



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE VE KAYSERİ YÖRESİNDEKİ CEVHERLERİN MAKİNE İLE
KAZILABİLİRLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ramazan ÇOMAKLI

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Haziran 2010

ÖZET

NİĞDE VE KAYSERİ YÖRESİNDEKİ CEVHERLERİN MAKİNE İLE KAZILABİLİRLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÇOMAKLI, Ramazan

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Haziran 2010, 105 sayfa

Bu çalışmada, Niğde ve Kayseri yöresindeki metalik cevherlerin mekanize kazıcılar ile kazılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, 3 kromit, 3 demir ve 2 kurşun - çinko cevheri kullanılmıştır. Öncelikle, cevherlerin fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, cevher numuneleri üzerinde küçük boyutlu kesme deneyleri yapıldı. Kesme deneyleri sonucunda elde edilen değerlere göre spesifik enerji değerleri ve her bir cevher için belirlenen bir kollu galeri açma makinesi için kazı performansı değerleri hesaplandı. Buna ek olarak, spesifik enerji değerleri ve diğer fiziko-mekanik özelliklere bağlı olarak çeşitli formüller geliştirildi.

Anahtar sözcükler: Fiziko-mekanik özellikler, küçük boyutlu kesme deneyi, kollu galeri açma makinesi

SUMMARY

THE POSSIBILITY OF EXCAVATION BY MECHANICAL MINERS OF THE METALLIC ORES IN THE SURROUNDINGS OF NIGDE AND KAYSERI

ÇOMAKLI, Ramazan

Nigde University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

June 2010, 105 pages

In this study, the possibility of excavation by mechanical miners of the metallic ores in the surroundings of Nigde and Kayseri was investigated. 3 chromites, 3 irons and 2 lead-zincs ores were used in the study. Firstly, physico-mechanical properties of ores were determined. Then, small-scale linear cutting tests using a chisel pick were performed on the core samples of ores. Specific energy values were calculated from the results of cutting tests and the production rates was calculated for each ores for a selected roadheader. In addition, some prediction equations for specific energy from physico-mechanical properties were developed.

Keywords: Physico-mechanical properties, small-scale linear cutting tests, roadheader

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
SUMMARY	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM I. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II. MEKANİZE KAZININ GELİŞİMİ VE KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİ.....	4
2.1 Mekanize Kazının Gelişimi.....	4
2.2 Kollu Galeri Açma Makineleri.....	6
BÖLÜM III. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
BÖLÜM IV. KAZILABİLİRLİK TAHMİN YÖNTEMLERİ.....	17
4.1 Dolaylı Deneyler Yardımıyla Kazılabilirlik Tahmini.....	17
4.1.1 Nokta yük deneyi.....	17
4.1.2 N.C.B koni delici	17
4.1.3 Darbe dayanımı deneyi.....	18
4.1.4 Tek eksenli basınç deneyi.....	18
4.1.5 Schmidt çekici deneyi.....	19
4.1.6 Shore skeleroskope sertliği deneyi	19
4.1.7 Shore skeleroskobu ile plastik sertlik deneyi.....	19

4.1.8 Cerchar sertlik deneyi.....	20
4.1.9 Cerchar aşındırıcılık deneyi.....	21
4.1.10 Schimazek aşınma indeksi.....	22
4.2 Arazide (Yerinde) Yapılan Kazılabilirlik Deneyleri.....	24
4.3 Delme Deneylerinden Kazılabilirlik Tahmini.....	25
4.4 Laboratuar Kesme Deneyleri ile Kazılabilirlik Tahmini	27
4.4.1 Tam boyutlu doğrusal kesme deneyleri.....	28
4.4.2 Küçük boyutlu kazı seti ile karot kesme deneyleri.....	31
BÖLÜM V. MATERYAL ve YÖNTEM	34
5.1 Sahanın Jeolojisi.....	34
5.1.1 Kromit yatakları.....	34
5.1.2 Çinko - kurşun yatakları	35
5.1.3 Demir yatakları	36
5.2 Laboratuar Deneyleri	38
5.2.1 Örnek hazırlama.....	38
5.2.2 Birim hacim ağırlık.....	38
5.2.3 Porozite ve boşluk oranı	39
5.2.4 Brazilian deney yöntemi ile dolaylı çekme deneyi.....	40
5.2.5 Cerchar aşınma İndeksi.....	41
5.2.6 Darbe dayanımı deneyi.....	42
5.2.7 Laboratuarda Schmidt çekici deneyi	43

5.2.8 Nokta yükü dayanımı indeksi deneyi	43
5.2.9 Ultrasonik hız deneyi	45
5.2.10 Tek eksenli basınç direnci deneyi.....	47
5.2.11 Küçük boyutlu kazı seti ile karot kesme deneyleri.....	48
BÖLÜM VI. ARAŞTIRMA ve BULGULAR	49
6.1 Numune Hazırlama	49
6.2 Kayaçların Temel Fiziksel Özellikleri.....	50
6.2.1 Yoğunluk.....	50
6.2.2 Porozite ve boşluk oran	51
6.3 Kayaçların Mekanik Özellikleri	52
6.3.1 Brazilian (dolaylı-indirekt) çekme deneyi	52
6.3.2 Nokta yük indeksi deneyi	53
6.3.3 Schmidt sertlik çekici deneyi	54
6.3.4 Tek eksenli basınç deneyi.....	54
6.3.5 Ultrasonik hız deneyi.....	56
6.3.6 Darbe dayanım katsayısı.....	57
6.3.7 Cerchar aşınma deneyi.....	57
6.3.8 Küçük boyutlu kazı seti ile karot kesme deneyleri.....	58
BÖLÜM VII. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ	64
7.1 Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performans Tahmini	64
7.2 Korelasyon Analizi.....	69

7.2.1 Kısmi korelasyon katsayıları	71
7.2.2 Regresyon analizleri	71
7.2.3 Çok katlı regresyon analizi	73
7.3 SE Değerleri ile Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişiler.....	74
7.3.1 Spesifik enerji - tek eksenli basınç ilişkisi.....	74
7.3.2 Spesifik enerji - Brazilian çekme direnci ilişkisi.....	74
7.3.3 Spesifik enerji - nokta yük indeksi ilişkisi.....	75
7.3.4 Spesifik enerji - P dalga hızı değeri ilişkisi	76
7.3.5 Spesifik enerji - darbe dayanım indeksi ilişkisi.....	76
7.3.6 Spesifik enerji - Cerchar aşınma indeksi ilişkisi.....	77
7.3.7 Spesifik enerji - Schmidt sertlik çekici ilişkisi	77
7.3.8 Spesifik enerji - yoğunluk ilişkisi.....	78
7.3.9 Spesifik enerji - porozite ilişkisi.....	78
7.4 Çoklu Regresyon Analizi Yöntemiyle SE Değerinin Tahmin Edilmesi.....	79
BÖLÜM VIII. TARTIŞMA	81
BÖLÜM IX. SONUÇLAR.....	83
KAYNAKLAR.....	84
EKLER.....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Tam cepheli tünel açma makinelerinin özelliklerinin gelişimi (3.5 metre çapındaki makine için)	5
Çizelge 3.1	Kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler	10
Çizelge 4.1	Orta ağırlıktaki kollu galeri açma makinelerinin laboratuvar spesifik enerji değerine göre seçilmesi	32
Çizelge 4.2	Ağır kollu galeri açma makinelerinin laboratuvar spesifik enerji değerine göre seçilmesi	33
Çizelge 5.1	Cerchar aşınma indeksi değerine göre kayaçların sınıflandırılması	42
Çizelge 6.1	Test edilen kayaçların temel fiziksel özellikleri	51
Çizelge 6.2	Test edilen kayaçların mekanik özellikleri	63
Çizelge 6.3	Kesme deneyinde kullanılan karotların fiziksel özellikleri	59
Çizelge 6.4	Kromit (Andızlı/Pozantı) cevheri için kaydedilen verilerden bir kısmı	60
Çizelge 6.5	Kesme deneylerinden sonra ölçülen değerler	62
Çizelge 7.1	Önerilen performans tahmin yöntemlerine göre elde edilen sonuçlar	68
Çizelge 7.2	Korelasyon katsayısına göre değişkenler arasındaki kuvvet derecesi	70
Çizelge 8.1	2 ve 3 değişkenli eşitliklerin t- ve F-testi sonuçları	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Tünel uzunluğuna göre mekanize kazı ile delme - patlatmanın karşılaştırılması	11
Şekil 3.2	Bir kollu makine ve üniteleri	11
Şekil 4.1	Kazı hızının nokta yük dayanımı ile değişimi	17
Şekil 4.2	Keski sarfiyatının nokta yük dayanımı ile değişimi	17
Şekil 4.3	Kazı hızının koni delici değeri ile değişimi	18
Şekil 4.4	Kazı hızının koni delici değeri ile değişimi	18
Şekil 4.5	İlerleme hızı Schmidt çekici arasında Kielder tüneline kurulan ilişki .	19
Şekil 4.6	Shore Skeleroskobu	20
Şekil 4.7	Voest Alpine kollu makinelerinde kazı hızının Cerchar sertliği ile değişimi	21
Şekil 4.8	Cerchar aşınma indeksi ile kuvars miktarının değişimi	21
Şekil 4.9	Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı ilişkisi	22
Şekil 4.10	Cerchar aşınma indeksi ile disk keski sarfiyatı ilişkisi	22
Şekil 4.11	Aşınma miktarı (G) ile aşınma indeksi (F) arasındaki ilişki	23
Şekil 4.12	Kollu galeri açma makinelerinde Schimazek aşınma indeksi, basınç dayanımı ve keski sarfiyatı ilişkisi	23
Şekil 4. 13	Yerinde kazılabilirlik deney setleri	24
Şekil 4. 14	Kesme hızı ile spesifik enerji arasındaki ilişki	25
Şekil 4.15	Yerinde spesifik enerji ile laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişki .	25

Şekil 4.16	Delme hızı ile kollu galeri açma makinelerinin ilerleme hızları arasındaki ilişki	26
Şekil 4.17	Kollu galeri açma makinelerinin ilerleme hızlarının spesifik enerji değerleri ile değişimi.....	28
Şekil 4.18	Kesme esnasında bir disk keskiye etki eden kuvvetler	29
Şekil 4.19	Kesme profili sonucu spesifik enerjinin değişimi.....	31
Şekil 4.20	Küçük boyutlu kesme deney setinde karot numunesinin kesilmesi.....	32
Şekil 5. 1	İncelenen kromit, demir, kurşun-çinko numunelerinin alındığı bölgelerin yer bulduru haritası	37
Şekil 5.2	Brazilian deneyinde kullanılan yükleme çenelerinin görünümü	40
Şekil 5.3	Nokta yük dayanımı için kullanılacak örnek çeşitleri.....	44
Şekil 5.4	Ultrasonik test cihazının basit görünümü	45
Şekil 6.1	Kromit (Andızlı/Pozantı) cevherine ait kesme deneyinden sonra oluşan kuvvetlerin dağılımını gösterir grafik	61
Şekil 7.1	Değişkenler arasındaki ilişkilere göre ‘r’ değerinin değişimi.....	70
Şekil 7.2	Değişkenler arasındaki ilişkilerin değişimi.....	72
Şekil 7.3	Spesifik enerji - tek eksenli basınç direnci ilişkisi.....	74
Şekil 7.4	Spesifik enerji - Brazilian çekme direnci arasındaki ilişki	75
Şekil 7.5	Spesifik enerji - nokta yük indeksi arasındaki ilişki	75
Şekil 7.6	Spesifik enerji ile P dalga hızı değeri arasındaki ilişki	76
Şekil 7.7	Spesifik enerji ile darbe dayanım indeksi arasındaki ilişki.....	76
Şekil 7.8	Spesifik enerji ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki	77

Şekil 7.9	Spesifik enerji ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki	77
Şekil 7.10	Spesifik enerji ile yoğunluk arasındaki ilişki.....	78
Şekil 7.11	Spesifik enerji ile porozite arasındaki ilişki.....	78

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1	Tam cepheli tünel açma makinesi	6
Fotoğraf 2.2	Kollu galeri açma makineleri	7
Fotoğraf 6.1	Laboratuarda kullanılan karot alma makinesi	49
Fotoğraf 6.2	Laboratuarda kullanılan karot kesme makineleri	50
Fotoğraf 6.3	Numunelerin kurutulduğu etüv	51
Fotoğraf 6.4(a)	Brazilian çekme dayanımı deneyinin yapılışı	52
Fotoğraf 6.4(b)	Brazilian çekme dayanımı deneyi sırasında kırılan numuneler	52
Fotoğraf 6.5(a)	Nokta yük dayanımının yapıldığı alet	53
Fotoğraf 6.5(b)	Nokta yük dayanımı sırasında kullanılan numuneler	53
Fotoğraf 6.6	Deneylerde kullanılan N tipi Schmidt çekici	54
Fotoğraf 6.7	Tek eksenli basınç direnci deneyinin yapıldığı pres	55
Fotoğraf 6.7	Tek eksenli basınç deneyinde kırılan numuneler	55
Fotoğraf 6.8(a)	Ultrasonik deney aleti	56
Fotoğraf 6.8(b)	Ultrasonik hız deneyinde kullanılan karotlar	56
Fotoğraf 6.9	Darbe dayanım testi deney aleti	57
Fotoğraf 6.10	Cerchar aşınma deneyi aleti ve deneyin yapılışı	58
Fotoğraf 6.11	Küçük boyutlu kesme deneylerinde kullanılan karotlar	59
Fotoğraf 6.12	Küçük boyutlu kesme deneyi düzeneği	59

BÖLÜM I

GİRİŞ

Kayaçların farklı amaçlar için kazılması insanlık tarihi boyunca var olan bir durumdur. İnsanoğlu tarihi boyunca farklı ihtiyaçlarını karşılamak için kazı işlemleri yapmıştır. Kazı işlemleri önceleri sadece insan gücüyle gerçekleştirilmiş daha sonraları insanoğlunun artan ihtiyaçlarıyla beraber daha hızlı ve daha fazla miktarda kazı yapabilmek için mekanize kazı önem kazanmıştır.

Mekanize kazı, kayacı kazı makineleri ile çeşitli keskiner yardımcıyla mekanik olarak kesip parçalama esasına dayanan bir kazı yöntemidir. Mevcut mekanize kazı araçlarında kullanılan ileri teknoloji sayesinde mekanik kazıcılar çok aşındırıcı formasyonlar dışında hemen hemen tüm formasyonlarda kazı yapabilecek modellere sahiptir ve bu modellerin geliştirilmesi konusunda özellikle son 40 yılda önemli ilerlemeler sağlanmıştır.

Mekanize kazının gelişmesi son yıllarda hızlanmışsa da, mekanize kazıdan önce yaygın olarak kullanılan yöntem klasik delme - patlatma yöntemi olmuştur. Bu yöntem günümüzde de hala yaygın olarak kullanılmakta olup mekanize kazı ile aralarında farklılıklar vardır. Bu farklılıklar da kazı yönteminin seçilmesinde etkili olmaktadır. Delme-patlatma yöntemi ile mekanize kazı sistemleri arasındaki farka bakıldığında, delme - patlatma yönteminin ilk yatırım maliyeti daha düşüktür; ama bu tek başına yöntem seçimini belirlememektedir. Mekanize kazı yönteminde ise birim maliyet tünel uzunluğu arttıkça azalmakta ve klasik yöntemde 2000 metre dolaylarında yaklaşmaktadır [1]. Ayrıca, patlayıcı madde kullanılmadığı için mekanize kazı sistemleri daha güvenilir, daha az işçi gerektiren dolayısıyla daha az işçi maliyeti ve daha düşük kaza oranının olduğu bir yöntem niteliğindedir [2]. Patlayıcı madde kullanılmaması aşırı sökümleri engellemekte, bu da tahkimat ve havalandırma maliyetlerini azaltmaktadır. Fakat delme-patlatma yöntemi her türlü eğimde, boyutta ve virajda uygulanabilen daha esnek bir yöntemdir bu da bu yöntem için bir avantajdır.

Fakat günümüzde her yıl madencilik ve inşaat amaçlı yüzlerce kilometre galeri/tünel açılmaktadır. Son yıllarda şehirleşmenin hızla artmasıyla birlikte ulaşım ve alt yapı

amaçlı tünellere ihtiyaç artmıştır. Bu tünellerin hızlı ve güvenli bir şekilde açılması gerekmektedir. Madencilikte ise çevre ile ilgili kısıtlamalardan ve yeryüzüne yakın maden kaynaklarının azalmasından dolayı yer altı üretim yöntemlerine doğru bir yönelim söz konusudur. Yeraltı maden işletmeciliğinde üretime erken başlamak için galeri açma işleminin hızlı olması istenmektedir. Bu nedenle kazı işleminde mekanize yöntemler daha fazla tercih edilir duruma gelmiştir.

Ancak, mekanize kazının yayılmasını sınırlayan önemli sorunlar vardır. Bunların arasında ilk yatırımın yüksek olması, sert kayalarda istenilen kazı hızına ulaşamaması, çok aşındırıcı kayalarda keski giderlerinin kazı harcamaları içinde büyük bir yer tutması sayılabilir. Eğer sistem, kazılacak formasyona göre seçilmez ya da dizayn edilmez ise kazı ekonomik olmaktan uzaklaşır. Bu nedenle kullanılacak makineyi seçmeden önce kayaların kazılabilirliğine etki eden etkenlerin araştırılması büyük önem taşır.

Kayaçların kazılabilirliklerinin araştırılması amacıyla da, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneğinin (ISRM), tünel açma makinelerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kriterler, aşağıda verilen kayaç özellikleri olarak tarif edilmiştir [3].

- 1 – Kayaçların dayanım özellikleri (Basınç, Çekme, Kesme dayanımı)
- 2 – Kayaçların aşındırıcılık özellikleri (Cerchar, Schimazek aşındırıcılık testleri)
- 3 – Kırılgenlik ve dayanım özellikleri (Koni delici, Darbe dayanımı, Uç batırma, Shore Scleroscope)
- 4 – Yerinde yapılan kazılabilirlik deneyleri
- 5 – Laboratuar kesme deneyleri

ISRM tarafından önerilen yukarıdaki kriterlerden a, b ve c maddelerinde belirtilen kayaç özellikleri ile makine performansının tahmini için birçok model geliştirilmiştir. Fakat kayaç kazılabilirliğinin en gerçekçi tahmini laboratuar kesme deneyleri ile yapılabilmektedir.

Özellikle madencilik alanında, mekanize kazının mümkün olmadığı bir işletme de mekanize kazı yöntemini seçmek veya mekanize kazı için doğru olmayan bir kazıcı

seçimi büyük mali sorunlar doğurmakla beraber, yüklenici firma ve işveren arasında hukuki sorunların yaşanmasına da sebep olmaktadır.

Yapılan bu araştırmanın kapsamında da, yukarıda ISRM tarafından önerilen kriterler doğrultusunda, Niğde ve çevresindeki metalik maden üretimi yapan çeşitli firmalara ait işletmelerden numuneler alınıp, ilgili numuneler üzerinde deneyler yapılarak, ilgili cevherlerin kazılabilmesinde, mekanize kazı yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

BÖLÜM II

MEKANİZE KAZININ GELİŞİMİ VE KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİ

2.1. Mekanize Kazının Gelişimi

Mekanize kazının, 1818’ de Brunel’ in Thames nehrinin altından tünel açabilmek için geliştirdiği kalkana aldığı patent ile başladığı kabul edilebilir. Geliştirilen kalkanın ana amacı aynada ve gerisinde kalkan boyunca stabilitenin sağlanabilmesiydi. Kazı işlemini ise madenciler yapmaktaydı [4].

Kömürün diğer formasyonlara göre daha zayıf bir dayanıma sahip olması, aşındırıcı da olmamasından dolayı dökme demir kesici uç basınçlı hava ile birlikte 1850 yıllarında İskoçya’daki kömür ocaklarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihten sonra kömür kesme makinelerinin gelişmesi ve uygulanması hızla artmış ve 1900 den sonra elektrik enerjisinin yeraltına girişi ile de bu gelişim hız kazanmıştır [5].

Diskli ve zincirli potkabaç makinelerinin devreye girmesi ise İngiltere de 1800 yılındaki yıllık 10 milyon tonluk kömür üretim hızını 1865 yılında 100 milyon tona çıkarmıştır.

U.S.A’ da 1910 ile 1920 yılları arasında, malzeme alanındaki gelişmeler özellikle yeni darbeli delicilerin ve kömür kazı makinelerinin yapılmasına neden olmuş ve bugünkü modern kazı makinelerinin tasarım temelleri atılmıştır.

İnşaat sektöründe ise, kaya ortamında tünel açmak için geliştirilen ilk makine. 1881’de İngiltere Folkstone’ da kullanılmıştır. Bu makine dönen 2 kolu ve bu kollar üzerine monte edilmiş tırnakları ile kayayı kazmaya çalışmıştır [4].

1884 senesinde Albay Beaumont’ un Manş denizinin Fransız tarafında 2.14 metre çapında tam kazı cephele bir makineyle pilot tünel açması, yine inşaat sektöründe varsayılan ilk modern gelişmedir [6].

Serbest dönen keskiner ise J. S. Robbins’ in çalışmalarına dayanarak ilk 1955 de Goodman Manufacturing Company tarafından imal edilmiş ve bu keskinerle donatılan 3 adet tünel açma makinesi U. S. A.’ deki Oahe baraj tüneline başarı ile kullanılmıştır [7].

Alman kömür sabanlarının ilk olarak 1948 de İngiltere' ye girişi ve Anderson kesici yükleyicilerinin 1948 de imali ile kazı mekaniğinde gelişim yeni bir aşamaya girmiş ve karşılaşılan büyük zorluklar İngiliz kömür idarelerine bağlı bir kazı mekaniği gurubunun kurulmasına sebep olmuştur. Bu gurup çalışmalarını bugüne kadar devam ettirmiş ve kazı mekaniği biliminin gelişmesine büyük katkı sağlanmıştır.

Ülkemizde mekanik kesme yapan kazı makinelerinin kullanımı ise ilk olarak 1970'li yıllarda GAP çerçevesindeki Urfa sulama tünellerinin açımı sırasında kullanılmış ve bugüne değin başta kömür madenciliği olmak üzere çeşitli sektörlerle uzanan yayılım göstermiştir [8].

1950'lerden günümüze kaya ortamında tünel açan makinelerin dizaynında ve kazı prensibinde temel bir değişiklik olmamıştır. Makine imalatında kullanılan malzeme kalitesi arttıkça makinelerin, disk keski çapı, keski yatak mukavemeti, aynaya itme kuvveti, kesici kafa devri ve kesici kafa tork değerinde artış olmuştur. Çizelge 2.1. de tam cepheli tünel açma makinelerinin özelliklerinin gelişimi verilmiştir.

Çizelge 2.1 Tam cepheli tünel açma makinelerinin özelliklerinin gelişimi (3.5 metre çapındaki makine için) [9]

Yıl	Keski Çapı (mm)	Keskiler Arası Mesafe (mm)	Keski Başına Düşen Baskı Kuvveti (kN / Keski)	Kesici Kafa Gücü (kW)
1956	280	68	55	250
1970	305	65	100	300
1980	394	67	190	600
1990	483	70	250	1350
2000	483	70	260	1350

Günümüzde kaya ortamında basınç dayanımı yaklaşık 250 MPa olan formasyonlarda çalışabilen ve 14 metre çapa kadar tünel açabilen tam cepheli tünel açma makineleri mevcuttur. Fotoğraf 2.1' de bir tam cephe tünel açma makinesi (TBM) görülmektedir.



Fotoğraf 2.1 Tam cepheli tünel açma makinesi

2.2 Kollu Galeri Açma Makineleri

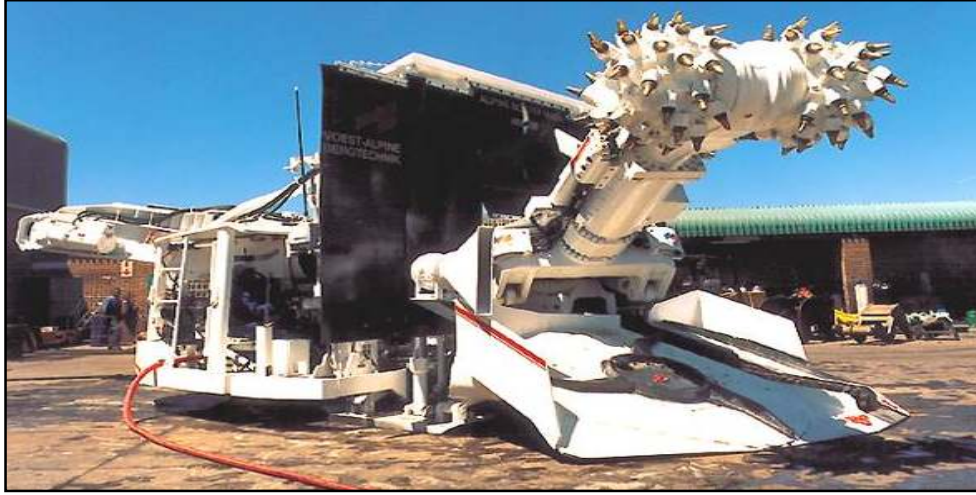
Kısmi cephe kazı makineleri olarak da adlandırılan kollu galeri açma makineleri özellikle madencilik ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makineler, kullanışlı ve ekonomik olmaları nedeniyle orta ve yumuşak sertlikteki kayaç malzemelerinin kazısında başarıyla kullanılmaktadır.

Bu makineler günümüzde artan ihtiyaçlarla beraber özellikle madencilikte hazırlık galerinin sürülmesinde, inşaat sektöründe ise demiryolu ve karayolu tünelleri ile metro tünellerinin açılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanımla beraber bu makinelerin gelişimi de hızlı bir şekilde devam etmektedir.

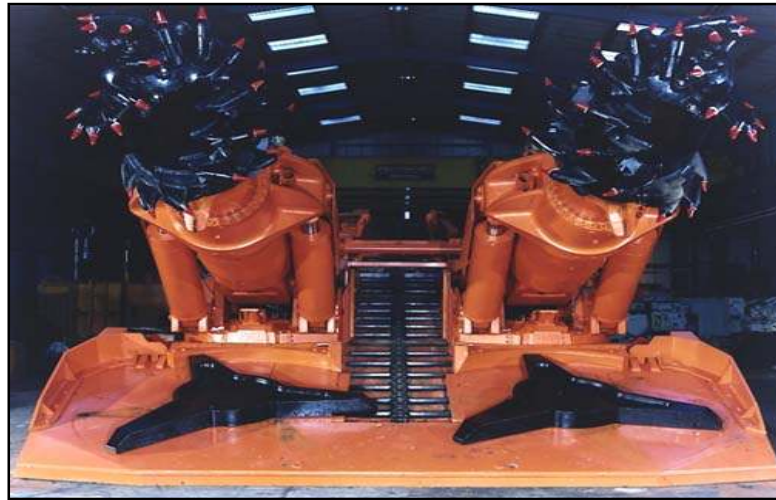
Kollu tünel açma makineleri genellikle paletli olup bir kol üzerinde dönen küçük bir kafaya yerleştirilmiş kesiciler yardımıyla kayayı kazar. Basınç mukavemeti 100 MPa' a kadar olan orta sert kayalarda kullanılmak üzere pek çok çeşitleri vardır. Makineler büyüklüklerine göre 10–80 ton ağırlık, 40–250 beygir gücünde ve 3–12 ton baskı gücüne sahiptir. Bu makinelerin kesici kafaları değiştirilmek suretiyle değişik zemin şartlarına uydurulabilmektedir. Fotoğraf 2.2' de kısmi cepheli kazı yapan kollu galeri açma makineleri görülmektedir.



Dönme eksenine aynaya dik kesici kafalı kollu galeri açma makinesi [10]



Dönme eksenine aynaya paralel kesici kafalı kollu galeri açma makinesi [11]



Çift kollu tüneller açma makinesi [11]

Fotoğraf 2.2 Kollu galeri açma makineleri

Kollu tünel açma makineleri kullanılırken yeterli bir ilerleme hızı için pasa yükleme ve taşıma sistemi, tozları yatıştırmak için su püskürtme sistemi ve havalandırma sisteminin işe uygun olması yanında, gerekli su ve enerjinin kesintisiz sağlanması da önemlidir. Bu makinelerde verimlilik tünel çapına, tahkimat sıklığına, kaya mukavemetine ve kayanın diğerk özelliklerine bağlıdır. Makinelerin kayayı kesebilme dereceleri, kayanın basınç mukavemeti arasındaki ilişkiye, minerallerin dizilişine, özellikle kuvars gibi aşındırıcı tanelerin yüzdesine, tane boyutuna, tabakalanma ve eklemlenmeye bağlıdır.

Bu makinelerin kullanılmasında, makine ile ayna arasının temizlenmiş olması gereklidir. Ancak bu şekilde kesici kafa ve kazı malzemesini kaldıran sistem çalışabilir. İksa gerekiyorsa aynanın 2 m gerisinden takip edecek şekilde yapılması gerekir. Bu şekilde tahkimat makineyi kullananın önündedir. Böyle bir zorunluluk, makine üzerinde çalışan işçiyi tavan ve yanlardan düşecek taşlardan korumak içindir. İlerleme hızı, delme - patlatma yöntemine göre fazla, TBM' e göre ise oldukça düşüktür. TBM' e kıyasla yarı makineleşmiş bir tünel açma yöntemi olup iş gücüne oldukça fazla ihtiyaç gösterir.

Kollu galeri açma makineleri ile tünel amanın avantajları ise şu şekilde sıralanabilir;

- Delme-Patlatma yöntemine göre daha az işçiyeye ihtiyaç gösterdiğinden kaza oranı da aynı oranda azalmıştır.
- İlerleme süresince yardımcı işlemler gerektirmediğinden boşta geçen zaman azdır.
- Nispeten düzgün bir yüzey elde edilir.
- Tüneli çevreleyen kayada gevşeme olmadığından daha az tahkimat gerekir.
- Böylece gereken tahkimat daha az olur.
- TBM kadar dar bir jeolojik sınır içinde çalışmaz. Daha kötü kaya şartlarına uyum sağlayabilir. Çünkü aynaya yaklaşmak her zaman kolay olduğundan gerektiğinde tahkimat yapmak mümkündür.
- TBM' den daha düşük bir enerjiye ihtiyaç gösterir.
- Makine ve gerekli malzeme pahalı olmasına rağmen yine de TBM' in maliyetinden birkaç defa aşağıdadır.

BÖLÜM III

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mekanize kazının hızlı bir şekilde yayılıp gelişmesindeki en büyük faktör, dünyanın her geçen gün artan nüfusu, buna paralel olarak insanların ihtiyaç ve sorunlarının da artması olarak gösterilebilir. Çünkü galeri ve tünel açmada yaşanan en son teknolojik gelişmeler sayesinde hem madencilik alanında hem de inşaat mühendisliği alanında çalışma hızı ve ekonomiklik dolayısıyla da verimlilik mekanize kazı uygulanarak artmakta ve ihtiyaçlara cevap verilmeye çalışılmaktadır.

Mekanize kazının öneminin farkına varıldığından, bu kazı yönteminin geliştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Ancak, metalik cevherlerin makine ile kazısı zor olduğu için kazılabilirlik çalışmaları kayaç ve kömür kazısı üzerinde yoğunlaşmıştır. Yine de, literatürde az da olsa bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Kazılabilirlik konusunun geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar farklı alanlardadır. Çalışma alanlarının farklılık göstermesi makine performansının bağlı olduğu parametrelerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Çizelge 3.1' de kazı makinelerinin performansını etkileyen bu parametreler verilmiştir [12].

Önceki çalışmalar incelenirken de Çizelge 3.1' deki sınıflandırmalar göz önüne alınarak bir derleme yapılmıştır.

