

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİĞİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN
İNCELENMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇAĞRI ALDI

HAZİRAN 2016

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİĞİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN
İNCELENMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağrı ALDI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Olgay YARALI

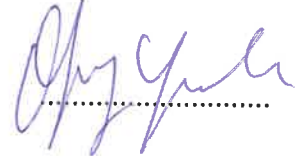
ZONGULDAK

Haziran 2016

KABUL:

Çağrı ALDI tarafından hazırlanan “Kayaçların Delinebilirliğine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 27/06/2016

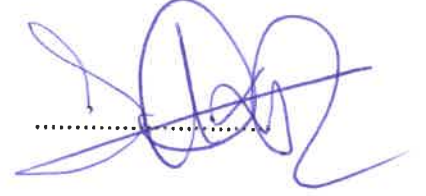
Danışman: Doç. Dr. Olgay YARALI
Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof. Dr. Nuri Ali AKÇIN
Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü

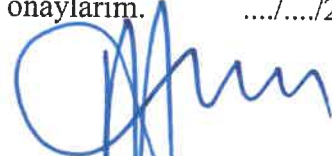


Üye: Doç. Dr. Okan SU
Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak Meslek Yüksekokulu,
Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./..../20....



Prof. Dr. Baki HAZER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Çağrı ALDI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİĞİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Çağrı ALDI

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Olgay YARALI

Haziran 2016, 105 sayfa

Delme makinalarından (elektro hidrolik ve jumbo deliciler) beklenen yararlarla ulaşabilmek için, bu makinaların delinecek kayaçların özelliklerine ve yapılacak delme işleminin amacına uygun olarak seçilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, delme makinalarının seçilmesinden ve uygulanmasından önce, kayaçların delinebilirlik ve aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Delinebilirlik ve aşındırıcılık indeks deneyleri için çok fazla yöntem ve standart geliştirilmiştir. Her bir deney yöntemi için özel ekipmanlar gerekmektedir. Bu deneyler sonucunda elde edilen değerlere bağlı olarak, kayaca uygun delme makinası tipi seçilebilmekte ve makina performansı (ilerleme oranı, keski tüketimi) önceden belirlenebilmektedir. Ancak, delinebilirlik ve aşındırıcılık deneyleri için geniş kapsamlı laboratuvar olanaklarına gereksinim duyulmaktadır. Bu olanakların elde bulunmadığı durumlarda, kayaç delinebilirliğinin ve aşındırıcılığının tahmini ve makina seçimi için bazı deneysel tahmin modelleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu modellerin oluşturulması sürecinde mineral bileşimi, kayaç dokusu kavramlarını içeren birçok petrografik kayaç özelliklerinin yeterince dikkate alınmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, bazı petrografik kayaç

ÖZET (devam ediyor)

özelliklerini dikkate alan delinebilirlik modellerinden elde edilen sonuçların uygulamada elde edilen değerlerden farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca, kayaç aşındırıcılığında sadece çimentolaşma derecesini ve kuvars içeriğini dikkate alan modellerin, bazı dokusal ve bileşimsel kayaç özelliklerini dikkate almadıkları için, mekanik delme işlemi açısından kayaç aşındırıcılığını ifade etmek konusunda yeterli olmadıkları anlaşılmıştır.

Bu çalışmada, kayaçların delinebilirliklerine etki eden faktörler incelenecektir. Bu amaçla, seçilen çeşitli kayaç türleri (sedimanter, magmatik, metamorfik) üzerinde, dayanım (tek eksenli basınç ve dolaylı çekme) ve aşındırıcılık deneyleri yapılacaktır. Kayaç delinebilirliğinin değerlendirilmesinde, delme oranı indeksi parametreleri (kırılgenlik, S_{20} ve Sievers minyatür delme deneyi, SJ) dikkate alınacaktır. Kayaç aşındırıcılığı, Cerchar aşınma indeksi ve Norveç aşınma indeksi deneyleriyle belirlenecektir.

Anahtar Kelimeler: Delinebilirlik, delme oranı indeksi, aşındırıcılık, Cerchar aşındırıcılık indeksi, Norveç aşınma indeksi.

Bilim Kodu: 607.01.03

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS ON AFFECTING ROCKS DRILLABILITY

Cagri ALDI

**Bulent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Olgay YARALI

June 2016, 105 pages

In order to gain the benefits offered by drilling machines (elektro hydrolic and jumbo drilling), it is necessary to select these machines considering the properties of rock material to be drilled and the purpose of the drilling operation to be performed. Therefore, prior to selection and application of drilling machines, it is compulsory to assess the drillability and abrasivity properties of rocks. A wide variety of dillability and abrasivity index test procedures has been developed. Each test method requires specialized equipments. Depending on the values obtained from these tests, it is possible to select the type of the drilling machine and to determine previously machine performance (penetration rate, tool consumption). However, drillability and abrasivity tests require complicated laboratory facilities. In cases where these facilities are not available, some empirical models are used for prediction of drillability and abrasivity properties of rocks and for machine selection. It is determined that some petrographic rock properties such as, mineral composition, rock texture are not taken into account in these models sufficiently. Therefore, it is understood that the results obtained

ABSTRACT (continued)

from drillability models including some petrographic rock properties differ from those measured in the field. Additionally, models considering the degree of cementation and quartz content alone, suffered from indicating degree of rock abrasivity in terms of mechanical drilling due to lack of some textural and compositional rock properties.

In this study, the effects of parameters on drillability of rock will be investigated. For these purposes, strength (uniaxial compressive strength, UCS and tensile strength, BTS) and abrasivity tests will be performed on some selected rock type (sedimentary, igneous, metamorphic) specimens. The assessment of rock drillability will be based on the drilling rate index parameter (Brittleness value, S_{20} and Sievers miniature drill test, SJ) Cerchar abrasivity index (CAI) and Norwegian Abrasion Value (AV) will be employed for the assessment of rock abrasivity.

Keywords: Drillability, drilling rate index, abrasiveness, Cerchar abrasivity index, Norwegian abrasion value.

Science Code: 607.01.03

TEŞEKKÜR

Yazar, bu yüksek lisans tez çalıŐmasının konusunun ve kapsamının belirlenmesinde, kaynak araŐtırmalarında çok değerli katkı ve yönlendirmelerinden dolayı tez danışmanı Doç. Dr. Olgay YARALI'ya, desteklerinden dolayı jüri üyeleri Prof. Dr. Nuri Ali AKIN'a ve Doç. Dr. Okan SU'ya, katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Gürkan BACAĞ'a, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan ArŐ. Gör. Utku SAKIZ'a, ArŐ. Gör. BarıŐ AKKAYA'ya ve ArŐ. Gör. HaŐım DURU'ya ve manevi destekleriyle daima arkasında olan ailesine teŐekkürü bir borç bilir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİĞİ	5
2.1 DELİNEBİLİRLİK	5
2.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	12
2.3 DELİNEBİLİRLİĞİ BELİRLEMEDE KULLANILAN DENEYLER	22
2.4 DELME ORANI İNDEKSİ DENEYİ (DRI)	23
2.4.1 Kırılma Deneyi (S ₂₀)	24
2.4.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi (SJ).....	25
2.5 DELME ORANI İNDEKSİ (DRI)'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ	27
BÖLÜM 3 KAYAÇ ÖRNEKLERİNİN PETROGRAFİK ANALİZİ.....	29
BÖLÜM 4 LABORATUAR ÇALIŞMALARI.....	37

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.1 DENEY ÖRNEKLERİNİN ALINMASI VE HAZIRLANMASI.....	37
4.2 DAYANIM DENEYLERİ	40
4.2.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	40
4.2.2 Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi	42
4.2.3 Kayaçların Gevreklik Durumlarının İncelenmesi.....	44
4.3 İNDEKS DENEYLERİ.....	45
4.3.1 Shore Sertlik İndeksi Deneyi (SH)	45
4.4 DELİNEBİLİRLİK DENEYLERİ (DELME ORANI İNDEKSİ, DRI).....	47
4.4.1 Kırılma Deneyi (S_{20})	47
4.4.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi (SJ)	49
4.4.3 Delme Oranı İndeksinin (DRI) Değerlendirilmesi.....	52
4.5 CERCHAR AŞINMA İNDEKSİ DENEYİ (CAI).....	52
4.6 NORVEÇ AŞINMA İNDEKSİ DENEYİ (AV)	56
4.6.1 Örneklerin Hazırlanmasında İzlenen Yol.....	58
4.6.2 Deneyin Yapılmasında İzlenen Yol	58
4.6.3 Deneyin Yapılması	60
4.7 SPESİFİK ENERJİ.....	65
BÖLÜM 5 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	69
5.1 KAYAÇLARIN GEVREVLİLİK DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	71
5.2 SHORE SERTLİK İNDEKSİ DENEYİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI.....	72
5.3 DAYANIM DENEYLERİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI.....	73
5.4 AŞINMA İNDEKSLERİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ.....	75
5.5 DELME ORANI İNDEKSİ İLE SPESİFİK ENERJİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ.....	76
5.6 PETROGRAFİK ÖZELLİKLER İLE DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK, DAYANIM VE SERTLİK PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER....	76

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	83
BİBLİYOGRAFYA	91
EK AÇIKLAMALAR A	95
ÖZGEÇMİŞ	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Delinebilirliği etkileyen faktörler.....	10
Şekil 2.2 Kırılgnlık deney düzeneği	25
Şekil 2.3 Sievers minyatür delme deney düzeneği.....	26
Şekil 2.4 DRI'nin değerlendirilmesi için diyagram	27
Şekil 2.5 Bazı kayaçlar için DRI ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki	28
Şekil 4.1 Karot alma makinası	39
Şekil 4.2 Taş kesme makinası	39
Şekil 4.3 Yüzey düzeltme makinası	39
Şekil 4.4 Tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı deneyinde kullanılan pres.....	41
Şekil 4.5 Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılmış olan örnekler	41
Şekil 4.6 Dolaylı çekme deneyi aleti.....	43
Şekil 4.7 Brazilian deneyinde örneğin yüklenme şekli	43
Şekil 4.8 Shore sklereskobu deney aleti	46
Şekil 4.9 Kırılgnlık deney aleti resimleri	48
Şekil 4.10 Sievers minyatür delme (SJ) deney aletinin görünüşü.....	49
Şekil 4.11 SJ deneyinde kullanılan özel uçların geometrisi ve hazırlanmış uçlar	51
Şekil 4.12 SJ deneyinde kullanılmış olan örnek kayaçlar	51
Şekil 4.13 Cerchar aşınma indeksi deney aletleri	54
Şekil 4.14 West tam otomatik Cerchar aşınma indeksi deney aleti	54
Şekil 4.15 Görüntüleme sistemi	55
Şekil 4.16 Cerchar aşınma indeksi deneyinde aşınan ucun mikroskop altında ölçümü	55
Şekil 4.17 Norveç aşınma deneyi ana hatları	57
Şekil 4.18 Norveç aşınma deney düzeneği.....	60
Şekil 4.19 Norveç SİNTEF'deki orijinal Norveç aşınma deney aleti	61
Şekil 4.20 Norveç aşınma deneyinde kullanılan uçlar	61
Şekil 4.21 Çeneli kırıcı.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.22 Konili kırıcı	62
Şekil 4.23 Merdaneli kırıcı.....	62
Şekil 4.24 Uçun yatay konumda ağırlığa bağlanması durumu.....	63
Şekil 4.25 Norveç aşınma deneyinde kullanılan aşınmış ve kullanılmamış uçlar	64
Şekil 5.1 Gevreklik değeri (B3) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.....	72
Şekil 5.2 Gevreklik değeri (B4) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.....	72
Şekil 5.3 Delme oranı indeksi (DRI) ile Shore sertlik indeksi (SH) arasındaki ilişki....	73
Şekil 5.4 Dolaylı çekme dayanımı (σ_t) ile tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) arasındaki ilişki	74
Şekil 5.5 Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.....	74
Şekil 5.6 Dolaylı çekme dayanımı (σ_t) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki	75
Şekil 5.7 Norveç aşınma indeksi (AV) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki	75
Şekil 5.8 Delme oranı indeksi (DRI) ile spesifik enerji (SE) arasındaki ilişki	76
Şekil 5.9 Delme oranı indeksi (DRI) ile doku sağlamlık katsayısı (DSK) arasındaki ilişki.....	77
Şekil 5.10 Delme oranı indeksi (DRI) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) arasındaki ilişki	78
Şekil 5.11 Spesifik enerji (SE) ile delinebilirlik katsayısı (CD) arasındaki ilişki.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Delme makinalarının performansını etkileyen bazı parametreler.....	8
Çizelge 2.2 Modellerde kullanılan deneyler	9
Çizelge 2.3 Doku tane boyu ile delinme hızı arasındaki ilişki.....	10
Çizelge 2.4 Kayaç formasyonu ile delinme hızı arasındaki ilişki	12
Çizelge 2.5 Kırılma şekline göre delinme durumu	12
Çizelge 2.6 Kırılma deneyi (S ₂₀) sınıflaması	24
Çizelge 2.7 Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması.....	26
Çizelge 2.8 Delme oranı indeksi (DRI) sınıflaması	27
Çizelge 2.9 Bazı kayaçların DRI değerleri.....	28
Çizelge 3.1 Kayaçların petrografik analizleri	30
Çizelge 3.2 Kayaçların çimentolanma katsayısı	34
Çizelge 3.3 Kayaçların Rosival aşındırıcılık katsayısı değerleri.....	34
Çizelge 3.4 Eşdeğer kuvars içeriğinin hesaplanması	35
Çizelge 3.5 Aşındırıcı mineral ortalama tane boyutunun hesaplanması.	35
Çizelge 3.6 Kayaçların petrografik özellikleri	35
Çizelge 4.1 Deneylerde uyulan standartlar.	38
Çizelge 4.2 Örnek alım yerleri ve kayaç türleri	38
Çizelge 4.3 σ_c ' ye göre kaya malzemesinin tanımlanması.....	42
Çizelge 4.4 Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları ve sınıflaması ...	42
Çizelge 4.5 Kayaçların tek eksenli dolaylı çekme dayanımı deney sonuçları	44
Çizelge 4.6 Kayaçların gevreklik durumları	45
Çizelge 4.7 Kayaç örneklerinin Shore sertlik indeksi deneyi sonuçları.....	46
Çizelge 4.8 Kırılma deneyi (S ₂₀) sınıflaması	47
Çizelge 4.9 Kırılma deneyi sonuçları ve sınıflaması	48
Çizelge 4.10 Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması.....	50
Çizelge 4.11 Sievers minyatür delme (SJ) deneyi sonuçları ve sınıflaması.....	50
Çizelge 4.12 Kayaçların delme oranı indeksi deney sonuçları ve sınıflaması.....	52
Çizelge 4.13 Cerchar aşınma indeksi sınıflaması.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.14 Kayaçların Cerchar aşınma indeksi deney sonuçları ve sınıflaması	56
Çizelge 4.15 Aşınma indeksi deneylerinin sınıflaması	57
Çizelge 4.16 Kayaçların Norveç aşınma indeksi deney sonuçları ve sınıflaması	65
Çizelge 4.17 Kayaçların spesifik enerji değerleri	67
Çizelge 5.1 Deney sonuçları.....	70
Çizelge 5.2 Büyüklükler arasındaki korelasyon matris dağılımı	71
Çizelge 5.3 Petrografik sonuçlarla diğer büyüklükler arasındaki matris dağılımı	77
Çizelge A.1 Kırılgenlik deneyi sonuçları	97

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
Ek A.1 Kırılma deneyi sonuçları.....	95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

cal	:	Kalori
km	:	Kilometre
m	:	Metre
cm	:	Santimetre
S ₂₀	:	Kırılgnlık deneyi
SJ	:	Sievers minyatür delme deneyi
mm	:	Milimetre
kg	:	Kilogram
σ_c	:	Tek eksenli basınç dayanımı
σ_t	:	Dolaylı çekme dayanımı
MPa	:	Mega Pascal
s	:	Saniye
N	:	Newton
gr	:	Gram
d _{ort}	:	Aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu
Q _{eqv}	:	Eşdeğer kuvars içeriği

KISALTMALAR

AV	:	Norveç aşınma deneyi
ASTM	:	American Society for Testing Materials
B1	:	Gevreklilik değeri
B2	:	Gevreklilik değeri
B3	:	Gevreklilik değeri
B4	:	Gevreklilik değeri
BEÜ	:	Bülent Ecevit Üniversitesi
BWI	:	Uç aşınma indeks deneyi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

CAI	: Cerchar aşınma indeksi
CC	: Çimentolanma katsayısı
CD	: Çimentolanma derecesi
CD	: Delinebilirlik katsayısı
CLI	: Uç ömrü indeksi
CSM	: Kolorado Maden Okulu (Colorado School of Mines)
DRI	: Delme oranı indeksi
DSK	: Doku sağlamlık katsayısı
GAM	: Galeri açma makinası
HRC	: Rockwell sertliği
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
KDK	: Kayaç dayanım katsayısı indeks deneyi
NTNU	: Norveç Bilimsel ve Teknik Üniversitesi
RMR	: Kaya kütle puanı (Rock mass ratio)
RQD	: Kaya kalite göstergesi (Rock quality designation)
SE	: Spesifik enerji
SH	: Shore Sertlik Değeri
TBM	: Tam cephe galeri açma makinası
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde gerek madencilik gerekse inşaat sektöründe yeraltı ve yerüstü yapılarında yapılan delme işleminde hızlı ilerleme ve ekonomiklik önem kazanmıştır. Yeraltında yapılan hazırlık ve üretim çalışmaları, tünel ve metro yapımı gibi çalışmaların önemli bir bölümünü patlatma deliklerinin delinmesi almaktadır. Deliklerin hızlı ve ekonomik olarak delinmesi amacıyla delme makinaları kullanılmaktadır. Bu makinaların delinecek kayaçların özelliklerine göre seçilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olan ve genellikle ithal edilen delme makinalarının, kayaç özelliklerine göre seçilmesi çok önemli olmaktadır. Makinanın yanlış seçimi ve keski tüketiminin yanlış belirlenmesi delme maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Bu durum, proje maliyetine ve ülke ekonomisine zarar verecektir.

Literatürde kayaçların delinebilirliği konusunda yapılmış çok sayıda araştırma mevcuttur. Kayaçların delinebilirliğine; kayacın mekanik, fiziksel, petrografik ve aşındırıcılık özellikleri etki etmektedir. Literatürde yer alan araştırmalarda bu özellikleri bir arada irdeleyen çalışma sayısı oldukça sınırlı sayıda kalmıştır. Bu sınırlı sayıdaki çalışmalarda da delme oranı indeksi (DRI) deney yöntemi kullanılmamıştır (Yaralı ve Soyer 2007).

Önemli sayıda Avrupalı ve Amerikalı araştırmacı ve üretici firma delme oranı indeksi deneyini 1990 yılından itibaren kollu galeri açma, tam cephe galeri açma ve hidrolik kırıcılar için geliştirilen tahmin modellerinde önemli bir girdi olarak kullanmaktadırlar (Yaralı and Soyer 2011, Yaralı and Soyer 2013, Ekincioğlu et al. 2013).

Geliştirilmiş delinebilirlik ve aşındırıcılık göstergeleri ile bazı deney yöntemlerinin ışığında kayaçların delinebilirliği ile aşındırıcılığının ölçülmesi mümkün olmaktadır. Bu deney yöntemlerinden en çok tercih edilenleri ise delinebilirlik indeksi olarak bilinen “delme oranı indeksi” (DRI) ile yaygın olarak kullanılan aşındırıcılık indeks deneyi “Cerchar Aşınma İndeksi” (CAI)’ dir.

Bu çalışmanın amacı, kayaçların delinebilirliğine etki eden parametrelerin incelenmesidir. Kayaçların delinebilirlikleri delme oranı indeksi (DRI) ile saptanmıştır. Etki eden parametreler olarak; kayacın dayanımı, sertliği, aşındırıcılığı ve petrografik özellikleri incelenmiştir.

Çalışmanın amacına bağlı olarak, büyük çoğunluğu Zonguldak Havzası'nın değişik yerlerinden alınan 22 farklı kayaç (sedimanter, magmatik ve metamorfik) türü üzerinde delme oranı indeksi (DRI) deneyleri ile tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı (Brazilian), Shore sertlik indeksi, Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve Norveç aşınma indeksi (AV) deneyleri yapılmıştır. 22 kayaçtan 20 tanesinin petrografik analizleri yapılarak, kayaçlar içindeki mineral oluşumu, tane boyut dağılımları, çimento türü ve çimentolanma dereceleri saptanmıştır. Petrografik analiz sonuçları kullanılarak eşdeğer kuvars içeriği, aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu ile kayaçların çimento türüne bakılarak McFeat-Smith (1977)'e göre çimentolanma katsayıları (cementation coefficient) belirlenmiştir. Ayrıca, çimentolanma katsayısı ile çimentolanma derecesi çarpılarak "Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK)" belirlenmiştir.

Kayaçların gevreklik değerlerinin (B1-B2-B3-B4) kayacın delinebilirliğine etkisi de araştırılmıştır. Son olarak Bilgin et al. (2006) tarafından önerilen spesifik enerjiyi (SE) veren görgül bağıntı kullanılarak, delinebilirlikle spesifik enerji arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Kayaçların mekanik özellikleri laboratuarda yapılan deneyler sonucu belirlenmiştir. Sievers minyatür delme deneyi ve kırılma deneyleri yapılmış ve delme oranı indeksi (DRI) bulunmuştur. Kayaçların aşındırıcılıkları Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve Norveç aşınma indeksi (AV) deneylerinden bulunmuştur. Bu çalışmanın sonucunda da Delme Katsayısı (CD) olarak yeni bir jeoteknik delme indeksi tanımlanmıştır. İncelenen büyüklükler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, kayaçların delinebilirliğinin belirlenmesinde kullanılan başlıca deneylerden ve delinebilirliğe etki eden faktörlerden bahsedilerek, kayaçların delinebilirliğinin belirlenmesinde kullanılan delme oranı indeksi ile literatür çalışması anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde kayaç örneklerine ait, mineralojik bileşim, yuvarlaklılık, köşelilik, aşındırıcı mineral oranı, mineral ortalama tane boyutu, çimento türü gibi kayaç özelliklerini içeren detaylı petrografik analizler verilerek, kayaçlara ait aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu, eşdeğer kuvars içeriği ve doku sağlamlık katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde laboratuvar çalışmasında kullanılan örneklerin alınması ve hazırlanmasından bahsedilerek, örnekler üzerinde yapılan delme oranı indeks deneyi, Cerchar aşınma indeks deneyi ile Norveç aşınma indeks deneyinin nasıl yapıldığı anlatılmış ve deney sonuçları verilmiştir. Kayaç örneklerinin dayanım deneyleri ve sonuçları, Shore sertlik indeks deneyi ve sonuçları verilmiştir. Ayrıca kayaçlara ait spesifik enerji ve gevreklik değerleri görgül bağıntılardan hesaplanmıştır.

Beşinci bölümde laboratuvar deneylerinden ve petrografik analizlerden elde edilen sonuçların basit regresyon analiz tekniği kullanılarak delinebilirliğe olan etkileri belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen büyüklükler arasındaki ilişkilere de bakılmış ve korelasyon ilişkilerini veren matrisler verilmiştir.

Altıncı ve son bölümde elde edilen tüm sonuçlar genel olarak değerlendirilmiş ve literatürde yapılan benzer çalışmalarla irdelenerek, önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİĞİ

2.1 DELİNEBİLİRLİK

Kayacın delinebilirliği, bir delici ucun kayaç içinde ilerleme yapabilme hızı olarak tanımlanmaktadır (Tamrock 1987).

Delinebilirlik ile ilgili olarak bir başka tanım ise, uygulanan delme yöntemine bağlı olarak, ilerleme sırasında kayacın gösterdiği dirençtir ya da verdiği karşılıktır (Kramadibrata et al. 2001, Adebayo et al. 2010). Genel olarak bakıldığında delinebilirlik, delici ucun kayaç dayanımını yenmesi ile sağlanan ilerleme olarak da tanımlanabilmektedir. Bir diğer ifade ile kaya kütleindeki delik delme kolaylığıdır.

Delme hızı ise, kayaç içerisinde dakikadaki santimetre ilerleme hızı olarak ölçülür. Delinebilirlik ile delme hızı aynı kavram olarak açıklanabilir. Delinebilirlik kolay ya da zor, delme hızı ise hızlı ya da yavaş olarak ifade edilebilir.

Ülkemizde delme makinaları yeraltında, tünel açma işlerinde, gerek madencilik gerekse inşaat alanında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Delme işleminin uygulanacak kayaca/zemine göre seçilmesi ve delme işlemine uygun makina seçimi oldukça önemlidir. Yanlış makina seçilmesi durumunda proje istenen sürede bitmeyecek ve delme maliyetlerinde de çok fazla artış görülecektir. Uygulama koşullarına göre seçilecek makina için önceden performans tahminlerinin yapılması gerekmektedir.

Yeraltı ve yerüstünde mevcut kayaçlarda yapılacak ilerleme çalışmalarında kullanılan delicilerin delme hızı ve makina performansının belirlenmesi, projenin planlanması ve maliyeti açısından oldukça önemlidir. Delicilerin performans değerlendirmelerinde en önemli iki parametre; ilerleme oranı ve spesifik enerjidir. İlerleme oranı; delinen deliğin uzunluğunun (m), net delme süresine oranı ile belirlenmektedir (Kim et al. 2009). Spesifik enerji için ise

hem döner hem de darbeli deliciler için literatürde önerilen bağıntılar mevcuttur. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından doğrudan önerilen bir delinebilirlik tayin yöntemi olmamakla birlikte birkaç yöntemin kullanılması önerilmektedir. Delinebilirlik üzerine yapılan çalışmalar için günümüzde pek çok yöntem geliştirilmiş olmakla birlikte, en iyi yöntem doğrudan delinebilirlik testlerinin yapılmasıdır (Andrews et al. 2007, Zhang et al. 2012).

Delinebilirlik ile ilgili olan çalışmalar teknolojiadaki gelişmelerinde etkisiyle yeraltı ve yerüstünde yürütülen madencilik çalışmalarında büyük önem teşkil etmektedir. Teknik olarak bakıldığında döner ve darbeli olmak üzere iki tür delme mekanizması söz konusudur. Yeraltında kullanılan elektro hidrolik deliciler ve jumbolarda iki tip delme mekanizmasından yararlanarak işlemler gerçekleştirilmektedir.

Dönmeli ve darbeli delik delme ekipmanları kayaçların delinmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle delme makinalarının (elektro hidrolik deliciler ve jumbolar gibi) yeraltı yapılarında yaygın şekilde kullanılmaya başlamasıyla bu konu önem kazanmıştır. Bu makinalarla yapılacak kayaç delme projelerinin planlanması ve maliyetlerin tahmin edilmesinde önceden performans tahminine ilişkin bilgilere sahip olunması çok önemlidir (Kahraman 2002).

1851 yılında, Amerikalı Mühendis Charles Wilson tarafından geliştirilen tünel açma makinası, ilk başarılı sürekli kazı yapan makina olarak dikkati çekmiştir. 1881 yılında, Colonel Beaumont tarafından geliştirilen tünel açma makinası İngiltere’de keşif amaçlı kullanılmıştır. Güney Dakota’da Ohea Barajı’nın 1952’de ki inşasına kadar James Robins’in tasarladığı makinadan başka teknoloji ilerlemesi için ciddi bir girişimde bulunulmamıştır (Stack 1995, Balcı vd.’den 2007).

İlk başarılı sert kayaç makinaları 1956 yılında yapılmış ve Kanada’nın Toronto şehrindeki Humber atık su projesinde kullanılmıştır. 4.5 km uzunluğundaki kumtaşı, şeyl ve kristalize kireçtaşı formasyonlarını kesmek için tasarlanmış ve sert formasyonlarda disk tipi keski kullanımını fikrinin oluşmasını sağlamıştır (Franklin and Dusseault 1989, Balcı vd.’den 2007).

James S. Robbins, 1954 yılında kendi tünel açma makinasını (TBM) inşa ettikten sonra tünel açma makinalarının tasarımları konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüzde,

değişken kayaç koşullarında dahi yüksek ilerleme oranları söz konusudur (Sapigni et al. 2002). TBM'lerle uygun delme koşullarında 1000 m/ay ilerleme sağlanırken çok kötü jeolojik koşullara sahip kayaçlarda 50 m/ay'dan daha az ilerleme yapıldığı literatürde yer almaktadır (Wallis 1999, Sapigni et al.'dan 2002).

Tünel açma makinalarının performanslarını önceden tahmin eden modeller bir çok araştırmacı tarafından son 25 yıl içinde geliştirilmiştir (Nelson 1993). Bu modellerin bazıları uygulamada kabul görmüş, (Tarkoy 1973, Roxborough and Phillips 1975, Graham 1976, McFeat-Smith and Tarkoy 1979, McFeat-Smith and Fowel 1977, Özdemir et al. 1978, Farmer and Glossop 1980, Bamford 1984, Roxborough 1985, Innaurato et al. 1991, Sundin and Wastedt 1994, Grima et al. 2000, Kahraman et al. 2000, Blindheim et al. 2002) bazıları ise sadece literatürde yer alan bilgi olarak kalmıştır (Yaralı ve Soyer'den 2007).

Delme makinaları için geliştirilen performans tahmin modellerini, yaklaşımlarına göre iki kısma ayırmak mümkündür. Birincisi, her bir keskinin üzerindeki kesme kuvvetlerinin hareketine bağlı olan modeller, ikincisi ise arazideki makina performansına bağlı olarak geliştirilmiş modellerdir. Her bir model yaklaşımının kendisine ait olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır (Rostami et al. 1996). Genel olarak, performans tahmin modelleri aşağıda sıralanan başlıca etkenlerden bir veya daha fazlasına bağlı olarak yapılır (Nilsen and Özdemir 1993). Bu etkenler:

- 1) Arazinin haritalanması (jeolojik açıdan) ve /veya arazide yerinde yapılan deneyler
- 2) Küçük ölçekli laboratuvar deneyleri (indeks deneyleri)
- 3) Büyük ölçekli laboratuvar deneyleri
- 4) Sayısal modeller
- 5) Teorik modeller

Makina seçimini ve performansını etkileyen faktörleri ayrıntılı olarak incelediğimizde, üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar, makina ile ilgili faktörler, formasyonun jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile işletme faktörleridir (Balcı vd. 2007). Bu faktörler Çizelge 2.1'de özetlenmiştir. İşletme faktörleri olarak, ekipman temin hızı, teknik personel kalitesi, işyeri organizasyonu gibi etkenleri saymak mümkündür. Delme işlemine başlamadan önce bu işlemin nasıl bir keski ve ne tip bir makina tarafından delinebileceği ve makina performansının ne olacağı tahmin edilmeye çalışılmalıdır. Bunun için laboratuvar indeks deneyleri yapılarak kayacın delinebilirliği hakkında bilgi edinilmelidir.

Çizelge 2.1 Delme makinalarının performansını etkileyen bazı parametreler (Çopur et al. 1997, Yaralı 2008).

