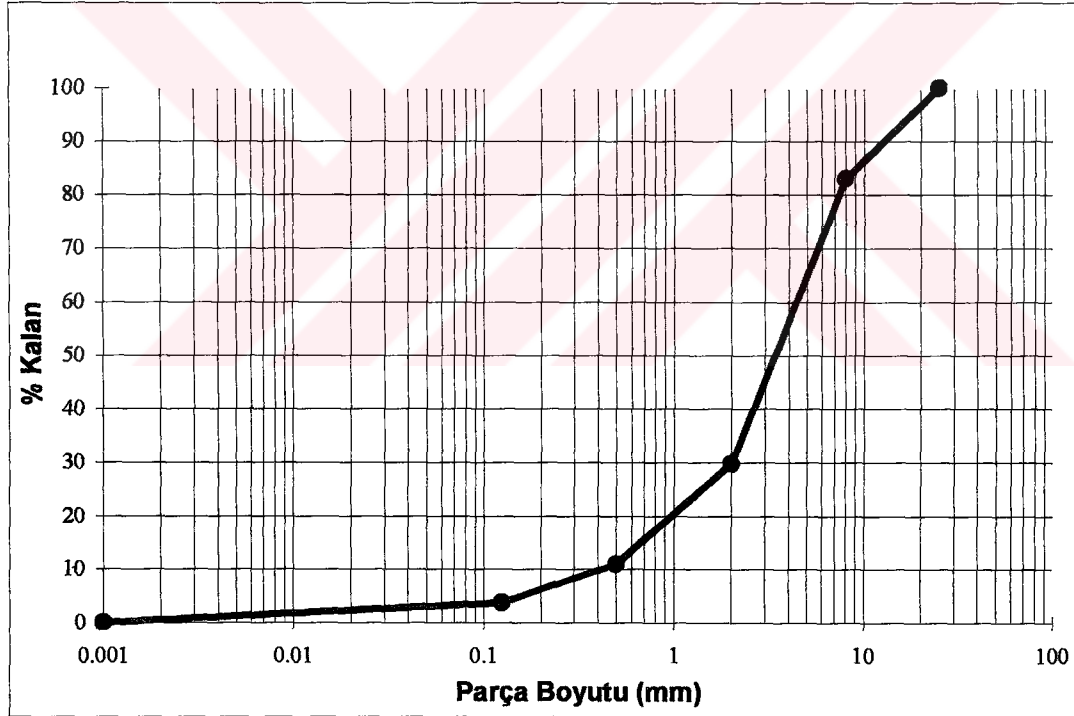
Kayaç: Kavak Cevher

d (mm): 5

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	373
2	8	0.320		20.89	16.94	20.89	16.9	
3	2	0.080		65.76	53.32	86.65	70.3	
4	0.500	0.020		23.13	18.75	109.78	89.0	
5	0.125	0.005		9	7.30	118.78	96.3	
6	Toz	Toz		4.55	3.69	123.33	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.43 Serpantin yankayacı d=5 mm, s=15 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Cevher

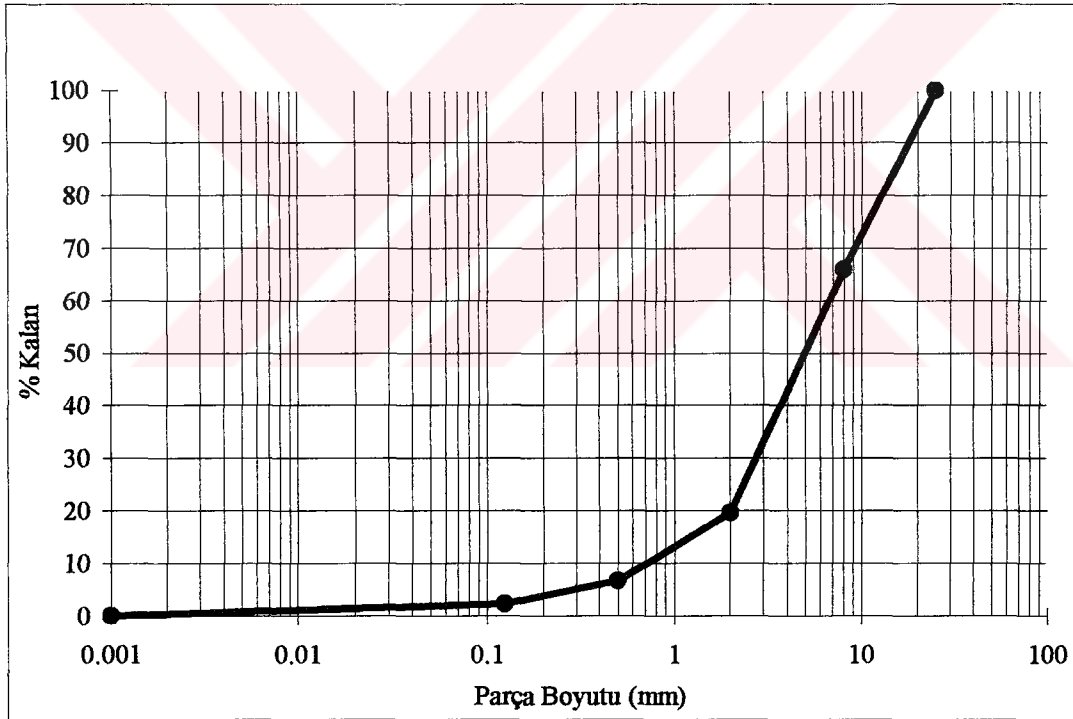
Tarih: 04.04.2001

S (mm): 15

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	406
2	8	0.320		44.48	34.00	44.48	34.0	
3	2	0.080		60.66	46.37	105.14	80.4	
4	0.500	0.020		17.02	13.01	122.16	93.4	
5	0.125	0.005		5.79	4.43	127.95	97.8	
6	Toz	Toz		2.88	2.20	130.83	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.44 Serpantin yankayacı d=5 mm, s=25 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALIZI

Proje: DPT (141)

S (mm): 25

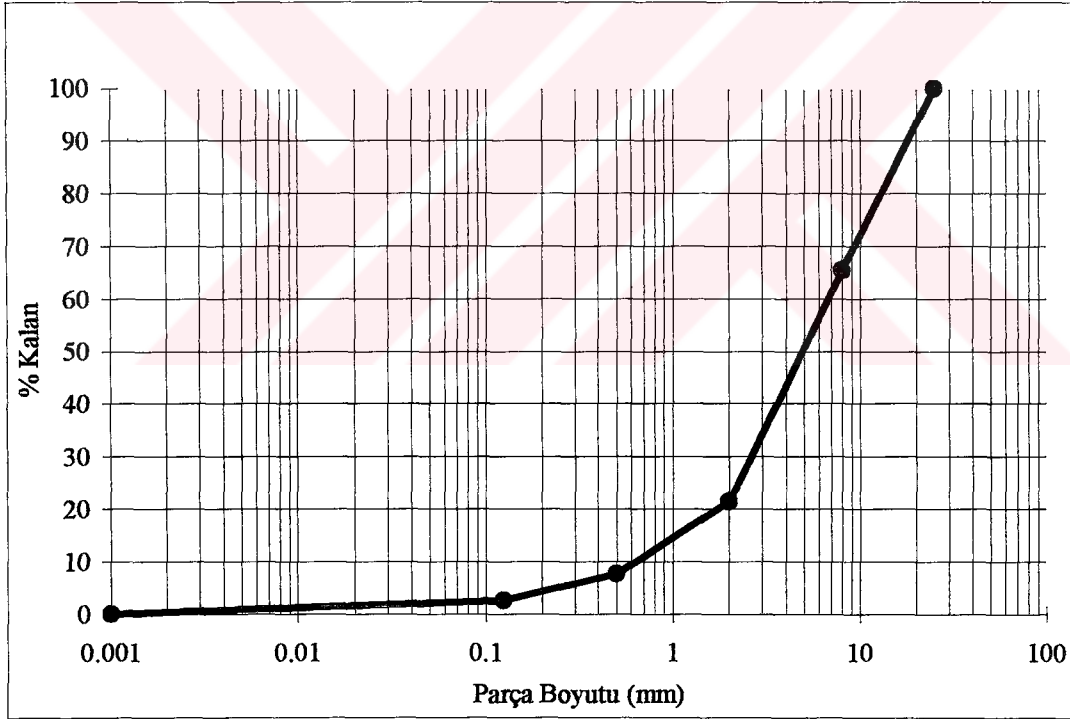
Kayaç: Kavak Cevher

d (mm): 5

Tarih: 04.04.2001

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	403
2	8	0.320		49.13	34.54	49.13	34.5	
3	2	0.080		62.67	44.05	111.80	78.6	
4	0.500	0.020		19.61	13.78	131.41	92.4	
5	0.125	0.005		7.28	5.12	138.69	97.5	
6	Toz	Toz		3.57	2.51	142.26	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.45 Serpantin yankayacı d=5 mm, yardımsız durumdaki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Kavak Cevher