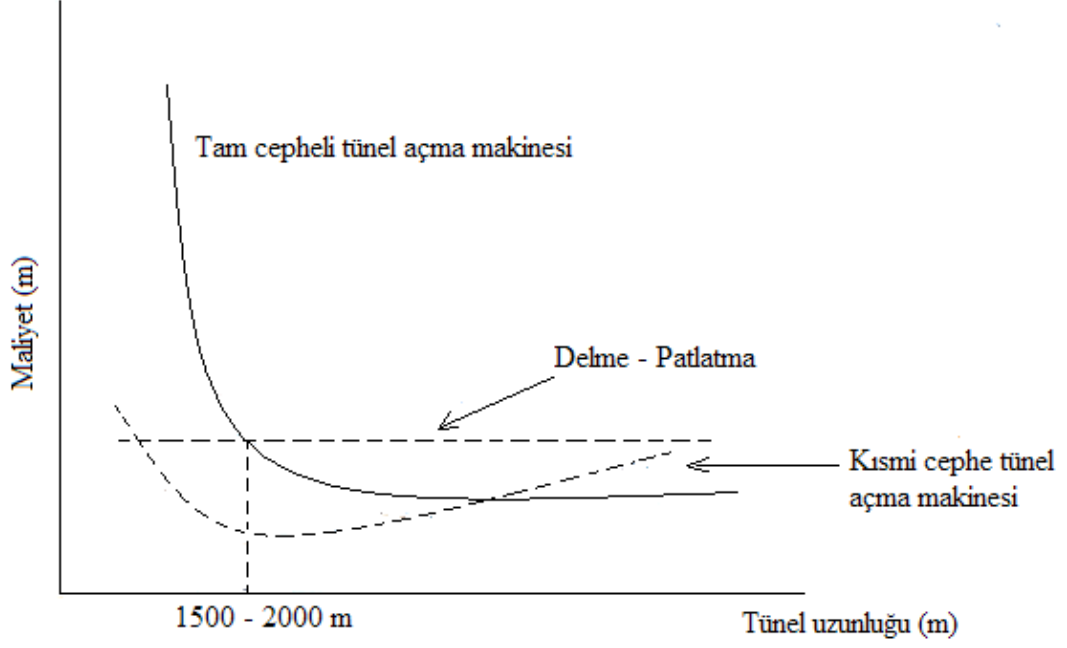
Ayrıca, kazı işlemleri genel olarak klasik kazı (delme-patlatma) ve mekanize kazı olmak üzere ikiye ayrıldığından bu iki yöntem arasındaki farklar üzerine de yapılan çalışmalar olmuştur. Örneğin, 1994 yılında Özdemir [13] tarafından yapılan bir araştırma, delme-patlatma ile kazıda çok iri parça açığa çıktığından, yöntemin diğerlerine nazaran daha verimli olduğunu fakat ilerleme hızının sınırlı oluşu, titreşimlerin açığa çıkması, aşırı sökülüm yaparak tahkimat ve emniyet problemleri çıkarması bu yöntemin uygulanışını sınırladığını ortaya koymuştur [13].

Bu esaslar göz önünde bulundurularak incelenen ve bu çalışmanın yapılmasında faydalanılan araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 3. 1 Kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler [14]

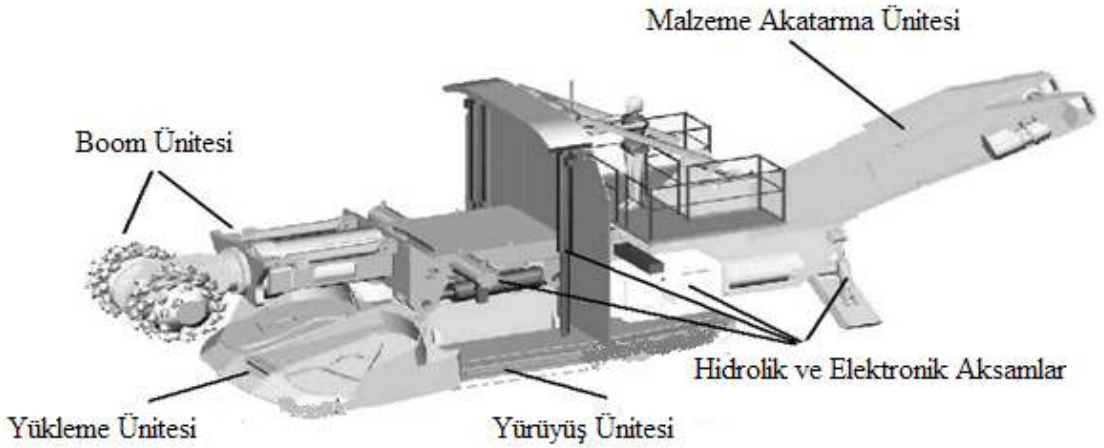
Makine Özelliklerine Bağlı Parametreler	
Makine Özellikleri	Makinenin tipi
	Makinenin ağırlığı ve boyutları
	Pasa toplama ve taşıma hacmi
	Makinenin yaşı
	Makinenin kurulu toplam gücü
Kesici Kafa Özellikleri	Kesici kafanın tipi ve boyutu
	Kesici kafanın gücü
	Keskilerin dağılımı ve sayısı
	Keski tipi ve özellikleri
Jeolojik Parametreler	
Kaya Kütlesi Özellikleri	Kaya kalite değeri (RQD)
	Kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR)
	Jeolojik süreksizlikler
	Hidrojeolojik durum
Kayacın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	Kaya kesme parametreleri (Spesifik enerji, Kesme kuvvetleri)
	Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, Kohezyon, elastik değeri)
	Yüzey sertliği (Shore ve Schmidt çekici değeri)
	Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, Mikro çatlaklar, tane boyutu)
	Aşındırıcılığı (Cerchar değeri)
	Sismik özellikler (P ve S dalgası)
	Diğer özellikler (Yoğunluk, nem oranı)

1991 yılında Pakes [15] yaptığı çalışma sonucu, Şekil - 3. 1 de verilen grafiği elde etmiştir. Bu grafiğe göre, tüm işletme maliyetleri göz önüne alındığında, açılan tünel uzunluğu arttıkça mekanik kazıcıların daha verimli kazı yaptıkları, bu yüzden uzun ve sürekli tünel ya da galeri kazısında tercih edilir oldukları sonucuna varmıştır.



Şekil 3.1 Tünel uzunluğuna göre mekanize kazı ile delme - patlatmanın karşılaştırılması [15]

Şekil - 3. 2’de üniteleri gösterilen kollu makinelerin hareket kabiliyetlerinin yüksekliği ve birçok cevher üretim yöntemiyle bir arada çalışabilme özelliği, üretim aşamasında kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Makine ile cevher kazısı yapılan birkaç uygulamada da oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir [16].



Şekil 3.2 Bir kollu makine ve üniteleri

Magma Copper Firması Sam Manuel maden ocağını genişletmek için 4.5 m çaplı bir Atlas Copco/Robins TBM'i kullanmıştır. Fakat açılması düşünülen galeri güzergahında 106.7 m yarıçapında çok uzun kurbalar olduğundan ve bazı yerlerde var olan % 5.5

meyilden dolayı TBM yüksek performansla çalışamadığından kazı maliyeti, klasik delme - patlatma maliyetleriyle hemen hemen aynı olacaktı. Bu sorunu gidermek için çalışma şartlarına uygun yeni bir makine tasarlanmış ve daha hızlı ve daha ekonomik bir üretim sağlanmıştır [17].

Stillwater maden şirketinde Chevron Resources firması gabro, norit ve anorthosit içinde 30500 m uzunluğunda galeri açmıştır. Kayaçların basınç dayanımı 86.5 MPa ile 165.3 MPa arasında değişmektedir. Kazılar, cevher içinde yapılmaktadır. Maalesef cevher yatağının şekli TBM için 244 m'den daha az bir dönme yarıçapına izni vermemektedir ki bu da birçok problem doğurmaktadır. Fakat, Tilley'in raporuna göre % 10-12 dolaylarında bir tavan civatası uygulaması ile, delme patlama ile karşılaştırıldığında dolaysız masraflarda (direct cost) üçte bir nispetinde bir tasarruf elde edilmiştir. Fakat asıl büyük kazanç, bir an önce üretime geçişe imkân veren hazırlık işlerinin tamamlanmasındaki süre kısalığıdır. TBM 'nin bu maden ocağında kullanılışı başarılı olarak nitelendirilmektedir [18].

Çopur ve Eskikaya [19] tarafından ELİ Eynez marnı üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, marnın fiziksel ve mekanik özellikleri mekanize kazı bakımından incelenmiş olup, kazılabilirlik ve galeri kesit büyüklüğü birlikte dikkate alındığında, ağırlığı 50 ton civarında olan spiral veya tambur tipi kesici kafalı kollu makinelerin kazı işleminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Petrol - Madencilik grubundan Petro Tech Resources firması, petrol yatağı altındaki kayalar içindeki tünelleri açmak için TBM kullanmaya karar vermiştir. Bu tünellerden rezervuara drenaj delikleri delinecektir. Gerek tünel boyutları ve ocak planı, gerekse kayaç tipi hakkında hiçbir bilgi verilmemekle birlikte, uygulama çok ilginç olup petrol çıkarmada bugüne kadar olanlardan çok daha değişik yeni bir yöntemin varlığı söz konusudur [20].

Yapılan çalışmaların bazılarında da mekanik kazıcıların karşılaştırılması yapılmıştır ve çalışmalarda daha çok BEP (kesici kafa dönme eksenine bom eksenine paralel olan) ve BED tipli (kesici kafa dönme eksenine bom eksenine dik olan) makinelerin kıyaslaması yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde bir BKM marka makinenin paletleri ile zemin arasındaki sürtünme momentinin makinenin özellikle yatay yönde uygulayacağı kuvveti sınırlandırıcı bir faktör olduğu ve bu moment değerinin boyutları belirli bir makinede,

makinenin ağırlığı ile orantılı olduğu; ancak ağırlık artırıldığı takdirde kesme kuvvetlerin artırılacağı belirtilmiştir [21].

Bu konuyla ilgili yapılan bir diğer çalışmada Garret [22], tarafından yapılmıştır. Garret yaptığı çalışmada ‘Billie Mine’ isminde bir borat madeninde kollu galeri açma makinelerinin, işletmede önceden yapılan klasik kesme - yükleme yöntemine oranla daha verimli olduğunu belirlemiştir.

Uluslararası alanda kabul görmüş bir performans tahmin yöntemi Trondheim Üniversitesi ve Norveç Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde kazılacak kayaca kırılma testi, minyatür delme testi ve aşındırıcılık testleri uygulanır ve arazide çatlak sistemleri gözlemlenir. Keski aşınmasının tahmininde aşındırıcı mineral yüzdeleri de göz önünde bulundurulur. Elde edilen indeks değerler, tünel özellikleri ve makine spesifikasyonları çeşitli abaklar üzerinde kullanılarak itme kuvveti net ilerleme hızı, keski sarfiyatı, makineden faydalanma oranı ve maliyetler tahmin edilebilir [23].

Geçmişte yapılan bazı çalışmalar, kazılan kayacın kırılma dayanımı ile çekme dayanımının çarpımı ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur [24].

Tarkoy [25], Schmidt çekici değeri ile kayaç aşındırıcılığına bağlı olarak net kazı hızının tahmini için bir model geliştirmiştir. Bu modelin en büyük dezavantajı tam cepheli tünel açma makinelerinde performansı üzerinde çok büyük etkisi olan kaya kütlesi özelliklerini ve kazıcı makine özelliklerini dikkate almaması olmuştur.

Graham [26], geliştirdiği modelde net kazı hızını keski başına düşen baskı (normal) kuvvet, kesici kafa deviri, formasyondan alınan kayaç numunesinin laboratuvar basınç dayanımına göre formüle etmiştir.

Roxborough ve Phillips [27], kazı hızının tahmini için tünel çapı, keski başına düşen baskı (normal) kuvveti, kayaç basınç dayanımı ve keski uç açısını dikkate alarak bir model geliştirmiştir. Bu model Grahamın geliştirdiği modele benzemektedir fakat keski uç açısı dâhil edilmiştir.

Rostami ve diğ. [28], mekanize sert kayaç kazısı için aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$CR = k \frac{P}{SE_{opt}} \quad (3.1)$$

Burada; CR: Kazı hızı (m³/h)
k: Toplam sistem verimi
P: Roadheader gücü (kW)
SE_{opt}: Spesifik enerji (kWh/ m³)' dir.

Bilgin ve diğ. [29], roadheader ve hidrolik kırıcılar için bazı formüller geliştirmiştir. Roadheader ve hidrolik kırıcıların performans tahmininde kullanılan Kaya Kütle Kazılabilirlik İndeksi (RMCI) aşağıda verilmiştir.

$$RMCI = UCS \times (RQD / 100)^{2/3} \quad (3.2)$$

Burada;
UCS: Tek eksenli basınç direnci (MPa)
RQD: Kaya kalite katsayısıdır (%)' dir.

RMCI' yi kullanarak roadheader' ın performansı aşağıdaki bağıntıdan tahmin edilebilir:

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

Burada;
ICR: Kazı hızı (m³/h)
P: Makine gücü (kW)' dür.

RMCI' yi kullanarak bir hidrolik kırıcının performansı ise aşağıdaki eşitlikten tahmin edilebilir:

$$IBR = 4.26xPx(RMCI)^{0.57} \quad (3.4)$$

Gehring [30], yaptığı çalışmada kazı hızını eksenel ve enlemesine kazılar için aşağıdaki formülleri önermiştir;

$$ICR = 719 / UCS^{0.78} \quad (\text{Arına dik}) \quad (3.5)$$

$$ICR = 1739 / UCS^{1.13} \quad (\text{Arına paralel}) \quad (3.6)$$

Burada;

ICR: Kazı hızı (m³/h)

UCS: Tekeksenli basınç direnci (MPa)

Thuro [31], yaptığı çalışmada kazı hızının tahmini için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$ICR = 75.7 - 14.3 \times \ln(UCS) \quad (3.7)$$

Burada;

ICR: Kazı hızı (m³/h)

UCS: Tekeksenli basınç direnci (MPa)

Rostami [32], ve diğerleri yaptıkları çalışmada önerdikleri aşağıdaki eşitlikle spesifik enerji değeri kullanılarak, kollu galeri açma makinelerinin performanslarının tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

$$V_{ph} = \frac{HP \cdot \eta}{SE} \quad (3.8)$$

$$W_{ph} = V_{ph} \cdot \gamma \quad (3.9)$$

Burada,

V_{ph} : Üretim miktarı (m³ / h)

HP : Kesici kafa gücü (kW veya HP)

η : Toplam system verimliliği (kollu kazıcılar için genelde 0.45 - 0.55 alınır)

SE : Spesifik enerji (kWh/m³)

W_{ph} : Üretim miktarı (ton/h)

γ : Kazılacak malzemenin yoğunluğu (t/m³)

Ayrıca, literatürde bazı bilgisayar destekli yarı-ampirik modeller bulunmaktadır. Bazı makine üreticileri ve araştırma enstitülerinin de kendi bilgisayar destekli modelleri bulunmaktadır [33, 34].

Tunçdemir ve diğ. [35], yeraltı kromit ocaklarında roadheader ve hidrolik kırıcıların kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada, mekanize kazıcıların performansı delme-patlatma üretimi ile karşılaştırılmış ve mekanize kazıcıların delme-patlatma yöntemine göre üç kat daha verimli olduğu görülmüştür.

Tiryaki ve diğ. [36], kumtaşlarının kazılabilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, spesifik enerji değeri ile kumtaşına ait diğer fiziksel ve mekanik özellikleri arasında regresyon analizi yöntemiyle farklı modeller geliştirmiştir.

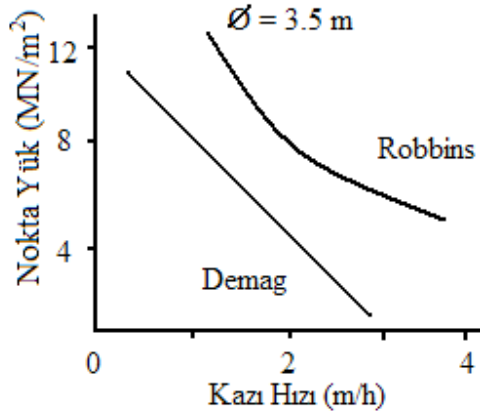
BÖLÜM IV

KAZILABİLİRLİK TAHMİN YÖNTEMLERİ

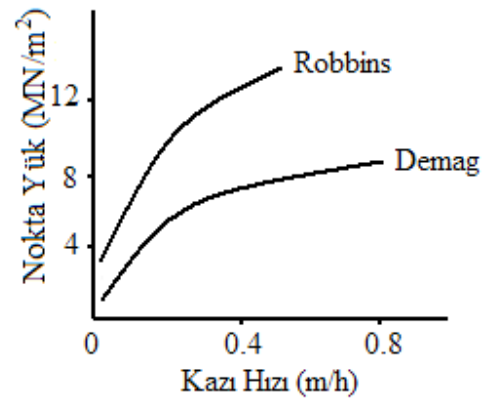
4.1 Dolaylı Deneyler Yardımıyla Kazılabilirlik Tahmini

4.1.1 Nokta yük deneyi

Nokta yük deneyi, kazı hızı ve keski sarfiyatı ile de doğrudan ilgilidir. McFeat Smith ve Tarkoy'un tam cephe tünel açma makineleri ile ilgili bir yayınından alınan Şekil 4.1 ve Şekil 4.2' de bu ilişkiler çok iyi bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Kazı hızının nokta yük dayanımı ile değişimi [36]



Şekil 4.2 Keski sarfiyatının nokta yük dayanımı ile değişimi [36]

4.1.2 N.C.B koni delici

N.C.B. koni delici deneyi, değişik araştırmacılar tarafından, tünel ve galeri açma makinelerinin seçiminde güvenilebilir olarak nitelendirilmektedir.

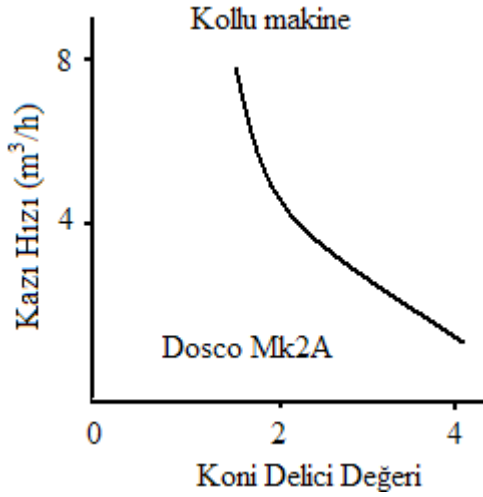
İngiliz kömür işletmelerinde, kömür ve kömür yan kayalar üzerinde yapılan uzun çalışmalar, koni delici değeri ile basınç dayanımı arasında aşağıdaki lineer ilişkinin bulunduğunu göstermiştir.

$$\sigma_c = KDD \times 248 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (4.1)$$

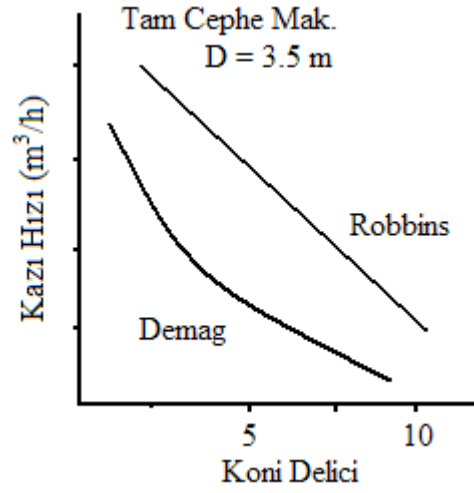
KDD: Koni Delici Değeri

σ_c = Basınç Dayanımı Değeri

Tam cephe tünel açma makineleri ve kollu galeri açma makinelerinin kazı performanslarının koni delici değeri ile nasıl değiştiği Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de verilmiştir.



Şekil 4.3 Kazı hızının koni delici değeri ile değişimi [37]



Şekil 4.4 Kazı hızının koni delici değeri ile değişimi [37]

4.1.3 Darbe dayanımı deneyi

Deney ilk olarak Rus araştırmacı Prodotyakanov tarafından geliştirilmiş, daha sonraları Evans tarafından İngiltere'deki kömür damarlarının sınıflandırılmasında kullanılmıştır.

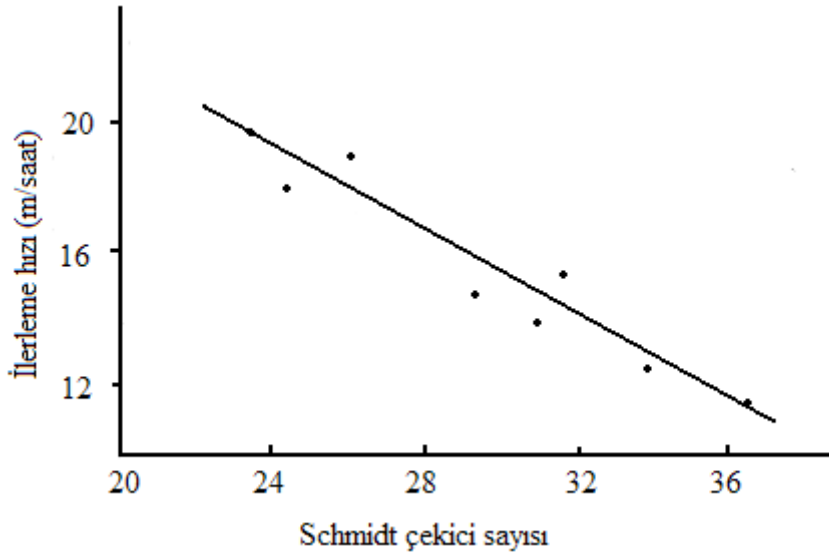
Bazı araştırmacılar değişik boyutlarda deney cihazları kullanarak bu yöntemi kayaçların delinebilirliklerinin tayini için uygulamışlardır. Eğer kayaçlar kendi aralarında sınıflandırılırsa, örneğin volkanik kayaçlar için darbe dayanımı değeri ile basınç dayanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağıntı ortaya çıkmaktadır [38].

4.1.4 Tek eksenli basınç deneyi

Kazılabilirliğin saptanmasında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu deneyde, silindirik numunelerin preste kırılmasından elde edilen kayacın dayanım değeri temel alınarak kazılabilirliği hakkında fikir yürütülür.

4.1.5 Schmidt çekici deneyi

Yerinde yapılan ölçümlerle, jeolojik süreksizliklerin az olduğu formasyonlarda, tam cephe tünel açma makinesi kazı hızının Schmidt çekici sertliğine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir ve bu kazı hızının kestiriminde indeks değer olarak tavsiye edilmiştir. Şekil 4.5' de Kielder tüneline yapılan bir araştırmaya ait grafikte bu ilişkinin nasıl olduğu görülmektedir.



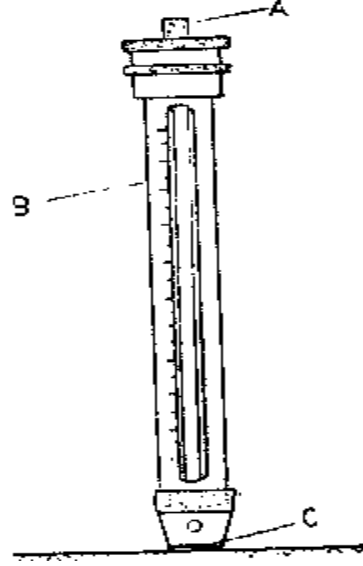
Şekil 4.5 İlerleme hızı schmidt çekici arasında Kielder tüneline kurulan ilişki [39]

4.1.6 Shore skeleroskopi sertliği deneyi

Shore sertliği, Shore Skeleroskobu (Şekil 4.6) ile bulunan bir indeks değeridir. Shore sertliği yüksek olan kayaların kazılabilirliğinin az olduğu, ayrıca belli bir kazı makinesi ile çalışırken yüksek Shore sertliğine sahip zonlardan geçerken ilerleme hızının azaldığı saptanmıştır [40].

4.1.7 Shore skeleroskobu ile plastik sertlik deneyi

Bu test de Shore sertliği testi gibi Shore Skeleroskobu ile yapılır (Şekil 4.6). Bu test kazılabilirliğe etkiyen kırılma özelliğini irdelediği için diğer deneylerin yanında kullanılması gerekir. Burada yüksek plastiklik katsayısı güç kazılabilirliğe eş değer olmaktadır [41].



Şekil 4.6 Shore Skleroskobu

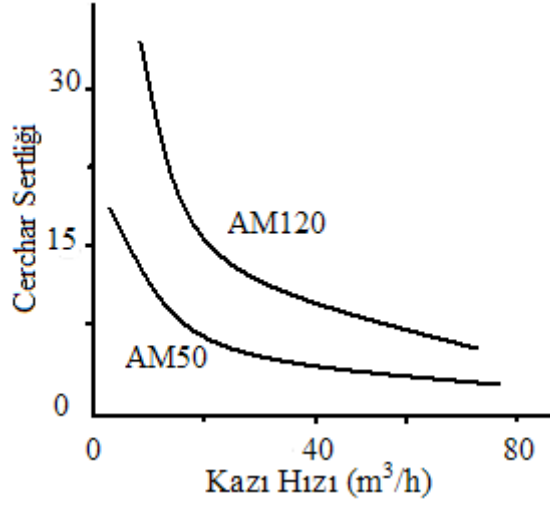
A: Ucu sertleştirilmiş çubuğu kaldırıp düşürmek için el ile tutma kısmı

B: 100 ölümlü kadran

C: Çubuğun sertleştirilmiş ucu

4.1.8 Cerchar sertlik deneyi

Deney, dönüş hızı 190 devir/dakika ' ya ayarlanabilir sütunlu ağır tip bir matkapla 20 kg baskı kuvveti altında 1 cm' lik deliğin delinmesi için gerekli sürenin tespitinden ibarettir. Voest Alpine şirketi yetkilileri ürettikleri AM50 ve AM100 serisindeki kollu galeri açma makinelerinin kazı hızlarının kayaçların Cerchar sertliğine bağlı olarak önceden kestirilebileceğini savunmaktadırlar (Şekil 4.7). Coder ise tam cepheli tünel açma makinelerinin davranışları üzerine yaptığı araştırma da bu sertlik değerinin kayaçlarının kazılabilirliklerinin tayininde çok önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca Cerchar sertlik değeri kömür yan kayaçlarının jeoteknik özellikleri açısından sınıflandırılmasında da kullanılmaktadır.

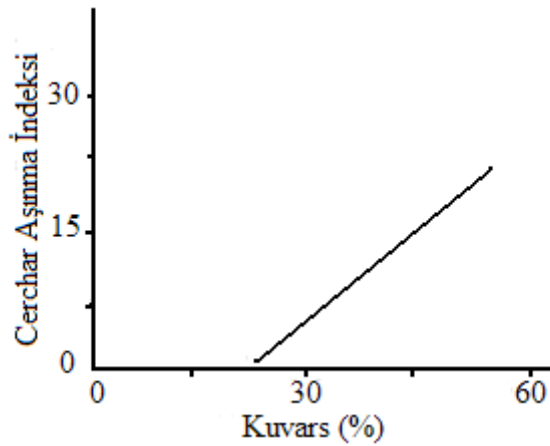


Şekil 4.7 Voest Alpine kollu makinelerinde kazı hızının Cerchar sertliği ile değişimi [42]

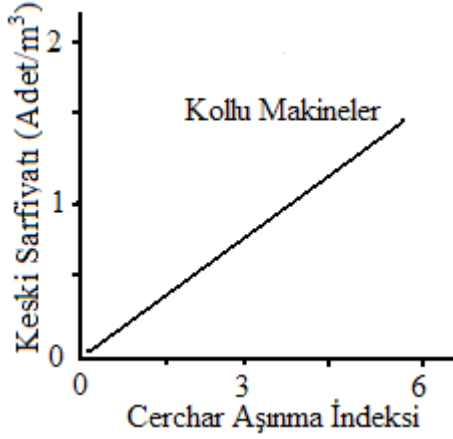
4.1.9 Cerchar aşındırıcılık deneyi

Cerchar aşındırıcılık deneyi kolay yapılabilirliği nedeni ile çok geniş uygulama alanı bulmuştur. Şekil 4.8' de görüldüğü gibi, bu deney yardımı ile kayacın kuvars içeriği kestirilebilir.

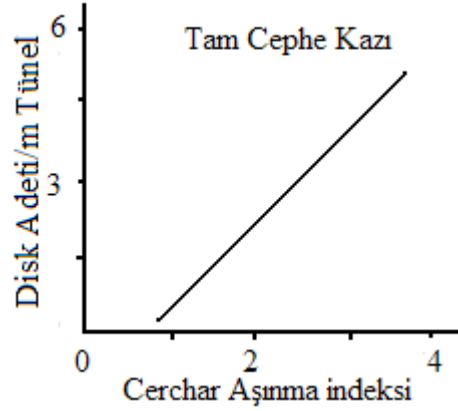
Nizamoğlu ve Fowell [39], yerinde yaptıkları ölçmelerle keski sarfiyatının, formasyonların Cerchar aşındırıcılık indeksleriyle doğrudan ilgili olduğunu göstermiştir (Şekil 4.9, Şekil 4.10).



Şekil 4.8 Cerchar aşındırıcılık indeksi ile kuvars miktarının değişimi



Şekil 4.9 Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı ilişkisi [43]



Şekil 4.10 Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı ilişkisi [43]

4.1.10 Schimazek aşınma indeksi

Alman Maden Araştırma Kurumu'nda (Bergbau - Forschung GmbH) Schimazek ve Knatz [44] tarafından geliştirilen aşınma deneyinde; St 50 çeliğinden imal edilmiş, uçları 90 derece konik ve 3 mm' ye kadar köreltilmiş keski kullanılır. Özel bir makinede numuneler 45 N' luk kesme kuvvetiyle 16 metre Archimed Spirali çizilir. Uçlarda meydana gelen ağırlık farkı, aşınma indeksinin fonksiyonu olarak kabul edilir.

Aşınma indeksi ise, aşağıdaki eşitlikten elde edilir.

$$F_s = Q \cdot d \cdot \sigma_t \quad (4.2)$$

Burada:

Q: Kayacın kuvars içeriği (%).

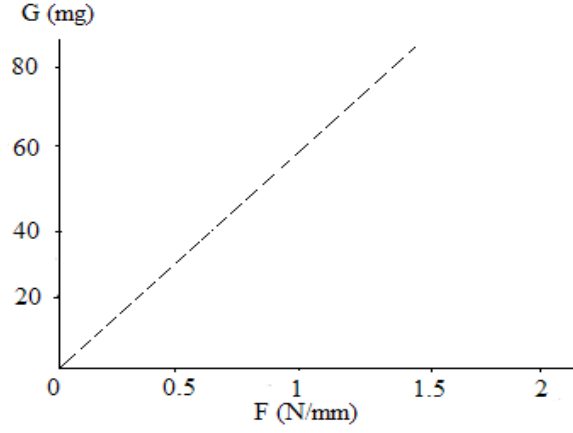
d: Ortalama kuvars tane boyutu (mm).

σ_t : Kayacın çekme dayanımı (N/mm²)

F_s: Aşınma indeksi (N/mm)

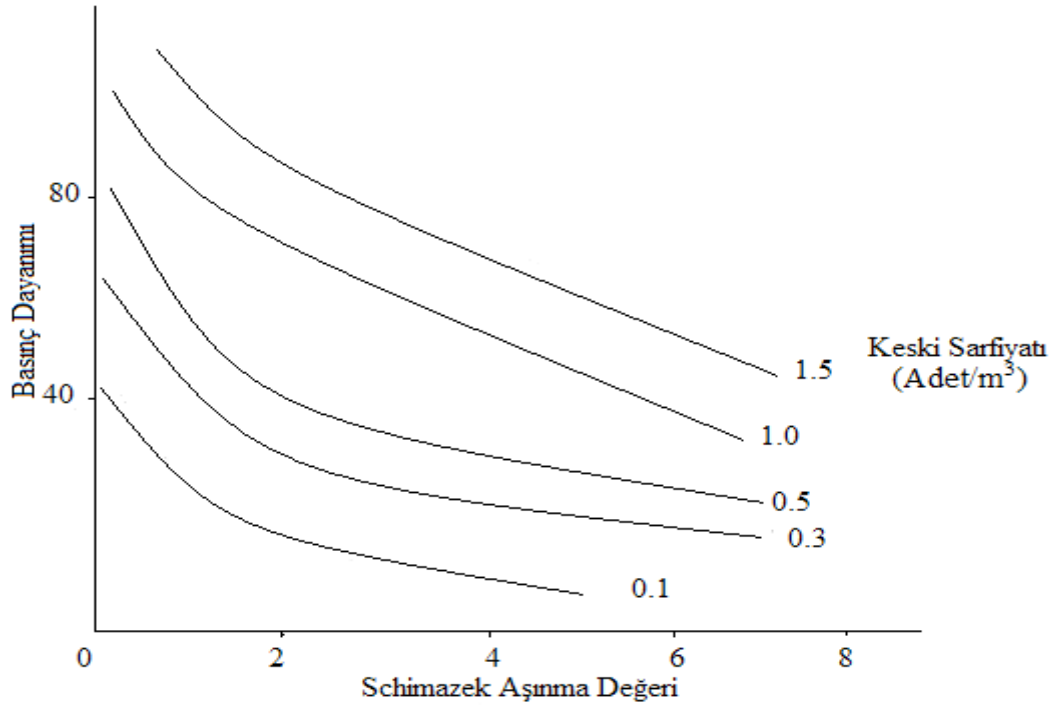
Keski ucunda meydana gelen aşınma miktarı ile aşınma indeksleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu saptanmıştır (Şekil 4.11). Bu nedenle bu indeks, kazılabilirlik tayininde ölçüt olarak kullanılmaktadır. Keski aşınmasını temel alan bu ölçüt, kazı makineleri ile galeri sürmede güvenilir bir kıstas olarak kabul edilmektedir. Almanya' da, aşınma

indeksi 0.5 N/mm' nin altında olan kayaçların kollu galeri açma makineleri ile ekonomik olarak kazıldığı ileri sürülmektedir.