Makina Özelliklerine Bağlı Parametreler	Jeolojik Parametreler	İşletmeye Bağlı Parametreler
<p><i>Makina Özellikleri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Makinanın tipi • Makinanın ağırlığı ve boyutları • Pasa toplama ve taşıma kapasitesi • Makinanın yaşı • Makinanın kurulu toplam gücü 	<p><i>Kaya Kütleli Özellikleri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kaya kalite değeri (RQD) • Kaya kütleli sınıflama sistemi (RMR) • Jeolojik süreksizlikler • Hidrojeolojik durum 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ İş organizasyonu ▪ Lojistik destek ▪ Havalandırma ▪ Nakliyat ▪ Ekipman temini ▪ Kalifiye işçilik ▪ Finansman
<p><i>Kesici Kafa Özellikleri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kesici kafanın tipi ve boyutu • Kesici kafanın gücü • Kesicilerin dağılımı ve sayısı • Keski tipi ve özellikleri 	<p><i>Kayacın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kaya kesme parametreleri (Spesifik enerji, kesme kuvvetleri) • Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, kohezyon, elastik değeri) • Yüzey sertliği (Shore ve Schmidt çekici değeri) • Fiziksel özellikler (Porozite, yoğunluk, su içeriği, nem oranı vb.) • Petrografik özellikler(aşındırıcı mineral içeriği, kuvars içeriği,kuvars tane boyutu, mineral tane boyutu, çimento türü, çimentolanma derecesi, tane yönlenmesi) • Aşındırıcılığı (Cerchar aşınma değeri) • Sismik özellikler (P ve S dalgası) 	

Delinebilirlik çalışmaları sonucunda önce keski seçimi yapılmakta ve daha sonrada delme işleminin amacına uygun olarak bu keskiye donatılabilecek delme makinası seçimi yapılmaktadır. Delme makinalarında kullanılan kesicilerin çeşitli nedenlerle aşınmaları birçok soruna yol açmakta ve delme maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek delme maliyetleri, araştırmacıları performans tahmini ve uygun makina seçimi konusunda yoğun araştırmalar yapmaya yönlendirmiştir. Günümüzde de düşük maliyetler yüksek verimler için, delme makinalarının performanslarına etki edebilecek ana unsurların yanı sıra birçok yan unsurların ne olduğu konusundaki araştırma ve incelemeler devam etmektedir.

Delme makinalarının performans tahminleri için araştırmacılar birçok model ve yöntem geliştirmiş olmasına rağmen literatürde ve uygulamada en çok kabul görmüş iki performans

tahmin modeli gösterilmektedir. Bunlar, Colorado Madencilik Okulu (Colorado School of Mines, CSM) ve Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (Norwegian University of Science and Technology, NTNU) tarafından geliştirilen modellerdir (Yaralı ve Soyer'den 2007). Bu iki modelde kullanılan ve laboratuarda yapılan deneylere ilişkin liste Çizelge 2.2'de verilmiştir.

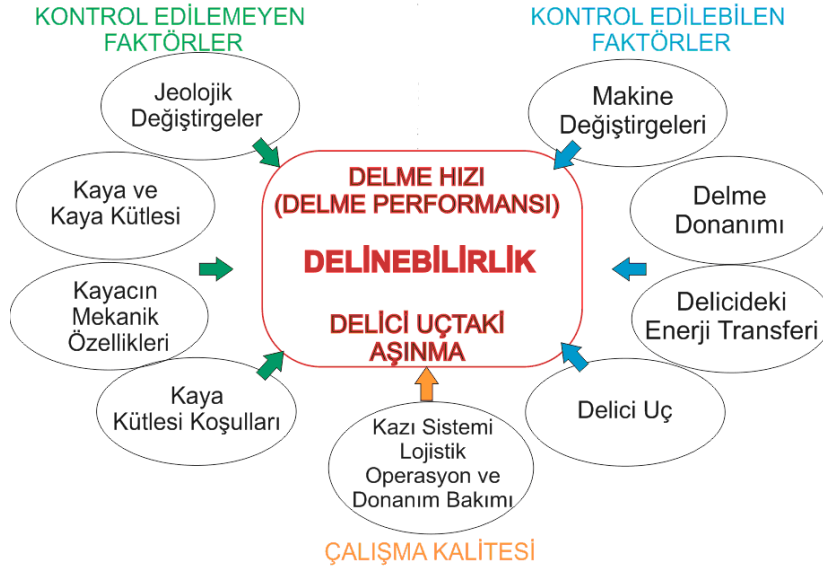
Çizelge 2.2 Modellerde kullanılan deneyler (Özdemir and Nilsen 1999).

CSM Modeli	NTNU Modeli
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tek eksenli basınç dayanımı (deformasyon deneyi dahil) ▪ Brazilian (dolaylı çekme) deneyi ▪ Yoğunluk ▪ Punch deneyi ▪ Cerchar aşınma indeks deneyi (CAI) ▪ Petrografik analizler <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sert minerallerin tipi ve içeriği ✓ Tanelerin konumu ve yönleme özellikleri ✓ Taneler arasındaki bağ ✓ Mikroçatlaklar ve boşluklar ✓ Diğer mikroskopik özellikler 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sievers minyatür delme deneyi (SJ) ▪ Kırılgenlik deneyi (S₂₀) ▪ Norveç aşınma indeks deneyi (AV) ▪ Petrografik analizler <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sert minerallerin tipi ve içeriği ✓ Tanelerin konumu ve yönleme özellikleri ✓ Taneler arasındaki bağ ✓ Mikroçatlaklar ve boşluklar ✓ Diğer mikroskopik özellikler

Delinebilirlik deney yöntemlerinin, kayaç delinebilirliğinin saptanmasında kullanılması için belirli özelliklere sahip olması gerekir. Deney yönteminin basitliği, ucuzluğu, sonuçların kısa zamanda elde edilmesi bunlar arasında sayılabilir. En önemlisi, deneylerden elde edilen değerlerin, kayacın delinebilirliği konusunda doğru sonuçlar üretmesi ve yöntemin standart olarak uygulanabilir olmasıdır (Baş 1993).

Hızlı ve ekonomik delme işlemi için delinecek kayacın özelliklerinden delici ekipmanının seçimine kadar pek çok faktörün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle, kayaçların delinebilirliği üzerinde etkin olan faktörleri kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olmak üzere başlıca iki grupta incelemek mümkündür.

Kontrol edilebilen faktörleri delici ucun tipi ve çapı, darbe, dönüş hızı gibi makinaya bağlı olan değişkenler oluştururken, kontrol edilemeyen faktörleri ise kayaç özelliklerine bağlı değişkenler oluşturmaktadır (Yaralı and Kahraman 2011). Ayrıca, iş organizasyonunun delinebilirlik çalışmalarına olumlu ya da olumsuz nasıl bir katkı sağlayacağını da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu nedenle, kazı esnasında delinebilirlik üzerinde etkin olan faktörleri üç grupta incelemek daha doğru olacaktır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Delinebilirliği etkileyen faktörler (Thuro and Spaun 1996'dan, Sakız 2016).

Kayaç dokusu ve tane boyu, delinebilirliği etkileyen faktörlerden biridir. Tane boyları ince ve doku kompakt (yoğun) olduğu zaman delinebilirlik düşmektedir. İri tane boyuna ve daha gözenekli yapıya sahip kayaç türlerinde ise delinebilirlik yüksektir. Çizelge 2.3'te doku ve tane boylarına göre delinme hızları verilmiştir.

Çizelge 2.3 Doku ve tane boyu ile delinme hızı arasındaki ilişki (Wilbur 1982).

Delinme Durumu	Doku ve Tane Boyu
Hızlı	Poroz (Gözenekler çok belirgin)
Orta-Hızlı	Parçalı (Parçalar gevşek ya da yarı sağlam)
Orta	Granitoid (Tane boyları fark edilecek kadar büyük)
Orta-Yavaş	Porfiritik (İnce taneli granit içinde iri kristaller)
Yavaş	Yoğun (Tane yapısı çıplak gözle görülemeyecek kadar ince)

Sertlik; kayacın delinmeye karşı olan direnci olarak tanımlanabilir. Kayaç sertliği delinme sırasında karşılaşılan ilk zorluktur. Delici ucun kayaç içerisine girene kadar kayaç yüzeyindeki zorlanması kayaç sertliğinden doğmaktadır. Delici uç kayaç içerisine girdikten sonraki delme işlemi nispeten daha hızlıdır. Kayaç sertliği, delinebilirliğin yavaş ya da hızlı olmasında ve delici uçların hızlı ya da yavaş aşınmasında etkin rol oynamaktadır. Kayaç sertliğine etki eden parametreler ise; kayacı oluşturan minerallerin çeşidi, dağılımı ve homojenliği, kayacı oluşturan minerallerin tane boyu ve şekilleri ve buna benzer özelliklerdir. Delinebilirlik açısından tek eksenli basınç dayanımından sonra en çok fikir veren özelliktir (Hoseinie et al. 2008).

Kayaçların dayanım özellikleri, dünyanın her yerinde standart olarak test edilebilir olduklarından uzun zamandır delinebilirlik ölçütlerinin belirlenmesinde kullanılmışlardır. Ancak, tek eksenli basınç dayanımı tek başına, kayacın aşındırıcılık, kırılabilirlik, süreksizlik gibi özellikleri hakkında yeterli derecede fikir vermemektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar bu değerlerin tek başına kullanılmasının yanıltıcı olacağını göstermiştir (Shahriar 1988, Hoseinie et al. 2008).

Kaya kütlelerinin genel yapısı delme işleminin etkinliğinde önemli rol oynar. Kaya kütlelerinin yapısı ile kayaç delinebilirliği arasında önemli bir ilişki vardır. Eklemlili kaya yapılarında delik delmek, sağlam yapılara oranla çok daha zordur. Aşırı eklemlili, süreksizlik araları açık bölgelerde delik delmek beraberinde birçok sorun getirir. Bu formasyonlarda delik delme işlemi sırasında delici ucun sıkışması, delinebilirliğin düşmesi açısından en önemli etkendir (Hoseinie et al. 2008).

Eklem sistemlerindeki en önemli karakteristik özellik, süreksizlikler arasındaki mesafedir. Kayacın delinebilirliği bu mesafeye bağlıdır. Bu mesafe azaldıkça, delme ortamının sürekliliği de azalacak, bunun sonucunda da delinebilirlik azalacaktır. Yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlarda 1 metre ve üzerindeki süreksizlikler arasındaki mesafelerde, delme işlemi daha etkili olmaktadır. 50 cm ve altındaki mesafelerde ise delinebilirlik çok düşüktür (Hoseinie et al. 2008).

Delinebilirliğe etki eden süreksizliklerle ilgili bir diğer özellik ise, süreksizliklerin açıklıkları ve bu açıklıkları dolduran dolgu malzemesinin varlığıdır. Arası kapalı çatlaklar veya eklemlerin olduğu durumların, delinebilirlik üzerine çok da olumsuz bir etkisi yoktur (Wilbur 1982).

Açık eklemlerin bulunması, delici uçların eksenden sapmasına, basınçlı hava veya suyun kaçmasına ve delici uçların kilitlemesine yol açmaktadır. Süreksizlikleri dolduran dolgu malzemesi ana kayaktan daha yumuşaksa, delici uçlar bu süreksizliklerin açısında devam etmek isteyeceklerinden dolayı, delinebilirlik azalacaktır. Tam tersi durumda ise delinebilirlik etkilenmeyecektir. Yapılan araştırmalarda, daha küçük yapıları dolgu malzemesinin olduğu süreksizliklerde delinebilirliğin olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. Bu gibi durumlarda, delik dibindeki ufalanmış kayacın dışarı çıkması zorlaşmaktadır ve delinebilirlik olumsuz

olarak etkilenmektedir. Çizelge 2.4’de kayaç formasyonu ile delinme arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Kayaç formasyonu ile delinme arasındaki ilişki (Wilbur 1982).

Delinme Durumu	Formasyon
Hızlı	Masif
Orta-Hızlı	Tabakalı
Orta	İnce tabakalı
Orta-Yavaş	Damarlı
Yavaş	Blok şekilli

Eklemlerin eğimi de delinebilirliği etkileyen faktörlerdendir. Eklemler deliğin sapmasına ve bunun sonucunda delme performansının olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Dolgu malzemesi, eklem takımlarında eğime bağlı olarak delme işlemi sırasında ve sonrasında, delik içine dolabilir bu da delici ucun sıkışmasına neden olur. Yapılan araştırmalarda, delik yönü ile eklem yüzeyi arasındaki açı arttıkça delinebilirlik kolaylaştığı görülmektedir (Wilbur 1982).

Süreksizliklerin içinde daha küçük boyutlu kırık ve çatlaklar olabilir. Masif kırıksız kayaçlar daha yavaş delinirken, dayanımsız kayaçlar daha kolay delinebilmektedir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 Kırılma şekline göre delinme durumu (Wilbur 1982).

Delinme Durumu	Kaya Çeşidi ve Kırılma Şekli
Hızlı	Küçük parçalara dağılan
Orta-Hızlı	Masif
Orta	Dilimli
Orta-Yavaş	Sağlam
Yavaş	Dövülebilir

2.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Delinebilirlik konusunda en eski çalışma Gyss and Davis tarafından (1927)’de yapılmıştır. Bu çalışmada, delme hızında kayacın sertliği ve dayanımının oynadığı rol incelenmiştir.

1950’li yıllarda kayaç delme mekaniği bilimi konusundaki çalışmalar devam etmiştir. Shimomura and Takato (1958)’de elmaslı delicilerde ilerleme oranı ile çekme ve basınç dayanımları arasındaki ilişkileri araştırmıştır (Huang and Wang 1997).

Hartman (1959)'da düşürme testi yaparak, delme ucunun etkisindeki kayacın davranışını belirleyen bir model ortaya koymuştur (Kahraman et al.'dan 2003).

1960'larda delinebilirlik üzerine çalışmalar daha da gelişmiştir. Sasaki et al. (1962)'de, değişken delme basınçları, dönme hızları ve tork değerleri ile elmaslı delicilerin delinebilirlik performansını araştırmıştır. Protodyakanov (1962), kendi geliştirdiği deney yöntemi ile kayaç dayanım katsayısını (KDK) ortaya koymuştur. Rus araştırmacı tarafından geliştirilen darbe dayanım deneyini, bazı araştırmacılar farklı boyutlarda deney aletleri kullanarak kayaçların delinebilirliklerinin tayini için uygulamışlardır. Paone and Bruce (1963)'de kayaçların fiziksel özelliklerinin delinebilirlik üzerine etkisini araştırarak kayaç dayanımının delinebilirliğe doğrudan etki ettiğini ortaya koymuşlardır (Huang and Wang'dan 1997).

Fish (1968) döner tip delici makinalarda, delme basınçları ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımları arasında üssel bir ilişki bulmuştur. Aynı araştırmacı döner delicilerde yapmış olduğu çalışmalarda, ilerleme/delme oranının, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile doğru orantılı, darbe ile ise ters orantı olduğunu ortaya koymuştur. Paone et al. (1969), 9 adet aşındırıcı kayaç üzerinde, arazide darbeli delici kullanarak, ilerleme oranları ile tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, Shore sertliği ve statik Young modülü arasında anlamlı ilişkiler bulmuştur (Kahraman et al.'dan 2003).

Singh (1969), delme oranının tek eksenli basınç dayanımından doğrudan etkilenmediğini vurgulamıştır.

Selmer-Olsen and Blindheim (1970), arazide hafif delme ekipmanları kullanarak, darbeli delicilerin delme oranları ile delme oranı indeksi (DRI) ve kayaçların dayanım, sertlik, kırılma ve aşındırıcılık gibi özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmıştır.

Selim and Bruce (1970), laboratuarda 9 adet kayacın delme oranlarını iki çeşit delme düzeneği kullanarak, ilerleme oranları ile tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, statik ve dinamik Young modülü, Shore sertliği, kesme dayanımı, yoğunluk, kayaç dayanım katsayısı ve kuvars içeriği gibi özellikleri arasında doğrusal ilişkiler kurmuştur. Aynı araştırmacılar laboratuvar şartlarında dokuz kayaç üzerinde darbeli delme deneyleri yürütmüşlerdir. Yapmış oldukları çalışma kapsamında, ilerleme oranları ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, statik ve dinamik Young modülü, Shore sertliği,

kesme dayanımı, yoğunluk, kayaç dayanım katsayısı ve kuvars içeriği gibi özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Hustrulid and Fairhurst (1972), kayaçların delinebilirliği hakkında teorik ve pratik araştırma yaparak başarılı bir delme oranı modeli ortaya koymuştur. Hakalehto (1972) bu modeli araştırdığı çalışmada, delme uçlarının etkisindeki kayaçta oluşacak delme oranının, öncelikle enerjinin çatlaklara nüfuz etmesine bağlı olduğunu belirterek, elastik olarak iletilen enerjinin genellikle küçük miktarlarda olmakla birlikte, bazı kayaç tiplerinde elastik enerjinin toplam enerji miktarının büyük bir kısmını oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Dutta (1972)'de yaptığı çalışmalarda, darbeli ucun ilerlemesiyle ilgili matematiksel bir model geliştirmiştir. Schmidt (1972)'de, 25 kayaç üzerinde, ilerleme oranı ile tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, Shore sertliği, yoğunluk, Young modülü, kayma modülü, kesme hızı ve Poisson oranı arasındaki ilişkiyi incelemiş, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, Young modülü arasında anlamlı ilişkiler bulmuştur (Kahraman et al.'dan 2003).

Tandanand and Unger (1975), darbe dayanım deneyi kullanarak, kayaç dayanım katsayısı (KDK) ile tek eksenli basınç dayanımı arasında delinebilirlik açısından iyi ilişkiler elde etmiştir. Fowell and McFeat-Smith (1976)'da yaptıkları araştırmada, çamurtaşı formasyonunda yapılan bir kazıda, eklem aralıkları 50 cm'den 25 cm'ye düştüğünde makinanın delme miktarının $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ' ten $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ' e çıktığını belirtmişlerdir (Kahraman et al.'dan 2003).

Clark (1979), basınç dayanımı, çekme dayanımı ve üç eksenli basınç dayanımının delinebilirliğe etkisini araştırmıştır (Bilgin and Kahraman'dan 2003).

Rabia and Brook (1980), geliştirilmiş bir test yöntemi kullanarak, kayaç dayanım sertlik katsayısını belirlemek amacıyla bir görgül formül geliştirmiştir. Pathinkar and Misra (1980), laboratuarda beş kayaç üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda; kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, spesifik enerji, Shore sertliği, Mohs sertliği ile ilerleme oranı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kayaçların özellikleri ile ilerleme oranı arasında anlamlı ancak karmaşık ilişkiler kurmuşlardır.

Miranda and Mello-Mendes (1983), delme ekipmanı seçiminde, laboratuvar deneyi olarak Vickers mikrosertliği ve spesifik enerjiyi elverişli bir öngörü metodu olarak belirtmiştir.

Adamson (1984), altı kayaç için döner deliciler kullanarak çalışmış ve ilerleme oranı ile kayaçların dokusal özellikleri arasında yakın ilişkiler olduğunu belirtmiştir. Lundberg (1985), darbeli delicilerin basınç dalgaları üzerine yaptığı araştırmada, teorik sonuçlar ile, kayaç üzerindeki delme basıncının ilerleme değerini, delme verimini, darbenin ve kuvvetin değerlendirme katsayılarını karşılaştırmıştır (Kahraman et al.'dan 2003).

Howarth et al. (1985), 10 adet sedimanter kayaç üzerinde delinebilirlik deneyleri yapmıştır. İlerleme oranı ile kayaçların fiziksel özelliklerini kıyasladıklarında; yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı, gözeneklilik, P dalgası hızı ve Schmidt çekici değeri ile ilerleme oranı arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır (Kahraman et al.'dan 2003).

Howarth et al. (1986), ilerleme oranı ile kayaçların yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı, gözeneklilik, P dalga hızı ve Schmidt çekici değerleri arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır. Ancak bu çalışmalarda, kayaçların kuru tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt çekici değerleri arasındaki ilişkinin çok güçlü olmadığını vurgulamışlardır. Ayrıca, gözenekliliğin kayaçların delinebilirliğini olumlu bir şekilde etkilemekte olduğunu ortaya koymuşlardır.

Howarth and Rowland (1987), darbeli deliciler için yaptıkları çalışmalarda, kayaçların dokusal özellikleri ile delme oranı arasında yakın ilişkiler belirlemişlerdir. Yüksek doku katsayısına sahip olan kayaçların delinebilirliği düşük ancak tek eksenli basınç dayanımları yüksektir.

Karpuz et al. (1990), Türkiye'de on altı kömür madeninde yaptıkları çalışmalarda, delme oranının belirlenmesi için eğrisel bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Tek eksenli basınç dayanımının kayaçların en önemli mekanik özelliği olduğunu vurgulamışlardır. Aynı araştırmacılar, tek eksenli basınç dayanımı ana unsur olmak üzere, ilerleme oranı ile delme basıncı ve dönme hızı değerlerini karşılaştırmıştır.

Pandey et al. (1991), darbeli delicilerin ilerleme oranı ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, kesme dayanımı ve kayaç dayanımı katsayısı (KDK) gibi özellikleri arasında logaritmik ilişkiler bulmuştur.

Thuro and Spaun (1996), 15 ve 20 kW'lık iki delici kullanarak tünel arınındaki delme oranını ölçmüşlerdir. Spesifik enerji ile ilerleme oranı arasındaki ilişkiyi incelemişler ve kayaçların basınç ve çekme dayanımları ile delme oranı arasında güçlü logaritmik ilişkiler bulmuşlardır.

Thuro (1997), kayaç dayanımı, delme düzeneğinin gücü, kullanılan ucun şekli, jeolojik süreksizlikler ve uç aşınması ile delme oranı arasında anlamlı ilişkiler bulmuştur. Buna göre eklem aralıkları 20 cm'den 1 cm'ye düştüğünde delme oranında %25'lik bir artış gözükmekte ve özellikle zayıf formasyonlarda eklem aralıkları birbirine yaklaştıkça delme oranlarında iki kata kadar artış görülmüştür. Bu durum kayaç kazısında da benzerlik gösterir.

Kahraman (1999), döner darbeli delicilerin alttan darbeli ve üstten darbeli olmak üzere iki çalışma şeklini de arazide yapmış olduğu gözlemlerde incelemiş ve ilerleme oranları için çoklu regresyon modeli geliştirmiştir. Çalışma kapsamında ilerleme oranının üzerinde basınç dayanımın, delici uç çapının, dönme hızının ve delici uç üzerindeki baskının oldukça önemli olduğunu belirlemiştir.

Kahraman et al. (2000)'de yaptıkları çalışma kapsamında, kayaçların delinebilirlik indeksinin tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, N tipi Schmidt çekici sekme değeri, darbe dayanımı, P dalga hızı, elastisite modülü ve kayaç yoğunluğu ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Bruland (2000), mekanik kazıda sert kaya formasyonlarında delme oranı indeksi (DRI) ile ilerleme oranlarının ilişkisini araştırırken, çatlaklar arası mesafeleri de göz önünde bulundurmuş ve çatlaklar arası mesafeyi ≥ 20 cm, ≈ 10 cm, ve ≤ 5 cm şeklinde üç kısma ayırmıştır. DRI ve çatlaklılık derecesi ile ilerleme oranı arasında, makina parametreleri hesaba katılmaksızın incelendiğinde elverişli sonuçlar elde etmiştir. DRI değerlerinin yüksek, çatlak aralıklarının ≤ 5 cm olduğu kaya yapılarında kazı kesitinin $\leq 12\text{m}^2$ olduğu durumlarda mekanizasyon ile kazının delme patlatmaya oranla oldukça ekonomik olduğunu belirlemiştir.

Kahraman (2002), kayaç kazılarında ve delme işlemlerinde oldukça etkili bir özellik olan kayaçların gevrekliliği ile darbeli ve döner delicilerin ilerleme oranı arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak incelemiştir. Kayaçların gevrekliğinin belirlenmesinde ise tek eksenli basınç ve çekme dayanımlarının kullanıldığı gevreklik ölçütlerinden yararlanmıştır.

Bilgin and Kahraman (2003), sekiz açık maden işletmesinde, 14 farklı kayaç türü üzerinde döner darbeleri delicilerin performansını ve kayaç özellikleri ile ilerleme oranları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt sertliği değeri, Cerchar aşınma değeri ve darbe dayanımı ile ilerleme oranı arasında güçlü ilişkiler belirlemiştir.

Kahraman et al. (2003), açık ocaklarda ve arazi çalışmaları sırasında, 8 adet kayaç örneği üzerinde uygulanan deneyler sonucunda ilerleme oranı ile, tek eksenli basınç ve çekme dayanımı, nokta yükü dayanımı ve Schmidt sertliği değeri arasında güçlü korelasyon ilişkileri elde etmişlerdir. Darbe dayanımı indeksi ile ilerleme oranı arasında orta derecede bir ilişki elde edilirken, P dalgası hızı ile ilerleme oranı arasında anlamlı bir ilişki belirleyememişlerdir.

Altındağ (2000, 2002, 2003), kayaçların basınç ve çekme dayanımlarını kullanarak yeni bir gevreklik indeksi önermiş ve delme oranı indeksi ile arasında önemli bir ilişki olduğunu belirtmiştir.

Miskovsky et al. (2004), minerolojik yapının ve doku özelliklerinin agrega kalitesi üzerine etkisi başlıklı makalelerinde; kırılgenlik deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarıyla mineralojik ve doku özellikleri karşılaştırılmıştır. Buna göre; agrega içindeki kuvars ($R^2=0.13$) feldspat oranı arttıkça kırılgenlik değerinin arttığı ($R^2=0.28$), mika miktarı ve tane boyutunun ($R^2=0.23$) artmasıyla kırılgenlik değerinin azaldığını ($R^2=0.52$) bulmuşlardır.

Bieniawski (2007), kaya kütlesi sınıflama sistemleri olan RMR ve Q sistemlerinden farklı olarak, RME (Rock Mass Excavability) sistemini ortaya atmıştır. RME sisteminde kullanılan parametreler, kayacın tek eksenli basınç dayanımı, delme oranı indeksi (DRI), süreksizliklerin yapısı, kayacın kendini tutma süresi ve su geliri durumudur. Yapılan incelemede, $\sigma_c < 45$ MPa ve $\sigma_c > 45$ MPa olduğu durumlarda RME oranları ile ilerleme oranları (m/gün) arasında oldukça anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Dahl et al. (2007)'de yaptıkları çalışmada, Sievers J test yönteminin kayacın yüzey sertliğinin güvenilir olarak ölçülmesinde iyi bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Kayacın yüzey sertliği ve aşındırıcılığı birlikte yorumlanarak kesici uç ömrünün tahmininin yapılabileceği belirtilmiştir.

Hoseinie et al. (2009), kaya kütlelerinin delinebilirliğinin tanımlanması için yeni bir delinebilirlik indeksi (RDi) geliştirmişlerdir. Kayaçların Mohs sertliği, tane boyu ve dokusu, tek eksenli basınç dayanımı, süreksizliklerin aralığı, dolgusu ve eğiminden yararlanmışlardır.

Yenice et al. (2009), doğal yapı taşları mermer grubundan farklı özelliklere sahip beş örneğin kimyasal, fiziksel, mekanik, dokusal özelliklerini araştırmışlardır. Mermerlerin delinebilirliklerini delme oranı indeksine göre belirlemişlerdir. Laboratuarda elde edilen sonuçlarla delme oranı arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Sonuçta en anlamlı ilişkiyi mermerlerin yoğunlukları ile DRI arasında bulmuşlardır.

Özdemir (2010), kayaç delinebilirliğinde tane şekli, kuvars, silis içeriği ve gözeneklilik gibi dokusal özelliklerin önemli olduğunu belirtmiştir. Yaşar et al. (2010), laboratuarda hazırlanmış oldukları çimento harcı üzerinde farklı delme koşullarında delinebilirlik deneyleri yapmışlardır. Bu kapsamda yürütülen çalışmalarda, delme koşulları ile çimento harcının fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Yaralı and Kahraman (2011), laboratuarda 32 kayaç türü üzerinde yaptıkları çalışmalarda, farklı gevreklik ölçütleri ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kayaçların basınç dayanımı ve çekme dayanımı değerlerini kullanarak gevreklik ölçütlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak gevreklik ölçütlerinden basınç dayanımı ile çekme dayanımının çarpımının yarısı olan ölçütün kayaç delinebilirliğinin belirlenmesinde daha anlamlı olacağını belirtmişlerdir.

Kayaçları delmek için gerek duyulan enerji miktarı olarak tanımlanan spesifik enerji, verimli bir delme işleminin en önemli parçasıdır. Verimli bir delme işlemi maksimum kesme hızı ve minimum spesifik enerji şartlarında sağlanmaktadır. Bu nedenle, spesifik enerji delme işlemlerinin bir ölçüsü ve kriteridir (Şengün 2009, Aydın 2012).

Dahl (2003), Dahl et al. (2012), Zare and Bruland (2013), SINTEF (Norwegian University of Science and Technology)'de delme oranı indeksi, kırılma deneyi, Sievers minyatür delme deneyi ve uç aşınma indeksi ile ilgili olarak yeni bir deney yöntemi geliştirmişlerdir. Farklı kayaç türlerinden 2000'den fazla örnek üzerinde yapılan çalışmalarda delinebilirliğin laboratuvar koşullarında belirlenmesi amacıyla yeni bir deney yöntemini ortaya koymuşlardır.

Ekincioğlu et al. (2013), 12 adet karbonatlı kayaç üzerinde yaptıkları çalışmada, delme oranı indeksi ile fiziko-mekanik özellikler ve spesifik enerji arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Kayaçların delinmesi için gereken spesifik enerjinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, makineye bağlı özellikler ve kayacın jeomekanik özellikleri göz önünde bulundurulmuştur (Şengün and Altındağ 2013).

Birçok araştırmacı rotary ve darbeli (percussive) delme performans analizlerinde kollu galeri açma ve tam cephe galeri açma makinalarında performans tahmini ve keski tüketimi için yapılan çalışmalarda spesifik enerjinin önemi ortaya koymuşlardır (Ersoy ve Balcı, 2013; Yüksel vd. 2013, Çapık vd. 2013).

Delici makina performansının değerlendirilmesi açısından da spesifik delme enerjisinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Delme işlemi esnasında yeni bir yüzey oluşturulması için gereken enerji, spesifik delme enerjisi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, delik delme işlemlerinin verimliliğinin değerlendirmesinde ilerleme oranı ile birlikte spesifik delme enerjisi kilit faktördür (Zhou 2013).

Moein et al. (2014), laboratuarda oluşturdukları delme ekipmanı ile 6 farklı karbonat kayacı üzerinde delme deneyleri yapmışlardır. Kayaçların sertliği, delinebilirliği ve ilerleme oranı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. İlerleme oranı ve delme oranı indeksi için en anlamlı sonucu spesifik enerjinin verdiğini belirtmişlerdir.

Yasar et al. (2015) kayaçların kesilebilirliklerine ve spesifik enerjiye, delme oranı indeksinin etkisini araştırmışlardır. Delme oranı indeksinin artması durumunda kesme kuvvetlerinin, spesifik enerjinin ve Cerchar aşınma indeks değerlerinin az miktarda azaldığını bulmuşlardır.

