

**KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK VE PETROGRAFİK
ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI**

Anıl KANDEMİR

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Temmuz 2010**

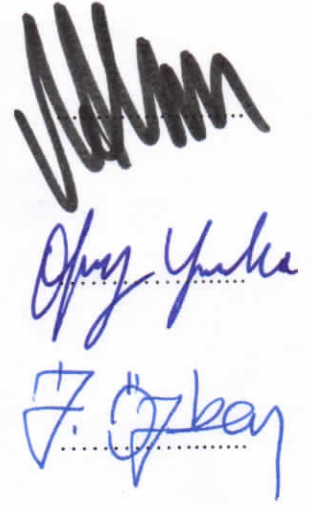
KABUL:

Anıl KANDEMİR tarafından hazırlanan " KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI " başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 02/07/2010

Başkan : Prof. Dr. Nuri Ali AKÇIN (ZKÜ)

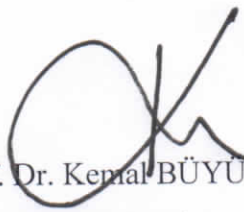
Üye : Yrd. Doç Dr. Olgay YARALI (ZKÜ)
(Tez Danışmanı)

Üye : Doç Dr. İhsan ÖZKAN (SÜ)



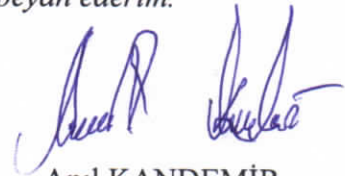
ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 22.7/2010



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
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."



Anıl KANDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİNİN ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

Anıl KANDEMİR

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Olgay YARALI

Temmuz 2010, 175 sayfa

Hidrolik kırıcılar, kollu galeri açma makineleri, tam cephe galeri açma makineleri, deliciler gibi mekanik kazı makinelerinden beklenen yararlara ulaşabilmek için, bu makinelerin kazılacak kayaçların özelliklerine uygun olarak seçilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, mekanik kazı makinelerinin seçilmesinden ve uygulanmasından önce, kayaçların delinebilirlik, dayanım ve aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Delinebilirlik, aşındırıcılık için çok fazla yöntem ve standartlar geliştirilmiştir. Her bir deney yöntemi için özel ekipmanlar gerekmektedir. Bu deneyler sonucunda elde edilen değerlere bağlı olarak, kayaca uygun kazı makinesi seçimi yapılabilmekte ve makine performansı (ilerleme oranı, keski tüketimi) önceden tahmin edilebilmektedir. Ancak, delinebilirlik ve aşındırıcılık için geniş kapsamlı laboratuvar olanaklarına gereksinim duyulmaktadır. Bu olanakların elde bulunmadığı durumlarda, kayaç delinebilirliği ile kayaçların aşındırıcılığının tahmini ve makine seçimi için bazı deneysel tahmin modelleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu modellerin oluşturulması sürecinde mineral bileşimi, kayaç dokusu kavramlarını içeren birçok parametreyle birlikte bazı petrografik kayaç özelliklerinin yeterince dikkate alınmadığı belirlenmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Bu nedenle, bazı petrografik kayaç özelliklerini dikkate alan delinebilirlik ve aşındırıcılık modellerinden elde edilen sonuçların, uygulamada elde edilen değerlerden farklı olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, çoğunluğu Zonguldak Bölgesine ait farklı kökenli (sedimanter, metamorfik ve magmatik) kayaçların delinebilirlik ve aşındırıcılık özelliklerini belirlemek için laboratuarda deneyler yapılmıştır. Önce kayaçların delinebilirliği ve delme oranı indeksi (DRI) hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Sonra Cerchar aşınma indeks deneyi ve Norveç aşınma deney yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ülkemizde, Cerchar aşınma indeks deney aletiyle yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Kayaçların delinebilirlikleri delme oranı indeks deneyine göre belirlenmiştir. Kayaçların aşındırıcılıkları ise Cerchar aşınma indeks deneyi ile Norveç aşınma deney yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına bağlı olarak petrografik özelliklerinin kayaçların aşındırıcılık özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, seçilen çeşitli kayaç türleri (sedimanter, magmatik, metamorfik) üzerinde ayrıntılı mineralojik–petrografik analizler, delinebilirlik (delme oranı indeks deneyi, kırılganlık, Sievers minyatür delme deneyi), aşındırıcılık (Norveç aşınma deneyi, Cerchar aşınma deneyi), deneyleri yapılmıştır. Kayaçların mineralojik–petrografik analizlerinden, aşındırıcılık ve delinebilirlik deneylerinden elde edilen veriler arasındaki ilişkiler, regresyon ve kolerasyon analizi yöntemini içeren EXCEL programıyla değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlara göre, kayaçların petrografik özelliklerinin (aşındırıcı mineral içeriği, kuvars içeriği, ortalama kuvars tane boyutu, çimentolanma derecesi ve çimento türü) kayacın aşındırıcılığı üzerine etkisinin fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kayaçların aşındırıcılığının kayaçların delinebilirliği üzerinde etkili olduğu da saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Aşındırıcılık, delme oranı indeksi, petrografik özellikler, Cerchar aşınma indeksi, Norveç aşınma indeksi.

Bilim Kodu: 607.01.02

ABSTARCT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATIONS ON AMOUNG OF RELATIONSHIPS OF DRILLABILITY, ABRASIVITY AND PETROGRAPHIC PROPERTIES OF ROCKS

Aml KANDEMİR

Zonguldak Karaelmas University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Olgay YARALI

July 2010, 175 pages

In order to gain the benefits offered by mechanical excavation machines (hiydraulic hammer, roadheader, tunnel boring machine), it is necessary to select these machines considering the properties of rock material to be excavated. Therefore, prior to selection and application of mechanical excavation machines, it is compulsory to assess the drillability and abrasivity properties of rocks. A wide variety of dillabilty and abrasivity index test procedures has also been developed. Each test method requires specialized equipment. Depending on the values obtained from these tests, it is also possible to select the type of the mechanical excavation machine and 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 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 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 excavation due to lack of some textural and compositional rock properties.

ABSTRACT (continued)

In the extent of this thesis, in order to determine drillability and abrasivity properties of different rock types (sedimentary, metamorphic and igneous) of majority of relating to Zonguldak Basin, numerous tests have been carried out in the laboratories. Firstly drillability and drill rate index (DRI) are briefly explained. Then , methods of Cerchar abrasivity index, Norveigen abrassion value are explained. Previous studies regarding Cerchar abrasivity index test device in our country have been summarized. Drillability of rocks is determined with drill rate index. Abrasivity of rocks is also find by Cerchar abrasivity index and Norveigen abrassion value. For these purposes, detailed mineralogical analyses, petrographic studies, drillability (drill rate index, brittleness test, Sievers miature drill test), abrasivity (Cerchar abrasivt test, Norveigen abrassion value), has been performed on some selected rock type (sedimentary, igneous, metamorphic) specimens. It was evaluationed the relationships between the large amount of data obtained from the mineralogical- petrographic analyses, abrasivity and drillability tests, by using regression and correlation analysis methods including EXCEL program.

At the end of these studies, it has been determined that the effect of petrographic properties (quartz content, equivalent quartz, quartz percentage, mean quartz grain size, degree of cementation, cementation type) on abrasivity of rocks. Besides, it has been also established that the effect of abrasivity of rocks on drilliability of rocks.

Key Words: Abrasiveness, drilling rate index, petrographic properties, Cerchar abrasivity index, abrassion value.

Science Code: 607.01.02

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında, maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a, değerli fikirleri ile bana yol gösteren Prof. Dr. Nuri Ali AKÇIN'a (ZKÜ) yardımlarını hiçbir konuda esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Olgay YARALI'ya (ZKÜ), jüri üyesi Doç. Dr. İhsan ÖZKAN' a (SÜ), jeolojik çalışmalarda ve kayaçların petrografik analizlerinin yapılmasında katkı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Gürkan BACAK'a (ZKÜ), manevi destekleriyle daima arkamda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİĞİ	5
2.1 GİRİŞ	5
2.2 DELİNEBİLİRLİK	8
2.3 DELİNEBİLİRLİĞİ BELİRLEMEDE KULLANILAN DENEYLER	15
2.4 DELME ORANI İNDEKSİ.....	17
2.4.1 Kırılgenlik Deneyi	18
2.4.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi	19
2.5 DELME ORANI İNDEKSİ DEĞERLENDİRİLMESİ	21
BÖLÜM 3 KAYAÇLARIN AŞINDIRICILIKLARI.....	25
3.1 GİRİŞ	25
3.2 AŞINMA TİPİ SINIFLAMASI	26
3.2.1 Keski Hareketine Göre Sınıflama.....	26

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.2 Aşınma Mekanizmasına Göre Sınıflama	27
3.3 KESKİLERDE AŞINMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE AŞINMA ŞEKİLLERİ	28
3.4 AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	29
3.5 CERCHAR AŞINMA İNDEKSİ	38
3.6 NORVEÇ AŞINMA DENEYİ	46
3.6.1 Örnekleri Hazırlanması	47
3.6.2 Deneyin Yapılışı	48
3.6.3 Çelik Uçla Norveç Aşınma Deneyi	49
3.6.4 Uç Aşınma İndeksinin Değerlendirilmesi	49
3.6.5 Keski Ömrü İndeksi	50
3.6.6 İndekslerin Sınıflaması	51
3.7 SCHIMAZEK AŞINMA İNDEKSİ	51
 BÖLÜM 4 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	 55
4.1 ÖRNEKLERİN ALINMASI	55
4.2 DENEY ÖRNEKERİNİN HAZIRLANMASI	58
4.3 DELME ORANI İNDEKS DENEYİ	59
4.3.1 Kırılgenlik Deneyi	60
4.3.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi	62
4.3.3 Delme Oranı İndeksinin Değerlendirilmesi	64
4.4 AŞINDIRICILIK DENEYLERİ	66
4.4.1 Norveç Aşınma Deneyi	66
4.4.1.1 Norveç Aşınma Deney Aletinin Tanıtılması	66
4.4.1.2 Örneklerin Hazırlanması	69
4.4.1.3 Norveç Aşınma Deneyinin Yapılması	70
4.4.2 Cerchar Aşınma İndeks Deneyi	75
4.4.3 Aşındırıcılık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	77
 BÖLÜM 5 KAYAÇ ÖRNEKERLİNİN PETROGRAFİK İNCELEMELERİ	 81

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	91
6.1 AŞINMA DENEYLERİNİN KENDİ ARALARINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	91
6.2 AŞINMA DENEYLERİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	95
6.3 PETROGRAFİK ÖZELLİKLER İLE AŞINMA DENEYLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	96
6.3.1 Doku Sağlamlık Katsayısı İle Aşınma Deneyleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması.....	98
6.3.2 Ortalama Kuvars Tane Boyutu İle Aşınma Deneyleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması.....	99
6.3.3 Eşdeğer Kuvars Yüzdesi İle Aşınma Deneyleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması.....	101
6.4 İSTATİSTİKSEL ARAŞTIRMA	105
6.4.1 Aşınma Deneyleri İle Doku Sağlamlık Katsayısı, Eşdeğer Kuvars Yüzdesi ve Ortalama Kuvars Tane Boyutu Arasındaki Regresyon Denklemi.....	105
6.4.2 İki Bağımsız Doğrusal Regresyon Denklemleri.....	108
BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER	113
KAYNAKLAR	121
BİBLİYOGRAFYA	127
EK AÇIKLAMALAR A KIRILGANLIK DENEY SONUÇLARI.....	131
EK AÇIKLAMALAR B NORVEÇ AŞINMA DENEY SONUÇLARI.....	145
EK AÇIKLAMALAR C KAYAÇLARIN PETROGRAFİK ANALİZ SONUÇLARI	155
ÖZGEÇMİŞ	175

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kırılgenlik deney düzeneği	18
2.2 Sievers minyatür delme deneyi düzeneği.....	20
2.3 DRI' nin değerdendirilmesi için diyagram	22
2.4 Bazı kayaçlar için DRI ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki	23
3.1 Keski hareket şekline göre aşınma sınıflaması	26
3.2 Dört temel aşınma mekanizması.....	27
3.3 Aşınma miktarı ile kuvars miktarı arasındaki ilişki.....	30
3.4 Kayacın kuvars miktarı, çekme dayanımı ve aşınma miktarı arasındaki bağıntı	31
3.5 CAI ve kuvars içeriği arasındaki ilişki.....	32
3.6 Young modülü ve eşdeğer kuvars yüzdesinin CAI üzerindeki etkisi.....	33
3.7 Cerchar sertlik indeksi ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki	34
3.8 Shore sertlik indeksi ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki	34
3.9 Eşdeğer kuvars yüzdesi ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki.....	35
3.10 Ortalama kuvars tane boyutu ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki	35
3.11 Kuvars içeriği ile CAI arasındaki ilişki	36
3.12 Eşdeğer kuvars içeriği ile CAI arasındaki ilişki	36
3.13 Ortalama kuvars tane boyutu ile CAI arasındaki ilişki.....	37
3.14 Çimentolanma derecesi ile CAI arasındaki ilişki	37
3.15 Konik uçtaki aşınma yüzey çapının ölçümü	39
3.16 Cerchar aşındırıcılık indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki.....	39
3.17 Kalem ucu keski tüketimi ve Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki	40
3.18 Bazı kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ve Cerchar aşınma indeksine göre disk tipi keski tüketimi.....	40
3.19 Norveç aşınma deneyi.....	47
3.20 Uç aşınma indeksinin değerdendirme diyagramı	50
3.21 Kollu galeri açma makinalarında, Schimazek aşınma indeksi ve tek eksenli basınç dayanımı ile keski sarfiyatı ilişkisi	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
4.1 Örnek alım yerleri.....	57
4.2 Karot alma makinası	58
4.3 Taş kesme makinası.....	58
4.4 Eleme makinası	59
4.5 Kırılganlık deney aleti resimleri	60
4.6 SJ deneyinde kullanılan özel uçlar ile geometrisi	62
4.7 Sievers minyatür delme (SJ) deney aletinin görünümü	63
4.8 SJ deneyinde kullanılmış olan örnek kayalar	63
4.9 Yaptırılan Norveç aşınma deney düzeneği	67
4.10 Norveç'teki orijinal Norveç aşınma deney aleti.....	68
4.11 Norveç aşınma deneyinde kullanılan uçlar	69
4.12 Çeneli kırıcı	69
4.13 Konik kırıcı	70
4.14 Merdaneli kırıcı	70
4.15 Uzun yatay konumda ağırlığa bağlanması durumu	71
4.16 Uzun ve ağırlığın çelik tabla yüzeyindeki konumu	71
4.17 Aşındırıcı toz malzemenin disk tabla üzerindeki yayılımı.....	72
4.18 Malzeme akışının uzun ön tarafındaki durumu	72
4.19 Aşındırıcı malzemenin disk tabla üzerindeki durumu	73
4.20 Norveç aşınma deneyinde kullanılan aşınmış ve kullanılmamış uçlar	73
4.21 Cerchar aşınma indeks deney aleti	75
4.22 Konik uçlar.....	76
4.23 Binoküler mikroskop	76
4.24 Mikroskop altında aşınmış bir uzun görünüşü	76
4.25 CAI deneylerinde kullanılan kayalar örnekleri resmi	76
5.1 İncelenen kayaların mikroskop altındaki ince kesit görünüşü.....	82
5.2 İncelenen kayaların makroskopik boyuttaki fotoğrafları	88
6.1 Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki değişim.	91
6.2 Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi arasındaki ilişki (1 nolu kuvarsit örneği hariç)	92

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.3 Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki (5, 6, 14, 15 ve 27 nolu örnekler hariç).....	93
6.4 Andezit örnekleri için Cerchar aşınma indeks (CAI) ve Norveç aşınma (AV) deney sonuçları arasındaki ilişki.....	94
6.5 Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki (kuvars minerali içeren).....	94
6.6 Norveç aşınma deneyi (AV) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.....	95
6.7 Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki	95
6.8 Doku sağlamlık katsayısı (DSK) ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki.....	99
6.9 Doku sağlamlık katsayısı (DSK) ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki	99
6.10 Ortalama kuvars tane boyutu (d_{ort}) ile Cerchar aşınma İndeksi (CAI) arasındaki ilişki.....	100
6.11 Ortalama kuvars tane boyutu (d_{ort}) ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki.....	100
6.12 Kayaç gruplarına göre aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutu (d_{ort}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve Norveç aşınma (AV) arasındaki ilişki.....	102
6.13 Eşdeğer kuvars içeriği (Q_{eqv}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki	103
6.14 Eşdeğer kuvars içeriği (Q_{eqv}) ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki	103
6.15 Kayaç gruplarına göre eşdeğer kuvars içeriğinin (Q_{eqv}) ile Cerchar aşınma İndeksi (CAI) ve Norveç aşınma (AV) arasındaki ilişkiler.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Kazı makinelerinin performansını etkileyen bazı parametreler	7
2.2	Modellerde kullanılan deneyler	8
2.3	Kırılgenlik deneyi sınıflaması	19
2.4	Sievers minyatür delme deneyinin sınıflaması	20
2.5	Bazı kayaçların DRI değerleri	21
2.6	Delme oranı indeksinin sınıflaması	22
3.1	Bazı minerallerin ve tek kristalli kayaçların Cerchar aşınma indeksleri eşdeğer kuvars yüzdeleri	32
3.2	Aşındırıcılık sınıflaması	39
3.3	Bazı kayaç tiplerinin Cerchar aşınma indeks değerleri	41
3.4	Ülkemizde CAI deney aleti kullanılarak yapılmış çalışmalar ve sonuçları	43
3.5	Aşınma indeks deneylerinin sınıflaması	51
3.6	Schimazek aşındırıcılık sınıflaması	52
4.1	Alınan örneklerin yerleri ve koordinatları	56
4.2	Kırılgenlik deney sonuçları ve sınıflaması	61
4.3	Sievers minyatür delme (SJ) deney sonuçları ve sınıflaması	64
4.4	Kayaçların delme oranı indeks değerleri ile sınıflaması	65
4.5	Norveç aşınma deney sonucu ile aşınma sınıflaması	74
4.6	Kayaçların Cerchar aşınma indeks deney sonuçları ile aşındırıcılık sınıflaması ..	77
4.7	Kayaçların aşınma değerleri ve sınıflamaları	78
6.1	Çimentolanma katsayısı	96
6.2	Kayaçların Rosival aşındırıcılık katsayısı değerleri	97
6.3	İncelenen kayaçların petrografik özellikleri.	97
6.4	Kuvars içeren kayaçlar için CAI ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları	106

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.5 Aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar için CAI ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları	106
6.6 Andezitler için CAI ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları	107
6.7 Kuvars içeren kayalar için AV ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları	107
6.8 Aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar için AV ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları	108
6.9 Andezitler için AV ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları	108
6.10 Kuvars içeren kayalar için CAI ile DSK, d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları	109
6.11 Kuvars içeren kayalar için AV ile DSK, Q_{eqv} arasında yapılan regresyon sonuçları	109
6.12 İki bağımsız değişkene göre yapılan regresyon analiz sonuçları	110
A.1 Kırılmalık deneyi sonuçları	132
B.1 Norveç aşınma deney sonuçları	146
C.1 Kayaların petrografik analiz sonuçları	167

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
A Kırılgenlık deneyi sonuqları.....	125
B Norveç aşınma deneyi sonuqları.....	139
C Kayaqların petrografik analiz sonuqları	148

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

d	:	ortalama kuvars tane boyutu
F	:	Schimazek aşınma indeksi
Q	:	kuvars içeriği
Q_{eqv}	:	eşdeğer kuvars içeriği
σ_c	:	tek eksenli çekme dayanımı
σ_t	:	tek eksenli basınç dayanımı
S_{20}	:	kırılmalık deneyi

KISALTMALAR

AV	:	Norveç aşınma deneyi
AVS	:	çelik uçla Norveç aşınma deneyi
BWI	:	uç aşınma indeksi
CAI	:	Cerchar aşınma indeksi
CD	:	çimentolanma derecesi
CLI	:	uç ömrü indeksi
CSI	:	Cerchar sertlik indeksi
CSM	:	Colorado School of Mines
DRI	:	delme oranı indeksi
DSK	:	doku sağlamlık katsayısı
RQD	:	kayaç kalite değeri
RMR	:	kaya kütlesi sınıflama sistemi
SH	:	Shore sertlik indeksi
SJ	:	Sievers minyatür delme deneyi
KDK	:	kayaç dayanım katsayısı
NTNU	:	Norwegian University of Science and Technology
TTK	:	Türkiye Taşkömürü Kurumu
ZKÜ	:	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Madencilik sektöründeki yeraltı ve açık işletmelerde yapılan hazırlık ve üretim faaliyetlerinde, inşaat sektöründe ise baraj, tünel, yol, boru hattı, kanal ve kanalizasyon gibi çalışmaların yapımında mekanik kazı makinalarından (hidrolik kırıcılar, kollu galeri açma makinaları, tam cephe galeri açma makinaları, deliciler) beklenen yararlarla ulaşabilmek için, bu makinaların kazılacak kayaçların özelliklerine göre seçilmeleri gerekmektedir.

Dolayısıyla, ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olan ve hemen hemen tümüyle ithal edilen kazı makinalarının, kayaç özelliklerine göre (mineralojik ve petrografik yapısı ile jeomekanik özellikleri) seçilmesi çok önemli olmaktadır. Makinanın yanlış seçimi ve keski tüketiminin yanlış belirlenmesi kazı maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Bu durum, proje maliyetine ve ülke ekonomisine zarar verecektir.

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 aşındırıcılık indeks deneyleri olarak bilinen “Cerchar Aşınma İndeksi” (CAI) ile “Norveç aşınma deneyi” (AV) dir.

Bu çalışmada, ikisi Norveç-Trondheim’den alınan kuvarsit ve kireçtaşı, bir adedi de Aksaray-Hasan Dağı eteklerinden alınan bazalt ve Zonguldak Bölgesi’ne ait 29 farklı yerden alınan sedimanter ve mağmatik kökenli olmak üzere toplam 32 kayaç örneği üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu araştırma kapsamında, kayaçların petrografik özellikleri ile delinebilirlik ve aşındırıcılık özellikleri incelenmiştir.

Bu tez çalışması “Mekanik Kazıda Kayaçların Petrografik Özellikleri İle Delinebilirlik Ve Aşındırıcılık Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi” başlıklı TÜBİTAK Araştırma Projesi (Proje no: 104M437) kapsamında yürütülmüştür. Bu proje iki aşamda

gerçekleştirilmiştir. Birinci bölümde kayaçların dayanım, indeks ve delinebilirlikleri ile petrografik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu kısım Soyer (2009) tarafından hazırlanan Yüksek Lisans tezi kapsamında değerlendirilmiştir. İkinci bölümde ise kayaçların aşındırıcılıkları ile petrografik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi olup bu çalışmanın esasını oluşturmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen deneysel veriler ilgili TÜBİTAK projesinde kullanılmıştır.

Farklı bölgelerden alınan 32 adet kayaç örneği üzerinde delme oranı indeks deneyleri (DRI) ve Cerchar aşınma indeks deneyi (CAI) ile Norveç aşınma deneyi (AV) yapılmıştır. İncelenen kayaçların delinebilirlik özellikleri yani delme oranı indeksi (DRI), kırılgenlik deneyi (S_{20}) ile Sievers minyatür delme (SJ) deneylerinden elde edilen sonuçlardan yararlanılarak delme oranı indeks değerleri bulunmuştur.

Araştırmanın ikinci bölümünde, kayaçların delinebilirliğinin belirlenmesinde kullanılan başlıca deneylerden ve delinebilirliğe etki eden faktörlerden bahsedilmiştir. Bu çalışmada kayaçların delinebilirliğinin belirlenmesinde kullanılan delme oranı indeksi ile literatür çalışması anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, kayaçların aşındırıcılıkları ile aşınma tipi sınıflaması, keskilerde aşınmaya etki eden faktörlere değinilmiştir. Ayrıca, Cerchar aşınma indeks deneyi (CAI) ile Norveç aşınma deneyi (Abrasion Value) deneyleri tanıtılmıştır. Delme oranı indeksi ile Norveç aşınma deneylerinden bulunan keski ömürlerindeki (Cutter Life index) ve uç aşınma indeks (Bit Wear index) deneyleri kısaca anlatılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde laboratuvar çalışmasında kullanılan örneklerin alındığı yerler, araziden getirilen kaya bloklarından alınan örnekler üzerinde yapılan delme oranı indeksi deneyi ile Cerchar aşındırıcılık indeks deneyi ve Norveç aşınma deneylerinin nasıl yapıldığından bahsedilmiş ve deney sonuçları verilmiştir.

Beşinci bölümde 32 adet kayaca ait, mineralojik bileşim, yuvarlaklılık, ortalama kuvars tane boyutu, çimento türü, küresellik ve doku gibi kayaç özelliklerini içeren detaylı petrografik analizler verilmiştir.

Bu çalışmada 32 kayacın petrografik analizleri yapılmıştır. Kayaçların imento türüne bakılarak Mcfeat ve Smith'e (1977) göre çimentolanma katsayıları (cementation coefficient) belirlenmiştir. Ayrıca, çimentolanma katsayısı ile çimentolanma derecesi çarpılarak “*Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK)*” adı olarak nitelendirilen kayacın çimentolanmasına ve imento türüne bağlı olan bir katsayı bulunmuştur.

Kayaçlar içersinde bulunan aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutları (d_{ort}) belirlenmiştir. Buna göre her kayaç için aritmetik olarak aşındırıcı tane boyutu bulunmuştur. Rosival aşındırıcılık katsayısı yardımıyla kayaçların eşdeğer kuvars içerikleri (Q_{eqv}) de saptanmıştır. (Schormair et al. 2006).

Altıncı bölümde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi kapsamında, Cerchar aşınma indeksi ile Norveç aşınma indeksi arasındaki ilişkiler, delme oranı indeksi ile aşınma indeks deneyleri arasındaki ilişkiler, kayaçların petrografik özellikleri (doku sağlamlık katsayısı, eşdeğer kuvars yüzdesi, ortalama kuvars tane boyutu) ile aşındırıcılık indeks deneyleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiştir.

Yedinci bölümde elde edilen tüm sonuçlar genel olarak irdelenmiş ve oneriler de bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

KAYAÇLARIN DELİNEBİLİRLİĞİ

2.1 GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda kazı makineleri yeraltında, tünel açma işlerinde, gerek madencilik gerekse inşaat alanında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Kazı yapılacak kayaca/zemine ve kazı amacına uygun makine seçimi oldukça önemlidir. Yanlış makine seçilmesi durumunda proje istenen sürede bitmeyecek ve kazı maliyetlerinde de çok fazla artışlar görülecektir. Uygulama koşullarına göre seçilecek makine için önceden performans tahminlerinin yapılması gerekmektedir.

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

İlk başarılı sert kaya makineleri 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 kullanımı fikrinin oluşmasını sağlamıştır (Franklin and Dusseault 1989, Balcı vd.’den 2007)

James S. Robbins, 1954 yılında kendi tünel açma makinesini (TBM) inşa ettikten sonra tünel açma makinelerinin tasarımları konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüzde, değişken kayaç koşullarında dahi yüksek ilerleme oranları söz konusudur (Sapigni et al. 2002). TBM’lerle uygun kazı 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 makinelerinin performanslarını önceden tahmin eden modeller birçok 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 Wanstedt 1994, Grima et al. 2000, Kahraman et al. 2000, Blindheim et al. 2002) bazıları ise sadece literatürde yer almış bilgi olarak kalmıştır (Yaralı ve Soyer'den 2007).

Kazı makineleri için geliştirilen performans tahmin modellerini, yaklaşımlarına göre iki kısma ayırmak mümkündür. Birincisi, her bir keskinin üzerindeki kesme kuvvetlerinin hareketine bağlı olan modeller, ikincisi ise arazide makine 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

Makine seçimini ve performansını etkileyen faktörleri ayrıntılı olarak incelediğimizde, üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar, makine ile ilgili faktörler, formasyonun jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile işletme faktörleridir (Balcı vd. 2007). İlk iki faktör Çizelge 2.1'de özetlenmiştir. İşletme faktörleri olarak, ekipman temin hızı, teknik personel kalitesi, işyeri organizasyonu gibi etkenleri saymak mümkündür.