Şekil 4.11 Aşınma miktarı (G) ile aşınma indeksi (F) arasındaki ilişki [44]

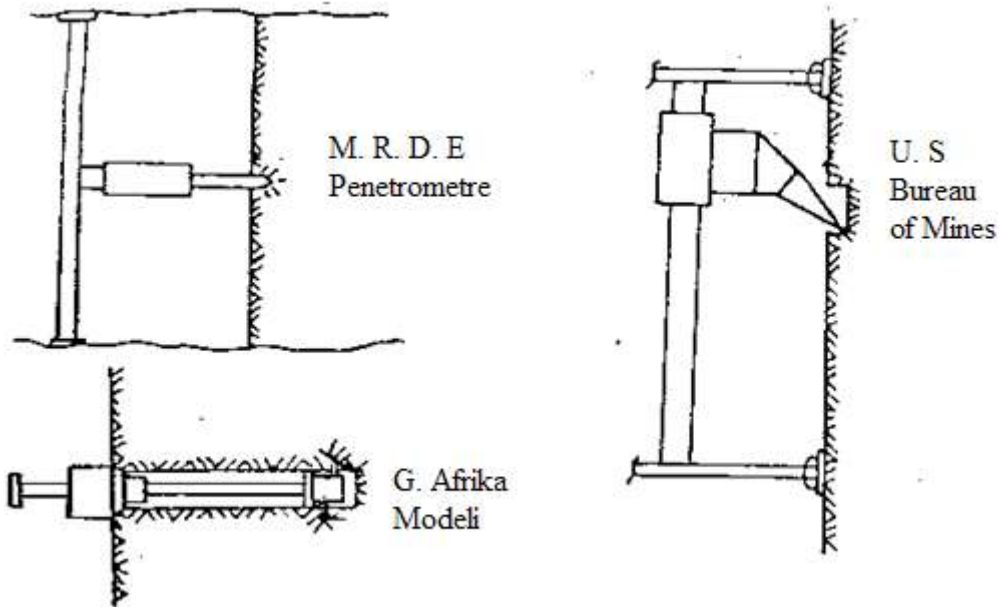
Ayrıca Şekil 4.12' de görüldüğü gibi F_s değeri kayacın basınç dayanımı ile kullanıldığında kollu galeri açma makinelerinin keski sarfiyatı önceden kestirilebilmektedir.



Şekil 4.12 Kollu galeri açma makinelerinde Schimazek aşınma indeksi, basınç dayanımı ve keski sarfiyatı ilişkisi [39]

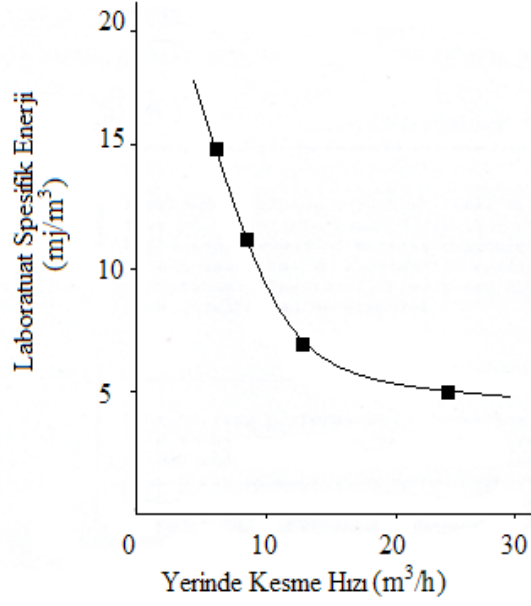
4.2 Arazide (Yerinde) Yapılan Kazılabilirlik Deneyleri

Bir önceki bölümde bahsedilen hemen hemen tüm deneyler laboratuarda kayaç numuneleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bunlar jeolojik süreksizlikleri içermediğinden neticeler hep münakaşa edile gelmiştir. Belirsizlikleri ortadan kaldırmak için de yerinde ölçme yapmağa müsaade eden deney setleri geliştirilmiştir. Arındaki bir delikten veya yarıktan kesici ucun çekilmesi veya bastırılması prensibine dayanan deneyden birkaç Şekil - 4.13' de gösterilmiştir, bunlara Nishimatsu' nun tasarımılandığı karmaşık deney seti de ilave edilebilir. Özel ölçme ekibi gerektirdiklerinden ve neticelerinde bazen zor yorumlanabilir olması kullanma alanlarını sınırlamaktadır.

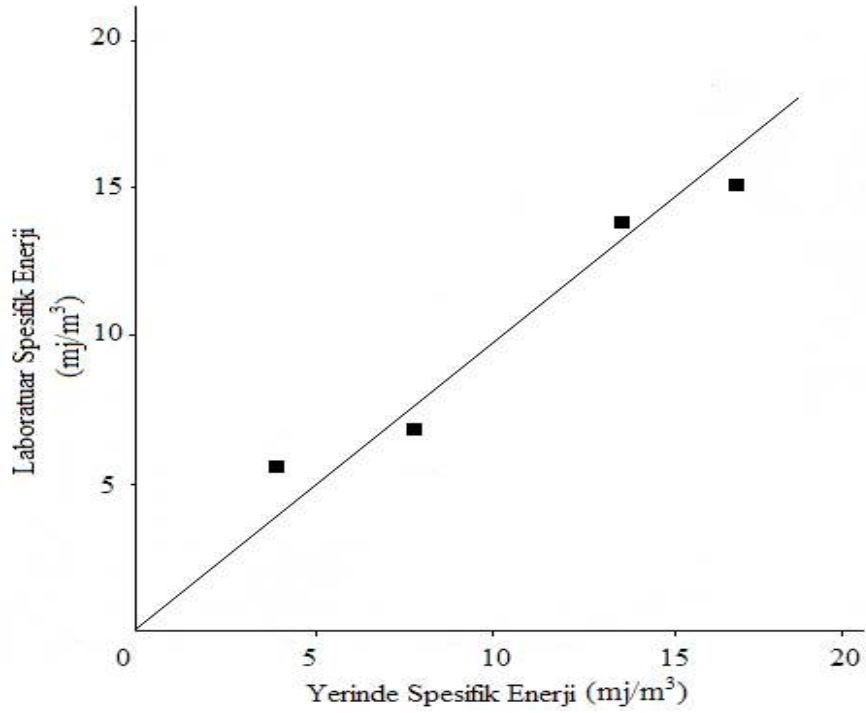


Şekil 4. 13 Yerinde kazılabilirlik deney setleri

Bunun yanında yerinde yapılan deneylerle laboratuvar deneyleri arasındaki ilişkileri de araştırmak amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Örneğin Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' de Dosco marka tünel açma makinesi ile yerinde yapılan deneylerden elde edilen spesifik enerji ile laboratuvar deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir [39].



Şekil 4.14 Kesme hızı ile spesifik enerji arasındaki ilişki



Şekil 4.15 Yerde spesifik enerji ile laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişki

4.3 Delme Deneylerinden Kazılabilirlik Tahmini

Yapılan diğer deneylerde göze çarpan ilk husus, verilen bağıntıların jeolojik süreksizlikleri içermediğidir. Hâlbuki aynı araştırmacılar jeolojik süreksizliklerin ilerleme hızını 2 veya 3 defa daha fazla artırabileceğini gözlemlemişlerdir.

Bu durumda akla ilk gelen formasyonların yerindeki özelliklerinin tümünü içeren bir indeks değerden yararlanmak olmuştur. Bunun içinde yerinde delik delerek delme hızının bir indeks değeri olarak kullanılması düşünülmüştür. Bu durumda eğer darbeli delik delinecekse, hava basıncı, besleme basıncı, burgu tipi vs. gibi delme parametrelerinin sabit tutulması kaçınılmaz olacaktır. Bu paralelde yapılan bir çalışmanın özeti Şekil 4.16' da verilmiştir.

Buradan da görüldüğü gibi orta ağırlıktaki kollu galeri açma makinelerinin kazı hızları ile darbeli delicilerin delme hızları arasında üstel bir istatistik bağıntı vardır. Yalnız burada, delme deneylerinin aşağıda verilen sabit şartlarda yapılması gerekir. Zonguldak kömür havzasında ve diğer ocaklarda kullanılan birçok delici bu özelliktedir.

Delme Cihazı Ağırlığı: 25 kg

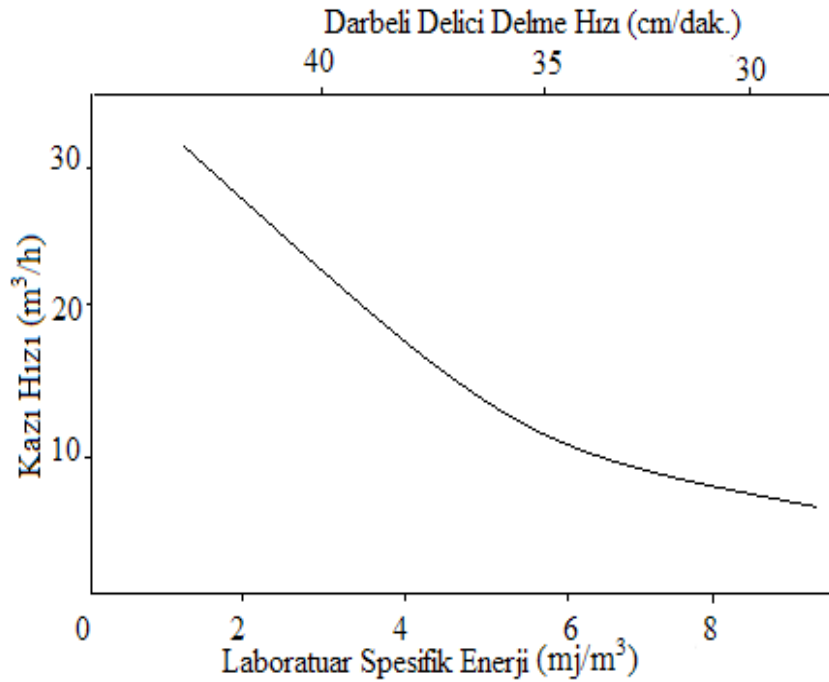
Burgu Şekli: WC Balta Ağzı 110°

Çalışma Şartları: 45 kPa

Darbe Tekrarı: 3200 darbe/dak.

Piston Çapı: 80 mm

Norminal Strok: 40 mm



Şekil 4.16 Delme hızı ile kollu galeri açma makinelerinin ilerleme hızları arasındaki ilişki [39]

4.4 Laboratuvar Kesme Deneyleri ile Kazılabilirlik Tahmini

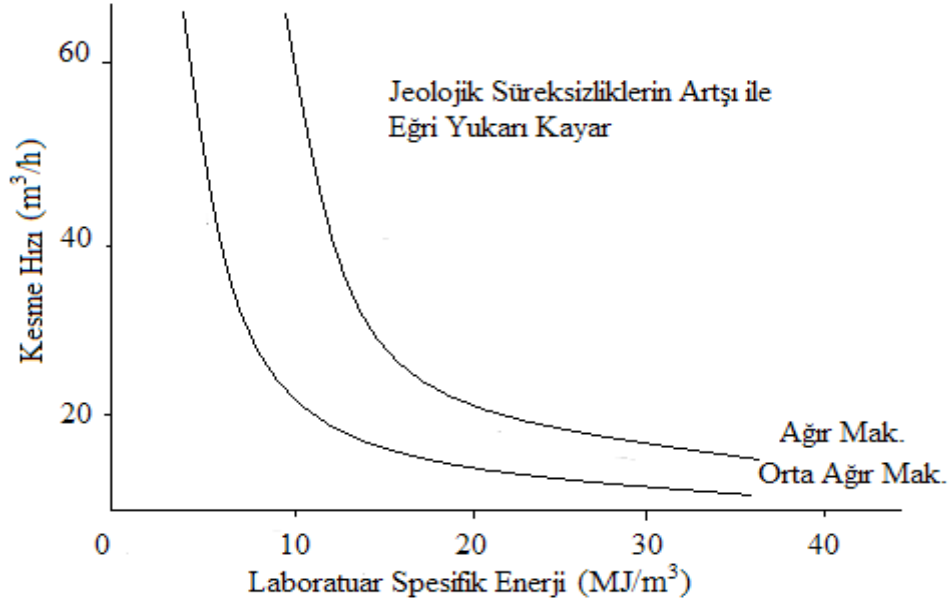
Döner kazı kafasının, tasarım boyutlarında gerekli kazıyı yapabilecek güçte olması gerekir. Bu nedenle kesilecek formasyonu temsil eden en sağlam kaya bloğu kesilirken keskilere gelecek yatay ve dikey kuvvetler önceden bilinmelidir. Değişik araştırmacılar bu kuvvetleri veren teorik çalışmalar yapmışlardır fakat daha önceki bölümlerde görüldüğü gibi teorik ve gerçek değerler arasında büyük farklılık bulunmuştur. Döner kafanın tasarımı sırasında en güvenilir kaynak, açılacak formasyonları temsil eden sağlam kaya bloklarının laboratuvarında kesme deneylerine tabi tutulmasıdır. Burada kullanılan sistem, gerçek bir keskiyle kaya bloğu kesilerek, keskiye gelen kuvvetlerin ve birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli spesifik enerjinin tespiti esasına dayanır [45].

Bu yöntem bugün artık o kadar ileri gitmiştir ki gerçek boyuttaki kazı makineleri ile laboratuvarında kazılabilirlik deneyleri yapılmaktadır. Buna Colorado School of Mines' da yapılan çalışmalar örnek gösterilebilir.

Yapılan araştırmalar kollu galeri açma makinelerinin kazı hızlarının laboratuvar şartlarında standart kazı deneyi ile elde edilen spesifik enerji değerleri kullanılarak en iyi şekilde kestirilebileceğini göstermiştir.

Bu deneyde; bir planya, dinamometre, amplifikatör ve kayıt cihazları kullanılır. Kayaç numunesi planyanın sehpasına sabitleştirilir ve uygun şartlarda kayaç numunesi kesme işlemine tabi tutulur [46].

Mc Feat – Smitt ve Fowell' in yaptığı çalışmalar, belirli bir değere kadar spesifik enerji düştükçe, kollu galeri açma makinesinin ilerleme hızının arttığını göstermiştir (Şekil – 4.17). Aynı çalışmada, çok değişik özellikte 72 kayaç göz önüne alındığında spesifik enerjinin, bağıntı 4.3' de gösterildiği gibi formasyonların N.C.B. koni delici değeri, basınç dayanımı, Shore sertliğini ve kayacın çimentolanma derecesine bağlı olduğunu, bununla beraber sözü geçen makinelerin kesebileceği sınırdaki olan 21 kayaç denendiğinde ise bağıntı 2 ye sadece N.C.B. koni delici değeri ve plastisite indeksi değerinin girdiği ifade edilmektedir [47].



Şekil 4.17 Kollu galeri açma makinelerinin ilerleme hızlarının spesifik enerji değerleri ile değişimi [39]

Bu bağıntılar aşağıdaki gibidir;

$$S.E. = - 4.38 + 0.14 C.I^2 + 3.3 C.S^{1/3} + 0.000018 S.H^3 + 0.0057 C.C^3 \quad (4.3)$$

$$S.E. = - 0.65 + 0.41 C.I^2 + 1.81 k^{1/3} + 2.6 \quad (4.4)$$

Burada;

S.E = Spesifik Enerji. MJ / m³

C.I = Koni Delici Değeri

C.S = Basınç Dayanımı. MPa

S.H = Shore Sertliği

C.C = Numunelerin Çimentolanma Derecesi

k = Plastisite Modülü

4.4.1 Tam boyutlu doğrusal kesme deneyleri

Tam boyutlu doğrusal kesme deney setinde, kaya blokları gerçek kesimler ile laboratuvar ortamında kesilebilmektedir. Deney seti, kesme derinliği ve kesimler arası mesafenin değiştirilmesine olanak sağlayarak, farklı kesme profilleri elde etmeyi mümkün kılar.

Tünel açma makinelerinin performansını tahmin etmek için, aşağıdaki parametreler tam boyutlu doğrusal kesme deneyleri ile elde edilir. Şekil – 4.18 de kesme esnasında keskiye etki eden kuvvetler ve kesme profili gösterilmiştir.

s: Keskiler Arası Mesafe

d: Kesme Derinliği

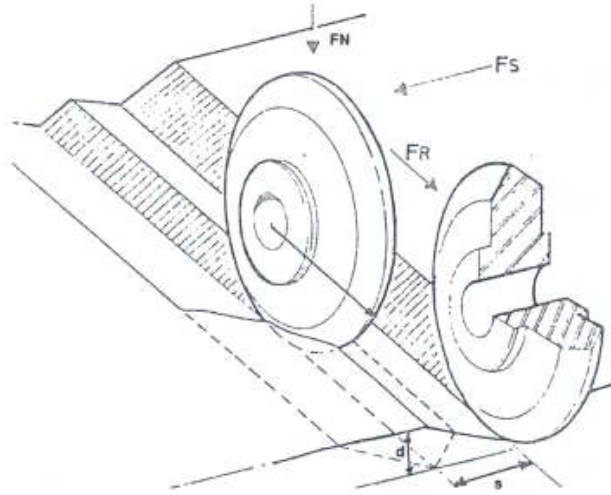
FR: Ortalama Yuvarlanma Kuvveti

FN: Ortalama (Baskı) Normal Kuvvet

FR' : Maksimum Yuvarlanma Kuvveti

FN' : Maksimum Normal Kuvvet

SE: Spesifik Enerji

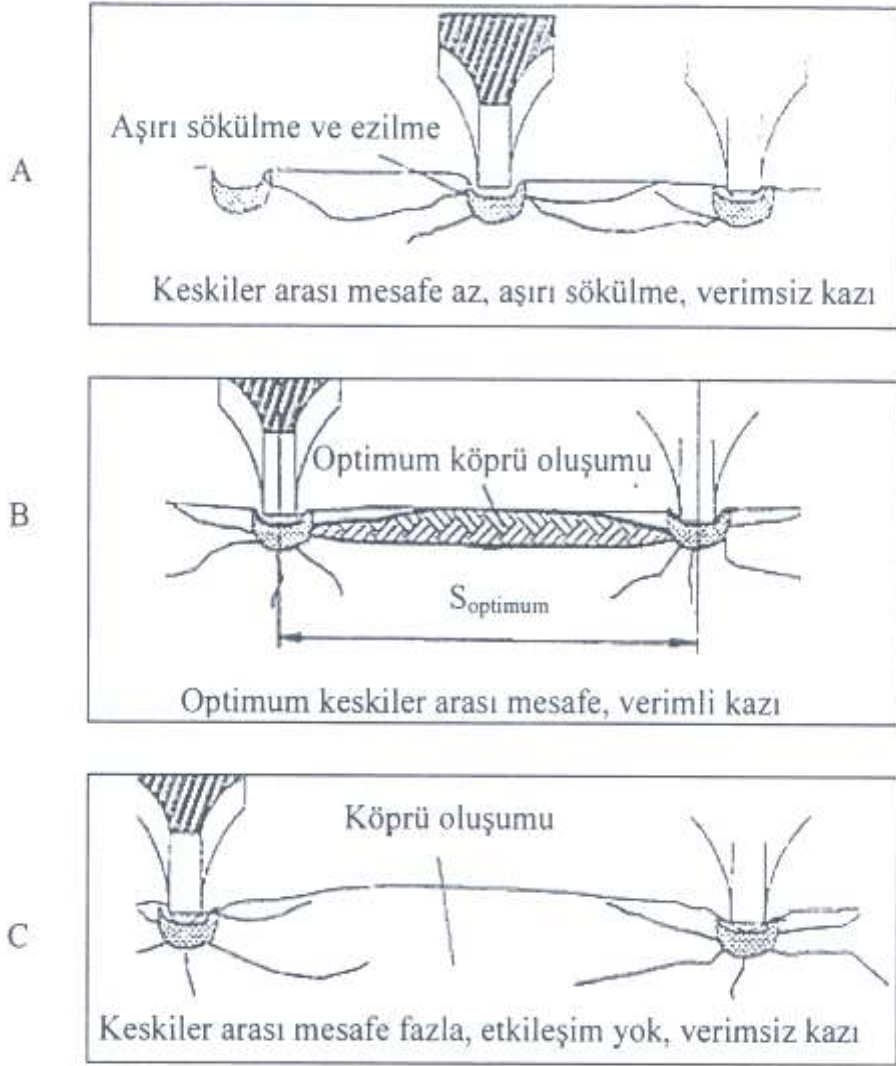


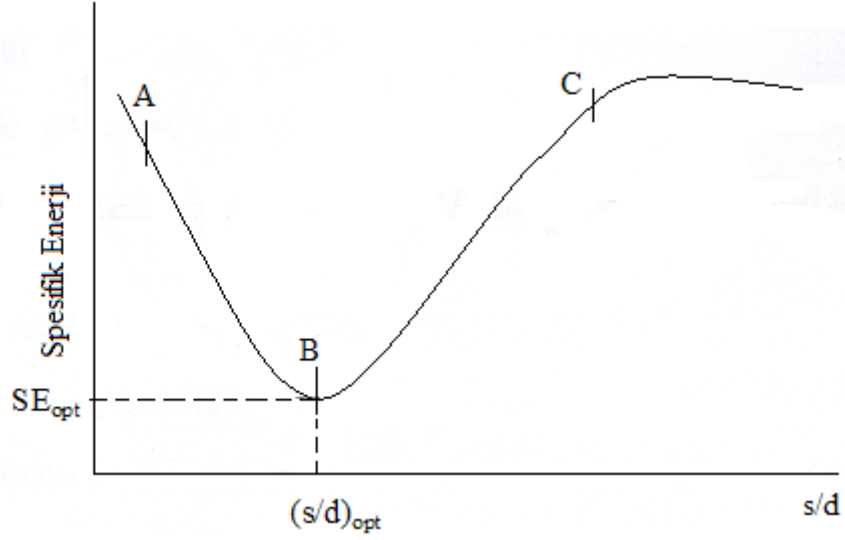
Şekil 4.18 Kesme esnasında bir disk keskiye etki eden kuvvetler

Mekanize kazının veriminin tayini için, en önemli parametre kesme deneyleri ile elde edilen spesifik enerjidir. Spesifik enerji, birim hacimdeki kayacı kesmek için harcanan enerji olarak tarif edilir ve birimi MJ / m^3 veya kwh/m^3 'dür. Kesme deneyleri ile elde edilen ortalama kesme enerjisi, birim kazı hattı boyunca çıkan pasa miktarına bölünerek, spesifik enerji bulunmaktadır. Spesifik enerji, kesme verimi ile ters orantılıdır, yüksek spesifik enerji değerleri, düşük kazı verimini işaret eder.

Şekil - 4.19' da kesme profili sonucu oluşan köprüler ve kesme profilini, matematiksel olarak en iyi ifade eden keskiiler arası mesafenin kesme derinliğine oranı (s / d , birimsiz) ile spesifik enerjinin değişimi çizilmiştir. Bu grafik, optimum spesifik enerji değerini belirgin bir şekilde göstermektedir. Grafik üzerinde A ile gösterilen durumda keskiiler

birbirine yakın olduğu için aşırı sökülme ve kayacı parçalama durumu söz konusudur. Keskinler arası mesafenin fazla olduğu durumda, keskinler arası etkileşim olmamakta ve köprü oluşmamaktadır (C noktası, yardımsız kazı modu). Optimum spesifik enerjinin oluştuğu noktada (B noktası, yardımcı kazı modu) minimum enerji ile maksimum kazı yapılmaktadır. Kazı makinelerinin kesici kafa dizaynları ve çalışma parametreleri, makinelerin hep optimum spesifik enerjiye yakın durumda çalışmasına olanak verecek şekilde olmalıdır.



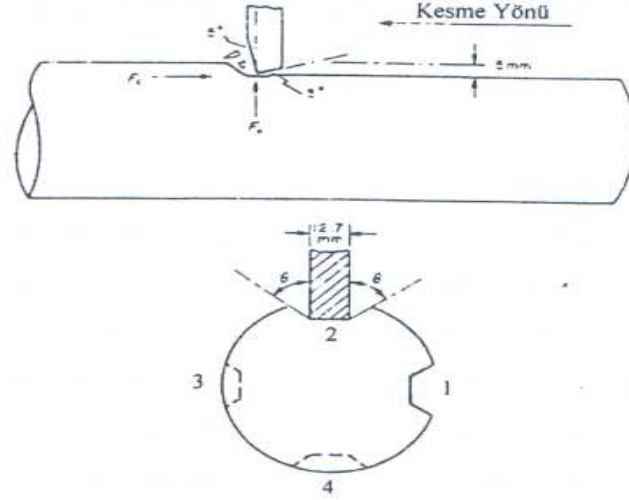


Şekil 4.19 Kesme profili sonucu spesifik enerjinin değişimi [39]

4.4.2 Küçük boyutlu kazı seti ile karot kesme deneyleri

Küçük boyutlu kesme deneyi, kayaçların kesilebilirliğinin tayini için McFeat – Smith ve Fowell [48] tarafından geliştirilmiş standart bir laboratuvar deneyidir.

Küçük boyutlu kesme deneylerinde 7.6 cm çapında karot veya 20 cm x 10 cm x 10 cm boyutlarında numune kullanılmaktadır. Numune sabitlendikten sonra kesme açısı -5° , temizleme açısı 5° ve genişliği 12.7 mm olan kama uçlu keski ile 5 mm kesme derinliğinde kesilir. Kesme sırasında oluşan kuvvetler birim deformasyon ölçer ile donatılmış dinamometre ile bilgisayara kayıt edilir. Küçük boyutlu kesme deneylerinde kullanılan veri toplama seti, tam boyutlu kesme deney setinde kullanılan ile aynıdır. Kayıt edilen kesme kuvvetlerinin ortalaması, birim kesme hattından çıkan pasa miktarına bölünerek, spesifik enerji bulunur. Şekil – 4.20’ de küçük boyutlu kesme deneyinin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Küçük boyutlu kesme deney setinde karot numunesinin kesilmesi

Laboratuarda bulunan spesifik enerji değerleri ile yerinde net kazı hızı arasında, McFeat – Smith ve R.J. Fowell tarafından geliştirilmiş bir ilişki vardır. Ayrıca bahsi geçen araştırmacılar, laboratuarda ölçülen spesifik enerjiye göre masif çatlak aralığı geniş formasyonlarda kullanılacak kollu galeri açma makinelerinin tiplerini ve karşılaşılabilecek problemleri belirten bir sınıflama sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sınıflama sistemi Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Orta ağırlıktaki kollu galeri açma makinelerinin laboratuvar spesifik enerji değerine göre seçilmesi

Spesifik Enerji (MJ / m ³)	Orta ağırlıktaki kollu galeri açma makinelerinin kullanılabilirliği
20	Aynada 0.3 m ve daha ince tabakalar halinde kaya kütlesi var ise makine ekonomik kazı yapabilir. Titreşimlerin fazla olmasından makine parçaları çabuk aşınır.
15	Kalem kesimler ve düşük hızlı kesme uygundur. Kesme verimi iyi değildir. Saatte 5 m ³ kazı imkânı vardır.
12	Makine kazı hızı 9 - 10 m ³ / saat. Kazı verimi orta - iyi olacak şekilde değişir. Aşındırıcı formasyonlarda keski değişimine dikkat edilmelidir.
8	Makine kazı hızı 10 - 12 m ³ / saat. Kazı verimi orta - iyi olacak şekilde değişir. Aşındırıcı formasyonlarda keski değişimine dikkat edilmelidir.
5	En kolay kazının yapılabileceği formasyondur. Kazı hızı 20 m ³ / saat’e kadar çıkabilir.

Çizelge 4.2 Ağır kollu galeri açma makinelerinin laboratuvar spesifik enerji değerine göre seçilmesi

Spesifik Enerji (MJ / m ³)	Ağır kollu galeri açma makinelerinin kullanılabilirliği
32	Aynada ince tabakalar halinde kaya kütlesi var ise makine kazı yapabilir. Kazı verimi düşük ve keski sarfiyatının fazla olması beklenir.
25	Ayna masif ise kesme verimi düşüktür. Kalem keski ve düşük hızlı kesme uygundur. Kesme verimi iyi değildir. 9 - 10 m ³ / saat kazı hızına ulaşılabilir.
17	Makine kazı hızı 12 - 13 m ³ / saat. Kazı verimi orta - iyi olacak şekilde değişir. Aşındırıcı formasyonlarda keski değişimine dikkat edilmelidir.
8	Makine kazı hızı 30 m ³ / saat'e ulaşabilir. Çamur taşlarında kesme işleminden çok ripleme gerçekleşmektedir.

Küçük boyutlu kesme deneyi uluslararası alanda kabul görmüş bir kesme deneyidir. En büyük avantajı karot numunelerine uygulanabilmesidir fakat deneyin yapılması ve verilerin analizi uzmanlık gerektirmektedir. Ayrıca küçük boyutlu kesme deneyi seti ile sadece roadheader tipi mekanik kazıcılar için tahmin yapmak mümkündür.

BÖLÜM V

MATERYAL ve YÖNTEM

5.1 Sahanın Jeolojisi

5.1.1 Kromit yatakları

Pozantı-Karsantı Ofiyoliti içerisinde bulunan kromit yatakları coğrafik konumları itibariyle beş bölgeye ayrılır. Bu yataklar içerisinde dönem dönem açılıp kapanan farklı boyutta ve özellikte kromit cevheri içeren yüzlerce ocak olduğu bilinmektedir. Pozantı-Karsantı Ofiyoliti içerisindeki kromit yatakları, seyrek olarak 50.000-60.000 tonu aşan, fakat çoğu 10.000 ton'un altında yataklar şeklinde görülmektedir. Ancak, yanal devamlılığı olan, tenörleri oldukça düşük (% 9-22 Cr₂O₃) fakat rezervleri ofiyolitik kromitler için oldukça büyük (1 milyon ton'un üstünde) dunitik kümülatların tabanında kromit yatakları bulunmuştur [49, 50]. Kromit yatakları iki farklı ortamda bulunurlar. Birincisi tektonik harzburjitler içerisinde düzensiz yapıda podiform kromitler, ikincisi ise kümülat dunitlerle birlikte bulunan stratiform kromitlerdir [49]. Harzburjitler içerisinde yer alan podiform kromitler, genellikle foliasyona uyumlu bir konumdadır. Podiform kromitler masif, saçınımlı ve nodüler yapıdadır [49]. Anıl [52], tarafından kromit cevhere ait çeşitli ocaklardan alınan örneklerde yapılan kromit mineral kimyası analizlerinde, Cr₂O₃ % 46.55- 60.65, Al₂O₃ % 8.44-22.20, Fe₂O₃ % 1.13-5.06, FeO % 8.35-13.63, MgO % 12.47- 16.09 ve TiO₂ % 0.00-0.24 arasında bulunduğunu tespit etmiştir. Pozantı Karsantı Ofiyoliti içerisinde düzensiz yapıda bulunan kromitlerin harzburjitik tektonitler veya dunitler içinde bulunduğu, hemen hepsinin kalınlıkları 10-200 cm dunitik zarflarla çevrelendiği görülmüştür [53]. Kümülat dunitler içerisinde yer alan stratiform kromitler, saçılmış ve masif yapıdadırlar. Bu tür kromitler genellikle birkaç cm kalınlıkta tabakalardan yapılmış masif kromit, saçınımlı kromit ve dunit ar dalanması şeklinde gelişmiş kümülatif istif sunarlar [54]. Parlak ve Ark. [55], kümülat ultramafik kayaçların içerisindeki kromit bantlarının içerisindeki kromit kristallerinin mineral kimyası analiz sonuçlarının Cr₂O₃ % 57.5 59.1, Al₂O₃ % 10.1-10.8, Fe₂O₃ % 2.79-3.88, FeO % 13.8-17.63, MgO % 10.4-12.9 ve TiO₂ % 0.13-0.2 arasında değiştiğini bildirmektedir.

Pozantı-Karsantı Ofiyoliti'nin içerisinde Kızılyüksek bölgesinde stratiform kromit yataklarına yapısal açıdan benzer bantlı kromitler bulunmaktadır. Bölgede serpantinleşme göstermeyen dunitler içerisinde yaklaşık K-B yönünde ve 1 km kadar yanal uzunluğu bulunan dunitler yaklaşık 1500 m kalınlığa sahiptir. Bu dunitler üzerindeki kümülat kayaçlara taban oluşturmaktadır [56]. Dunitler, saçınımlı kromit ve bantlı kromitler içermektedir. Bu kromitli zonun uzunluğu yaklaşık 3 km olup kromitce zengin bantlar ve kromitsiz dunit bantlarının ardalanmasından oluşmaktadır. Kromit kristalleri genelde öz şekilli yapıdadır. Rahgoshay ve Juteau [57], buradaki cevherleşmeyi stratiform olarak kabul etmektedir.

5.1.2 Çinko - kurşun yatakları

Orta Toroslar kesiminde yeralan Aladağlar yöresi, naplı yapısı nedeniyle karmaşık bir yapı gösterir. Bölgenin morfolojik, stratigrafik ve tektonik özelliklerini çok iyi yorumlayan Blumenthal Siyah Aladaf, Çataloturan ve Beyaz Aladağ napları ile radyoloritli zonları ayırt etmiştir [58].