Zonguldak Havzası'nda yapılan bir çalışmada, kayaçların jeomekanik özellikleri ile burgu hızlarının değişimi istatistiksel olarak irdelenmiş ve en iyi sonuçlar sırasıyla, Shore sertliği, konik delici değeri, tek eksenli çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve nokta yükü dayanımı değerlerinden elde edilmiştir. Schmidt çekici değerleri ile burgu hızları arasında hiçbir ilişkinin olmadığı gözlenmiştir. Schmidt çekici ile yapılan ölçmelerde elde edilen verilerin, arının kırıklı ve çatlaklı oluşu nedeniyle gerçek sertlik değerlerini yansıtmadığı belirlenmiştir (Bilgin 1982).

Kayaçlar kendi aralarında sınıflandırıldığında, örneğin volkanik kayaçlar için darbe dayanımı değeri ile basınç dayanımı arasında anlamlı bir bağıntı ortaya çıkmaktadır (Bilgin 1989).

Birinci (1989), Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Üzülmez Müessesesi'ni Asma İşletmesi'nde yeraltı delik delme işlerinde kullanılan burguların performansını etkileyen faktörleri araştırmıştır. Burgu hızları ve burgu ömürleriyle, laboratuarda yapılan deneyler arasındaki ilişkilerde en iyi sonuçları; tek eksenli basınç dayanımı, tek eksenli çekme dayanımı ve nokta yükü dayanımı arasında bulmuştur. Ayrıca, bu çalışmada, kayaçlardaki kuvars oranının artmasıyla burgu aşınmasının da arttığı bulunmuştur.

Baş (1993), Zonguldak Havzası'nda 3 ayrı Müessesesi'de elektro hidrolik delicilerin delme performansını incelemiştir. Delme hızı ile laboratuarda yapılan deneyler arasında ilişkiler kurmuştur. En iyi sonucu tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve tek eksenli çekme dayanımı arasında elde etmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı arttıkça delme hızının üssel olarak azaldığını belirlemiştir.

Yaralı ve Soyer (2007) yaptıkları çalışmada, 16 farklı kayaç üzerinde delme oranı indeksi, Shore sertlik indeksi ve nokta yükü dayanımı indeksi deneyleri yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda, kayacın yüzey sertliği ile delinebilirliği arasında ilişki olduğunu bulmuşlardır.

Yaralı (2008), Zonguldak Havzası'na ait sedimanter, metamorfik ve magmatik kökenli kayaçların delinebilirlik özelliklerini delme oranı indeks deneyine göre belirlemiştir.

Soyer (2009), 32 farklı kayaç türü üzerinde minerolojik-petrografik analizler ile dayanım (tek eksenli basınç ve dolaylı çekme), indeks deneyleri (Schmidt sertlik, Shore sertlik, eksenel ve çapsal nokta yükü dayanımı), delme oranı indeksi deneyleri yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, kayaçların delinebilirliğinde, kayaçların sertliklerinin, dayanımının ve gevrekliğinin etkili olduğunu, petrografik özelliklerinin etkisinin ise oldukça az olduğunu belirlemiştir.

Su et al. (2013), elektro hidrolik delicilerde kullanılan burgu ve buton tipi uçların performans analizlerini yapmışlardır. Laboratuarda ve arazi koşullarında yapmış oldukları çalışmalarda, buton tipi uçların kullanımı ile daha düşük spesifik enerji ve daha fazla ilerleme oranları elde etmişlerdir.

Su (2016), Zonguldak Havzası'nda kömür çevre kayaçlarının delinmesinde kullanılan elektro hidrolik ve jumbo delicilerin performansını incelemiştir. Delme oranı indeksi ile dayanım özelliklerinin spesifik enerji, ilerleme oranı ve uçlardaki aşınma üzerine olan etkisini belirlemiştir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde, delinebilirliği etkileyen bir diğer önemli parametre kayaçların gevrekliliğidir. Gevrekliğin kayaç delinebilirliğini kolaylaştırdığı bilinmekle birlikte delme performansına etkisi tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Bu durumun en önemli sebeplerinden biri, gevreklik ölçütünü belirleyen standartlaşmış bir deney yöntemi ya da matematiksel bir kuramın olmayışıdır. Ancak araştırmacılar çeşitli deney yöntemleri ve görgül eşitlikler yardımıyla kayaçların gevreklik özelliklerinin delinebilirliğe etkisini araştırmaya devam etmektedir. Literatürde en çok karşılaşılan çeşitli gevreklik ölçütleri için geliştirilmiş görgül bağıntıların bazıları aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.1-2.4).

1-Basınç dayanımının çekme dayanımına oranından gevrekliğin belirlenmesi (Hucka and Das 1974) .

$$B_1 = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (2.1)$$

2-Basınç ve çekme dayanımından gevrekliğin belirlenmesi (Hucka and Das 1974).

$$B_2 = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} \quad (2.2)$$

3-Basınç ve çekme dayanımının çarpımından gevrekliğin belirlenmesi (Altındağ 2002).

$$B_3 = \frac{\sigma_c \times \sigma_t}{2} \quad (2.3)$$

4- Basınç ve çekme dayanımından gevrekliğin belirlenmesi (Yaralı and Soyer 2011).

$$B_4 = (\sigma_c \times \sigma_t)^{0.72} \quad (2.4)$$

Burada,

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı

σ_t : Tek eksenli çekme dayanımı

Kahraman (2002), B1 ve B2 değerleri ile ilerleme oranları arasında anlamlı sonuçlar elde etmiştir. Yaralı (2007), 16 kayaca bağlı olarak B3 değeri ile delme oranı indeksi (DRI) arasında üssel bir ilişki bulunmuştur.

2.3 DELİNEBİLİRLİĞİ BELİRLEMEDE KULLANILAN DENEYLER

Delinebilirliğin güvenilir olarak saptanması, çeşitli deney yöntemlerinin birlikte uygulanması ile gerçekleşmektedir. Ancak bu yol genellikle pahalı olmaktadır. En güvenilir ve başarılı sonuçlar, laboratuarda spesifik enerji ve aşındırıcılık deneyi gibi özel olarak tasarlanan ve delinebilirliğe etki eden özellikleri birlikte irdeleyen deney yöntemleri vermektedir.

Delici makina delme hızlarının, burgu aşınmalarının, burgu seçiminin tespitinde iyi sonuçlar veren, delinebilirliğe etki eden çeşitli özellikleri bir arada irdeleyen delinebilirlik indeksleri geliştirilmiştir.

Kayaçların delinebilirliği; dayanım, kırılgenlik, aşındırıcılık ve süreksizlik özelliklerinden etkilenir. Delinebilirlik tayininde bu özelliklerden bir kaçını bir arada değerlendirilirler. Delinebilirlik tayininde kullanılan bu özelliklere göre deneyler yapılmıştır (Yazıcı 1984, Baş'dan 1993). Bu sınıflama aşağıdaki gibidir.

a – Dayanım özelliklerini irdeleyen deney yöntemleri

- Tek eksenli basınç dayanımı
- Tek eksenli çekme dayanımı
- Nokta yükü dayanımı

b – Kırılgenlik özelliğini irdeleyen deney yöntemleri

- Shore sertlik deneyi
- Plastik sertlik deneyi

c – Aşındırıcılık özelliğini irdeleyen deney yöntemleri

- Kayacın mineral içeriği
- Kayaçların tane boyutu

- Kayaçların tane düzgünlüğü
 - Çimentolanma derecesi
- d – Dayanım ve kırılma özelliklerini irdeleyen deney yöntemleri
- Darbe dayanım deneyi
 - Konik delici deneyi
 - Shore sertliği deneyi
 - Sivri uç batırma deneyi
- e – Dayanım, kırılma ve süreksizlik özelliklerini irdeleyen deney yöntemleri
- Schmidt çekici deneyi
 - Kayaç kazılabilirlik deneyi
 - Yerinde kayaç dayanım indeksi deneyi
 - Darbeli delici deneyi
- f – Dayanım, kırılma, süreksizlik, aşındırıcılık özelliklerini irdeleyen deney yöntemleri
- Cerchar sertlik ve aşındırıcılık deneyi
 - Spesifik enerji ve aşındırıcılık deneyi
 - Laboratuvar spesifik enerji deneyi

Delme hızlarının, keski aşınmalarının ve delme makinalarında keski seçiminin belirlenmesinde iyi sonuçlar veren, delinebilirliğe etki eden çeşitli özellikleri bir arada irdeleyen özel olarak tasarlanmış delinebilirlik indeksleri geliştirilmiştir. Bunlar;

- Kayaç dayanım katsayısı indeks (KDK) deneyi
- Delme oranı indeks (DRI) deneyi
- Uç aşınma indeks (BWI) deneyi
- Uç ömrü indeksi (CLI)

2.4 DELME ORANI İNDEKSİ DENEYİ (DRI)

Delme oranı indeksi (DRI) 1943 yılında İsviçre’de N. Von Matern ve A. Hjelmer tarafından geliştirilmiştir. Deney yöntemi birkaç değişiklikten sonra standart hale gelmiş ve 1950’lilerin sonundan itibaren kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

DRI iki temel laboratuvar deneyi ile bulunmaktadır. Birincisi; kırılma deneyi (S_{20}) ve diğeri ise Sievers minyatür delme deneyi (SJ)'dir. Delme oranı indeksi kayaç yüzey sertliği için düzeltilmiş kırılma değeri olarak da tanımlanabilir (Dahl 2003).

Delme oranı indeksi (DRI), kayaç delinebilirliğini belirlemek amacıyla kullanılan indeks deneyidir. DRI, kayaçların delinebilirliklerinin zorluğunun veya kolaylığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bu indeks Norveç Teknoloji Enstitüsü ve SINTEF tarafından 1960'lı yıllardan itibaren kayaç delinebilirliği üzerinde yapılan çalışmaların derlenmesi sonucu geliştirilmiştir (Dahl 2003).

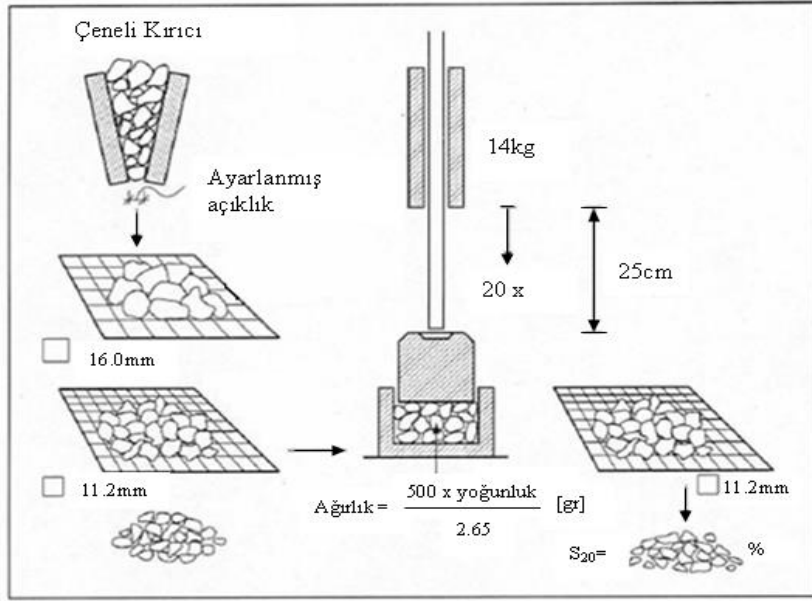
Delme makinalarının performans tahmini için geliştirilmiş modellerde delme oranı indeksi (DRI) kullanılmaktadır. Bu indeks Norveç Teknoloji Enstitüsü (Norwegian Institute of Technology) SINTEF'de 1960'lı yıllardan itibaren kayaçların delinebilirlik için yapılan laboratuvar ve arazi çalışmalarının derlenmesi sonucu geliştirilmiştir. Ancak 1988 yılında itibaren özellikle İskandinav ülkelerinde delinebilirlik konusunda standart bir deney haline gelmiştir. Bu indeks deneyi, kayaçların kırılma değeri (S_{20}) ve Sievers minyatür delme deneyinin verilerine bağlıdır (Dahl et al. 2007).

2.4.1 Kırılma Deneyi (S_{20})

Kırılma deneyi, tekrarlanan darbe sonucu kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direnci ölçen bir deney yöntemidir. Deney aletine beslenecek malzeme miktarını belirleyen ana unsur, kaya malzemesinin yoğunluğudur. Şekil 2.2'de kırılma deneyine ait temel şekil verilmiştir. Çizelge 2.6'da ise kayaçların kırılma sınıflaması verilmiştir (Dahl 2003).

Çizelge 2.6 Kırılma deneyi (S_{20}) sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	Kümülatif (%)	Değer
Oldukça düşük	0-5	<30
Çok düşük	5-15	31-34
Düşük	15-35	35-41
Orta	35-65	42-50
Yüksek	65-85	51-59
Çok yüksek	85-95	60-67
Oldukça yüksek	95-100	>67



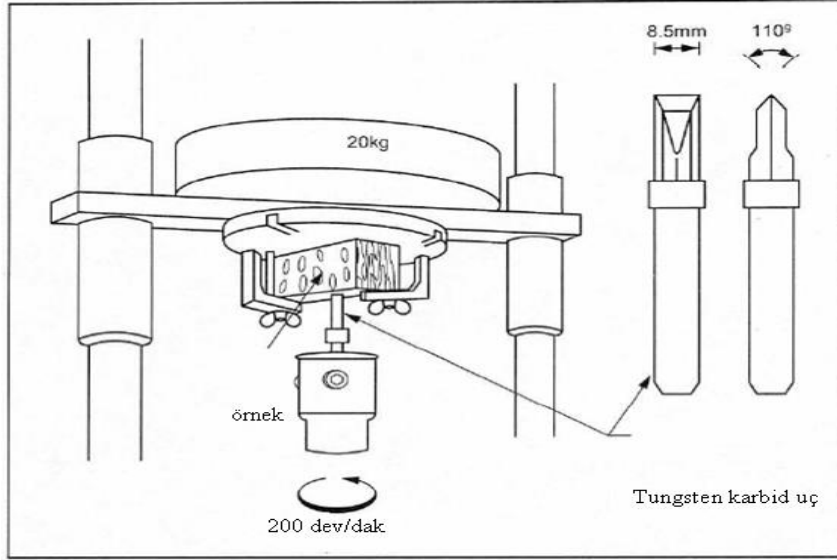
Şekil 2.2 Kırılmalık deneyi düzeneği (Dahl 2003).

Kırılmalık deneyinde kayaç örneği önce çeneli kırıcıdan geçirilerek malzeme kırılır. +16 mm boyutundaki malzeme yoğunluk değerinin belirlenmesinde kullanılır. -16 mm/ +11.2 mm elek aralığındaki malzemeden 2.65 gr/cm^3 yoğunluktaki malzeme için 500 gr 'a karşılık gelen örnek hacmi bir havan içine konulur. Ortalama 25 cm yükseklikten 14 kg ağırlığındaki çekiç havan içindeki malzemeye 20 defa düşürülür. 20 kez tekrarlanan darbeye kırılan havan içindeki malzeme 11.2 mm'lik elekten elenir. - 11.2 mm'lik malzeme miktarı deneyin başında havan içine konulan malzemeye ağırlıkça oranlanır. Yüzde olarak bulunan değer kayacın kırılmalık değerine eşittir. Bir kayacın kırılmalık deneyi, aynı koşullarda 3-5 kez tekrar sonucu elde edilen değerlerin ortalaması olarak bulunur.

2.4.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi (SJ)

Bu deney kayacın yüzey sertliğinin veya delmeye karşı direncinin bir ölçüsünü verir. Bu deney yöntemi 1950'li yıllarda H. Sievers tarafından geliştirilmiştir. Sievers minyatür delme deneyi (SJ), minyatür delme ucunun 1 dakika boyunca 200 devirde döndükten sonra kayaç içinde açılan delik boyunun mm olarak ölçülmesidir. Şekil 2.3'de bu deney yönteminin genel hatları gösterilmektedir. SJ değeri 4-8 delik boyunun ortalamasıdır. Önceden kesilerek hazırlanan kayaç örneğinin yüzeyi dikkatlice incelendikten sonra yumuşak ve sert tabaklaşma durumuna göre delinecek yerler işaretlenmelidir. %60'ı sert ve %40'ı yumuşak tabaklaşma gösteren bir kayaçta 3 delik sert kısma, 2 delik de yumuşak kısma delinmelidir (Dahl 2003).

Yumuşak/sert kombinasyon gösteren kısımlardan kaçınılmalıdır. Bu gibi yerlerde sıçrama ve sarsıntı durumu oluşur. Ancak mineral kompozisyonundan dolayı bazı durumlarda kaçınmak mümkün olmayabilir. Bu durum mutlaka raporda belirtilmelidir (Dahl 2003).



Şekil 2.3 Sievers minyatür delme deneyi düzeneği (Dahl 2003).

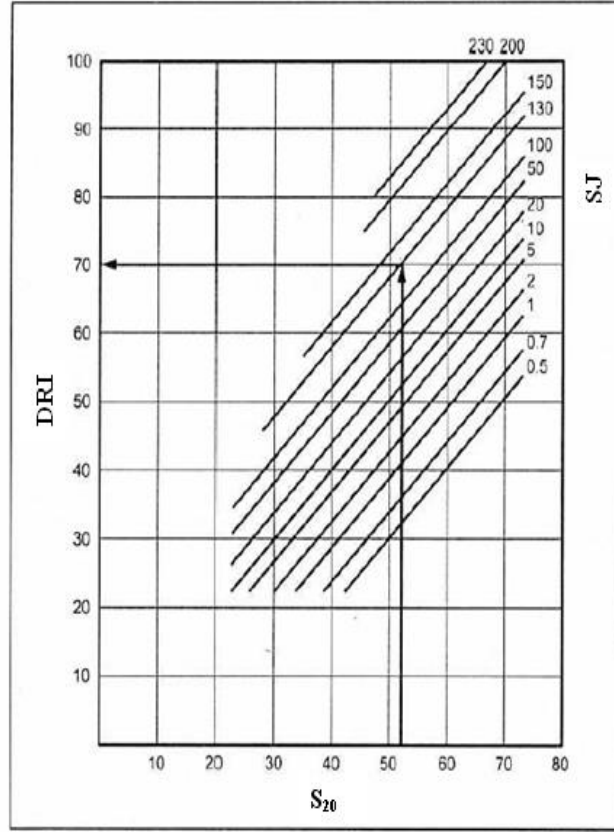
Bu deneyde kayaç örneği 20 kg'lık ağırlık altına sıkılanır ve matkabın ucu değinceye kadar dikkatli bir şekilde indirilir. Matkabın ucunun kayacın yüzeyine dik olmasına dikkat edilmelidir. Matkabın dönme işine başlanır ve delme işi 200 devir tamamlanıncaya kadar deney yapılır. Deney bittiği zaman ağırlık ve örnek yukarı kaldırılır. Örnek gevşetilerek sonraki işaretlenmiş delme yeri delinir. Bu işlem her örnek için 4-8 kez tekrarlanmalıdır. Delik boyları bir elektronik mikrometre veya kumpas ile ölçülerek elde edilen değerlerin ortalaması hesaplanır. Bulunan bu değer örneğin Sievers minyatür delme değeridir (Dahl 2003). Çizelge 2.7'de Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması verilmiştir.

Çizelge 2.7 Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	Kümülatif (%)	Değer
Oldukça düşük	0-5	<2
Çok düşük	5-15	2-3
Düşük	15-35	4-6
Orta	35-65	7-18
Yüksek	65-85	19-55
Çok yüksek	85-95	56-86
Oldukça yüksek	95-100	>86

2.5 DELME ORANI İNDEKSİ (DRI)'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Delme oranı indeksi Şekil 2.4'de verilen diyagram kullanılarak bulunur. Diyagram üzerinde kırılgenlik (S_{20}) deneyinden elde edilen değer ve Sievers minyatür delme (SJ) deneyinden elde edilen değer kesiştirilerek DRI değeri tespit edilir. Çizelge 2.8'de delme oranı indeks deney verilerinin sınıflaması ve Çizelge 2.9'da ise bazı yaygın kayaçların DRI değerleri verilmiştir.



Şekil 2.4 DRI'nin değerlendirilmesi için diyagram (Dahl 2003).

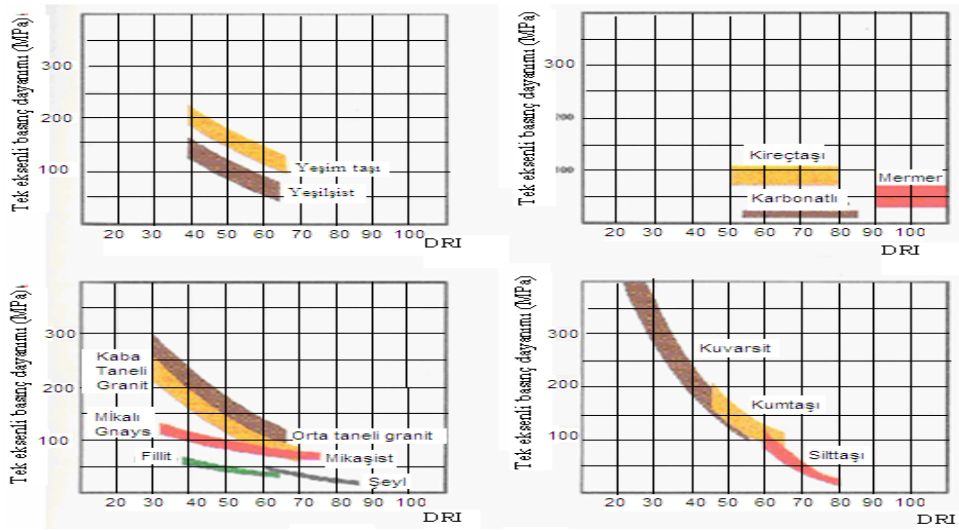
Çizelge 2.8 Delme oranı indeksi (DRI) sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	DRI
Oldukça düşük	≤ 25
Çok düşük	26-32
Düşük	33-42
Orta	43-57
Yüksek	58-69
Çok yüksek	70-82
Oldukça yüksek	≥ 83

Çizelge 2.9 Bazı kayaçların DRI değerleri (Tamrock 1999).

Kayaç	DRI	Kayaç	DRI
Andezit	30-80	Grovak	25-65
Anhidrit	85-115	Hematit cevheri	25-85
Anorsit	30-50	Hornblend	30-50
Amfibolit	15-75	Kireçtaşı	30-100
Arkoz	29-75	Marn	40-110
Gnays	30-70	Magnetit cevheri	15-50
Bazalt	20-75	Meta-Peridotitler	40-105
Siyah şeyl	40-70	Mika gnays	25-75
Kıltaşı	40-90	Mika şist	25-85
Kömür	110-120	Nikel cevheri	40-80
Konglomera	25-75	Olivinli bazalt	20-60
Bakır cevheri	30-90	Pegmatit	40-80
Seramik	70-125	Pillite	35-75
Diyabaz, Dolarit	30-50	Porphidrit	30-80
Diorit	25-65	Kuarsit	25-80
Dolomit	40-55	Reyolit	30-65
Epidotit	25-40	Kumtaşı	15-90
Gabro	30-65	Silttaşı	30-145
Gnays	25-75	Skarn	20-70
Granit	30-80	Sepalerit cevheri	90-105
Granit, Gnays	25-80	Siyenit	30-80
Granadorit	30-55	Tonalit	30-70
Granulite	20-45	Tüf	30-80

Kayaçın tek eksenli basınç dayanımı ile DRI arasında Şekil 2.5'deki gibi bir ilişki söz konusudur. Şekil 2.5'de 80 adet aynı standartta yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kayaç tipine göre sınıflandırılarak çizilmiştir.



Şekil 2.5 Bazı kayaçlar için DRI ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Tamrock 1999).

BÖLÜM 3

KAYAÇ ÖRNEKLERİNİN PETROGRAFİK ANALİZİ

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı Batı Karadeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi ile Malatya'dan alınan magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçların makroskobik ve mikroskobik olarak incelenerek, petrografik tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Makroskobik olarak; kayaç örneklerine ait kaba mineral bileşim, renk, kabaca doku ve yapısal özellikleri, alterasyon ve ayrışım-bozuşum, sertlik, dayanıklılık, çatlak ve kırıklık gibi özellikleri dikkate alınmış, mikroskobik incelemelerde ise; detay mineralojik bileşim, mikroskobik bazda doku türü, tane boyu ve şekli, yuvarlaklık, küresellik, çimento türü ve çimentolanma derecesi gibi özellikleri incelenerek detay petrografik tanımlamaları yapılmış ve buna paralel kayaç isimlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Kayaçlara ait petrografik analizler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Petrografik analizler Bülent Ecevit Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda Yrd. Doç. Dr. Gürkan Bacak tarafından yapılmıştır.

Kayaçların çimento türüne bakılarak Mcfeat-Smith (1977)'e göre çimentolanma katsayıları (cementation coefficient) belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Ayrıca çimentolanma katsayıları ile Çizelge 3.1'de bulunan çimentolanma dereceleri çarpılarak kayaçlara ait "Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK)" belirlenmiştir.

Schormair et al. (2006)'ya göre kayaçların Rosival aşındırıcılık katsayısı tablosu Çizelge 3.3'de gösterilmiştir. Bu tablodan alınan kayaçlara ait değerler ile Çizelge 3.1'de bu kayaçlara karşılık gelen aşındırıcı mineral oranları çarpılarak, kayaçların toplam eşdeğer kuvars içerikleri (Q_{eqv}) saptanmıştır ve bu hesaplamanın bir örneği Çizelge 3.4'de gösterilmiştir. Kayaçlar içerisinde bulunan aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutları (d_{ort}) da belirlenmiştir. Çizelge 3.5'de aşındırıcı mineral ortalama tane boyutunun örnek hesaplaması görülmektedir. Çizelge 3.6'da ise kayaçların petrografik analiz sonuçlarına göre bulunan petrografik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kayaçların petrografik analizleri.

No	Kayaç Türü	Mineralojik bileşim (%)	Yuvarlaklılık (%) Köşelilik (%)	Aşındırıcı mineral oranı (%)	Mineral ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)
A1	İnce taneli kumtaşı	Q. : 25 F (plajyoklaz): 20 Pir. (ojit) : 15 O. : 10 Litik parça: 15	A :25 SA:60 R :- SR:15	Q.: 25 F (plajyoklaz): 20 Pir. (ojit) : 10 O. :10 M.: 10	Q : 0.1–0.6 F :0.3–0.5 Pir.:0.5–0.8 O. : 0.3–0.5	Silis	35
A2	Orta taneli kumtaşı	Q. : 48 F.: 22 M. (biyotit): 5 Litik parça: 15 O.(manyetit): 5 Pir.: 5	A :30 SA:65 R :- SR:5	Q: 48 F.: 22 Pir.: 5 O.: 5 M.: 5	Q: 0.2–0.8 F.: 0.5–0.6 M.: 0.5 Lit.: 0.2–0.6 O.: 0.1–0.2 Pir.: 0.4–0.7	Silis	40
A4	Orta taneli kumtaşı	Q: 35 F: 20 Pir: 6 O: 10 M: 5 Litik parça: 10	SA : 60 SR : 40	Q: 35 F.: 20 Pir.: 6 O.: 10 M.: 5	Q: 0.2–0.8 F.: 0.5–0.6 M.: 0.5 Lit.: 0.2–0.6 O.: 0.1–0.3 Pir.: 0.2–0.6	Demir + Silis	40
A5	Kireçtaşı	Mikrokristalin kalsit :84 Kavkı (CaCO3): 15 Q :1	A :- SA:10 R :20 SR:70	Q.: 1 Kal:99	Mik. kalsit <0.05 Kavkı 0.05-0.1 O. : 0.1	Karbonatlı	50
A7	Mikritik özellikli fosilli brej kireçtaşı (brej mermer)	Q.: 0.5–1 Dol.: 4–6 Kal.(mikritik): 92–93 O.(hematit-limonit):0.5	A :- SA:- R :80 SR:20	Q.: 0.5–1 O.(hematit-limonit):1 Kal:98	Q.: 0.1 Dol.: ~0.01 Kal.: ≤ 0.1 O.: ≤ 0.1	Karbonatlı	40

Çizelge 3.1 (Devam ediyor)

No	Kayaç Türü	Mineralojik bileşim (%)	Yuvarlaklık (%) Köşelilik (%)	Aşındırıcı mineral oranı (%)	Mineral ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)
A8	Kuvarşlı kumtaşı	Q. : 76 O. (manyetit): 1 Lit. : 4 Kar. : 14 F. (albit-ortoklaz): 5	A :30 SA:60 R :- SR:10	Q.: 76 O. (manyetit): 1 M.: 23	Q. : 0.2-0.7 O. : 0.05-0.1 Kar. : 0.1-0.3 F. : 0.1-0.3	Silis	60
A10	Silttaşı	Q: 20 F: 15 K: 30 O: 25 M: 10	SA : 70 SR : 30	Q: 20 F: 10 O: 30 M: 10 K: 30	Q: 0.05-0.4 F:: 0.1-0.4 M.: 0.5 O.: 0.1-0.3	Kil	30
B1	Granit	Q. : 35 Alkali F.: 25 Plz : 30 Amf. :15 O. : 15 M. :5	A :70 SA:20 R :- SR:10	Q. : 35 Alkali F.: 40 Plz : 10 M. :10 O:5	Q. : 1-2 Alkali F.: 1-2.5 Plz : 0.5-2 M. : 0.5-1	Silis	70
B2	Granit	Q. : 40 F. : 30 (Ortoklaz-mikrolin) Plz.: 20 (albit) M. : 8 O. : 2 (manyetit)	A :40 SA:35 R :5 SR:20	Q. : 40 F. : 30 M. : 8 O. :2 Plz :20	Q. : 0.1 - 2 F. : 0.25-0.5 Plz. : 0.25-1 M. : 0.5-1 O. : 0.1-0.25	Silis	75
B3	Porfirik bazaltik andezit	Plz (andezin): 60 Pir. (ojit): 30 O.(magnetit): 10	A :40 SA:40 R :- SR:20	F. (plz): 60 Pir. : 30 O. : 10	Plz.(porfirik): 0.7-1 Plz.(mikrolitik):0.05-0.08 Pir.(porfirik): 1-2 Pir. (mikrolitik): 0.05-0.09 O.(magnetit): 0.05-0.1	Silis	60

Çizelge 3.1 (Devam ediyor)

No	Kayaç Türü	Mineralojik bileşim (%)	Yuvarlaklılık (%) Köşelilik (%)	Aşındırıcı mineral oranı (%)	Mineral ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)
B4	Diyabaz	Plz.: 65 Pir.: 25 O.(manyetit): 10	A :50 SA:40 R :- SR:10	F. (plz): 65 Pir. : 25 O. : 10	Plz.(porfirik): 3.5 Plz.(mikrolitik):0.02–0.08 Pir.(porfirik): 0.5–1 Pir. (mikrolitik): 0.03–0.05 O.(manyetit): 0.05–0.1	Silis	65
B5	Porfirik bazaltik andezit	Plz.(andezin–oligoklaz): 60 Pir. (ojit): 20 Amf. (hornblend): 10 O.(magnetit–hematit):10	A :40 SA:40 R :- SR:20	Plz.(andezin–oligoklaz): 60 Pir. (ojit): 20 Amf. (hornblend): 10 O.(magnetit–hematit):10	Plz.(porfirik): 0.5-2 Plz.(mikrolitik):0.1–0.5 Pir.(porfirik): 0.5–1.2 Pir.(mikrolitik): 0.1–0.3 O.(manyetit): 0.01–0.3	Silis	45
B7	Bazalt	Plz (mikrolitik. labrador ve bitovnit): 63 Pir.(ojit): 10 Oliv.(forsterit): 12 O.: 15	A :45 SA:35 R :- SR:20	Plz.(mikrolitik. F.): 63 Pir.(ojit): 10 Oliv.: 12 O.: 15	Plz.: 0.5-2 Pir.: 0.5-1 Oliv.:0.17-0.25 O.: 0.05-1	Silis	60
B8	Diyorit	Plz. (andezin): 65 Pir. (diyopsit): 30 O. (manyetit): 5	A :25 SA:65 R :- SR:10	Plz. (F.): 65 Pir. : 30 O. : 5	Plz: 1–2 Pir.: 0.5–2 O.:0.2–0.3	Silis/Felsds patça zengin	60
C1	Kuarsit	Q.: 97 O.(manyetit–hematit): 3	A :70 SA:20 R :- SR:10	Q.: 97 O.: 3	Q.: 1-1.5 O.: 0.1-0.25	Silis	60
C2	Kuarşist	Q. : 25 M. (biyotit) : 15 Plz.(F) : 36 Amf : 10 O : 1	A :20 SA:70 R :- SR:10	Q. : 84 M: 5 O: 1 K:10	Q. : 1-2 M. : 0.1–0.2 O. : 0.05	Silis	65

Çizelge 3.1 (Devam ediyor)

No	Kayaç Türü	Mineralojik bileşim (%)	Yuvarlaklık (%) Köşelilik (%)	Aşındırıcı mineral oranı (%)	Mineral ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)
C3	Kuars biyotit klorit şist (yeşil renk)	Q.: 60 Biot.: 25 O. (manyetit): 10 Klorit: 5	A :- SA:20 R :10 SR:70	Q.: 60 Biot.: 25 O. (manyetit): 10 Klorit: 5	Q.:0.5-2 Biot.: 0.1-0.5 O.: 0.01-0.2 Klorit: 0.2-0.5	Silis	60
C4	Karbonatlı metamorfik mermer	Kal.: 99 O.(pirit–manyetit):1	A :15 SA:70 R :15 SR:-	Kal:99 O.: 1	Kal.: 0.1-1 O.(pirit–manyetit):0.05-0.1	Karbonatlı	30
C5	Karbonatlı metamorfik mermer	Kal.: 98 O.(pirit–manyetit):1	A :15 SA:75 R :10 SR:-	Q.: 1 O.(pirit–manyetit):1 Kal:98	Kal.: 0.2-0.5 (ort. 0.3 mm) O.: ≤0.1 (ort. 0.08 mm)	Karbonatlı	25
C7	Metadiyabaz	Plz. (albit, oligoklaz ve andezin): 75 Pir.(ojit): 15 O.(manyetit): 7 Q: 3	A :30 SA:65 R :- SR:5	Plz. (F.): 75 Pir.: 15 O. : 10	Q: ort 1mm Plz.:0.05–0.2 (ort:0.1mm) Pir.:0.05–0.2 (ort: 0.1 mm) O. (manyetit): 0.1–0.3	Silis	55

Q:Kuars. **F:** Feldspat. **M:** Mika. **O:** Opak. **Pir:** Piroksen. **Lit:** Litik parça. **Glo:** Glokoni. **Kal:** Kalsit. **Dol:** Dolomit. **Kar:** Karbonat. **Plz:** Plajiolklaz. **Epd:** Epidot. **Amf:** Amfibol. **Oliv:** Olivin. **Dol:** Dolomit. **Biot:** biotit. **Kal:** kalsit. **A:** Köşeli. **SA:** Yarı köşeli. **R:** Yuvarlak. **SR:** Yarı yuvarlak

Çizelge 3.2 Kayaçların çimentolanma katsayısı (McFeat-Smith 1977).