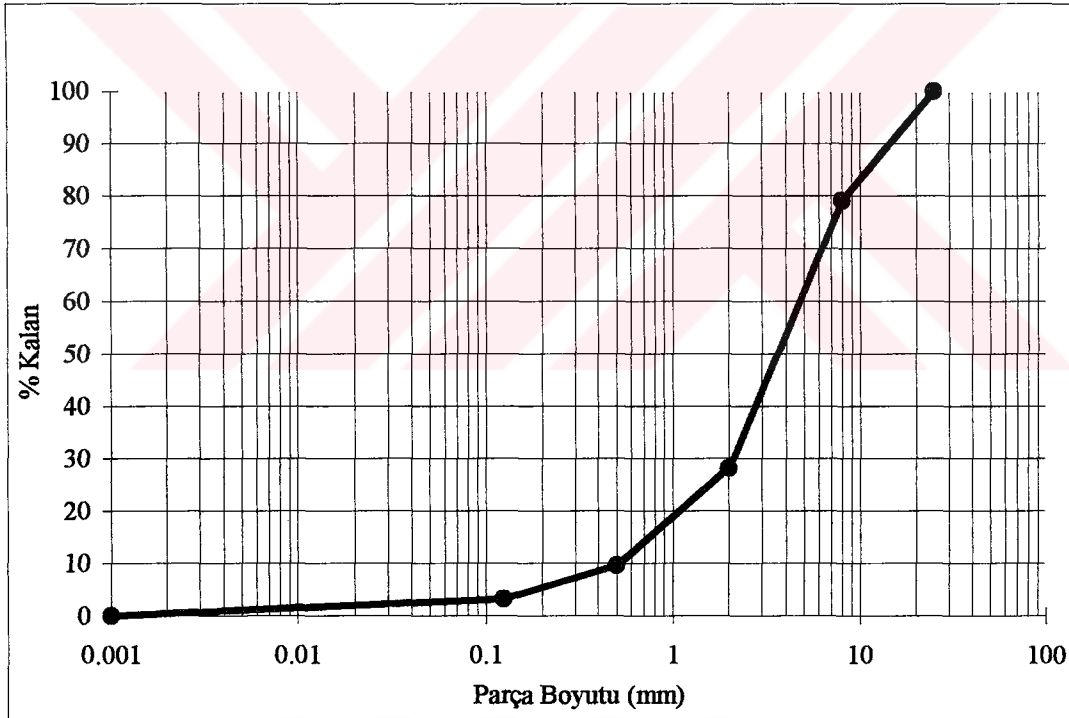
Tarih: 04.04.2001

S (mm): Yardımsız

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	380
2	8	0.320		15.97	20.90	15.97	20.9	
3	2	0.080		38.95	50.97	54.92	71.9	
4	0.500	0.020		14.14	18.50	69.06	90.4	
5	0.125	0.005		4.96	6.49	74.02	96.9	
6	Toz	Toz		2.4	3.14	76.42	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.46 Beypazarı trona d=5 mm, s=5 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Trona U4

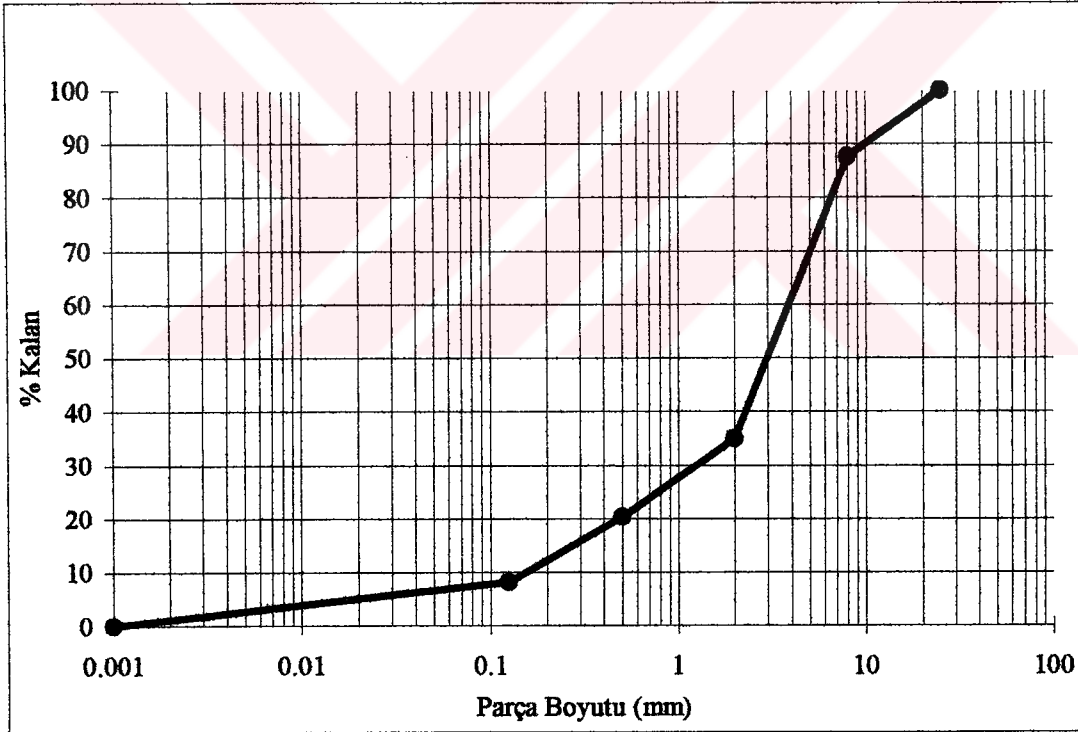
Tarih: 15.01.2000

S (mm): 5

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	349
2	8	0.320		5.12	12.35	5.12	12.4	
3	2	0.080		21.81	52.62	26.93	65.0	
4	0.500	0.020		6.12	14.76	33.05	79.7	
5	0.125	0.005		5	12.06	38.05	91.8	
6	Toz	Toz		3.4	8.20	41.45	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.47 Beypazarı trona d=5 mm, s=10 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 10