Bu çalışmayı baz alan Tekeli ile diğerleri [59], bölgenin yapısal evrimini yorumlamış; allokton ve otokton birimleri incelemiştir. Birbirlerinden oluşum ortam ve koşulları ile jeolojik yaş farklılıklarıyla kolayca ayırt edilen Aladağ napları alttan üste doğru: Yahyalı, Siyah Aladağ, Üstkuşak, Çataloturan, Minaretepeler, Aladağ Ofiyolitli Melanj ve Beyaz Aladağ istifleri şeklinde sıralanırlar.

Üst üste yığılma biçiminde gelişmiş olan naplı yapısal bölge önemli ölçüde daralmaya uğramış ve naplı istifler bölgeye oldukça uzak mesafelerden de taşınmışlardır [60]. Böylece ilksel ortamlarına göre farklı tektono-stratigrafik birimler ortaya çıkmıştır.

Cevherleşme bütünüyle tektonik kontrollüdür. Ağsal damarlı (stockwork) tip Aladağ - Delikkaya yatağı dışında tüm yataklar K-G ve KD-GB doğrultulu kırık sistemlerine bağlıdır. Kalınlık, uzanım ve yayılımları değişen damarlar bağlı buldukları faylar boyunca süreksizlikler gösterirler. Bazı zuhurların ana damarlara bağlı damarcıkları yan kayaç içine ve yan kayacın tabaka yüzeyleri asına sokulum yapmaktadır.

Yörenin rezerv ve tenör açısından önem gösteren Zn-Pb yatakları iki ayrı zonda bulunur. Birinci zon Suçatı, Aladağ - Delikkaya ve Meydan Yaylası - İspir -

Minaretepeler yatakları ile ikincisi Tekneli, Minas, Yıldız Tepe, Dündarlı, Karlıgın, Karagedik, Şıpşikkaya ve Keybettepe yatakları ile temsil edilirler.

Yörede Zn ve Pb'ce zengin büyük yataklarla Fe'ce zengin küçük karstik zuhurlar belirgin bir zonlanmaya işaret ederler [49]. Elmadağı çevresinde ve Dereköy kuzeyinde yüzeyleyen demirce zengin küçük zuhurlarla, Mezargedik yatağını bir zon şeklinde Zn-Pb'ce zengin cevherli zon çepeçevre kuşatır

5.1.3 Demir yatakları

Numunelerin alındığı alan Yahyalı napı içerisindedir. Yahyalı napı alttan üste doğru birbiriyle uyumlu Kirazlı (Silüriyen - Devoniyen), Karsavuran (Devoniyen), Ayraklıtepe (Devoniyen), Yellibel (Karbonifer), Karlığın-tepe (Üst Permiyen), Kocatepe (Triyas) formasyonlarını kapsar [61]. Ayrıca yörede Üst Kretase sonu - Paleosen başında sokulum yapmış olan otokton nitelikteki Yahyalı Granitoyitleri yer alır [62]. Dereköy demir yatağının bulunduğu kesimde bu birimlerden Yellibel, Karsavuran, Ayraklıtepe, Kirazlı formasyonları yüzeylemektedir.

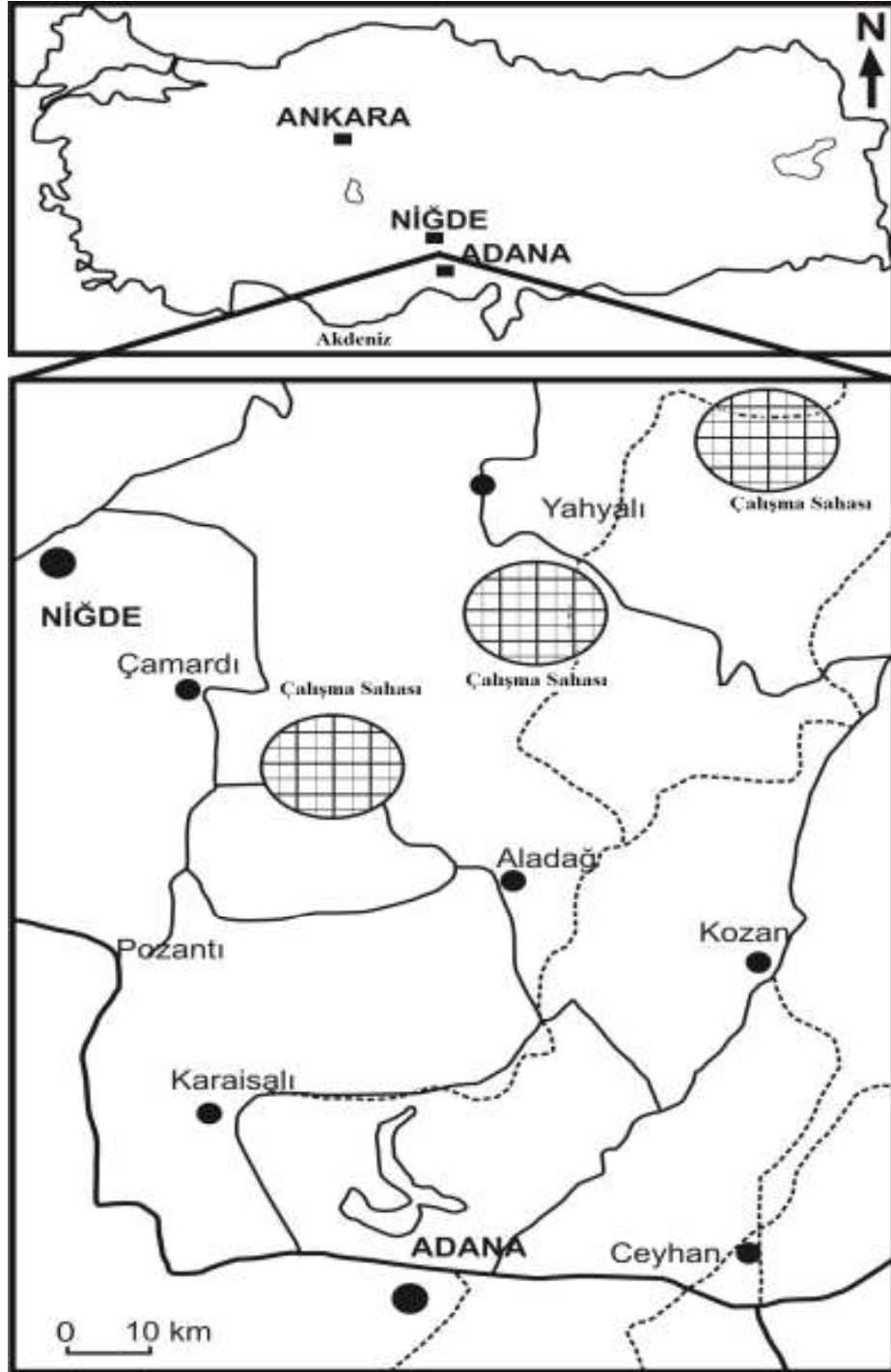
Karsavuran formasyonunda kayaç içerisinde yer yer pirit ve turmalinler yer alır. Ayrıca ayrışmanın etkili olduğu örneklerde ikincil demir oksit (götüt, hematit), lorit ve kalsit oluşumlarına rastlanmaktadır.

Bölgede oluşan demir yatakları, özellikle Dereköy ve Ayraklıtepe bölgelerinde bilinmekte ve yapılan araştırmalarda bu bölgelerde yoğunlaşmıştır.

Dereköy demir yatağı, Dereköy (Yahyalı - Kayseri) beldesinin 2.5 km kuzeybetisindedir. Cevher mostrası, 250 m uzunluğunda ve 50 m genişliğindedir. Cevher mostrası kırmızımsı kahverengi ince bir moloz örtüsü görülür. Cevher yaygın olarak, kovuklu, kabuğumsu, böbreğimsi, toprağımsı, yer yer de sarkıt - dikit yapılıdır.

Ayraklıtepe demir yatağı, Dereköy demir yatağının 500 m doğusundadır. NE - SW uzanan cevher kuşağı, Karsavuran formasyonuna ait yeşilimsi sarı renkli feldspatlı, kuvarslı biyotit-sist - filitlerin üzerinde yer alan bir demir kabuk oluşumdur. Batı kesimde 10 -15 m genişliğe sahip olan cevher kuşağı doğuya doğru yer yer kesikliklere uğrayarak 200 m kadar devam eder. Cevher kuşağının NE kesimdeki genişliği ise 1 m civarındadır.

Kromit, demir ve kurşun - çinko numunelerinin alındığı lokasyonlar Şekil 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5. 1 İncelenen kromit, demir ve kurşun-çinko numunelerinin alındığı bölgelerin yer bulduru haritası

5.2 Laboratuvar Deneyleri

Kaya mekaniği deneylerinde ISRM [63] ve ASTM [64]'de belirtilen standartlar kullanılmıştır. Bu standartlara göre yapılan deneyler aşağıda açıklanmıştır.

5.2.1 Örnek hazırlama

Değişik kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlaması, deneylerden öncelikle ilk ve en önemli aşamadır. Laboratuvarında silindirik karot örneklerinin alınması, bunların kesilmesi ve belirli standartlara göre yüzeylerinin düzeltilmesi amacıyla, delici, kesici, düzleyici ve parlatici gereçler kullanılarak yapılan işlemlerin tümü, örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanır. Örnek alma aşamasında kullanılan materyaller aşağıda açıklanmıştır.

Karot alma makinesi: Örneklerin kayaç bloklarından hazırlanması amacıyla kullanılır. Değişik modelleri bulunan karot alma makineleri farklı çap ve boydaki karot alıcılar (karotiyerler) takılarak, doğrudan makineye veya yere monte edilmiş kelepçeler arasına sıkıştırılan kayaç bloklarından silindir şeklinde karot (örnek) almada kullanılır. Bu delme işlemi sırasında matkabın soğutulması ve kırıntıların atılması için sistem bir hortum aracılığı ile musluğa bağlanarak su temin edilir.

Karot kesme ve düzleme makinesi: Kesme bıçağı ve karot yüzeylerini düzleme diskinin takılarak, alınan karotun önce kesilmesini, daha sonra kesilen yüzeylerin düzlenmesini sağlayan bir makinedir. Alınan örnekler yapılacak olan deneylere hazır hale getirilmesi için uygun çap ve boyda kesilir. Bu işlem karotiyerden alınan örneğin her iki yüzü için ayrı ayrı uygulanır. Bazen kesme makinelerinde düzleme diski olmayabilir. Bu durumda elektrik motorunun döndürdüğü bir tambur üzerine su ve aşındırıcı dökülmek suretiyle düzleme gerçekleştirilir.

5.2.2 Birim hacim ağırlık

Bu deney, karot numunelerinin kütleli (gözenekler dâhil) birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılır. Bu deneyde kullanılan alet ve gereçler; ölçüm kumpas aleti (0.1 mm. hassasiyette), terazi (0.1 g. hassasiyette) ve fırın (105 ± 5 °C kapasiteli)'dir. Önce, silindirik deney örneğinin çapı ve boyu, ölçüm kumpası kullanılarak birbirine dik iki

ayrı yönde ölçülür ve bu değerlerin ortalaması alınır. Boy ve çap değerleri kullanılarak örneğin hacmi hesaplanır. Örnek hassas terazide tartılarak ağırlığı belirlenir. Eğer numunenin kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık tayin edilecek ise, numune 105°C'ye ayarlanmış fırında en az 12 saat kurutulduktan sonra tartılmalıdır.

Silindirik karot örnekleri için boy ve çap değerleri, prizmatik örnekler için de üç ayrı yönde ölçülmüş değerler kullanılarak örneklerin hacimleri hesaplanır (V), örneklerin ağırlıkları (W) ise hassas terazide tartılarak belirlenir

Tayin edilen W ve V değerleri esas alınarak, her örneğin yoğunluğu (ρ) ve birim hacim ağırlığı (γ) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

$$\text{Yoğunluk(g/cm}^3\text{); } \rho = \frac{W}{V} \quad (5.1)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (kN/m}^3\text{); } \lambda = 0,981 \times \rho \quad (5.2)$$

5.2.3 Porozite ve boşluk oranı

Deney, düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğinin (porozitesinin) ve boşluk oranının saptanması amacıyla yapılmaktadır. Bu deneyde cam beher, ölçüm kumpas aleti (0.1 mm hassasiyetle), saf su (beheri dolduracak miktarda), kağıt havlu, desikatör, terazi (0.1 gr hassasiyetle) ve fırın (105 ± 5 0C kapasiteli) kullanılmaktadır.

Deney öncesi silindirik kayaç örneğinin çapı ve boyu ölçüm kumpası kullanılarak birbirine dik iki ayrı yönde ölçülerek ortalaması alınır. Örnekler, sıcaklığı 105 °C' ye ayarlanmış fırında en az 12 saat kurutulduktan sonra havadan nem almadan soğuması için 30 dakika desikatörde tutulduktan sonra hassas terazide tartılarak kuru ağırlığı belirlenir.

Daha sonra numune, su dolu beherin içinde 48 saat bekletilir veya vakum altında en az 1 saat süreyle suya doymun hale getirilir ve daha sonra kağıt havlu ile yüzey, kurulanıp hassas terazide tartılarak doymun ağırlığı belirlenir.

Bir kayanın boyutsuz bir büyüklük olan 'n' ile ifade edilen porozitesi, kayadaki boşluk hacminin kayanın toplam hacmine oranı olarak ifade edilir.

$$\text{Boşluk hacmi(cm}^3\text{); } V_v = \frac{W_s - W_d}{\rho_w} \quad (5.3)$$

$$\text{Gözeneklilik (porozite) (\%); } n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (5.4)$$

$$\text{Boşluk oranı; } e = \frac{n}{n - 100} \quad (5.5)$$

Burada;

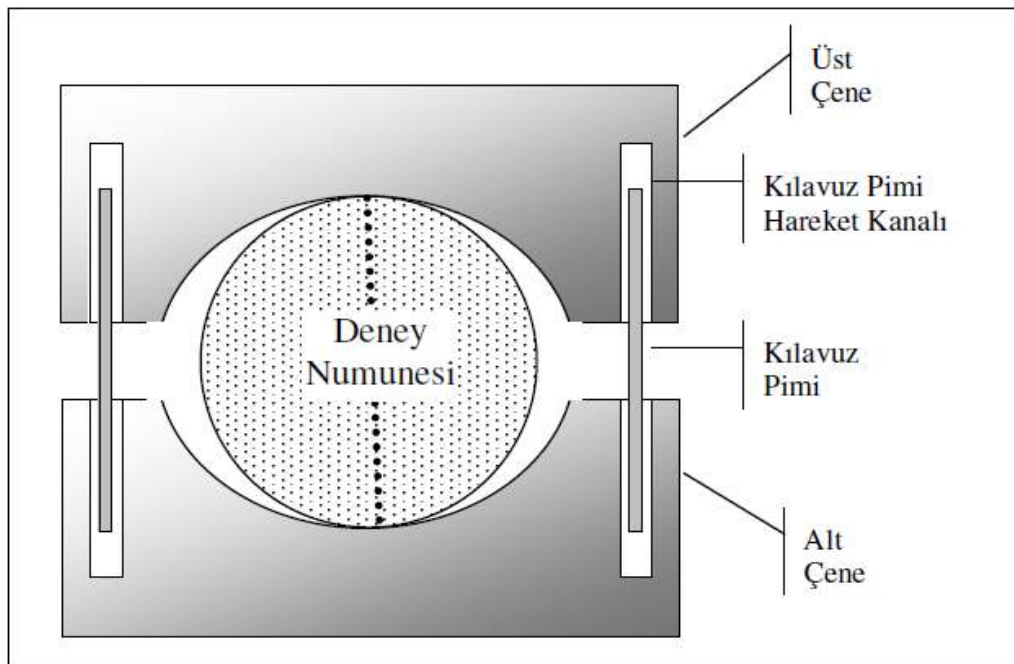
W_d : Kuru Ağırlık

W_s : Doygun Ağırlık

ρ_w : Suyun Yoğunluğu

5.2.4 Brazilian deney yöntemi ile dolaylı çekme deneyi

Bu deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılır. Disk şeklinde hazırlanmış örneğin çapsal olarak birbirine zıt konumlu yüzeylerine temas eden, metalden imal edilmiş yükleme çeneleri ve kılavuz saplamalardan oluşan düzenek kullanılır (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2 Brazilian deneyinde kullanılan yükleme çenelerinin şematik görünümü

Deney için yükleme çeneleri (çenelerin yarıçapı örnek yarıçapının 1.5 katı olmalı), ölçüm kumpası (0.1 mm. hassasiyetinde), yükleme presi kullanılır. Deneyde kalınlık/çap oranı 0.5-1.0 arasında olacak şekilde (tercihen bu oran 1'e yakın olmalıdır), sağlam ve çatlaksız karot örneğinden kesilerek disk şeklinde deney örnekleri hazırlanır. Örneğin kalınlığı ve çapı kumpas kullanılarak birbirine dik ve iki farklı yönde ölçülür ve bu değerlerin ortalaması alınır. Yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde, örnek yükleme başlığının altına konan çenelerin arasına yerleştirilir. Yenilme 15-30 dakika arasında gerçekleşecek şekilde örnek sabit bir hızla sürekli yüklenir. Örneğin yenildiği andaki yük (P) presin göstergesinden okunur ve çekilme dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma_{\phi} = \frac{0.636 \cdot P}{D \times t} \times 10^{-3} \quad (5.6)$$

Burada;

σ_{ϕ} : Numunenin çekme dayanımı.

P: Numunenin yenildiği anki yük değeri.

D: Numunenin çapı.

t: Numunenin kalınlığı

5.2.5 Cerchar Aşınma İndeksi

Bu test Fransız kömür enstitüsünde tünel açma makinelerinin imalatı ve verimliliği için kaya aşındırıcılığının değerlendirilmesinde oldukça yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (International Society of Rock Mechanics). 3 Eylül 1987 yılında Montreal'de yaptığı toplantıda kaya mekaniğinde kayaçların kesilebilirliği, delinebilirliği ve kazılabilirliği konularında Cerchar aşınma ve Cerchar sertlik indeks deneylerinin standart kaya mekaniği deneyi olarak uygulanmasını önermiştir.

Bu deneyde numuneler, uçları 90° konik, çekme dayanımı 2000 N/mm² olan keskilerle ve 70 N'luk kesme kuvvetiyle 10 mm çizilir. Keski ucunda meydana gelen aşınma yüzeyinin uzunluğu aşınma indeksi olarak belirlenir. Daha açık bir ifade ile 90° sivriltilmiş konik uç 2000 N/mm² çekme dayanımında ve belirli Vickers sertliğindeki

çelik uçlu bir çubuk 70 N'luk dikey bir ağırlıkla malzeme üzerinde 10 mm gezdirilir ve uçta meydana gelen aşınma yüzeyi mikroskop altında incelenir. Her 0.1 mm'lik aşınma uzunluğu 1 Cerchar aşınma indeksi olarak kabul edilir. Elde edilen indeks değerleri birimsiz olarak kullanılır. Aşınma miktarı çok az olduğundan mikroskop altında incelenir. Çizelge -5.1' de Cerchar aşınma indeksi değerine göre Atkinson'un yaptığı sınıflandırma verilmiştir.

Çizelge 5.1 Cerchar aşınma indeksi değerine göre kayaçların sınıflandırılması [63]

Sınıflama	Cerchar indeksi	Kayaç çeşidi
Çok fazla aşındırıcı	4.5	Hornblend, gnays, granit
Çok aşındırıcı	4.25 - 4.5	Anfibolit, granit
Aşındırıcı	4.0 - 4.25	Granit, gnays, şist, kumtaşı
Biraz aşındırıcı	3.5 - 4.0	Kumtaşı, silttaşı
Orta aşındırıcı	2.5 - 3.5	Gnays, dolorit
Az aşındırıcı	1.25 - 2.5	Portland kumtaşı
Çok az aşındırıcı	1.2	Kireçtaşı

5.2.6 Darbe dayanımı deneyi

Darbe dayanımı, standart boyutlardaki kayaçların veya agregaların belirli bir doğrultuda, darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Malzemenin kullanım alanlarının belirlenmesinde darbe dayanımının bilinmesi önemli bir konu olarak görülmektedir.

Deneyde, Evans ve Pomeroy [66], tarafından tasarlanan alet kullanılmıştır. Bu alette, 1.8 kg ağırlığında ve 4.45 cm çapındaki bir silindir, 30.5 cm yükseklikten aynı çaptaki içi boş başka bir silindir içerisine düşürülmektedir. Deneyde, parçalanmış kayaç numuneleri 9.5 - 3.2 mm ebadındaki iki elekten elenir, elek arasında kalan numuneden 100 gr alınarak deney silindiri içine konulur ve yukarıda bahsedilen ağırlık numune üzerine 20 defa düşürülür. Silindirden boşaltılan numune tekrar elenir ve 3.2 mm elek üstü darbe dayanım değeri olarak alınır.

5.2.7 Laboratuarda Schmidt çekici deneyi

Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini amacıyla yapılır. Bu çekiç silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır. Zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur ve Schmidt indeksi olarak tanımlanır.

Deneye başlamadan önce örs yardımıyla Schmidt çekicinin kalibrasyonu yapılır. Karot veya bloğun yüzeylerinin düzgün olmasına ve her hangi bir çatlak içermemesine dikkat edilir.

Schmidt Çekici deneyinde farklı uygulamalar olup, bunlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Bir noktada 10 vuruş yapılır ve en yükseği alınır.
2. Birbirine yakın 5 noktada 1'er vuruş yapılır ve en yüksek 3 değerın ortalaması alınır.
3. 25 mm'den yakın olmamak şartıyla bir alanda 15 ayrı vuruş yapılır ve en yüksek 10 değerın ortalaması alınır.
4. 100 m² alanda 10 ayrı vuruş yapılır ve ortalamadan ± 5 sapan değerler atıldıktan sonra kalan değerlerin ortalaması alınır.
5. 9 ile 25 arasında yapılan vuruşların ortalaması alınır.
6. Bir nokta üzerinde üst üste 5 vuruş yapılır ve en yüksek değer alınır.
7. Bir noktada 35 vuruş yapılır ve en düşük 10 değer atıldıktan sonra 25 değerın ortalaması alınır.
8. Farklı noktalarda 20 vuruş yapılır ve en yüksek 10 değerın ortalaması alınır.

5.2.8 Nokta yükü dayanımı indeksi deneyi

Nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli basınç ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflaması sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır.

Kayaçların nokta yük indeksleri genellikle 50 mm çapındaki karot numuneleri için standartlaştırılarak I_{S50} ile ifade edilir. Bu deneyde karot numuneleri eksenine ve çapına test edildikleri gibi düzensiz ve prizma şeklindeki numunelere de kolayca uygulanır.

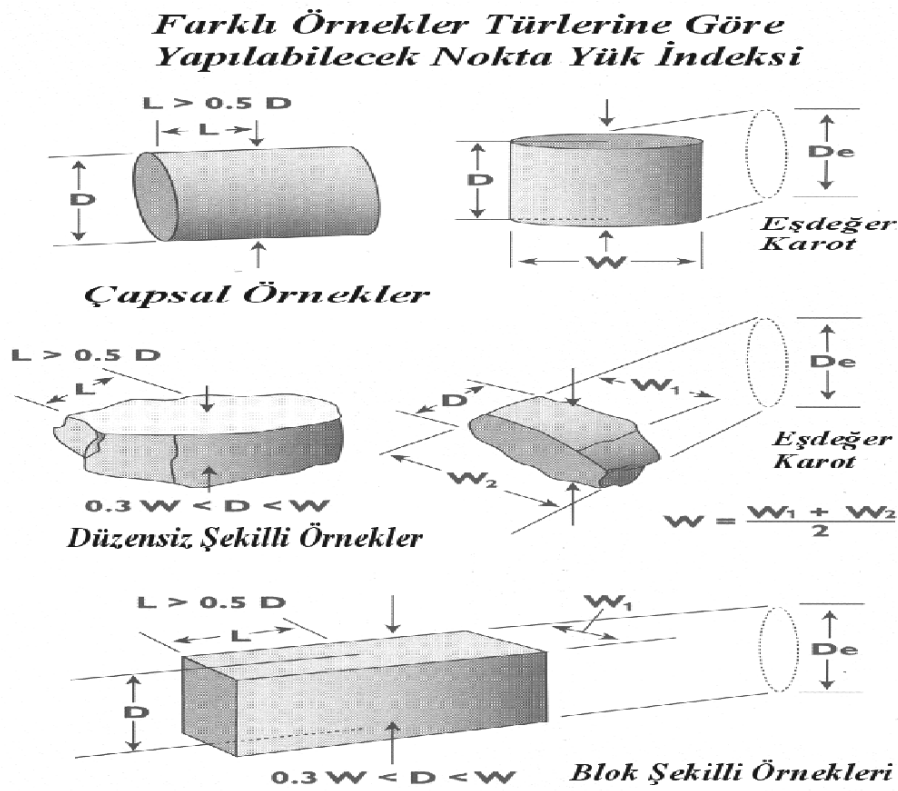
Deney sonucu esas alınarak kayacın 'nokta yük dayanımı' ve ayrıca 'dayanım anizotropi indeksi' de hesaplanır.

Nokta yükleme deneyi, çapsal veya aksenal olarak karotlar üzerinde ya da düzensiz örnekler üzerinde yapılır (Şekil - 5.3).

Çapsal deneyde çapı ve uzunluğu kompas ile ölçülen örnek. ($L/D > 1$ olmalıdır) konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilir. Konik uçlar ile örnek arasında açıklık kalmaması için pompa kullanılarak silindirik yükleme tablası yükseltilir.

Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anında ki yük (P). yük göstergesinden okunarak not edilir.

Eksensel deneyde ise örnek, çapı ve boyu kompasla ölçüldükten sonra konik uçlar arasına yükleme yönüne paralel olacak şekilde yerleştirilir. Çapsal deney için belirtilen uygulama burada da yapılır. Blok ve düzensiz örneklerde ise süreksizlik düzlemlerine dik yönde yükleme yapılır.



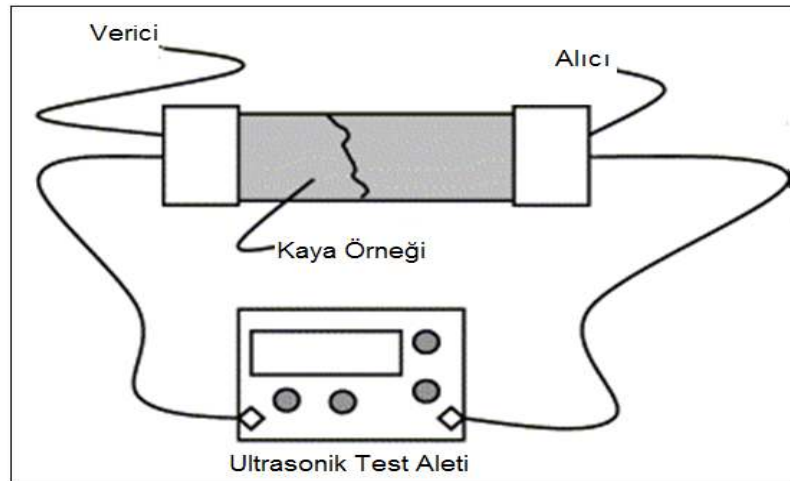
Şekil 5.3 Nokta yük dayanımı için kullanılabilen örnek çeşitleri

5.2.9 Ultrasonik hız deneyi

Bu deney, kayaç örnekleri içerisinde geçirilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Yöntem, homojen ve izotrop veya çok az derecede anizotropiye sahip kayaçlarda uygulanır.

Deney yapılırken, özellikle ASTM, ISRM ve CANMET [67] tarafından önerilen hususlar dikkate alınmalıdır. Deneyde çapı 31 mm ve daha büyük olan silindirik örnekler kullanılır. Örneklerin gönderici ile temasta olacak alt ve üst yüzeylerinin son derece düz ve birbirine paralel şekilde hazırlanmasına dikkat edilir. Yayılma hızı (V_p) ve tane boyu (d) malzemenin içsel özellikleri, buna karşın çevirgeç frekansı ise kullanılan çevirgece özgü olduğu için, örneğin çapı (D) ve boyu (L) koşullara uygun olarak seçilir. ISMR' ye göre. "ortalama tane boyu < dalga boyu < örneğin en küçük boyutu" koşulu sağlanmalı ve dalga boyunun ilerleme yönüne dik konumdaki boyut (D) dalga boyunun 10 katından az olmamalıdır.

Karotun yüzeyleri ile gönderici ve alıcı (çevirgeç) arasındaki temas artırılarak boşluk kalmasını önlemek amacıyla, örneğin alt ve üst yüzeylerine vazelin veya gres sürülür. Kararlı bir değer okumak için çevirgeçlere hafifçe bastırılır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Ultrasonik test cihazının basit görünümü

Sinyal üreticinin voltaj çıktısı, yükselticinin ve osiloskopun duyarlılığı doğru zaman ölçümünün sağlanması için optimum bir seviyeye ayarlanır. Dakikada bir veya iki okuma alacak şekilde sinyal gönderilerek sıkışma dalgasının (P) örnekten geçiş süresi

(t_p) %1 duyarlılıkta ölçülür. Daha sonra makaslama dalgasının geçiş süresi (t_s) %2 duyarlılıkta ölçülür.

Yayıma hızlarının hesaplanması:

$$V_p = \frac{L}{T_p} \quad (5.7)$$

$$V_s = \frac{L}{T_s} \quad (5.8)$$

Burada.

V_p : P dalgasının yayılma hızı (m/s)

V_s : S dalgasının yayılma hızı (m/s)

L: Silindirik deney örneğinin boyu (sinyalin kat ettiği mesafe. mm)

T_p : ($t_p - t_0$); P dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs)

T_s : ($t_s - t_0$); S dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs)

t_p : P dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μs)

t_s : S dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μs)

t_0 : Ölçülen sıfır(başlangıç) zamanı (μs)

$$\text{Young modülü (Pa): } E_u = \rho V_s^2 \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (5.9)$$

$$\text{Poisson oranı: } \nu_{dyn} = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (5.10)$$

$$\text{Rijidite modülü: } G_u = \rho V_s^2 \quad (5.11)$$

Burada;

ρ = Kayacın kütle yoğunluğu (kg/m^3) olup.

$\rho = \gamma/g$ (γ :birim hacim ağırlık; g : $9.81 m/s^2$) ifadesi ile tanımlanır.

$$\text{Görünür gözeneklilik (\%)} ; n = (W_s - W_d) / (V \times \gamma_w) \quad (5.12)$$

$$\text{Doymunluk derecesi (\%)}; S = (W_t - W_d) / (W_s - W_d) \quad (5.13)$$

Burada;

W_t : örneğin toplam ağırlığı (kN)

W_s : örneğin suya doymun haldeki ağırlığı (kN)

W_d : örneğin fırında kurutulmuş ağırlığı (kN)

V : örneğin hacmi

γ_w : suyun birim hacim ağırlığı (9.81 kN/m³)

5.2.10 Tek eksenli basınç direnci deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının tayini amacıyla yapılır. Yükleme hızının denetimi için duruma göre kronometre kullanılır. Deneyde boy/çap oranı 2.5-3.0 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz-düz ve herhangi bir kırık ve çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılır. Örneğin alt ve üst yüzeyleri, 0.02 mm duyarlılıkta düzeltilmiş ve birbirine paralel olmasına dikkat edilir.

Deney sırasında örneğe sabit bir hızda ve sürekli olarak eksensel yükleme yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik pres kullanılır. Yenilmenin 5 ile 10 dakika arasında gerçekleşebilmesi için yükleme presinin kapasitesinin kayacın dayanımına uygun olarak seçilmesi gerekir. Bu nedenle, dayanımı yüksek olan dayanıklı kayaçlarda(mermer ve granit) düşük yük aralıkları için bölümlendirilmiş yük göstergelerine sahip yüksek kapasiteli presler kullanılır.

Kalınlıkları en az 15 mm, düzlükleri 0.005 mm duyarlılıkta ve sertlikleri en az C30 (Rockwell sertliği) olan prese monteli küresel başlık kullanılır.

Örnek 5 ile 10 dakika arasında yenilecek şekilde veya alternatif olarak saniyede 0.5-1.0 MPa'lık bir gerilim hızıyla presin "yükleme hızı grafiğinden" bir hız seçilir. Yük göstergesinin altındaki düğmeye basılarak "yükleme hız kontrol plakası"nın dönmesi için devre açılır. Yükleme kontrol vanası yavaşça döndürülerek yükleme işlemine başlanır. Örnek yenildiği anda yenilme yükü %1 duyarlılıkta okunur ve hidrolik sistem durdurulur. Örneğin tek eksenli basınç dayanımını (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (5.14)$$

Burada.