Kazı işlemine başlamadan önce bu işlemin nasıl bir keski ve ne tip bir makine tarafından kazılabileceği ve makine performansının ne olacağı tahmin edilmeye çalışılmalıdır. Bunun için laboratuvar indeks deneyleri yapılarak kayacın kazılabilirliği hakkında bilgi edinilmelidir.

Çizelge 2.1 Kazı makinelerinin performansını etkileyen bazı parametreler (Balcı vd. 2007).

Makine Özelliklerine Bağlı Parametreler	Jeolojik Parametreler
<u>Makine Özellikleri</u> Makine tipi Makinenin ağırlığı ve boyutları Pasa toplama ve taşıma kapasitesi Makinenin kurulu toplam gücü <u>Kesici kafa özellikleri</u> Kesici kafanın tipi ve boyutu Kesici kafanın gücü Keskilerin dizilimi ve sayısı Keski tipi ve özellikleri	<u>Kaya Kütlesi Özellikleri</u> Kayaç kalite değeri (RQD) Kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR) Jeolojik süreksizlikler Hidrojeolojik durum <u>Kayaçların Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri</u> Kesme parametreleri (Spesifik enerji, kesme kuvvetleri) Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, kohezyon elastisite değeri) Yüzey sertliği (Shore sertliği, Schmidt çekici değeri) Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, mikroçatlaklar ve tane boyutu) Aşındırıcılığı (Cerchar değeri) Sismik özellikleri (P ve S değeri) Diğer özellikler (Yoğunluk, nem oranı)

Kazılabilirlik çalışmaları sonucunda önce keski seçimi yapılmakta ve daha sonrada kazının amacına uygun olarak bu keskiye donatılabilecek bir kazı veya delme makinesi seçimi yapılmaktadır. Kazı ve delme makinelerinde kullanılan keskilerin çeşitli nedenlerle aşınmaları birçok sorunlara yol açmakta ve kazı maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek kazı maliyetleri, araştırmacıları performans tahmini ve uygun makine seçimi konusunda yoğun araştırmalar yapmaya yönlendirmiştir. Günümüzde de düşük maliyetler yüksek verimler için, kazı ve delme makinelerinin performanslarına etki edebilecek ana unsurların yanı sıra birçok yan unsurların ne olduğu konusundaki araştırma ve incelemeler devam etmektedir.

Kazı makinelerinin 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. Bu iki modelde kullanılan ve laboratuvarında yapılan deneylere ilişkin liste Çizelge 2.2’de verilmiştir.

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

CSM Modeli	NTNU Modeli
▪ Tek eksenli basınç dayanımı (deformasyon deneyi dahil) ▪ Brazilian (dolaylı çekme) deneyi ▪ Yoğunluk ▪ Punch deneyi ▪ Cerchar aşınma ▪ Petrografik analizler ✓ Sert minerallerin tipi ve içeriği ✓ Tanelerin konumu ve yönlendirme özellikleri ✓ Taneler arasındaki bağ ✓ Mikroçatlaklar ve boşluklar ✓ Diğer mikroskopik özellikler	▪ Sievers minyatür delme deneyi (SJ) ▪ Kırılabilirlik deneyi (S_{20}) ▪ Aşınma miktarı deneyi (AV) ▪ Petrografik analizler ✓ Sert minerallerin tipi ve içeriği ✓ Tanelerin konumu ve yönlendirme özellikleri ✓ Taneler arasındaki bağ ✓ Mikroçatlaklar ve boşluklar ✓ Diğer mikroskopik özellikler

2.2 DELİNEBİLİRLİK

Kayacın delinebilirliği bir delme matkabının kayaç içinde ilerleme yapabilme hızı olarak tanımlanmaktadır (Tamrock 1987). Dönmeli ve darbeli delik delme ekipmanları kayaç kazısında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle mekanik kazı makinelerinin (tam cephe galeri açma ve kollu galeri açma makineleri gibi) yeraltı yapılarında yaygın şekilde kullanılmaya başlamasıyla bu konu önem kazanmıştır. Bu makinelerle yapılacak kayaç kazı projelerinin planlanması ve maliyetlerin tahmin edilmesinde önceden performans tahminine ilişkin bilgilere sahip olunması çok önemlidir (Kahraman 2002).

Galeri veya tünel açmada, geçilecek formasyonda delme hızının ve makine performansının önceden tahmini, araştırmacıları uzun süredir meşgul etmektedir. Bugün bu konuda herkesin kabul ettiği bir delinebilirlik tayin yöntemi yoktur. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin

kayaçların kazılabilirlikleri ve delinebilirlikleri konusunda kurduğu komisyon 1987'de Montreal' de toplanmış, tüm yöntemleri inceleyerek bir başlık altında sıralanan deney yöntemleri üzerinde çalışmayı prensip olarak kabul etmiştir. Delinebilirlik tayininde en az birkaç yöntemin bir arada yorumlanması tavsiye edilmektedir (Bamford et al. 1987, Bilgin'den 1989).

Delinebilirlik test 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, deneyde elde edilen değerlerin kayacın delinebilirliği konusunda doğru sonuçlar üretmesi ve yöntemin standart olarak uygulanabilir olmasıdır (Baş 1993).

Kayaçların dayanım özellikleri, dünyanın her yerinde standart olarak yapılabilir olduklarından uzun zamandır delinebilirlik ölçütlerinin belirlenmesinde kullanılmışlardır. Ancak, tek eksenli basınç dayanımı tek başına, kayacın aşındırıcılık, kırılgenlik, süreksizlik gibi özellikleri hakkında yeterli derecede fikir vermemektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar bu değerin tek başına kullanılmasının yanıltıcı olacağını göstermiştir (Shariar 1988).

Delinebilirlik konusunda en eski çalışma Gyss ve Davis tarafından (1927)'de yapılmıştır. Bu çalışmada, delme hızında kayacın sertliği ve dayanımının oynadığı rol incelenmiştir. 1950'li yıllarda bir grup araştırmacı kayaç kazı mekaniği bilimi konusundaki çalışmalarını ilerletmiştir. Shimomura ve 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 belirten 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'de kendi geliştirdiği deney yöntemi ile kayaç dayanım katsayısını (KDK) ortaya koymuştur. Rus araştırmacı tarafından geliştirilen darbe dayanım deneyini, bazı araştırmacılar değişik boyutlarda deney aletleri kullanarak kayaçların delinebilirliklerinin tayini için uygulamışlardır. Paone et al. (1963)'de kayaçların fiziksel özelliklerinin delinebilirlik üzerine etkisini araştırarak kayaç dayanımının

delinebilirliğe direkt olarak etki ettiğini ortaya koymuşlardır (Huang and Wang'dan 1997). Fish 1968'de döner tip delici makinelerde delme basınçları ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımları arasında üssel bir ilişki bulmuştur. Paone et al. (1963)'de, 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 oldukça iyi ilişkiler bulmuştur (Kahraman et al.'den 2003).

Singh (1969), tek eksenli basınç dayanımının delinebilirlik için yeterli olmadığını ortaya koymuştur. Clark (1979), basınç dayanımı, çekme dayanımı ve üç eksenli basınç dayanımının delinebilirliğe etkisini araştırmıştır (Bilgin and Kahraman'dan 2003).

Selmer-Olsen ve Blindheim (1970), arazide hafif delme ekipmanları kullanarak darbeli delicilerin delme oranları ile delme oranı indeksi (DRI) ve kayaçların dayanım, sertlik, kırılgenlik ve aşındırıcılık gibi özellikleri arasında ilişkileri araştırmıştır. Selim ve Bruce (1970), laboratuvarda 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 özellikler arasında doğrusal ilişkiler kurmuştur. Hustrulid ve 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 enerji toplam enerji miktarının büyük bir kısmını oluşturduğunu ortaya koymuştur. Dutta (1972), yaptığı laboratuvar çalışmaları sonucunda darbeli ucun ilerlemesi hakkında matematiksel bir model geliştirmiştir. Schmidt (1972), 25 kayaç üzerinde, ilerleme oranı ile tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, shore sertliği, yoğunluk, statik ve dinamik Young modülü, kayma modülü, kesme hızı ve poisson oranı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve sadece tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve Young modülleri arasında anlamlı bir ilişki bulmuştur (Kahraman et al.'den 2003).

Tandanand ve Unger (1975), darbe dayanım deneyi kullanarak, kayaç dayanım katsayısı (KDK) ile tek eksenli basınç dayanımı arasında delinebilirlik açısından iyi ilişkiler elde etmiştir. Rabia ve Brook (1980), geliştirilmiş bir test yöntemi kullanarak kayaç dayanım

sertlik katsayısını belirlemek amacıyla bir görgül formül geliştirmiştir. Miranda ve Mello-Mendes (1983), delme ekipmanı seçiminde, temel laboratuvar deneyi olarak Vickers mikrosertliği ve spesifik enerjinin elverişli bir öngörü metodu olarak 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.'den 2003).

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).

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 bulmuştur (Kahraman et al.'den 2003).

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

Birinci (1989), Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK) Üzülmüş Müessesesi Asma İşletmesi'nde yeraltı delik delme işleminde kullanılan burguların performansını etkileyen faktörleri araştırmıştır. Burgu hızları ve burgu ömürleriyle, laboratuvarda yapılan deneyler arasındaki ilişkileri incelemiştir. En iyi sonuçlar; 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.

Karpuz et al. (1990), 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 arasından logaritmik ilişkiler bulmuştur.

Baş (1993) Zonguldak Havzasında 3 ayrı müessesede elektro hidrolik delicilerin delme performansını incelemiştir. Delme hızı ile laboratuarda yapılan deneyler arasında ilişkiler kurmuştur. En iyi sonuç tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve tek eksenli çekme dayanımı arasında elde etmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı arttıkça delme hızının üstel olarak azaldığını belirlemiştir.

Thuro ve Spaun (1996), 15 ve 20 kW'lık iki matkap kullanarak tünel arınındaki delme oranını (birim zamandaki delme mesafesi, m/dk) ölçmüşlerdir. Spesifik enerji ile ilerleme oranını kıyaslamış, basınç ve çekme dayanımları ile delme oranı arasında güçlü logaritmik ilişkiler bulmuşlardır. Ayrıca 'tahrip işi (destruction work-kJ/m³)'olarak tanımlanan yeni kayaç özelliğini de ortaya atarak, tahrip işi ile delme oranı arasında oldukça anlamlı ilişkiler bulmuştur.

Jeolojik süreksizlikler, mekanik kazıda bir diğer önemli unsurdur. Thuro (1997), yapmış olduğu araştırmada, 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 göstermekte ve özellikle zayıf formasyonlarda eklem aralıkları birbirine yaklaştıkça delme oranlarında iki kata kadar artış göstermiştir. Bu durum kayaç kazısında da benzerlik gösterir. Fowell ve McFeat-Smith (1976), yaptığı araştırmada, çamurtaşı formasyonunda yapılan bir kazıda, eklem aralıkları 50 cm'den 25 cm'ye düştüğünde makinenin kazı miktarının 20 m³/h ten 30 m³/h' e çıktığını belirtmişlerdir (Kahraman et al.'den 2003).

Kahraman vd. (2000)'de yaptıkları çalışmada kayaların 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 ilgili olduğunu vurgulamışlardır.

Bruland (2000), mekanik kazıda sert kaya formasyonlarında delme oranı indeksi (DRI) ile ilerleme oranlarının ilişkisini araştırırken, çatlaklar arası mesafeleri de göz önünde bulundurmuştur ve çatlaklar arası mesafeyi ≥ 20 cm, ≈ 10 cm, ve ≤ 5 cm şeklinde üç kısma

ayırmıştır. DRI ve çatlaklılık derecesi ile ilerleme oranı arasında, makine parametreleri hesaba katılmaksızın incelendiğinde elverişli sonuçlar elde etmiştir. DRI değerlerinin yüksek, çatlak aralıklarının $\leq 5\text{cm}$ olduğu kaya yapılarında kazı kesitinin $\leq 12\text{m}^2$ olduğu durumlarda mekanizasyon ile kazının delme patlatmaya oranla oldukça ekonomik olduğunu belirlemiştir.

Bilgin ve Kahraman (2003), 14 adet kayaç üzerinde, fiziksel ve mekanik laboratuvar deneyleri yaparak, döner tip delme makinelerinin ilerleme oranları ile tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanımı, Schmidt çekici değeri, darbe dayanımı değeri, Cerchar sertliği arasında güçlü ilişkiler bulmuştur.

Kahraman et al. (2003), açık ocaklardan ve araziden elde ettikleri 8 adet kaya örnekleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda ilerleme oranı ile, tek eksenli basınç dayanımı değeri, Brazillian çekme dayanımı değeri, nokta yükü dayanımı değeri ve Schmidt çekici değeri arasında güçlü korelasyon ilişkileri elde etmişlerdir. Darbe dayanımı indeksi ile ilerleme oranı arasında orta derecede bir ilişki elde ederken P dalgası hızı ile ilerleme oranı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

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

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, $\sigma_c < 45\text{ MPa}$ ve $\sigma_c > 45\text{ MPa}$ olduğu durumlarda RME oranları ile ilerleme oranları (m/gün) arasında oldukça anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde, delinebilirliği etkileyen bir diğer önemli parametre olarak kayaçların kırılgenlik özelliği karşımıza çıkmaktadır. Kırılgenliğin kayaç delinebilirliğini kolaylaştırdığı bilinmekle birlikte delme performansına etkisi tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Bu durumun en önemli sebeplerinden biri, kırılgenlik ölçütünü

belirleyen standartlaşmış bir deney yöntemi ya da matematiksel bir kuramın olmayışıdır. Ancak araştırmacılar çeşitli deney yöntemleri ve görgül eşitlikler yardımıyla kayaçların kırılma özelliklerinin delinebilirliğe etkisini araştırmaya devam etmektedir. Literatürde en çok karşılaşılan çeşitli kırılma ölçütleri için geliştirilmiş görgül bağıntıların bazıları aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.1-2.3).

1-Basınç dayanımının çekme dayanımına oranından kırılma eğiliminin belirlenmesi

$$B1 = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (2.1)$$

2- Basınç ve çekme dayanımından kırılma eğiliminin belirlenmesi (Kahraman 2002)

$$B2 = \frac{\sigma_c \cdot \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} \quad (2.2)$$

3- Basınç ve çekme dayanımının çarpımından kırılma eğiliminin belirlenmesi (Altındağ 2000)

$$B3 = \frac{\sigma_c \times \sigma_t}{2} \quad (2.3)$$

Burada,

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı

σ_t : Tek eksenli çekme dayanımı

Kahraman (2001), 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.

Gong ve Zhao (2007), granitin kırılma indeksi azaldıkça aşındırma indeksinin arttığını bulmuştur. Kırılma indeksinin taze granitlerde sabit bir tek eksenli basınç dayanım değeri için geniş aralıkta değiştiğini belirtmişlerdir. Dahl et al. (2007)'de yaptıkları çalışmada Sievers' J test yönteminin kayacın yüzey sertliğinin güvenilir olarak ölçülmesinde iyi bir

yöntem olduğunu vurgulamıştır. Kayacın yüzey sertliği ve aşındırıcılığı birlikte yorumlanarak kesici uç ömrünün tahmininin yapılabileceğini belirtilmiştir.

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

Yaralı (2008), Zonguldak Bölgesine 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 indeks deneyleri yapmıştır. Deney sonuçları arasında regrasyon analizleri yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, kayaçların delinebilirliğine, kayaçların sertliklerinin, dayanımının ve kırılgenliğinin etkili olduğu, petrografik özelliklerinin etkisinin ise oldukça az olduğunu belirlemiştir.

Ekinicioğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile DRI indeksleri arasında ilişki olduğu vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada DRI ile en anlamlı ilişki kayaçların nokta yük dayanımı arasında elde edilmiştir.

Yenice vd. (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 ilişki mermerlerin yoğunlukları ile DRI arasında bulmuşlardır.

2.3 DELİNEBİLİRLİĞİ BELİRLEMEDE KULLANILAN DENEYLER

Delinebilirliğin güvenilir olarak saptanması ancak 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 çeşitli özellikleri birlikte irdeleyen deney yöntemleri vermektedir. Delici makinaların delme hızlarının, burgu aşınmalarının ve burgu seçiminin tespit edilmesinde iyi

sonuçlar veren özel olarak tasarlanan, delinebilirliğe etki eden çeşitli özellikleri bir arada irdeleyen delinebilirlik indeksleri geliştirilmiştir.

Kayaçların delinebilirliği; dayanım, kırılgenlık, 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 - Kırılgenlık özelliğini irdeleyen deney yöntemleri

- Shore Skeleroskopu
- Plastik sertlik deneyi
- Aşındırıcılık özelliğini irdeleyen deney yöntemleri
- Kayacın mineral içeriğı
- Kayaçların tane boyutu
- Kayaçların tane düzgünlüğü
- Çimentolanma derecesi

c - Dayanım ve kırılgenlık özelliklerini irdeleyen deney yöntemleri

- Darbe dayanımı deneyi
- Konik delici deneyi
- Shore sertliği deneyi
- Sivri uç batırma deneyi

d - Dayanım, kırılgenlık ve süreksizlik özelliklerini irdeleyen deney yöntemleri

- Schmidt çekici deneyi
- Kayaç kazılabilirlik deneyi
- Yerinde kayaç dayanım indeksi deneyi
- Darbeli delici deneyi

Delme hızlarının, keski aşınmalarının ve kazı 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)

Kazı makinelerinin 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 kırılgenlik değeri (S_{20}) ve Sievers minyatür delme deneyin verilerine bağılıdır (Dahl 2003).

2.4 DELME ORANI İNDEKSİ DENEYİ (DRI)

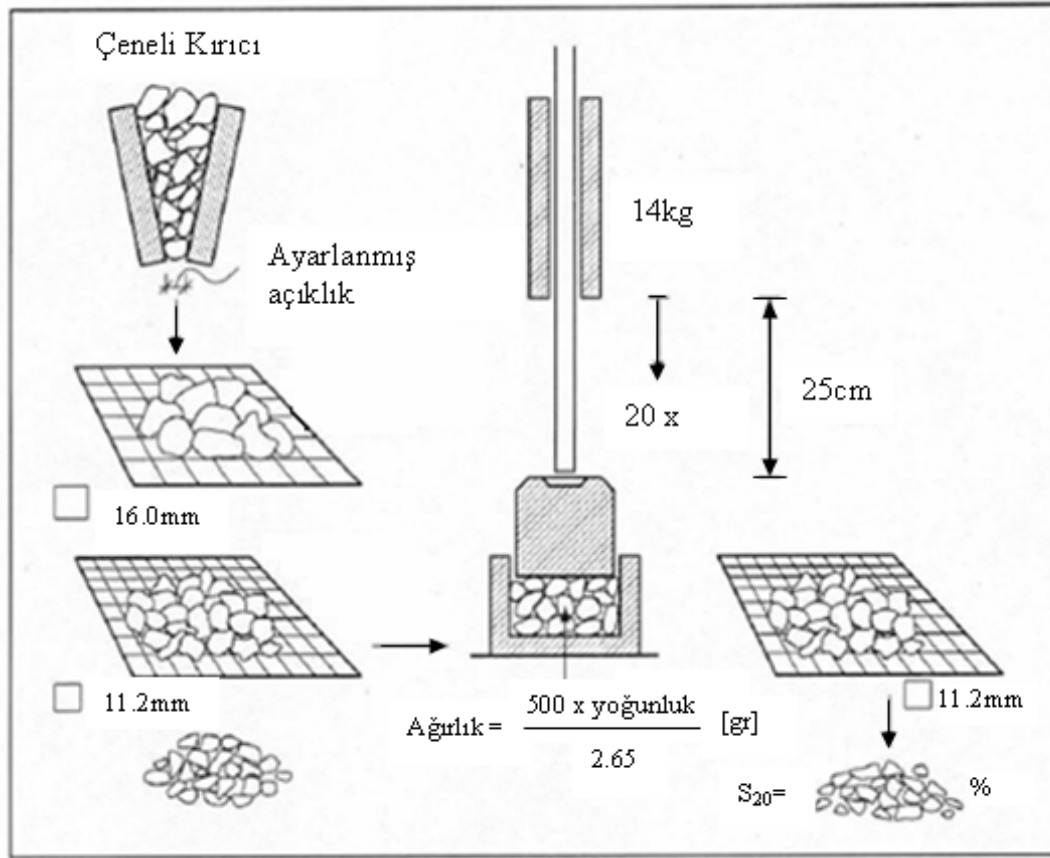
Delme oranı indeksi (DRI) 1943 yılında İsviçre’de N. Von Matern ve A. Hjelmer tarafından geliştirilmiştir. Bu deney yöntemi birkaç değışiklikten sonra standart hale gelmiş ve 1950’li yılların sonundan itibaren kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

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

Delme oranı indeksi (DRI) kayac delinebilirliğini belirlemek amacıyla kullanılan indeks deneyidir. DRI, kayaçların delinebilirliklerinin zorluğunun veya kolaylığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bu indeks Norvec Teknoloji Enstitusu ve SINTEF tarafından 1960’lı yıllardan itibaren kayaç delinebilirliğı üzerinde yapılan çalışmaların derlenmesi sonucu geliştirilmiştir. 1988 yılından itibaren özellikle İskandinav ülkelerinde delinebirlik konusunda standart bir deney haline gelmiştir (Yaralı ve Soyer 2007).

2.4.1 Kırılgenlik Deneyi (S_{20})

Kırılmalık deneyi, tekrarlanan darbe sonucu kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direnci dolaylı olarak ölçen bir deney yöntemidir. Deney aletine beslenecek malzeme miktarını belirleyen ana unsur, kaya malzemesinin yoğunluğudur. Deneyde kullanılacak kaya malzemelerinin yoğunluk hesabı için kütle/hacim prensibinden yararlanılarak; araziden alınan kaya bloklarından çıkartılan NX tipi karot numunelerinin tek tek hassas terazide tartılan kütleleri, bu numunelerin geometrik hacmine oranlanarak bulunur. Şekil 2.1’de kırılmalık değeri deneyine ait temel şekil verilmiştir.



Şekil 2.1 Kırılmalık deneyi düzeneği (Dahl 2003).

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/cm³ 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 darbeyle 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. Çizelge 2.3' de kayaların kırılmalık sınıflaması verilmiştir (Dahl 2003).

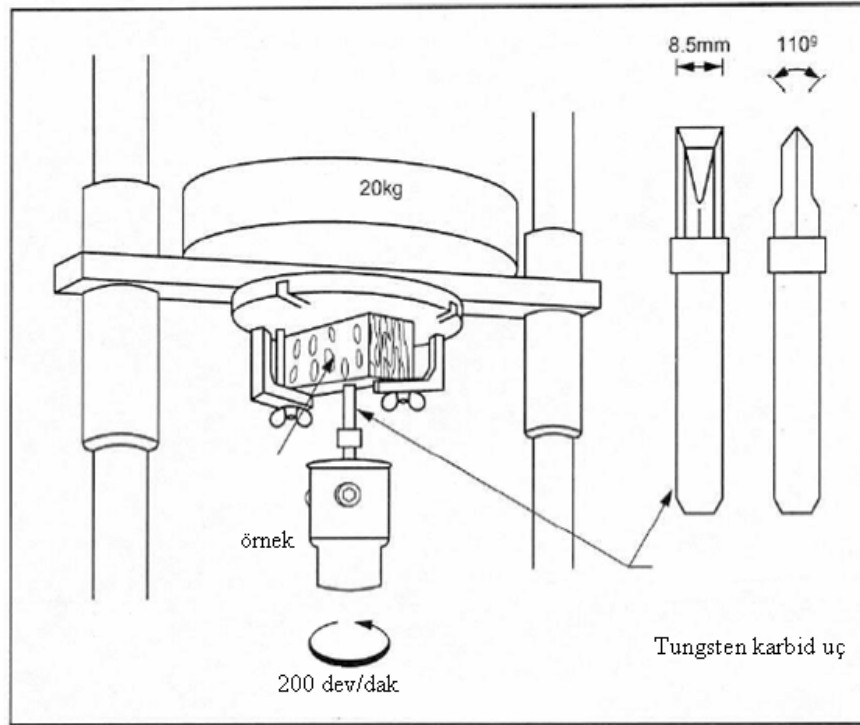
Çizelge 2.3 Kırılmalık deneyi,(S₂₀) sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	Değer
Oldukça düşük	<30
Çok düşük	31-34
Düşük	35-41
Orta	42-50
Yüksek	51-59
Çok yüksek	52-67
Oldukça yüksek	>67

2.4.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi (SJ)

Bu deney kayacın yüzey sertliğinin veya delmeye karşı direncin 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 2.2'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.

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 2.2 Sievers minyatür delme deneyi düzeneği (Dahl 2003).

Kayaç örneği 20 kg'lık ağırlık altına sıkılır ve matkabın ucu deyinceye 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 ile 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 2.4' de Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması verilmiştir.

Çizelge 2.4 Sievers minyatür delme (SJ) deneyinin sınıflaması (Dahl 2003).

Sınıf	Değer
Oldukça düşük	<2
Çok düşük	2-3
Düşük	4-6
Orta	7-18
Yüksek	19-55
Çok yüksek	56-86
Oldukça yüksek	>86

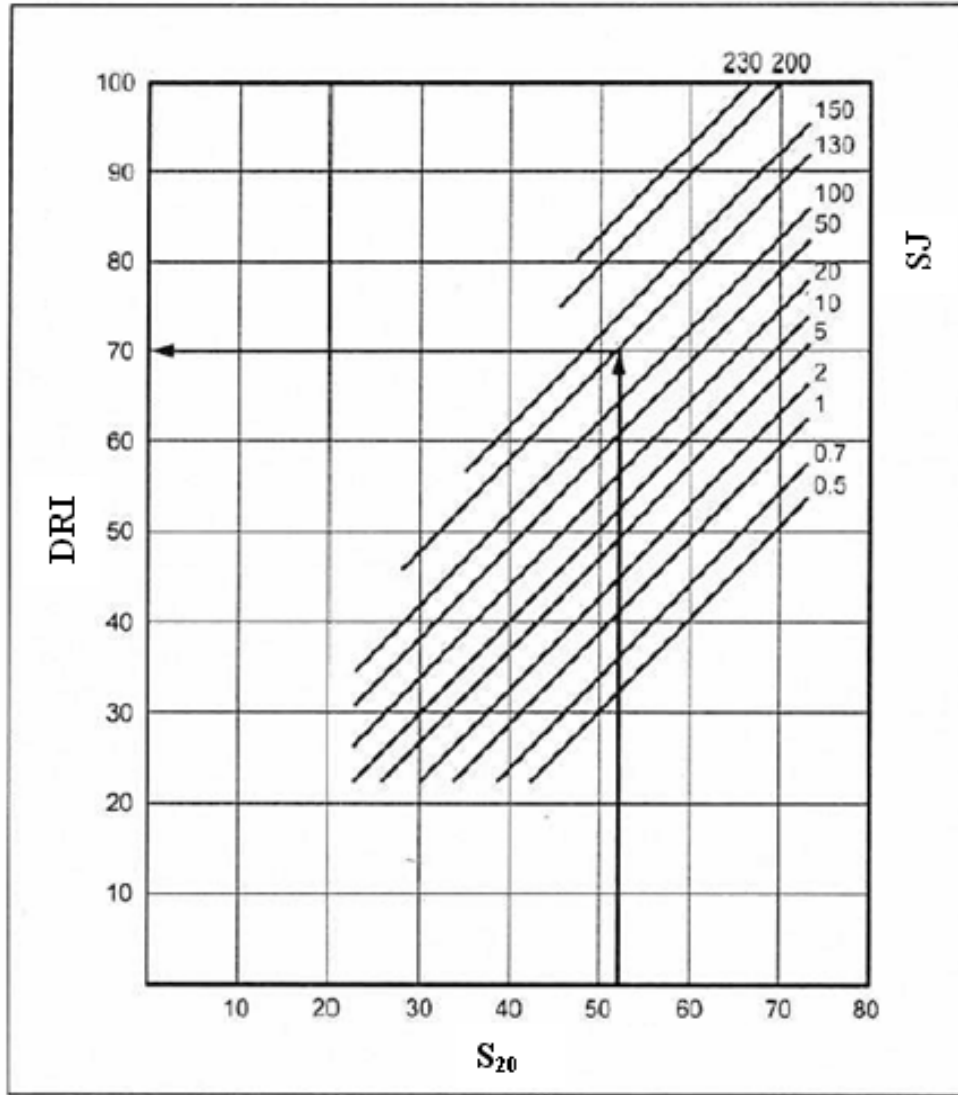
2.5 DELME ORANI İNDEKSİ (DRI) DEĞERLENDİRİLMESİ

Delme oranı indeksi Şekil 2.3’de verilen diyagram kullanılarak bulunur. Diyagram üzerinde kırılma değeri (S_{20}) deneyinden elde edilen değer ve Sievers minyatür delme (SJ) deneyinden elde edilen değerle kesiştirilerek DRI değeri tespit edilir. Çizelge 2.5’de bazı yaygın kayaların DRI değerleri ve Çizelge 2.6’da delme oranı indeks deney verilerinin sınıflaması verilmiştir.

Kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile DRI arasında Şekil 2.4’deki gibi bir ilişki söz konusudur. Şekil 2.4’de 80 adet aynı standartta yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kaya tipine göre gruplandırılarak çizilmiştir. Şekil 2.4’deki eğrilerden kayacın tek eksenli basınç dayanımının kayaç kazılabilirliği/delinebilirliği için kullanılabileceği açıkça görülmektedir (Tamrock 1999).

Çizelge 2.5 Bazı kayaların DRI değerleri (Tamrock 1999).

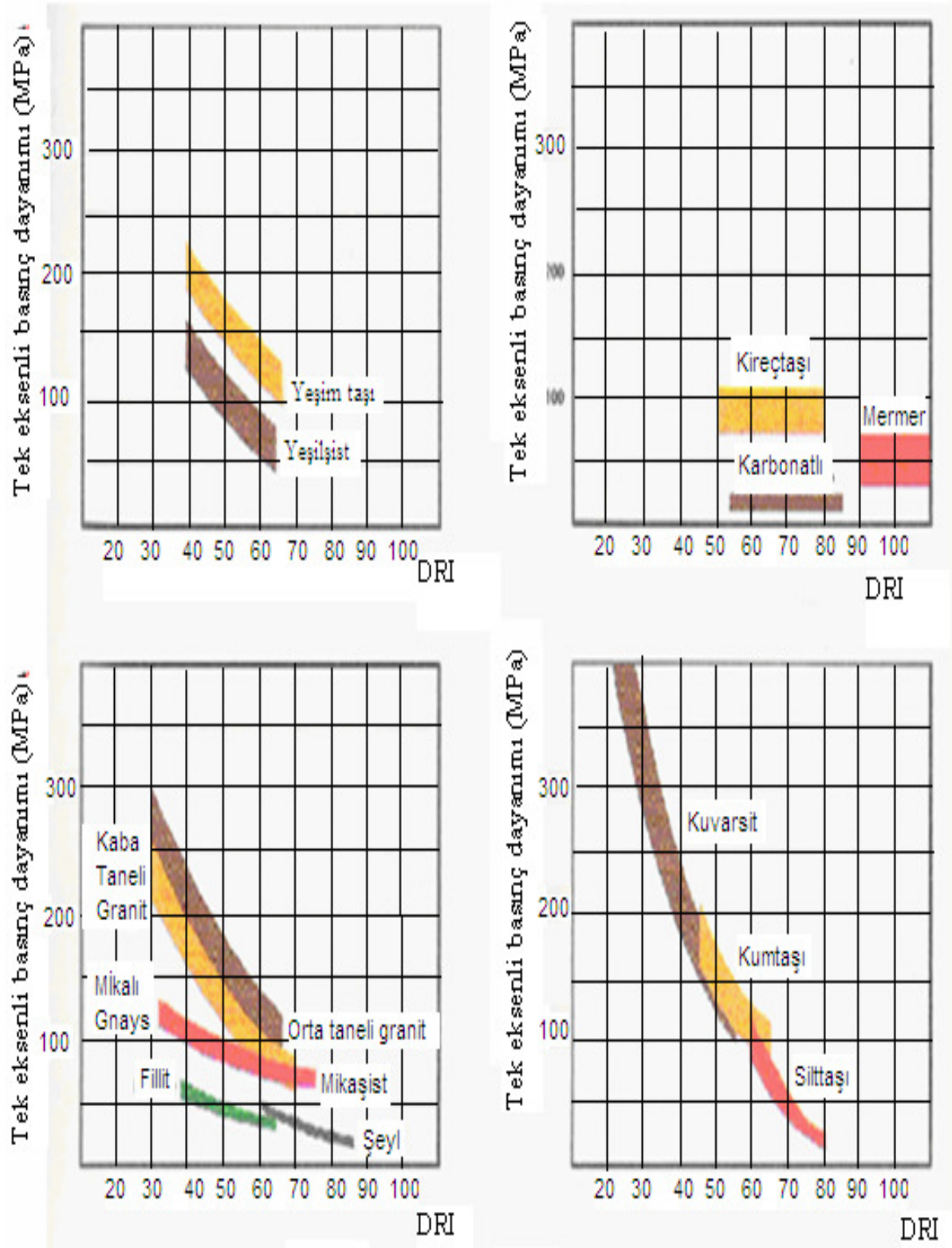
Kayaç	DRI	Kayaç	DRI
Andezit	30-80	Grovak	25-65
Anhidrit	85-115	Hematit cevheri	25-85
Anorsit	30-50	Hornblend	30-50
Amfibolit	15-75	Kireçtaşı	30-100
Arkoz	29-75	Marn	40-110
Gnays	30-70	Magnetit cevheri	15-50
Bazalt	20-75	Meta-Peridotitler	40-105
Siyah şeyl	40-70	Mika gnays	25-75
Kiltaşı,	40-90	Mika şist	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
Diabaz, Dolarit	30-50	Porphidrit	30-80
Diorit	25-65	Kuvarsit	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
Granodiorit	30-55	Tonalit	30-70
Granulite	20-45	Tüf	30-80
Yeşiltaş	20-75	Granodiorit	43-49



Şekil 2.3 DRI'nin değerlendirilmesi için diyagram (Dahl 2003).

Çizelge 2.6 Delme oranı indeksinin (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



Şekil 2.4 Bazı kayaçlar için DRI ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Tamrock 1999).

BÖLÜM 3

KAYAÇLARIN AŞINDIRICILIKLARI

3.1 GİRİŞ

Aşınma, kazı esnasında kayaçların keskiiler tarafından bulundukları yerden koparılması sırasında meydana gelmektedir. DIN 50320'e göre aşınma, mekanik hareket boyunca bir katı cismin yüzeyinden malzeme kaybının derece derece artması şeklinde tanımlanmaktadır (Zum and Gahr 1987, Deketh'den 1995). Yüksek aşındırıcı özelliğe sahip kayaçlar, kısa zamanda keskiilerin körlenmesine neden olmaktadır. Bu durum, bir yandan keski tüketimini artırmakta, diğer yandan kazı verimini düşürmekte ve dolayısı ile kazı maliyetinin artmasına yol açmaktadır. Kazı makinaları ile galeri sürmede, birim miktar kayaç kazısı için tüketilen keski sayısı, kazı işinin ekonomik olup olmayacağı hakkında en önemli kıstastır (Yaralı 2005).

Bir kaya kütleinin aşındırıcılığı aşağıda belirtilen faktörlerin bir kombinasyonu şeklinde gerçekleşmektedir (Tamrock 1999). Bunlar,

- Kayacın dayanımı ve sertliği,
- Keskinin kesme derinliği ve kesme hızı,
- Keskiilerin oluşturdukları darbe yükleri,
- Kesme tıpı veya keskiilerin hareket şekli
- Keskiilerin kalitesi
- Mineral bileşimi, mineral tanelerinin boyutu ve sertliğidir.

Yukarıda sayılanların dışında, kayaç özellikleri ile ilgili aşınmayı açıklayan parametreler olarak da kayaçtaki kuvars ve diğer aşındırıcı minerallerin miktarı ile bunların ortalama tane boyutu ve kayacın çimentolanma derecesi de önemli olmaktadır. Söz konusu parametrelerin ölçüsü arttıkça, keski aşınması da o oranda artmaktadır (Schimazek and Knatz 1970).

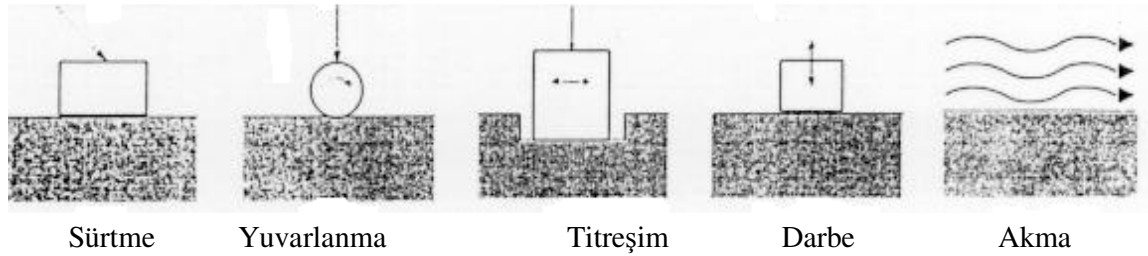
Keskilerde aşınma, keskinin uçlarında meydana gelir. Aşınma işlemine, keski, kayaç ve çevresel etkenler kadar hareket şeklindeki farklılıklarda etkili olmaktadır. Aşınma işlemini tanımlayabilmek için aşınma tipi sınıflaması yapılmalıdır (Deketh 1995).

3.2 AŞINMA TİPİ SINIFLAMASI

Aşınma tipi sınıflaması, hareket şekline ve aşınma mekanizmasına göre yapılabilir. Aşınma tipi sınıflandırmada, farklı aşınma türlerine göre ayırmak ideal olanıdır. Pratikte bir aşınma türü çoğu zaman birkaç aşınma türünün bir arada olmasıyla meydana gelir, bu durum diğer etkenlerden daha önemli olabilir. Genellikle birbirine bağlı olan bir çok parametre son aşınma tipini etkiler. Bu faktörler, malzemenin doğal yapısı (gevreklik, sertlik), sıcaklık ve temas anındaki gerilmeler ile temas sırasındaki keskinin hareket tipidir (Deketh 1995).

3.2.1 Keski Hareket Şekline Göre Sınıflama

Zum and Gahr (1987), keski hareket şekline göre sınıflamayı; yuvarlanma, kayma, titreşim, darbe ve akma şeklinde kategorize etmiştir. (Şekil 3.1). Ancak, kayaç kazı donanımının (keskiler, uçlar) aşınmasında asıl etken olan, süreksizlik düzlemi boyunca keski uçlarının darbe veya sürtme hareketidir (Deketh'den 1995). Darbe şeklinde hareket, çatlaklanma veya pul pul olma şeklinde doğrudan aşınma meydana getirir ve keski malzemesinin mikro yapısını dolaylı olarak zayıflatır.

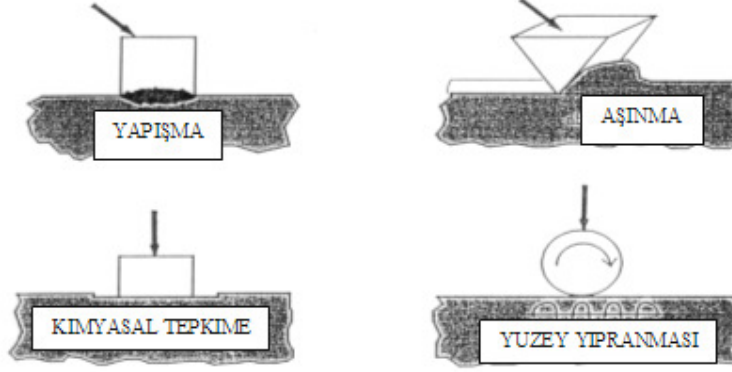


Şekil 3.1 Keski hareket şekline göre aşınma sınıflaması (Zum Gahr 1987, Deketh' den 1995)

Bir kayaç yüzeyinde, keskinin sürtme hareketi sürtünme aşınmasına veya kertik açma şeklindeki aşınmaya neden olur. Kertik veya yarık açma şeklindeki aşınmada, kayma aşınması elastik ya da plastik deformasyonların aksine abrasiv aşınmanın sonucudur. Burada yapışma ve yüzey yorulması ana mekanizmalardır.

3.2.2 Aşınma Mekanizmasına Göre Sınıflama

DIN 50320 (Zum and Gahr 1987) göre keskinin sürtme hareketi sırasında dört temel aşınma mekanizması oluşabilmektedir. Bunlar; yapışma, aşınma, sürtme sonucu kimyasal tepkime ve yüzey yıpranmasıdır. Şekil 3.2’de dört temel aşınma mekanizması gösterilmiştir. Plastik deformasyon bir aşınma mekanizması olarak genellikle değerlendirilmekle birlikte, bir çok aşınma işleminde önemli bir rol oynar (Deketh’den 1995).



Şekil 3.2 Dört temel aşınma mekanizması (Zum and Gahr 1987, Deketh’den 1995).

Yüzey yıpranması sırasında oluşan aşınma, kayaç yüzeyine farklı yüklerin uygulanması sonucu meydana gelen çatlak oluşumu ve malzemenin pul pul dökülmesi şeklindedir. Sürtme sonucu kimyasal tepkime şeklinde olan aşınma, kayacın katı yüzeyleri arasındaki gaz veya sıvı haldeki çevresel etkenlerin tepkime vermesiyle meydana gelir. Bu tür aşınmada kayaç yüzeyi ovalanarak aşınır. Böylece, temas yüzeylerinde yeni tepkime tabakaları meydana gelir ve tabakalar bu aşınma işlemiyle sürekli ayrılır.

Plastik deformasyonda temas edilen yüzeydeki pürüzlülükler arasında yüksek basınç oluşur. Bunun sonucunda da yer yer yapışmış formasyonlar oluşmaktadır. Bu formasyonlara sürtme uygulandığında kırılmalar oluşur ve bir yüzeyden diğeri yüzeye malzemenin taşınması gerçekleşir

Sürtünerek aşınma, kertik açma şeklindeki aşınmanın ana mekanizmasıdır. Sürtünerek aşınma, kayaç yüzeyi üzerindeki sert partiküllerin bulunması veya sert partiküllerin arasında iki kayma yüzeyinin olması nedeni ile malzemenin yer değiştirmesine neden olan aşınma olarak tanımlanır.

3.3 KESKİLERDE AŞINMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE AŞINMA ŞEKİLLERİ

Kayaç kazısında keski aşınmasına etki eden etkenleri belirlemek üzere çok sayıda araştırma yapılmıştır, Yaralı ve Akçın'a (2005) göre bu etkenler aşağıda sıralanmıştır.

1. Kaya Malzemesi Özellikleri

- mineralojik bileşim
- doku
- dayanım
- sertlik

2. Kaya Kütlesi Özellikleri

- yapı
- homojenlik
- kaya kalitesi belirteçleri (RQD, RMR, v.s.)

3. Makine Tipi

- keski tipi (geometrik özellikleri, metalurjik özellikleri)
- makinanın kesme biçimi

4. Kesme Anındaki Makine Ayarları

- baskı kuvveti
- devir sayısı
- kesme kuvveti
- makine stabiliteleri
- kesme hızı
- darbe sayısı
- darbe enerjisi

5. Çevresel Etkenler

- kayacın ıslak veya kuru oluşu
- hava koşulları
- operatör becerisi

Kayaç kesme veya kazma sırasında kayaç ve keski arasındaki kontakta farklı şekillerde hareketler oluşmaktadır. Bu hareketlerin sonucunda da kesici uçlarda farklı hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarlar:

- plastik deformasyon
- korozyon
- kırılma
- aşınma

şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Keskilerde meydana gelen aşınma; keskiyerdeki ağırlık kaybı, keski yüzeyinin veya geometrisinin değişmesi, kesme kuvvetlerinin ve spesifik enerji değerlerinin artması veya kazı miktarı ile ilerleme hızlarının azalmasıyla kendisini gösterir (Yaralı ve Akçın 2005).

3.4 AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yüksek aşındırıcı özelliğe sahip kayalar kısa zamanda keskiyerin körelmesine neden olmaktadır. Bu durum keski sarfiyatını ve dolayısıyla kazı maliyetini artırmaktadır. Ayrıca, erken körelen keskiyerler çapraz kuvvetler meydana getirerek kazı verimliliğini düşürmektedir. Kazı makineleriyle galeri açma yönteminde birim miktar kayaç kazısı için kullanılan keski sayısı kazı işinin ekonomik olup olmayacağı hakkında en önemli kriterdir.

Bir kaya kütlelerinin aşındırıcılığı aşağıda belirtilen faktörlerin bir kombinasyonu şeklinde gerçekleşmektedir (Tamrock 1999).

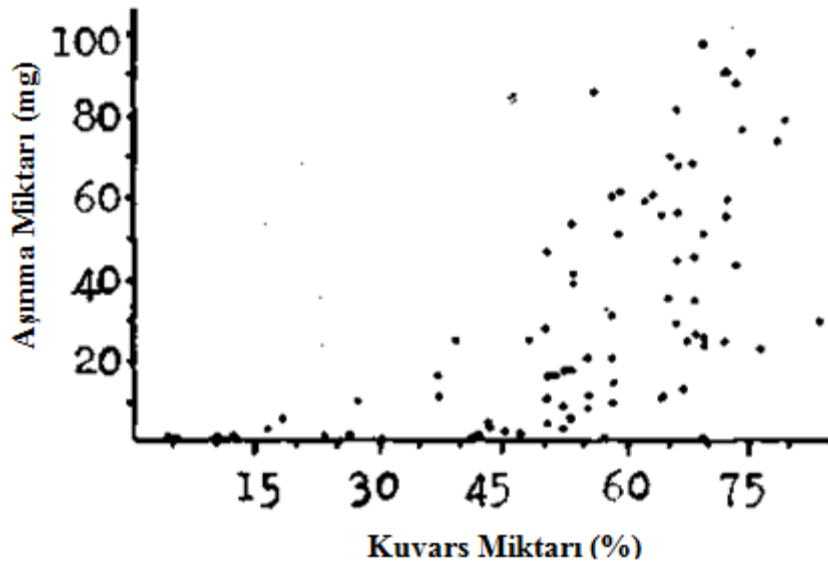
Bunlar;

- Kazılan kayanın özellikleri
- Kayanın dayanımı ve sertliği
- Mineral bileşimi, mineral tanelerinin boyutu
- Kazıcı uç geometrisi
- Keskinin kesme derinliği ve kesme hızı
- Keskiyerin oluşturdukları darbe yükleri
- Kesme tipi veya keskiyerin hareket şekli
- Keskiye veya kayaç yüzeyine uygulanan soğutma sıvısı
- Etkin kesme veya ufalanma
- Keskiyerin kalitesi
- Tungsten karbürün metalürjik yapısı

Yukarıda sayılanların dışında, kayaçtaki kuvars ve diğer aşındırıcı minerallerin miktarı, aşındırıcı minerallerin küreselliği, çimentolanma derecesi, çimentolanma şekli ve çimento türü de aşınma miktarını etkiler (Schimazek and Knatz 1970).

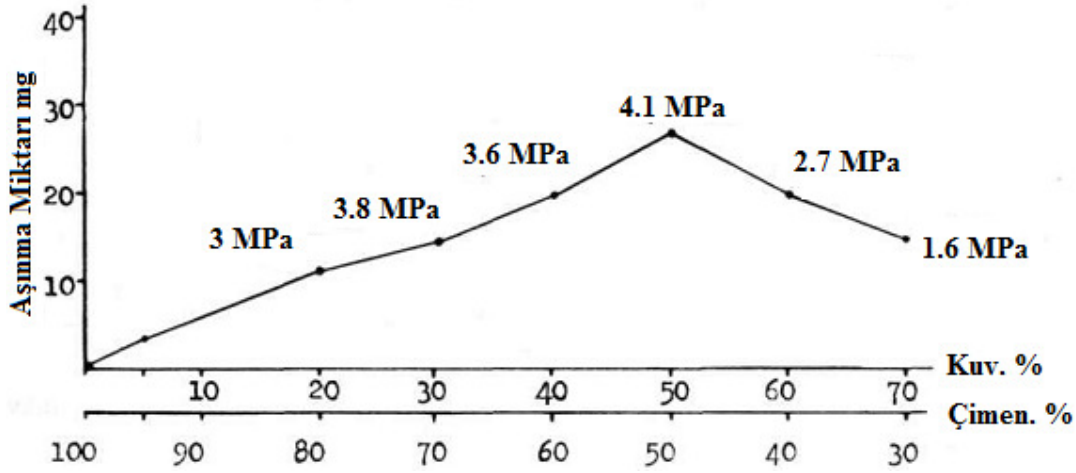
Kayaçlarda en aşındırıcı mineral kuvarstır ve en çok kumtaşlarında rastlanmaktadır. Göreceli Rosival aşındırıcılık sertliğine göre aşındırıcı sertliği 100'dür. Buna göre feldspatın kuvarsa eşdeğer aşındırıcılığı 30-33, karbonatların 3 ve silikatların 4'tür (Schimazek and Knatz 1970). Kayaçların kuvars içeriği ile aşınma miktarı arasındaki ilişki Şekil 3.3'de verilmiştir. Kuvars içeriğinin artmasıyla aşınma miktarında da artma olmaktadır.

Kuvars içeriğinin artmasıyla aşınma miktarında da artma olmaktadır. Kuvars oranı yüksek numunelerde çok farklı aşınmalar meydana gelmektedir. Mikroskobik incelemeler bunun farklı kuvars tane büyüklüğünden kaynaklandığını ortaya koymuştur. % 70 kuvars içeriğine sahip iki ayrı tip kumtaşından iri taneli (0.2 mm) olanı, ince taneliye (0.05 mm) göre 50 kat daha fazla aşınmaya neden olduğu tespit edilmiştir (Schimazek and Knatz 1970)



Şekil 3.3 Aşınma miktarı ile kuvars miktarı arasındaki ilişki (Schimazek and Knatz 1970).

Aynı araştırmacılar, kayacın çekme dayanımını dolaylı çimentolanma derecesi olarak gösterip aşınmada kayacın çimentolanma derecesinin önemine dikkat çekmişlerdir. Şekil 3.4'de bu büyüklükler arasındaki bağıntı görülmektedir



Şekil 3.4 Kayacın kuvars miktarı, çekme dayanımı ve aşınma miktarı arasındaki bağıntı; ortalama kuvars tane boyut 0.28 mm (Schimzek and Knatz 1970, Arı' dan 1990).

Şekil 3.4'de görüldüğü üzere, aşınma % 50 kuvars oranına kadar hemen hemen doğrusal artmaktadır. Çekme dayanımının azalmasıyla, kuvars içeriği artmasına rağmen aşınmada azalmaktadır. % 30 ile % 70 kuvars oranlarının aşınma değerleri yaklaşık aynı sayıyı vermektedir. Aşındırıcı mineraller arasındaki çimento zayıfsa, kazı esnasında taneler kolay kopmakta ve keskiyi aşındıracak zaman bulamamaktadır.

Ayrıca, doğrulardaki farklı eğimler kuvarsın tane boyutuna bağlı kalarak değişmektedir. İri tanelilerde eğimin fazla ince tanelilerde ise az olduğu anlaşılmaktadır (Arı 1990).

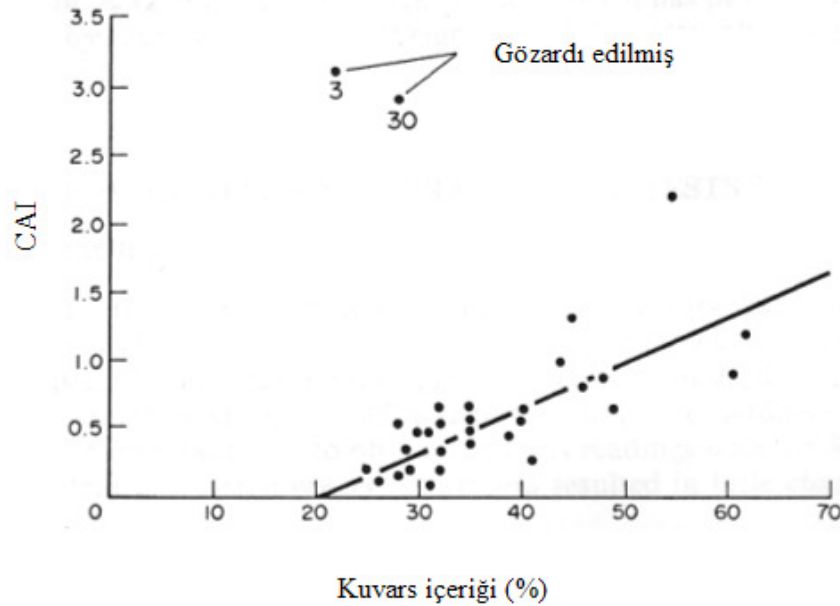
Aşınmayı etkileyen faktörlerin tek etkilerinden çok birlikte etkileri önemlidir. En önemli faktör, kayacın yapısındaki kuvars ve diğer aşındırıcı minerallerin içeriği ve bunların ortalama tane boyutlarıdır. Her iki faktör arttıkça uç aşınmaları da artar. Kayacın dayanımının tek başına aşınmaya etkisi azdır. İçinde kuvars olmayan kireçtaşı gibi dayanımı fazla kayalarda aşınma az olur. İçinde kuvars ve diğer aşındırıcı mineraller olan kayalarda uç aşınmaları fazla olduğu gibi uç kırılmaları da görülmektedir (Altınoluk 1989).

Suana ve Peters (1982), tek mineralli ve büyük tek kristalli kayalar üzerinde Cerchar aşınma indeks deneyleri yapmışlardır. Kuvars mineralinin çok aşındırıcı olduğundan aşındırıcılığı % 100 kabul etmişler ve Cerchar aşınma indeksine 6.0 (= % 100 kuvars denkliği) olarak karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Çizelge 3.1'de Cerchar aşınma indeksine göre bazı minerallerin bazı minerallerin ve tek kristalli kayaların eşdeğer kuvars yüzdeleri verilmiştir. Ayrıca West

(1986), 31 adet kömür çevre kayacı üzerinde yaptığı deneylerden Cerchar aşınma indeksi ile kuvars içeriği arasında iyi bir ilişki elde etmiştir ($R = 0.76$) ve Şekil 3.5’de bu ilişki gösterilmiştir.

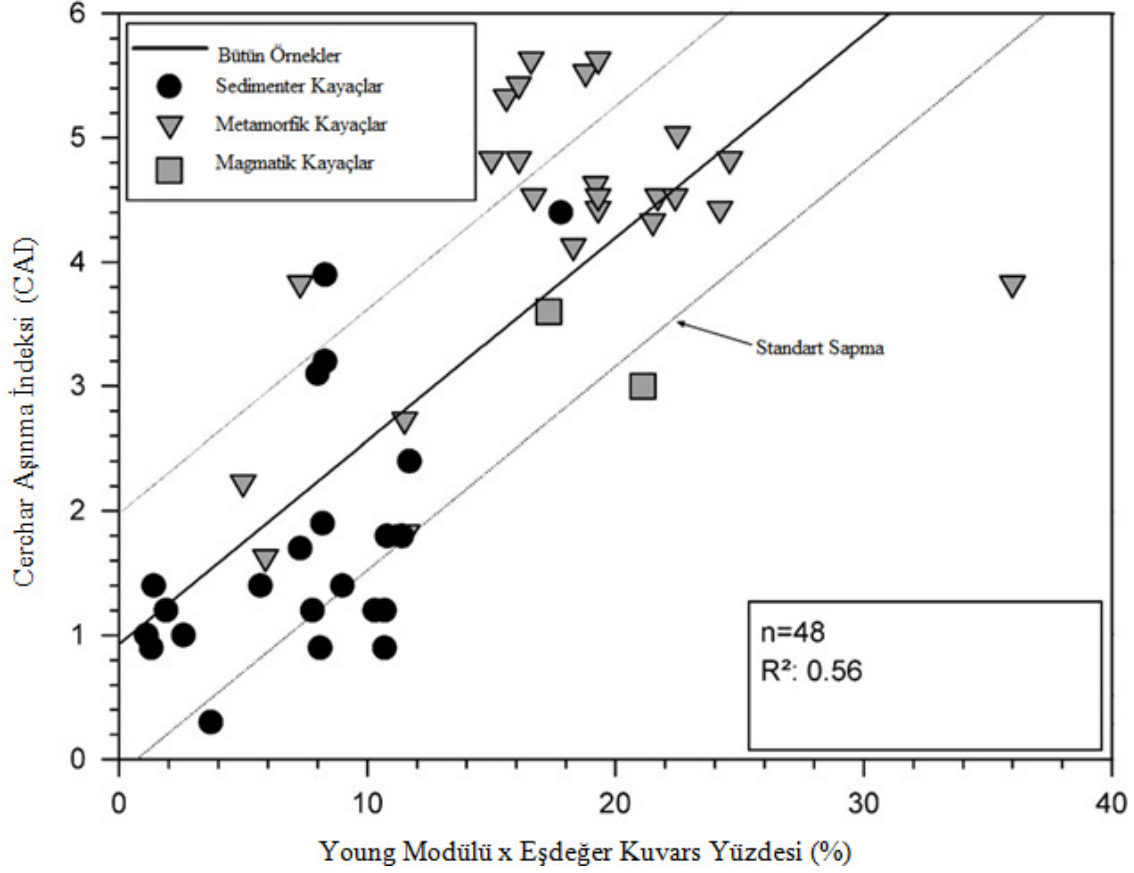
Çizelge 3.1 Bazı minerallerin ve tek kristalli kayaların Cerchar aşınma indeksleri (CAI) ve eşdeğer kuvars yüzdeleri (Suana and Peters 1981).