Çimento Türü	Katsayı
Çimentolanmamış kayaçlar veya %20'den daha fazla boşluklu	1
Demir	2
Demir ve kil	3
Kil	4
Kil + karbonat	5
Karbonat	6
Silt; kil veya silisli kalsit	7
Silisli silt	8
Silisli, parçacıklı kuvars taneli	9
Silis; %2'den daha az boşluklu	10

Çizelge 3.3 Kayaçların Rosival aşındırıcılık katsayısı değerleri (Schormair et al. 2006).

Mineral	Rosival aşındırıcılık katsayısı (%)
Feldspat	32
Piroksen	43
Kuvars	100
Pirit ve biotit	55
Kalsit. kil	4
Mika	4
Plajiolklas	25
Potasyum feldspat	25

Çizelge 3.4 Eşdeğer kuvars içeriğinin hesaplanması.

A2 ÖRNEĞİ			
Mineral Adı	Aşındırıcı Mineral Oranı (%)	Rosival Katsayısı	Q_{eqv} (%)
Kuvars	48	100	48
Feldspat	22	32	7.26
Mika	5	4	0.20
Opak	5	4	0.20
Piroksen	5	43	2.15
Toplam Eşdeğer Kuvars İçeriği			57.81

Çizelge 3.5 Aşındırıcı mineral ortalama tane boyutunun hesaplanması.

A2 ÖRNEĞİ			
Mineral Adı	Mineralojik Bileşim (%)	Tane Boyutu (mm)	d_{ort} (mm)
Kuvars	100	0.6	0.6
Feldspat	22	0.55	0.121
Mika	5	0.5	0.03
Opak	5	0.15	0.0075
Piroksen	5	0.6	0.025
Toplam Aşındırıcı Mineral Tane Boyutu			0.78

Çizelge 3.6 Kayaçların petrografik özellikleri.

Kayaç No	d_{ort} (mm)	Q_{eqv} (%)	Çimentolanma Katsayısı	Çimentolanma Derecesi	DSK
A1	0.73	36.7	9	35	315
A2	0.78	57.81	9	40	360
A4	0.78	44.78	11	40	440
A5	0.05	4.96	6	50	300
A7	0.20	4.96	6	40	240
A8	1.43	76.96	9	60	540
A10	0.38	26.10	4	30	120
B1	1.85	51.30	9	70	630
B2	1.33	55.30	9	70	630
B3	0.97	33.10	9	60	540
B4	1.11	34.60	9	65	585
B5	1.04	29.20	9	45	405
B7	0.90	32.29	9	60	540
B8	1.60	34.55	9	60	540
C1	1.26	97.12	9	60	540
C2	1.52	43.94	9	65	585
C3	1.40	74.35	9	60	540
C4	0.69	4.00	6	30	180
C5	0.30	4.96	6	25	150
C7	1.10	31.60	9	55	495

d_{ort} = Aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu, Q_{eqv}= Eşdeğer kuvars içeriği, DSK= Doku Sağlamlık Katsayısı

BÖLÜM 4

LABORATUAR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, laboratuarda yapılan delinebilirlik, aşındırıcılık ve indeks deneylerinin yapılaş şeklinden ve deney sonuçlarından bahsedilmiştir. Laboratuarda yapılan deneyler aşağıda belirtilmiştir. Bunlar:

1. Dayanım deneyleri

- ✓ Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (σ_c)
- ✓ Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı (σ_t)

2. İndeks deneyleri

- ✓ Shore sertlik indeksi deneyi (SH)

3. Delinebilirlik deneyleri (delme oranı indeksi (DRI))

- ✓ Sievers minyatür delme deneyi (SJ)
- ✓ Kırılmalık deneyi (S_{20})

4. Aşındırıcılık deneyleri

- ✓ Cerchar aşınma indeksi deneyi (CAI)
- ✓ Norveç aşınma indeksi deneyi (AV)

4.1 DENEY ÖRNEKLERİNİN ALINMASI VE HAZIRLANMASI

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi ile Malatya'dan alınan magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli olmak üzere toplam 22 kayaç örneği üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Gerek örneklerin araziden alınmasında gerekse laboratuarda deneylerin yapılmasında Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği standartlarına dikkat edilmiştir. Çizelge 4.1'de deneylerde uyulan standartlar gösterilmiştir. Örnek alım yerleri ve kayaç türleri ise Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Araziden alınan kaya blokları Maden Mühendisliği ZEDEM Uygulamalı Kaya Mekaniği Laboratuvar'ına getirilmiştir. Dayanım deneylerinde kullanılan örneklerin alt ve üst yüzeyleri ISRM (1980) standartına göre hazırlanmıştır.

Çizelge 4.1 Deneylerde uyulan standartlar.

Deney	Referans	H (mm)	D (mm)	Deney tekrar sayısı
Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c)	ISRM, 1979	110-135	54	5
Brazilian dolaylı çekme dayanımı (σ_t)	ISRM, 1978	27	54	10
Cerchar aşınma indeksi deneyi (CAI)	ISRM, 2015	30	54	3
Kırılgenlik deneyi (S_{20})	Dahl, 2003	Elek boyutunda		3
Sievers minyatür delme deneyi (SJ)	Dahl, 2003	30	54	3
Norveç aşınma indeksi deneyi (AV)	Dahl, 2003	30	54	3
Shore sertlik indeksi deneyi (SH)	ISRM, 1978	30	54	22

Çizelge 4.2 Örnek alım yerleri ve kayaç türleri.

Kayaç Türü	Örnek Adı	Yer
Sedimenter	A1	İnce Taneli Kumtaşı
	A2	Orta Taneli Kumtaşı
	A3	Kömür Bantlı Kumtaşı
	A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı
	A5	Kireçtaşı
	A7	Çakraz Brej Mermer
	A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı
	A10	Amasra Silttaşı
Magmatik	B1	Bergama Granit
	B2	Yenice Granit
	B3	Niğde Andezit
	B4	Niğde Diyabaz
	B5	Ereğli Andezit
	B7	Kızılcahamam Bazalt
	B8	Niğde Diyorit
	Metamorfik	C1
C2		Malatya Kuvarşist
C3		Malatya Kloritşist
C4		Afyon Mermer
C5		Marmara Mermer
C6		Niğde Kuvars Albit Serizitşist
C7		Niğde Metadiyabaz

Araziden alınmış şekilsiz boyuttaki değişik kaya bloklarından karot alma makinasında (Şekil 4.1) NX karot boyutunda yaklaşık 54 mm çapında örnekler alınmıştır. Karot örneklerinin dayanım deneylerinde kullanılabilmesi için uygun boyutlarda taş kesme makinalarında kesilerek (Şekil 4.2) kaba düzeltmeleri yapılmıştır. Kayaç örneklerinin ince yüzey düzeltmeleri yüzey düzeltme (Şekil 4.3) ve zımpara makinalarıyla yapılmıştır.



Şekil 4.1 Karot alma makinası.



Şekil 4.2 Taş kesme makinası.



Şekil 4.3 Yüzey düzeltme makinası.

Kayaçların yoğunlukları karot şeklindeki örneklerin boyutları ölçülüp ortalamaları alınarak hacimleri, tartılarak da kütleleri bulunmuştur. Bu iki büyüklüğün oranından kayaçların yoğunlukları tespit edilmiştir.

Dayanım deneylerinde karot örnekleri kullanılırken, delme oranı indeksi deneyinde dayanım deneyi sonucu kırılmış olan kayaç malzemesi yeniden kullanılmıştır. Karot örnekleri ve kırılan malzeme, 20 °C ± 5 °C’ de ortalama % 40 ± 2 nemli ortamda saklanmıştır. Özellikle delme oranı indeksi deneyleri bu koşullarda yapılmıştır.

4.2 DAYANIM DENEYLERİ

Kayaçların dayanımları tek eksenli basınç ve Brazilian dolaylı çekme dayanımı deneyleri yapılarak bulunmuştur.

4.2.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının tayini amacıyla yapılmaktadır. Deneysel çalışmalarda ISRM (1979) tarafından önerilen yöntem izlenmiştir.

ISRM (1979) tarafından önerilen yükseklik/çap oranının (H/D) 2.5-3.0 arasında olması istenirken bu çalışmada, H/D oranı 2.0 - 2.5 olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır. Her kayaç tipi için deney 5 kez tekrarlanmıştır.

Deney, ZEDEM Uygulamalı Kaya Mekaniği Laboratuvarı’nda bulunan hidrolik preste ve ortalama 1 MPa/sn yükleme hızında yapılmıştır (Şekil 4.4). Şekil 4.5’de tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılmış olan örnekler gösterilmektedir. Deney sonuçlarından kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı Eşitlik 4.1’den bulunmuştur.

$$\sigma_c = 4000 * \frac{F}{\pi D^2} \quad (4.1)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

F : Yenilme anında kaydedilen yük (kN)

A : Silindirik örneğin kesit alanı ($= \pi.(D/2)^2$)

D: Örnek çapı. (mm)'dir.



Şekil 4.4 Tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı deneyinde kullanılan pres.



Şekil 4.5 Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılmış olan örnekler.

Çizelge 4.3'de tek eksenli basınç dayanımına göre kaya malzemesinin tanımlanması, Çizelge 4.4'de ise incelenen kayaların tek eksenli basınç dayanım deney sonuçları ile dayanım sınıflaması verilmiştir.

Çizelge 4.3 σ_c ' ye göre kaya malzemesinin tanımlanması (ISRM 1980).

Tek eksenli basınç dayanımı σ_c (MPa)	Dayanım sınıfı
<6	Çok Düşük
6-20	Düşük
20-60	Orta
60-200	Yüksek
>200	Çok yüksek

Çizelge 4.4 Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları ve sınıflaması.

NO	ÖRNEK ADI	σ_c (MPa)	DAYANIM SINIFI
A1	İnce Taneli Kumtaşı	99.94±13.27	Yüksek
A2	Orta Taneli Kumtaşı	90.70±12.33	Yüksek
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	74.60±15.74	Yüksek
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	107.08±12.44	Yüksek
A5	Kireçtaşı	99.75±14.25	Yüksek
A7	Çakraz Brej Mermer	94.70±34.91	Yüksek
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	124.00±12.15	Yüksek
A10	Amasra Siltaşı	67.64 ± 9.15	Yüksek
B1	Bergama Granit	98.47±9.85	Yüksek
B2	Yenice Granit	148.40±5.18	Yüksek
B3	Niğde Andezit	165.10±35.11	Yüksek
B4	Niğde Diyabaz	167.88±13.16	Yüksek
B5	Ereğli Andezit	104.53±23.54	Yüksek
B7	Kızılcahamam Bazalt	156.00±27.50	Yüksek
B8	Niğde Diyorit	138.10±10.02	Yüksek
C1	Karabük Kuvarsit	160.00±47.69	Yüksek
C2	Malatya Kuvarşist	111.50±12.34	Yüksek
C3	Malatya Kloritşist	90.26±11.75	Yüksek
C4	Afyon Mermer	56.68±6.81	Orta
C5	Marmara Mermer	44.95±11.35	Orta
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	129.38±3.27	Yüksek
C7	Niğde Metadiyabaz	135.29±3.18	Yüksek

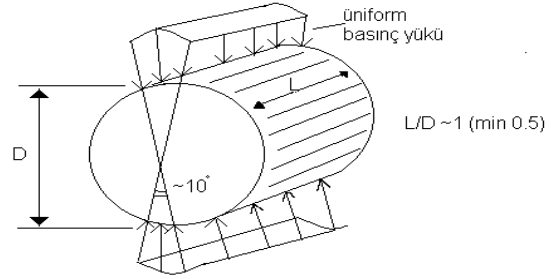
Çizelge 4.4'e göre, kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımlarının çoğunlukla yüksek dayanım sınıfında yer aldığı ve 44.95 ile 167.88 MPa arasında değiştiği görülmektedir.

4.2.2 Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi

Bu deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme ile çekme dayanımlarının dolaylı olarak tespiti için ISRM (1978) tarafından önerilen dayanım deney yöntemidir. Bu yöntemde prensip, yükleme basınç (Şekil 4.6) olmasına rağmen örneğin kırılması merkezinde oluşan yatay çekme (Şekil 4.7) gerilmesine dayanır (Gerçek 2000).



Şekil 4.6 Dolaylı çekme deney aleti.



Şekil 4.7 Brazilian deneyinde örneğin yüklenme şekli (Gerçek 2000).

Yapılan deneylerde H/D oranı 0.5 olacak şekilde örnekler hazırlanmış, örneklerin alt ve üst yüzeyleri kabaca düzeltilmiştir. Her bir kayaç örneği için 10'ar adet deney yapılmıştır. Örnek kalınlıkları çapın yarısı (yaklaşık 27 mm) olacak şekilde hazırlanmıştır. Örnek üzerine uygulanan yük sabit bir hızda ve en zayıf kayaçta dahi yenilmeyi 15-30 s arasında ve yükleme hızı 200 N/s olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Dolaylı çekme dayanımı değeri Eşitlik 4.2'den hesaplanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

$$\sigma_t = 0.636 \frac{F}{D.t} \quad (4.2)$$

Burada;

σ_t = Tek eksenli çekme dayanımı (MPa)

F = Yenilme anında kaydedilen maksimum yük (N)

D = Deney örneğinin çapı (mm)

t = Deney örneğinin merkezindeki kalınlığı (mm)

Çizelge 4.5'e göre, kayaç örneklerinin tek eksenli dolaylı çekme dayanımı deney sonuçlarının 6.48 ile 24.78 MPa arasında değiştiği görülmektedir. En düşük dayanım değeri A2 no'lu Orta

Taneli Kumtaşı örneğine aitken, en yüksek dayanım değeri B4 no'lu Niğde Diyabaz örneğinde bulunmuştur.

Çizelge 4.5 Kayaçların tek eksenli dolaylı çekme dayanım deneyi sonuçları.

NO	ÖRNEK ADI	σ_t (MPa)
A1	İnce Taneli Kumtaşı	11.38±1.82
A2	Orta Taneli Kumtaşı	6.48±1.89
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	7.56±2.24
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	9.73±2.01
A5	Kireçtaşı	10.10±2.02
A7	Çakraz Brej Mermer	12.38±3.45
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	18.46±2.73
A10	Amasra Silttaşı	7.67±1.10
B1	Bergama Granit	8.43±1.26
B2	Yenice Granit	18.05±4.40
B3	Niğde Andezit	24.34±4.77
B4	Niğde Diyabaz	24.78±3.66
B5	Ereğli Andezit	12.57±1.84
B7	Kızılcahamam Bazalt	16.38±2.73
B8	Niğde Diyorit	10.94±2.10
C1	Karabük Kuvarsit	21.09±3.17
C2	Malatya Kuvarşist	9.44±1.08
C3	Malatya Kloritşist	9.27±1.13
C4	Afyon Mermer	8.44±1.10
C5	Marmara Mermer	6.89±1.42
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	13.96±2.72
C7	Niğde Metadiyabaz	15.44±2.45

4.2.3 Kayaçların Gevreklik Durumlarının İncelenmesi

Delinebilirliği etkileyen bir diğer önemli parametre olarak kayaçların gevreklik özelliği de bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalara bakılarak, gevrekliğin kayaç delinebilirliğini kolaylaştırdığı bilinmekle birlikte delme performansına etkisi tam olarak ortaya çıkartılamamıştır. Bu durumun en önemli nedeni, gevreklik ölçütünü belirleyen standartlaşmış bir deney yöntemi ya da matematiksel bir kuramın olmayışdır.

Literatürde kabul gömüş 2 temel gevreklik ölçütü (Eşitlik 2.1- 2.2), Altındağ (2002) tarafından geliştirilmiş gevreklik ölçütü (Eşitlik 2.3) ile Yaralı and Soyer (2011) tarafından önerilen ölçüt (Eşitlik 2.4) kullanılmıştır. Çizelge 4.6'da 22 kayacın, dayanım değerleri (tek eksenli basınç dayanımı ve tek eksenli dolaylı çekme dayanımı) ile dört gevreklik ölçütüne göre değerlendirilmesi verilmiştir.

Çizelge 4.6 Kayaçların gevreklik durumları.

No	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	B1	B2	B3	B4
A1	99.94±13.27	11.38±1.82	8.78	0.80	568.66	158.58
A2	90.70±12.33	6.48±1.89	14.00	0.87	293.87	98.59
A3	74.60±15.74	7.56±2.24	9.87	0.82	281.99	95.70
A4	107.08±12.44	9.73±2.01	11.01	0.83	520.94	148.88
A5	99.75±14.25	10.10±2.02	9.88	0.82	503.74	145.32
A7	94.70±34.91	12.38±3.45	7.65	0.77	586.19	162.08
A8	124.04±12.15	18.46±2.73	6.72	0.74	1144.52	262.39
A10	67.64 ± 9.15	7.67±1.10	8.82	0.80	259.40	90.12
B1	98.47±9.85	8.43±1.26	11.68	0.84	415.05	126.41
B2	148.40±5.18	18.05±4.40	8.22	0.78	1339.31	293.83
B3	165.10±35.11	24.34±4.77	6.78	0.74	2009.27	393.49
B4	167.88±13.16	24.78±3.66	6.77	0.74	2080.03	403.42
B5	104.53±23.54	12.57±1.84	8.32	0.79	656.97	175.94
B7	156.74±27.50	16.38±2.73	9.52	0.81	1277.64	284.02
B8	138.10±10.02	10.94±2.10	12.62	0.85	755.41	194.55
C1	160.63±47.69	21.09±3.17	7.59	0.77	1687.20	346.98
C2	111.50±12.34	9.44±1.08	11.81	0.84	526.28	149.97
C3	90.26±11.75	9.27±1.13	9.74	0.81	418.36	127.13
C4	56.68±6.81	8.44±1.10	6.72	0.74	239.19	85.00
C5	44.95±11.35	6.89±1.42	6.52	0.73	154.85	62.16
C6	129.38±3.27	13.96±2.72	9.27	0.81	903.07	221.24
C7	135.29±3.18	15.44±2.45	8.76	0.80	1044.44	245.66

4.3 İNDEKS DENEYLERİ

Bu çalışmada indeks deneyi olarak sadece Shore sertlik indeksi deneyi yapılmıştır. Bu deneyin yapılış şekli ile deney sonuçları bu bölümde verilmiştir.

4.3.1 Shore Sertlik İndeksi Deneyi (SH)

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin, Shore sertliğinin tayini amacıyla yapılmaktadır. Deneysel çalışmalarda ISRM (1978) tarafından önerilen yöntem izlenmiştir. Shore sertliğinin belirlenmesinde D modeli Shore skleroskopu deney aleti kullanılmıştır (Şekil 4.8).

Shore sertlik indeksi deneyinde NX yaklaşık 54 mm çaplı, yükseklikleri 25-30 mm yüksekliğinde karot örnekleri kullanılmıştır. Yapılan deneyde kayaç örneklerindeki minerallerin sertliklerini belirlemek için örnek üzerine düşen elmas uçlu çekicinin geri sıçrama değerleri en az 5 mm aralıkla okunmuştur. Yapılan 22 okumadaki en düşük ve en yüksek değerler atılmıştır. Bu okumaların ortalaması Shore sertlik değerini ifade etmektedir. Shore sertlik indeksi deney sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Shore skleroskopu deney aleti.

Çizelge 4.7 Kayaç örneklerinin Shore sertlik indeksi deneyi sonuçları.

NO	ÖRNEK ADI	SH
A1	İnce Taneli Kumtaşı	31.80±5.92
A2	Orta Taneli Kumtaşı	34.40±2.31
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	29.40±5.54
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	37.90±5.21
A5	Kireçtaşı	33.00±5.57
A7	Çakraz Brej Mermer	36.50±7.85
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	27.95±6.64
A10	Amasra Silttaş	15.05±3.44
B1	Bergama Granit	35.30±7.12
B2	Yenice Granit	38.85±9.08
B3	Niğde Andezit	42.60±17.04
B4	Niğde Diyarbaz	48.00±6.39
B5	Ereğli Andezit	37.35±8.08
B7	Kızılcahamam Bazalt	44.60±7.74
B8	Niğde Diyorit	32.10±7.12
C1	Karabük Kuvarşit	37.85±13.18
C2	Malatya Kuvarşit	40.85±6.71
C3	Malatya Kloritşist	32.50±5.06
C4	Afyon Mermer	20.45±4.24
C5	Marmara Mermer	13.50±3.56
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	42.25±5.51
C7	Niğde Metadiyarbaz	35.45±13.24

Çizelge 4.7 incelendiğinde kayaçların Shore sertlik indeksi değerlerinin 13.50 ile 48.00 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. C5 no'lu Marmara Mermer ve A10 no'lu Amasra Silttaşı örneklerinin Shore değeri en düşük bulunmuştur. Bunun nedeni kayaçların çimentolanma derecelerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. B4 no'lu Niğde Diyabaz örneğinin Shore sertliği en yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni ise kayacın petrografik ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

4.4 DELİNEBİLİRLİK DENEYLERİ (DELME ORANI İNDEKSİ, DRI)

Delme oranı indeksi (DRI), iki temel laboratuvar deneyine bağlı olarak bulunmaktadır. Birincisi; kırılma deneyi (brittleness test) S_{20} ve diğeri ise Sievers minyatür delme deneyi (Sievers miniature drill-test value) SJ dir. Delme oranı indeksi kayaç yüzey sertliği için düzeltilmiş kırılma değeri olarak da tanımlanabilir (Dahl 2003).

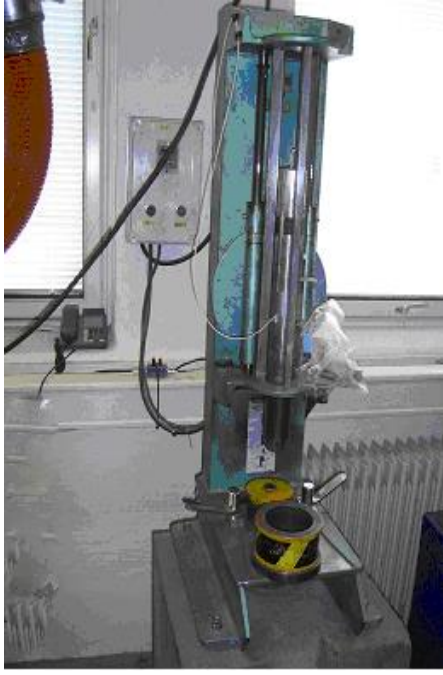
4.4.1 Kırılma Deneyi (S_{20})

Bu çalışmada kırılma deneyleri Dahl (2003)'ın önerdiği şekilde yapılmıştır. Bu deneylerde 11.2 mm - 16 mm boyut aralığındaki kırılmış malzeme kullanılmıştır. Şekil 4.9.a' da orijinal SINTEF Araştırma Merkezi'nde (Norveç) bulunan alet, Şekil 4.9.b' de ise kullanılan deney aletinin resimleri görülmektedir.

Kayaçların yoğunluğu karot örnekleri üzerinden belirlenmiştir. Her kayacın kırılma deneyi belirlenen standartlara göre yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar detaylı şekilde Ek Açıklamalar A'da verilmiştir. Çizelge 4.8'de kırılma deneyi sınıflaması ve Çizelge 4.9'da ise kırılma deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.8 Kırılma deneyi (S_{20}) sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	Kümülatif (%)	Değer
Oldukça düşük	0-5	<30
Çok düşük	5-15	31-34
Düşük	15-35	35-41
Orta	35-65	42-50
Yüksek	65-85	51-59
Çok yüksek	85-95	60-67
Oldukça yüksek	95-100	>67



a. Orijinal S₂₀ deney aleti



b. Laboratuarda kullanılan S₂₀ deney aleti

Şekil 4.9 Kırılmalık deney aleti resimleri.

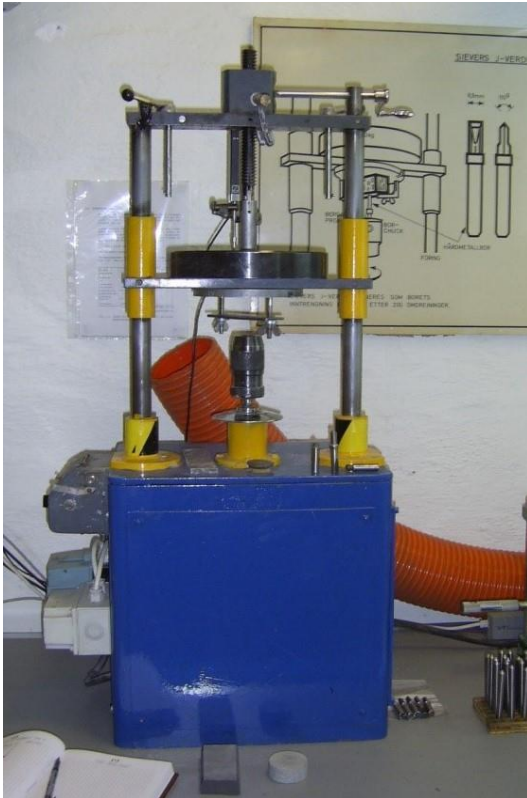
Çizelge 4.9 Kırılmalık deneyi sonuçları ve sınıflaması.

NO	ÖRNEK ADI	S ₂₀	SINIFI
A1	İnce Taneli Kumtaşı	46.75±4.40	Orta
A2	Orta Taneli Kumtaşı	52.74±1.04	Yüksek
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	47.58±2.32	Orta
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	43.65±4.87	Orta
A5	Kireçtaşı	53.32±1.57	Yüksek
A7	Çakraz Brej Mermer	44.70±0.76	Orta
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	65.75±4.81	Çok Yüksek
A10	Amasra Silttaşı	62.23±3.23	Çok Yüksek
B1	Bergama Granit	55.24±6.63	Yüksek
B2	Yenice Granit	41.93±4.08	Düşük
B3	Niğde Andezit	46.69±0.16	Orta
B4	Niğde Diyabaz	53.42±4.26	Yüksek
B5	Ereğli Andezit	60.48±0.77	Orta
B7	Kızılcahamam Bazalt	34.81±2.43	Çok Düşük
B8	Niğde Diyorit	52.74±2.43	Yüksek
C1	Karabük Kuvarsit	42.51±0.59	Orta
C2	Malatya Kuvarşist	62.11±0.81	Çok Yüksek
C3	Malatya Kloritşist	63.51±1.60	Çok Yüksek
C4	Afyon Mermer	55.08±2.42	Yüksek
C5	Marmara Mermer	57.38±2.72	Yüksek
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	44.17±4.04	Orta
C7	Niğde Metadiyabaz	48.38±5.41	Orta

Çizelge 4.9 incelendiğinde kayaçların kırılgenlik deneyi (S_{20}) değerlerinin 34.81 ile 65.75 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Kırılgenlik değeri arttıkça kayacı delmek kolaylaşmaktadır. En düşük değer B7 no'lu Kızılcahamam Bazalt örneğine aitken, en yüksek değer ise A8 no'lu Armutçuk Kuvars Kumtaşı rneğinde bulunmuştur.

4.4.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi (SJ)

Bu deney Dahl (2003)'e göre yapılmıştır. Çizelge 4.10'da Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması, Çizelge 4.11'de ise deney sonuçları verilmiştir. Şekil 4.10.a'da orijinali SINTEF Araştırma Merkezi'nde (Norveç) bulunan alet, Şekil 4.10.b'de ise bu çalışmada kullanılan deney aletinin resimleri görülmektedir. Bu deneyde özel olarak tasarlanmış tungsten karbid uç (Şekil 4.11) kullanılmıştır.



a.Orijinal Sievers minyatür delme indeks deney aleti (SINTEF-Norveç).



b.Laboratuvarda kullanılan SJ deney aleti (BE).