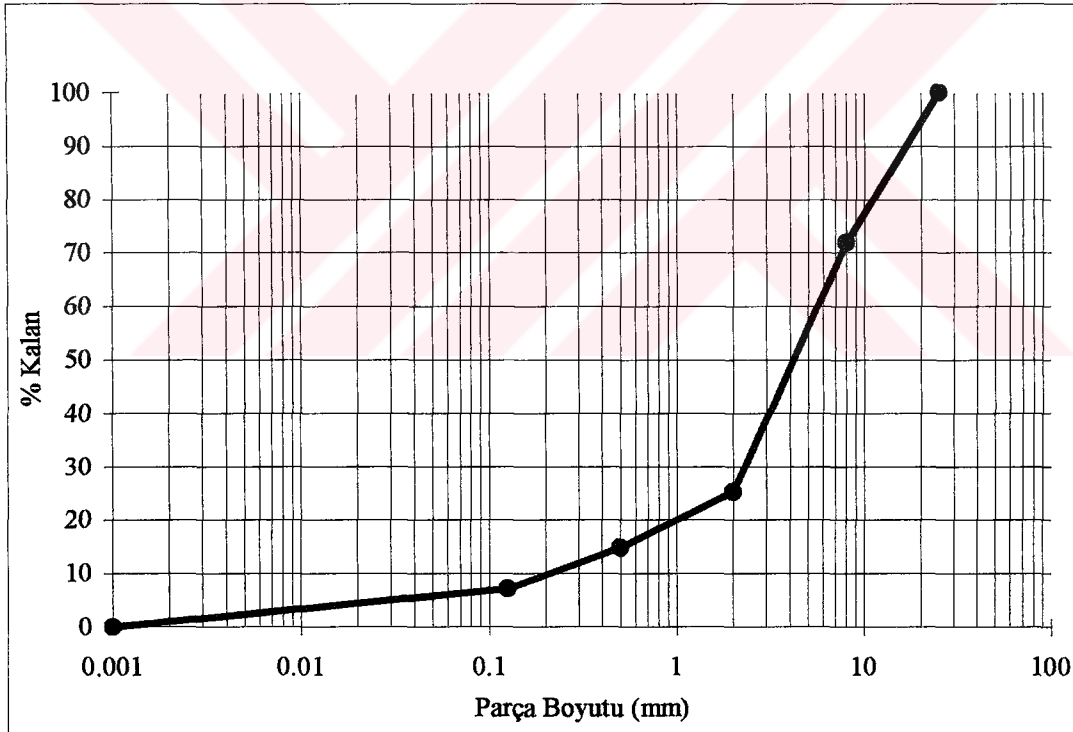
Kayaç: Trona U4

d (mm): 5

Tarih: 15.01.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	381
2	8	0.320		21.97	28.06	21.97	28.1	
3	2	0.080		36.54	46.67	58.51	74.7	
4	0.500	0.020		8.20	10.47	66.71	85.2	
5	0.125	0.005		6.00	7.66	72.71	92.9	
6	Toz	Toz		5.58	7.13	78.29	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.48 Beypazarı trona d=5 mm, s=15 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Trona U4

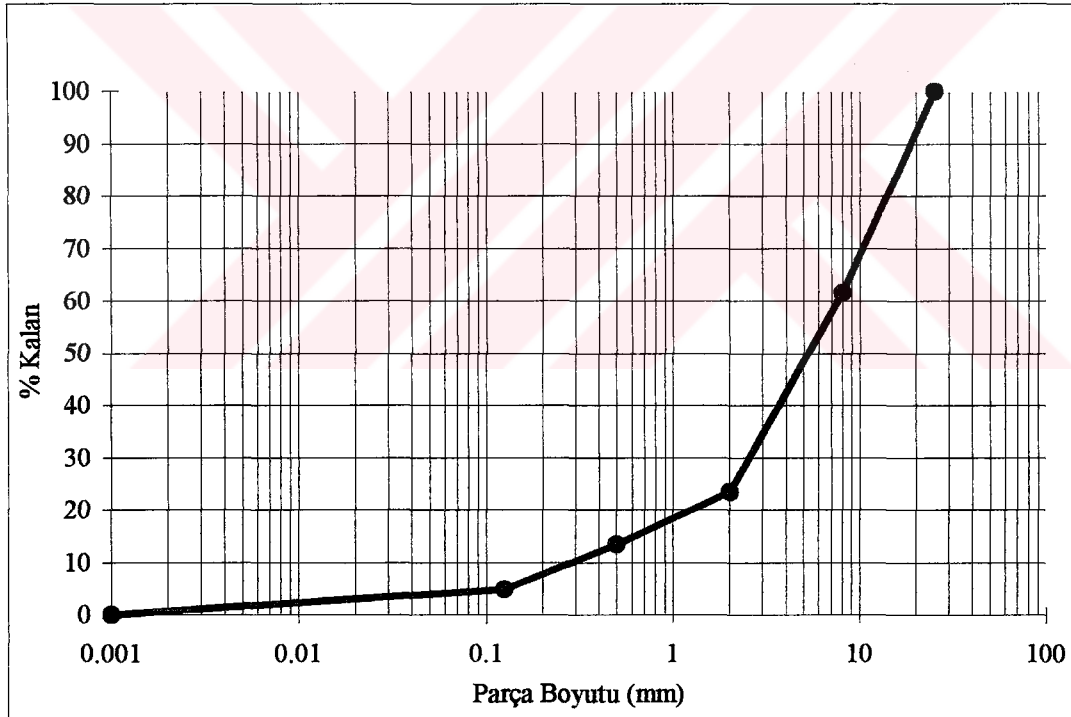
Tarih: 15.01.2000

S (mm): 15

d (mm): 5

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	397
2	8	0.320		38.51	38.49	38.51	38.5	
3	2	0.080		38.13	38.11	76.64	76.6	
4	0.500	0.020		9.98	9.97	86.62	86.6	
5	0.125	0.005		8.65	8.64	95.27	95.2	
6	Toz	Toz		4.79	4.79	100.06	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.49 Beypazarı trona d=5 mm, s=25 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 25