Kayaç Adı	CAI	Kuvars eşdeğeri (%)
Kuvars, kuvarsit	5.6-6.0 (1/10 mm)	100
Feldispatlar (K,Na,Ca,) Anortositler	4.2-4.8 (1/10 mm)	70-80
Olivin (Mg, Fe), Dunitler	3.4-3.6 (1/10 mm)	57-60
Piroksen, Piroksenit	3.0-3.2 (1/10 mm)	50-53
Amfibol, Anfibonitler	2.8-3.2 (1/10 mm)	53-47
Serpantin, Serpantinitle	1.4-1.8 (1/10 mm)	23-30
Kireçtaşı, Dolomitler	1.0-2.0 (1/10 mm)	17-34
Kiltaşları	0-2.5 (1/10 mm)	0-41



Şekil 3.5 Cerchar aşınma indeks (CAI) ve kuvars içeriği arasındaki ilişki (West 1986).

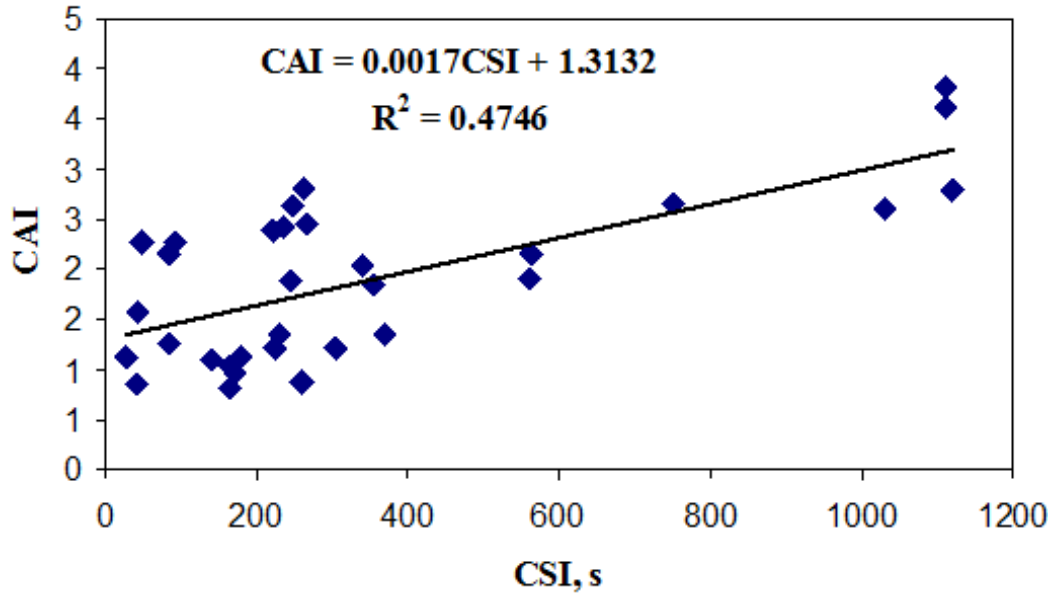
Plinninger et al. (2003), 48 farklı (sedimanter, metamorfik ve magmatik) kayaç üzerinde yaptıkları çalışmalarda Young Modülü ile eşdeğer kuvars içeriğinin Cerchar aşınma indeksi üzerine olan etkisini incelemişlerdir. İncelenen kayaçlar için bu büyüklükler arasında doğrusal artan ilişki bulmuşlardır (Şekil 3.6).



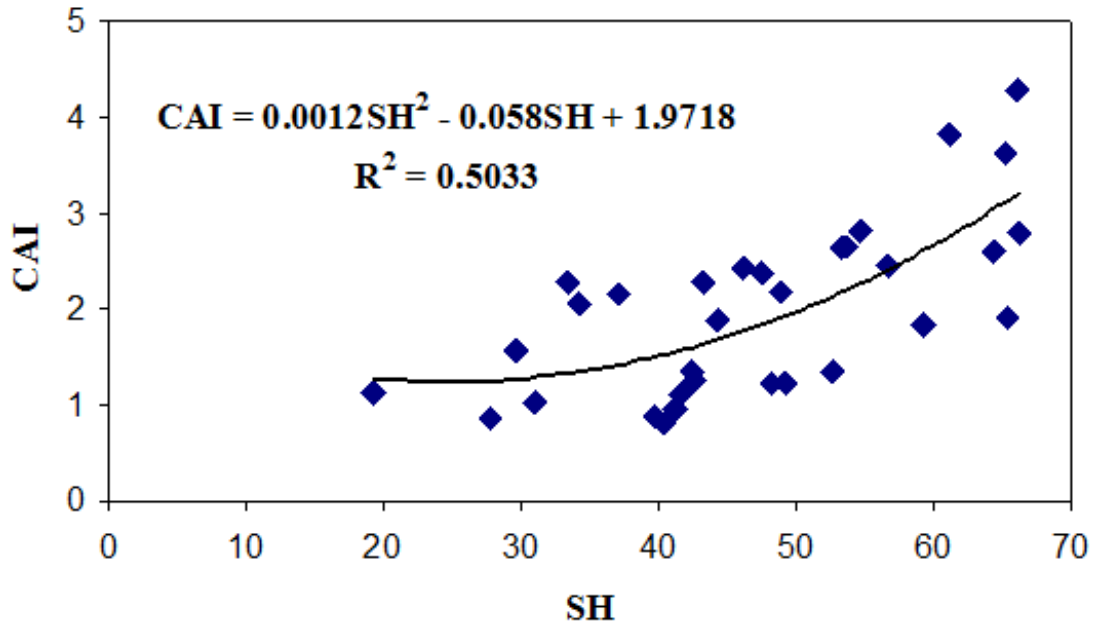
Şekil 3.6 Young Modülü ve eşdeğer kuvars yüzdesinin CAI üzerine etkisi (Plinninger et al. 2003).

Yaralı vd. (2006), “*Mekanize Kazıda Kayaçların Petrografik Özellikleri İle Aşındırıcılık ve Sertlik İndeksleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi*” başlıklı Araştırma Projesinde (Proje No :2003-45-03-06) 33 farklı kökenli kayaçlar üzerinde; dayanım (tek eksenli basınç ve çekme), indeks (Shore sertlik, nokta yükü dayanımı, Schmidt çekici, Cerchar sertlik indeksi) ve Cerchar aşınma indeks deneyleri yapmışlardır. Buna göre kayaçların dayanımının Cerchar aşınma üzerine etkisinin olmadığını, kayaçların sertliklerinin kayaç aşındırıcılığı üzerinde doğrudan etkisi olduğunu bulmuşlardır (Şekil 3.7 ve 3.8).

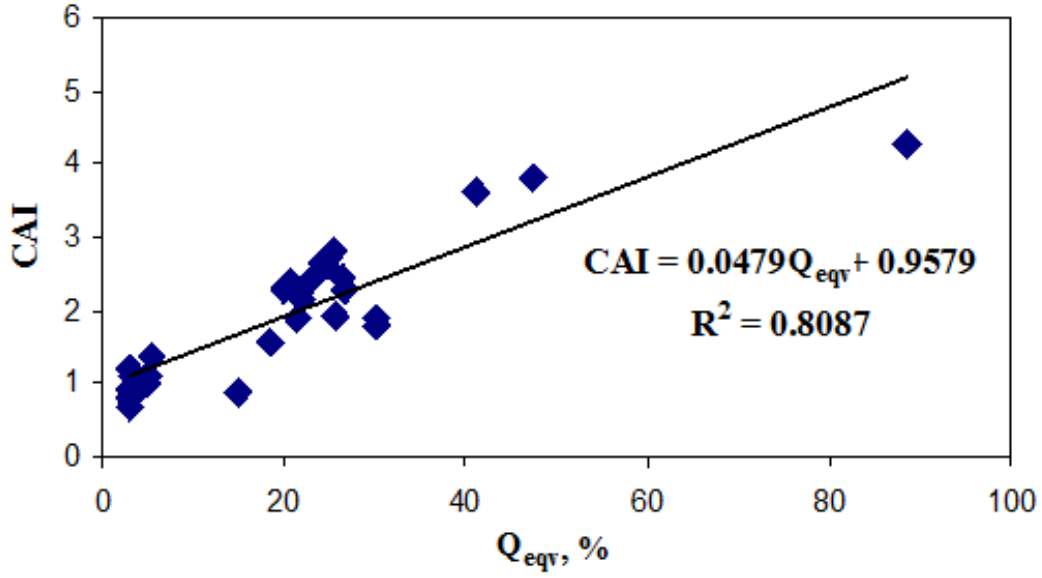
Aynı Araştırma Projesinde petrografik özelliklerin Cerchar aşınma indeksi üzerine olan etkilerini de araştırmışlardır. Buna göre ; kayaç içersindeki eşdeğer kuvars yüzdesi (Şekil 3.9) ve ortalama tane boyutu (Şekil 3.10) ile Cerchar aşınma indeksi arsında doğrusal ilişkiler bulmuşlardır.



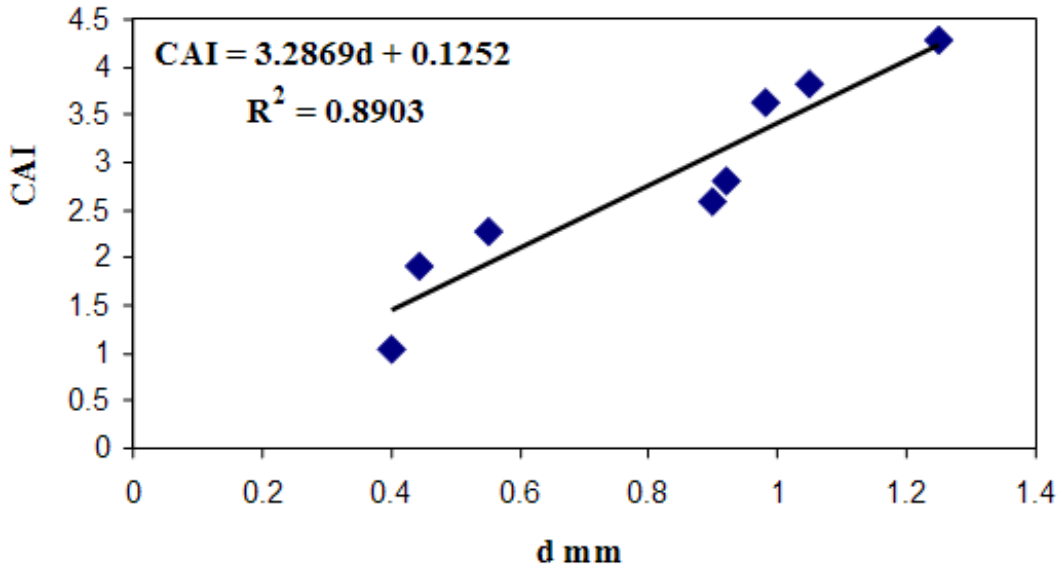
Şekil 3.7 Cerchar sertlik indeksi (CSI) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı vd. 2006).



Şekil 3.8 Shore sertlik indeksi (SH) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı vd. 2006).



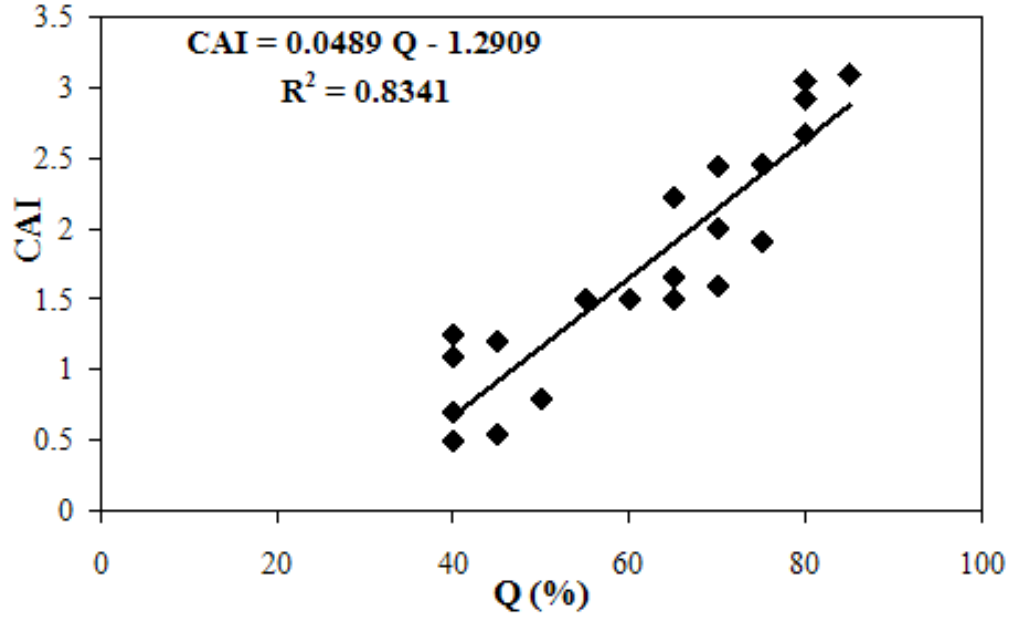
Şekil 3.9 Eşdeğer kuvars yüzdesi (Q_{eqv}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı vd. 2006).



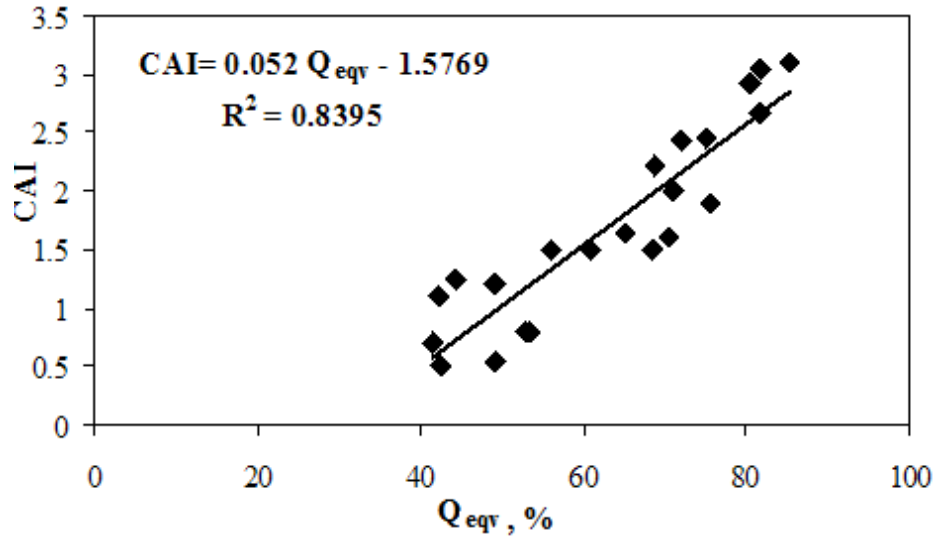
Şekil 3.10 Ortalama kuvars tane boyutu (d) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı vd. 2006).

Yaralı et al. (2008), 29 kömür çevre kayaçlarının petrografik özellikleri ile Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Kayaçlar içerisindeki kuvars içeriğinin (Şekil 3.11) ve diğer aşındırıcı minerallere göre eşdeğer kuvars içeriğinin (Şekil 3.12) arttıkça Cerchar aşınma indeksi değerlerinin de arttığı saptanmıştır. Ayrıca bu çalışmada ortalama

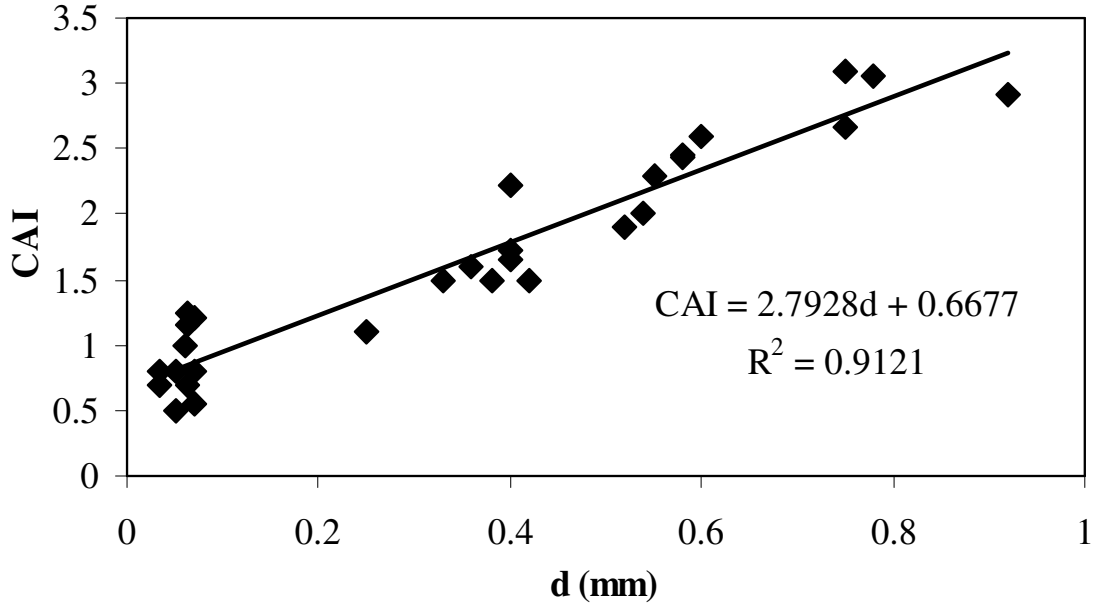
kuvars tane boyutunun ve çimentolanma derecesinin Cerchar aşınma indeksi ile olan ilişkilerini de araştırmışlardır. Ortalama kuvars içeriği ile CAI arasında artan doğrusal (Şekil 3.13), çimentolanma derecesi ile CAI arasında da yine artan doğrusal ilişki (Şekil 3.14) bulmuşlardır.



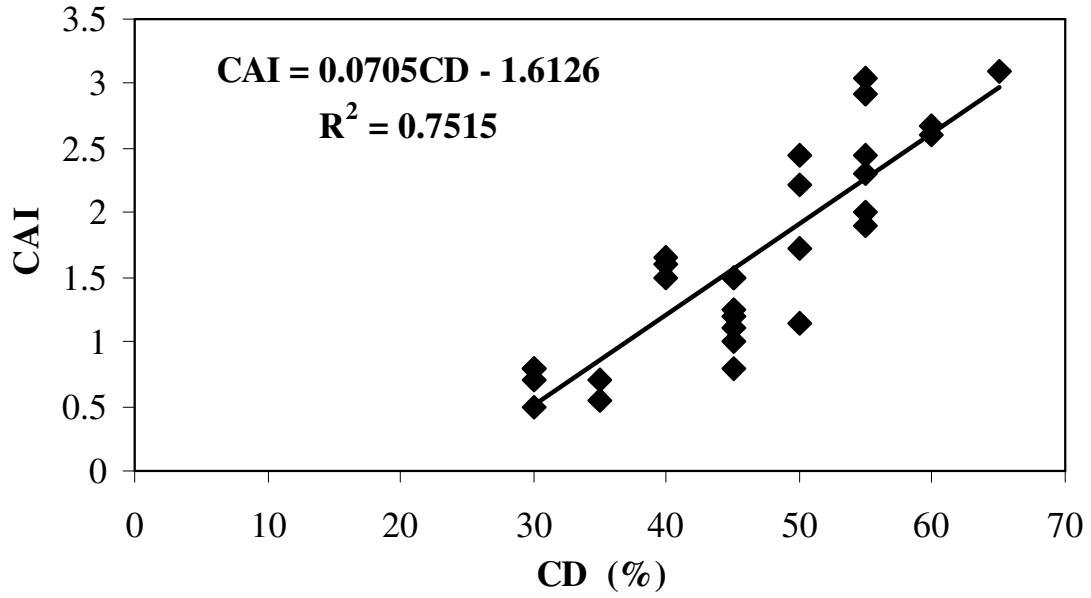
Şekil 3.11 Kuvars içeriği (Q) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı et al. 2008).



Şekil 3.12 Eşdeğer kuvars içeriği (Q_{eq}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı et al. 2008).



Şekil 3.13 Ortalama kuvars tane boyutu (d) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı et al. 2008).



Şekil 3.14 Çimentolanma derecesi (CD) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Yaralı et al. 2008).

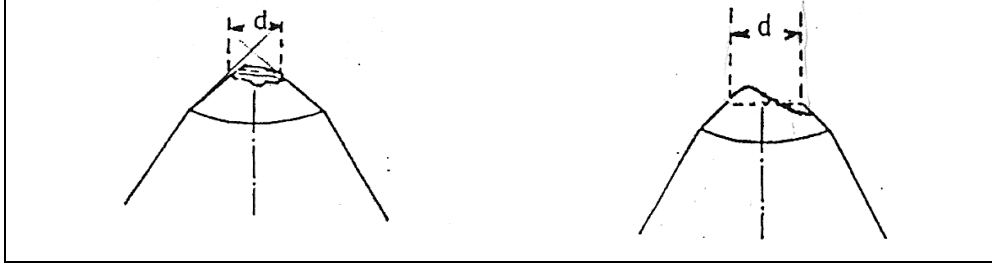
3.5 CERCHAR AŞINMA İNDEKSİ (CAI)

Günümüz şartlarında; galeri açma makinalarının performansının ve uç tüketiminin önceden kestirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla çeşitli araştırmacılar uzun yıllar boyunca çalışmalar yapmış ve yeni yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden biri de Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyidir. Kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesine yönelik bir çok deney yöntemi önerilmiş olmasına rağmen kabul görmüş deney yöntemi oldukça az sayıdadır. Son yıllarda Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi bir projede keskinin aşınmalarının ve keski değişim maliyetlerinin doğru tahmin edilmesinde ekonomik öneminden dolayı dikkate değer bir önem kazanmıştır (Atkinson 1993). Cerchar aşınma indeks deneyi özellikle Batı Avrupa'daki kaya mekaniği laboratuvarlarında sert kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesinde oldukça yaygın kullanılan bir deney yöntemidir (Plinninger et al. 2003).

Son yıllarda Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi bir projede keskinin aşınmalarının ve keski değişim maliyetlerinin doğru tahmin edilmesinde ekonomik öneminden dolayı dikkate değer bir önem kazanmıştır (Atkinson 1993).

Cerchar aşınma indeks deneyi; 200 kg/mm² çekme dayanımı olan 90° tepe açılı konik bir uç 7 kg bastırma kuvveti ile gayri muntazam örnek üzerinde yaklaşık bir saniye sürede 1 cm çekilmekle ve uçta oluşan aşındırma yüzeyi kayaç örneğinin aşındırıcılığını vermektedir. Konik uç, En 24-25 çeliğinden 610 ± 5 Vickers sertliğinde olmalıdır. Konik uç mikroskop altında incelenerek ucun yüzey çapındaki aşınması 1/10 mm hassasiyetinde ölçülür. Her 1/10 mm'ye karşılık gelen aşınma değeri 1 Cerchar aşınma indeksi değeri olarak belirlenir. Cerchar aşınma indeks deneyinde kullanılan konik uç, mikroskop altında incelenerek uçtaki aşınma yüzeyinin çapı (d) 0.1 (1/10) mm hassasiyetinde ölçülür (Şekil 3.15). Tespit edilen aşınma miktarı kayacın aşındırıcılığı olarak kabul edilir (Valantin 1973). Aşındırıcılık sınıflaması Çizelge 3.2' de verilmiştir.

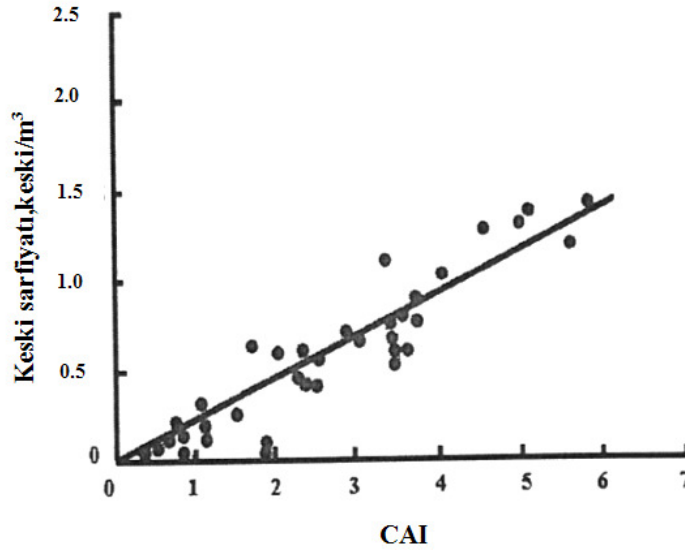
Johson ve Fowell (1986) ile Nizamoğlu (1978) yerinde yaptıkları ölçmelerle keski sarfiyatının, kayaçların Cerchar aşınma indeksleriyle (CAI) doğrudan ilişki içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Bu ilişki Şekil 3.16' da verilmiştir (Tunçdemir' den 2002).



Şekil 3.15 Konik uçtaki aşınma yüzey çapının ölçümü (Thuro and Plinninger 1998).

Çizelge 3.2 Aşındırıcılık sınıflaması (Cerchar 1986).

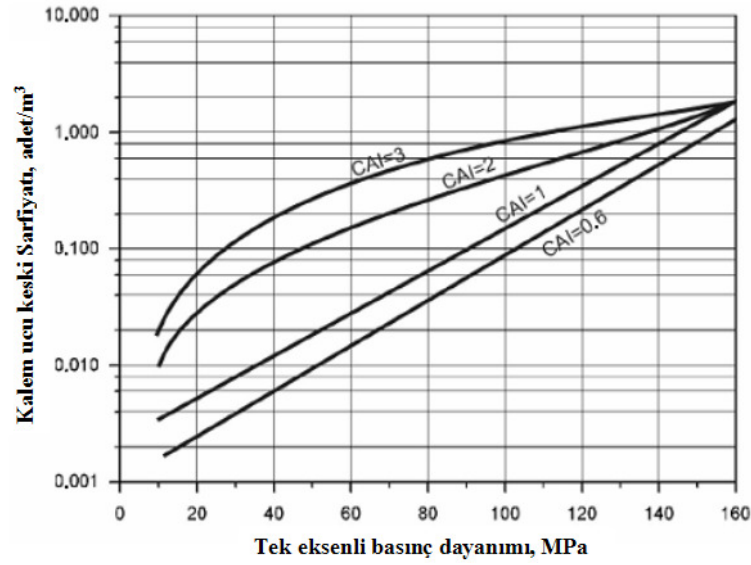
CAI	Sınıfı
< 0.5	çok az aşındırıcı
0.5 – 1.0	hafif aşındırıcı
1.0 – 2.0	aşındırıcı
2.0 – 4.0	çok aşındırıcı
> 4.0	oldukça fazla aşındırıcı



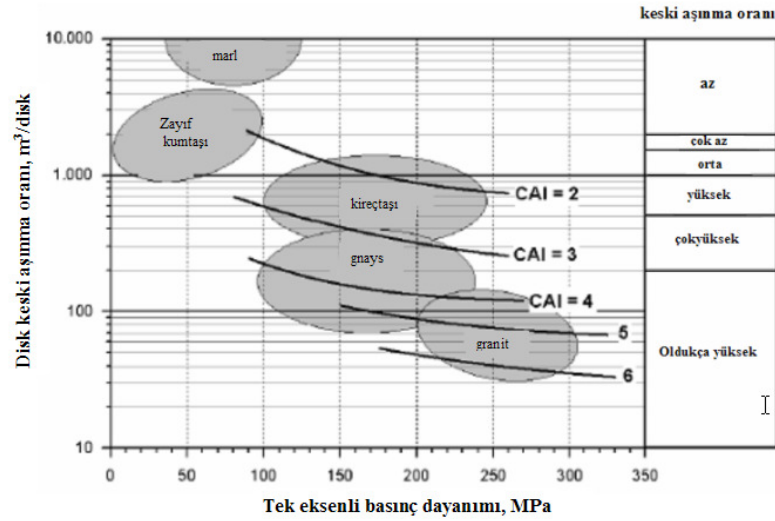
Şekil 3.16 Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki (Johson and Fowell, 1986; Nizamoglu 1978, Tunçdemir' den 2002).