Şekil 4.10 Sievers minyatür delme (SJ) deney aletinin görünüşü.

Bu alışmada NX çapında karot örnekler kullanılmıştır. Örnekler 25 – 30 mm kalınlığında ve alt ve üst yüzeyleri 0.02 mm' ye kadar düzgün olacak şekilde hazırlanmıştır. Her bir kayaç rneği 5 ile 7 kez delinmiştir. Delik uzunlukları bir elektronik kumpas ile llmştir.

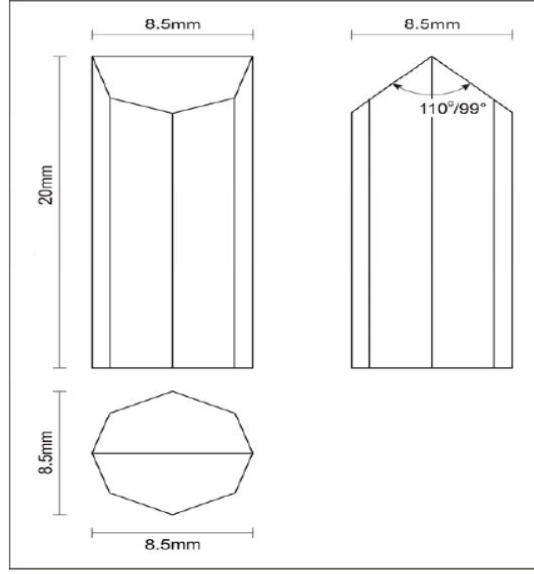
Çizelge 4.10 Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	Kümülatif (%)	Değer
Oldukça düşük	0-5	<2
Çok düşük	5-15	2-3
Düşük	15-35	4-6
Orta	35-65	7-18
Yüksek	65-85	19-55
Çok yüksek	85-95	56-86
Oldukça yüksek	95-100	>86

Çizelge 4.11 Sievers minyatür delme (SJ) deneyi sonuçları ve sınıflaması.

NO	ÖRNEK ADI	SJ	SINIFI
A1	İnce Taneli Kumtaşı	96.40±3.90	Oldukça yüksek
A2	Orta Taneli Kumtaşı	64.60±24.50	Çok yüksek
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	83.00±15.10	Çok yüksek
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	86.90±5.10	Çok yüksek
A5	Kireçtaşı	67.40±7.20	Çok yüksek
A7	Çakraz Brej Mermer	43.50±8.60	Yüksek
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	49.80±8.60	Yüksek
A10	Amasra Silttaşı	88.80±1.30	Oldukça yüksek
B1	Bergama Granit	6.90±1.40	Düşük
B2	Yenice Granit	53.90±18.20	Yüksek
B3	Niğde Andezit	89.60±10.00	Oldukça yüksek
B4	Niğde Diyarbaz	60.80±2.00	Çok yüksek
B5	Ereğli Andezit	39.07±2.94	Yüksek
B7	Kızılcahamam Bazalt	11.20±1.60	Orta
B8	Niğde Diyorit	26.80±14.30	Yüksek
C1	Karabük Kuvarisit	6.80±1.50	Düşük
C2	Malatya Kuvarşist	3.07±1.59	Çok düşük
C3	Malatya Kloritşist	22.10±0.8	Orta
C4	Afyon Mermer	88.30±13.10	Oldukça yüksek
C5	Marmara Mermer	95.80±5.30	Oldukça yüksek
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	88.30±9.60	Oldukça yüksek
C7	Niğde Metadiyarbaz	84.80±1.90	Çok yüksek

Çizelge 4.11 incelendiğinde kayaçların Sievers minyatür delme deneyi değerlerinin 3.07 ile 96.40 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değer arttıkça kayaçlar daha rahat delinmektedir. En düşük değer C2 no'lu Malatya Kuvarşist örneğine aitken, en yüksek değer A1 no'lu İnce Taneli Kumtaşı örneğinde bulunmuştur. Şekil 4.12'de Sievers minyatür delme deneyi ile delinmiş kayaç örneklerinin resimleri görülmektedir.



Şekil 4.11 SJ deneyinde kullanılan özel uçların geometrisi ve hazırlanmış uçlar.



Şekil 4.12 SJ deneyinde kullanılmış olan örnek kayaçlar.

4.4.3 Delme Oranı İndeksinin (DRI) Değerlendirilmesi

Delme oranı indeksi, kırılgenlik ve Sievers minyatür delme deney verileri kullanılarak Şekil 2.4'den bulunmuştur ve Çizelge 2.8'e göre sınıflaması Çizelge 4.12'da verilmiştir.

Çizelge 4.12 Kayaçların delme oranı indeksi deney sonuçları ile sınıflaması.

NO	ÖRNEK ADI	SJ	S ₂₀	DRI	SINIFI
A1	İnce Taneli Kumtaşı	96.40±3.90	46.75±4.40	57	Orta
A2	Orta Taneli Kumtaşı	64.60±24.50	52.74±1.04	61	Yüksek
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	83.00±15.10	47.58±2.32	55	Orta
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	86.90±5.10	43.65±4.87	51	Orta
A5	Kireçtaşı	67.40±7.20	53.32±1.57	62	Yüksek
A7	Çakraz Brej Mermer	43.50±8.60	44.70±0.76	51	Orta
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	49.80±8.60	65.75±4.81	55	Çok yüksek
A10	Amasra Siltaşı	88.80±1.30	62.23±3.23	67	Çok Yüksek
B1	Bergama Granit	6.90±1.40	55.24±6.63	52	Orta
B2	Yenice Granit	53.90±18.20	41.93±4.08	47	Orta
B3	Niğde Andezit	89.60±10.00	46.69±0.16	46	Orta
B4	Niğde Diyabaz	60.80±2.00	53.42±4.26	44	Yüksek
B5	Ereğli Andezit	39.07±2.94	60.48±0.77	60	Yüksek
B7	Kızılcahamam Bazalt	11.20±1.60	34.81±2.43	45	Düşük
B8	Niğde Diyorit	26.80±14.30	52.74±2.43	51	Orta
C1	Karabük Kuvarsit	6.80±1.50	42.51±0.59	50	Düşük
C2	Malatya Kuvarşist	3.07±1.59	62.11±0.81	55	Orta
C3	Malatya Kloritşist	22.10±0.8	63.51±1.60	65	Yüksek
C4	Afyon Mermer	88.30±13.10	55.08±2.42	65	Yüksek
C5	Marmara Mermer	95.80±5.30	57.38±2.72	69	Yüksek
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	88.30±9.60	44.17±4.04	54	Orta
C7	Niğde Metadiyabaz	84.80±1.90	48.38±5.41	46	Yüksek

Çizelge 4.12 incelendiğinde kayaçların delme oranı indeksi (DRI) değerlerinin 44 ile 67 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değer B4 no'lu Niğde Diyabaz örneğinde bulunurken, en yüksek değer ise A10 no'lu Amasra Siltaşı örneğinde bulunmuştur.

4.5 CERCHAR AŞINMA İNDEKSİ DENEYİ (CAI)

Cerchar Aşınma İndeksi deneyi kömür madenciliği uygulamaları için ilk olarak Fransa'da Cerchar Araştırma Enstitüsü (Research Institute Cerchar of the Charbonnages de France)'nde 1971 yılında bulunmuş ve sonuçlar Valantin (1973) tarafından yayınlanmıştır. Bu deney, kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde ve delme makinalarında tahmini keski tüketiminin saptanmasında kullanılmaktadır (Plinninger et al. 2003, Rostami et al. 2005).

Cerchar aşınma indeks deneyi için önerilmiş üç tane deney yöntemi önerisi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, 1986 yılında Cerchar Enstitüsü'nün önerdiği NF P94-430-1 nolu yöntem (AFNOR 2000), ikincisi ASTM D7625-10 (2010) tarafından önerilen yöntem ve sonuncusu da ISRM (2015) tarafından önerilen yöntemdir. Günümüzde Cerchar aşınma indeks deneyi için kullanılmakta olan çeşitli sınıflandırma sistemleri bulunmaktadır. ISRM (2015) tarafından önerilen Cerchar aşınma indeksine göre aşındırıcılık sınıflaması Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Cerchar aşınma indeksi sınıflaması (ISRM 2015).

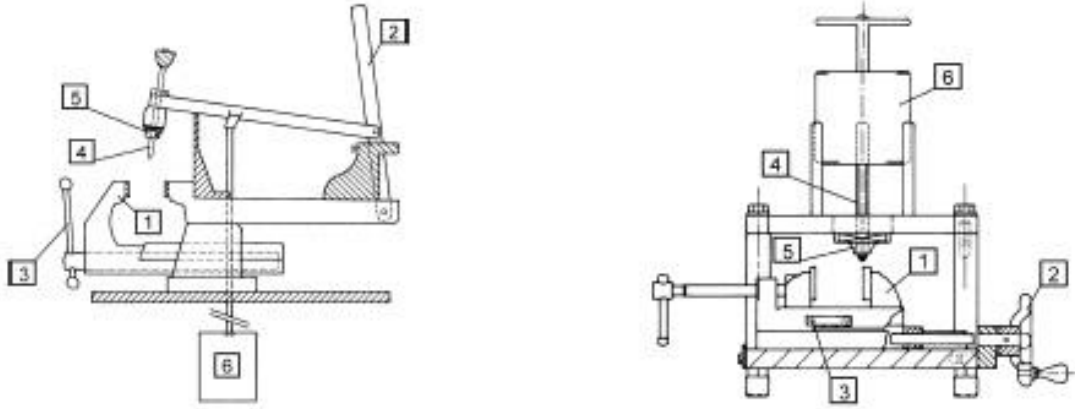
CAI Değeri	Sınıfı
0.1 – 0.4	Aşırı düşük
0.5 – 0.9	Çok düşük
1.0 – 1.9	Düşük
2.0 – 2.9	Orta aşındırıcı
3.0 – 3.9	Yüksek
4.0 – 4.9	Çok Yüksek
≥ 5	Aşırı yüksek

ISRM (2015) göre Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi, birinci nesil (klasik) deney aleti (Şekil 4.13a) için 1 ± 0.5 saniye, ikinci nesil (West) deney aleti (Şekil 4.13b) için 10 ± 2 saniye boyunca ve 70 N'luk statik yük altında, 2000 N/mm² çekme dayanımına sahip standart krom vanadyum alaşımlı soğuk iş takım çeliğinden üretilmiş Rockwell Sertliği 55 ± 1 olan ve 90° tepe açılı konik bir ucun taze kırılmış bir kayaç yüzeyinde 10 mm çekilmesi şeklinde gerçekleştirilen deney yöntemi olarak tarif edilmektedir.

Bu çalışmada, kayaçların aşındırıcılıkları belirlemek için West tam otomatik Cerchar aşınma indeks deney aleti (Şekil 4.14) kullanılmıştır. Kayaç örnekleri üzerindeki çizme işlemi, her defasında yeni bir uçla ve ISRM (2015)'e göre yapılmıştır. Her bir kayaç örneği için 5 kez çizme işlemi yapılmıştır. Deneylede HRC 55 ± 1 sertliğindeki uçlar kullanılmıştır.

Aşınmış uçlar, BEÜ Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Uygulama Laboratuvarı'nda (Şekil 4.15) bilgisayar destekli 35 büyütme bioküler mikroskop altında farklı konumlarda (yatay ve düşey) ölçülmüştür (Şekil 4.16). Ayrıca deneye başlamadan önce çelik uçlar yine bu mikroskopla bakılarak deney standartını (90° uç açısı durumu) sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Uygun olan uçlarla deney tekrarlanmıştır. Uygun olmayan uçlar, okuma işlemi

yapılmış uçlarla birlikte tekrar bileme işlemine tabi tutulmuştur. 1/10 mm'lik aşınma yüzeyi bir birim Cerchar aşınma indeksi olarak kabul edilmiştir. Böylece, kayalara ait Cerchar aşınma indeks değeri 5 deneyin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.



a) Cerchar deney aleti (Cerchar 1986):
1-mengene. 2-3 el manivelası. 4-çelik uç.5-ucu sıkma tertibatı. 6-ağırlık.

b) West deney aleti (West 1986):
1-mengene. 2-el çarkı. 3-mengene kızağı. 4-konik iç. 5-uç yuvası. 6-ağırlık.

Şekil 4.13 Cerchar aşınma indeksi deney aletleri (Plinninger et al.'dan 2003).



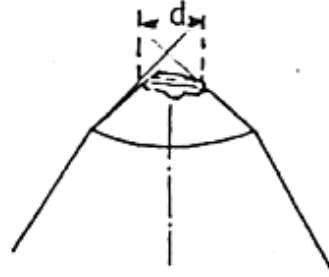
Şekil 4.14 West tam otomatik Cerchar aşınma indeksi deney aleti.



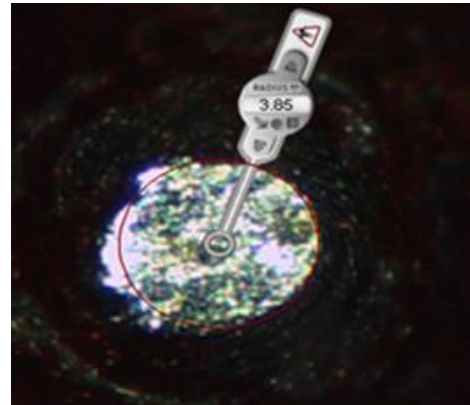
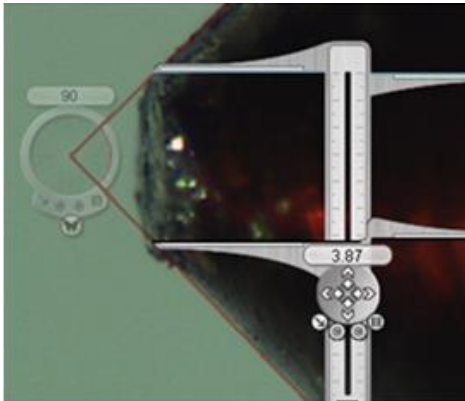
Şekil 4.15 Görüntüleme sistemi.



a. Yatay konumdaki ucun görünümü.



b. Düşey konumdaki ucun görünümü.



Şekil 4.16 Cerchar aşınma indeksi deneyinde aşınan ucun mikroskop altında ölçümü.

Çizelge 4.14'de kayaçların Cerchar aşınma indeksi deney sonuçları ile aşındırıcılık sınıflaması verilmiştir.

Çizelge 4.14 Kayaçların Cerchar aşınma indeksi deney sonuçları ve sınıflaması.

NO	ÖRNEK ADI	CAI	SINIFI
A1	İnce Taneli Kumtaşı	1.14±0.25	Düşük
A2	Orta Taneli Kumtaşı	2.26±0.38	Orta
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	1.59±0.43	Düşük
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	1.48±0.11	Çok düşük
A5	Kireçtaşı	1.17±0.31	Düşük
A7	Çakraz Bej Mermer	0.94±0.04	Çok düşük
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	3.32±0.14	Yüksek
A10	Amasra Silttaşı	0.68±0.40	Çok düşük
B1	Bergama Granit	3.78±0.11	Yüksek
B2	Yenice Granit	3.51±0.23	Yüksek
B3	Niğde Andezit	2.75±0.11	Orta
B4	Niğde Diyabaz	2.63±0.26	Orta
B5	Ereğli Andezit	2.92±0.35	Orta
B7	Kızılcahamam Bazalt	2.50±0.10	Orta
B8	Niğde Diyorit	3.74±0.20	Yüksek
C1	Karabük Kuvarsit	3.47±0.32	Yüksek
C2	Malatya Kuvarşist	4.28±0.18	Çok yüksek
C3	Malatya Kloritşist	3.64±0.28	Yüksek
C4	Afyon Mermer	1.02±0.15	Düşük
C5	Marmara Mermer	0.88±0.08	Çok düşük
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	2.62±0.21	Orta
C7	Niğde Metadiyabaz	3.27±0.34	Yüksek

Çizelge 4.14 incelendiğinde kayaçların Cerchar aşınma indeksi (CAI) değerlerinin 0.68 ile 4.28 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değer A10 no'lu Amasra Silttaşı örneğine aitken, en yüksek değer ise C2 no'lu Malatya Kuvarşist örneğinde bulunmuştur.

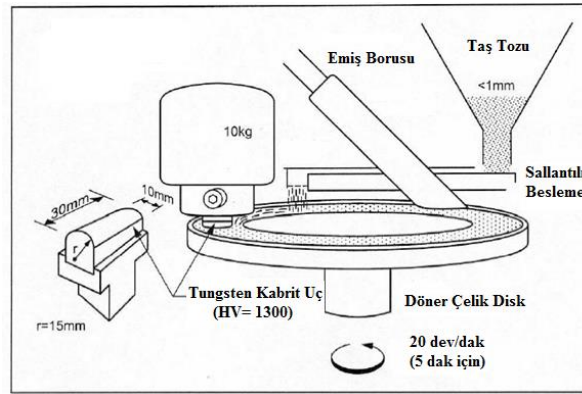
4.6 NORVEÇ AŞINMA İNDEKSİ DENEYİ (AV)

Kayaçların delinebilirliğinin tahmini için kullanılan yöntem, 1960' ların başında Norveç Teknoloji Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümünde geliştirilmiştir (Lien 1961). Bu deney metodu kırılarak toz haline getirilmiş <1 mm kaya örneklerinin zamana bağlı olarak tungsten karbid uç üzerindeki aşınmanın ölçüsüdür (Dahl'dan 2003).

1980'lerin başından beri, Norveç Teknoloji Enstitüsü (NTNU) İnşaat ve Yapı Mühendisliği Bölümünün geliştirdiği methoda göre deney yöntemi genel olarak sert kayaçalarda TBM aşınma performansını tahmin etmek için kullanılmaktadır (Bruland et al. 1995, Dahl 2003). TBM uç aşınması tahmini için, BWI (Bite Wear Index) yerine CLI (Cutter Life Index)' nin hesaplanması ve delinebilirliğin tahmininde tungsten karbid test ucu yerine kesici çelik uç

kullanılır. Norveç Teknoloji Enstitüsü' nün geliştirdiği model yeni tünel verileri geldikçe tekrar gözden geçirilmekte ve düzeltilmektedir ve şu anda Norveç ve diğer ülkelerden gelen yaklaşık 250km' lik sürülmüş tünel verilerine dayanmaktadır (Johannessen 1998).

Bu deneyde, 1mm 'den daha az boyuttaki parçalanmış taş tozu 10 kg ağırlıkla yüklenmiş tungsten karbid ucun altından geçer. Aşınma miktarı deri çelik disk tablanın 100 devirden sonra deney ucunun miligram cinsinden ağırlık kaybı olarak belirlenir. 100 devir 5 dakikalık deney süresi demektir. Bu deneyde kısaca, parçalanmış taş tozuna sürtünen tungsten karbid ucun zamana bağlı olarak aşınmasını ölçer. Aşınma miktarı deneyinin ana hatları Şekil 4.17'de gösterilmiştir (Johannessen 1998).



Şekil 4.17 Norveç aşınma deneyi ana hatları (Dahl 2003).

Norveç aşınma deneyi (AV), çelik uçla Norveç aşınma deneyi (AVS), uç aşınma indeks (BWI) ve keski ömrü indeks (CLI) deneylerine ait sınıflama aralığı Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15 Aşınma indeksi deneylerinin sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	AV	AVS	BWI	CLI
Oldukça düşük	<1	<1	≤10	<5
Çok düşük	2-3	2-3	11-20	5.0-5.9
Düşük	4-10	4-12	21-30	6.0-7.9
Orta	11-27	13-25	31-44	8.0-14.9
Yüksek	28-41	26-35	45-55	15.0-34
Çok yüksek	42-58	36-44	56-69	35-74
Oldukça yüksek	>58	>44	≥70	≥75

Deney yöntemi iki aşamada gerçekleşmektedir. Birincisi, örneklerin hazırlanması ikincisi ise deneyin yapılmasıdır.

4.6.1 Örneklerin Hazırlanmasında İzlenen Yol

Deney başlamadan önce malzemenin istenilen boyuta indirgenmesi gerekmektedir. Kırma işleminde dikkat edilmesi için Dahl (2003) tarafından önerilen işlem sırası aşağıda verilmiştir.

- Örneklerin kırılma işlemi sırasında aşırı tozlanmadan kaçınmak için kırma işlemi birkaç adımda gerçekleştirilmiştir. Örnekler istenilen boyutlara indirilirken bazı hususlara dikkat edilmiştir.
- Ya karot boyutunda ya da el büyüklüğündeki örnekler önce 10 mm açıklığa ayarlanmış çeneli kırıcıdan geçirilir. Eğer kırılma deneyi (S₂₀) yapılmışsa bu deneyde kırılmış olan malzemeden yaklaşık 2 kg'lık örnek alınmalıdır. Küçük bir laboratuvar kırıcısı ile 2 aşamada kırma işlemine devam edilmesi gerekmektedir.
- İlk adımda açıklığı ayarlanmış bir kırıcıda yaklaşık 3-4 mm boyuta kadar kırılır. Kırılan malzeme 1mm boyuttaki elekten elenir. 1 mm' nin altındaki malzeme uygun bir tepsiye konulur. + 1mm (> 1mm) olan malzeme, yaklaşık 1 mm'ye ayarlanmış kırıcıya tekrardan beslenir. Bu işlem tane boyut dağılımının % 99'unun < 1mm ve bu miktarda % 70 ± 5'inin < 0.5 mm oluncaya kadar tekrarlanır.
- Kırılmış toz halindeki malzeme Şekil 4.17'de gösterilen deney setindeki besleme ünitesine verilmeden önce karıştırılmalıdır.
- Çelik disk tablanın dönmesi için düğmeye basılır bu arada emme tertibatı da çalıştırılır. Aşındırıcı toz malzeme disk üzerindeki kanalı kaplayacak, ince ve düzgün bir tabaka oluşturacak şekilde besleme hızı ayarlanmalıdır.

4.6.2 Deneyin Yapılmasında İzlenen Yol

Bu deneyin yapılmasında izlenecek aşamalar aşağıda sıralanmıştır (Dahl 2003):

- Bu deney için 2-4 adet özel olarak bilenmiş tungsten karbid uç hazırlanır. Tungsten karbid ucun yüzeyinin bilenme durumu kritik bir adımdır ve böylece ucun ekstradan fazla ısınma durumundan kaçınılmış olunur. Ucun bilindikten sonra düzgünlüğünden emin olmak için ucun yüzeyi dikkatlice gözden geçirilmelidir.
- Deney ucunun yüzeyi parlak olmalı ve ucu tartmadan önce tamamen temiz ve kuru olmalıdır. Bunun için uç önce suyla yıkanmalı daha sonra basınçlı hava ile iyice kurutulmalıdır.
- Uç 0.001 gram hassasiyetle tartılır ve keski numarası ve ağırlığı kaydedilir.
- Uç 10 kg'lık ağırlığa bağlanır ve çelik disk üzerine hafifçe yerleştirilir (Şekil 4.17).
- Deney ucunun yüzeyi çelik disk tabla ile aynı hizada ve yatay konumda olmasına dikkat edilmelidir. Gerekğinde deney ucu sıkıştırılmalı ve ağırlık askıya alınmalıdır.
- Deneye başlanılır ve deney 5 dakika için toplam 100 devirde yapılır. Deney sırasında çelik disk tablaya beslenen aşınma tozu miktarının yeterli veya fazla miktarda olup olmadığına dikkat edilmelidir. Çeliğin çeliğe sürtünmesini veya deney ucunun ön tarafında malzeme yığılmasını önlemek için sallantılı besleme akış durumu ayarlanmalıdır. Ayrıca deney sırasında deney ucunun çelik disk üzerinde açılmış olan kanalın ortasında çalıştığından emin olunmalıdır.
- Deney bittikten sonra tungsten karbid uç ağırlıktan sökülmeli ve tartılmadan önce suyla yıkanmalı ve kurutulmalıdır.
- Daha sonra tungsten karbid uç tartılmalı, ağırlık belirlenmeli ve ağırlık kaybı hesaplanarak mgr cinsinden kaydedilmelidir.
- Bu deney aynı koşullarda 2-4 kez tekrarlanmalıdır. Sonuçlar arasındaki sapma 5 birimden fazla olmamalıdır. Aşınma miktarı deneyi 5 dakikalık deney süresi boyunca 100 devirden sonra uçtaki ağırlık kaybının miligram cinsinden ortalaması olarak hesaplanır.

4.6.3 Deneyin Yapılması

Bülent Ecevit Üniversitesi (BEÜ) Maden Mühendisliği Bölümü Maden Mekanizasyonu Uygulama Laboratuvarı'nda bulunan, TÜBİTAK Projesi (No: 104M437) kapsamında yaptırılan Norveç aşınma deney aleti kullanılmıştır (Şekil 4.18).

Bu deney yöntemindeki deney aletlerinin aslı Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi SINTEF Kayaç ve Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda (Norwegian University of Science and Technology (NTNU) SINTEF Rock and Soil Mechanics) bulunmaktadır (Şekil 4.19).

Yaptırılan deney aleti orijinal deney aletine göre bazı farklılıklar içermektedir. Orijinal deney aletinde disk tablanın devri 20 dev/dak ile sınırlı iken, yaptırılan deney aletinde devir sayısı istenilen değere ayarlanabilmektedir. Aynı şekilde disk tablanın tur sayısı orijinalde sınırlı iken yaptırılan deney aletinde tur sayısı bir numarator yardımıyla istenilen sayıda olabilmektedir.



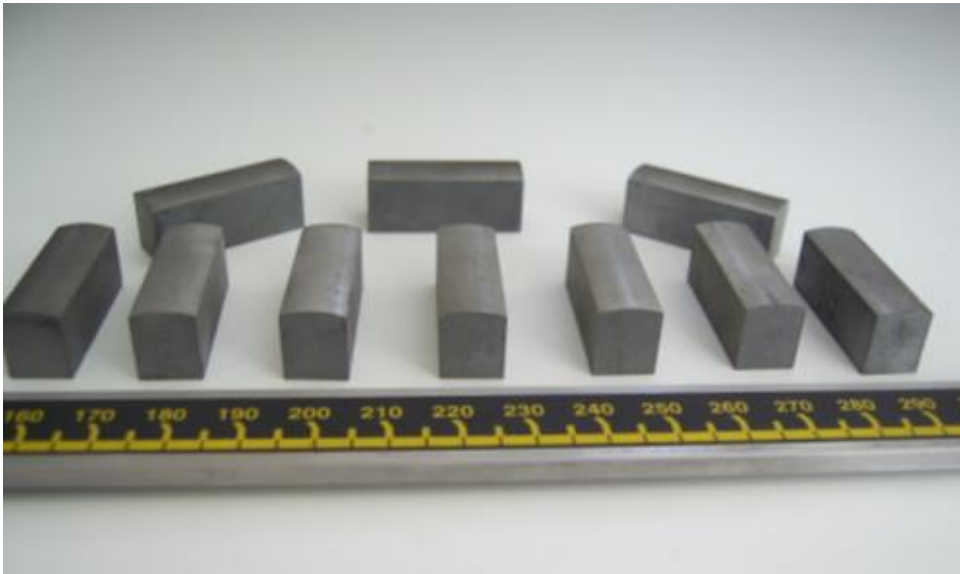
Şekil 4.18 Norveç aşınma deney düzeneği.

Orjinal deney aletinde ağırlık sadece 10 kg ile sınırlı iken, yaptırılan deney aletinde ağırlık 8 kg'dan başlayarak istenilen ağırlıklara kadar arttırılabilmektedir. Yeni alettaki bu tür değişiklikler ile farklı ağırlıklarda, farklı tane boyutlarında, farklı devirlerde, farklı tur sayısında aşınma miktarı değişimleri incelenebilmektedir. Şekil 4.20'de Norveç aşınma deneyinde kullanılan uçlar gösterilmiştir.

Örneklerin kırılma işlemi Bölüm 4.6.2 'de önerilen işlem sırası dikkate alınarak yapılmıştır. Boyut küçültme üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak karot örnekleri 10 mm açıklığa ayarlanmış çeneli kırıcıdan geçirilmiştir (Şekil 4.21). Daha sonra malzeme, 3-4 mm aralığındaki konik kırıcıya (Şekil 4.22) beslenmiş ve elek altı 1 mm boyutlu elekte elle elenmiştir. 1 mm'nin altında olan malzeme bir tepsiye konularak bir tarafta bekletilmiştir. 1 mm'nin üstünde olan malzeme ise merdaneli kırıcıya (Şekil 4.23) beslenmiştir.



Şekil 4.19 Norveç SINTEF'deki orijinal Norveç aşınma deney aleti.



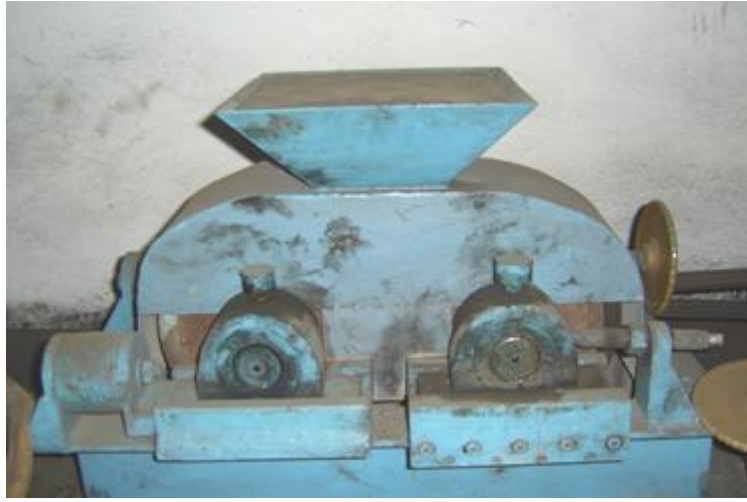
Şekil 4.20 Norveç aşınma deneyinde kullanılan uçlar.



Şekil 4.21 Çeneli kırıcı.



Şekil 4.22 Konili kırıcı.



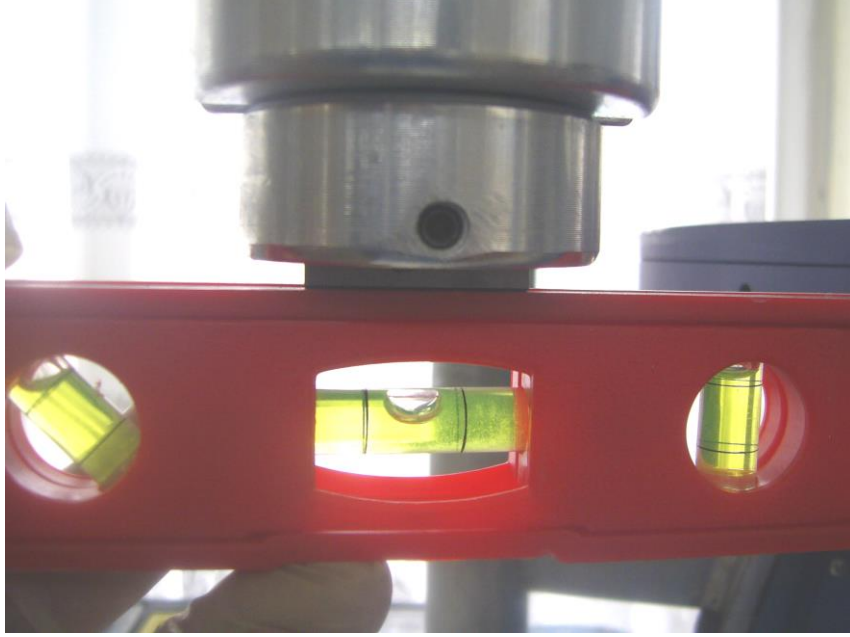
Şekil 4.23 Merdaneli kırıcı.