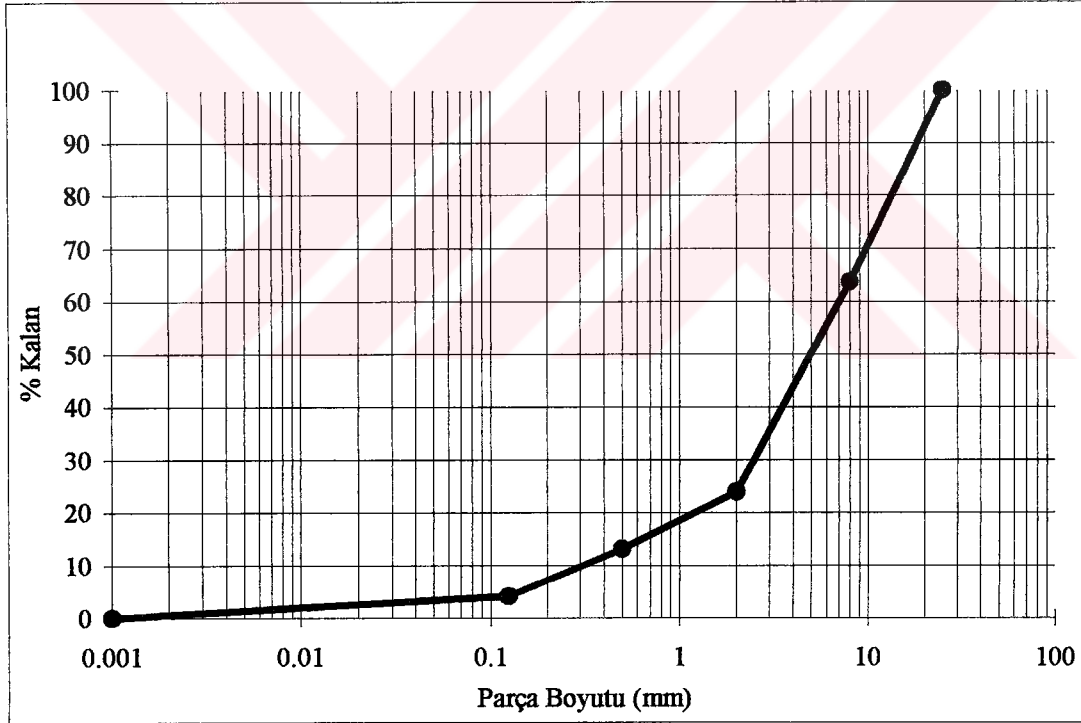
Kayaç: Trona U4

d (mm): 5

Tarih: 15.01.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	395
2	8	0.320		37.56	36.27	37.56	36.3	
3	2	0.080		41.25	39.83	78.81	76.1	
4	0.500	0.020		11.21	10.82	90.02	86.9	
5	0.125	0.005		9.25	8.93	99.27	95.8	
6	Toz	Toz		4.3	4.15	103.57	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.50 Beypazarı trona d=5 mm, yardımsız durumdaki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MUH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): yardımsız

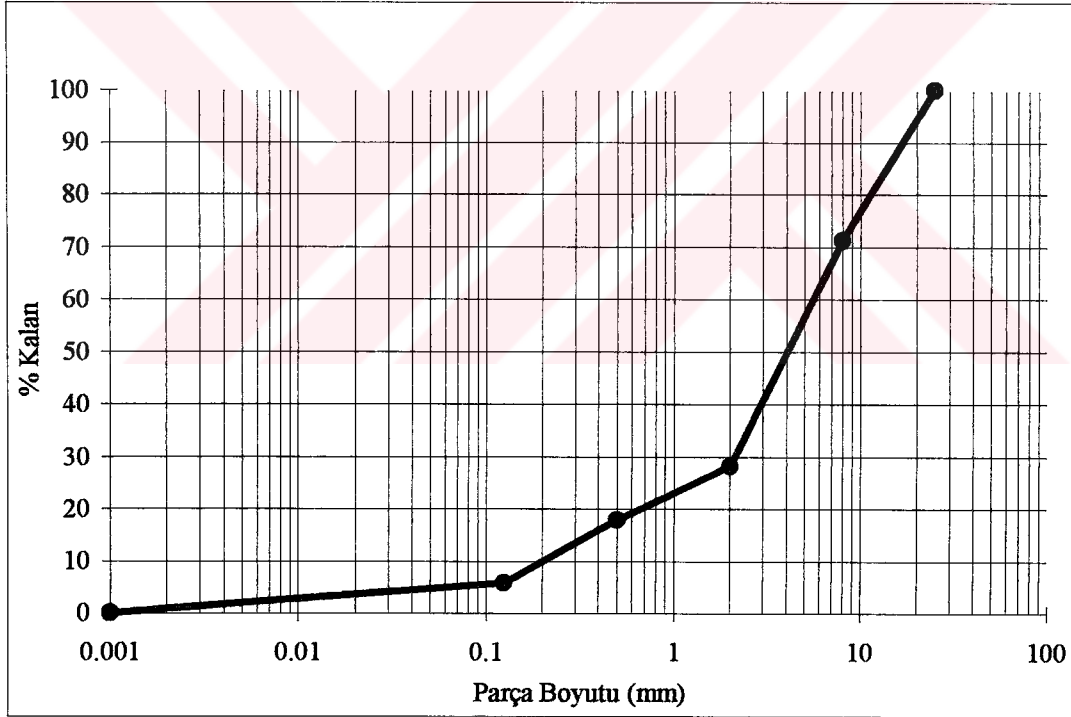
Kayaç: Trona U4

d (mm): 5

Tarih: 15.01.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0	0.00	0.00	0.0	377
2	8	0.320		19.99	28.76	19.99	28.8	
3	2	0.080		29.94	43.08	49.93	71.8	
4	0.500	0.020		7.16	10.30	57.09	82.1	
5	0.125	0.005		8.39	12.07	65.48	94.2	
6	Toz	Toz		4.02	5.78	69.50	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.51 Beypazarı trona d=9 mm, s=9 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Trona U4