Bazı mekanize kazı makinası üreten firmalar bilgi vermek amacıyla, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ve Cerchar aşınma indeksinin birlikte kullanıldığı grafikler geliştirmişlerdir. Şekil 3.17'de Voest Alpine firmasının kollu galeri açma makinaları (GAM) için kalem ucu keski sarfiyatı, Şekil 3.18' de Herrenknecht firmasının tam çephe galeri açma (TBM)

makinaları için disk tipi keski sarfiyatının tek eksenli basınç dayanımına ve CAI değerine göre değişimi gösterilmiştir. Çizelge 3.3’de bazı kayaçların Cerchar aşınma indeks değerleri verilmiştir.



Şekil 3.17 Kalem ucu keski tüketimi ve Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki (Voest Alpine; Plinninger et al.’dan 2003).



Şekil 3.18. Bazı kayaçlar için tek eksenli basınç dayanımı ve Cerchar aşınma indeksine (CAI) göre disk tipi keski tüketimi (Maidl et al. 2001, Plinninger et al.’dan 2003).

Çizelge 3.3. Bazı kayaç tiplerinin Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri (Tamrock 1999).

Kayaç Tipleri	Cerchar Aşınma İndeks Değerleri
<u>Magmatik Kayaçlar</u>	
Bazalt	1.7 – 5.2
Diabaz	3.8 – 5.4
Andezit	1.8 – 3.5
Diorit/Siyenit	3.0 – 5.6
Granit	3.7 – 6.2
<u>Sedimenter Kayaçlar</u>	
Kireçtaşı	0.1 – 2.4
Kumtaşı *	0.1 – 2.6
Kumtaşı **	2.3 – 6.2
<u>Metamorfik Kayaçlar</u>	
Pelit	1.3 – 4.3
Mika şist ve mika ginayis	1.8 – 5.0
Felsit ginayis	3.7 – 6.3
Amfibolit	2.8 – 3.7
Kuvarsit	4.8 – >6.0

* Çimentosu karbonatlı ve/veya killi

** Çimentosu kuvarslı

West (1981,1986,1989), kömür içeren sedimanter kayaçları kullanarak yaptığı çalışmalar sonucunda Cerchar aşındırıcılık indeksi ile ifade edilen kayaç aşındırıcılığının kayacın kuvars içeriği ve Mohs sertlik ölçütü ile doğru orantılı olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, McFeat-Smith ve Fowell (1977), kayacın kuvars içeriğinin, kesici uç tüketimi açısından kayaç aşındırıcılığının tek başına ifade edemeyeceğini bildirmiştir. Kumtaşlarında galeri açma makinaları ile yapılan kazılarda, kesici uç tüketiminin kuvars içeriğinden çok çimentolanma derecesi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Barbour et al. 1979).

Johson ve Fowell (1986) yerinde yaptıkları ölçmelerle keski sarfiyatının, kayaçların Cerchar aşınma indeksleriyle (CAI) doğrudan ilişki içerisinde olduğunu göstermişlerdir (Tunçdemir'den 2002).

Al-Ameen ve Waller (1994), yaptıkları çalışmada, az miktarda aşındırıcı mineraller içeren yüksek dayanımlı bazı kayaçların yüksek aşındırıcılık indeksine sahip olabildiklerini belirlemişlerdir. Diğer taraftan, çok yüksek aşındırıcı mineral içeriğine sahip olan bazı düşük dayanımlı kayaçların, düşük aşındırıcılık indeksine sahip olabildikleri de görülmüştür. Araştırmacılar, kayaçların aşındırıcı mineral içeriklerinin ve çimentolanma özelliklerinin,

Cerchar aşındırıcılık indeksi üzerinde birlikte bir etkisinin söz konusu olduğunu bildirmişlerdir.

Bu deney küçük bir delme deneyidir ve 8 mm çapında tungsten karbilden yapılmış her iki yüzeyi dikkatlice bilenmiş uç açısı 99° olan bir matkapla, mengeneye sıkıştırılmış kırık bir kaya örneğine aşağıya doğru düşey konumda delme işlemi şeklinde yapılır. Cerchar sertlik indeksi değeri, 1 cm derinlikteki bir deliğin açılma süresinin saniye cinsinden belirlenmesidir (Valantin 1973).

AFTES (Fransa) araştırma laboratuvarında Cerchar sertlik indeksi uygulamasına göre, Cerchar sertlik değeri 40-50'den daha fazla olan çok sert kayalarda ilerleme az olduğu için, matkaba 400 N'luk baskı kuvveti uygulanmaktadır. Elde edilen veriler ikiye bölünerek basitçe düzeltme yapılmaktadır. Çok yumuşak kayalarda ise ilerleme çok geniş aralıkta değiştiği için, matkaba sadece 70 N'luk baskı kuvveti uygulanmakta ve elde edilen veriler 3 ile çarpılmaktadır (Cerchar 1986).

Ülkemizde Cerchar aşınma indeks deney aleti ile kayaların aşındırıcılıklarının belirlenmesine yönelik çalışma sayısı sınırlıdır. Günümüzde özellikle mekanize kazıda kullanılan makinaların proje aşamasında, uç tüketiminin belirlenmesi ve maliyetlerin tahmin edilmesinde bu deney yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde Cerchar aşınma indeks deney aleti kullanılarak yapılmış çalışmalar ile deney sonuçları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Cerman'ın (1988) Eyüp Tüneli ve TTK Amasra Müessesesi'nde yaptığı Cerchar aşınma indeks deneyine göre kayaların Cerchar aşınma indeks değeri; silttaşı örneklerinin 2.0-2.5 arasında, şeyl örneklerinin 2.5-4.5 arasında, kumtaşının 3.5 ve ince taneli kumtaşının 4.5 olduğunu bulmuştur.

Avcı (2001) yaptığı çalışmada TTK Asma Müessesesi'ndeki silttaşını ve ince taneli kumtaşının Cerchar aşınma indeks değeri 2.75 olarak belirlemiştir ve buda bölgedeki silttaşının ve ince taneli kumtaşının (CAI= 2.0-4.0) çok aşındırıcı olduğunu gösterir. TTK Asma Müessesesi'ndeki taneli kumtaşının Cerchar aşınma indeks değerinin 2.0 olduğu ve (CAI=1.0-2.0) aşındırıcı olduğu görülmektedir. ZKÜ Tıp Fakültesi Hastanesi zemininde yapılan çalışmaya göre bu bölgedeki kireçtaşının Cerchar aşınma indeks değeri 1.20 olduğu

ve (CAI=1.0-2.0) aşındırıcı olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4 Ülkemizde CAI deney aleti kullanılarak yapılmış çalışmalar ve sonuçları.

Yazar	Alındığı Yer	Kayaç Türü	CAI
Cerman 1988	Eyüp Tüneli ve TTK Amasra Bölgesi kömür çevre kayaçları	Silttaşı (kuvars ve muskovitçe zengin)	2.50
		Şeyl (mika mineralince zengin)	2.50
		Grovak	2.50-4.00
		Diabaz (%95 feldispat ve opak mineralli)	4.00
		Şeyl	3.00
		Şeyl ve ince taneli kumtaşı	4.50
		Diabaz	3.50
		Kumtaşı (Q=%55,F=%10)	2.00
		Silttaşı	
Avcı 2001	-170 4. Kuzey Kurul Geçiş Lağımı (TTK Asma) -170 505 Desandre Lağımı (TTK Asma) -170 3.5 Kuzey Lağımı (TTK Asma) ZKÜ Tıp Fakültesi Hastanesi Zemini	Silttaşı (Q=%73)	2.75
		İri taneli kumtaşı (Q=%73)	2.00
		İnce taneli kumtaşı (Q=%70)	2.75
		Kireçtaşı	1.20
Tunçdemir 2002		Yüksek tenörlü kromit	2.12
		Normal tenörlü kromit	1.60
		Düşük tenörlü kromit	2.40
		Bakır cevheri (sarı)	2.80
		Bakır cevheri (siyah)	3.00
		Harsburjit	0.80
		Serpantin	1.00

Çizelge 3.4 (devam ediyor).

Erdaş 2002	TTK Karadon, Amasra	İnce taneli kumtaşı	1.00-1.30
	Müesseseleri'nden	Silttaşı	0.40-0.80
	kömür çevre kayaçları,	Kireçtaşı	0.70-0.90
	Zonguldak, Kdz.	Andezit	1.80-1.90
	Ereğli ve Devrek	Siyenit	2.60-2.80
	Bölgelerinden	Bazalt	1.90-2.30
	sedimater ve magmatik kayaçlar	Dolomit	1.00-1.10
Kel 2003	-360/41405 Gelik	Kumtaşı-1	4.09
	Hazırlık Lağımı	Kumtaşı-2	2.37
	-460/41408 Karadon	Kireçtaşı-3	1.44
	Hazırlık Lağımı	Kumtaşı-4	1.64
	İnşaat temeli (Barremiyen Serisi)	Silttaşı-5	2.90
	-170/Üzülmaz 4.		
	Kuzey Lağımı		
	-170/Üzülmaz 4.		
	Kuzey Lağımı		

Q= Kuvars , F= Feldispat

Tunçdemir'in (2002) araştırmasına göre yüksek tenörlü kromit örneklerinin Cerchar Aşınma İndeks değeri 2.12 dir ve (CAI= 2.0-4.0) çok aşındırıcıdır. Normal tenörlü kromit örneğinin Cerchar aşınma indeks değeri 1.60 dır ve (CAI=1.0-2.0) aşındırıcıdır. Düşük tenörlü kromit örneğinin Cerchar aşınma indeks değeri 2.40 tır, bakır cevheri (sarı = 2.80, siyah = 3.0) olarak belirlenmiş ve üç örnek de (CAI=2.0-4.0) çok aşındırıcıdır. Harsburjit Cerchar aşınma indeks değeri 0.80, serpantin 1.0 dir ve ikisi de (CAI=0.5-1.0) orta aşındırıcıdır.

Erdaş (2002) yaptığı çalışmada ince taneli kumtaşının Cerchar aşınma indeks değeri 1.0-1.30 arasında, andezitin Cerchar aşınma indeks değeri 1.80-1.90 arasında, dolomitin Cerchar aşınma indeks değeri 1.0-1.10 arasında bulmuştur ve her üç örnek de (CAI=1.0-2.0) aşındırıcıdır. Silttaşının Cerchar aşınma indeks değeri 0.40-0.80 arasında ve kireçtaşının

Cerchar aşınma indeks değeri 0.70-0.90 arasındadır ve iki örnek de (CAI=0.5-1.0) orta aşındırıcıdır. Siyenitin Cerchar aşınma indeks değeri 2.60-2.80 arasında ve bazaltın Cerchar aşınma indeks değeri 1.90-2.30 arasındadır ve ikisi de (CAI=2.0-4.0) çok aşındırıcıdır.

Kel'lin (2003) TTK Karadon Müessesesinde yaptığı araştırmada kumtaşının Cerchar aşınma indeks değerinin 2.37-4.09 arasında değiştiği görülmektedir. Bu kumtaşının bazı yerlerde (CAI= 2.0-4.0) çok aşındırıcı bazı yerlerde (CAI=4.0-6.0) oldukça fazla aşındırıcı olduğunu göstermektedir. İnşaat temelinden alınan kireçtaşı örneğinin Cerchar aşınma indeks değeri 1.44 olduğu ve (CAI= 1.0-2.0) aşındırıcı olduğu görülmektedir. TTK Asma Müessesesi'nde yapılan araştırmada kumtaşının Cerchar aşınma indeks değeri 1.64, silttaşının Cerchar aşınma indeks değeri 2.90 olduğu gözlenmektedir. Aşındırıcılık sınıflamasına göre kumtaşının (CAI=1.0-2.0) aşındırıcı, silttaşının (CAI=2.0-4.0) çok aşındırıcı olduğu görülmektedir.

Kaba (2004), farklı bölgelerden alınan 27 farklı sedimanter (kireçtaşı, dolomit) magmatik ve metomorfik kayaç türünün aşındırıcılık özellikleri ile petrografik analiz sonuçları arasındaki ilişkileri incelemiştir. Kireçtaşı fosilli, plakett kireçtaşı, dolomit ve kireçtaşının Cerchar aşınma indeksi değerlerinin 0.70 ile 1.00 arasında değişmekte olduğunu, diyabaz, traki andezit, bazaltik andezit, dolomitik kireçtaşı, dolomit, kireçtaşı ve andezitlerin Cerchar aşınma indeksi değerinin 1.10 ile 1.92 arasında olduğunu, kuvars diyorit, granit, alkali granit, altere diyabaz, siyenit, traki andezit ve bozuşmuş, koyu ve açık renkteki andezit kayaçlarında ise Cerchar aşınma indeksinin 2.16 ile 3.82 arasında değişmekte olduğunu belirlemiştir.

Kutlu (2004)' te yapmış olduğu çalışmada 31 farklı kayaç türü (sedimanter ve magmatik) üzerinde tek eksenli basınç ve dolaylı çekme (Brazilian) dayanım deneyleri ile kayaçların aşındırıcılıklarını belirlemek için geliştirilen Cerchar indeks deney aletiyle deneyler yapılmıştır. Çalışmada kayaçların aşındırıcılığı ile kuvars tane boyutu, kuvars içeriği arasında doğrusal artan ilişkiler bulmuştur.

Yaralı (2005)'te yaptığı çalışmada Zonguldak yöresi çevre kayaçlarının aşındırıcılıklarını kayaçların mekanik, petrografik özellikleriyle birlikte değerlendirmiştir. Çalışmada kayaçların aşındırıcılıkları ile tek eksenli basınç dayanımı ve ortalama kuvars tane boyutu arasında doğrusal artan bir ilişki olduğunu bulmuştur.

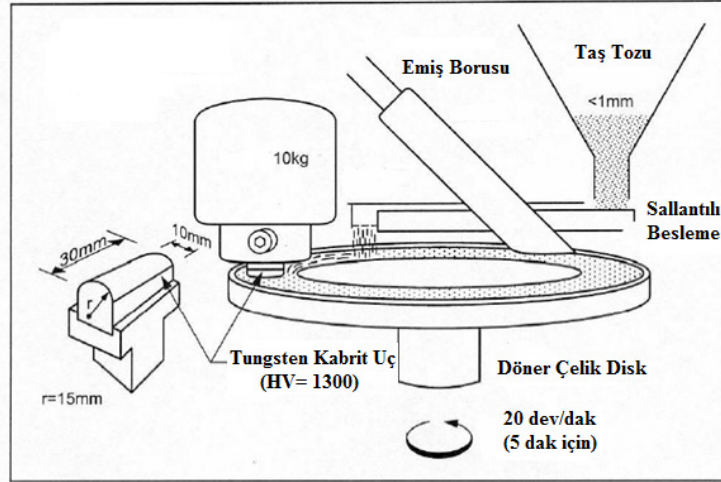
Yaralı (2008) Zonguldak Bölgesine ait farklı kökenli (sedimanter, metamorfik ve magmatik) kayaçların delinebilirlik ve aşındırıcılık özelliklerini belirlemek için laboratuarda bir çok deneyler yapmıştır. Bu çalışmada 89 farklı kökenli kayacın Cerchar aşınma indeksine göre aşındırıcılıkları bulunmuş ve aşındırıcılık değerler aralıkları verilmiştir. Magmatik kökenli kayaçların aşındırıcılıklarına bakıldığında genel olarak aşındırıcı ve çok aşındırıcı oldukları görülmektedir. Benzer durum kömür çevre kayacı olan kumtaşları için de geçerlidir. Bu tip formasyonlarda mekanize yapılacak olan kazı veya delme işlemlerinde uç tüketiminin fazla olacağı beklenmektedir. Zonguldak Bölgesi'nde çokça karşılaşılan dolomit ve kireçtaşı gibi formasyonların dahi aşındırıcı oldukları belirlenmiştir.

3.6 NORVEÇ AŞINMA 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 karbit 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 tahminen etmek için kullanılmaktadır (Bruland et al, Dahl 1995). TBM uç aşınması tahmini için, BWI (Bite Wear Index) yerine CLI (Cutter Life Index)' nin hesaplanması ve delinebilirliğin tahmininde tungsten karbit 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 ülkelere 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 karbit 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 karbit ucun zamana bağlı olarak aşınmasını ölçer. Aşınma miktarı deneyinin ana hatları Şekil 3.19'da gösterilmiştir (Johannessen 1998).



Şekil 3.19 Norveç aşınma deneyi (Dahl 2003).

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

3.6.1 Örneklerin Hazırlanması

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

- Örneklerin kırılma işlemi sırasında aşırı tozlanmadan kaçınmak için kırma işlemi birkaç adımda yavaşça kırılması önemlidir. İstenilen boyutlara indirilirken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bu çalışmada bu hususlara dikkat edilmiştir.
- Ya karot boyutunda ya da el büyüklüğündeki örnekler önce 10 mm açıklığa ayarlanmış çeneli kırıcıdan geçirilir. Eğer kırılmalık deneyi (S_{20}) 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 açıklığı yaklaşık 1 mm'ye ayarlanmış kırıcıya tekrardan beslenir.
- Bu işlem tane boyut dağılımının % 99'unun < 1mm ve bu miktarında % 70 ± 5 'inin < 0.5 mm oluncaya kadar tekrarlanır.

- Kırılmış toz halindeki malzeme deney setindeki besleme ünitesine (Şekil 3.19) 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.

3.6.2 Deneyin Yapılması

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

- Bu deney için 2-4 adet özel olarak bilenmiş tungsten karbit uç hazırlanır. Tungsten karbid ucun yüzeyinin bilenme durumu kritik bir adımdır ve böylece ucun ekstradan fazla ısınma durumundan kaçınılmış olunur.
- Ucun bilendikten 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 3.19).
- Deney ucunun yüzeyi çelik disk tabla ile aynı hizada ve yatay konumda olmasına dikkat edilmelidir. Gerektiğinde 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 ve 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.

3.6.3 Çelik Uçla Norveç Aşınma Deneyi (AVS)

Bu deneyde tungsten karbid uç yerine aynı geometride disk tipi keskilerin dış halka (veya ring) çeliğinden yapılmış uç kullanılmaktadır.

Bu deney için 2-4 deney ucu hazırlanır. Bu deneyde deney süresi hariç Bölüm 3.7.2’de anlatılmış olan aşamalar izlenir.

Deney süresi 1 dakika, 20 devirdir. Çelik uçla Norveç aşınma deneyi 1 dakikalık deney süresi veya 20 devirden sonra miligram cinsinden ölçülmüş ağırlık kaybı ortalama değeri olarak hesaplanır (Dahl 2003).

Delinebilirlik deney sonuçlarının istatistik çalışmasını veren 13C-98 Proje Raporu’nda 2100 adet örnek üzerinde yapılmış çalışma sonucunda Norveç aşınma deney verileri ile çelik uçla Norveç aşınma deney verileri karşılaştırılmıştır. Bu iki büyüklük arasında Eşitlik 3.1’de verilen bir ilişki elde edilmiştir (Johannessen 1998).

$$AVS=1.781(AV)^{0.779}, \quad R^2 = 0.776 \quad (3.1)$$

Burada;

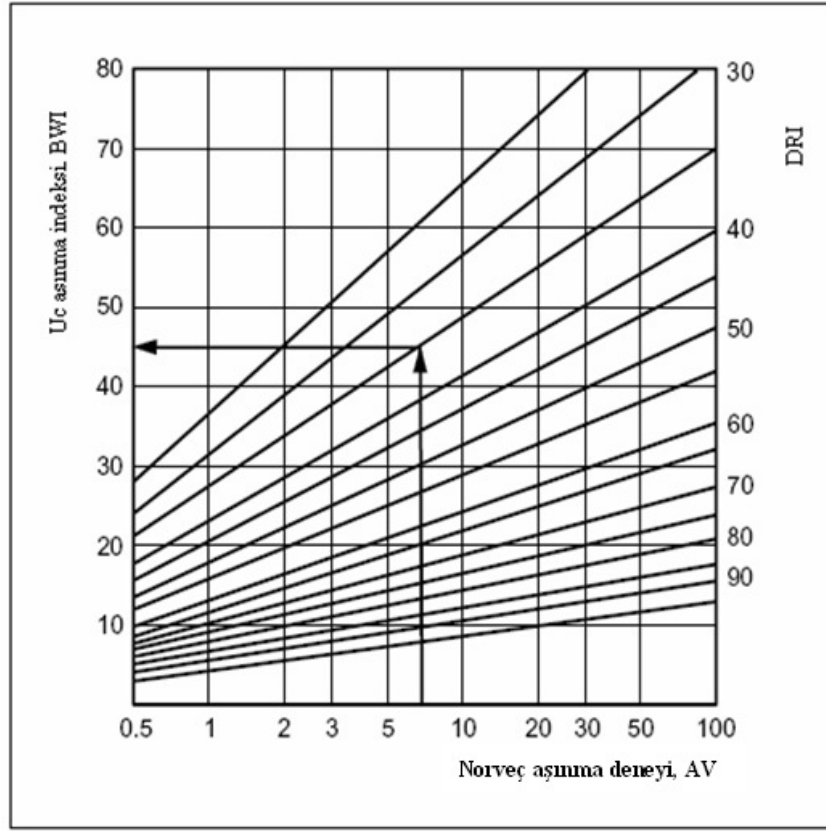
AVS : Çelik uçla Norveç aşınma deneyi

AV : Norveç aşınma deneyi

3.6.4 Uç Aşınma İndeksinin Değerlendirilmesi

Uç aşınma indeksi (BWI), delme oranı indeksi (DRI) ve Norveç aşınma deneylerinden (AV) elde edilen sonuçlar Şekil 3.20’de gösterilen diyagram kullanılarak bulunur. Bu deney delme

matkabının ömrünün tahmin edilmesinde kullanılır. BWI matkap ömrünü delinen metre veya delinen hacim cinsinden ifade eder (Johannessen 1998).



Şekil 3.20 Uç aşınma indeksinin (BWI) değerlendirme diyagramı (Johannessen 1998).

3.6.5 Keski Ömrü İndeksi (CLI)

Keski ömrü indeks deneyi (CLI) temel olarak Sievers minyatür delme deneyi (SJ) ve çelik uçla Norveç aşınma deneyine (AVS) bağlı olarak belirlenir (Eşitlik 3.2). CLI keski ömrünü, tam cephe galeri açma makinasında kullanılan disk tipi keskinin çelik halkasının (ringinin) kazı saati cinsinden ifade eder (Johannessen, 1998).

$$CLI = 13.84 \left(\frac{SJ}{AVS} \right)^{0.3847} \quad (3.2)$$

Burada;

CLI : Keski ömrü indeksi

SJ : Sievers minyatür delme deneyi değeri

AVS : Çelik uçla Norveç aşınma deneyi değeri

Tam cephe galeri açma makinalarının (TBM) keski aşınmasının değerlendirilmesinde uç aşınma indeksi yerine keski ömrü indeks deneyi kullanılır (Nilsen 2003).

3.6.6 İndekslerin Sınıflaması

Norveç aşınma deneyi (AV), çelik uçla Norveç aşınma deneyi (AVS), uç aşınma indeksi (BWI) ve keski ömrü indeks (CLI) deneylerine ait sınıflama aralığı Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Aşınma indeks 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

3.7 SCHIMAZEK AŞINMA İNDEKSİ

Schimazek aşınma indeksi (F) bir disk keski kullanılarak sedimanter kayalar üzerinde yapılan aşınma deneyleri sonucunda bulunmuştur (Schimazek and Knatz 1970).

Kayaçların çekme dayanımı ve petrografik özelliklerinden yararlanarak aşınma numuneleri St 50 çeliğinden imal edilmiş, uçları konik, 90°, 0.3 mm’ye kadar köreltilmiş keskilerle ve 45 N’luk baskı kuvvetiyle 16 m Archimed Spirali ile çizilir. Uçlarda meydana gelen ağırlık kaybı aşınma indeksinin fonksiyonu olarak kabul edilmektedir. Aşınma indeksi, numunelerin çekme dayanımı ve petrografik özelliklerinden elde edilir. Kayaçtaki kuvars ve diğer aşındırıcı minerallerin miktarı, bunların boyutları ve kayacın çekme dayanımı arttıkça aşınma da artacağına göre, aşınma indeksi bu parametrelerin çarpımıyla Eşitlik 3.3’den elde edilmektedir.

$$F = Q \times d \times \sigma_t \quad (3.3)$$

F = Schimazek aşınma indeksi, N/mm

Q = Eşdeğer kuvars yüzdesi, %

d = Ortalama kuvars tane boyutu, mm

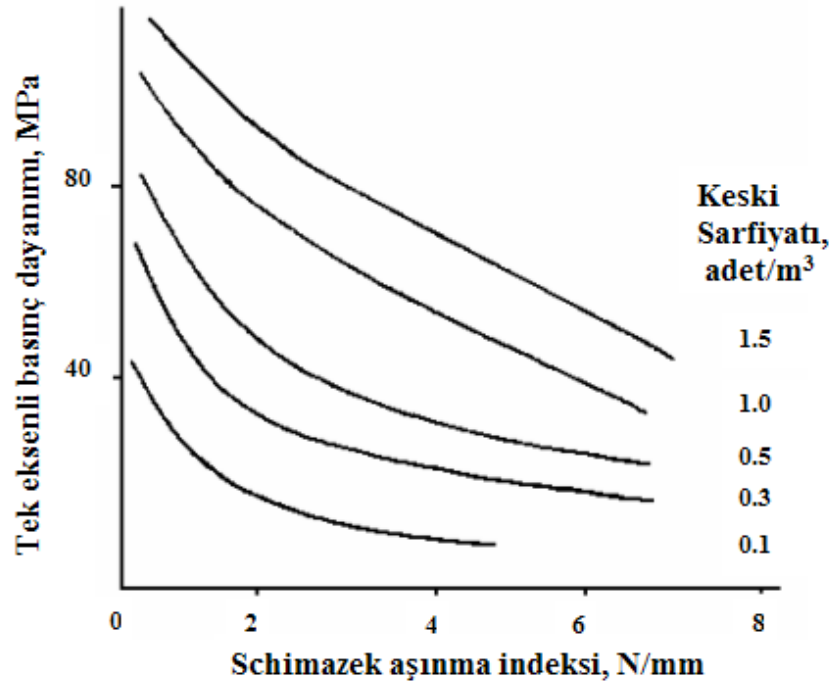
σ_t = Dolaylı çekme dayanımı, MPa

Sert keskilerle yapılan mekanize kazıda, Schimazek aşınma indeksi 0.5 N/mm'nin üzerinde olan kayalar çok aşındırıcı olduklarından kesilemezler. Ancak, arında çok çatlağın ve kırığın var olması durumunda, bu kazılabilirlik kriterinin 1 N/mm'ye kadar çıkması mümkündür.

Ayrıca, disk tipi keskilerle yapılan kazıda Schimazek aşınma indeks değeri 2.7 N/mm'ye kadar olan kayaların kazısının yapılabileceği de saptanmıştır. Çizelge 3.6'da Schimazek aşındırıcılık sınıflaması verilmiştir (Schimazek and Knatz 1970). Şekil 3.21'de kollu galeri açma makinaları için Schimazek aşınma indeksi ve kayacın tek eksenli basınç dayanımı kullanılarak keski tüketimini veren ilişki gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Schimazek aşındırıcılık sınıflaması (Schimazek and Knatz 1970).