Merdaneli kırıcıdan alınan malzeme yine 1 mm'lik elek aralığındaki elekte elenmiş, elek üstü tekrar merdaneli kırıcıya beslenmiştir. Bu işlem beslenen malzemenin % 99'u – 1 mm'ye ininceye kadar tekrarlanmıştır. Deney setindeki besleme hunisine konulmadan önce kırılmış toz malzeme karıştırılmıştır.

Bu deneyin yapılmasında Bölüm 4.6.3'de önerilen yöntemin uygulanmasına dikkat edilmiştir. Deneyde izlenen aşamalar aşağıda anlatılmıştır.

- Deneyde kullanılacak uçların yüzeylerinin düzgün ve parlak olup olmadığı kontrol edildi.
- Deney ucu önce yıkandı, sonra basınçlı hava ile kurutulduktan sonra 0.001 mm hassasiyetli terazi tartıldı.

- Deney ucunun 10 kg'lık ağırlığa bağlanırken yatay konumda düzgün bir şekilde bağlanmış olmasına dikkat edildi. (Şekil 4.24).

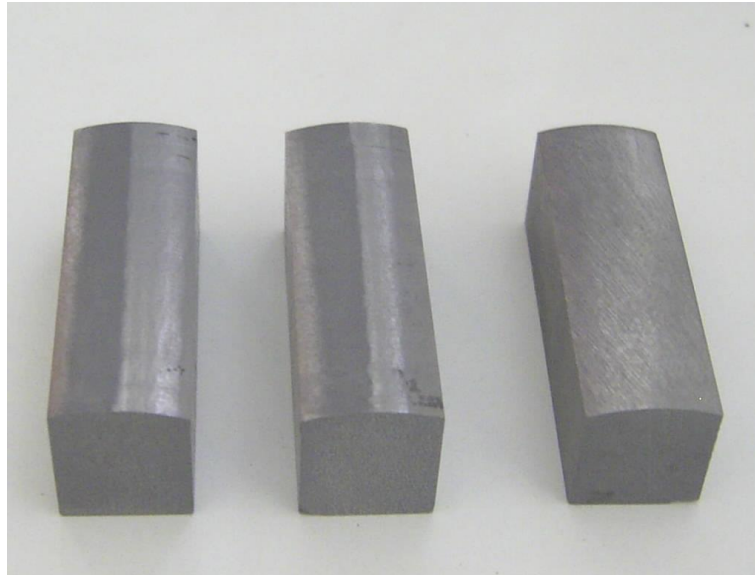


Şekil 4.24 Ucun yatay konumda ağırlığa bağlanması durumu.

- Deney ucunun yüzeyi çelik disk tabla ile aynı hizada ve yatay konumda olmasına dikkat edildi. Ağırlık çelik disk tabla üzerine hafifçe yerleştirildi.
- Deneye başlamadan önce numaratörden 5 dakika için toplam 100 devirde dönüş yapılması ayarlandı.
- Önce emme tertibatı sonra titreşimli besleme ünitesi çalıştırıldı. Son olarak da çelik disk tabla döndürülmeye başlandı.
- Beslenen malzemenin disk üzerindeki kanalda ince ve düzgün yayılı olup olmadığı deney sırasında kontrol edildi.
- Çelik disk tablaya beslenen aşınma tozu miktarının yeterli veya fazla miktarda olup olmadığına dikkat edildi. Bunun için sallantılı besleme akış durumu ayarlandı. Böylece, çeliğin çeliğe sürtünmesi ve deney ucunun ön tarafında malzeme yığılması önlendi. Ayrıca deney sırasında deney ucunun çelik disk üzerinde açılmış olan kanalın ortasında çalıştığından emin olmak için sürekli takip edildi.

- Deneý sırasında aşındırıcı malzemenin ucun altından geçip geçmediği de kontrol edildi.
- Deneý bittikten sonra tungsten karbid uç ağırlıktan söküldü ve tartılmadan önce suyla yıkanı ve basınçlı hava ile kurutuldu.
- Yukarıdaki işlem kayacın durumuna göre her kayaç için 2 veya 4 kez tekrarlandı.
- Deneýler arasında ± 5 birimlik fark olması durumuna bakılarak deneý tekrar durumu belirlendi.
- Her kayaç için tekrarlanan deneý sayısına göre uçtaki ağırlık kaybının miligram cinsinden aritmetik ortalaması hesaplandı. Böylece kayacın aşınma miktarı değeri bulundu.

Norveç aşınma indeksi deneyinde her kayaç rneđi için deneý en az iki kez tekrar edilmiştir. Her deneýde yeni uç kullanılmıştır. şekil 4.25’de aşınmış ve kullanılmamış uçların resimleri gösterilmektedir. Norveç aşınma deneý sonuçları ile aşınma sınıflaması izelge 4.16’da verilmiştir.



şekil 4.25 Norveç aşınma deneyinde kullanılan aşınmış ve kullanılmamış uçlar.

Çizelge 4.16 incelendiğinde kayaçların Norveç aşınma indeksi deneyi değerlerinin 0.20 ile 65.00 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değer A10 no’lu Amasra Silttaşı örneğine aitken, en yüksek değer ise C1 no’lu Karabük Kuvarsit rneğinde bulunmuştur.

Çizelge 4.16 Kayaçların Norveç aşınma indeksi deney sonuçları ve sınıflaması.

NO	ÖRNEK ADI	Norveç Aşınma Deneyi (AV)	Sınıfı
A1	İnce Taneli Kumtaşı	6.50	Düşük
A2	Orta Taneli Kumtaşı	13.00	Orta
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	3.50	Düşük
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	4.80	Düşük
A5	Kireçtaşı	0.80	Oldukça düşük
A7	Çakraz Brej Mermer	0.50	Oldukça düşük
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	26.00	Düşük
A10	Amasra Silttaşı	0.20	Oldukça düşük
B1	Bergama Granit	35.70	Yüksek
B2	Yenice Granit	15.50	Orta
B3	Niğde Andezit	11.00	Çok düşük
B4	Niğde Diyabaz	9.50	Düşük
B5	Ereğli Andezit	7.70	Çok düşük
B7	Kızılcahamam Bazalt	9.10	Düşük
B8	Niğde Diyorit	11.50	Orta
C1	Karabük Kuvarsit	47.60	Yüksek
C2	Malatya Kuvarşist	44.20	Çok yüksek
C3	Malatya Kloritşist	12.50	Orta
C4	Afyon Mermer	1.50	Çok düşük
C5	Marmara Mermer	1.00	Oldukça düşük
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	32.00	Yüksek
C7	Niğde Metadiyabaz	18.00	Orta

4.7 SPESİFİK ENERJİ

Spesifik enerji, kayacın iç bağlarını yenip, parçalanma oluşturan enerji ile delme çeşidine göre kesme arasında diğer enerji harcamaları toplamının göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Her farklı kayaç için, delinme çeşidi ve keski türüne göre değiştiğinden fiziksel bir özelliği olarak değerlendirilemez. Ancak farklı kayaçlar benzer şartlarda delindiğinde elde edilen “Spesifik Enerji (SE)” değerleri kayaçların delinebilirliğinin bir ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır. Delinme şekli sabit tutulduğunda spesifik enerjinin sadece kayaç özelliklerinin bir fonksiyonu olacağı açıktır (Kel 2003).

Kesme ve delme işlemleri sırasında harcanan spesifik enerji değerleri, metre başına ilerleme maliyetleri ile doğrudan ilişkili olup, belirli bir hacim koparmak için gereken enerji miktarını vermektedir (Atıcı and Ersoy 2009).

Spesifik Enerji kazılan parçanın ölçüm kriterlerine göre hacim esaslı ya da ağırlık esaslı olarak ifade edilebilmektedir. Buna göre;

Hacim esas alındığında $SE = \text{kg m} / \text{m}^3, \text{MJ} / \text{m}^3$

Ağırlık esas alındığında $SE = \text{kg m} / \text{m}, \text{MJ} / \text{kg}$

birimleri kullanılmaktadır (Kel 2003).

Kazılabilirliğin ve delinebilirliğin değerlendirmesinde, mevcut kayaç ortamının mekanize kazıya uygun olup olmadığının değerlendirilmesinde kayacın aşındırıcılığı ile spesifik enerji değeri arasındaki ilişki oldukça önemlidir. Yüksek aşındırıcı özelliğe sahip bir kayaç, kazıcı uç ya da keski üzerinde yapacağı aşındırma nedeniyle, uygulanması gereken kuvvet ve güç gereksiniminin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum, uç sarfiyatının artmasına, verimsiz kazıya ve aşırı titreşimlerin olmasına sebep olmaktadır (Tiryaki 2008).

Spesifik enerji, kayaç delinebilirliğinin tanımlanmasında kullanılan bir ifade olmak ile birlikte, delme makinası performansının belirlenmesinde de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Rostami et al. 1994, Tiryaki 2008).

Spesifik enerjinin belirlenmesi amacıyla; büyük ve küçük ölçekli kazı setleri, görgül (ampirik) yaklaşımlar, arazide gerçek bir makina kullanılarak yapılan çalışmalar olmak üzere pek çok yöntemden yararlanılarak belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, kayaçların spesifik enerji değerleri Eşitlik 4.3'deki ampirik bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. (Bilgin et al. 2006).

$$SE_{\text{opt}} = 0.0826\sigma_c + 1.424 \quad (4.3)$$

Burada :

SE_{opt} :Optimum spesifik enerji (kWh/m^3)

σ_c :Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Çizelge 4.17'de kayaçlara ait spesifik enerji değerleri gösterilmiştir. Spesifik enerji değerlerinin 44.95 ile 165.10 arasında değiştiği görülmektedir. En düşük spesifik enerji

değeri C5 no'lu Marmara Mermer örneğine aitken, en yüksek spesifik enerji değeri ise B3 no'lu Niğde Andezit örneğinde bulunmuştur.

Çizelge 4.17 Kayaçların spesifik enerji değerleri.

NO	ÖRNEK ADI	σ_c (MPa)	SE (kWh/m ³)
A1	İnceTaneli Kumtaşı	99.94±13.27	83.97
A2	Orta Taneli Kumtaşı	90.70±12.33	76.34
A3	Kömür Bantlı Kumtaşı	74.60±15.74	63.04
A4	Orta Taneli Bantlı Kumtaşı	107.08±12.44	89.87
A5	Kireçtaşı	99.75±14.25	83.82
A7	Çakraz Bej Mermer	94.70±34.91	79.65
A8	Armutçuk Kuvars Kumtaşı	124.04±12.15	103.85
A10	Amasra Silttaşı	67.64 ± 9.15	57.29
B1	Bergama Granit	98.47±9.85	82.76
B2	Yenice Granit	148.40±5.18	124.00
B3	Niğde Andezit	165.10±35.11	137.80
B4	Niğde Diyabaz	167.88±13.16	140.09
B5	Ereğli Andezit	104.53±23.54	87.77
B7	Kızılcahamam Bazalt	156.74±27.50	130.28
B8	Niğde Diyorit	138.10±10.02	115.49
C1	Karabük Kuvarsit	160.63±47.69	133.58
C2	Malatya Kuvarşist	111.50±12.34	93.52
C3	Malatya Kloritşist	90.26±11.75	75.98
C4	Afyon Mermer	56.68±6.81	48.24
C5	Marmara Mermer	44.95±11.35	38.55
C6	Niğde Kuvars Albit Serizitşist	129.38±3.27	108.29
C7	Niğde Metadiyabaz	135.29±3.18	113.17

BÖLÜM 5

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında; laboratuvarlarda oldukça yoğun şekilde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu çalışmanın başlığına uygun olarak delinebilirlik özellikleri ile dayanım özellikleri, gevreklik, aşındırıcılık özellikleri, sertlik özellikleri, petrografik özellikler ve spesifik enerji arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca petrografik özellikler ile kayaçların aşındırıcılıkları arasındaki ilişkilere bakılıp, bölüm sonunda da spesifik enerji ile delinebilirlik katsayısı (CD) arasındaki ilişki incelenmiştir. İnceleme, EXCEL programı kullanılarak basit regresyon analizleriyle yapılmıştır. Bu çalışmada incelenen büyüklükler arasındaki ilişkiler aşağıda belirtilmiştir. Çizelge 5.2’de ise büyüklükler arasındaki korelasyon matris dağılımı verilmiştir.

- ❖ B1 gevreklik değeri ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ B2 gevreklik değeri ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ B3 gevreklik değeri ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ B4 gevreklik değeri ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ Shore sertlik indeksi (SH) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) ile dolaylı çekme dayanımı (σ_t) arasındaki ilişki.
- ❖ Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ Dolaylı çekme dayanımı (σ_t) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ Norveç aşınma deneyi (AV) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki.
- ❖ Cerchar aşınma indeksi (CAI) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ Norveç aşınma deneyi (AV) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.
- ❖ Petrografik özellikler ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişkiler.
- ❖ Petrografik özellikler ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişkiler.
- ❖ Petrografik özellikler ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişkiler.
- ❖ Delme oranı indeksi (DRI) ile spesifik enerji (SE) arasındaki ilişki.
- ❖ Delinebilirlik katsayısı ($\sigma_c \cdot CAI / DRI$) ile spesifik enerji (SE) arasındaki ilişki.

Çizelge 5.1 Deney sonuçları.

No	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	SH	DRI	CAI	AV	B1	B2	B3	B4	SE (kWh/m ³)
A1	99.94	11.38	31.80	57	1.14	6.50	8.78	0.80	568.66	158.58	83.97
A2	90.70	6.48	34.40	61	2.26	13.00	14.00	0.87	293.87	98.59	76.34
A3	74.60	7.56	29.40	55	1.59	3.50	9.87	0.82	281.99	95.70	63.04
A4	107.08	9.73	37.90	51	1.48	4.80	11.01	0.83	520.94	148.88	89.87
A5	99.75	10.10	33.00	62	1.17	0.80	9.88	0.82	503.74	145.32	83.82
A7	94.70	12.38	36.50	51	0.94	0.50	7.65	0.77	586.19	162.08	79.65
A8	124.04	18.46	27.95	55	3.32	26.00	6.72	0.74	1144.52	262.39	103.85
A10	67.64	7.67	15.05	67	0.68	0.20	8.82	0.80	259.40	90.12	57.29
B1	98.47	8.43	35.30	52	3.78	35.70	11.68	0.84	415.05	126.41	82.76
B2	148.40	18.05	38.85	47	3.51	15.50	8.22	0.78	1339.31	293.83	124.00
B3	165.10	24.34	42.60	46	2.75	2.30	6.78	0.74	2009.27	393.49	137.80
B4	167.88	24.78	48.00	44	2.63	4.20	6.77	0.74	2080.03	403.42	140.09
B5	104.53	12.57	37.35	60	2.92	2.80	8.32	0.79	656.97	175.94	87.77
B7	156.74	16.38	44.60	45	2.50	3.80	9.52	0.81	1277.64	284.02	130.28
B8	138.10	10.94	32.10	51	3.74	11.50	12.62	0.85	755.41	194.55	115.49
C1	160.63	21.09	37.85	50	3.47	65.00	7.59	0.77	1687.20	346.98	133.58
C2	111.50	9.44	40.85	55	4.28	49.00	11.81	0.84	526.28	149.97	93.52
C3	90.26	9.27	32.50	65	3.64	12.50	9.74	0.81	418.36	127.13	75.98
C4	56.68	8.44	20.45	65	1.02	1.50	6.72	0.74	239.19	85.00	48.24
C5	44.95	6.89	13.50	69	0.88	1.00	6.52	0.73	154.85	62.16	38.55
C6	129.38	13.96	42.25	54	2.62	32.00	9.27	0.81	903.07	221.24	108.29
C7	135.29	15.44	35.45	46	3.27	18.00	8.76	0.80	1044.44	245.66	113.17

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, σ_t : Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian), SH: Shore sertlik indeksi, DRI: Delme oranı indeksi, CAI: Cerchar aşınma indeksi, AV: Norveç aşınma indeksi, B1,B2,B3,B4: Gevreklik değerleri, SE: Spesifik enerji

Çizelge 5.2 Büyüklükler arasındaki korelasyon matris dağılımı.

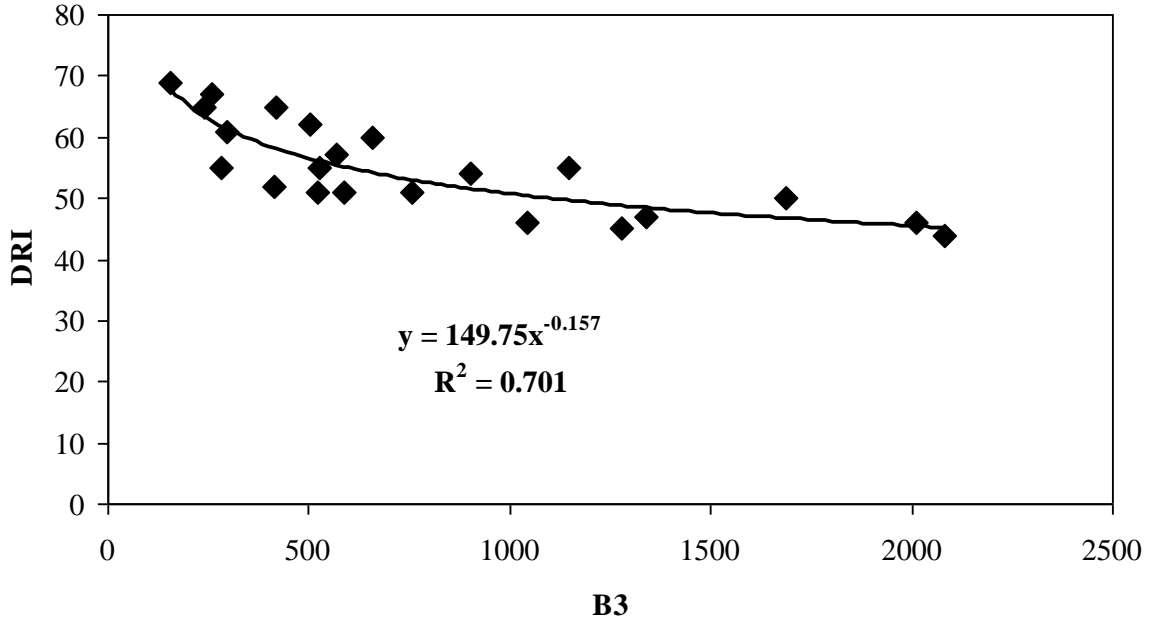
	σ_c	σ_t	SH	DRI	CAI	AV	B1	B2	B3	B4	SE
σ_c	1										
σ_t	0.76	1									
SH	0.65	0.36	1								
DRI	0.74	0.52	0.63	1							
CAI	0.48	0.20	0.27	0.21	1						
AV	0.41	0.18	0.40	0.24	0.83	1					
B1	0.01	0.28	0.07	0.01	0.07	0.06	1				
B2	0.01	0.28	0.07	0.01	0.07	0.05	0.96	1			
B3	0.84	0.97	0.55	0.70	0.35	0.29	0.18	0.18	1		
B4	0.88	0.97	0.55	0.70	0.35	0.29	0.15	0.15	0.99	1	
SE	--	0.76	0.65	0.75	0.48	0.41	0.01	0.01	0.91	0.88	1

Çizelge 5.2’de kırmızı ile gösterilen korelasyon değerlerine ait ilişkiler aşağıdaki bölümde grafik olarak gösterilmiştir. Çizelge 5.2 incelendiğinde, kayacın delinebilirlik durumunu gösteren delme oranı indeksi (DRI) ile kayacın dayanımı(tek eksenli basınç ve dolaylı çekme), shore sertlik indeksi (SH), spesifik enerji (SE), gevreklik değerleri B3 ve B4 arasında anlamlı ilişkiler görülmektedir.

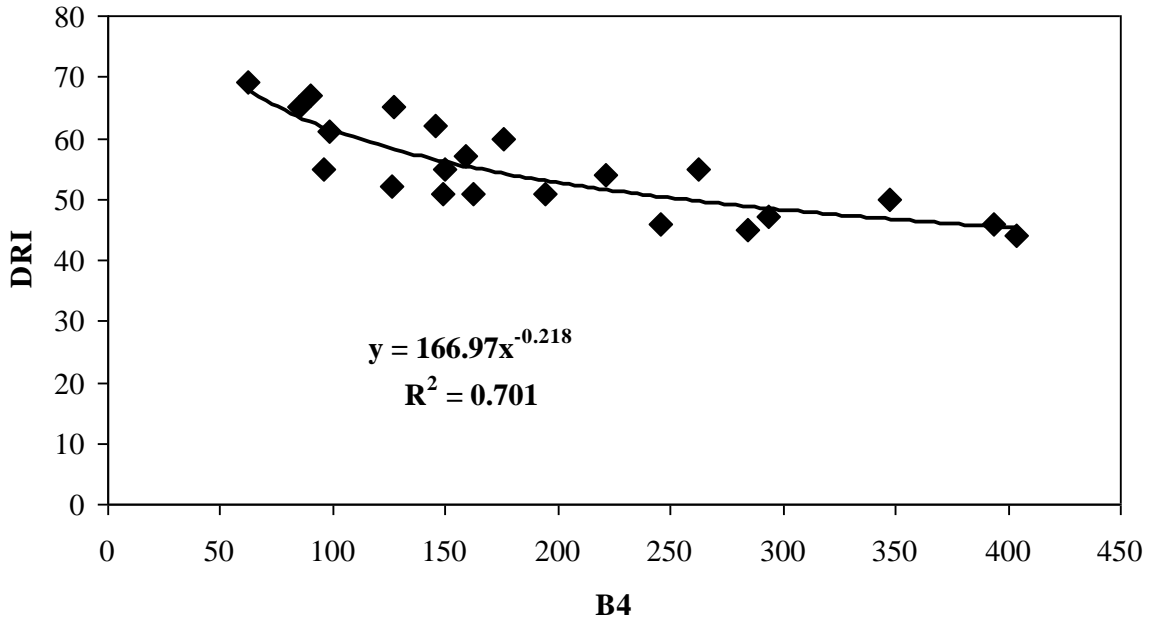
5.1 KAYAÇLARIN GEVREKLİLİK DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Literatürde kabul görmüş 2 temel gevreklik ölçütü (B1-B2), Altındağ (2002) tarafından geliştirilmiş gevreklik ölçütü (B3) ile Yaralı and Soyer (2011) tarafından önerilen ölçüt (B4) kullanılmıştır. Kullanılan gevreklik ölçütlerine ait görgül eşitlikler Bölüm 2’de verilmiştir. Kayaçların gevreklik durumları ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki Şekil 5.1-5.2’de gösterilmiştir.

B1 ve B2 gevreklik değerleri ile delme oranı indeksi arasında anlamlı bir ilişki bulunamazken, B3 ve B4 gevreklik değerleri ile delme oranı indeksi arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Yaralı and Soyer (2011), yaptıkları çalışmada benzer sonuçlara ulaşmışlardır. B1 ve B2 gevreklik değerleri ile delinebilirlik arasında anlamlı bir ilişki bulunamamışken, B3 ve B4 gevreklik değerleri ile delinebilirlik arasında ise, bu çalışmada olduğu gibi üssel azalan bir ilişki bulmuşlardır.



Şekil 5.1 Gevreklik değeri (B3) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.

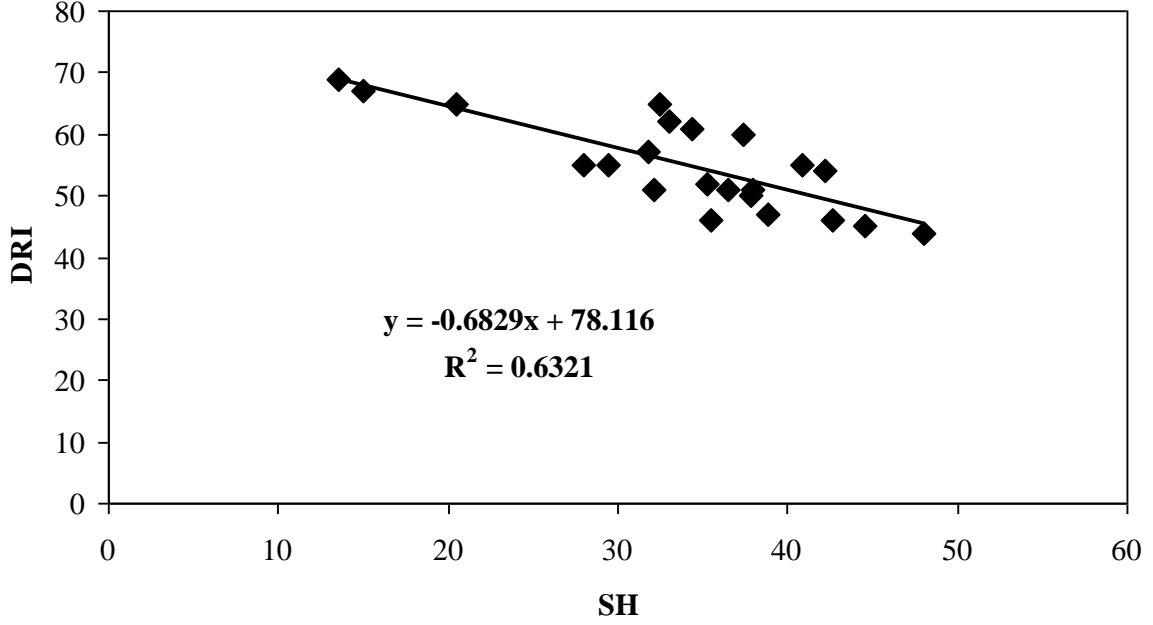


Şekil 5.2 Gevreklik değeri (B4) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.

5.2 SHORE SERTLİK İNDEKSİ DENEYİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

Kayacın delinebilirliğini gösteren delme oranı indeksi ile Shore sertlik indeksi deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu büyüklükler arasındaki ilişkiler Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Shore sertlik indeksi ile delinebilirlik oranı indeksi arasında azalan doğrusal bir ilişki

($R^2=0.63$) bulunmuştur. Kayacın sertliği arttıkça kayacı delmenin zorlaştığı görülmektedir. Literatürde de benzer olarak Yaralı and Soyer (2013) yaptıkları çalışmada, Shore sertlik indeksi ile delinebilirlik arasında, bu çalışmada olduğu gibi doğrusal azalan bir ilişki ($R^2=0.64$) bulmuşlardır.



Şekil 5.3 Delme oranı indeksi (DRI) ile Shore sertlik indeksi (SH) arasındaki ilişki.

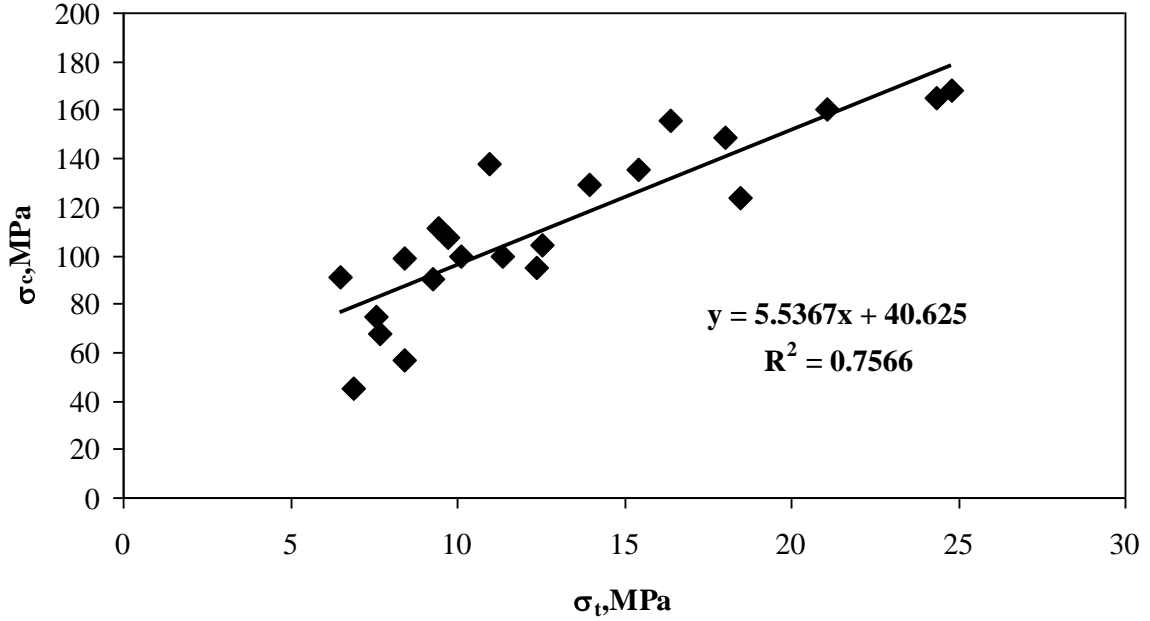
5.3 DAYANIM DENEYLERİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada 22 farklı türdeki kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu iki büyüklük birbiriyle karşılaştırıldığında Şekil 5.4'deki gibi doğrusal artan bir ilişki olup ilişki katsayısı yüksektir ($R^2= 0.76$). Kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile delme oranı indeksi deney sonuçları karşılaştırıldığında Şekil 5.5'deki gibi yüksek bir ilişki bulunmuştur. Bu iki büyüklük arasında doğrusal azalan bir ilişki ortaya çıkmıştır.