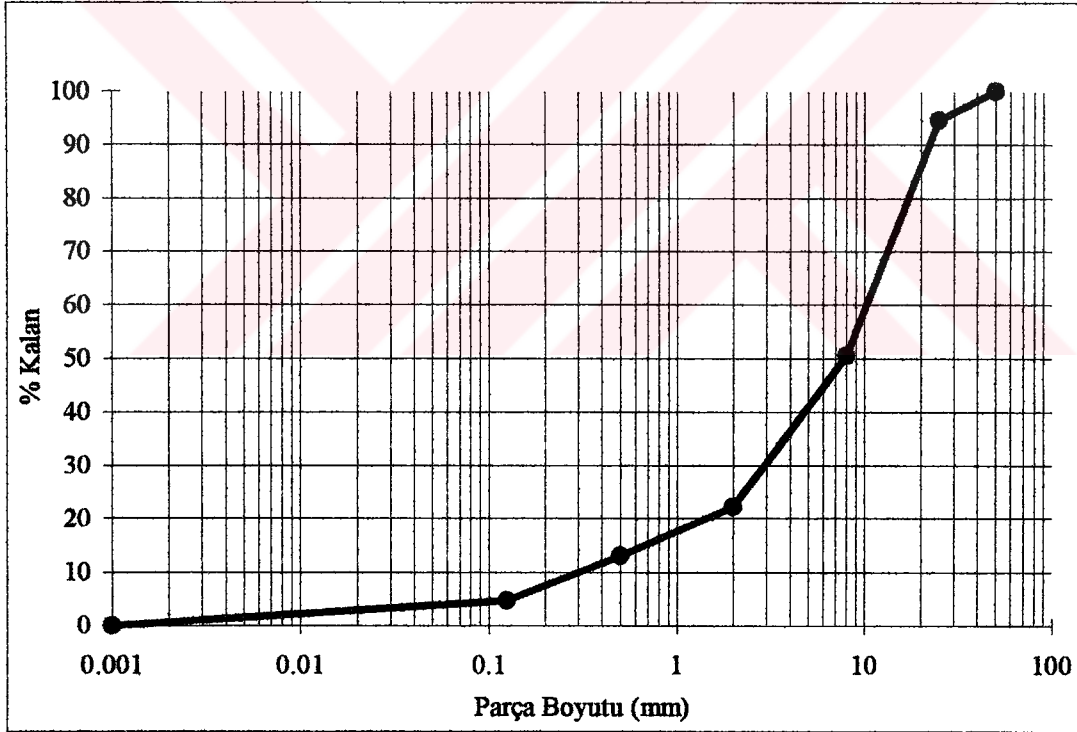
Tarih: 15.01.2000

S (mm): 9

d (mm): 9

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		7.85	5.47	7.85	5.5	415
2	8	0.320		63.12	43.98	70.97	49.5	
3	2	0.080		40.58	28.28	111.55	77.7	
4	0.500	0.020		13.17	9.18	124.72	86.9	
5	0.125	0.005		12.11	8.44	136.83	95.3	
6	Toz	Toz		6.68	4.65	143.51	100.0	

Grafik Gösterim



20. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BOKÜ MANTAYON MERKEZİ

Tablo C.52 Beypazarı trona d=9 mm, s=18 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Trona U4

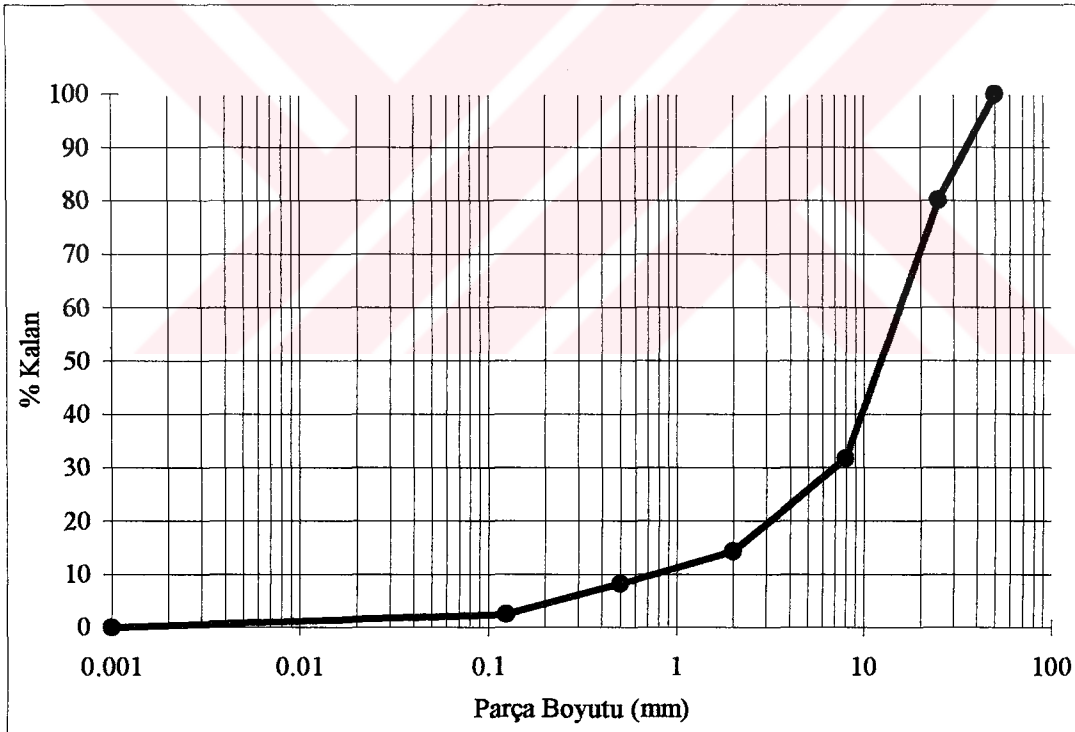
Tarih: 15.01.2000

S (mm): 18

d (mm): 9

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		55.50	19.88	55.50	19.9	463
2	8	0.320		135.19	48.43	190.69	68.3	
3	2	0.080		48.37	17.33	239.06	85.6	
4	0.500	0.020		17.22	6.17	256.28	91.8	
5	0.125	0.005		15.98	5.72	272.26	97.5	
6	Toz	Toz		6.87	2.46	279.13	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.53 Beypazarı trona d=9 mm, s=27 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