Schimazek aşınma indeksi (F), N/mm	Sınıfı
< 0.01	Hiç aşındırıcı değil
0.01 – 0.05	Çok az aşındırıcı
0.05 – 0.1	Hafif aşındırıcı
0.1 – 0.5	Orta aşındırıcı
0.5 – 1.0	Aşındırıcı
1.0 – 2.0	Çok aşındırıcı
2.0 – 4.0	Çok fazla aşındırıcı
> 4.0	Oldukça fazla aşındırıcı



Şekil 3.21 Kollu galeri açma makinalarında, Schimazek aşınma indeksi ve tek eksenli basınç dayanımı ile keski sarfiyatı ilişkisi (Bilgin 1989).

Ewendt (1989) Almanya'da Saar Kömür Havzası'nda yaptığı aşınma deneyleri sonucunda F ile CAI arasında Eşitlik 3.4'deki gibi bir ilişki bulmuştur (Tamrock'dan 1999).

$$CAI = 0.6 + 3.32 \cdot F \quad (3.4)$$

Yaralı (2005) Zonguldak kömür çevre kayalarları üzerinde yaptığı aşınma deneyleri sonucunda Schimazek ve Cerchar aşınma indeksleri arasında Eşitlik 3.5'deki gibi doğrusal bir ilişki saptamıştır.

$$CAI = 0.8735 + 0.3958 \cdot F \quad R^2 = 0.865 \quad (3.5)$$

BÖLÜM 4

LABORATUAR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde laboratuarda yapılan deneylerin yapılış şekli, standardı ve deney sonuçlarından bahsedilmiştir. Laboratuarda yapılan deneyler aşağıda belirtilmiştir. Bunlar:

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

- ✓ Sievers minyatür delme deneyi
- ✓ Kırılgenlik deneyi

2. Aşındırcılık deneyleri

- ✓ Cerchar aşınma indeks deneyi
- ✓ Norveç aşınma deneyi

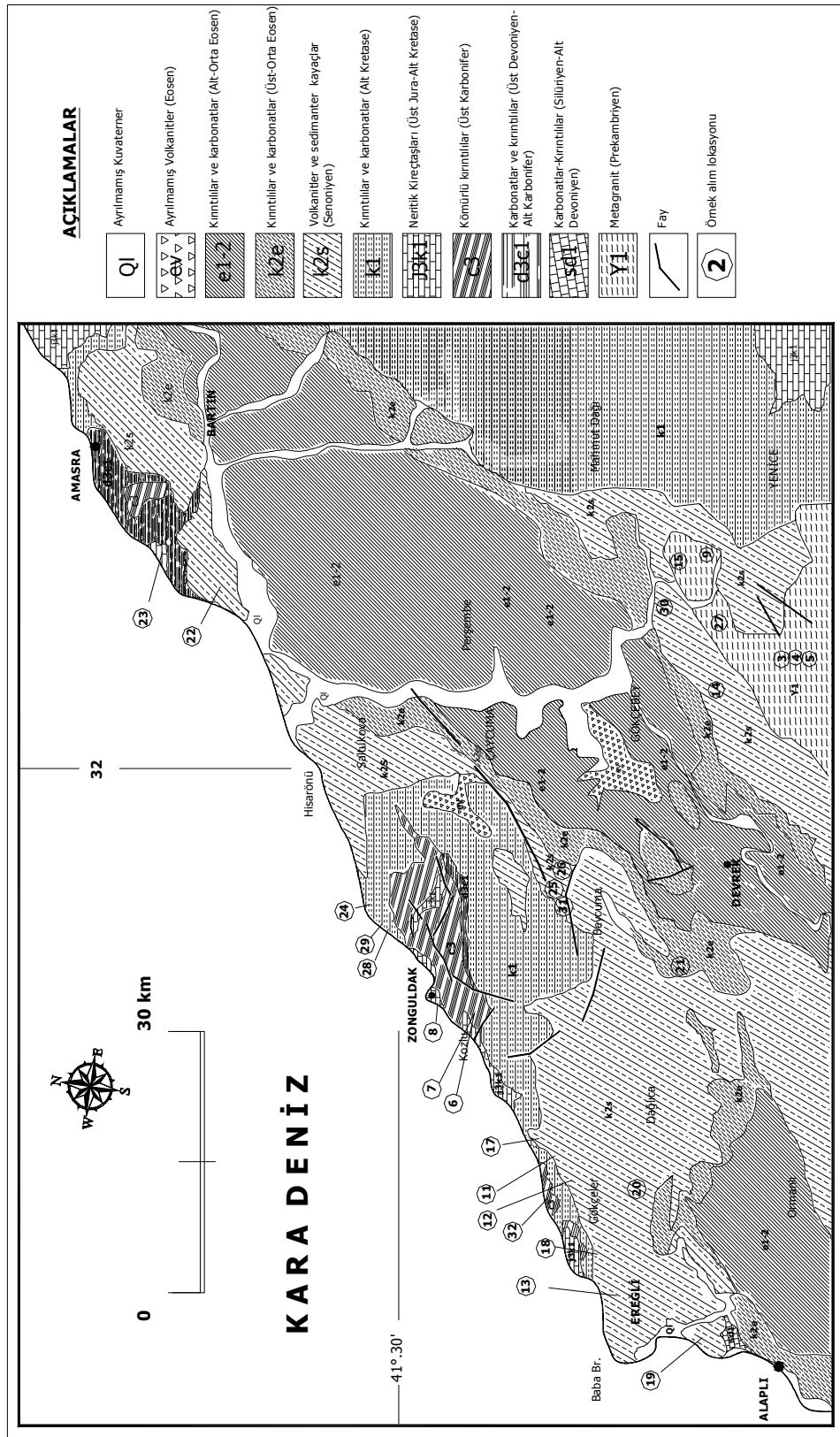
4.1 ÖRNEKLERİN ALINMASI

Bu çalışmada, ikisi Norveç-Trondheim'dan alınan kuvarsit ve kireçtaşı (Örnek No 1 ve 2), bir adedide Aksaray- Hasan Dağı eteklerinden alınan bazalt (Örnek No:16), ve Zonguldak Bölgesi' ne ait 29 farklı yerden alınan sedimanter ve mağmatik kökenli olmak üzere toplam 32 kayaç örneği üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

Örnek alım yerlerinin 15'inde GPS ile koordinatları belirlenmiştir. Örneklerin araziden alınmasında Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) standartlarına dikkat edilmiştir (ISRM 1980). Örnek alım yerleri Çizelge 4.1'de, örnek alım yerleri ise Şekil 4.1 de de harita üzerinde verilmiştir.

Çizelge 4.1 Alınan örneklerin yerleri ve koordinatları.

No	Örnek Adı	Koordinat	Yer
1	Kuvarsit	-	Norveç-Trondheim
2	Kireçtaşı	-	Norveç-Trondheim
3	Diyabaz (açık gri)	-	Dorukan Tüneli
4	Diyabaz (koyu gri)	-	Dorukan Tüneli
5	Granodiorit	-	Dorukan Tüneli
6	Litik Arenit Kumtaşı	-	TTK Kozlu Müessesesi döküm sahası
7	Silttaşı	-	TTK Kozlu Müessesesi döküm sahası
8	Kireçtaşı (Mikritik)	-	ZKÜ yeni kapı girişi inşaat alanı
9	Siyenit (Porfirik)	-	Devrek-Yenice
10	Dolomit	-	Devrek
11	Porfirik bazaltik andezit	-	Zonguldak – Kdz. Ereğli 34. km
12	Porfirik bazaltik andezit	-	Zonguldak – Kdz. Ereğli 35. km
13	Bazaltik andezit (Açık Renk)	-	Zonguldak – Kdz. Ereğli 42. km
14	Dolerit	-	Devrek-Yenice
15	Alkali granit	-	Devrek-Yenice
16	Bazalt	-	Hasan Dağı etekleri
17	Andezitik bazalt	K41° 19' 798'' D31° 36' 92''	Zong.-Kdz. Ereğli 26. km
18	Porfirik andezit	K41° 17' 37'' D30° 30' 95'	Zong.-Kdz. Ereğli 37. km (Sütunlu bazaltlar)
19	Traki andezit	K41° 14' 392'' D31° 24' 397''	Kdz. Ereğli- Alaplı arası Taşocağı
20	Bazaltik andezit	K41° 14' 392'' D31° 24' 397''	Kdz. Ereğli- Devrek 11.km Yazıcılar Kövü mevki
21	Dolomitik kireçtaşı	K41° 14' 514'' D31° 36' 339''	Kdz. Ereğli- Devrek 25.km Yazıcılar Kövü mevki
22	Bazaltik andezit	K41° 42' 988'' D32° 21' 727'	Amasra
23	Kireçtaşı	K41° 43' 317'' D32° 20' 726'	Hema Madencilik yeni kuyu yeri
24	Silttaşı (Çok ince taneli)	K41° 32' 353'' D31° 57' 648'	Türkali-Göbü arası
25	Silttaşı (Kaba taneli)	K41° 22' 821'' D31° 57' 476'	Zong.-Devrek 18. km, Beycuma yol kavşağı karşısı
26	Porfirik bazaltik andezit	K41° 22' 829'' D31° 57' 352''	Zong.-Devrek 18. km, Beycuma yol kavşağı karşısı
27	Granit	K41° 14' 783'' D32° 10' 073''	Yenice- Kayabaşı mevki
28	Dolomitik kireçtaşı	K41° 11' 538'' D32° 26' 060''	Zong. Filyos arası
29	Dolomit	K41° 11' 538'' D32° 26' 060''	Zong. Filyos arası
30	Bazaltik andezit	K41° 16' 481'' D32° 09' 764''	Zong. – Yenice arası 50. km
31	Marn	K41° 22' 620'' D31° 57' 499''	Zong. – Devrek Karaman Mevkii
32	Kumtaşı (İnce taneli)	-	TTK Armutçuk Müessesesi döküm sahası



Şekil 4.1 Örnek alım yerleri.

4.2 DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Araziden alınan kaya blokları Maden Mühendisliği ZEDEM Uygulamalı Kaya Mekaniği Laboratuvar'ına getirilmiştir. Araziden alınmış şekilsiz boyuttaki değişik kaya bloklarından karot alma makinesinde (Şekil 4.2) NX karot boyutunda yaklaşık 54 mm çapında örnekler alınmıştır. Bu örnekler yaklaşık 30 mm yükseklikte taş kesme (Şekil4.3) makinasında kesilmiştir. Daha sonra örnek yüzeyleri zımpara düzeltme makinasında düzeltilmiştir. Böylece hem Cerchar aşınma indeks deneyinde hem de Sievers minyatür delme deneyinde kullanılacak örnekler hazırlanmıştır.



Şekil 4.2 Karot alma makinası.



Şekil 4.3 Taş kesme makinası.

Kayaçların yoğunlukları karot şeklindeki örneklerin boyutları ölçülüp ortalamaları alınarak hacimleri ve tartılarak da kütleleri bulunmuştur. Bu iki büyüklüğün oranından kayaçların yoğunlukları tespit edilmiştir. Delme oranı indeksi deneyinde dayanım deneyi sonucu kırılmış olan kayaç malzemesi kullanılmıştır. Karot rnekleri ve kırılan malzeme, $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de ortalama $\% 40 \pm 2$ nemli ortamda saklanmıştır. Özellikle delme oranı indeks deneyleri bu koşullarda yapılmıştır.

4.3 DELME ORANI İNDEKS DENEYİ

Delme oranı indeks deneyi Bölüm 2.4’de de belirtildiği gibi kırılmalık deneyi (S_{20}) ve Sievers minyatür delme deneyi (SJ) sonuçlarına bağlı olarak bulunmaktadır.

Dayanım deneyleri sonucu kırılan kayaç malzemesi önce neleri arası ayarlanmış (yaklaşık 13.6 mm) olan öneli kırıcıdan geçirilerek kırılmıştır. Daha sonra 16 mm, 11.2 mm ve 1 mm ‘lık açıklıklara sahip eleklerin bulunduğu eleme makinasında elenmiştir (şekil 4.4).

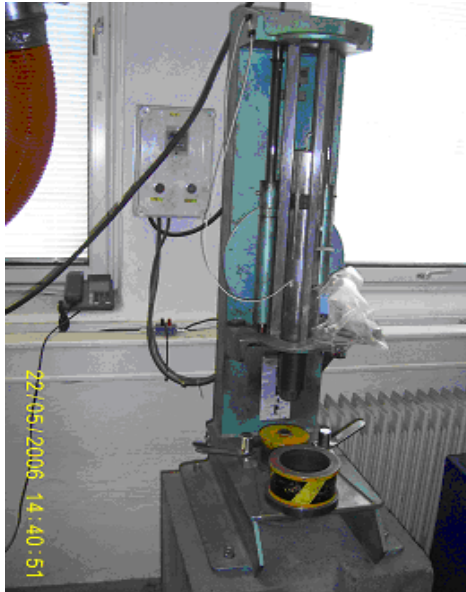


şekil 4.4 Eleme makinası.

4.3.1 Kırılgnlık Deneyi (S₂₀)

Bu deneyde 11.2 mm -16 mm boyut aralığndaki kırılmış malzeme kullanılmıştır. Şekil 4.5.a' da orijinali SINTEF Araştırma Merkezi'nde (Norveç) bulunan alet Şekil 4.5.b' de ise kullanılan deney aletinin resimleri görölmektedir. Her kayacın kırılgnlık deneyi Bölüm 2.4.1'de anlatılan standartlara göre yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.2'de, detaylı sonuçlar ise Ek Açıklamalar A'da verilmiştir. Kırılgnlık deneyinde kayaçların sıkışabilirlik indeksine de bakılmıştır (Dahl 2003). Buna göre;

Sıkışabilirlik indeksi 0 ise:	Sıkışma yok. Havadaki bütün malzeme kendiliğinden dökölmekte.
Sıkışabilirlik indeksi 1 ise:	Çok az sıkışma var. Havadaki malzemenin bir kısmı dökölmez. Kalan malzeme parmakla kolayca dökölmekte.
Sıkışabilirlik indeksi 2 ise:	Sıkışmış malzeme. Havadaki malzemenin çok az miktar dökölmekte. Kalan malzeme ise bir ağaç veya metal bir çubukla boşaltılabilir.
Sıkışabilirlik indeksi 3 ise:	Çok fazla sıkışmış malzeme. Havadaki malzemenin tamamı boşalmamakta, havan içindeki malzeme ucu bilenmiş bir bir çubuk yardımıyla alınabilir.



a. Orijinal S₂₀ deney aleti



b. Kullanılan S₂₀ deney aleti

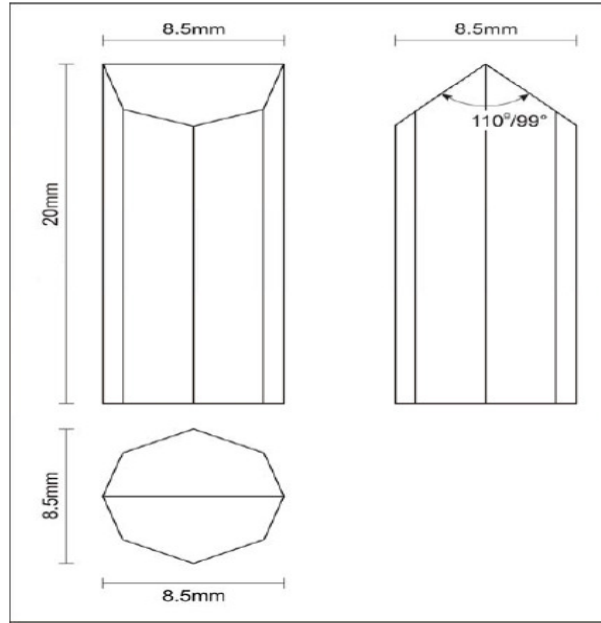
Şekil 4.5 Kırılgnlık deney aleti resimleri.

Çizelge 4.2 Kırılgenlik deney sonuçları (S_{20}) ve sınıflaması (Yaralı vd. 2008).

No	Örnek Adı	S_{20}	Sınıfı
1	Kuvarsit	52.45	Yüksek
2	Kireçtaşı	47.37	Orta
3	Diyabaz (açık gri)	37.35	Düşük
4	Diyabaz (koyu gri)	49.94	Orta
5	Granodiorit	65.65	Çok yüksek
6	Kumtaşı	54.71	Yüksek
7	Silttaşı	46.63	Orta
8	Kireçtaşı	57.70	Yüksek
9	Siyenit	41.52	Orta
10	Dolomit	69.47	Oldukça yüksek
11	Porfirik bazaltik andezit	40.79	Düşük
12	Porfirik bazaltik andezit	50.87	Orta
13	Bazaltik andezit	42.53	Orta
14	Dolerit	26.60	Oldukça düşük
15	Alkali granit	44.19	Orta
16	Bazalt	41.32	Düşük
17	Andezitik bazalt	48.00	Orta
18	Porfirik andezit	55.26	Yüksek
19	Traki andezit	60.48	Çok yüksek
20	Bazaltik andezit	51.96	Yüksek
21	Dolomitik kireçtaşı	57.24	Yüksek
22	Bazaltik andezit	74.43	Oldukça yüksek
23	Kireçtaşı	57.44	Yüksek
24	Silttaşı (Çok ince taneli)	63.65	Çok yüksek
25	Silttaşı (Kaba taneli)	63.90	Çok yüksek
26	Porfirik bazaltik andezit	66.52	Çok yüksek
27	Granit	55.20	Yüksek
28	Dolomitik kireçtaşı	62.12	Çok yüksek
29	Dolomit	63.58	Çok yüksek
30	Bazaltik andezit	43.61	Orta
31	Marn	63.82	Çok yüksek
32	Kumtaşı (İnce taneli)	63.50	Çok yüksek

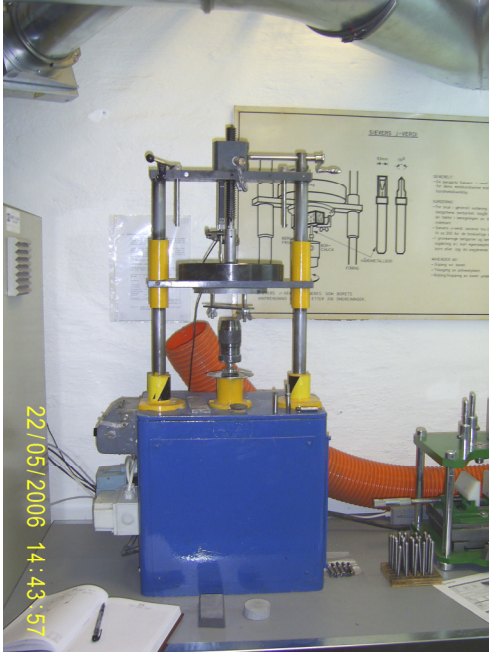
4.3.2 Sievers Minyatür Delme Deneyi

Bu deneyde özel geometride bilenmiş tungsten karbit uç (Şekil 4.6) bir dakikalık sürede 200 devirde dönmesi sonucu kayaç örneği delinir. Bu çalışmada NX çapında (yaklaşık 54 mm) karot örnekler kullanılmıştır. Örnekler yaklaşık 30 mm kalınlığında ve alt ve üst yüzeyleri 0.02 mm' ye kadar düzgün olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneyler Bölüm 2.4.2'de anlatılan standartlara uygun olarak yapılmıştır. Her bir kayaç örneği 7 kez delinmiştir. Delik uzunlukları bir elektronik kumpas ile ölçülmüştür.



Şekil 4.6 SJ deneyinde kullanılan özel uçlar ile geometrisi.

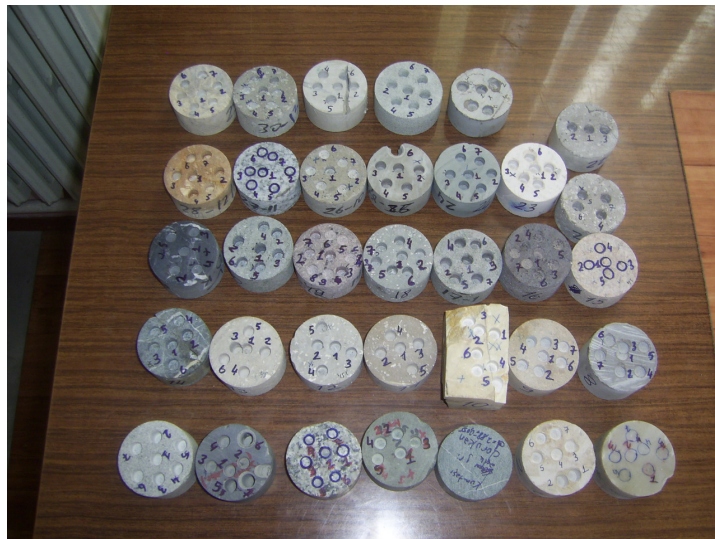
Şekil 4.7.a' da orijinali SINTEF Araştırma Merkezi'nde (Norveç) bulunan alet, Şekil 4.7.b' de ise Bölümümüz Maden Mekanizasyonu Laboratuvarı'nda bulunan aletin resimleri görülmektedir. Çizelge 4.3'de deney sonuçları ile sınıflaması verilmiştir. Şekil 4.8'de ise delinmiş kayaç resimleri görülmektedir.



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

b.Bölümümüzde kullanılan SJ deney aleti.

Şekil 4.7 Sievers minyatür delme (SJ) deney aletinin görünümü.



Şekil 4.8 SJ deneyinde kullanılmış olan örnek kayaçlar.

Çizelge 4.3 Sievers minyatür delme (SJ) deney sonuçları ve sınıflaması (Yaralı vd. 2008).

No	Örnek Adı	SJ	Sınıfı
1	Kuvarsit	2.42 ± 0.16	Çok düşük
2	Kireçtaşı	60.80 ± 4.75	Çok yüksek
3	Diyabaz (açık gri)	50.43 ± 6.85	Yüksek
4	Diyabaz (koyu gri)	87.72 ± 1.61	Oldukça yüksek
5	Granodiorit	13.20 ± 1.50	Orta
6	Kumtaşı	96.90 ± 1.29	Oldukça yüksek
7	Silttaşı	133.39 ± 7.27	Oldukça yüksek
8	Kireçtaşı	67.84 ± 1.05	Çok yüksek
9	Siyenit	56.91 ± 1.39	Çok yüksek
10	Dolomit	89.73 ± 1.30	Oldukça yüksek
11	Porfirik bazaltik andezit	102.57 ± 0.57	Oldukça yüksek
12	Porfirik bazaltik andezit	103.68 ± 0.42	Oldukça yüksek
13	Bazaltik andezit	80.46 ± 0.36	Çok yüksek
14	Dolerit	55.72 ± 2.12	Yüksek
15	Alkali granit	3.10 ± 0.26	Çok düşük
16	Bazalt	36.98 ± 4.70	Orta
17	Andezitik bazalt	119.71 ± 1.88	Oldukça yüksek
18	Porfirik andezit	91.53 ± 1.47	Oldukça yüksek
19	Traki andezit	39.07 ± 2.94	Yüksek
20	Bazaltik andezit	91.73 ± 3.31	Oldukça yüksek
21	Dolomitik kireçtaşı	32.18 ± 0.46	Yüksek
22	Bazaltik andezit	103.68 ± 0.25	Oldukça yüksek
23	Kireçtaşı	75.03 ± 0.86	Çok yüksek
24	Silttaşı (İnce taneli)	76.51 ± 0.29	Çok yüksek
25	Silttaşı (Kaba taneli)	94.30 ± 0.45	Oldukça yüksek
26	Porfirik bazaltik andezit	28.84 ± 1.51	Yüksek
27	Granit	4.63 ± 0.27	Düşük
28	Dolomitik kireçtaşı	91.68 ± 0.77	Oldukça yüksek
29	Dolomit	84.10 ± 1.48	Çok yüksek
30	Bazaltik andezit	41.96 ± 2.71	Yüksek
31	Marn	85.28 ± 1.46	Çok yüksek
32	Kumtaşı (İnce taneli)	122.93 ± 0.88	Oldukça yüksek

4.3.3 Delme Oranı İndeksinin (DRI) Değerlendirilmesi

Delme oranı indeksi Şekil 2.3’de verilen diyagram kullanılarak bulunur. Diyagram üzerinde kırılgenlik değeri (S_{20}) deneyinden elde edilen değer ve Sievers minyatür delme (SJ) deneyinden elde edilen değerle kesiştirilerek DRI değeri tespit edilir. Çizelge 4.4’de delme oranı indeks deney sonuçları ile Çizelge 2.6’ya göre sınıflaması verilmiştir.

Çizelge 4.4 Kayaçların delme oranı indeks (DRI) değerleri ile sınıflaması (Yaralı vd. 2008).

No	Örnek Adı	SJ	S ₂₀	DRI	Sınıfı
1	Kuvarsit	2.42 ± 0.16	52.45	45	Orta
2	Kireçtaşı	60.80 ± 4.75	47.37	58	Yüksek
3	Diyabaz (açık gri)	50.43 ± 6.85	37.35	48	Orta
4	Diyabaz (koyu gri)	87.72 ± 1.61	50.00	61	Yüksek
5	Granodiorit	13.20 ± 1.50	65.65	66	Yüksek
6	Kumtaşı	96.90 ± 1.29	54.71	69	Yüksek
7	Silttaşı	133.39 ± 7.27	46.63	65	Yüksek
8	Kireçtaşı	67.84 ± 1.05	57.70	68	Yüksek
9	Siyenit	56.91 ± 1.39	41.52	51	Orta
10	Dolomit	89.73 ± 1.30	69.47	76	Çok yüksek
11	Porfirik bazaltik andezit	102.57 ± 0.57	40.79	55	Orta
12	Porfirik bazaltik andezit	103.68 ± 0.42	50.87	65	Yüksek
13	Bazaltik andezit	80.46 ± 0.36	42.53	52	Orta
14	Dolerit	55.72 ± 2.12	26.60	35	Düşük
15	Alkali granit	3.10 ± 0.26	44.19	39	Düşük
16	Bazalt	36.98 ± 4.70	41.32	46	Orta
17	Andezitik bazalt	119.71 ± 1.88	48.00	64	Yüksek
18	Porfirik andezit	91.53 ± 1.47	55.26	69	Yüksek
19	Traki andezit	39.07 ± 2.94	60.48	60	Yüksek
20	Bazaltik andezit	91.73 ± 3.31	51.96	63	Yüksek
21	Dolomitik kireçtaşı	32.18 ± 0.46	57.24	63	Yüksek
22	Bazaltik andezit	103.68 ± 0.25	74.43	86	Oldukça yüksek
23	Kireçtaşı	75.03 ± 0.86	57.44	68	Yüksek
24	Silttaşı (Çok ince taneli)	76.51 ± 0.29	63.65	74	Çok yüksek
25	Silttaşı (Kaba taneli)	94.30 ± 0.45	63.90	74	Çok yüksek
26	Pofirik bazaltik andezit	28.84 ± 1.51	66.52	71	Çok yüksek
27	Granit	4.63 ± 0.27	55.20	56	Orta
28	Dolomitik kireçtaşı	91.68 ± 0.77	62.12	73	Çok yüksek
29	Dolomit	84.10 ± 1.48	63.58	75	Çok yüksek
30	Bazaltik andezit	41.96 ± 2.71	43.61	50	Orta
31	Marn	85.28 ± 1.46	63.82	72	Çok yüksek
32	Kumtaşı (İnce taneli)	122.93 ± 0.88	63.50	80	Çok yüksek

4.4 AŞINDIRICILIK DENEYLERİ

Bu çalışma kapsamında kayaçların aşındırıcılıkları Norveç aşınma deneyi (Abrasion Value, AV) ve Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi ile bulunmuştur. Bu bölümde, bu aşınma deneyleri kısaca anlatılmış ve deney sonuçları verilmiştir.

4.4.1 Norveç Aşınma Deneyi

Bu deney Bölüm 3.6’da anlatıldığı şekilde 32 farklı kayaç örneği için yapılmıştır.