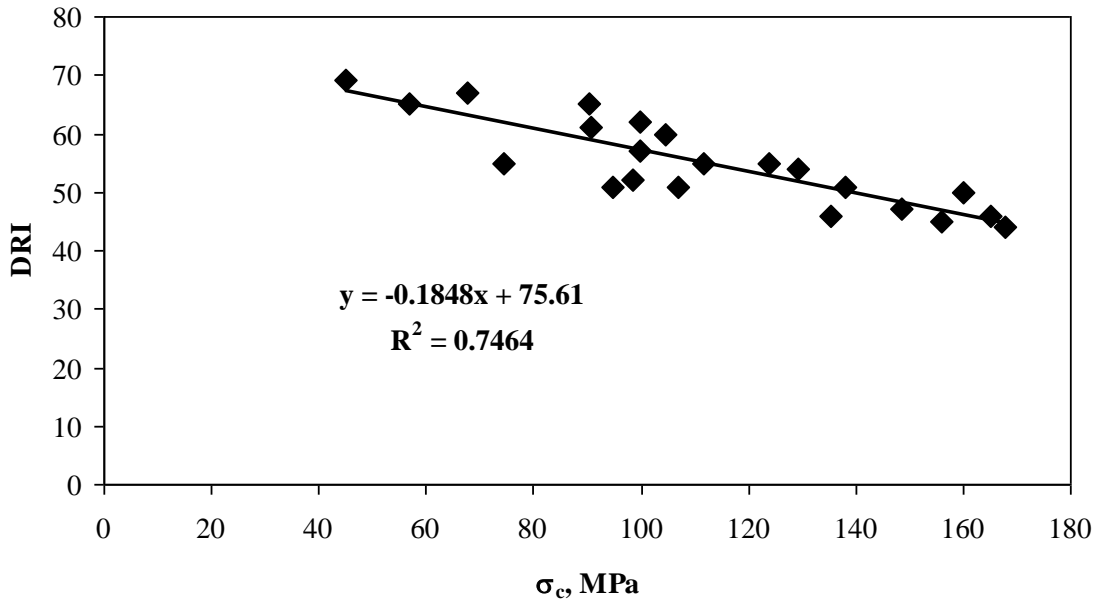
Zonguldak Bölgesi kayaçlarının delinebilirliklerinin belirlenmesinde kayacın dayanımının etkili olduğu saptanmıştır. Kayacın dayanım değeri ne kadar fazla olursa kayacı delmenin o kadar zor olacağı sonucuna varılmıştır. Kayacın çekme dayanımının, kayacın delinebilirliğinde tek eksenli basınç dayanımı kadar etkili olmadığı, fakat belirli oranda etkisinin olduğu saptanmıştır (Şekil 5.6). Dolaylı çekme dayanımı değeri arttıkça kayacı

delmenin daha zor olacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Literatürde her iki dayanım değeri ile delinebilirlik arasında benzer sonuçlar veren çalışmalar yapılmıştır (Yaralı and Soyer 2013, Yaralı et al. 2014).

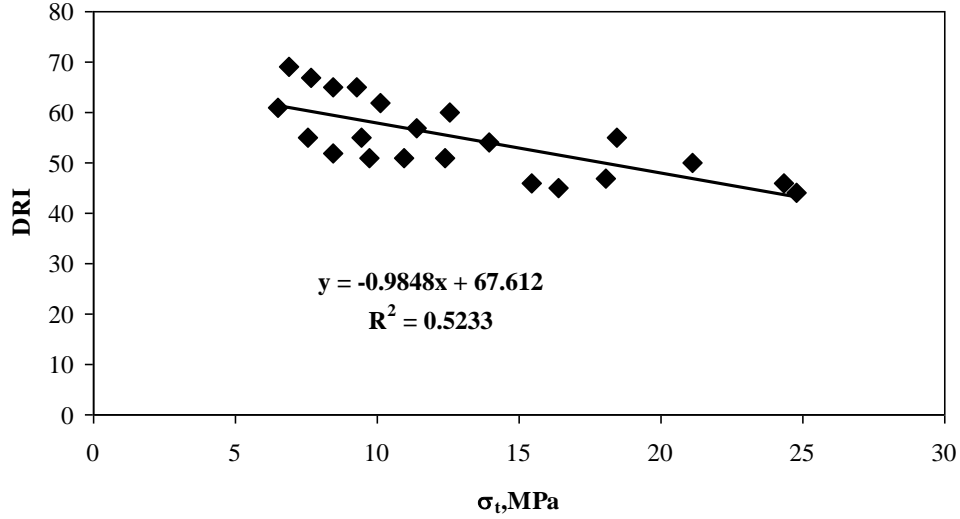
Literatürde daha bir çok benzer sonuçlar veren çalışmalar mevcuttur (Kahraman et al. 2000, Bilgin and Kahraman 2003).



Şekil 5.4 Dolaylı çekme dayanımı (σ_t) ile tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) arasındaki ilişki.



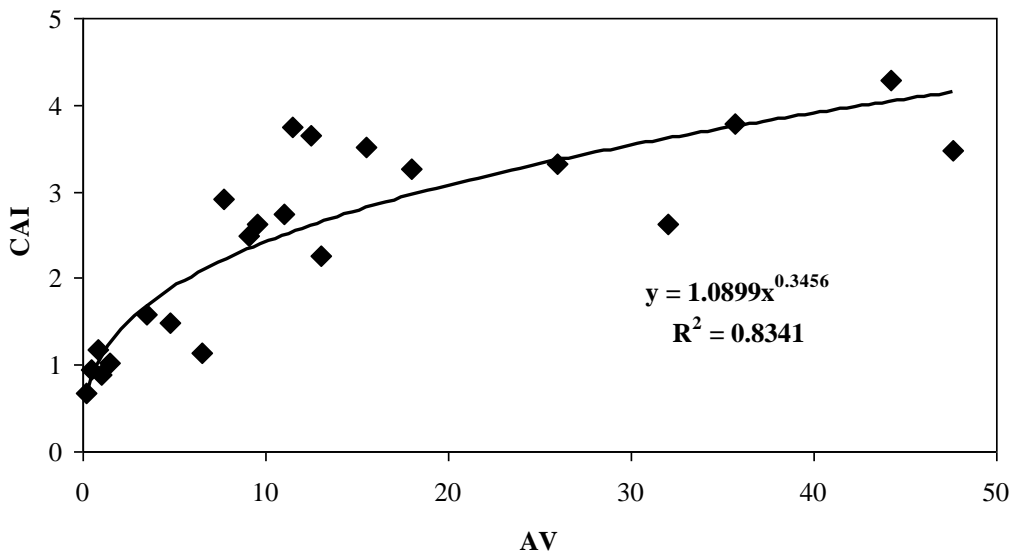
Şekil 5.5 Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.



Şekil 5.6 Dolaylı çekme dayanımı (σ_t) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.

5.4 AŞINMA İNDEKSLERİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

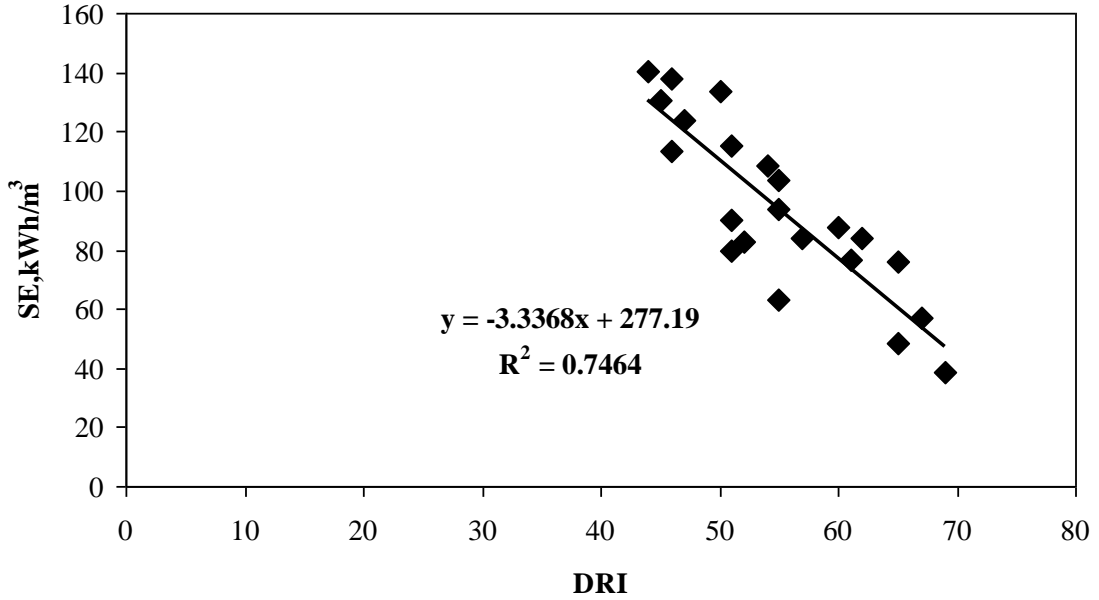
Kayaçların aşındırıcılıkları Cerchar aşınma indeksi deneyi ve Norveç aşınma indeksi deney yöntemiyle bulunmuştur. Bu iki deney yöntemi arasında üssel artan bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 5.7). Bu iki deney yöntemiyle kayacın delinebilirliği arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Her iki deney yöntemiyle de delinebilirlik arasında düşük ilişkiler bulunmuştur. Delme oranı indeksi ile Cerchar aşınma indeksi ve Norveç aşınma indeksi arasındaki ilişki katsayısı sırasıyla $R^2=0.21$ ve $R^2=0.24$ 'tür.



Şekil 5.7 Norveç aşınma indeksi (AV) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki.

5.5 DELME ORANI İNDEKSİ İLE SPESİFİK ENERJİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Delme oranı indeksi (DRI) ile spesifik enerji (SE) arasında azalan doğrusal bir ilişki vardır ve ilişki katsayısı da $R^2=0.75$ bulunmuştur (Şekil 5.8). Spesifik enerji değeri arttıkça kayaç delinebilirliğinin azaldığı görülmektedir. Literatürde benzer sonuçlar veren çalışmalar yapılmıştır (Su et al. 2013, Moein et al. 2014, Yaralı et al. 2014). Bu çalışmada incelenen kayaçların delme oranı indeksi değerleri, DRI= 40-70 arasında ve orta-yüksek-çok yüksek sınıflama aralığında (Çizelge 2.8'e göre) değişmektedir. Bu sebeple, Şekil 5.8 incelendiğinde DRI değerlerinin 40 ile 70 aralığına göre spesifik enerji değişimi ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.8 Delme oranı indeksi (DRI) ile spesifik enerji (SE) arasındaki ilişki.

5.6 PETROGRAFİK ÖZELLİKLER İLE DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK, DAYANIM VE SERTLİK PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

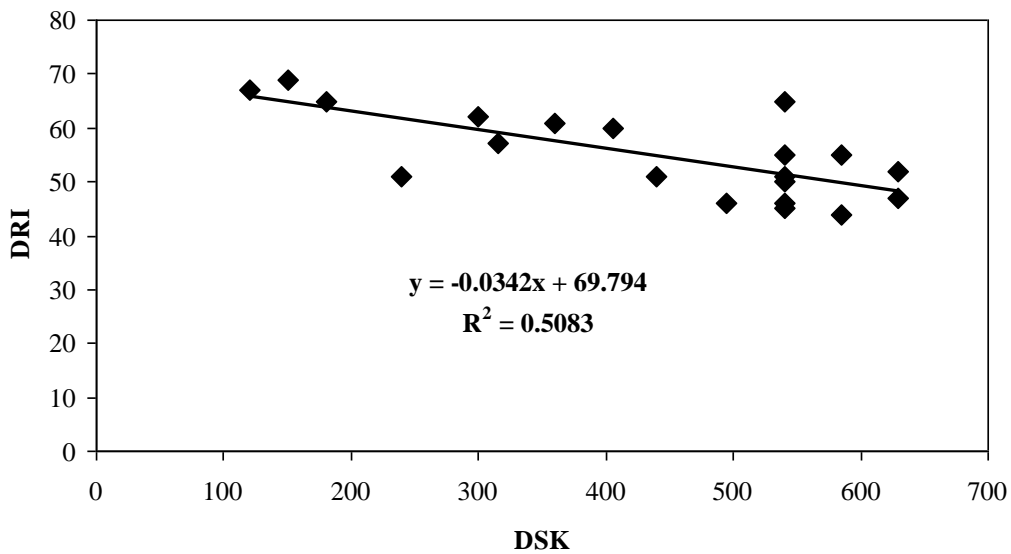
Bu çalışmada 22 kayaçtan 20 tanesinin petrografik analizleri yapılmıştır. Petrografik analizler sonucunda kayaçların aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu (d_{ort}), eşdeğer kuvars içeriği (Q_{eqv}), doku sağlamlık katsayısı (DSK) ile delinebilirlik, aşındırıcılık, dayanım ve sertlik parametreleri (DRI, CAI, AV, SH, σ_c , σ_t) arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Çizelge 5.3'de petrografik sonuçlarla diğer büyüklükler arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon katsayısı matris dağılımı verilmiştir.

Çizelge 5.3 Petrografik sonuçlarla diğer büyüklükler arasındaki korelasyon matris dağılımı.

	d_{ort} (mm)	Q_{eqv} (%)	DSK
σ_c (MPa)	0.21	0.32	0.69
σ_t (MPa)	0.08	0.08	0.32
SH	0.15	0.21	0.70
DRI	0.17	0.12	0.51
CAI	0.85	0.53	0.80
AV	0.64	0.69	0.78

Çizelge 5.3 incelendiğinde, aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu (d_{ort}) ve eşdeğer kuvars içeriğinin (Q_{eqv}), delme oranı indeksine etkileri çok az olmasına rağmen, kayacın aşındırıcılığına olan etkilerinin fazla olduğu görülmektedir. Doku sağlamlığı katsayısının (DSK), delme oranı indeksine doğrudan etkisinin olduğu saptanmıştır (Şekil 5.9). Bu da, kayaç ne kadar masifse yani çimentolanma derecesi ve katsayısı ne kadar büyükse, delme işleminin o oranda zorlaşacağı anlamına gelmektedir.

Literatüre bakıldığında, aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu ile eşdeğer kuvars içeriğinin hem Cerchar aşınma indeksine hem de Norveç aşınma indeksine olan etkilerini gösteren çalışmalar mevcuttur (West 1986, Suana and Peters 1982, Plinninger et al. 2003, Rostami et al. 2005, Fowell and Abubakar 2007, Yarali vd. 2008, Kandemir 2010). Doku sağlamlık katsayısının kayacın aşındırıcılığı üzerinde de etkili olduğu Çizelge 5.3 incelendiğinde görülmektedir. Bu da kayacın çimentolanma derecesinin ve çimento türünün kayacın aşındırıcılığı üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermektedir.

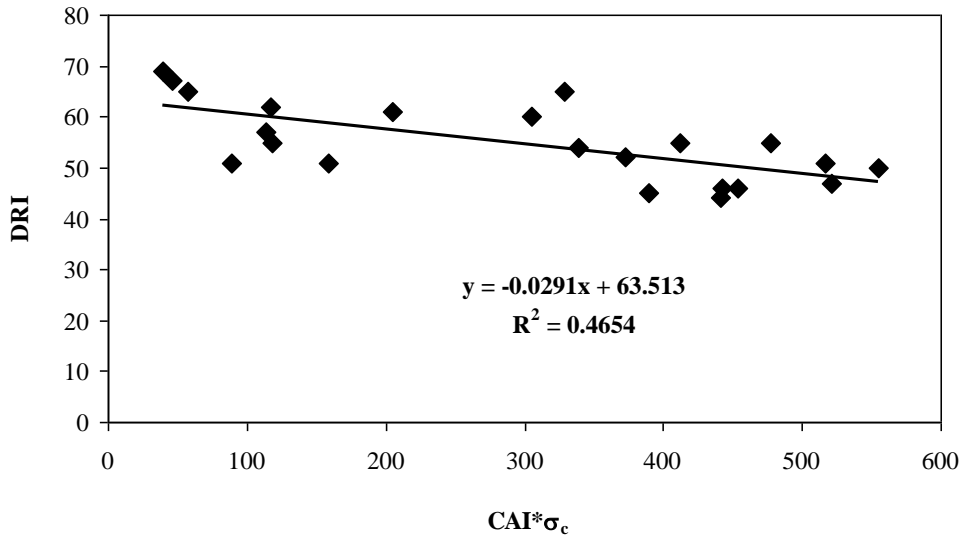


Şekil 5.9 Delme oranı indeksi (DRI) ile doku sağlamlık katsayısı (DSK) arasındaki ilişki.

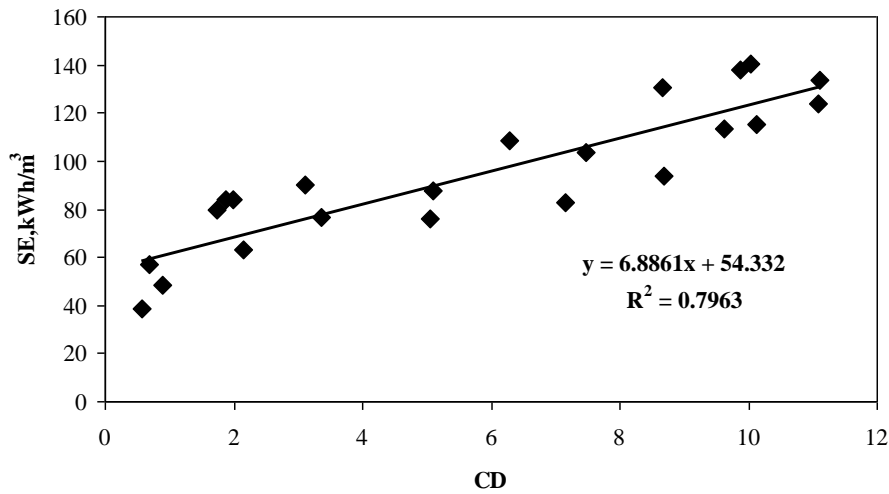
Bu çalışmada ayrıca, aşındırıcılık ve tek eksenli basınç dayanımının birlikte delinebilirliğe olan etkisi incelenmiştir ve aralarındaki ilişki Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Yaralı et al. (2014) yaptıkları çalışmada delinebilirlik, aşındırıcılık ve tek eksenli basınç dayanımının birlikte spesifik enerjiye olan etkisini incelemişler ve delinebilirlik katsayısı (CD) denilen aşağıdaki bağıntıyı geliştirmişlerdir (Eşitlik 5.1).

$$CD = \frac{\sigma_c * CAI}{DRI} \quad (5.1)$$

Delinebilirlik katsayısının spesifik enerji ile olan ilişkisi incelendiğinde artan doğrusal bir ilişki ortaya çıkmıştır ($R^2 = 0.80$) ve bu ilişki Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Delme oranı indeksi (DRI) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) arasındaki ilişki.



Şekil 5.11 Spesifik enerji (SE) ile delinebilirlik katsayısı (CD) arasındaki ilişki.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı kayaçların delinebilirliklerine etki eden parametrelerin incelenmesidir. Bu çalışma 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, 22 farklı yerden alınan magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli 22 adet kayaç örneği üzerinde laboratuarda aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

- ❖ Tek eksenli basınç dayanımı,
- ❖ Tek eksenli dolaylı çekme dayanımı (Brazilian),
- ❖ Shore sertlik indeks deneyi,
- ❖ Cerchar aşınma indeks deneyi,
- ❖ Norveç aşınma indeks deneyi,
- ❖ Siever's minyatür delme deneyi,
- ❖ Kırılgenlik deneyi.

Silver's minyatür delme deneyi ile kırılgenlik deneylerinden, kayaçların delinebilirliğinin bir göstergesi olan delme oranı indeksleri (DRI) bulunmuştur. Ayrıca 20 adet kayaca ait petrografik analizler yapılarak; incelenen kayaçların mineral içerikleri, ortalama tane boyutları, yuvarlaklılık-köşegenlik durumları, çimento türü ve çimentolanma dereceleri belirlenmiştir. Petrografik analiz sonuçlarına bağlı olarak aşındırıcı mineral ortalama tane boyutları ile eşdeğer kuvars içerikleri saptanmıştır. Her bir kayaç için çimentolanma derecesi ve McFeat-Smith (1977)'nin önerdiği çimentolanma katsayısına bağlı olarak doku sağlamlılık katsayısı (DSK) değeri hesaplanmıştır. Ayrıca kayacın gevreklik durumunu veren dört farklı görgül bağıntı (B1, B2, B3, B4) kullanılmıştır. Son olarak da Bilgin et al. (2006) tarafından geliştirilen spesifik enerji bağıntısı her bir kayaç için hesaplanmıştır.

Literatüre bakıldığında delme oranı indeksine etki eden parametreleri irdeleyen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Yaralı vd. 2008, Soyer 2009, Yenice et al. 2009, Kandemir

2010, Adebayo et al. 2010, Dahl et al. 2012 Yaralı and Soyer 2013, Yaralı et al. 2014, Yasar et al. 2015). Delinebilirlik ilgili yapılan ilk çalışma Gyss and Davis (1927) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında delinebilirlik ilgili çalışmalar devam etmesine rağmen, bu çalışmalarda delme oranı indeksi (DRI) kullanılmamıştır. Bu çalışmalarda genellikle dayanım ve indeks parametreleri kullanılmıştır. Delme oranı indeksi ilk olarak Selmer-Olsen and Blindheim (1970) tarafından kullanılmıştır. Daha sonrasında delme oranı indeksinin araştırıldığı çalışmalarda delinebilirliğe etki eden parametrelerin hepsine bakılmamıştır. Sadece Yaralı vd. (2008) tarafından yapılan TÜBİTAK çalışmasında (Proje No:104M579) delinebilirliğe etki eden tüm parametreler incelenmiştir. Ayrıca, bahsedilen çalışmalarda metamorfik kayalardaki durum incelenmemiştir.

Yukarıdaki açıklamalara bağlı olarak bu çalışmanın diğerlerinden farkı, delme oranı indeksine etki eden parametrelerin hepsinin incelenmesi ve 7 adet metamorfik kayac türü üzerinde deneyler yapılmış olmasıdır. Ayrıca, 22 adet farklı kökendeki kayaca ait bilgilerin literatüre katılmış olması da bu çalışmaya farklılık kazandırmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında ise laboratuardan elde edilen deney verileri ile petrografik analizlerden elde edilen sonuçlara göre basit regresyon analiz tekniği kullanılarak incelenen büyüklükler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Delme oranı indeksi (DRI) ne kadar yüksekse o oranda kayac rahat delinebilmekte, DRI ne kadar düşük ise kayacı delmenin o oranda zor olduğu anlaşılmaktadır. (Dahl 2003). Buna göre, genel olarak DRI değerleri orta, yüksek ve çok yüksek sınıflama aralığında değişmektedir. A8 no'lu Armutçuk Kuvars Kumtaşı ve A10 no'lu Amasra Silttaşı örneklerinin delinebilirliklerinin çok yüksek; B7 no'lu Kızılcacahamam Bazalt ve C1 no'lu Karabük Kuvarsit örneklerinin ise delinebilirliklerinin düşük olduğu görülmüştür.

Kayaçlara ait dayanım değerlerinin delinebilirliğe olan etkisi araştırılmıştır. Kayaçların dayanımı arttıkça, kayacı delmenin zorlaştığı görülmüştür. Bunun sebebi kayacın doku ve içerik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımının, dolaylı çekme dayanımına göre delinebilirliğe daha çok etki ettiği görülmüştür. Literatürde de yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Yaralı vd. 2008, Soyer 2009, Yenice et al. 2009, Kandemir 2010, Adebayo et al. 2010, Ekincioğlu et al. 2013, Su 2016).

Kayacın sertliğini gösteren Shore sertlik indeksi ile delme oranı indeksi arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Kayacın sertliği arttıkça kayacı delmenin zorlaşacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar Yaralı vd. (2008), Soyer (2009) ve Ekincioğlu et al. (2013) sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Kayaçların gevreklik değerleri olan B1 ve B2'nin delinebilirliğe etkisinin az olduğu görülürken, B3 ve B4 gevreklik değerleriyle delinebilirlik arasında ise anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Yaralı and Soyer (2011)'in yaptığı çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Cerchar aşınma indeksi deneyine göre incelenen kayaçların çoğunun aşındırıcılık sınıfının yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük değer A10 no'lu Amasra Silttaşı örneğine aitken, en yüksek değer ise C2 no'lu Malatya Kuvarşist örneğinde bulunmuştur. Bu kayaçlarla yapılacak mekanize kazıda keski tüketiminin fazla olacağı beklenmektedir. Keski tüketimin az olması için kullanılacak kazı makinalarında mutlaka su emprenye sistemlerinin bulunması gerekmektedir. Böylece hem keski soğutularak ömürleri uzatılmakta hem de kazıya yardımcı olunacaktır.

Kayaçların aşındırıcılıkları ile delinebilirliği arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Cerchar aşınma indeksi ve Norveç aşınma indeksi ile kayaçların delme oranı indeksi arasında oldukça düşük ilişkiler bulunmuştur (sırasıyla $R^2=0.21$ ve $R^2=0.24$). Aşınma arttıkça kayacı delmenin zorlaşacağı anlaşılmıştır. Literatürde bu sonuçla paralellik gösteren çalışmalar mevcuttur (Yaralı vd. 2008, Kandemir 2010, Yaralı et al. 2014, Yasar et al. 2015). Cerchar aşınma indeksi ile Norveç aşınma indeksi arasında üssel artan bir ilişki bulunmuştur ($R^2=0.83$).

Delme oranı indeksi (DRI) ile spesifik enerji (SE) değerleri arasında azalan doğrusal bir ilişki ortaya çıkmıştır ve ilişki katsayısı da $R^2=0.75$ bulunmuştur. Spesifik enerji değeri arttıkça kayacı delmenin zorlaşacağı görülmüştür. Literatürde benzer sonuçlar veren çalışmalar mevcuttur (Su et al. 2013, Ekincioğlu et al. 2013, Moein et al. 2014, Yaralı et al. 2014, Yasar et al. 2015).

Aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu (d_{ort}) ve eşdeğer kuvars içeriğinin (Q_{eqv}), delme oranı indeksine etkilerinin çok az olduğu görülmüştür (sırasıyla $R^2=0.17$, $R^2=0.12$). Doku sağlamlık katsayısının (DSK) ise delme oranı indeksine doğrudan etkisinin olduğu saptanmıştır ($R^2=0.51$). Bu da, kayaç ne kadar masifse yani çimentolanma derecesi ve katsayısı ne kadar

büyükse, delme işleminin o oranda zorlaşacağı anlamına gelmektedir. Bu sonuçlar Yaralı vd. (2008) ve Soyer (2009) ile paralellik göstermektedir.

Petrografik özelliklerin kayaçların aşındırıcılıklarına olan etkisi araştırılmıştır. Buna göre, kayaçların aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu, eşdeğer kuvars içeriği ve doku sağlamlık katsayısı ile kayaçların Cerchar aşınma indeksi arasında yüksek bir ilişki bulunmuştur (sırasıyla $R^2=0.85$, $R^2=0.53$, $R^2=0.80$). Kayaçların aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu, eşdeğer kuvars içeriği ve doku sağlamlık katsayısı ile kayaçların Norveç aşınma indeksi arasında da anlamlı ilişki bulunmuştur (sırasıyla $R^2=0.64$, $R^2=0.69$, $R^2=0.78$). Literatürde benzer sonuçlar veren çalışmalar yapılmıştır (West 1986, Suana and Peters 1982, Plinninger et al. 2003, Rostami et al. 2005, Fowell and Abubakar 2007, Yaralı vd. 2008, Kandemir 2010).

Bu çalışma sonucu bulunan sonuçlar ve değerlendirmeler literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Ayrıca bu araştırma, kayaçların aşındırıcılıklarının ve delinebilirliklerinin petrografik özelliklere göre değişimini ortaya koyması açısından ve geniş kapsamlı bir çalışma olması bakımından da ayrı bir öneme sahiptir. Literatürde petrografik özelliklerin, kayaçların delinebilirliğine olan etkisinin araştırıldığı çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Delme oranı indeksi, Norveç aşınma indeksi ve Cerchar aşınma indeksi deneyleri özellikle yeraltı açıklıklarının (tünel, metro, galeri vb.) hızlı ve güvenilir şekilde kazılarında kullanılan delme makinalarının (elektro hidrolik ve jumbo deliciler vb.) performans analizlerinde yaygın kullanılan deney yöntemleridir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, arazide yerinde yapılacak deneylerle karşılaştırılarak, kayaçların delinebilirliği hakkında daha iyi fikir edinmemize yardımcı olacaktır. Delme makinalarıyla yapılacak mühendislik uygulamalarında bu kayaçlarla karşılaşan bir mühendis, bu çalışmadan elde edilen sonuçlara bakarak, sahada kullanılacak olan makina seçiminde ve uç tüketimi konusunda fikir sahibi olacaktır. Formasyonda bulunan kayaç özelliklerine uygun makina ve uç seçimi yapılarak, makina performanslarında artış sağlanmış olacak ve olası maliyet artışlarının da önüne geçilecektir.