F:Yenilenme anında kaydedilen yük

A:Silindirik örneğin kesit alanı

5.2.11 Küçük boyutlu kazı seti ile karot kesme deneyleri

Küçük boyutlu kesme deney seti karot numuneler veya 10 x 10 x 20 cm boyutlarına kadar olan kayaç blokları üzerinde kesilebilirlik deneyleri yapmak için geliştirilmiştir. Bir dinamometre ve bilgisayar destekli veri toplama sistemi standart bir kama tipi keski üzerine gelen üç eksendeki kuvvetlerin kaydedilmesi için kullanılmaktadır. Kesme kuvveti ve çıkan pasa yardımı ile hesap edilen spesifik enerji değerleri, kayaçları kesilebilirliklerine göre sınıflandırmak amacıyla değerlendirilmekte ve sonuçta bu kayaç numunesini temsil eden jeolojik formasyonda kullanılacak en uygun kazı veya tünel açma makinesinin seçimi ve performans tahmini yapılabilmektedir. Bu deneyle ilgili daha geniş bilgi 4.4.2. de verilmiştir.

BÖLÜM VI

ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Yapılan bu çalışmada, Niğde ve Kayseri yöresinden alınan 3 adet krom, 3 adet demir ve 2 adet kurşun - çinko cevheri üzerinde kesme deneyleri ve diğer bazı deneyler yapılarak, bu cevherlerin kazılabilirliğinde mekanize kazının uygulanabilirliği araştırılmıştır.

6.1 Numune Hazırlama

Araziden bloklar halinde alınan numunelerden çeşitli çapta (38mm, 70mm) karotiyerler kullanılarak karot alma makinesiyle karotlar alınmıştır (Fotoğraf 6.1).



Fotoğraf 6.1 Laboratuarda kullanılan karot alma makinesi

Daha sonra karotların kesilmesi ve düzeltilmesi işlemine geçilmiştir. Düzeltme işlemi esnasında, numunelerin önce bir tarafı düzgün bir şekilde karot kesme makinesiyle kesilmiş ve daha sonra yapılacak deneyde hangi boy karot numunesi kullanılacaksa kumpasla dikkatli bir şekilde ölçülerek, karotun diğer yanı da yine karot kesme makinesinde kesilmiştir (Fotoğraf 6.2).



Fotoğraf 6.2 Laboratuarda kullanılan karot kesme makineleri

6.2 Kayaçların Temel Fiziksel Özellikleri

6.2.1 Yoğunluk

Laboratuar ortamında kurutulmuş 38 mm çap ve yaklaşık 4 cm boyundaki karotların boy ve çapları dijital kumpasla ölçülerek hacimleri bulunmuştur. Daha sonra karotların hassas terazide tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Bulunan bu ağırlık değerleri hesaplanan hacim miktarına bölünerek yoğunluk bulunmuştur.

6.2.2 Porozite ve boşluk oranı

Numuneler 24 saat boyunca 105-110°C' de etüvde bekletilmiştir (Fotoğraf - 6.3). Etüvden çıkarılan numunelerin kuru ağırlıkları yine hassas terazide tartılarak bulunmuştur. Daha sonra yine bu numuneler su dolu bir kap içinde 48 saat bekletilmiş ve hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları bulunmuştur. Bu işlemler yapıldıktan sonra porozite ve boşluk oranı değerleri hesaplanmıştır. Bulunan ortalama değerler (Çizelge - 6.1)'de, geniş bilgi (Ek - A)' da verilmiştir.



Fotoğraf 6.3 Numunelerin kurutulduğu etüv

Çizelge 6.1 Test edilen kayaların temel fiziksel özellikleri

Cevher Adı	Lokasyon	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Boşluk oranı (n)
Hematit	Menteş / Yahyalı	2.71	30.29	0.44
Kromit	Kapız ocak / Pozantı	3.49	1.99	0.02
Galen	Delikkaya	6.29	7.32	0.08
Hematit	Dünderlı	3.08	31.38	0.46
Hematit	Attepe / Yahyalı	2.40	18.63	0.23
Kromit	Güven ocak / Aladağ	2.96	8.73	0.09
Simitsonit	Derebağ	3.67	5.41	0.05
Kromit	Andızlı / Pozantı	3.23	3.38	0.03

6.3 Kayaçların Mekanik Özellikleri

6.3.1 Brazilian çekme deneyi

Disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılmıştır. Deney çapı 38mm, boyu 20 - 38mm karot numuneleri üzerinde yapılmıştır. Örnek, yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde deney aletine yerleştirilmiştir. Yükleme ekipmanı olarak nokta yük aleti kullanılmıştır. Numuneler 15-30 saniyede kırılacak şekilde bir hızla yüklenmiştir (Fotoğraf - 6.4.a). Deneyde yükleme hızı 200 N/s olarak uygulanmıştır. Deneyde kırılan numuneler Fotoğraf - 6.4.b'de gösterilmiştir. Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 6.2 'de, geniş bilgi ise (Ek - B)' de verilmiştir.



Fotoğraf 6.4 (a) Brazilian çekme dayanımı deneyinin yapılışı



Fotoğraf 6.4 (b) Brazilian çekme dayanımı deneyi sırasında kırılan numuneler

6.3.2 Nokta yük indeksi deneyi

Deney, çapı 38 mm, boyu 46 mm karot numuneleri üzerinde yapılmıştır. Çapsal olarak yapılan deneyde numuneler 10-60 saniye arasında bir hızla yüklenmiştir (Fotoğraf 6.5 a). Deneyde yükleme hızı 200 N/s olarak uygulanmıştır. Deneyde kırılan numunelere örnek Fotoğraf 6.5. b' de gösterilmiştir. Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 6.2' de, geniş bilgi ise (Ek - C)' de verilmiştir.



Fotoğraf 6.5 (a) Nokta yük dayanımının yapıldığı alet



Fotoğraf 6.5 (b) Nokta yük dayanımı sırasında kullanılan numuneler.

6.3.3 Schmidt sertlik çekici deneyi

Bu deneyde N-tipi Schmidt sertlik çekici kullanılmıştır (Fotoğraf 6.6). Deney karotlar üzerinde yapılmış ve kullanılan bu karotların yüzeylerinin düzgün ve çatlaksız olmasına özen gösterilmiştir. 70 mm çapındaki numuneler V- yataklı demir blok içine sabitlendikten sonra Schmidt çekici, numuneler üzerinde yatay düzleme dik olarak yavaşça bastırılmış ve çekicinin içindeki yaydan geri tepme sesi geldiği anda çekicinin gövdesi üzerindeki göstergesi sabitleme tuşuna basılarak geri sıçrama değeri çekicinin gövdesindeki göstergeden okunmuştur.

Aynı işlem deney örneği üzerinde birbirinden uzaklığı en az çekicinin uç çapına eşit olan 20 ayrı noktada yapılmış ve en büyük 10 değerinin ortalaması alınmıştır. Ortalama Schmidt değeri Çizelge 6.2' de gösterilmiştir. Detaylı bilgi (Ek - D)' de verilmiştir.



Fotoğraf 6.6 Deneylerde kullanılan N tipi Schmidt çekici

6.3.4 Tek eksenli basınç deneyi

Deney, çapı 38 mm, boyu 76 mm karot numuneleri üzerinde 200 tonluk preste yapılmıştır (Fotoğraf 6.7.a). Deneyde yükleme hızı 100 kg/s olarak uygulanmıştır. Bu hız preste monte edilmiş hız ayarlama düğmesi yardımı ile deney boyunca sabit tutulmak üzere ayarlanmıştır. Daha sonra yükleme işlemine başlanarak deney aşamasına geçilmiştir. Örnek yenildiği anda yenilme yükü göstergeden okunarak kaydedilmiştir.

Bu işlem bütün örnekler içinde kontrollü olarak tekrarlanmıştır. Deneyde kırılan numunelere örnek Fotoğraf 6.7.b' de gösterilmiştir. Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 6.2' de, geniş bilgi ise Ek - E' de verilmiştir.



Fotoğraf 6.7 (a) Tek eksenli basınç direnci deneyinin yapıldığı pres



Fotoğraf 6.7 (b) Tek eksenli basınç deneyinde kırılan numuneler

6.3.5 Ultrasonik hız deneyi

Bu deney, kayaç örnekleri içerisinde geçen basınç (P) dalgasının yayılma hızını bulmak amacıyla yapılmıştır. Deney, çapı 38mm, boyu 70-90mm arasında değişen karot numuneleri üzerinde yapılmıştır (Fotoğraf 6.8). Deneyi yapmaya başlamadan önce karot numuneleri düzeltme makinesinde düzeltilmiştir. Daha sonra bu karot numunelerinin alt ve üst yüzeylerine, sağlıklı ölçüm yapılması amacıyla gres yağı sürülmüştür. Deneyde numunelere yaklaşık 10 N / cm^2 basınç uygulamak için nokta yük aleti kullanılmıştır.

Deneyde 1 MHz' lik transduserler kullanılmış ve kullanılan numune ölçümlerinin ortalaması alınmıştır. Bu deneyde P dalga hızı ölçülmüştür. Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 6.2' de, geniş bilgi ise Ek - F' de verilmiştir.



Fotoğraf 6.8 (a) Ultrasonik deneyin uygulandığı



Fotoğraf 6.8 (b) Ultrasonik hız deneyinde kullanılan karotlar

6.3.6 Darbe dayanım katsayısı

Deneyde, 9.5 mm ile 3.2 mm açıklığa sahip elekler arasında kalan 100 gr numune aletin içerisine konarak (Fotoğraf 6.9) 1.8 kg'lık ağırlık numune üzerinde 30.48 cm yükseklikten 20 defa bırakılmıştır. Daha sonra numune 0.125 mm delik çaplı elekten elenerek elek üzerinde kalan malzemenin ağırlığı (Ms) belirlenmiş ve bağıntı (6.1) kullanılarak darbe dayanım katsayısı (Dk) hesaplanmıştır.

$$Dk = (Ms / Mo) \times 100 \quad (6.1)$$



Fotoğraf 6.9 Darbe dayanım testi deney aleti

Deney sonunda elde edilen değerler Çizelge 6.2 de, geniş bilgi ise Ek - G' de verilmiştir.

6.3.7 Cerchar aşındırma deneyi

Bu deneyde, çekme dayanımı 2000 N/mm², uçları 90⁰ konik şekilli keskiçler, cerchar deney aletine yerleştirildikten sonra, bu uçlar ile 70 N' luk dikey bir kuvvet yardımıyla düzgün olmayan numune yüzeyinde 1 cm' lik kazıma yapılmıştır [Fotoğraf 6.10]. Daha sonra, uçlar çıkarılarak mikroskop altında, uçlarında meydana gelen aşınma miktarı ölçülmüştür. Deney sonunda elde edilen değerler Çizelge 6.2' de, geniş bilgi ise Ek - H' de verilmiştir.



Fotoğraf 6.10. Cerchar aşınma deneyi aleti ve deneyin yapılışı

6.3.8 Küçük boyutlu kazı seti ile karot kesme deneyleri

Küçük boyutlu kesme deneyleri yapılırken, 70 mm çapında karot numuneleri kullanılmıştır. Kesme deneyinde kullanılan karotlar Fotoğraf 6.11’ de, bu karotlara ait fiziksel özellikler ise Çizelge 6.3’ te verilmiştir.

Hazırlanan bu karotlar Fotoğraf 6.12’ de olduğu gibi deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Numune sabitlendikten sonra kesme açısı -5° , temizleme açısı 5° ve genişliği 12.7 mm olan kama uçlu keski ile 5 mm kesme derinliğinde kesilmiştir.

Kesme sırasında oluşan kuvvetler (kesme kuvveti, yanal kuvvet, normal kuvvet) birim deformasyon ölçer ile donatılmış dinamometre ile bilgisayara ‘kgf’ biriminde kaydedilmiştir. Kaydedilen veri sayısı saniyede ortalama 2000 adettir.

Çizelge 6.4’ de kromit (Andızlı - Pozantı) için kaydedilen datalardan bir kısmı verilmiştir. Kaydedilen bu veriler kullanılarak daha sonra kuvvetlerin zamana göre değişimlerini gösterir grafikler çizilmiştir. Şekil 6.1’ de kromit (Andızlı - Pozantı) cevheri için çizilen grafik örnek olarak verilmiştir.



(a) Deneý için hazırlanan karotlar



(b) Deneýde kullanılmıř karot

Fotoğraf 6.11(a) (b) K¼¼k boyutlu kesme deneylerinde kullanılan karotlar

Çizelge 6.3 Kesme deneyinde kullanılan karotların fiziksel özellikleri

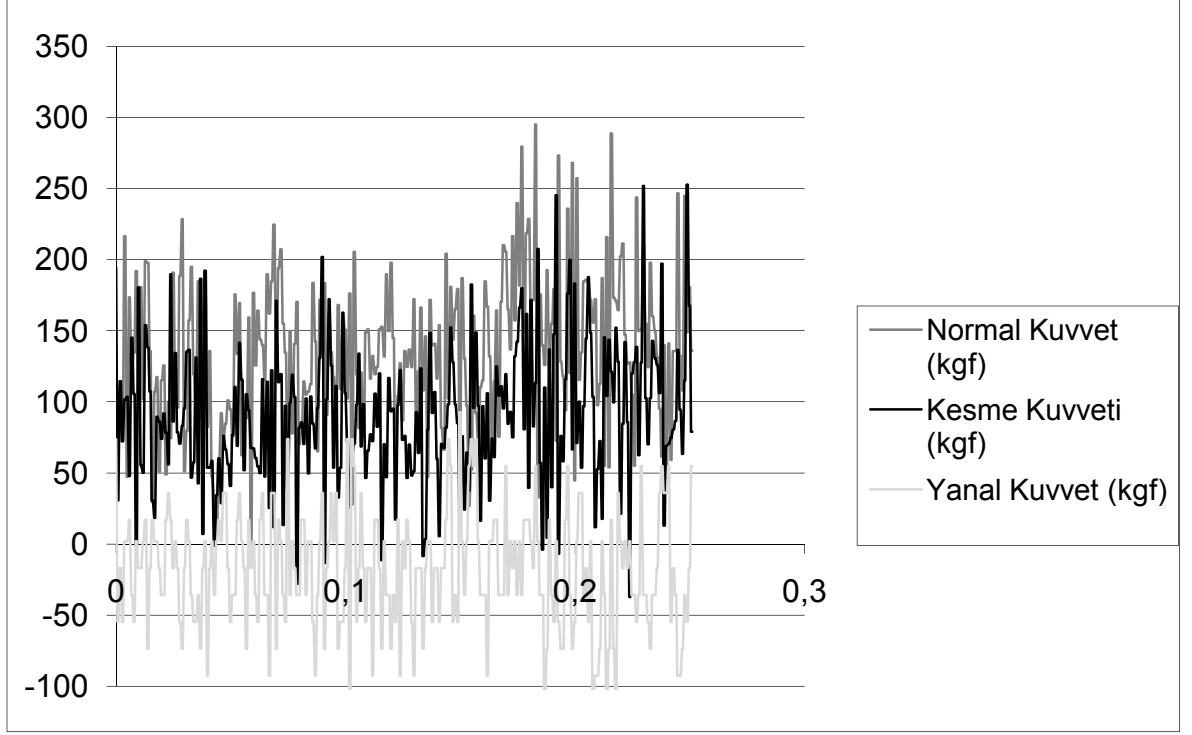
Kayaç adı	Lokasyon	Ağırlık (gr)	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	Yogunluk (gr/cm ³)
Hematit	Menteş	246.17	3.80	7.78	88.23	2.79
Simitsonit	Derebağ	2053	6.98	13.87	530.47	3.87
Hematit	Attepe	1178	7.00	12.75	490.43	2.40
Hematit	D¼¼ndarlı	1656	7.00	14.00	538.51	3.08
Kromit	Andızlı	2059	7.01	16.05	619.13	3.33
Kromit	Kapız	2409	7.02	16.72	646.82	3.72
Kromit	G¼¼ven	1997	6.91	18.00	674.68	2.96
Galen	Galen	4346	7.02	15.40	595.75	7.29



Fotoğraf 6.12. K¼¼k boyutlu kesme deneyi d¼¼zeneęi

Çizelge 6.4 Kromit (Andızlı/Pozantu) cevheri için kaydedilen verilerden bir kısmı

Zaman	Normal Kuvvet Verisi	Kesme Kuvvet Verisi	Yanal Kuvvet Verisi
0	-1.82792	2.773736	1.871287
0.00051	-1.82792	2.773736	1.871287
0.00101	6.230079	-0.99458	-17.0287
0.00151	6.230079	-0.99458	-17.0287
0.00201	2.252079	-1.17858	1.871287
0.00251	2.252079	-1.17858	1.871287
0.00301	-1.82792	-0.90626	1.871287
0.00351	-1.82792	-0.90626	1.871287
0.00401	2.252079	-1.17858	1.871287
0.00451	2.252079	-1.17858	1.871287
0.00501	2.252079	-1.17858	1.871287
0.00551	2.252079	2.501416	1.871287
0.00601	2.252079	2.501416	1.871287
0.00651	-1.82792	-0.90626	1.871287
0.00701	-1.82792	-0.90626	1.871287
0.00751	-1.82792	2.773736	1.871287
0.00801	-1.82792	2.773736	1.871287
0.00851	-1.82792	2.773736	1.871287
0.00901	-1.82792	2.773736	1.871287
0.00951	-1.82792	-0.90626	1.871287
0.01001	-1.82792	-0.90626	1.871287
0.01051	-1.82792	2.773736	1.871287
0.01101	-1.82792	2.773736	1.871287
0.01151	-1.82792	-5.50626	1.871287
0.01201	-1.82792	-5.50626	1.871287
0.01251	-1.82792	-5.50626	1.871287
0.01301	-1.82792	-5.50626	1.871287
0.01351	2.150079	-4.40226	-17.0287
0.01401	2.150079	-4.40226	-17.0287
0.01451	2.252079	-1.17858	1.871287
0.01501	2.252079	-1.17858	1.871287
0.01551	-1.82792	2.773736	1.871287
0.01601	-1.82792	2.773736	1.871287
0.01651	2.252079	-1.17858	1.871287
0.01701	2.252079	-1.17858	1.871287
0.01751	-5.01032	1.890536	16.99129
0.01801	-5.01032	1.890536	16.99129
0.01851	-1.82792	-0.90626	1.871287
0.01901	-1.82792	-0.90626	1.871287



Şekil 6.1 Kromit (Andızlı/Pozantı) cevherine ait kesme deneyinden sonra oluşan kuvvetlerin dağılımını gösterir grafik

Şekil - 6.1' de görüldüğü gibi, FC, FR, FN kuvvetleri farklı renklerde gösterilmiştir. Daha sonra bu kuvvetlerin ortalamasının bulunması işleminde, kesme işleminin başladığı ilk anda oluşan en yüksek eğri ile kesme işlemi bitmeden önce oluşan en yüksek eğri arasında kalan değerler alınmıştır. Diğer cevherler üzerinde yapılan kesme deneyleri sonucu elde edilen grafikler Ek - I' da verilmiştir.

Bir başka önemli iş ise, kesme işleminden sonra oluşan pasa miktarının tartılarak ağırlığının belirlenmesi işlemidir. Çizelge 6.5' te karotlar üzerinde yapılan kesme deneyleri sonucunda çıkan pasa miktarları verilmiştir.

Pasa miktarı hesaplanırken de dikkat edilmesi gereken en önemli husus, deney yapılırken örnek üzerinden kesme işlemiyle değil de daha farklı nedenlerden (örneğin çatlaklı oluşundan, kesme işlemine ilk başladığı andaki çarpma etkisiyle, v.s.) kopan parçaların pasa miktarına dâhil edilmemesidir. Çünkü kopan parça kesme işlemine tabi tutulmadığı için, kazılmış sayılmamakta ve eğer işleme tabi tutulursa spesifik enerjinin hesaplanmasında yanlış sonuç alınabilmektedir.

Ayrıca kesme işleminden sonra karot üzerinde kesilen kısmın boyu ölçülürken de, kesilen kısmın baş veya son kısmında kopma olursa kopan kısımda yine kesilen boyut olarak alınmamaktadır. Örneğin, simitsonit (Derebağ) için kesme deneyinden önce ortalama karot boyu 13.87 cm iken, kesilen kısmın ortalama boyu 10.67 cm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 6.5 Kesme deneylerinden sonra ölçülen değerler

Cevher Adı	Deney No.	Kesme Boyu(cm)	Kesme Derinliği (mm)	Pasa Miktarı (gr)	Ort. Pasa Mik. (gr)
Hematit (Menteş)	1	15	1.98	16.37	13.50
	2	10	1.78	12.77	
	3	11.5	2.05	11.35	
Simitsonit (Derebağ)	1	12	1.3	12.89	13.79
	2	9	1.7	13.77	
	3	11	1.53	14.72	
Hematit (Attepe)	1	10	1.67	11.13	10.57
	2	11	1.86	10.54	
	3	10.5	1.9	10.03	
Hematit (Dünderli)	1	12.5	1.4	16.55	13.01
	2	9	1.43	15.59	
	3	7	1.37	6.88	
Kromit (Andızlı)	1	14	1.16	13.42	17.59
	2	12.5	1.95	18.97	
	3	13.5	1.72	20.37	
Kromit (Kapız)	1	14.5	1.54	17.68	24.62
	2	14.5	1.98	26.26	
	3	12.5	1.82	29.93	
Kromit (Güven)	1	15	1.77	20.52	18.71
	2	14.5	1.67	16.14	
	3	14.5	1.87	19.46	
Galen (Delikkaya)	1	13	1.84	35.33	39.24
	2	13.5	1.84	40.23	
	3	14	2	42.17	

Tüm bu işlemlerden sonra kesme işlemi sonucunda ortalamaları hesaplanan kesme kuvvetleri çıkan pasa miktarına bölünerek spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan spesifik enerji değerleri Çizelge 6.2’de, geniş bilgi ise Ek - J’ de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Test edilen kayaçların mekanik özellikleri

Cevher Adı Lokasyon	SE (kWh/m ³)	UCS (MPa)	BÇD (MPa)	I _s (MPa)	R _n (%)	V _p (km/sn)	DD (%)	CAI
Hematit (Menteş)	3.5	32.37	4.85	2.70	34.6	2.83	71.30	0.14
Kromit (Kapız Ocak/ Pozantı)	7.8	66.27	7.44	3.04	37.9	5.96	72.06	0.24
Galen (Delikkaya)	2.5	19.83	2.93	1.24	15.5	3.34	38.20	0.03
Hematit (Dünderlı)	2.6	31.47	3.86	2.43	28.7	3.72	78.27	0.28
Hematit (Attepe/Yahyalı)	3.5	27.42	3.99	1.77	37.1	3.78	81.46	0.09
Kromit (Güven Ocak/ Aladağ)	2.8	7.89	1.10	0.52	29.9	2.48	40.86	0.06
Simitsonit (Derebağ)	3.2	22.35	3.99	3.06	33.3	4.76	66.70	0.27
Kromit (Andızlı/Pozantı)	5.6	58.98	5.98	3.61	35.8	5.72	68.56	0.22

SE: Spesifik Enerji, UCS: Tek Eksenli Basınç Direnci, BÇD: Brazilian Çekme Kuvveti, I_s: Nokta Yük Değeri, R_n: Schmidt Sertlik Değeri, V_p: Sonik Hız Değeri, DD: Darbe Dayanım Değeri, CAI: Cerchar Aşınma İndeksi

BÖLÜM VII

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1 Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performans Tahmini

Bu kısımda, Niğde ve Kayseri yöresinden toplanan metalik cevherlerin kazısında, mekanize kazı yönteminin seçilmesi halinde kazı işleminin performansı değerlendirilmiştir. Mekanize kazı performansının tahmini için birçok araştırmacı amprik ya da yarı - amprik modeller önermiştir. Fakat yaptığımız performans tahmini işleminde sadece 4 farklı araştırmacı tarafından kollu galeri açma makineleri için önerilen performans tahmin modelleri kullanılmıştır. Kullanılan bu formüller ve ilgili formülü öneren araştırmacılar şu şekildedir;

1 - Rostami ve diğ. [28], spesifik enerji değerini kullanarak kollu galeri açma makineleri için aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$V_{ph} = \frac{HP.n}{SE} \quad (7.1)$$

$$W_{ph} = V_{ph} \cdot \gamma \quad (7.2)$$

Burada,

V_{ph} : Üretim miktarı (m^3 / h)

HP : Kesici kafa gücü (kW veya HP)

η : Toplam system verimliliği (kollu kazıcılar için genelde 0.45 - 0.55 alınır)

SE : Spesifik enerji (kWh/m^3)

W_{ph} : Üretim miktarı (ton/h)

γ : Kazılacak malzemenin yoğunluğu (t/m^3).

2 - Gehring [30], yaptığı çalışmada kazı hızını arına dik ve arına paralel kazılar için aşağıdaki formülleri önermiştir;

$$ICR = 719 / UCS^{0.78} \quad (\text{Arına dik}) \quad (7.3)$$

$$ICR = 1739 / UCS^{1.13} \quad (\text{Arına paralel}) \quad (7.4)$$

Burada;

ICR: Net kazı hızı (m³/h)

UCS: Tek eksenli basınç direnci (MPa)

3- Thuro [31], yaptığı çalışmada kazı hızının tahmini için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$ICR = 75.7 - 14.3 \times \ln(UCS) \quad (7.5)$$

Burada;

ICR: Net kazı hızı (m³/h)

UCS: Tek eksenli basınç direnci (MPa)

4- Bilgin ve diğ. [29], yaptıkları çalışmada kollu galeri açma makinelerinin performans tahmini için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$RMCI = UCS \times (RQD / 100)^{2/3} \quad (7.6)$$

Burada;

RMCI: Kaya Kütle Kazılabilirlik İndeksi (MPa)

UCS: Tek eksenli basınç direnci (MPa)

RQD: Kaya kalite katsayısıdır (%)’ dir.

RMCI’ yi kullanarak roadheader’ ın performansı aşağıdaki bağıntıdan tahmin edilebilir:

$$ICR = 0.28 \times P \times (0.974)^{RMCI} \quad (7.7)$$

Burada.

ICR: Net kazı hızı (m³/h)

P: Makine gücü (kW)’ dür.

Yukarıda verilen formüller kullanılarak her bir metalik cevher için 4 farklı formüle göre ayrı ayrı performans tahmini işlemleri yapılmıştır. Aşağıda örnek olarak hematit (Menteş) cevheri için yapılan işlemler açık bir şekilde verilmiştir.

Öncelikle hesaplamalar yapılmadan önce bütün cevherler için kazı işlemlerinin günde 3 vardiya ve her bir vardiya çalışma süresi 8 saat ve yıllık üretim yapılan gün sayısı da 270 gün olarak düşünülmüştür. Buna göre, Menteş / Yahyalı bölgesinden alınan hematit cevheri için yapılan performans tahmin işlemleri şu şekildedir;

Rostami, J., ve diğ. önerdikleri formüle göre;

$$V_{ph} = \frac{HP \cdot n}{SE}$$

$$W_{ph} = V_{ph} \cdot \gamma$$

Burada;

HP = 100 kW (Tüm cevherler için aynı seçilmiştir.)

$$\eta = 0.50$$

$$SE = 3.5 \text{ kWh/m}^3$$

$$\gamma = 2.71 \text{ t/m}^3$$

Değerler formülde yerine yazılırsa;

$$V_{ph} = \frac{HP \times n}{SE} = \frac{100 \times 0.50}{3.5} = 14.28 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$W_{ph} = V_{ph} \times p = 14.29 \times 2.71 = 38.71 \text{ ton/h}$$

$$270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 38.73 \text{ ton/h} = \mathbf{250\ 868.6 \text{ t/yıl}}$$

Gehring' in önerdiği formüle göre;

$$ICR = 719 / UCS^{0.78} \quad (\text{Arına dik})$$

$$ICR = 1739 / UCS^{1.13} \quad (\text{Arına paralel})$$

Burada;

$$UCS \text{ (Tekeksenli basınç direnci)} = 32.37 \text{ MPa}$$

Değerler formülde yerine yazılırsa;

$$\text{Arına dik: ICR} = 719 / \text{UCS}^{0.78} = 719 / 32.37^{0.78} = 47.73 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 47.73 \text{ ton/h} = \mathbf{309309.024 \text{ m}^3/\text{yıl}}$$

$$\text{Arına paralel: ICR} = 1739 / \text{UCS}^{1.13} = 1739 / 32.37^{1.13} = 34.18 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 34.18 \text{ ton/h} = \mathbf{221520.20 \text{ m}^3/\text{yıl}}$$

Thuro' nun önerdiği formüle göre;

$$\text{ICR} = 75.7 - 14.3 \times \ln(\text{UCS})$$

Burada;

$$\text{UCS (Tekeksenli basınç direnci)} = 32.37 \text{ MPa}$$

Değerler formülde yerine yazılırsa;

$$\text{ICR} = 75.7 - 14.3 \times \ln(\text{UCS}) = 75.7 - 14.3 \times \ln(32.37) = 25.98 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 25.98 \text{ ton/h} = \mathbf{168321.77 \text{ m}^3/\text{yıl}}$$

Bilgin ve diğ. önerdikleri formüle göre;

$$\text{RMCI} = \text{UCS} \times (\text{RQD} / 100)^{2/3}$$

Burada;

$$\text{UCS (Tek eksenli basınç direnci)} = 32.37 \text{ MPa}$$

RQD değeri, performans tahminlerinde en kötü kazı durumunun düşünülmesi gerektiğinden 100 olarak kabul edilmiştir.

Değerler formülde yerine yazılırsa;

$$\text{RMCI} = \text{UCS} \times (\text{RQD} / 100)^{2/3} = 32.37 \times (100 / 100)^{2/3} = 32.37 \text{ MPa}$$

RMCI değeri kollu galeri açma makinesinin performans tahmini için aşağıdaki formülde yerine yazılırsa;

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

Burada:

$$P = 100 \text{ kW}$$

$$RMCI = 32.37 \text{ MPa}$$

$$ICR = 0.28 \times P \times (0.974)^{RMCI} = 0.28 \times 100 \times (0.974)^{32.37} = 11.94 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$270 \text{ gün/yıl} \times 3 \text{ vardiya/gün} \times 8 \text{ saat/vardiya} \times 11.94 \text{ m}^3/\text{h} = 77336.85 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Dört farklı araştırmacının önerdiği formüllerden hesaplanan yıllık üretim miktarları Çizelge - 7.1' de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Önerilen performans tahmin yöntemlerine göre elde edilen sonuçlar

Cevher Adı (Lokasyon)	Yoğunluk (gr/cm ³)	UCS (MPa)	SE (kWh/m ³)	Gehring (Arına dik) (m ³ /yıl)	Gehring (Arına paralel) (m ³ /yıl)	Thuro (m ³ /yıl)	Rostami (ton/yıl)	Bilgin (m ³ /yıl)
Hematit (Menteş)	2.71	32.37	3.5	309309.02	221520.20	168321.77	250868.60	77336.85
Kromit (Kapız/ /Pozantı)	3.49	66.27	7.8	176879.16	98579.45	101927.53	144969.20	31661.76
Galen (Delikkaya)	6.29	19.83	2.5	453306.74	385389.54	213730.48	815184.00	107611.10
Hematit (Dünderli)	3.08	31.47	2.6	316187.31	228692.16	170934.65	383815.40	79192.38
Hematit (Attepe/ Yahyalı)	2.4	27.42	3.5	352055.62	267213.48	183700.23	222171.40	88108.87
Kromit (Aladağ)	2.96	7.89	2.8	930216.06	1091886.70	299129.60	342514.30	147388.40
Simitsonit (Derebağ)	3.67	22.35	3.2	412921.43	336659.58	202645.05	371587.50	100699.10
Kromit (Andızlı/ Pozantı)	3.23	58.98	5.6	193710.95	112454.85	112726.49	186878.60	38365.45

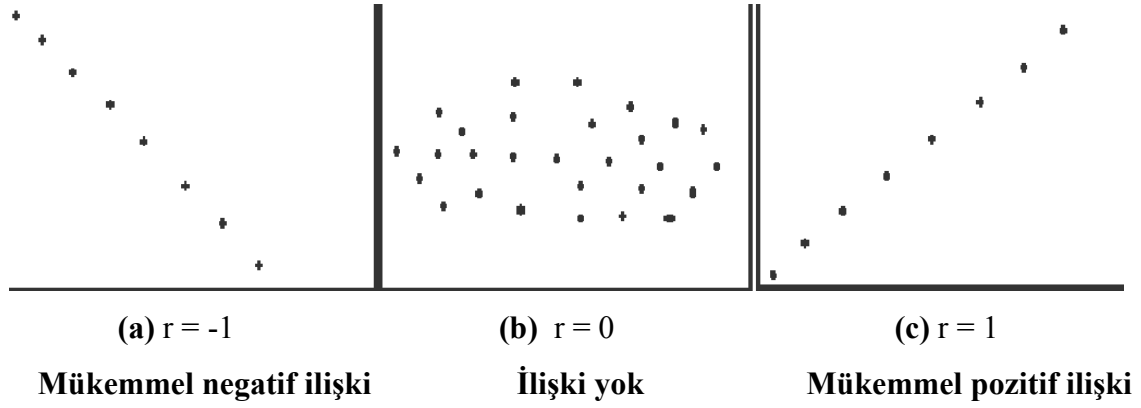
Yapılan hesaplamalara göre, Rostami ve diğ. [28]' in formülü toplam sistem verimi içerdigi, diğ er formüllerin toplam sistem verimini içermeyip net üretim değerini verdiği göz önüne alındığında Rostami ve diğ.' in formülünden elde edilen üretim değerlerini diğ er üretim değerleriyle karşılaştırmak doğru olmayacaktır. Rostami ve diğ. dışındaki üretim değerlerine % 50 toplam sistem verimi uygulansa bile, dört farklı formülden elde edilen üretim değerleri arasında bir uyum söz konusu değildir. Bunun nedeni, Rostami ve diğ.' in önerdiği formül dışındaki formüllerin amprik olması ve dolayısıyla farklı özellikteki makineler ve farklı özellikteki kayaçlar için geliştirilmiş olmasıdır. Belirli özellikteki makineye veya kayaç şartlarına bağlı olmayan Rostami ve diğ.' in formülünden elde edilen üretim değerlerinin daha doğruya yakın olduğu düşünölmektedir.