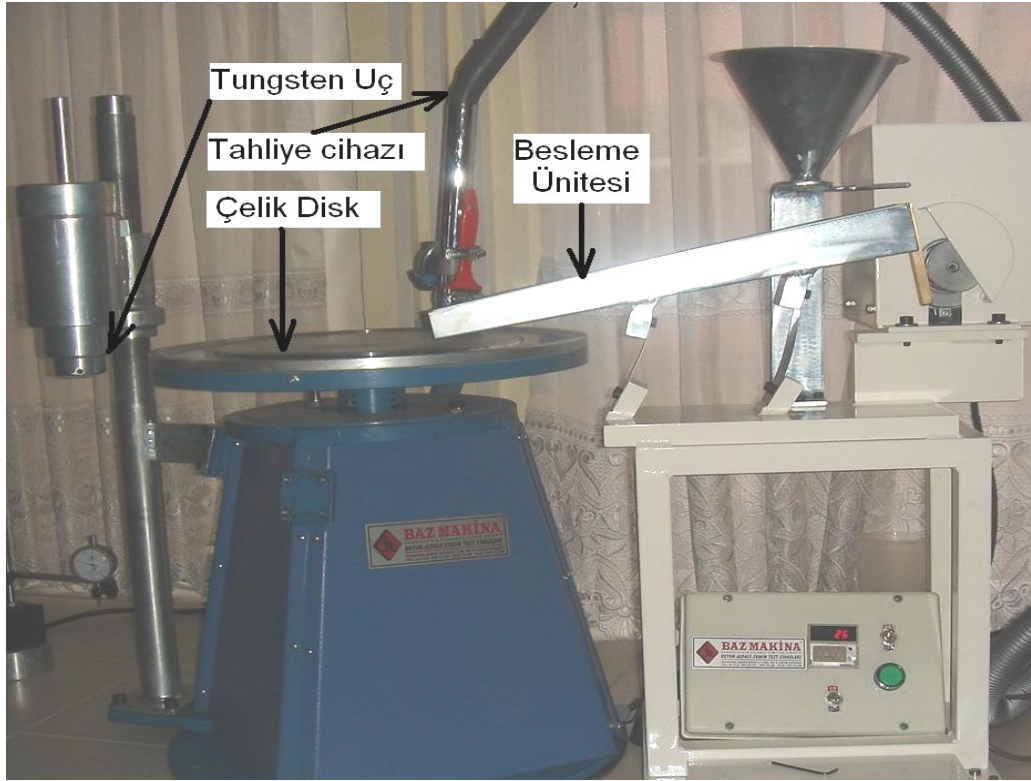
4.4.1.1 Norveç Aşınma Deney Aletinin Tanıtılması

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi (ZKÜ) Maden Mühendisliği Bölümü Maden Mekanizasyonu Uygulama Laboratuvarında bulunan Norveç aşınma deney aleti TÜBİTAK Projesi (No: 104M437) kapsamında Ankara OSTİM’de BAZ Makine Şirketine yaptırılmıştır (Şekil 4.9).

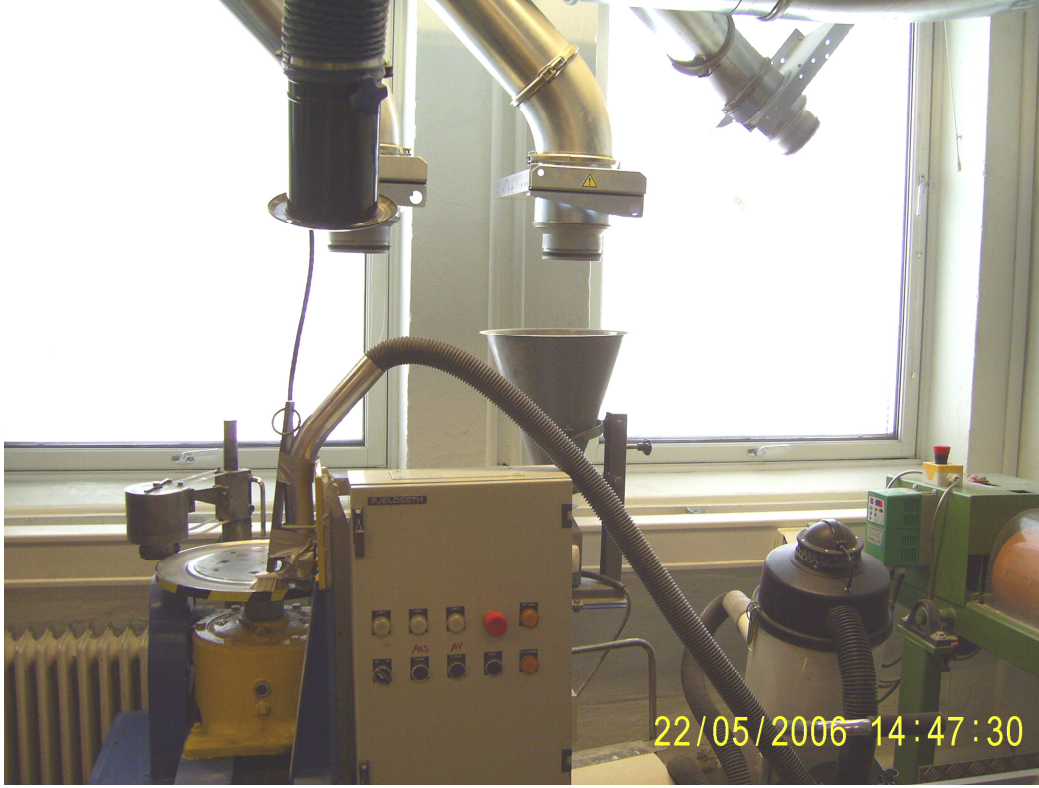
Bu deney yöntemindeki deney aletlerinin aslı Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi SINTEF Kayaç ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında (Norwegian University of Science and Technology (NTNU) SINTEF Rock and Soil Mechanics) bulunmaktadır (Şekil 4.10).

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 numaratör yardımıyla istenilen sayıda olabilmektedir.

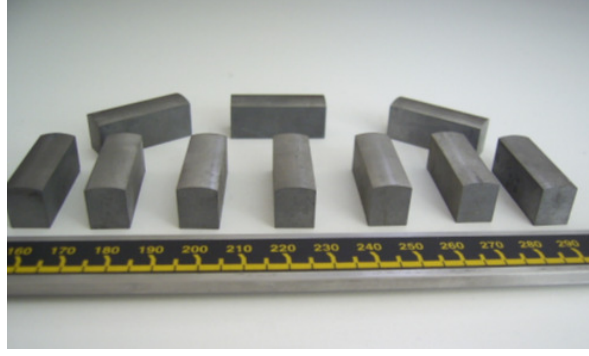
Orijinal deney aletinde ağırlık sadece 10 kg ile sınırlı iken yaptırılan deney aletinde ağırlık 8 kg’dan başlayarak istenilen ağırlıklara kadar artırılabilir. Yeni aletteki bu tür değişiklikler ile farklı ağırlıklarda, farklı tane boyutlarında, farklı devirlerde, farklı tur sayısında aşınma miktarı değişimleri incelenebilmektedir. Şekil 4.11’de Norveç aşınma deneyinde kullanılan uçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Yaptırılan Norveç aşınma deney düzeneği.



Şekil 4.10 Norveç'teki orijinal Norveç aşınma deney aleti.



Şekil 4.11 Norveç aşınma deneyinde kullanılan uçlar.

4.4.1.2 Örneklerinin Hazırlanması

Örneklerin kırılma işlemi Bölüm 3.7.1 'de önerilen işlem sırası dikkate alınarak yapılmıştır. Boyut küçültme üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak karot örnekleri 10 mm açıklığa ayarlanmış çeneli kırıcıdan geçirilmiştir (Şekil 4.12). Daha sonra malzeme, 3-4 mm aralığındaki konik kırıcıya (Şekil 4.13) beslenmiş ve elek altı 1 mm boyutlu elekte elle elenmiştir. 1 mm < olan malzeme bir tepsiye konularak bir tarafta bekletilmiştir. > 1 mm olan malzeme merdaneli kırıcıya (Şekil 4.14) beslenmiştir.

Merdaneli kırıcıdan alınan malzeme yine 1 mm'lik elek aralığındaki elekte enlemiş 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.



Şekil 4.12 Çeneli kırıcı.



Şekil 4.13 Konili kırıcı.



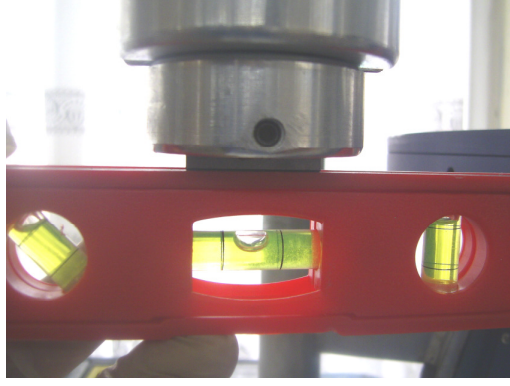
Şekil 4.14 Merdaneli kırıcı.

4.4.1.3 Norveç Aşınma Deneyinin Yapılması

Bu deneyin yapılmasında Bölüm 3.7.2’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 4.15).



Şekil 4.15 Ucun yatay konumda ağırlığa bağlanması durumu.

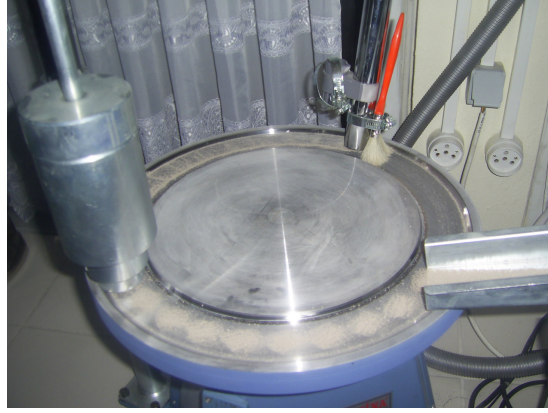
- Deney ucunun yüzeyi çelik disk tabla ile aynı hizada ve yatay konumda olmasına dikkat edildi (Şekil 4.16). Ağırlık çelik disk tabla üzerine hafifçe yerleştirildi.



Şekil 4.16 Ucun ve ağırlığın çelik tabla yüzeyindeki konumu.

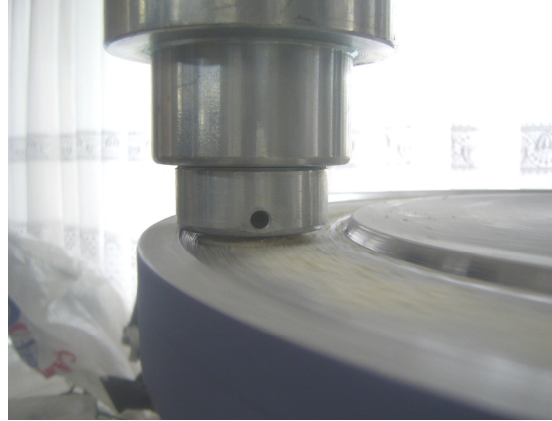
- Deneye başlamadan önce numaratörden 5 dakika için toplam 100 devirde dönem yapılması ayarlandı. Önce emme tertibatı sonra titreşimli besleme ünitesi çalıştırıldı. Son olarak da çelik disk tabla döndürülmeye başlandı.

- Beslenen malzemenin disk üzerindeki kanalda ince ve düzgün yayılı olup olmadığı deney sırasında kontrol edildi (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Aşındırıcı toz malzemenin disk tabla üzerindeki yayılımı.

- 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 (Şekil 4.18). Ayrıca deney sırasında deney ucunun çelik disk üzerinde açılmış olan kanalın ortasında çalıştığından emin olmak için sürekli takip edildi.



Şekil 4.18 Malzeme akışının ucun ön tarafındaki durumu.

- Deney sırasında aşındırıcı malzemenin ucun altından geçip geçmediği de kontrol edildi (Şekil 4.19).

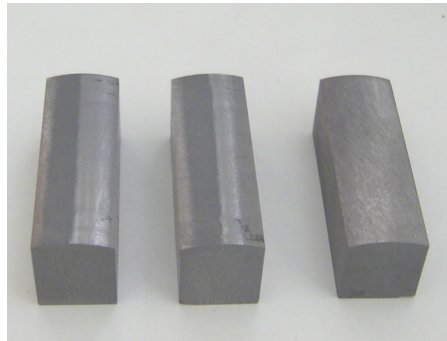
- Deney bittikten sonra tungsten karbid uç ağırlıktan söküldü ve tartılmadan önce suyla yıkandı ve basınçlı hava ile kurutuldu.



Şekil 4.19 Aşındırıcı malzemenin disk tabla üzerindeki durumu.

- Yukarıdaki işlem kayacın durumuna göre her kayaç için 2 veya 4 kez tekrarlandı. Deneyler arasında ± 5 birimlik fark olması durumuna bakılarak deney tekrar durumu belirlendi.
- Her kayaç için tekrarlanan deney sayısına göre uçtaki ağırlık kaybının miligram cinsinden aritmetik ortalaması olarak hesaplandı. Böylece kayacın aşınma miktarı değeri bulundu.

Norveç aşınma deneyinde her kayaç örneği için deney en az iki kez tekrar edilmiştir. Sadece 1 nolu kuvarsit ve 13 nolu andezit için 3 kez, 6 ve 29 nolu kumtaşı ve dolomit örnekleri için 4 kez tekrar edilmiştir. Her deneyde yeni uç kullanılmıştır. Şekil 4.20’de aşınmış ve kullanılmamış uçların resimleri gösterilmektedir. Norveç aşınma deney sonuçları ile aşınma sınıflaması Çizelge 4.5’de, detaylı sonuçlar ise Ek Açıklamalar B’de verilmiştir.



Şekil 4.20 Norveç aşınma deneyinde kullanılan aşınmış ve kullanılmamış uçlar.

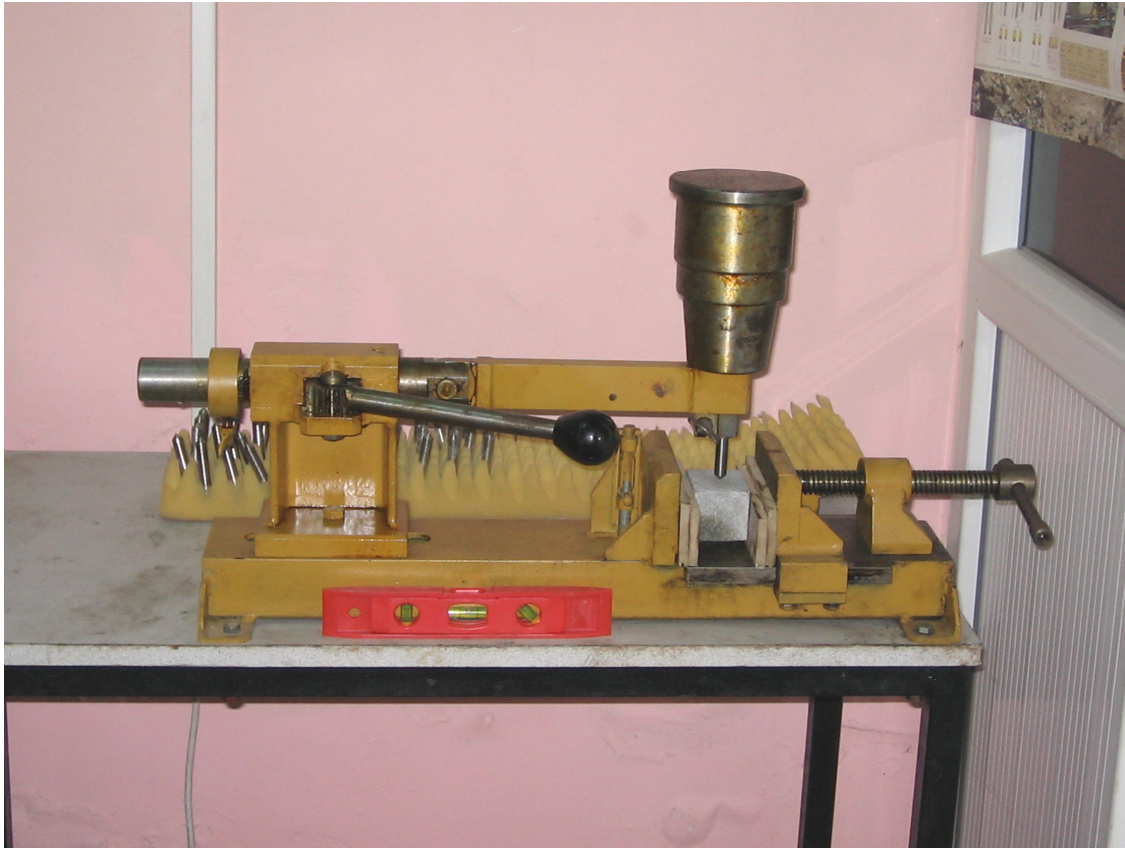
Çizelge 4.5 Norveç aşınma deney sonucu ile aşınma sınıflaması.

No	Örnek Adı	Norveç Aşınma Deneyi	Sınıfı
1	Kuvarsit	90.00	Oldukça yüksek
2	Kireçtaşı	1.50	Çok düşük
3	Diyabaz (açık gri)	2.00	Çok düşük
4	Diyabaz (koyu gri)	0.50	Oldukça düşük
5	Granodiorit	11.50	Orta
6	Kumtaşı	12.00	Orta
7	Silttaşı	0.10	Oldukça düşük
8	Kireçtaşı	0.50	Oldukça düşük
9	Siyenit	3.00	Çok düşük
10	Dolomit	0.50	Oldukça düşük
11	Porfirik bazaltik andezit	1.50	Çok düşük
12	Porfirik bazaltik andezit	2.50	Çok düşük
13	Bazaltik andezit	3.00	Çok düşük
14	Dolerit	4.00	Düşük
15	Alkali granit	16.50	Orta
16	Bazalt	1.50	Çok düşük
17	Andezitik bazalt	2.00	Çok düşük
18	Porfirik andezit	0.50	Oldukça düşük
19	Traki andezit	3.50	Düşük
20	Bazaltik andezit	3.00	Çok düşük
21	Dolomitik kireçtaşı	0.50	Oldukça düşük
22	Bazaltik andezit	1.50	Çok düşük
23	Kireçtaşı	1.50	Çok düşük
24	Silttaşı (Çok nce taneli)	0.50	Oldukça düşük
25	Silttaşı (Kaba taneli)	0.50	Oldukça düşük
26	Porfirik bazaltik andezit	2.50	Çok düşük
27	Granit	20.00	Orta
28	Dolomitik kireçtaşı	0.50	Oldukça düşük
29	Dolomit	0.75	Oldukça düşük
30	Bazaltik andezit	3.00	Çok düşük
31	Marn	1.00	Oldukça düşük
32	Kumtaşı (İnce taneli)	4.00	Düşük

Çizelge 4.5'e bakıldığında Zonguldak Bölgesine ait sedimanter ve magmatik kökenli kayaçların Norveç aşınma deneyine göre düşük aşındırıcılığa sahip olduğu görülmektedir. Sadece granit örnekleri (örnek no: 5, 15 ve 27) ile kuvars içeriği fazla olan 6 nolu kumtaşı örneklerinin aşınmaları orta düzeydedir.

4.4.2 Cerchar Aşınma İndeks Deneyi

Kayaçların aşındırıcılıkları belirlemek için Cerchar aşınma indeks deney aleti (Şekil 4.21) kullanılmıştır. Kayaç örnekleri üzerindeki çizme işlemi, her defasında yeni bir uçla (Şekil 4.22) farklı yönlerde gerçekleştirilmiştir. Konik uçların uç kısımlarında oluşan aşınma yüzeyinin çapı ışık yansımali 25X büyütme mikrometre ölçekli binoküler mikroskop (Şekil 4.23) altında ölçülmüştür. 1/10 mm'lik aşınma yüzeyi bir birim Cerchar aşınma indeksi olarak kabul edilmiştir. Böylece, kayaçlara ait Cerchar aşınma indeks değeri 5 çizimin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Şekil 4.24'de mikroskop altında aşınmış bir ucun görünümü verilmiştir. Cerchar aşınma indeks deneyi yapılmış 32 kayaca ait örnekler Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Çizelge 4.6' da incelenen 32 kayaca ait Cerchar aşınma indeks deney sonuçları ile aşındırıcılık sınıflaması verilmiştir.



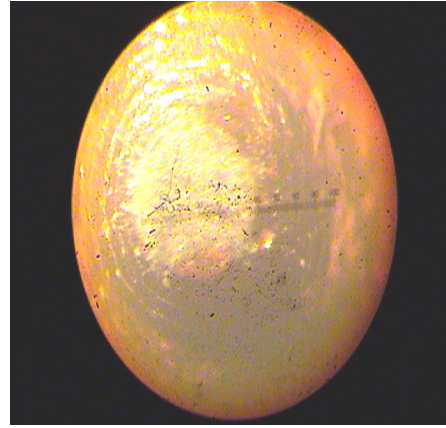
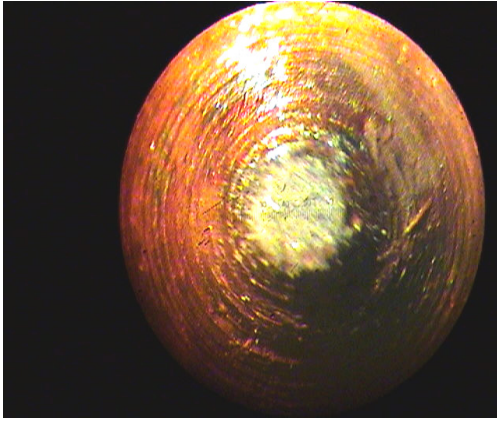
Şekil 4.21 Cerchar aşınma indeks deney aleti.



Şekil 4.22 Konik uçlar.



Şekil 4.23 Binoküler mikroskop.



Şekil 4.24 Mikroskop altında aşınmış bir ucun görünüşü.



Şekil 4.25 CAI deneylerinde kullanılan kayaç örnekleri resmi.

Çizelge 4.6 Kayaçların Cerchar aşınma indeks deney sonuçları ile aşındırıcılık sınıflaması.

No	Örnek Adı	CAI	Aşındırıcılık Sınıfı
1	Kuvarsit	4.90	Oldukça fazla aşındırıcı
2	Kireçtaşı	1.75	Aşındırıcı
3	Diyabaz (açık gri)	3.05	Çok aşındırıcı
4	Diyabaz (koyu gri)	1.40	Aşındırıcı
5	Granodiorit	4.90	Oldukça fazla aşındırıcı
6	Kumtaşı	3.50	Çok aşındırıcı
7	Silttaşı	1.55	Aşındırıcı
8	Kireçtaşı	1.30	Çok aşındırıcı
9	Siyenit	3.80	Çok aşındırıcı
10	Dolomit	1.95	Aşındırıcı
11	Porfirik bazaltik andezit	3.10	Çok aşındırıcı
12	Porfirik bazaltik andezit	2.50	Çok aşındırıcı
13	Bazaltik andezit	3.10	Çok aşındırıcı
14	Dolerit	4.15	Oldukça fazla aşındırıcı
15	Alkali granit	5.05	Oldukça fazla aşındırıcı
16	Bazalt	2.20	Çok aşındırıcı
17	Andezitik bazalt	2.60	Çok aşındırıcı
18	Porfirik andezit	1.55	Aşındırıcı
19	Traki andezit	4.60	Oldukça fazla aşındırıcı
20	Bazaltik andezit	3.80	Çok aşındırıcı
21	Dolomitik kireçtaşı	1.15	Aşındırıcı
22	Bazaltik andezit	2.55	Çok aşındırıcı
23	Kireçtaşı	1.15	Aşındırıcı
24	Silttaşı(Çok ince taneli)	0.25	Çok az aşındırıcı
25	Silttaşı (Kaba taneli)	0.45	Çok az aşındırıcı
26	Porfirik bazaltik andezit	3.20	Çok aşındırıcı
27	Granit	5.10	Oldukça fazla aşındırıcı
28	Dolomitik kireçtaşı	1.45	Aşındırıcı
29	Dolomit	1.95	Aşındırıcı
30	Bazaltik andezit	4.00	Oldukça fazla aşındırıcı
31	Marn	1.40	Aşındırıcı
32	Kumtaşı (İnce taneli)	2.15	Çok aşındırıcı

4.4.3 Aşındırıcılık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada incelenen 32 kayacın aşındırıcılıkları Cerchar aşınma indeks ve Norveç aşınma indeks deneyi ile bulunmuştur. Çizelge 4.7’ de deney sonuçları ve sınıflama aralıkları verilmiştir.

Çizelge 4.7 İncelenen kayaların aşınma değerleri ve sınıflamaları.

No	Örnek Adı	CAI	Sınıfı	AV	Sınıfı
1	Kuvarsit	4.90	Oldukça fazla aşındırıcı	90.00	Oldukça yüksek
2	Kireçtaşı	1.75	Aşındırıcı	1.50	Çok düşük
3	Diyabaz (açık gri)	3.05	Çok aşındırıcı	2.00	Çok düşük
4	Diyabaz (koyu gri)	1.40	Aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
5	Granodiyorit	4.90	Oldukça fazla aşındırıcı	11.50	Orta
6	Kumtaşı	3.50	Çok aşındırıcı	12.00	Orta
7	Çok ince taneli silttaşı	1.55	Aşındırıcı	0.10	Oldukça düşük
8	Kireçtaşı	1.30	Çok aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
9	Siyenit	3.80	Çok aşındırıcı	3.00	Çok düşük
10	Dolomit	1.95	Aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
11	Andezit (Koyu Renk)	3.10	Çok aşındırıcı	1.50	Çok düşük
12	Andezit (Açık Renk)	2.50	Çok aşındırıcı	2.50	Çok düşük
13	Andezit (Açık Renk)	3.10	Çok aşındırıcı	3.00	Çok düşük
14	Dolerit	4.15	Oldukça fazla aşındırıcı	14.00	Orta
15	Alkali granit	5.05	Oldukça fazla aşındırıcı	16.50	Orta
16	Bazalt	2.20	Çok aşındırıcı	1.50	Çok düşük
17	Andezitik bazalt	2.60	Çok aşındırıcı	2.00	Çok düşük
18	Porfirik andezit	1.55	Aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
19	Traki andezit	4.60	Oldukça fazla aşındırıcı	3.50	Düşük
20	Bazaltik andezit	3.80	Çok aşındırıcı	3.00	Çok düşük
21	Dolomitik kireçtaşı	1.15	Aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
22	Bazaltik andezit	2.55	Aşındırıcı	1.50	Çok düşük
23	Kireçtaşı	1.15	Aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
24	Silttaşı (Çok ince taneli)	0.25	Çok az aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
25	Silttaşı (Kaba taneli)	0.45	Çok az aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
26	Porfirik bazaltik andezit	3.20	Çok aşındırıcı	2.50	Çok düşük
27	Granit	5.10	Oldukça fazla aşındırıcı	20.00	Orta
28	Dolomitik kireçtaşı	1.45	Aşındırıcı	0.50	Oldukça düşük
29	Dolomit	1.95	Aşındırıcı	0.75	Oldukça düşük
30	Bazaltik andezit	4.00	Oldukça fazla aşındırıcı	3.00	Çok düşük
31	Marn	1.40	Aşındırıcı	1.00	Oldukça düşük
32	Kumtaşı (İnce taneli)	2.15	Çok aşındırıcı	4.00	Düşük

Çizelge 4.7 incelendiğinde iki farklı aşınma yöntemi için önerilen sınıflama aralığının da birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Sadece 1 nolu kuvarsit örneği için her iki yöntemde oldukça fazla aşındırıcı kabul edilirken, 5 nolu granodiyorit örneğinde durum farklıdır. Benzer durum dolomit örneklerinde de görülmektedir. CAI'ya göre aşındırıcı olan dolomit örnekleri Norveç aşınma deneyine göre oldukça düşük aşınma değeri söz konusudur. Bu iki aşınma deney yöntemine, hem deneyin yapılışında izlenen yol açısından hem de değerlendirme açısından bakıldığında her ikisinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Ancak her iki yöntemin kullanıldığı tahmin modellerindeki yeri açısından bakıldığında kayaçların aşındırıcılıklarını önceden tahmin edilmesinde faydalı oldukları söylenebilmektedir.