KAYNAKLAR

- Adebayo B, Opafunso Z O and Akande J M** (2010) Drillability and Strength Characteristics of Selected Rocks in Nigeria, *AU J. T.*, 14(1), July, pp. 56-60.
- Afnor** (2000) Determination du Pouvoir Abrasive d'une Roche - Partie 1:Essai de Rayure Avec Une Pointe (NF P 94-430-1) Paris, 24 p.
- Altindag R** (2000) The Role of Brittleness on the Analysis of Percussive Drilling Performance, *In: Proc. of 5th Turkish National Rock Mech. Symp*, pp. 105–112.
- Altındağ R** (2002) Darbeli Delme Performans Analizlerinde Kayaç Gevrekliğinin Rolü, 5. *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Isparta, s.105-112.
- Altindag R** (2003) Correlation of Specific Energy with Rock Brittleness Concept on Rock Cutting, *J. S. Afr. Inst. Min. Metal*, 103, 163–171.
- Andrews R, Nygaard R, Engler T, Munro H and Virginillo B** (2007) Methods of Using Logs to Quantify Drillability, *paper SPE 106571 presented at the SPE Rocky Mountain Oil & Gas Symposium*, Denver Colorado, 16–18 April.
- ASTM** (2010) “Standard Test Method for Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Method”. Designation, D7625-10.
- Atici U and Ersoy A** (2009) Correlation of Specific Energy of Cutting Saws and Drilling Bits with Rock Brittleness and Destruction Energy, *J Mater Process Technol*, 209(5):2602–2612.
- Aydın G** (2012) Kesici Disklerin Kayaç Kesme Performansının Araştırılması ve Performans Tahminine Yönelik Modellerin Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Müh. Anabilim Dalı, Trabzon, 224 s.
- Balcı C, Bilgin N, Çopur H, Tumaç D ve Akgül M** (2007) Tünel Açma Makinalarının Tam Boyutlu Kesme Deneyi ile Performans Tahmini, *1. Maden Makinaları Sempozyumu*, TMMOB, MMO, Kütahya, s.61-70.
- Baş N** (1993) Elektro Hidrolik Delicilerin Delme Performansının İncelenmesi, *Yüksek Mühendislik Tezi*, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Zonguldak Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 141 s.
- Bieniawski Z T** (2007) Predicting TBM Excavability, *Tunnels&Tunnelling International*, Spain, 1 p. 1-4.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bilgin N** (1982) Zonguldak Kömür Havzasındaki Formasyonların Jeomekanik Özelliklerinin Burgu Davranışlarına Etkisi, *Türkiye 3. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak, s.95-111.
- Bilgin N** (1989) *İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazi Mekaniği*, Birsen Yayınevi İstanbul, 192 s.
- Bilgin N and Kahraman S** (2003) Drillability Prediction in Rotary Blast Hole Drilling, *International Mining Congress Exhibition of Turkey*, IMCET 2003, #2003, ISBN 975-395-605-3.
- Bilgin N, Demircin M A, Copur H, Balci C, Tuncdemir H and Akcin N** (2006) Dominant Rock Properties Affecting the Performance of Conical Picks and the Comparison of Some Experimental and Theoretical Results, *Int J Rock Mech Min Sci*, 43:139–156.
- Birinci A** (1989) TTK Üzülmez Müessesesi Asma İşletme Müdürlüğü Yeraltı Delik Delme İşlerinde Kullanılan Burguların (Matkapların) Performansını Etkileyen Faktörler, *Yüksek Mühendislik Tezi (yayımlanmamış)*, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Zonguldak, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 96 s.
- Blindheim O T, Grov E and Nilsen B** (2002) The Effect of Mixed Face Conditions (MFC) on Hard Rock TBM Performance, *AITES-ITA Word Tunnel Congress*, Sydney, pp. 24-32.
- Bruland A, Dahlo T S and Nilsen B** (1995) Tunnelling Performance Estimation Based on Drillability Testing, *In: Proceedings 8Th International Congress on Rock Mechanics*, September 25–30, Tokyo, Japan, pp. 123–126.
- Bruland A** (2000) Hard Rock Tunnel Boring, *Doctoral Thesis at NTNU*, Torondheim, Norway, vol. 1-10, p. 25-27.
- Cerchar** (1986) Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France, *The Cerchar Abrasiveness Index*, 12 p.
- Copur H, Rostami J, Ozdemir L and Bilgin N** (1997) Studies on Performance Prediction of Roadheaders Based on Field Data in Mining and Tunneling Projects, *Fourth International Symposium on Mine Mechanization and Automation*, Brisbane, Queensland, 1:1- 7.
- Çapik M, Yılmaz A O, Yaşar S, Yaralı O ve Çavuşoğlu İ** (2013) Jumbo Delici Makinasının Çalışma Performansı ve Spesifik Enerji Değerleri, 3. *Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s. 191-209.
- Dahl F** (2003) DRI, BWI, CLI Standards, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, 21 p.
- Dahl F, Grøv E and Breivik E** (2007) Development of a New Direct Test Method for Estimating Cutter Life Based on the Sievers' J Miniature Drill Test, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22 (1). 106–116.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dahl F, Bruland A, Jakobsen P D, Nilsen B and Grov E** (2012) Classifications of Properties Influencing the Drillability of Rocks, Based on The NTNU/SINTEF Test Method, Tunnell, *Undergr. Space Technol.*, 28, pp. 150–158.
- Ekincioglu G, Altindag R, Sengun N, Demirdag S and Guney A** (2013) The Relationships Between Drilling Rate Index (DRI) Physico-Mechanical Properties and Specific Energy for Some Carbonate Rocks, *Pocceedings of EUROCK 2013 The 2013 ISRM International Symposium*, edt. M. Kwasniewski and D. Lydzba, September 2013, Wroclaw, Poland, pp. 867- 875.
- Ersoy C ve Balci C** (2013) Kollu Galeri Açma Makinalarının Seçim Kriterleri ve Amasra Havzasına Uygulanması, *4. Maden Makinaları Sempozyumu*, 23-24 Mayıs 2013, İzmir, Türkiye, s. 11-20.
- Fowell R J and Abubakar M Z** (2007) A Review of the Cerchar and LCPC Rock Abrasivity Measurement Methods, *11th Congress of the International Society for Rock Mechanics*, London, pp. 155-6
- Gerçek H** (2000) *Kaya Mekaniği Ders Notları*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, (yayımlanmamış), 261 s.
- Graham P C** (1976) Rock Exploration for Machine Manufactures, In *Proceedings. Symposium on Exploration For Rock Engineering*, Johannesburg, Rotterdam, Balkema, pp.173-180.
- Grima M A, Bruines P A and Verhoef P N W** (2000) Modeling Tunnel Boring Machine Performance by Neuron-Fuzzy Methods, *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol. 15. Number 3. pp. 259-269.
- Hoseinie S H, Aghababaei H and Pourrahimian Y** (2008) “Development of a New Classification System for Assessing of Rock Mass Drillability Index (RDi)”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45, 1–10.
- Hoseinie S H, Ataei M and Osanloo M** (2009) A New Classification System for Evaluating Rock Penetrability, *Int J Rock Mech Min Sci*, 46:1329–1340.
- Howarth D F and Rowland J C** (1987) Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties, *Rock Mech. Rock Eng*, 20, 57–85.
- Huang S L and Wang Z W** (1997) The Mechanics of Diamond Core Drilling of Rocks, *Int. J. Rock Mech. & Min Sci*, Vol. 34, No. 3-4. Pp 134.
- ISRM** (1978) Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, 15. 99-103.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- ISRM** (1979) Suggested Method for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech, Abstr.*, 16. 135-140.
- ISRM** (1980) Basic Geotechnical Desaiptian of Rock Masses, *Int. J. Rock MechMin. Sci. And Geomech, Abstr.*, 18. 85-110.
- ISRM** (2015) *Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the Cerchar Abrasivity Test*, The ISRM Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring, 2007-2014, Edt: R. Ulusay, Springer, DOI:10.1007-978-3-319-07713-0 pp.101-106.
- Johannessen O** (1998) Hard Rock Tunnel Boring, Advence Rate and Cutter Wear, *Project Report*, IB-98, NTNU, Trondheim, Norwegian, 54 p.
- Kahraman S** (1999) Rotary and Percussive Drilling Prediction Using Regression Analysis, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, pp. 981–989.
- Kahraman S, Balci C, Yazici S and Bilgin N** (2000) Prediction of the Penetration Rate of Rotary Blast Hole Drills Using a New Drillability Index, *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37, pp. 729-743
- Kahraman S** (2002) Correlation of TBM and Drilling Machine Performances with Rock Brittleness, *Engineering Geology*, 65, pp. 269-283
- Kahraman S, Bilgin N and Feridunoglu C** (2003) Dominant Rock Proporties Affecting Penetration Rate of Percussive Drills, *International Journal Of Rock Mechanics & Mining Scienes*, pp. 711-723.
- Kandemir A** (2010) Kayaçların Delinebilirlik, Aşındırıcılık ve Petrografik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 175 s.
- Karpuz C, Pasamehmetoglu A C, Dincer T and Muftuoglu Y** (1990) Drillability Studies on the Rotary Blast Hole Drilling on Lignite Overburden Series, *Int. J. Surfine Min. Reel.*, 4. 89-93.
- Kel K** (2003) Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Kazılabilirliğinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 181 s.
- Kim K Y, Kim K S and Kim C Y** (2009) Assessment of Specific Energy in Rotary Percussivedrilling on the Homogeneous Rock Mass, <http://www.ctta.org/FileUpload/ita/2009/papers/P-06/P-06-20.pdf>

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kramadibrata S, Made A R, Juanda J, Simangunsong G M and Priagung N** (2001) The Use of Dimensional Analysis to Analyse the Relationship Between Penetration Rate of Jack Hammer and Rock Properties and Operational Characteristics, *Proc. Indonesian Mining Conference and Exhibition*, 7-8 November, Jakarta, Indonesia.
- Miskovsky K, Duarte M T, Kou S Q and Lindqvist P A** (2004) Influence of the Mineralogical Composition and Textural Properties on the Quality of Coarse Aggregates, *Journal of materials engineering and performance*, 13(2), 144-150.
- Moein M J A, Shaabani E and Rezaeian M** (2014) Experimental Evaluation of Hardness Models by Drillability Tests for Carbonate Rocks, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 113, 104-108.
- Nelson P P** (1993) TBM Performance Analysis with Reference to Rock Properties, *In Comprehensive Rock Engineering, Excavation, Support and Monitoring*, (J.A. Hudson. ed.), Vol. 4. Pergamon Press. Oxford. 849 p.
- Nilsen B and Ozdemir L** (1993) Hard Rock Tunnel Boring Prediction and Field Performance, Chapter 52. *RETC Conference Proceedings*, June 13-17, Boston, MA, pp. 833-852.
- Ozdemir L, Miller R and Wang F D** (1978) Mechanical Tunnel Boring Prediction and Machine Design, *Final Project report to NSF APR73-07776-A03*,. Golden, Co., Colorado School of Mines, USA, p. 252 pp. 225-244.
- Ozdemir L and Nilsen B** (1999) Recommended Laboratory Rock Testing for TBM Projects, *AUA News*, 14:2. pp 21-35.
- Özdemir A** (2010) Kayaçların Delinebilirliğini Etkileyen Jeolojik Özellikler, *Sondaj Dünyası Dergisi*, 5: 51-58.
- Plinninger R, Kasling H, Thuro K and Spaun G** (2003) Testing Conditions and Geomechanical Properties Influencing the Cerchar Abrasiveness Index (CAI) Value, Technical Note. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.*, 40:259-263.
- Rostami J, Ozdemir L and Neil DM** (1994) Performance Prediction: A Key Issue in Mechanical Hard Rock Mining, *Mining Engineering*, 46:1263–1267.
- Rostami J, Ozdemir L and Nilsen B** (1996) Comparison Between CSM and NTH Hard Rock TBM Performance Prediction Models, *In Proc. 16th Int. ISDT Symposium*, Las Vegas, USA, pp. 1-11.
- Rostami J, Ozdemir L, Bruland A and Dahl F** (2005) Review of Issues Related to Cerchar Abrasivity Testing and Their Implications on Geotechnical Investigations and Cutter Cost Estimates, *Rapid Excavation and Tunnelling Conference*, Seattle, WA, USA, pp. 15-14.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sakız U** (2016) Spesifik Enerjinin Kayaçların Delinebilirliği ve Aşındırıcılığına Olan Etkisinin incelenmesi, *Doktora Tezi 3. Tez İzleme Raporu*, (yayımlanmamış), BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 80 s.
- Sapigni M, Berti M, Bethaz E, Busillo A and Cardone G** (2002) TBM Performance Estimation Using Rock Mass Classifications, *Int. J. Rock Mech. & Mining Sciences*, 39. pp. 771-788.
- Schormair N, Thuro K and Plinninger R** (2006) The Influence of Anisotropy on Hard Rock Drilling and Cutting, *The Geological Society*, IAEG-491, 1-11.
- Shahriar K** (1988) Kayaçların Kazılabilirlik ve Jeoteknik Özelliklerinin Kollu Galeri Açma Makinalarının Kazı Hızları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 241 s.
- Soyer E** (2009) Kayaçların Dayanım ve Petrografik Özelliklerinin Delinebilirliğe Etkisinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 163 s.
- Su O, Yarali O and Akcin N A** (2013) Comparison of Drilling Performance of Chisel and Button Bits on the Electro Hydraulic Driller, *Rock Mech Rock Eng*, 46:1577–1587.
- Su O** (2016) Performance Evaluation of Button Bits in Coal Measure Rocks by Using Multiple Regression Analyses, *Rock Mech. Rock Eng*, 49:541-553.
- Sundin N And Wanstedt S** (1994) A boreability Model for TBM's, *In Proc. First North American Rock Mechanics Symposium*, Austin, TX (Nelson. P:P. And Laubach. S.E.. ed.), Rotterdam, Balkema, pp. 311-318.
- Şengün N** (2009) Kayaçların Kırılma Tokluğu ve Gevrekliğinin Dairesel Testereler İle Kesme Verimi Üzerine Etkileri, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Müh. Anabilim Dalı, Isparta, 165 s.
- Sengün N and Altındağ R** (2013) Prediction of Specific Energy of Carbonate Rock in Industrial Stones Cutting Process, *Arab. J. Geosci*, 6:1183-1190.
- Tamrock** (1987) *Handbook of Underground Drilling*, Tamrock Drills SF-33310 Tampere, Finland, 327 p.
- Tamrock** (1999) *Rock Excavation Handbook for Civil Engineering*, ed: Heneö. R., 99-808-GB6000, Sandvik Tamrock Corp, Pp: 364.
- Thuro K and Spaun G** (1996) Introducing the 'Detraction Work' as a to New Rock Property of Toughness Referring to Drillability in Conventional Drill and Blast Tunnelling, *In: Barla M. editor. Eurock'96 Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Enginnering*, vol. 2. p. 707-13.
- Thuro K** (1997) Prediction of Drillability in Hardrock Tunneling by Drilling and Blasting, *In: Golse J et al.. editors Tunnel for people*, p.103-8.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tiryaki B** (2008) Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Cuttability of Rocks by Drag Tools, *Tunneling and Underground SpaceTech*, 23:273-280.
- West G** (1986) A Relation Between Abrasiveness and Quartz Content for Some Coal Measures Sediments, *Int. J. Min. & Geol. Eng.*, 4:73-78.
- Wilbur L D** (1982) "Rock Tunnels", *Tunnel Engineering Handbook Section 7*, Ed. Bickel, Jon, O. and Kuesel, T. R., 123-207.
- Yaralı O** (2007) Tünel Açma Makinalarının Performans Tahminleri İçin Delinebilirlik Deneyleri, *Türkiye 20. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB MMO, Ankara, s. 217-225.
- Yaralı O ve Soyer E** (2007) Tünel Açma Makinalarının Performans Analizinde Kullanılan Delme Oranı İndeksinin (DRI) Tahmini, 2. Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu, 15-17 Kasım, İstanbul, s. 169-179.
- Yaralı O** (2008) Kayaçların Delinebilirlik ve Aşındırıcılıklarının Belirlenmesi, *Türkiye 16. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak, s. 65-76.
- Yaralı O, Akçin N A, Bacak G ve Su O** (2008) Mekanik Kazıda Kayaçların Petrografik Özellikleri ile Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: 104M437.
- Yaralı O and Soyer E** (2011) The Effect of Mechanical Rock Properties and Brittleness, *Scientific Research and Essays*, 6(5): 1077-1088.
- Yaralı O and Kahraman S** (2011) The drillability Assessment of Rocks Using the Different Brittleness Values, *Tunn. Undergr. Space Tech*, 26, 406e414.
- Yaralı O and Soyer E** (2013) Assessment of Relationships Between Drilling Rate Index and Mechanical Properties of Rocks, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 33 : 46-53.
- Yaralı O, Duru H and Sakiz U** (2014) Evaluation of the Relationships Among Drilling Rate Index (DRI), Mechanical Properties, Cerchar Abrasivity Index and Specific Energy for Rocks, *Aachen Sixth International Mining Symposium*, pp:205-220, Germany.
- Yasar E, Ranjith P G and Viete D R** (2010) An Experimental Investigation into the Drilling Andphysico-Mechanical Properties of a Rock-Like Brittle Material, *.J.Pet. Sci. Eng.*76, 185-193.
- Yasar S, Capik M, and Yilmaz A O** (2015) Cuttability Assessment Using the Drilling Rate Index (DRI), *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(4), 1349-1361.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Yenice H, Ozfirat M K, Kahraman B and Ozdogan M V** (2009) Examination of Drilling Rate Index (DRI) of Rocks, *In: Proceedings of Third Balkan Mining Congress*, 1–3 October, Izmir, Turkey, pp. 321–328.
- Yüksel A, Arıoğlu E ve Bilgin N** (2013) Makro Süreksizliklerin Metro Tünellerinde Kullanılan Tünel Açma Makinasının Performansında Etkisi, *3. Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s. 139-150.
- Zare S and Bruland A** (2013) Applications of NTNU/SINTEF Drillability Indices in Hard Rock Tunneling, *Rock Mech Rock Eng*, 46:179–187.
- Zhang X, Zhai Y H, Xue C J and Jiang T X** (2012) A Study of the Distribution of Formation Drillability, *Petroleum Science and Technology*, 29:2, pp. 149-159.
- Zhou Y** (2013) Numerical Modeling of Rock Drilling with Finite Elements, *Doctoral Thesis*, University of Pittsburgh, USA, 156 p.

BİBLİYOGRAFYA

- Adamson W R** (1984) Correlation of Model Excavating Machine Performance with Rock Properties and Rotary Drilling Performance Data, *MSc. Thesis*, Univ. Of Queensland.
- Bamford W E** (1984) Rock Test Indices are Being Successfully Correlated with Tunnel Boring Machine Performance, *In Proceedings. Fifth Australian Tunneling Conference*, Sydney, pp. 218-221.
- Clark G B** (1979) *Principles of Rock Drilling*, Colorado School of Mines, p 91.
- Dutta P K** (1972) Theory of Percussive Drill Bit Penetration, *In J Rock Mech. Min. Sci*, 9: 543-67.
- Farmer I W and Glossop N H** (1980) Mechanics of Disc Cutter Penetration, *Tunnel and Tunneling*, 12. 6. pp.22-25.
- Fish B G** (1968) The Basic Variables in Rotary Drilling, *Mine and Quarry Engineering*, 27, pp. 74-81.
- Fowell R J and Mcfeat-Smith** (1976) Factors Influencing the Cutting Performance of a Selective Tunneling Machine, *In: Jones J M. editor. Proceedings of the Seventh International Symposium on Tunneling'76*, London: IMM, p. 301-9.
- Franklin J A and Dusseault M B** (1989) *Rock Engineering*, New York: McGraw-Hill.
- Gyss E E and Davis H G** (1927) The Hardness and Toughness of Rocks, *AIME: Min and Met*, June, p. 261-266.
- Hakalehto K O** (1972) Energy Required to Break Rock by Percussive Drilling, *In: Proceedings of the 14th Symposium on Rock Mechanics*, Pennsylvania State University, pp. 613-621.
- Hartman H L** (1959) Crater Geometry Relations in Percussive Drilling Single Blos Studies, *Mine Quarry Eng*, 28:530-6.
- Hucka V and Das B** (1974) Brittleness Determination of Rocks by Different Methods, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci, Geomech, Abstr*, 11, pp. 389-392.
- Howarth D F, Adamson W R and Berndt J R** (1985) Correlation of Model Tunnel Boring and Drilling Machine Performances with Rock Properties, *Int J Rock Mech Min Sci*, 23: 57-85.

BİBLİYOGRAFYA (devam ediyor)

- Howarth D F, Adamson W R and Berndt J R** (1986) Correlation of Model Tunnel Boring and Drilling Machine Performances with Rock Properties, *Int J Rock Mech Min Sci*, 23: 57-85.
- Hustrulid W A and Fairhurst C A** (1972) Theoretical and Experimental Study of the Percussive Drilling of Rock, Part I Theory of percussive drilling, *Int J Rock Mech Min Sci*, 8: pp. 35-56.
- Innaurato N, Mancini R, Rondena E and Zaninetti A** (1991) Forecasting and Effective TBM Performances in Rapid Excavation of a Tunnel in Italy, *In 7th Int. Congress uber Felsmekanik*, Aachen, Deutschland, pp. 985-990.
- Lien R** (1961) An Indirect Test Method for Estimating the Drillability of Rocks, *Doktorat Dissertation*, NTH Department of Geology, Norway (in Norway).
- Lundberg B** (1985) Microcomputer Simulation of Stress Wave Energy Transfer to Rock in Percussive Drilling, *Int J Rock Mech. Min Sci*, 22, 1407-10.
- McFeat-Smith I** (1977) Rock Property Testing for the Assessment of Tunnelling Machine Performance, *Tunnels & Tunnelling International*, 9 (Analytic).
- McFeat-Smith I and Fowell R J** (1977) Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machines, *In Proceedings of a Conference on Rock Engineering*, Newcastle upon Tyne, pp. 581-602.
- McFeat-Smith I and Tarkoy P J** (1979) Assessment of Tunnel Boring Performance, *Tunnels and Tunneling*, pp. 33-37.
- Miranda A and Mello-Mendes F** (1983) Drillability and Drilling Methods, *In: Proceedings of the Fifth Congress International Society on Rock Mechanics*, Melbourne, vol 5, p. E195-E200.
- Pandey A K, Jain A K and Singh D P** (1991) An Investigation into Rock Drilling, *Int J Surf Min Recl*, 5: 114-39.
- Paone J and Bruce W E** (1963) Drillability Studies: Diamond Drilling (Vol. 6324), Bureau of Mines.
- Paone J, Madson D and Bruce W E** (1969) Drillability Studies-Laboratory Percussive Drilling, USBM RI 7300.
- Pathinkar A G and Misra G B** (1980) Drillability of Rocks in Percussive Drilling from 'Energy per Unit volume as Determined with a Microbit, *Min. Eng*, 32, 1407-1410.
- Prodoyakonov M M** (1962) Mechanical Properties and Drillability of Rocks, *In: Proceedings of the Fifth Symposium on Rock Mechanics*, Minneapolis, University of Minnesota, pp. 103-108.

BİBLİYOGRAFYA (devam ediyor)

- Rabia H and Brook N** (1980) The Effects of Apparatus Size and Surface Area of Charge on the Impact Strength of Rock, *Int J Rock Mech Min Sci*, 18: 211-9.
- Roxborough F F** (1985) Research in Mechanical Rock Excavation: Progress and Prospects, *In Proc. Rapid Excavation and Tunneling Conference*, Vol. 1, New York, USA.
- Roxborough F F and Phillips H R** (1975) Rock Excavation by Disc Cutter, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomec, Abstr*, 12.12, pp. 361-366.
- Sasaki K N, Yamakado N, Shiohara F and Tobe M** (1962) Investigations of Diamod Core Bit Boring, *Ind Diamond Rev*, 22: 259, pp. 178-186.
- Schmidt R L** (1972) Drillabilty Studies-Percussive Drilling in the Field, USBM RI 7684.
- Selim A A and Bruce W E** (1970) Prediction of Penetration Rate for Percussive Drilling, USBM RI 7396.
- Selmer-Olsen R and Blindheim O T** (1970) On the Drillability of Rock by Percussive Drilling, *In: Proceedings of the Second Congress International Society on Rock Mechanics*, pp.65-70.
- Shimomura Y and Takato A** (1958) Research on Relations of Physical Properties of Rocks and Drilling Rates of Diamond Bits, *Min and Met., Inst. Of Japan*, 78:844, pp. 852-860.
- Singh D P** (1969) Drillability and Physical Properties on Rocks, *In: Prut. Rink Merit. Sxmp.*, Universty of Sydney, pp. 29-34.
- Stack B** (1995) *Encyclopaedia of Tunnelling Mining and Drilling Equeptment*, Volume 1-2, Mining Hobart Muden Publishing Company, Hobart, Australia, 1911 s.
- Suana M and Peters T** (1982) The Cerchar Abrasivity Index and Its Relation to Rock Mineralogy and Petrography, *Rock Mech.*, 15(1):1-6.
- Tandanand S and Unger H F** (1975) Dri1lability Determination a Drillability Index for Percussive Drills, U.S.B.M. R.I, 8073, 20s.
- Tarkoy P J** (1973) Predicting TBM Penetration Rates in Selected Rock Types, *In Poc. Ninth Canadian Rock Mechanics Symposium*, Montreal, pp. 116-132.
- Valantin A** (1973) *An Examination of the Varous Conventional Procedures to Determine the Resistance of Rock to Mechanized Winning*, Development and Exploratory Techniques in Coal Mines, Commission of the European Commercial Shearing Co, Youngstown, pp.15-84.
- Wallis S** (1999) Record Setting TBMs on China's Long Yellow River Drives, *Tunnel*, 1:19-26.

BİBLİYOGRAFYA (devam ediyor)

Yazıcı S (1984) Galeri Açma Makinalarının Seçimi İçin Kazılabilirliğin Saptanması,
Madencilik, 22 (2): 23-33.

EK AÇIKLAMALAR A

KIRILGANLIK DENEYİ SONUÇLARI

Çizelge A.1 Kırılmalık deneyi sonuçları.

Örnek Adı: Niğde Diyabaz (B4)						
<i>Yoğunluk = 2.48 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	468		468			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	218		218			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	250		250			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{250}{468} = \%53.42$ $S_{20_2} = \frac{250}{468} = \%53.42$ $S_{20_{ort}} = \% 53.42$						
Örnek Adı: Niğde Andezit (B3)						
<i>Yoğunluk = 2.40 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	453		453			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	241		242			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	212		211			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = 212 / 453 = \% 46.80$ $S_{20_2} = \frac{211}{453} = \%46.58$ $S_{20_{ort}} = \% 46.69$						
Örnek Adı: Bergama Granit (B1)						
<i>Yoğunluk = 2.56 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	483		483		483	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	242.5		180.5		225.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	240.5		302.5		257.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{190}{543} = \%49.79$ $S_{20_2} = \frac{207.5}{543} = \%62.63$ $S_{20_3} = \frac{211}{543} = \%53.31$ $S_{20_{ort}} = \%55.24$						

Çizelge A.1 (devam ediyor)

Örnek Adı: Kızılcahamam Bazalt (B7)						
<i>Yoğunluk = 2.85 gr/cm³</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	538		538			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	360		341.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	178		196.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2			
$S_{20_1} = \frac{178}{538} = \%33.09$ $S_{20_2} = \frac{196.5}{538} = \%36.52$ $S_{20_{ort}} = \%34.81$						
Örnek Adı: Yenice Granit (B2)						
<i>Yoğunluk = 2.67 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	504		504		504	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	306		269		303	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	198		235		201	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{198}{504} = \%39.29$ $S_{20_2} = \frac{235}{504} = \%46.63$ $S_{20_3} = \frac{201}{504} = \%39.88$ $S_{20_{ort}} = \%41.93$						
Örnek Adı: Niğde Diyorit (B8)						
<i>Yoğunluk = 2.42 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	457					
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	216					
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	241					
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{241}{457} = \%52.74$ $S_{20_{ort}} = \%52.74$						

Çizelge A.1 (devam ediyor)

Örnek Adı: Ereğli Andezit (B5)								
<i>Yoğunluk = 2.42 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>								
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek			
	gr	%	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	457							
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	276.4							
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	180.6							
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1			
$S_{20_1} = \frac{276.4}{457} = \%60.48$ $S_{20_{ort}} = \% 60.48$								
Örnek Adı: İnce Taneli Kumtaşı (A1)								
<i>Yoğunluk = 2.61 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>								
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek			
	gr	%	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	492		492		492			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	287		249		250			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	205		243		242			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1			
$S_{20_1} = \frac{205}{492} = \%41.67$ $S_{20_2} = \frac{243}{492} = \%49.40$ $S_{20_3} = \frac{242}{492} = \%49.19$ $S_{20_{ort}} = \% 46.75$								
Örnek Adı: Orta Taneli Kumtaşı (A2)								
<i>Yoğunluk = 2.42 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>								
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek		4. Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	457		457		457			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	218.5		219		210.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	238.5		238		246.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{238.5}{457} = \%52.19$ $S_{20_2} = \frac{238}{457} = \%52.08$ $S_{20_3} = \frac{246.5}{457} = \%53.94$ $S_{20_{ort}} = \% 52.74$								

Çizelge A.1 (devam ediyor)

Örnek Adı : Kömür Bantlı Kumtaşı (A3)						
<i>Yoğunluk = 2.48 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	468		468		468	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	233		249.5		253.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	235		218.5		214.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{235}{468} = \%50.21$ $S_{20_2} = \frac{218.5}{468} = \%46.69$ $S_{20_3} = \frac{214.5}{468} = \%45.83$ $S_{20_{ort}} = \% 47.58$						
Örnek Adı : Orta Taneli Bantlı Kumtaşı (A4)						
<i>Yoğunluk = 2.38 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3. Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	449		449		449	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	278		243.5		237.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	171		205.5		211.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{171}{449} = \%38.08$ $S_{20_2} = \frac{205.5}{449} = \%45.77$ $S_{20_3} = \frac{211.5}{449} = \%47.10$ $S_{20_{ort}} = \% 43.65$						
Örnek Adı : Çakraj Brej Mermer (A7)						
<i>Yoğunluk = 2.45 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	462		462			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	258		253			
Kayaç malzemesi <11.2mm (20 darbe sonrası)	204		209			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{204}{462} = \%44.16$ $S_{20_2} = \frac{209}{462} = \%45.24$ $S_{20_{ort}} = \% 44.70$						

Çizelge A.1 (devam ediyor)

Örnek Adı : Karabük Kuvarsit (C1)						
<i>Yoğunluk = 2.58 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	487		487			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	278		282			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	209		205			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{209}{487} = \%42.92$ $S_{20_2} = \frac{205}{487} = \%42.09$ S_{20 ort}= % 42.51						
Örnek Adı : Armutçuk Kuvars Kumtaşı (A8)						
<i>Yoğunluk = 2.51 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	474		474		474	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	175		136		176	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	299		338		298	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{299}{474} = \%63.08$ $S_{20_2} = \frac{338}{474} = \%71.31$ $S_{20_3} = \frac{298}{474} = \%62.87$ S_{20 ort}= % 65.75						
Örnek Adı : Niğde Kuvars Albit Serizitist (C6)						
<i>Yoğunluk = 2.50 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	472		472			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	250		277			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	222		195			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{222}{472} = \%47.03$ $S_{20_2} = \frac{195}{472} = \%41.31$ S_{20 ort}= % 44.17						

Çizelge A.1 (devam ediyor)

Örnek Adı : Kireçtaşı (A5)						
<i>Yoğunluk = 2.74 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	517		517		517	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	250		234		240	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	267		283		277	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{267}{517} = \%51.64$ $S_{20_2} = \frac{283}{517} = \%54.74$ $S_{20_3} = \frac{277}{517} = \%53.58$ $S_{20_{ort}} = \% 53.32$						
Örnek Adı : Amasra Silttaşı (A10)						
<i>Yoğunluk = 2.39 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	451		451		451	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	187		164		160	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	264		287		291	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{264}{451} = \%58.54$ $S_{20_2} = \frac{287}{451} = \%63.64$ $S_{20_3} = \frac{291}{451} = \%64.52$ $S_{20_{ort}} = \% 62.23$						
Örnek Adı : Malatya Kuvarşist (C2)						
<i>Yoğunluk = 2.48 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	468		468		468	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	173		180		179	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	295		288		289	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{295}{468} = \%63.03$ $S_{20_2} = \frac{288}{468} = \%61.54$ $S_{20_3} = \frac{289}{468} = \%61.75$ $S_{20_{ort}} = \% 62.11$						

Çizelge A.1 (devam ediyor)

Örnek Adı : Malatya Kloritüst (C3)						
<i>Yoğunluk = 2.63 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	496		496		496	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	178		175		190	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	318		321		306	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{318}{496} = \%64.11$ $S_{20_2} = \frac{321}{496} = \%64.72$ $S_{20_3} = \frac{306}{496} = \%61.69$ $S_{20_{ort}} = \% 63.51$						
Örnek Adı : Afyon Mermer (C4)						
<i>Yoğunluk = 2.59 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	489		489		489	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	226		227		206	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	263		262		283	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{263}{489} = \%53.78$ $S_{20_2} = \frac{262}{489} = \%53.58$ $S_{20_3} = \frac{283}{489} = \%57.87$ $S_{20_{ort}} = \% 55.08$						
Örnek Adı : Marmara Mermer (C5)						
<i>Yoğunluk = 2.69 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	508		508		508	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	205.5		232		212	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	302.5		276		296	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{302.5}{508} = \%59.55$ $S_{20_2} = \frac{276}{508} = \%54.33$ $S_{20_3} = \frac{296}{508} = \%58.27$ $S_{20_{ort}} = \% 57.38$						

Çizelge A.1 (devam ediyor)

Örnek Adı : Metadiyabaz (C7)						
Yoğunluk = 2.46 gr/cm ³ (karot boyutlarından)						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	464		464		464	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	254		210.5		254	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	210		253.5		210	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{210}{464} = \%45.26$ $S_{20_2} = \frac{253.5}{464} = \%54.63$ $S_{20_3} = \frac{210}{464} = \%45.26$ $S_{20_{ort}} = \% 48.38$						

ÖZGEÇMİŞ

Çağrı ALDI 1985 yılında Zonguldak'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Zonguldak Kozlu'da tamamladı; Zonguldak Kozlu Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2005 yılında BEÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne girdi. 2011 yılında mezun oldu. Halen BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'da yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: 19 Mayıs Mah. Gündoğdu Sok.

No:25 Kozlu/ZONGULDAK

Tel: (506) 614 32 19

E-posta: cagrialdi67@gmail.com