Uygulamalarda ortalama 100 MPa basınç direncine sahip kayaçlar, kollu galeri açma makineleri ile kazılabilmektedir. Burada incelenen cevherlerin en yüksek basınç direnci 66.27 MPa' dır. Sadece cevherlerin basınç direnci değerine göre, bu cevherlerin kollu galeri açma makineleri ile kazılabileceği açıktır. Yukarıda yapılan hesaplamalarda da seçilen bir kollu galeri açma makinesinin üretim kapasitesi hesaplanmış ve bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir

7.2 Korelasyon Analizi

Saçılım grafikleri iki değişken arasındaki ilişki hakkında genel bir bilgi edinmemizi sağlar. Ancak, ilişkinin miktarı konusunda yorum yapabilmek için korelasyon katsayısının hesaplanması gerekmektedir.

Korelasyon katsayısı (r), iki değişken arasındaki ilişkinin ölçüsüdür ve -1 ve +1 arasında değişim gösterir [68].



Şekil 7.1 Değişkenler arasındaki ilişkilere göre 'r' değerinin değişimi [68]

Yukarıdaki saçılım grafikleri;

- (a) değişkenlerden birisinin artmasına bağlı olarak diğerinde azalma olan doğrusal ilişki olduğu,
- (b) iki değişken arasında ilişki olmadığı
- (c) değişkenlerden birisindeki artışa bağlı olarak diğerinde de artış olan doğrusal ilişki olduğu şeklinde açıklanır.

Korelasyon katsayısının gücü ile ilgili olarak Çizelge 7.2' de verilen tanımlamalar önerilmiştir:

Çizelge 7.2 Korelasyon katsayısına göre değişkenler arasındaki kuvvet derecesi [69]

Korelasyon Katsayısı	Değişken Arasındaki İlişkinin Kuvvet Derecesi
0 - 0.300	Korelasyon İlişkisi Yok
0.310 - 0.450	Çok Zayıf Pozitif Korelasyon
0.451 - 0.600	Zayıf Pozitif Korelasyon
0.601 - 0.850	Kuvvetli Pozitif Korelasyon
0.851 - 1000	Çok Kuvvetli Pozitif Korelasyon

Korelasyon katsayısı, örneklem büyüklüğünden etkilenmektedir. Küçük hacimli örneklerde, elde edilen korelasyon katsayısı büyük bile olsa istatistiksel olarak önemli bir değer olmayabilir. Dolayısıyla, elde edilen değer için hipotez testinin yapılması gereklidir.

7.2.1 Kısmi korelasyon katsayıları

Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkiyi gösterirken diğer değişkenlerin etkilerini dikkate almaz. Ancak, bazen geriye kalan değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldıktan sonra, iki değişken arasındaki ilişkinin miktarı incelenmek istenebilir. Diğer bir deyişle, ikincil ilişkilerin etkisi ortadan kaldırıldıktan sonra iki değişken arasındaki gerçek ilişki incelenmek istenebilir. Bu inceleme kısmi korelasyon katsayıları yardımı ile yapılır [69].

7.2.2 Regresyon analizleri

Regresyon analizi, bilinen bulgulardan, bilinmeyen gelecekteki olaylarla ilgili tahminler yapılmasına izin verir. Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir. Değişkenler arasındaki ilişki belirlendikten sonra, bağımsız değişken(ler)in skoru bilindiğinde bağımlı değişkenin skoru tahmin edilebilir [68].

Bağımlı Değişken (y)

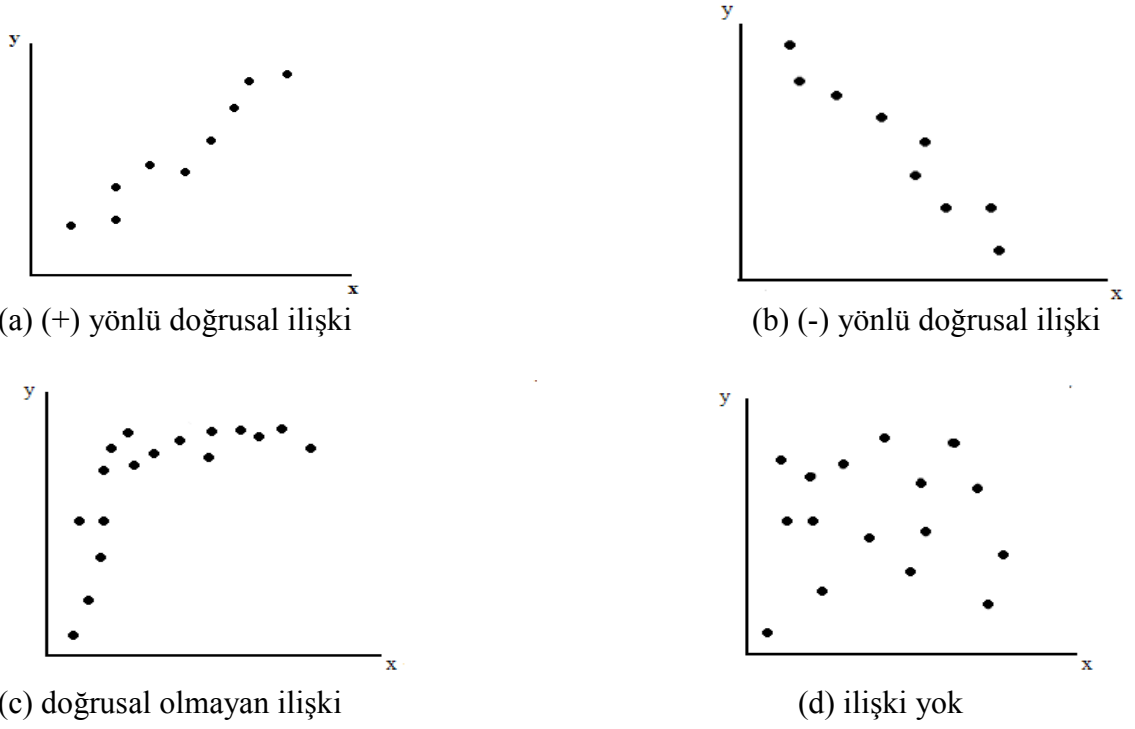
Bağımlı değişken, regresyon modelinde açıklanan ya da tahmin edilen değişkendir. Bu değişkenin bağımsız değişken ile ilişkili olduğu varsayılır [68].

Bağımsız Değişken (x)

Bağımsız değişken, regresyon modelinde açıklayıcı değişken olup; bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılır.

- Değişkenler arasında doğrusal ilişki olabileceği gibi, doğrusal olmayan bir ilişki de olabilir. Bu nedenle, saçılım grafiği yapılmadan (ilişki yok /doğrusal ilişki var/doğrusal olmayan ilişki var) ve değişkenler arasında korelasyon varlığına rastlanmadan regresyon analizine karar verilmemesi gerekir.

- Bu bilgiler doğrultusunda, tek/çok değişkenli doğrusal regresyon analizlerinin yanı sıra, tek/çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon analizleri de mevcuttur.



Şekil 7.2 Değişkenler arasındaki ilişkilerin değişimi [68]

Bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi açıklayan tek değişkenli regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$y = a + bx \quad (7.6)$$

Burada;

y = Bağımlı değişkenin değeri

a = Regresyon doğrusunun kesişim değeri (Sabit değer)

b = Regresyon doğrusunun eğimi

x = Bağımsız değişkenin değerini göstermektedir.

Determinasyon Katsayısı (R^2)

Belirtme katsayısı, doğrusal modelin uyum iyiliğinin en iyi ölçüsüdür. Söz konusu katsayı, bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken(ler) tarafından açıklandığını ifade eder. Bu durum, regresyon modelinin açıklayıcılık gücünün iyi bir göstergesidir.

7.2.3 Çok katlı regresyon analizi

Bir bağımlı değişkene karşılık bir bağımsız değişkenin iki veya daha fazla dereceden ilişkisine çok katlı regresyon ve korelasyon analizi denir. Serpilme diyagramında noktalar bir parabol veya daha kompleks denklemlerle ifade edilebilecek eğri etrafında toplanmaktadır. Genel formülü aşağıdaki şekildedir.

$$Y = a + b_1 * x + b_2 * x^2 + b_3 * x^3 \dots\dots\dots + b_n * x_n \quad (7.7)$$

Çok katlı regresyon analizinde bir çok terim kullanılmaktadır. Kullanılan bu terimler ve açıklamaları aşağıda verilmiştir [70] ;

Determinasyon katsayısı (R^2), bağımlı değişkenin (Y) varyansının toplam varyansa oranıdır.

Standart hata ve standart sapma, gözlenen değerlerin tahmin edilen regresyon doğrultusundan farklarının genel ve ortalama ölçüsüdür.

Güven düzeyi, hatanın veya bir tahminin isabet derecesinin belirlenmesine denir. Yüksek güven düzeyleri büyük güven aralıkları meydana getiriler fakat bu hassas değildir.

Güven aralıkları, tahminin hangi değer aralığında olduğunu gösteririler. Güven aralıklarının alt ve üst limitleri ise güven sınırları olarak tanımlanır.

Anlamlılık düzeyi, belirli bir limitin altında kalması gereken ve sıfır hipotezinin doğrulayan bir değerdir.

Student dağılımı, t dağılımı olarakta adlandırılan bu dağılımda serbestlik derecesi (N - k) ve güven düzeyi parametre olarak kullanılmaktadır. Burada 'N' örnek sayısı, 'k' modeldeki bağımsız değişken sayısıdır.

F dağılımında payın serbestlik derecesi (k - 1) ve paydanın serbetlik derecesi (N - k) olmak üzere iki parametre kullanılır

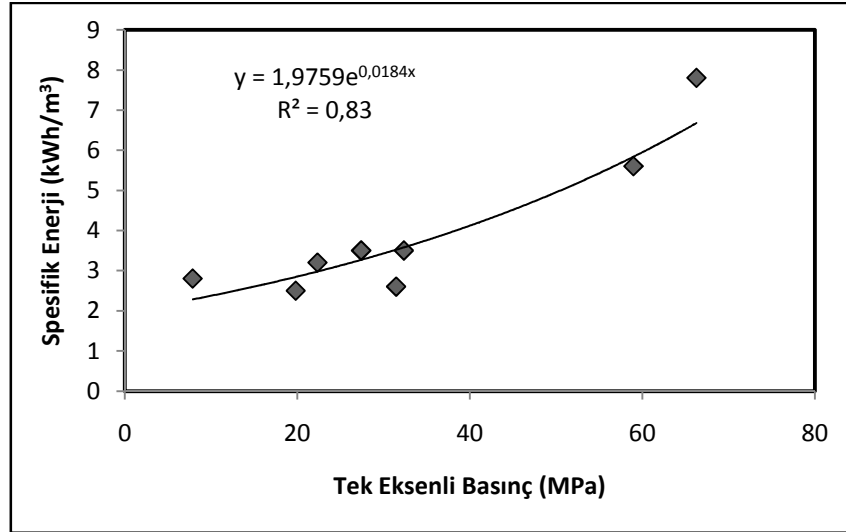
Karşılaştırma, gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farktır. Eğer regresyon modeli doğru ise karşılaştırmalar sıfır doğrusu etrafında rastgele dağılırlar [65].

7.3 Spesifik Enerji Değerleri ile Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişiler

Bu bölümde, yapılması diğer deneylere göre daha güç olan kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin, diğer deney sonuçlarından tahmin edilebilirliği araştırılmıştır.

7.3.1 Spesifik enerji - tek eksenli basınç direnci ilişkisi

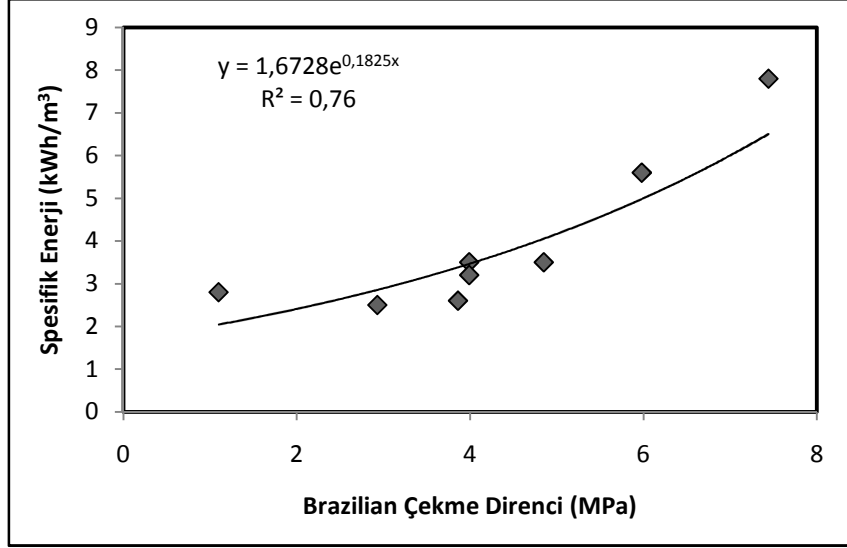
Kesme deneyleri sonucu elde edilen spesifik enerji değerleri ile tek eksenli basınç deneyi sonunda elde edilen veriler değerlendirilmiş ve bu iki deney sonuçları arasında eksponansiyel bir ilişki bulunmuştur. Bulunan korelasyon katsayısı (R^2) ise 0.83' tür. Elde edilen grafik Şekil 7.3.' te verilmiştir.



Şekil 7.3 Spesifik enerji - tek eksenli basınç arasındaki ilişki

7.3.2 Spesifik enerji - Brazilian çekme direnci ilişkisi

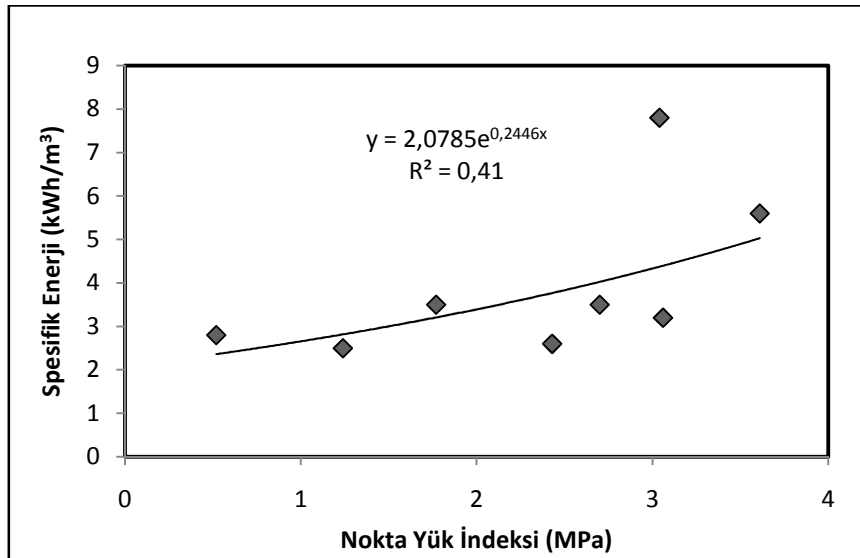
Spesifik enerji değerleri ile Brazilian çekme direnci değerleri arasındaki ilişki incelenmiş ve bu iki deney sonuçları arasında eksponansiyel bir ilişki bulunmuştur ve korelasyon katsayısı (R^2) 0.76'dır. Elde edilen grafik Şekil 7.4' te verilmiştir.



Şekil 7.4 Spesifik enerji - Brazilian çekme direnci arasındaki ilişki

7.3.3 Spesifik enerji - nokta yük indeksi ilişkisi

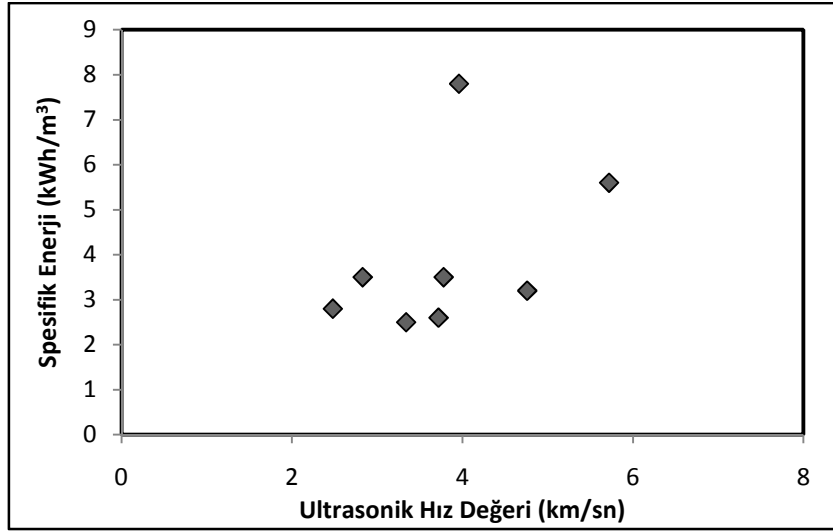
Spesifik enerji ile nokta yük indeksi arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Bu iki parametre arasında eksponansiyel bir ilişki bulunmuştur. Korelasyon katsayısı (R^2) 0.41 olup ilgili grafik Şekil 7.5' te verilmiştir.



Şekil 7.5 Spesifik enerji - nokta yük indeksi arasındaki ilişki

7.3.4 Spesifik enerji - P dalga hızı değeri ilişkisi

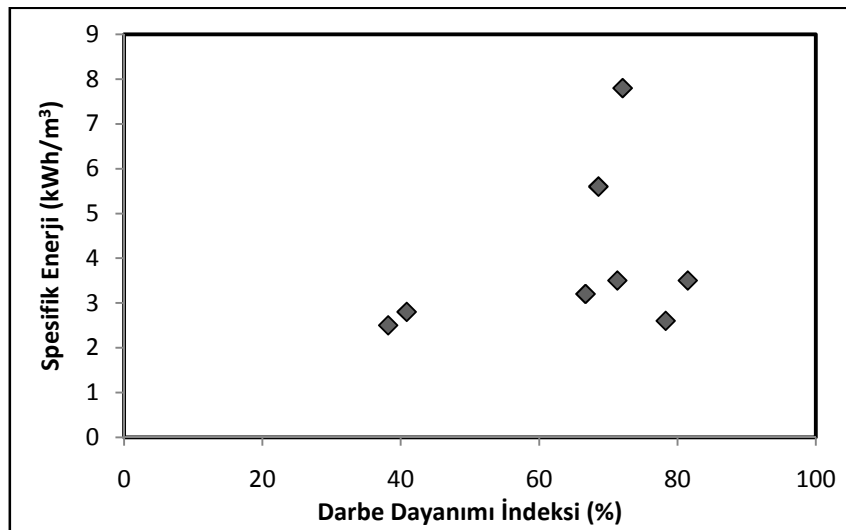
Spesifik enerji ile P dalga hızı değeri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda bu iki parametre arasında ilişki bulunamamıştır. İlgili grafik Şekil 7.6' da verilmiştir.



Şekil 7.6 Spesifik enerji ile P dalga hızı değeri arasındaki ilişki

7.3.5 Spesifik enerji - darbe dayanım indeksi ilişkisi

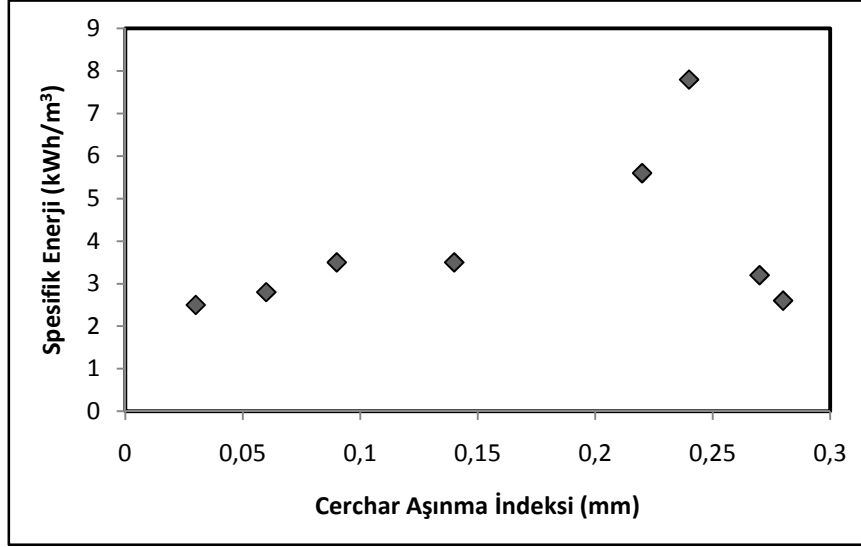
Spesifik enerji değerleri ile darbe dayanım deneyi sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş ve bu iki parametre arasında bir ilişki bulunamamıştır. İlgili grafik Şekil 7.7' de verilmiştir.



Şekil 7.7 Spesifik enerji ile darbe dayanım indeksi arasındaki ilişki

7.3.6 Spesifik enerji - Cerchar aşınma indeksi ilişkisi

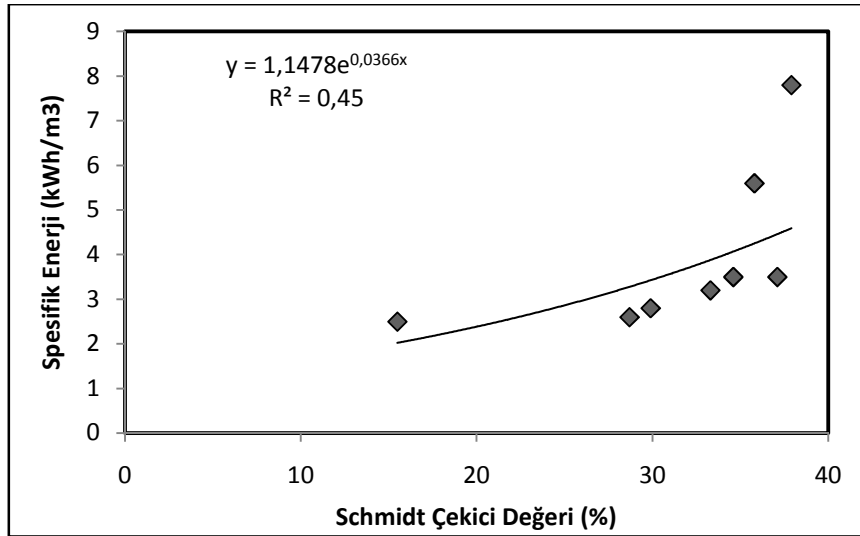
Spesifik enerji ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki değerlendirilmiş fakat bu iki parametre arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. İlgili grafik Şekil 7.8' de verilmiştir.



Şekil 7.8 Spesifik enerji ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki

7.3.7 Spesifik enerji - Schmidt sertlik çekici ilişkisi

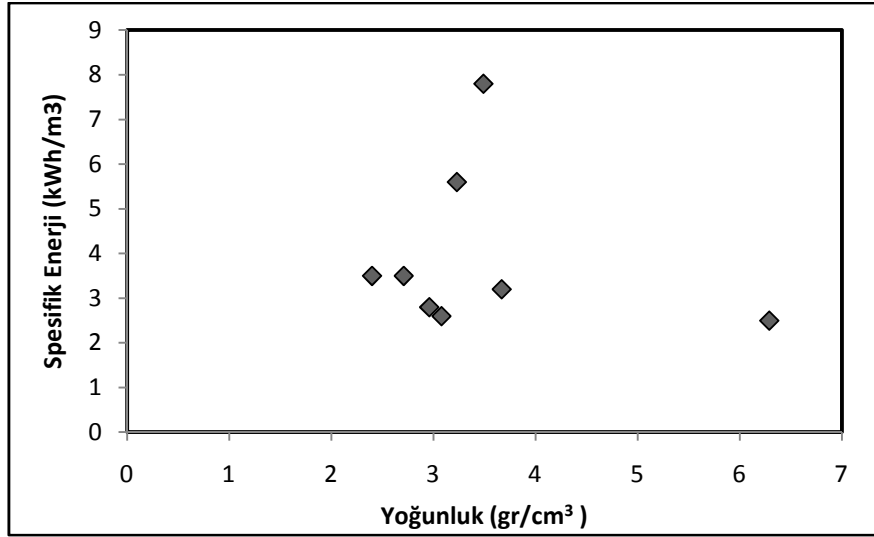
Spesifik enerji ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve bu iki parametre arasında eksponansiyel bir ilişki bulunmuştur. Korelasyon katsayısı (R^2) 0,45'tir. Elde edilen grafik Şekil 7.9' da verilmiştir.



Şekil 7.9 Spesifik enerji ile Schmidt sertliği arasındaki ilişki

7.3.8 Spesifik enerji - yoğunluk ilişkisi

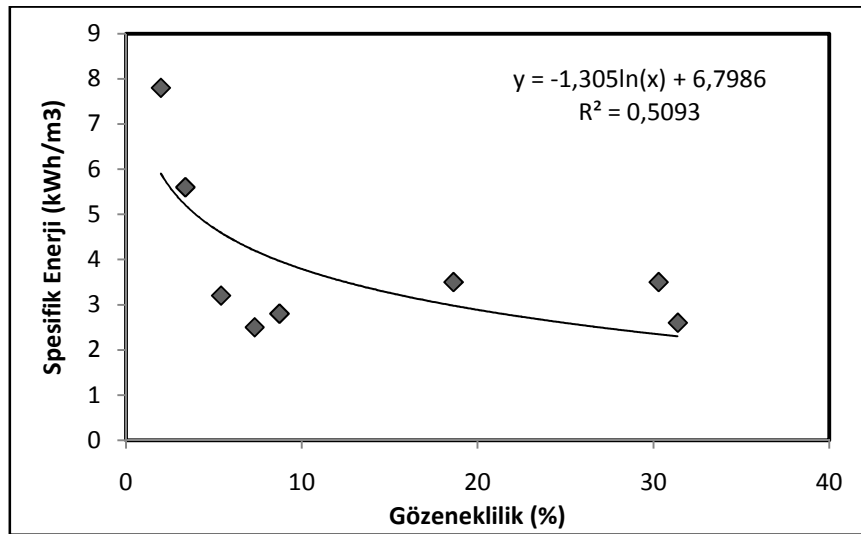
Spesifik enerji ile yoğunluk arasındaki ilişki değerlendirilmiş fakat bu iki parametre arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Elde edilen grafik Şekil - 7.10' da verilmiştir.



Şekil 7.10 Spesifik enerji ile yoğunluk arasındaki ilişki

7.3.9 Spesifik enerji - porozite ilişkisi

Spesifik enerji ile porozite arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve bu iki parametre arasında logaritmik bir ilişki bulunmuştur. Korelasyon katsayısı (R^2) 0.5093' tür ve ilgili grafik Şekil 7.11' de verilmiştir.



Şekil 7.11 Spesifik enerji ile porozite arasındaki ilişki

7.4 Çoklu Regresyon Analizi Yöntemiyle SE Değerinin Tahmin Edilmesi

Basit regresyon analizinde SE ile UCS ve Brazilian çekme değeri arasında çok iyi bir korelasyon bulunmuştur. Bununla birlikte SE' i tahmin etmek amacıyla daha yüksek korelasyon katsayılarına sahip çoklu regresyon modelleri elde etmek amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

İlk aşamada, kullanım kolaylığı bakımından tek eksenli basınç direnci deneyi (UCS) ve Brazilian çekme deneyi dışında kalan deneylerin tümü kullanılarak çoklu regresyon analiziyle istatistiksel bakımdan en iyi model aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$SE = -1.75I_s + 3.31V_p - 0.21DD + 0.66R_n + 2.28\gamma + 0.32n \quad (R^2 = 0.99) \quad (7.8)$$

Burada, R_n = Schmidt çekici değeri, V_p = P-dalga hızı (km/s), I_s = Nokta yük direnci (MPa), n = Porozite (%), DD = Darbe dayanım direnci ve γ = yoğunluk (g/cm^3)' tur.

(7.8) modeli elde edilirken regresyon analizinde kullanılan 7 bağımsız değişkenden 6' sı (Cerchar aşındırıcılık indeksi hariç) en iyi modele girmiştir. $R^2 = 0.99$ olmasına rağmen, 6 değişkenin elde edilmesi bazı durumlarda zor olacağı için 7.8 formülünün kullanımı pratik olmayabilir. Bu nedenle, dolaylı ve basit deneyleri içeren ve kullanımı kolay formüllerin geliştirilmesi 2 veya 3 değişkenli çoklu regresyon modelleri elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu modeller aşağıda verilmiştir.

$$SE = -0.45 - 0.09n + 1.11 V_p \quad (R^2 = 0.54) \quad (7.9)$$

$$SE = -15.20 + 1.86 \gamma + 0.40R_n \quad (R^2 = 0.63) \quad (7.10)$$

$$SE = -0.07 - 0.19 \gamma + 1.16V_p \quad (R^2 = 0.56) \quad (7.11)$$

$$SE = -1.99 + 0.06R_n + 1.00V_p \quad (R^2 = 0.59) \quad (7.12)$$

$$SE = -0.94 - 4.97C + 1.41V_p \quad (R^2 = 0.59) \quad (7.13)$$

$$SE = -0.58 - 0.004DD + 1.18V_p \quad (R^2 = 0.53) \quad (7.14)$$

$$SE = -0.82 + 1.31V_p - 0.25I_s \quad (R^2 = 0.53) \quad (7.15)$$

$$SE = -2.52 - 0.52I_s + 1.28V_p + 0.08R_n \quad (R^2 = 0.55) \quad (7.16)$$

$$SE = -1.58 + 1.41V_p + 0.01DD - 6.39C \quad (R^2 = 0.50) \quad (7.17)$$

$$SE = -1.57 + 1.05V_p - 0.04DD + 0.12R_n \quad (R^2 = 0.58) \quad (7.18)$$

$$SE = 2.33 + 1.32V_p - 0.03DD - 0.48 \gamma \quad (R^2 = 0.50) \quad (7.19)$$

$$SE = -1.38 + 0.82V_p + 0.07R_n - 0.03n \quad (R^2 = 0.52) \quad (7.20)$$

$$SE = -10.47 + 1.17 \gamma + 0.47V_p + 0.27R_n \quad (R^2 = 0.59) \quad (7.21)$$

$$SE = -2.03 + 1.68V_p - 7.44C + 0.03n \quad (R^2 = 0.51) \quad (7.22)$$

$$SE = -2.69 + 1.29V_p + 0.08R_n - 6.80C \quad (R^2 = 0.62) \quad (7.23)$$

Yukarıda verilen modellerden korelasyon katsayısı 0.59 ve üzeri olanlar kabul edilebilir. Ancak, UCS (tek eksenli basınç dayanımı) ve Brazilian çekme dayanımı deneyleri ile SE (spesifik enerji) arasındaki korelasyon katsayısı çok iyi olduğu için daha doğru tahmin istenildiğinde bu modellerin kullanımı daha uygundur.

BÖLÜM VIII

TARTIŞMA

Kollu galeri açma makinelerine ait performans tahmini ile ilgili tartışma Bölüm 7.1' de yapılmıştır. Burada regresyon analizleri ile ilgili tartışma yapılacaktır.

Bölüm 7.4' te geliştirilmiş olan 2 değişkenli eşitliklerle 3 değişkenli eşitlikler arasında korelasyon katsayısı bakımından önemli bir fark bulunmamaktadır sadece Bölüm 7.3' te spesifik enerji - tek eksenli basınç direnci ve spesifik enerji - Brazilian çekme dayanımı deneyi arasındaki korelasyon katsayısı daha yüksektir.

Bu bölümde ise 7.4 ve 7.3' te verilen 2 ve 3 değişkenli modellerin güvenilirliklerini test etmek amacıyla t- ve F-testi uygulanmıştır. Burada, korelasyon katsayısı kabul edilebilir değer olan $R^2 = 0.59$ ' un üzerinde olan modeller değerlendirilmiştir. t-testine göre, modelin geçerli olabilmesi için hesaplanan t-değerinin tablodan bulunan t-değerinden büyük olması gerekmektedir. F-testine göre de, modelin geçerli olabilmesi için hesaplanan F-değerinin tablodan bulunan F-değerinden büyük olması gerekmektedir.