Kayaç: Trona U4

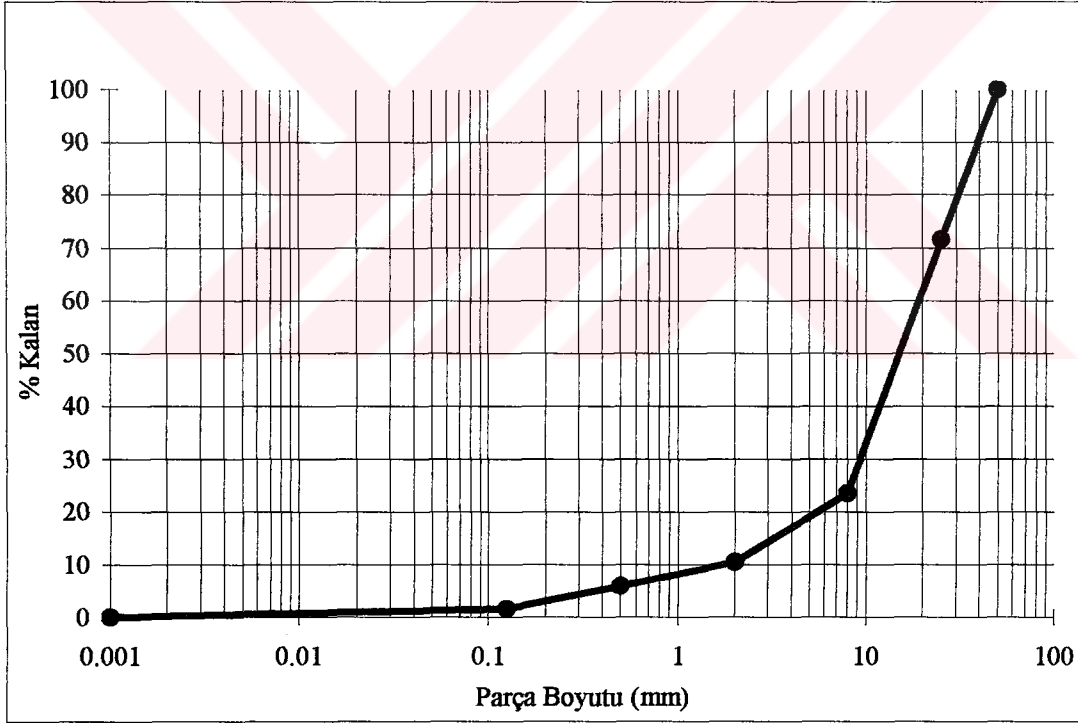
Tarih: 15.01.2000

S (mm): 27

d (mm): 9

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		132.44	28.42	132.44	28.4	487
2	8	0.320		224.13	48.09	356.57	76.5	
3	2	0.080		60.64	13.01	417.21	89.5	
4	0.500	0.020		21.50	4.61	438.71	94.1	
5	0.125	0.005		20.03	4.30	458.74	98.4	
6	Toz	Toz		7.29	1.56	466.03	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.54 Beypazarı trona d=9 mm, s=45 mm'deki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MADEN MÜH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): 45

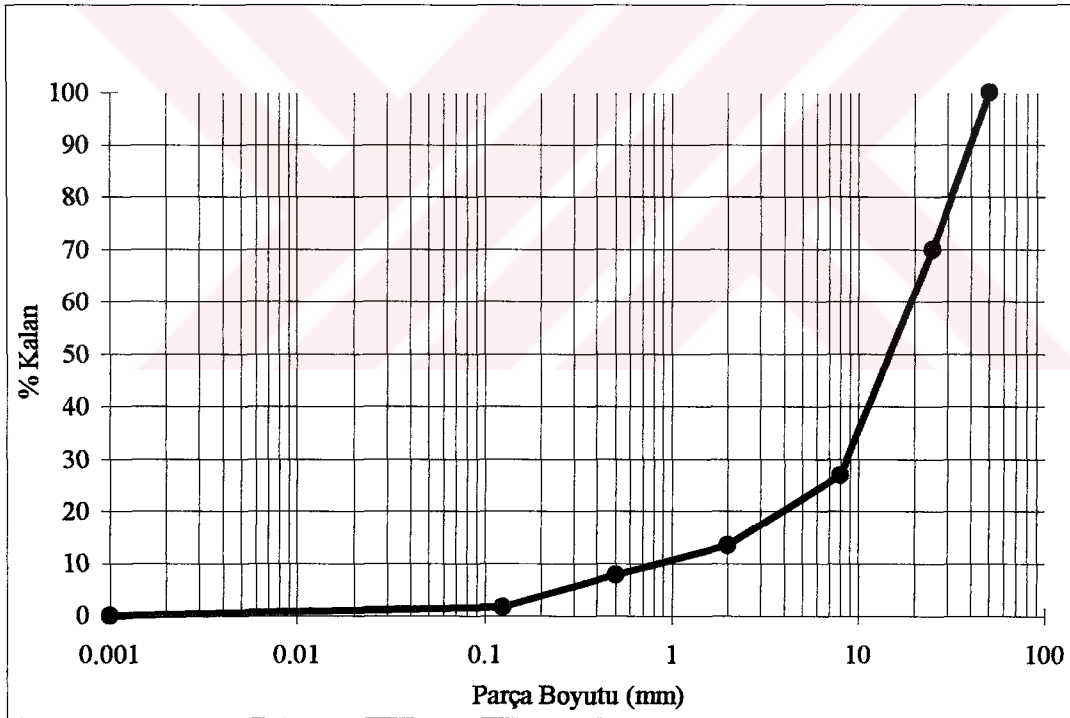
Kayaç: Trona U4

d (mm): 9

Tarih: 15.01.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		151.21	29.93	151.21	29.9	480
2	8	0.320		218.43	43.24	369.64	73.2	
3	2	0.080		67.66	13.39	437.30	86.6	
4	0.500	0.020		28.72	5.69	466.02	92.3	
5	0.125	0.005		30.77	6.09	496.79	98.3	
6	Toz	Toz		8.38	1.66	505.17	100.0	

Grafik Gösterim



Tablo C.55 Beypazarı trona d=9 mm, yardımsız durumdaki elek analizleri ve parça boyut dağılımı

İSTANBUL TEKNİK UNİVERSİTESİ

MADEN MUH. BL.

ELEK ANALİZİ

Proje: DPT (141)

S (mm): yardımsız

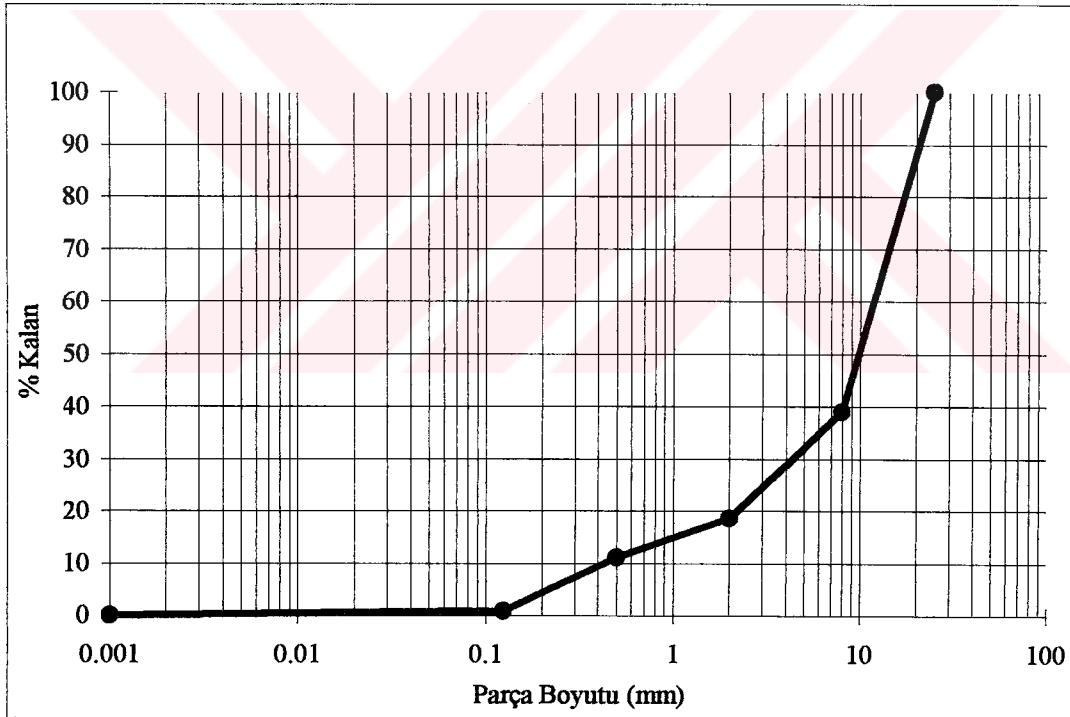
Kayaç: Trona U4

d (mm): 9

Tarih: 15.01.2000

	Elek	Elek	Elek	Kaya	Yüzde	Kümülatif		Pasa
	Boyutu	Boyutu	Boyutu	Ağırlığı	Kalan	Ağırlık	Kalan	İrilik
No	(mm)	(in)	(mesh)	(gr)	%	(gr)	%	İndeksi
1	25	1.000		0.00	0.00	0.00	0.0	430
2	8	0.320		215.17	60.98	215.17	61.0	
3	2	0.080		72.07	20.43	287.24	81.4	
4	0.500	0.020		26.51	7.51	313.75	88.9	
5	0.125	0.005		36.18	10.25	349.93	99.2	
6	Toz	Toz		2.91	0.82	352.84	100.0	

Grafik Gösterim



ÖZGEÇMİŞ

Hakan TUNÇDEMİR, 1969 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. Haziran 1994’te İ.T.Ü. Maden Müh. Bölümü’nden maden mühendisi, Haziran 1996’da İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği A.B.D., Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojisi Programı’ndan maden yüksek mühendisi olarak mezun oldu. Ekim 1996’da aynı programda doktora eğitimine başladı. 1997 yılında İ.T.Ü Maden Mühendisliği Bölümü, Yeraltı Maden İşletmeciliği A.B.D’na araştırma görevlisi olarak atandı ve halen bu görevi sürdürmektedir.