Çizelge 8.1' e bakıldığında, modeller için hesaplanan F-değeri tablodan bulunan F-değeri ile kıyaslandığında test sonucu elde edilen F-değerlerinin tablodan bulunan F-değerinden büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bütün modeller F-testine göre geçerlidir. Ancak, Çizelge 8.1' de görüldüğü gibi modellerdeki bazı değişkenlerin hesaplanan t-değeri tablodan bulunan t-değerinden küçüktür. Bu nedenle, bu modeller t-testi bakımından şüpheli durumdadır.

Çizelge 8.1' de görüldüğü gibi basit regresyon modelleri ile çoklu regresyon modellerinden (7.8) t ve F testinden geçmiştir. (7.10) eşitliği ise t testinden geçememiştir. Ancak, sabit ve yoğunluğa ait test sonucu elde edilen değerler tablodan bulunan t değerinden az bir miktar düşüktür. Model, korelasyon katsayısının iyi olması ve F testinden geçmesi nedeniyle geçerlidir denilebilir. 6 değişken içermesine rağmen çok iyi bir tahmin için (7.8) eşitliği kullanılabilir. UCS ve Brazilian çekme direnci değerlerinin mevcut olması durumunda basit regresyon modelleri de iyi sonuç verecektir. Çok iyi olmasa da, iyi bir korelasyon katsayısına sahip, kolay deneyleri içeren (7.10) eşitliği ise, SE tahmininde basit ve hızlı bir şekilde güvenle kullanılabilir.

Çizelge 8.1 2 ve 3 değişkenli eşitliklerin t- ve F-testi sonuçları

Eşitlik No	Bağımsız değişkenler	t-test	t-tablo	F-test	F-tablo
SE-UCS	Sabit Tek eksenli basınç direnci	1.96 5.37	± 1.89	28.84	5.32
SE-BCD	Sabit Çekme direnci	2.42 4.19	± 1.89	17.57	5.32
(7.8)	Sabit Nokta yük değeri P-dalga hızı Schmidt çekici değeri Darbe dayanım değeri Yoğunluk Porozite	-4.80 -3.95 5.40 5.45 -4.66 3.79 4.75	± 1.94	19.80	3.58
(7.10)	Sabit Yoğunluk Schmidt çekici değeri	-2.75 2.77 3.73	± 2.91	7.23	4.46
(7.12)	Sabit P-dalga hızı Schmidt çekici değeri	-1.13 2.61 1.02	± 2.91	6.55	4.46
(7.13)	Sabit P-dalga hızı Cerchar	-0.66 2.99 -0.74	± 2.91	5.79	4.46
(7.21)	Sabit P-dalga hızı Schmidt çekici değeri Yoğunluk	-1.16 0.72 1.19 0.93	± 2.35	4.52	4.07
(7.23)	Sabit P-dalga hızı Schmidt çekici değeri Cerchar	-1.43 2.82 1.30 -1.10	± 2.35	4.96	4.07

BÖLÜM IX

SONUÇLAR

Niğde ve Kayseri yöresindeki metalik cevherlerin mekanize olarak kazılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, Niğde ve Kayseri bölgesinden 3 kromit, 3 demir ve 2 kurşun - çinko olmak üzere toplam 8 adet metalik cevher numunesi alınmıştır. Bu metalik cevherlerin bazıları (Pozantı bölgesinden alınan kromit cevherleri gibi) halen üretim yapılan ocaklardan, bazıları ise işletilmeyen ocaklardan toplanmıştır.

Deney sonuçlarına göre incelenen cevherlerin kollu galeri açma makineleri ile kazılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, küçük ölçekli kesme deneyinden elde edilen spesifik enerji değerleri kullanılarak, dört farklı araştırmacıya ait formüller yardımıyla seçilen bir galeri açma makinesi için tahmini yıllık üretim miktarları hesaplanmıştır. Farklı formüllerden elde edilen üretim miktarları arasında uyum olmadığı görülmüş ve amprik olmayan formülden hesaplanan değerlerin daha doğruya yakın olabileceği sonucuna varılmıştır.

Daha sonra, kazılabilirliği tahmin etmede en önemli parametre olan spesifik enerjinin diğer kayaç özelliklerinden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Basit regresyon analizinde, en iyi korelasyonlar spesifik enerji - tek eksenli basınç dayanımı ve spesifik enerji - Brazilian çekme dayanımı arasında bulunmuştur. Spesifik enerji ile diğer kayaç özellikleri arasında ise ya korelasyon bulunamamış, ya da orta veya zayıf korelasyonlar bulunmuştur.

Ayrıca, spesifik enerji tahmini için basit ve dolaylı deneylerden yüksek korelasyonlu formüller elde etmek amacıyla çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Çoklu regresyondan elde edilen en iyi model çok yüksek korelasyon katsayısına ($R^2 = 0.99$) sahiptir, fakat 6 değişken içermektedir. Alternatif olarak, iyi bir korelasyon katsayısına sahip ($R^2 = 0.63$), sadece Schmidt çekici değeri ve poroziteyi içeren, kullanımı kolay bir model geliştirilmiştir. İstatistiksel açıdan güvenilir olan bu modelin spesifik enerji tahmininde hızlı ve kolay şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Pakes, G., Selection of Methods, World Tunneling, 4, no: 9, November, 1991.
- [2] Eskikaya, Ş., Ereğli Kömür İşletmesi Kozlu ve Armutçuk Bölgelerinde hazırlık galerilerinin galeri açma makinaları ile açılması ve en uygun makina tiplerinin tespiti, *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: 542, 1981.
- [3] Bamford, Notes of the Workshop held at Montreal on Rock Boreability, Cuttability and Drillability, International Society for Rock Mechanics, 1987.
- [4] Megaw, T., M., Bartlett, J., V., Tunnels, planning, design, construction, Volume 1, Ellis Horwood Ltd, Chichester, 1981.
- [5] Shepherd, R., Withers, A.G., Mechanised Cutting and Loading of Coal, Othams Press Ltd., London, 1960.
- [6] Robbins, J., R., Mechanized Tunnelling Progress and Expectation, Tunnelling Symposium, London, 1976.
- [7] Muirhead, I. R., Glassop, L. G., Hard Rock Tunnelling Machines, Trans. Inst. Min. And Met., London, Vol: A77, 1968.
- [8] Hekimoğlu, O. Z., Ayhan, M., Tiryaki, B., An Appraisal of Mechanically Rock and Coal Excavating Machines Employed in Turkey, 1998.
- [9] The Robbins Company, Robbins Tunnel Machine Projects, Seattle, 1991.
- [10] Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, w3.karaelmas.edu.tr/.../teknik_fotoğraflar.htm
- [11] Tüneller, Tünel Açım Teknikleri, Tünel Açımında Kullanılan Makineler, Kullanıldığı Yerler, www.platin.s5.com/tunel/odev3.html
- [12] Copur, H., Rostami, J., Özdemir, L., Bilgin, N., Studies on Performance Prediction of Roadheaders Based on Field Data in Mining and Tunnelling Projects, 4th Int. Sym. on Mine Mechanization and Automation, Brisbane, Queensland, 1997.
- [13] Özdemir, L., - (Çeviren : Prof. Dr. Ş. Eskikaya), "Sert Kayaç Madenciliği Mekanik Kazı Teknolojisinde Son Gelişmeler", İTÜ Maden Fakültesi Tünel ve Galeri Açma Meslek içi Semineri, 1994.
- [14] Copur, H., Rostami, J., Özdemir, L., Bilgin, N., Studies on performance prediction of roadheaders based on field data in mining and tunnelling projects, 4th Int. Sym. on Mine Mechanization and Automation, Brisbane, Queensland, 1997.
- [15] Pakes, G., Selection of methods, World tunnelling, 4, no: 9, November, 1991.
- [16] Atlas-Copco Robbins, TBM Excavates Drift for Early Ore Production. Project Report Summary Brochure, 1996.

- [17] Synnder, Chadvik, Magma Copper Ltd, 1994.
- [18] Tilley, Chevron Resources Ltd. in Stillwater Mining Ltd, 1989.
- [19] Çopur, H., Eskikaya, Ş., E.L.İ., Eyzes Bölgesi Kayaçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Mekanize Kazı Bakımından İncelenmesi, Türkiye 5. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 1991.
- [20] Özdemir, L., (Çeviren : Prof. Dr. Ş. Eskikaya), "Mobil Kazıcılar", İTÜ Maden Fakültesi Tünel ve Galeri Açma Meslek İçi Semineri, 1994.
- [21] Gehring, K. H., A Cutting Comparison, *Tunnels and Tunneling*, 21, 27-30, 1989.
- [22] Development of a Roadheader Mining System at American Borate Company by Charles R. Garrett
- [23] Kayaç ve Mineral Kazısında Mekanik Yöntemler Dersi Notları
- [24] Çopur H., 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, 362 pp, USA-Colorado-Golden, 1999.
- [25] Tarkoy, P., J., Predicting TBM penetration rates in selected rock types, In Proceedings, 9th Canadian Rock Mechanic Sym., Montreal, 1973.
- [26] Graham, P., C., Rock Exploration for Machine Manufacturers, In Proceedings, Symposium on Exploration on Rock Engineering, Johannesburg, 173 - 180, 1976.
- [27] Roxborough, F., F., H., R., Philips, Rock Excavation by Disc Cutter, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, 12, 361 - 366, 1975.
- [28] Rostami J., Ozdemir L. and Neil DM., Performance prediction: The key issue in mechanical hard rock mining. *Mining Engineering*, November: 1263-1267, 1994.
- [29] Bilgin N., Seyrek T., Erdinc E. and Shahriar K., Roadheaders glean valuable tips for Istanbul Metro. *Tunnels and Tunnelling*, 22, 29-32, 1990.
- [30] Gehring, K.H., A Cutting Comparison. *Tunnels and Tunnelling*, pp. 27–30, Nov. 1989.
- [31] Thuro, K. and Plinninger, R.J. Roadheader excavation performance -geological and geotechnical influences. The 9th ISRM Congress, Theme 3: Rock dynamics and tectonophysics / Rock cutting and drilling, Paris, pp. 1241–1244, 25 August, 1999.
- [32] Copur, H., 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, 1999.

- [33] Rostami J. and Ozdemir L.,. Roadheaders Performance Optimization For Mining and Civil Construction. Proceedings of 13th Annual Technical Conference, Institute of Shaft Drilling Technology (ISDT), Las Vegas, 1994.
- [34] Tunçdemir, H., Bilgin, N., Kollu galeri açma makinelerinin cevher kazısında kullanımının araştırılması, itüdergisi/d mühendislik, Cilt:1, Sayı:2, 14-26, Aralık 2002.
- [35] Effects of Rock Properties on Specific Cutting Energy in Linear Cutting of Sandstones by Picks, Published online June 20, 2005.
- [36] McFeat – Smith, I. – Turkoy, P., Assessment of Tunnel Boring Machine Performance, Tunnels and Tunnelling, December 1979.
- [37] Stimpson, B. – Acott, C.P., Application of the N.C.B. Cone Indenter to Strength Index Testing of Sedimentary Rocks from Western Canada, Can. Geotech. J. Vol. 20, 1983.
- [38] Bilgin, N. – Shahriar, K., Kayaçların ve Kömür Damarlarının Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Dolaylı Yöntemlerin Değerlendirilmesi, 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, 1986.
- [39] Bilgin, N., İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınları, 1989.
- [40] Rabia , H. ve Brook, W., “An Empirical Equation For Drill Performance Prediction”, Proceedings of the 21st US Symposium on Rock Mechanics, Univ. Missouri_Rolla, 103-111, 1980.
- [41] Yazıcı, S., Galeri Açma Makinelerinin Seçimi İçin Kazılabilirliğin Saptanması, Madencilik Dergisi, Mart, Cilt 13, Sayı 1, 1984.
- [42] Coder, M., Edutes Experimentales sur le Comportement des Roches an Faurage , These de Docteur de Specialite, Universte Paul-Sabatier de Toulouse, 1973.
- [43] Nizamoğlu, S., Contribution a L’tude du Fonctionnement des Tunneliers “Plein Section” et Analyse de L’Usure de Leurs Outils de Coupe, These Pour Obtenir Le Grade De Docteur Ing. Ecole des Mines de Nancy, P.139, 1978.
- [44] Schimazek, J.,Kntz, H., The Influence of Rock Structure on the Cutting Speed an Pick Wear of Heading Machines, Gluckauf, 106,pp.274-278, 1970.
- [45] McFeat-Smith, Fowel, R.J., Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machine, Proceedings of a Conference on Rock Engineering, Newcastle Upon Tyne, pp.581-602, 1977.
- [46] Bilgin, N., The cuttability of evaporites. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No:25, 85-90, 1982.

- [47] Bilgin, N. – Shahriar, K., Kayaçların ve Kömür Damarlarının Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Dolaylı Yöntemlerin Değerlendirilmesi, 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, 1986.
- [48] McFeat-Smith, Fowel, R.J., Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machine, Proceedings of a Conference on Rock Engineering, Newcastle Upon Tyne, pp.581-602, 1977.
- [49] Tumuklu, A., Geological-Methallogical and Geochemical Investigations of Chromite Ore Deposits in The Mazmili (Pozanti-Karsanti Ophiolite Massive), Cukurova University, Ph.D. Thesis, 151, 2005.
- [50] Anıl, M., Kromit Cevherleşmelerinde Görülen Sülfid, Dönüşüm ve Platin Grubu Minerallerin Dağılımı. Çu. Ün. Araş. Fonu. Proje No. MMF-94-1, 1995.
- [51] Çakır, Ü., Petrologie Du Masisf De Pozanti-Karsanti (Taurus Cilicien, Turquie): Etude La Partie Centralla. These De Doctorat d'Ing. Univ. Satrasbourg. p. 251, 1978.
- [52] Anıl, M., Pozanti-Karsanti, Mersin ve Kızılda_ (Hatay) Ofiyolitlerindeki Bazı Kromit Yataklarının Morfolojik Yapısal ve Jenetik Özellikleri ile Akdeniz Bölgesindeki Benzer Kromit Yataklarının Karşılaştırılması. Doğa, 14, 645- 675, Ankara, 1990.
- [53] Anıl, M., Ecemiş Fay Kuşağının Batı ve Doğu Bloklarında Yer Alan Ofiyolitik Kromitlerin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi. Niğde Ün. Müh - Mim. Fak. Ecemiş Fay Kuşağı Çalışma Grubu WORKSHOP-I. Bildiriler 32-49, 2001.
- [54] Bingöl, A.F.. Petrologie du Masif Ophiolitique de Pozanti-Karsanti (Taurus Cilicien, Turquie): Etude de la Orientale. These 3'e Cycle, Universite Strasbourg, 1978.
- [55] Parlak, O., Höck, V., Delaloye. M., The Supra-Subduction Zone Pozanti-Karsanti-Ophiolite Southern Turkey: Evidence For High-Pressure Crystal Fractionation of Ultramafic Cumulates. Lithos 65, 205-224, 2002.
- [56] Çabuk, I., Akın, K. ve Açıan, S., Çnakpınarı-Kızılyüksek-Kavasak- Dorucalı Kromit Ocakları (Karsanti-Adana) ve Çevresine ait rapor: MTA. Rapor. (Yayınlanmamış), 1977.
- [57] Engin, T., Ozkoçak, O., and Artan, U., General Geological Setting and Character of Chromite Deposits In Turkey. Chromites, Unesco's IGCP-197 Project Metallogeny Of Ophiolites. p. 199-228. Athens, 1986.
- [58] Blumenthal, M.M., Das taurische Hochgebirge des Aladağ; neuere Forschungen zur seiner Geographie, Stratigraphie und Tektonik : MTA yayınları, seri D, 6, 136s., 1952.

- [59] Tekeli, O., ve Erler, A., Aladağ ofiyolit dizisindeki diyabaz dayklarının kökeni : Türkiye Jeol. Kur. Bült. 23,1/15-20, 1980.
- [60] Tekeli, O., Aksay, A., Evren-Ertan, İ., Işık, A., ve Ürgün, B.M., , Toros ofiyolit projeleri, Aladağ projesi : MTA Derleme, 6976,132 s., 1981 (yayınlanmamış).
- [61] Tekeli, O., Aksay, A., Ürgün, B. M., Işık, A., Geology of the Aladağ Mountains in Geology of the Tauris Belt, Tekeli, O., and Göncüoğlu, M. C. (eds.), p. 143 - 158, 1984.
- [62] Ayhan, A., Lengeranlı, Y., Yahyalı - Demirkazık (Aladağlar yöresi) arasının tektonostragrafik özellikleri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 27, 31 - 45, 1986.
- [63] Brown, E. T., Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, 1981.
- [64] ASTM (American Society for Testing and Materials), Annual Book of ASTM Standards Construction, Soil and Rock, ASTM Publication, V. 04.08.1981, 1994.
- [65] "Assessment of Abrasive Wear Resistance Potential in Rock Excavation Machinery", International Journal of Mining and Geological Engineering, 3, s. 151-163.
- [66] Evans, I., Pomeroy, C. D., The strength fracture and workability of coal. Pergamon Press, London, 1966.
- [67] Canmet, Laboratory classification tests. In Pit Slope Manuel of Canmet, Supplement 3 - 1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77 -25, 31pp, 1997.
- [68] Alpar, R. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler Giriş 1 (2. Baskı). Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Ankara, 2003.
- [69] Temur, S., Jeolojide Veri Analizleri, cilt 1, Konya, 1997.
- [70] Neter, J., Wasserman, W., Whitmore, G. A., Applied Statistics, Second Edition, Printed by Allyn and Bacon Inc., London, 1982.

EKLER

EK- A

Porozite ve Boşluk Oranı Deneyi Sonuçları

POROZİTE ve BOŞLUK ORANI DENEYİ SONUÇLARI

Cevher Adı (Lokasyon)	Boy L (mm)	Hacim V (cm ³)	Kuru Ağ. Wd (gr)	Suya Doygun Ağırlık Ws (gr)	Boş. Hacmi (V _v)	Gözeneklilik (n)	Boşluk Oranı (e)
Hematit (Menteş)	58.58	66.40	176.34	193.17	16.83	25.35	0.34
	63.29	71.74	192	213.36	21.36	29.77	0.42
	56.61	64.17	170.97	196.98	26.01	40.53	0.68
	76.13	86.30	228.27	259.13	30.86	35.76	0.56
Kromit (Pozantı)	38.54	43.69	160.75	161.63	0.88	2.01	0.02
	41.83	47.42	166.51	166.98	0.47	0.99	0.01
	34.64	39.27	142.16	143.08	0.92	2.34	0.02
	33.19	37.62	128.95	129.56	0.61	1.62	0.02
Galen (Delikkaya)	46.99	53.27	315.85	318.35	2.5	4.69	0.05
	52.38	59.37	239.06	245.32	6.26	10.54	0.12
	44.39	50.32	328.98	330.14	1.16	2.31	0.02
	33.56	38.04	116.29	122.84	6.55	17.22	0.21
	32.86	37.25	225.95	228.46	2.51	6.74	0.07
Hematit (Dünderli)	42.55	48.23	111.14	126.83	15.69	32.53	0.48
	41.42	46.95	111.75	125.94	14.19	30.22	0.43
	43.99	49.86	136.62	144.7	8.08	16.20	0.19
Hematit (Attepe/Yahyalı)	45.85	51.97	139.99	149.91	9.9	19.09	0.24
	37.26	42.24	116.05	123.98	7.93	18.78	0.23
	37.25	42.22	119.28	127.22	7.94	18.80	0.23
	29.73	33.70	102	108.02	6.02	17.86	0.22
	28.93	32.79	78.76	87.2	8.44	25.74	0.35
Kromit (Aladağ)	60.7	68.81	216.17	221.85	5.68	8.26	0.09
	60.5	68.58	216.37	222.17	5.8	8.46	0.09
	59.3	67.22	201.78	208.15	6.37	9.48	0.10
Simitsonit (Derebağ)	49.57	56.19	215.24	217.73	2.49	4.43	0.05
	54.77	62.08	216.45	220.08	3.63	5.85	0.06
	71	80.48	256.13	264.02	7.89	9.80	0.11
	49.79	56.44	196.31	199.66	3.35	5.94	0.06
Kromit (Andızlı/Pozantı)	48.3	54.75	176.93	178.73	1.8	3.29	0.03
	48.59	55.08	180.91	182.73	1.82	3.30	0.03
	48.06	54.48	173.38	175.32	1.94	3.56	0.04

EK- B

Brazilian Çekme Deneyi Sonuçları

BRAZILIAN ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Cevher Adı	Lokasyon	Çekilme Dayanımı (MPa)	Ortalama (MPa)	Standart Sapma
Hematit	Menteş Yahyalı	4.42, 6.03, 5.86, 5.66, 4.55, 4.49, 2.97	4.85	1.08
Kromit	Kapız ocak Pozantı	6.60, 8.63, 5.84, 7.24, 7.63, 8.71	7.44	1.13
Galen	Delikkaya	2.60, 3.53, 2.87, 2.96, 3.61, 2.01	2.93	0.60
Hematit	Dünderli	3.79, 4.27, 3.70, 4.90, 4.14, 2.38	3.86	0.84
Hematit	Attepe Yahyalı	3.20, 4.08, 3.48, 3.58, 5.61	3.99	0.96
Kromit	GüvenOcak Aladağ	1.07, 1.40, 1.27, 1.13, 0.73, 1.16, 0.96	1.10	0.22
Simitsonit	Derebeğ	2.11, 5.70, 3.99, 4.38, 3.79	3.99	1.29
Kromit	Andızlı Pozantı	6.93, 6.90, 5.31, 5.97, 4.81	5.98	0.94

EK- C

Nokta Yük Deneyi Sonuçları

NOKTA YÜK DENEYİ SONUÇLARI

Cevher Adı	Lokasyon	I_s (MPa)	Ortalama (MPa)	Standart Sapma
Hematit	Menteş Yahyalı	2.52, 2.26, 2.99, 3.45, 2.27, 2.36, 3.07	2.70	0.47
Kromit	Kapız ocak Pozantı	3.41, 4.25, 2.87, 2.27, 2.40	3.04	0.81
Galen	Delikkaya	1.69, 1.11, 0.81, 1.57, 1.29, 1.22	1.24	0.32
Hematit	Dünderlı	1.01, 3.80, 3.02, 1.44, 1.90, 1.59, 2.83	2.43	1.01
Hematit	Attepe Yahyalı	1.35, 1.19, 0.67, 2.64, 1.92, 2.85	1.77	0.86
Kromit	Güven Ocak Aladağ	0.57, 0.47, 0.42, 0.43, 0.54, 0.61	0.52	0.08
Simitsonit	Derebeğ	2.85, 1.46, 3.99, 2.99	3.06	1.04
Kromit	Andızlı Pozantı	3.88, 3.99, 3.33, 2.25, 4.85	3.61	0.88

EK- D

Schmidt Çekici Deneyi Sonuçları

SCHMIDT ÇEKİCİ DENEYİ SONUÇLARI

Cevher Adı	Lokasyon	Geri Sıçrama Sertlik Değeri (MPa)	Ortalama (MPa)	Standart Sapma
Hematit	Menteş Yahyalı	24, 27, 29, 31, 32, 22, 31, 31, 31, 33, 31, 27, 29, 30, 34, 35, 33, 38, 39, 40	34.6	3.31
Kromit	Kapız ocak Pozantı	34, 36, 35, 37, 38, 39, 36, 37, 40, 34, 38, 36, 40, 37, 34, 32, 30, 30, 37, 32	37.9	1.37
Galen	Delikkaya	16, 15, 16, 13, 14, 16, 12, 13, 14, 16, 12, 14, 13, 10, 17, 16, 15, 12, 13, 14	15.5	0.97
Hematit	Dünderli	26, 24, 26, 30, 27, 27, 27, 32, 26, 32, 28, 24, 30, 28, 26, 22, 23, 26, 23, 25	28.7	2.16
Hematit	Attepe Yahyalı	33, 32, 32, 36, 29, 40, 44, 35, 26, 34, 25, 28, 27, 28, 33, 32, 46, 40, 34, 32	37.1	5.28
Kromit	Güven Ocak Aladağ	23, 26, 26, 34, 32, 26, 22, 26, 27, 23, 28, 22, 26, 23, 24, 28, 32, 22, 34, 32	29.9	3.21
Simitsonit	Derebeğ	27, 20, 20, 31, 37, 30, 31, 32, 34, 20, 30, 32, 27, 25, 38, 36, 32, 30, 20, 22	33.3	2.79
Kromit	Andızlı Pozantı	28, 32, 27, 31, 36, 38, 33, 38, 32, 34, 27, 32, 36, 26, 38, 35, 30, 32, 38, 24	35.8	2.25

EK- E

Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

TEK EKSENLİ BASINÇ DENEYİ SONUÇLARI

Cevher Adı	Lokasyon	Tek Eksenli Basınç Direnci (MPa)	Ortalama (MPa)	Standart Sapma
Hematit	Menteş Yahyalı	26.86, 30.17, 32.93, 35.76, 34.60, 33.14, 32.84, 31.40, 33.65	32.37	2.63
Kromit	Kapız ocak Pozantı	70.20, 79.68, 64.74, 61.49, 74.54, 60.11, 53.14	66.27	9.12
Galen	Delikkaya	22.45, 17.54, 19.64, 17.95, 21.34, 20.39, 19.50	19.83	1.75
Hematit	Dünderlı	29.53, 33.38, 32.64, 33.29, 31.22, 28.78	31.47	1.97
Hematit	Attepe Yahyalı	23.00, 25.49, 33.49, 28.06, 25.02, 28.03, 28.86	27.42	3.38
Kromit	Güven Ocak Aladağ	9.10, 6.86, 6.82, 10.36, 6.70, 5.59, 6.31, 6.78, 12.47	7.89	2.27
Simitsonit	Derebeğ	22.20, 24.00, 23.93, 23.00, 19.35, 21.41, 22.58	22.35	1.62
Kromit	Andızlı Pozantı	59.87, 65.53, 57.54, 54.92, 57.03	58.98	4.06

EK- F

P-Dalga hızları

P-DALGA HIZLARI

Cevher Adı	Lokasyon	V_p (km/sn)	Ortalama (km/sn)	Standart Sapma
Hematit	Menteş Yahyalı	2.76, 2.75, 2.92, 2.86, 2.70, 2.97, 2.80, 3.25, 2.50, 2.89, 2.78	2.83	0.19
Kromit	Kapız ocak Pozantı	6.31, 5.91, 6.21, 6.27, 6.25, 5.72, 5.99, 5.01	5.96	0.44
Galen	Delikkaya	3.04, 3.83, 3.15, 3.72, 3.81, 2.92, 2.97, 3.22, 3.35	3.34	0.36
Hematit	Dünderlı	3.74, 2.78, 4.45, 2.87, 3.80, 3.38, 3.86, 3.81, 4.25, 4.26	3.72	0.56
Hematit	Attepe Yahyalı	4.13, 3.52, 3.84, 4.26, 3.33, 4.52, 3.62, 3.20, 3.59	3.78	0.44
Kromit	Güven Ocak Aladağ	2.54, 2.40, 2.36, 2.50, 2.41, 2.40, 2.36, 2.19, 3.07, 2.61	2.48	0.24
Simitsonit	Derebeğ	4.49, 5.01, 4.91, 4.74, 4.48, 5.11, 4.29, 5.33, 4.50, 4.76	4.76	0.33
Kromit	Andızlı Pozantı	5.70, 5.75, 5.90, 5.64, 5.76, 5.57, 5.76, 5.68	5.72	0.01

EK- G

Darbe Dayanım Deneyi Sonuçları

DARBE DAYANIM DENEYİ SONUÇLARI

Cevher Adı	Lokasyon	Deney No	Darbe Dayanımı (%)	Ortalama Darbe Dayanımı(%)	Standart Sapma
Simitsonit	Derebağ/ Yahyalı	1	67.73	66.70	0.90
		2	66.25		
		3	66.11		
Hematit	Attepe / Yahyalı	1	81.71	81.46	0.63
		2	81.92		
		3	80.74		
Kromit	Güven / Aladağ	1	37.64	40.86	2.81
		2	42.81		
		3	42.12		
Hematit	Dünderlı	1	76.08	78.27	1.91
		2	79.14		
		3	79.59		
Kromit	Kapız / Pozantı	1	69.08	72.06	2.71
		2	72.72		
		3	74.38		
Galen	Delikkaya	1	35.43	38.20	2.57
		2	38.67		
		3	40.51		
Hematit	Menteş / Yahyalı	1	73.18	71.30	2.32
		2	72.02		
		3	68.71		
Kromit	Andızlı / Pozantı	1	68.21	68.57	1.02
		2	69.72		
		3	67.78		

EK- H

Cerchar Aşındırma Deneyi Sonuçları

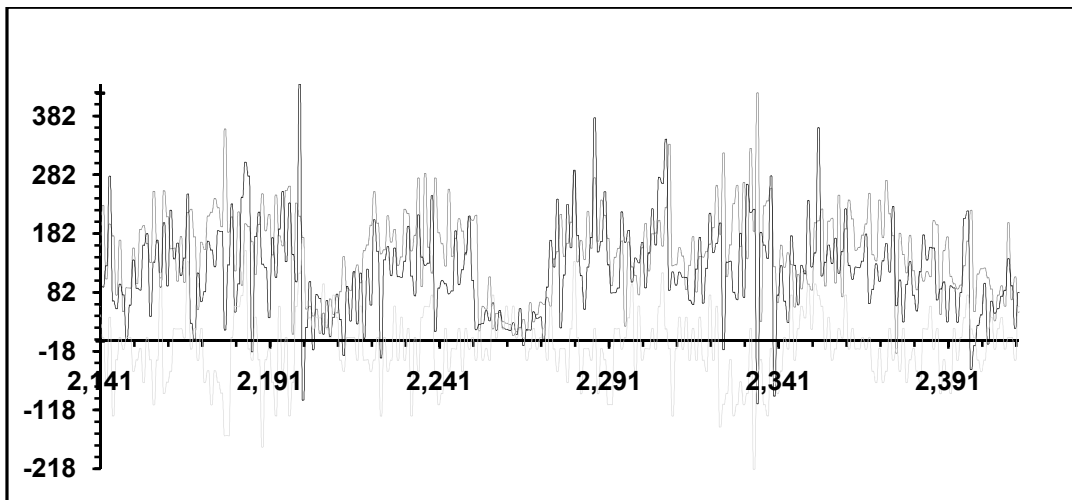
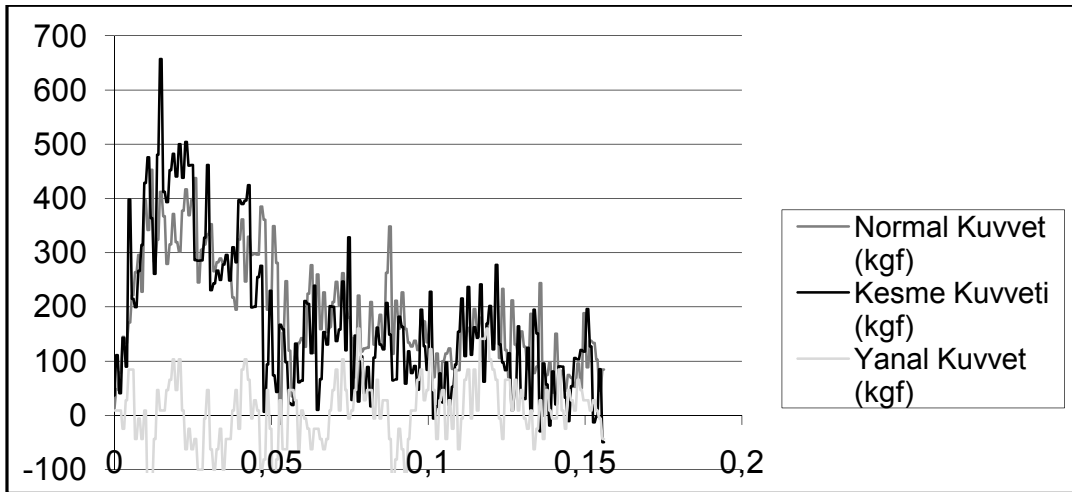
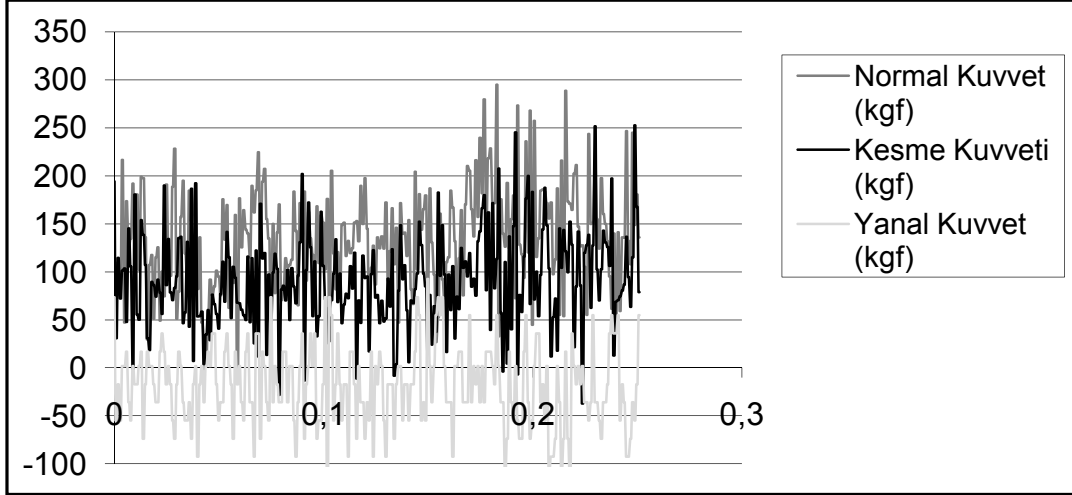
CERCHAR AŞINDIRMA DENEYİ SONUÇLARI

Cevher Adı	Lokasyon	Deney No	Cerchar Aşınma	Ortalama Cerchar Aşınma	Standart Sapma
Hematit	Menteş / Yahyalı	1	0.15	0.14	0.04
		2	0.17		
		3	0.10		
Kromit	Kapız / Pozantı	1	0.26	0.24	0.02
		2	0.22		
		3	0.24		
Galen	Delikkaya	1	0	0.03	0.06
		2	0.10		
		3	0		
Hematit	Dünderlı	1	0.25	0.28	0.06
		2	0.35		
		3	0.25		
Hematit	Attepe / Yahyalı	1	0	0.09	0.09
		2	0.15		
		3	0.10		
		4	0		
		5	0.20		
Kromit	Güven / Aladağ	1	0.05	0.06	0.03
		2	0.05		
		3	0.10		
Simitsonit	Derebağ/ Yahyalı	1	0.25	0.27	0.03
		2	0.30		
		3	0.27		
Kromit	Andızlı / Pozantı	1	0.20	0.22	0.03
		2	0.22		
		3	0.25		

EK- I

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

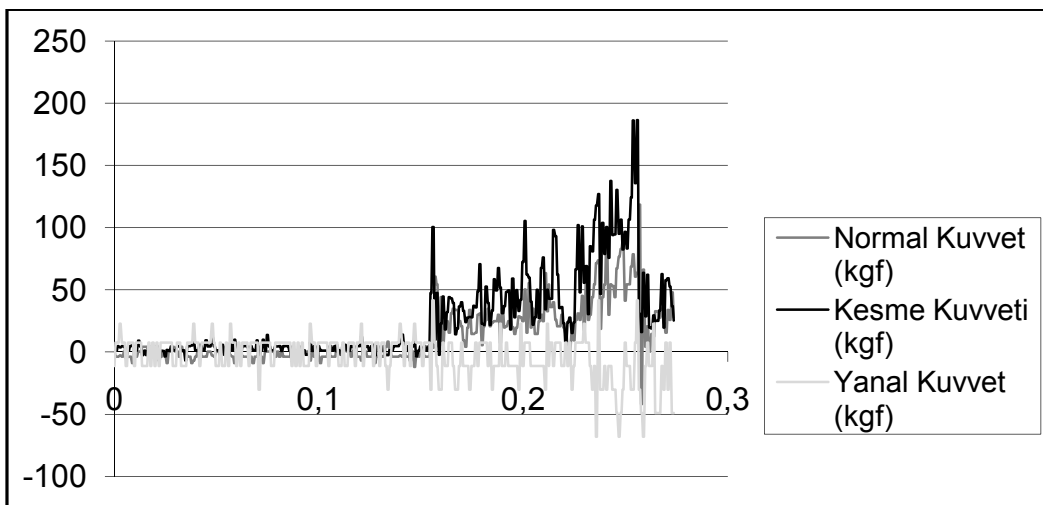
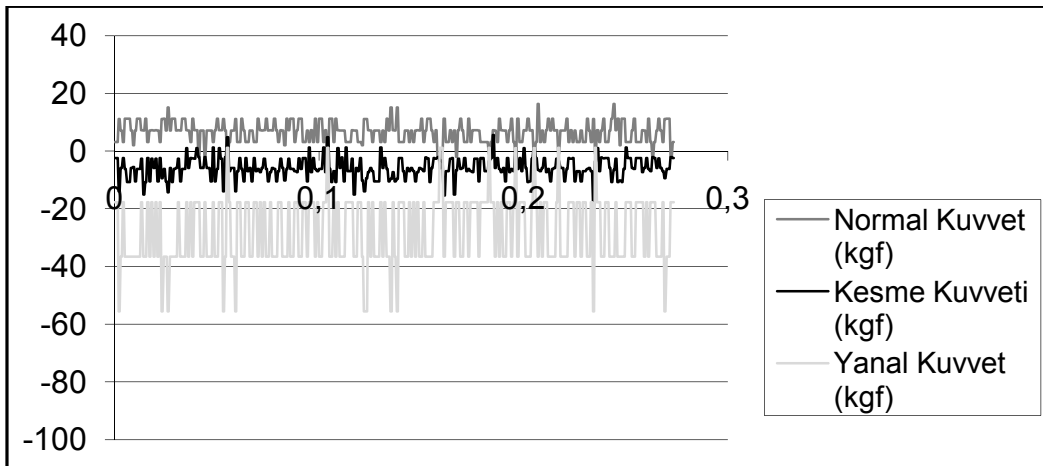
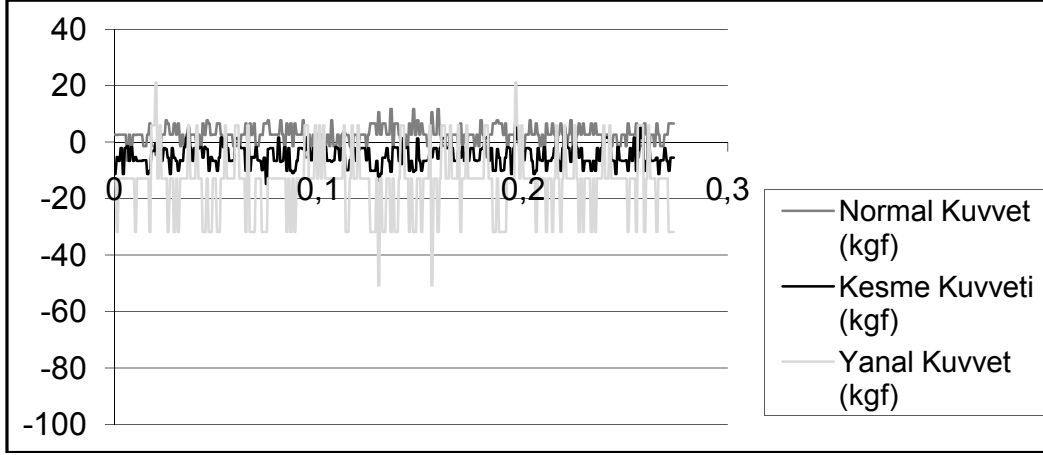
KROMİT (Andızlı/Pozantı) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ



EK- I' nın Devamı

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

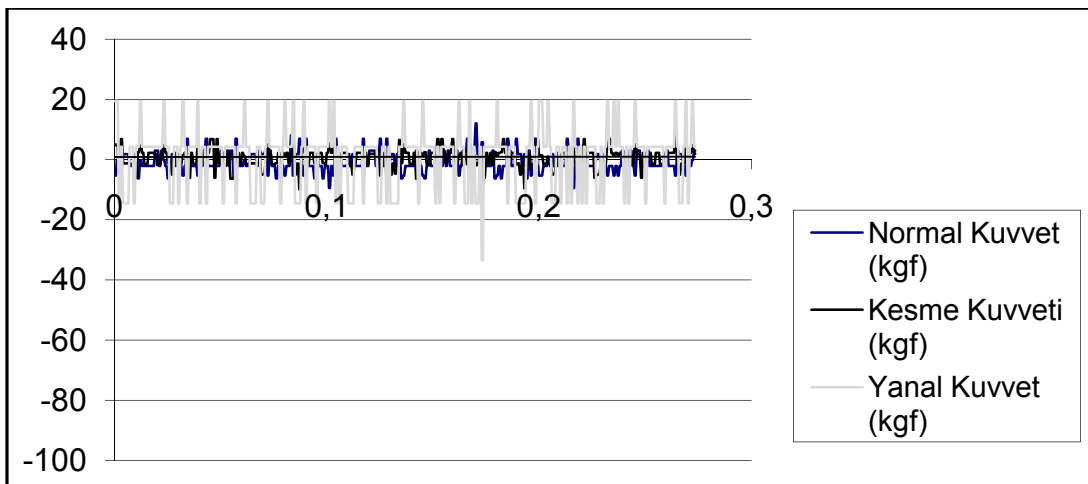
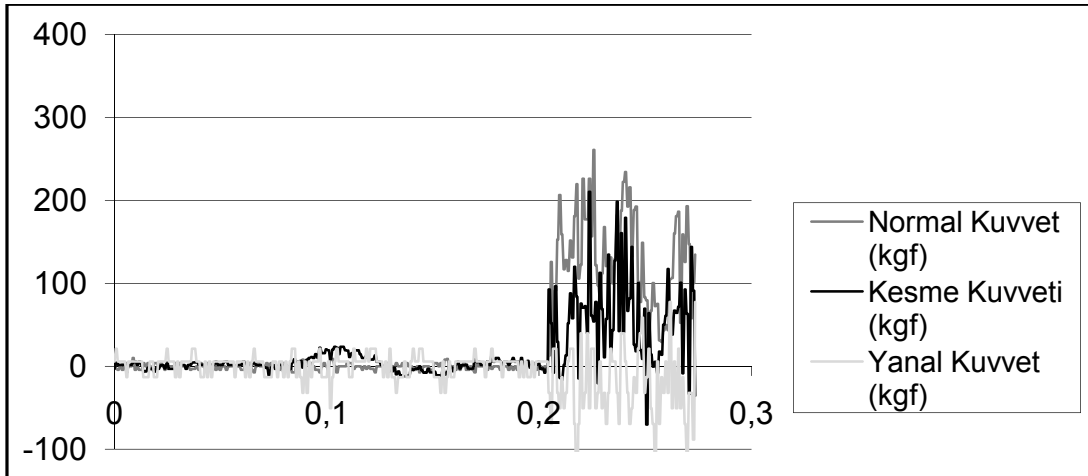
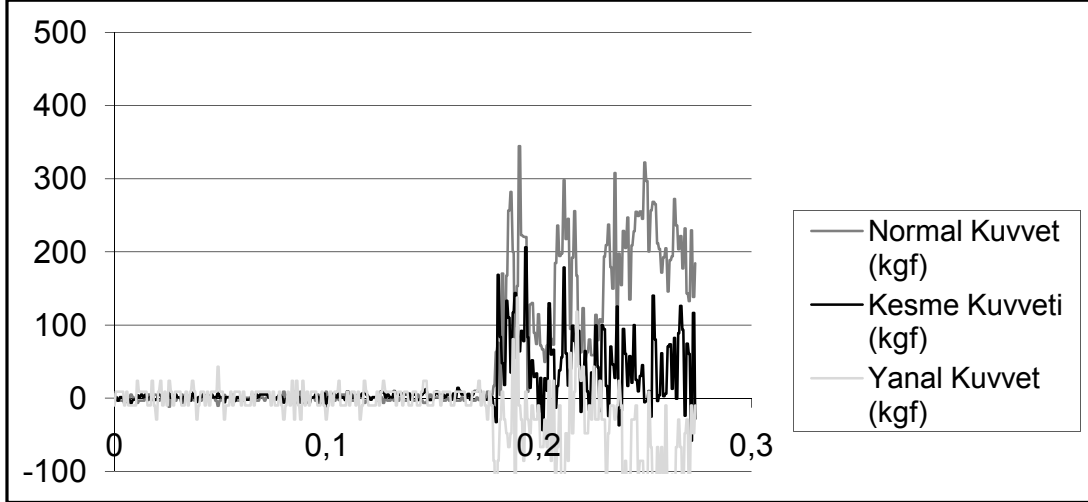
HEMATİT (Attepe/Yahyalı) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ



EK- I' nın Devamı

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

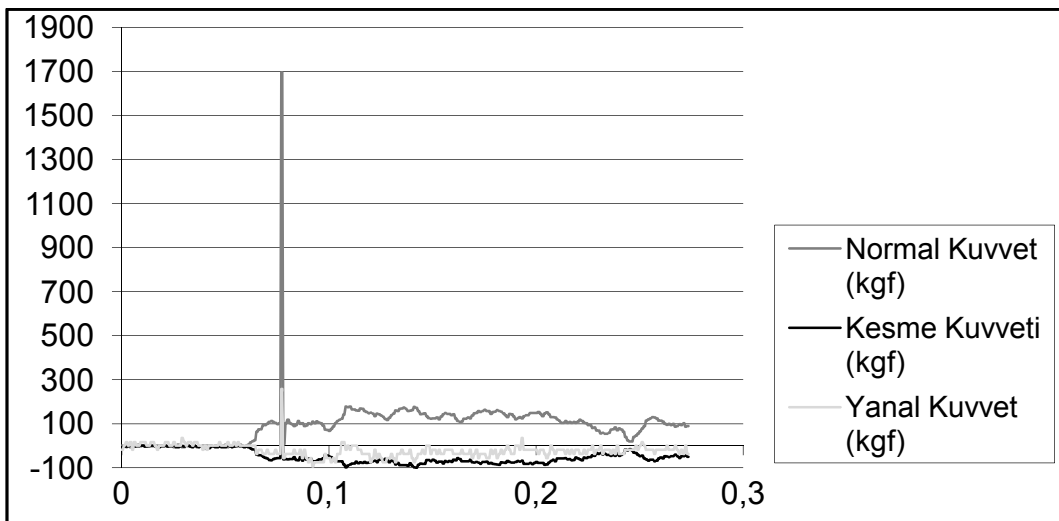
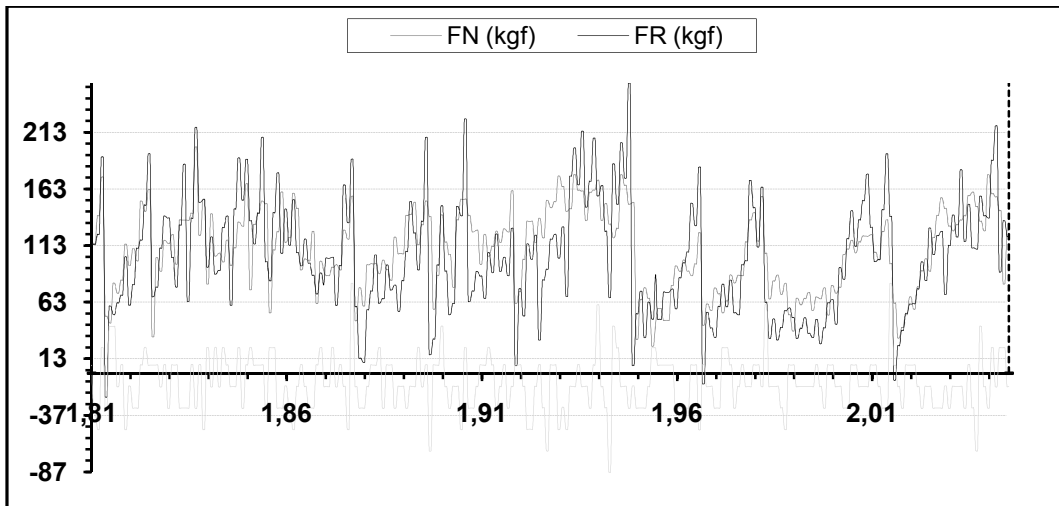
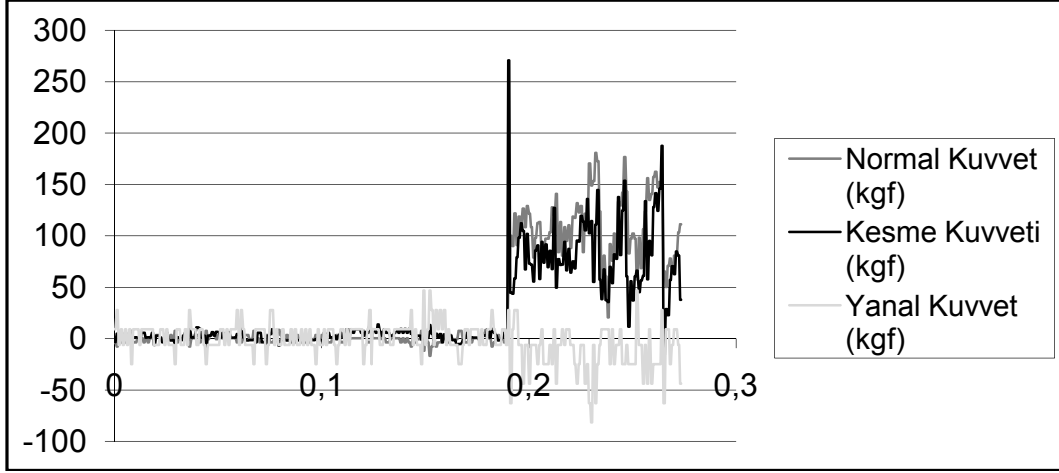
SİMİTSONİT (Derebağ/Yahyalı) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ



EK- I' nın Devamı

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

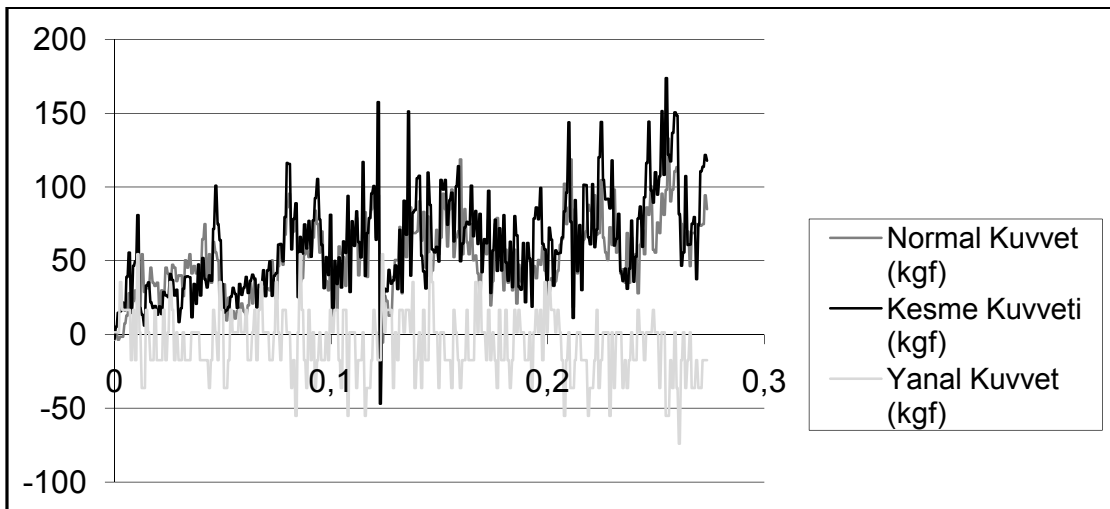
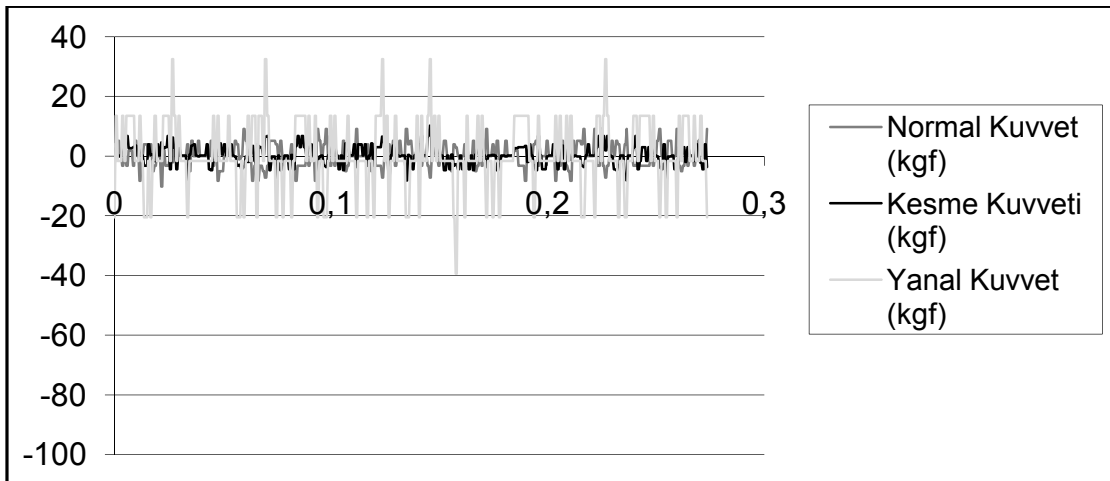
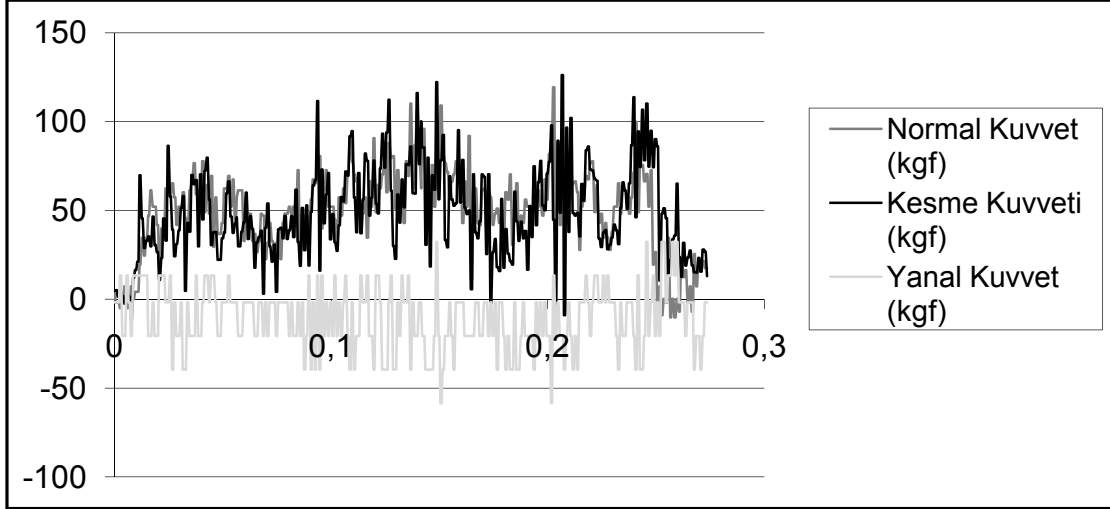
GALEN (Delikkaya) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ



EK- I' nın Devamı

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

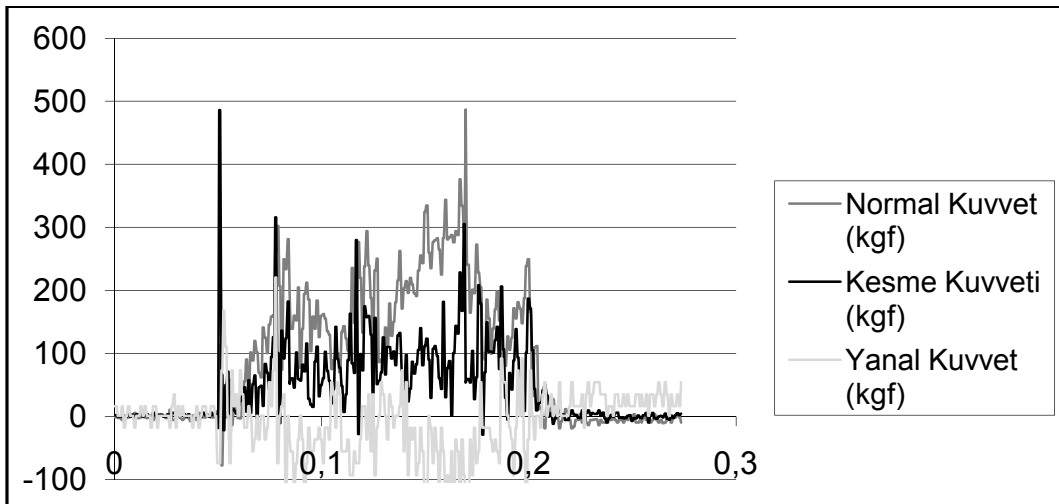
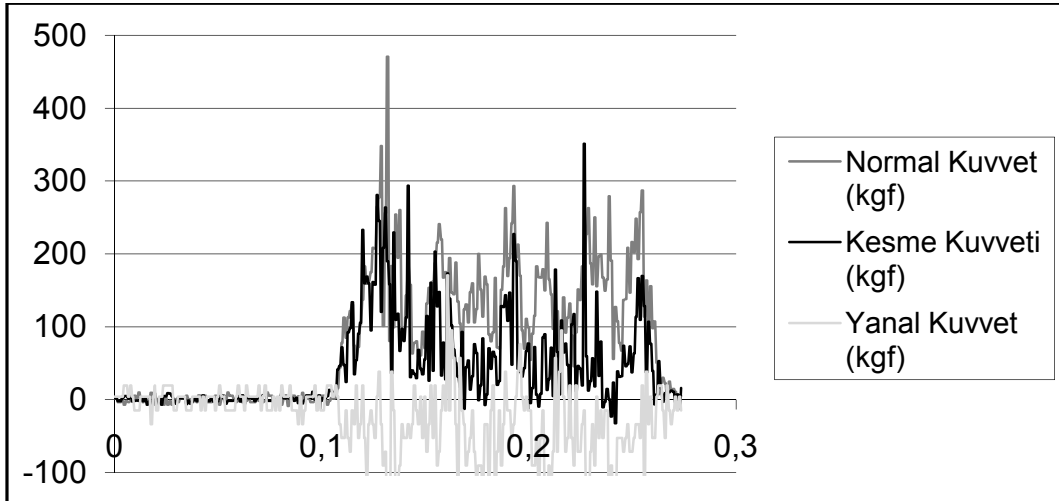
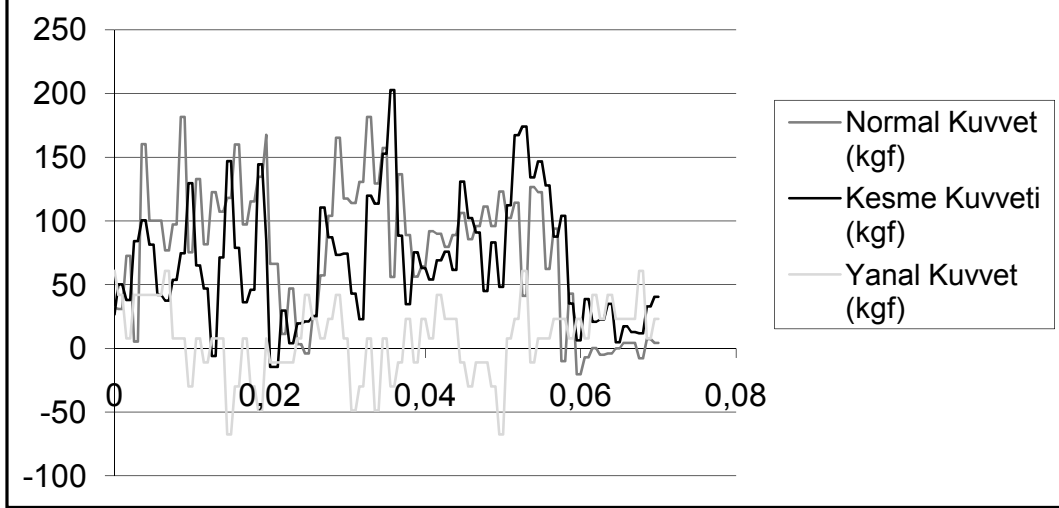
KROMİT (Güven Ocak/Aladağ) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ



EK- I' nın Devamı

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

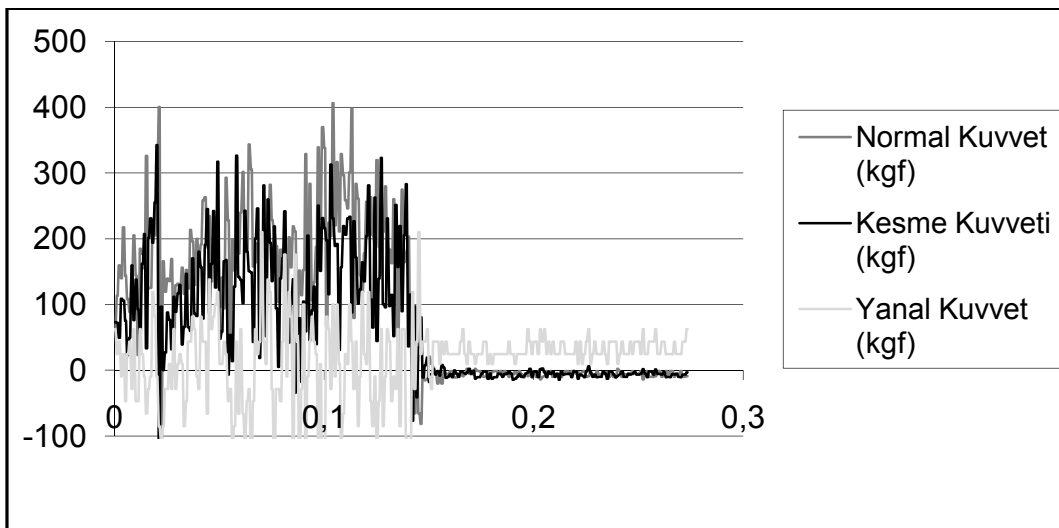
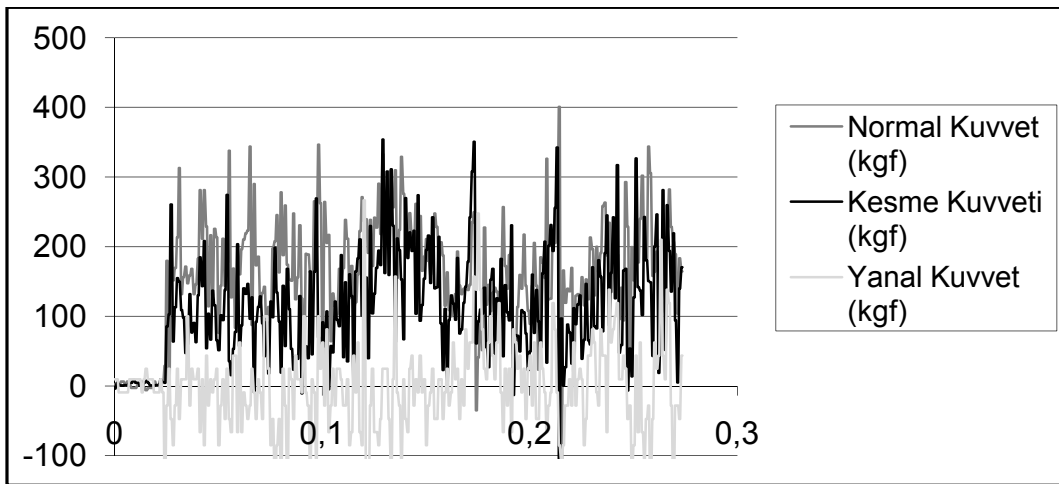
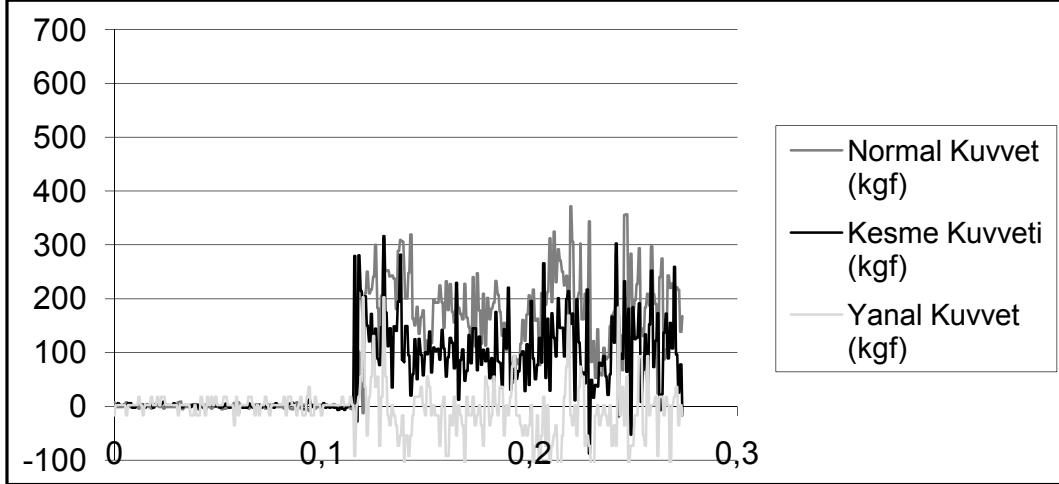
HEMATİT (Dünderlı) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ



EK- I' nın Devamı

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

KROMİT (Kapız Ocak/Pozantı) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ



EK- I' nın Devamı

Kesme Deneylerinden Elde Edilen Grafikler

HEMATİT (Menteş/Yahyalı) KESME DENEYİ GRAFİKLERİ