Kireçtaşlarında izlenen mikrotaneli (mikritik) çimento karbonatlı kayaçlar için karakteristiktir. Taneler 0.01-0.1 mm tane boylarında olup, eş boyutlu (ispganuler) birbirleriyle iyi tutturulmuşlardır. Ayrıca bu kayaçlarda sıkça izlenen bir diğer dokusal özellik olan kontakt çimentosunda kristal taneleri birbirlerine değimli ve bağlı, mikrotaneli ve boşluksuz oluşu dayanımı arttıran bir özellik olarak belirir. Fosilli biyomikritik, biyosparitik, organizma kavkılı kalkerlerde (kireçtaşları) yeralan organik malzeme, kavkı zamanla ayrışıp, bozuşabilen ve ortamdan uzaklaşan mobil ürünlerdir. Bu durumda kayaç boşluklu, poröz bir karakter kazanarak, dayanımın azalmasına neden olacaktır.

Dolomitlerde (Dolotaşları) Ca, Mg CO_3 bileşimli, Mg karbonat bileşimine sahip, dolomit minerallerinden oluşmuş, karbonatlı kayaçlardır. Dolomitleşme ile birlikte (Mg getirisi ile birlikte) kayaç dokusunda kristallerde şekerimsi oluşumlar, saf dolomit kristallerinin mozoik dizilimi ile birlikte özellikle dolomitleşmenin başlangıcında karbonatlı kayaçlarda geçirgenlik azalır, kalsit ve dolomit kristalleri birbirlerine değimli ve daha iyi bağlı yapı kazanırlar. Bu da kayacın fiziksel olarak dayanımını arttıran bir özelliktir. Ayrıca Dolomitlerde Ca yerine Mg getirisi ile birlikte kayacın asit bileşimli sıvılar ile (yağış/meteorik ve yeraltı suyu) reaksiyon kabiliyeti azalır. Bu da sulara karşı kayacın çözünme ve bozuşmaya karşı dayanımını arttıran bir unsurdur.

Sonuçta dokusu içindeki kristalleri stabil özellikte, eş tane boyu ve taneleri kenetli ve değimli olan (Comb Structure) mikrotane özellikli karbonatlı kayaçların gözeneksiz ve boşluksuz oluşu, onların dayanımını arttıran bir özellik olarak belirlemektedir.

BÖLÜM 5

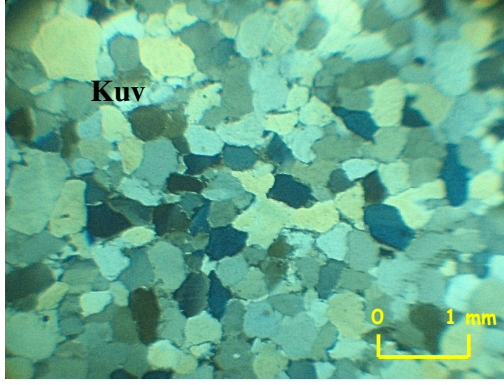
KAYAÇ ÖRNEKLERİNİN PETROGRAFİK İNCELEMELERİ

İnceleme alanı Batı Karadeniz Bölgesi, Zonguldak sınırları içerisinde yer alan Jeolojik formasyonlardan alınan çeşitli magmatik ve sedimanter ağırlıklı kayaçların bu çalışma kapsamında makroskopik ve mikroskobik olarak incelenerek, petrografik tanımlamaları yapılmıştır. Makroskopik 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 Ek Açıklamalar C’da yapılmış ve buna paralel kayaç isimlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Saha çalışmaları sırasında; yerinde, formasyonu temsil edebilecek özellikte sağlam örnek alımı, örnek alım lokasyonunun GPS (Mobil Garmin GPS cihazı) ile lokasyonunun belirlenmesi, örneklerin korunmalı olarak poşetlenmesi ve numaralandırılması, paralelinde örnek alım lokasyonu ve çevresinde izlenen kayaçların saha litolojik, yapısal ve petrografik özelliklerinin incelenerek, örnek alım haritasına işaretlenmesi ve rutin jeolojik enine kesit ve fotoğraflama gibi çalışmalar yapılmıştır.

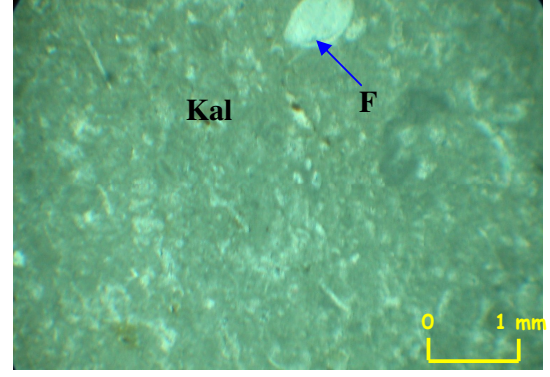
Ofis ve mikroskobik çalışmalar kapsamında ise; sahadan derlenen toplamda 32 adet örnekte kaba mikroskobik incelemeleri yapılmıştır. Mikroskobik incelemeler için her örnekten 2 şer adet olmak kaydıyla ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesit örnekleripolarizan alttan aydınlatmalı petrografi mikroskobunda (Kassel/Hertel&Reuss marka) polarize ve doğal ışık altında incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Kayaçların detaylı petrografik analiz sonuçları Ek açıklamalar C’ de özetlenmiştir ve detay inceleme sonuları Çizelge C.1’ de verilmiştir. Şekil 5.1’ de incelenen kayaçların mikroskop altındaki ince kesitlerinin fotoğrafları, Şekil 5.2’de de makroskopik boyuttaki fotoğrafları gösterilmiştir.



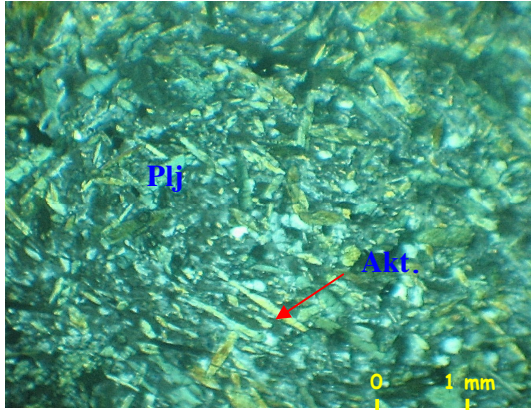
(X nikol, 4X8)

Kuv.: Kuvars
N/1 Kuvarsit



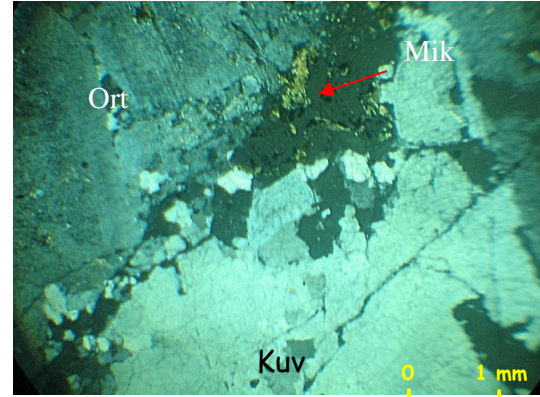
(X nikol, 4X8)

Kal: kalsit, F: Foraminifer fosili
N/2 Biyomikritik kireçtaşı



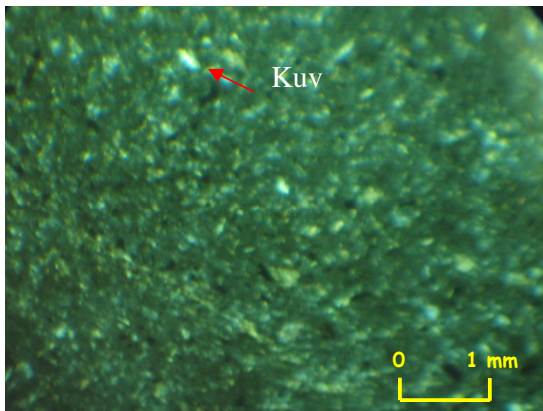
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajioeklas Akt: Aktinolit (Amfibol)
N/3 Diyabaz



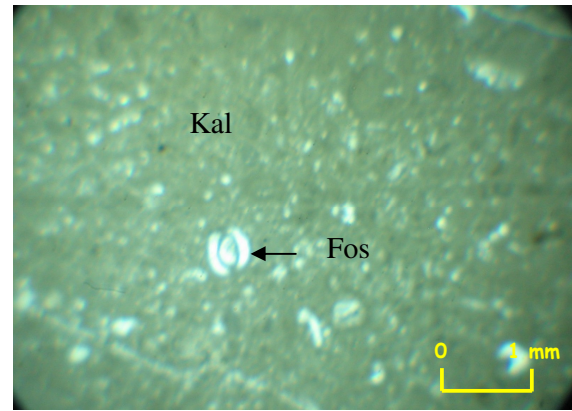
(X nikol, 4X8)

Kuv: Kuvars, Mik: Mika (Biyotit), Ort: Ortoz
N/5 Granodiyorit



(X nikol, 4X8)

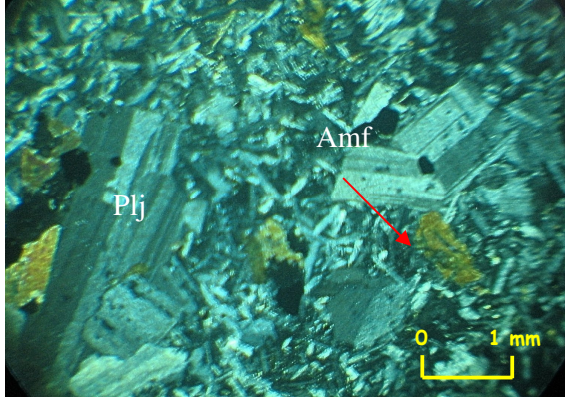
Kuv.: Kuvars
N/7 İnce taneli silttaşı



(X nikol, 4X8)

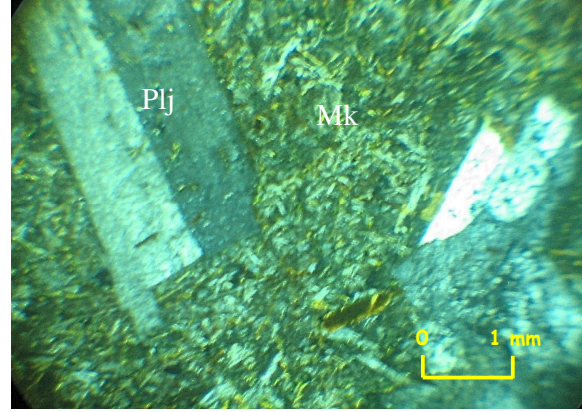
Kal: kalsit, Fos: Fosil kavrısı
N/8 Biyomikritik kireçtaşı (fosilli)

Şekil 5.1 İncelenen kayaçların mikroskop altındaki ince kesit görünüşü.



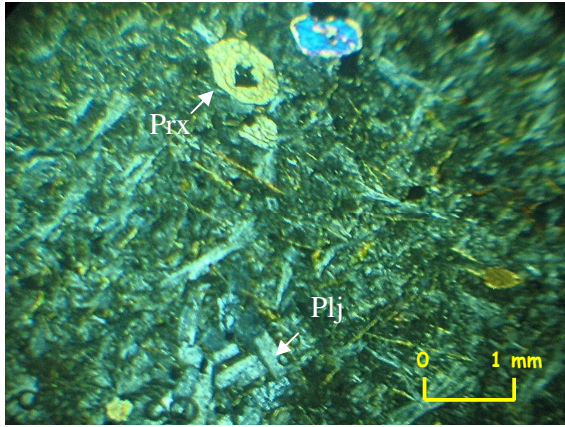
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol (hornblend)
N/9 Siyenit porfir



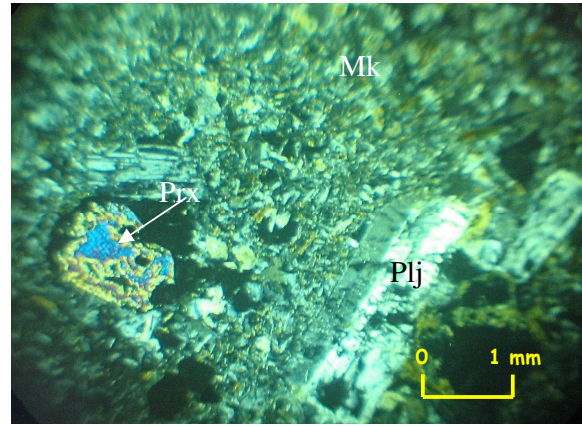
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Mk: Mikrolit
N/11 Porfirik andezit



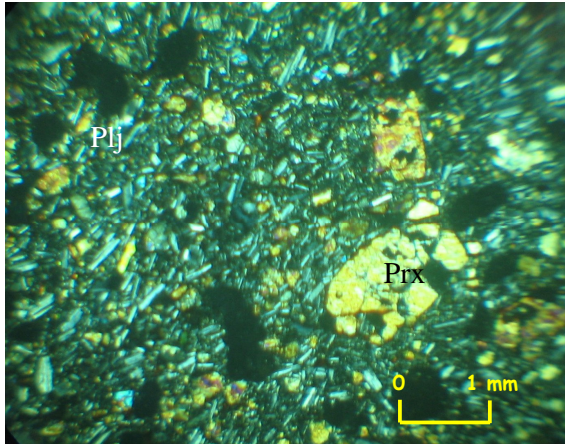
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Prx: Piroksen
N/12 Bazaltik andezit



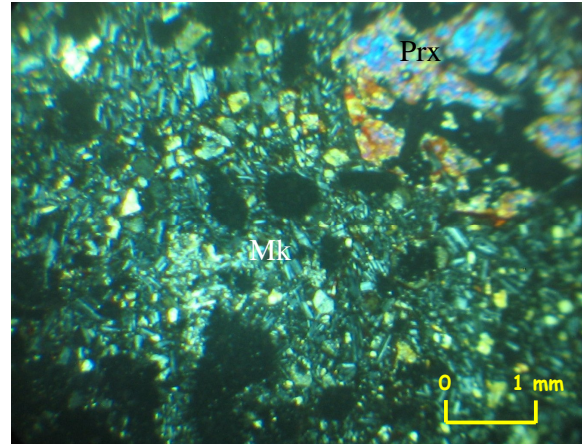
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Mi: Mikrolit, Prx: piroksen
N/13 Bazaltik andezit



(X nikol, 4X8)

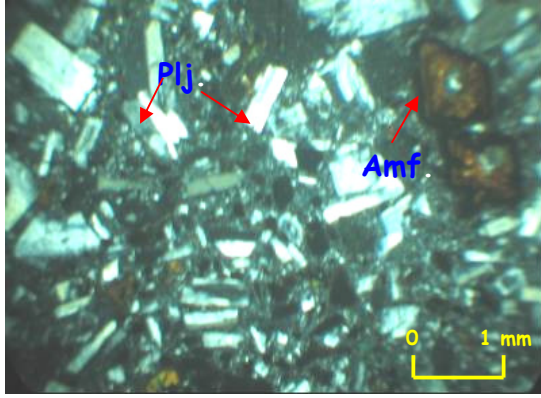
Prx: Piroksen, Plj: Plajiolklas
N/16 Bazalt



(X nikol, 4X8)

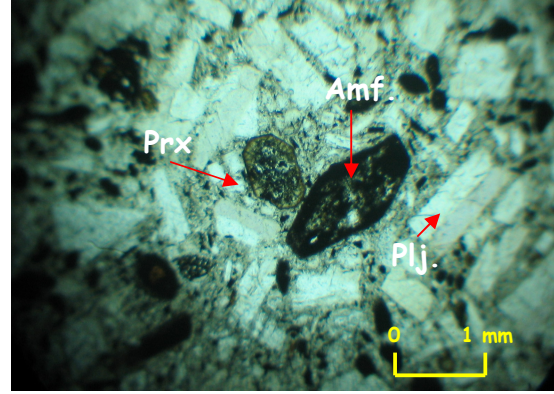
Prx: Piroksen, Mk: Mikrolitik Plajiolklas
N/16 Bazalt

Şekil 5.1 (devam ediyor).



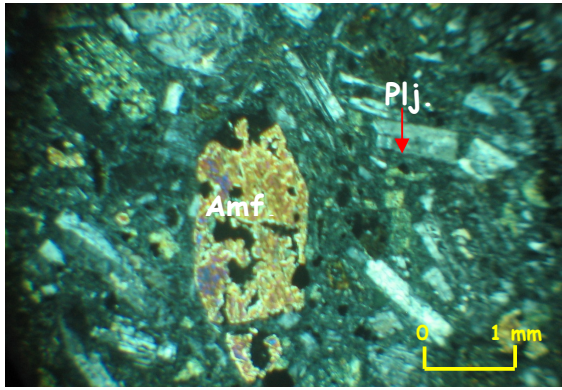
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol (Hornblend)
N/ 19 Traki-andezit



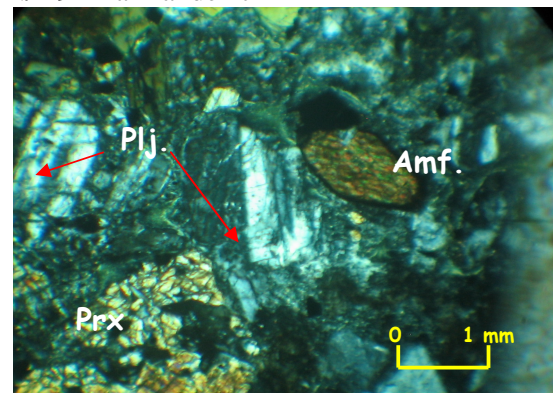
(I nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol (Hornblend)
Prx: Piroksen
N/ 19 Traki-andezit



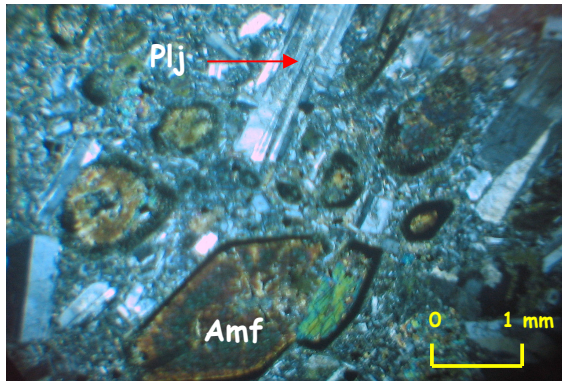
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol (Hornblend)
N/ 9 Andezitik bazalt



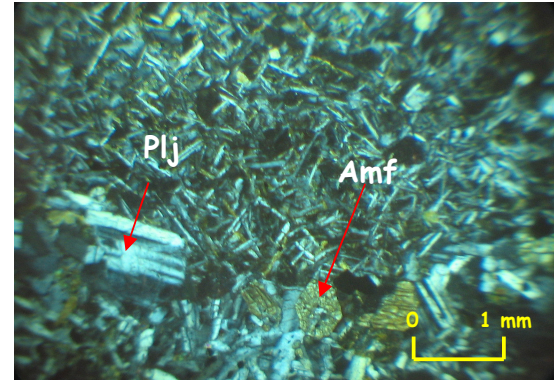
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol (Hornblend)
N/ 22 Bazaltik andezit



(X nikol, 4X8)

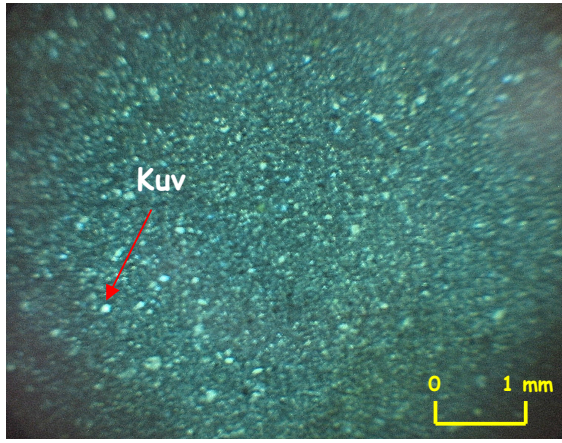
Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol (Hornblend)
N/ 20 Bazaltik andezit



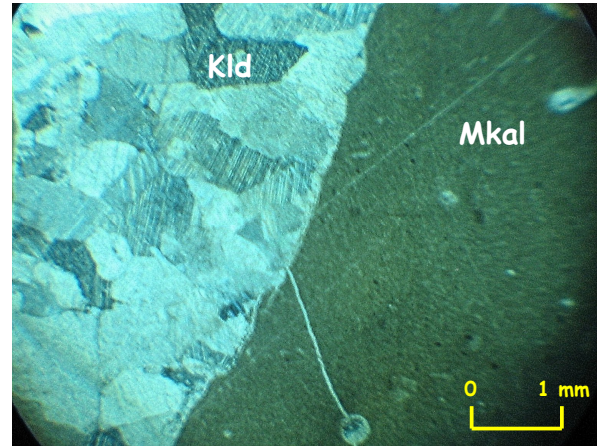
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol (Hornblend)
N/ 19 Traki-andezit

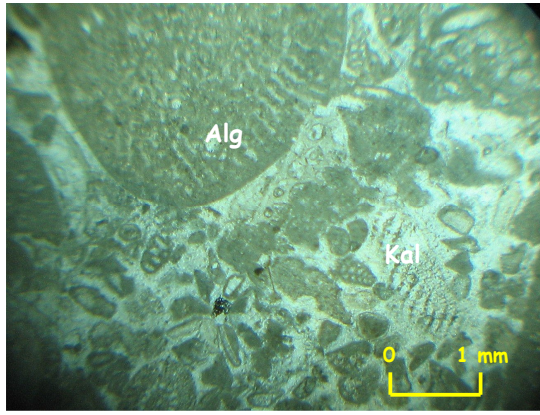
Şekil 5.1 (devam ediyor).



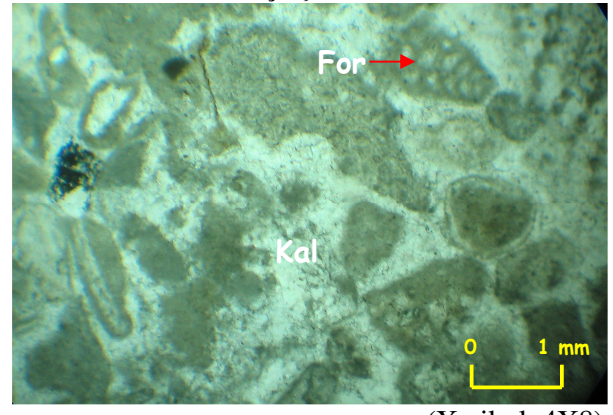
Kuv: Kuvars
N/ 24 İnce taneli silttaşı



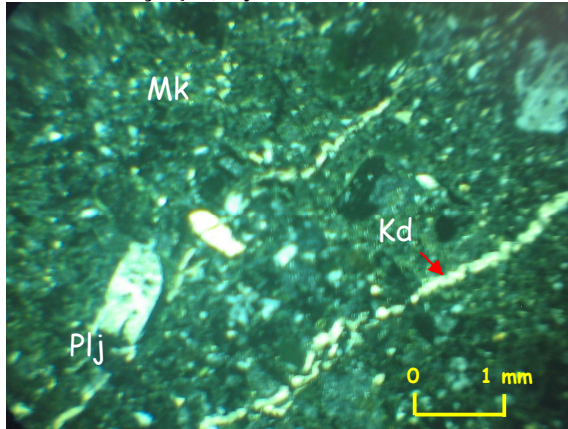
Kld: Spar Kalsit & Dolomit Mkal: Mikritik kalsit
N/ 21 Dolomitik kireçtaşı



Alg: Alg, Kal: Kalsit
N/ 23 Kireçtaşı (Biyomikritik)

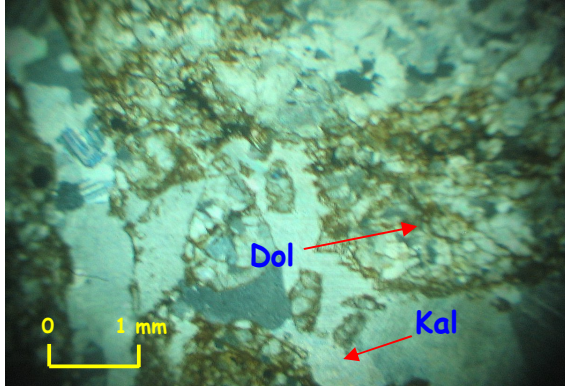


For: Foraminifer (?) , Kal: Kalsit
N/ 23 Kireçtaşı (Biyomikritik)



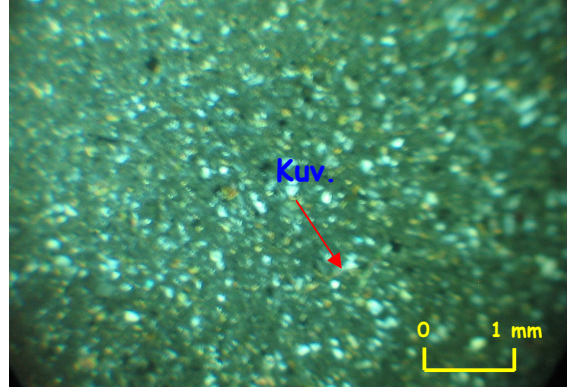
(X nikol, 4X8)
Plj: Plajiolit, Mk: Mikrolit, Kd: Kuv. damarı
N/4 Diyarbaz

Şekil 5.1 (devam ediyor).



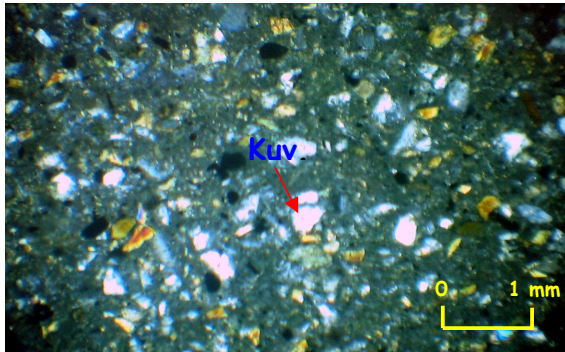
(X nikol, 4X8)

Dol: Dolomit, Kal: kalsit
N/28 Dolomitik kireçtaşı



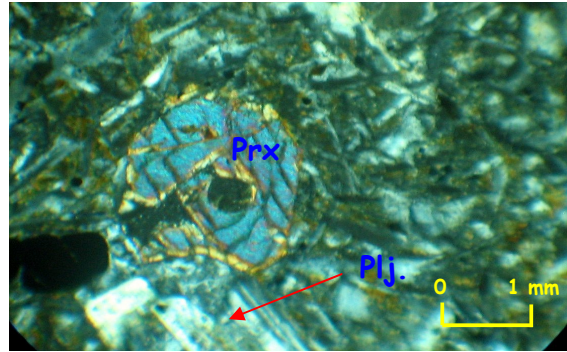
(X nikol, 4X8)

Kuv: Kuvars
N/24 İnce taneli silttaşı



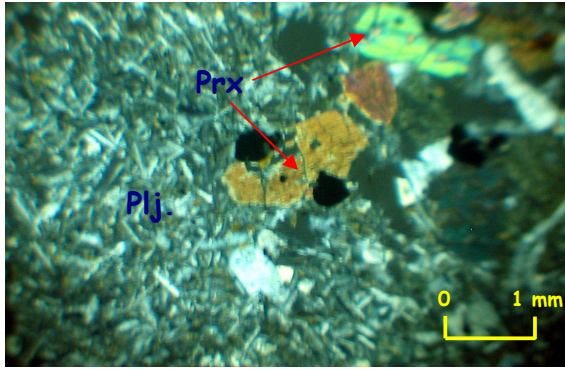
(X nikol, 4X8)

Kuv: Kuvars, M: Mika
N/ 25 Kaba taneli silttaşı



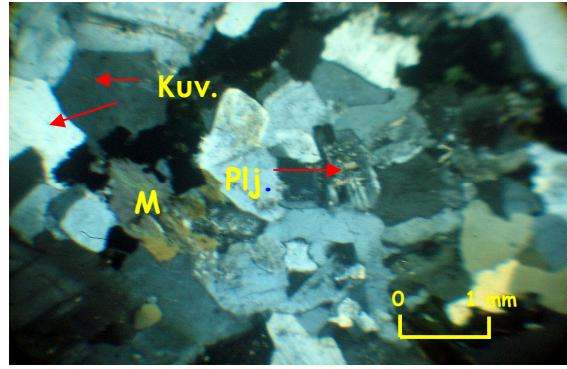
(X nikol, 10X8)

Prx: Piroksen, Plj: Plajiolklas
N/26 Porfirik bazaltik andezit



(X nikol, 4X8)

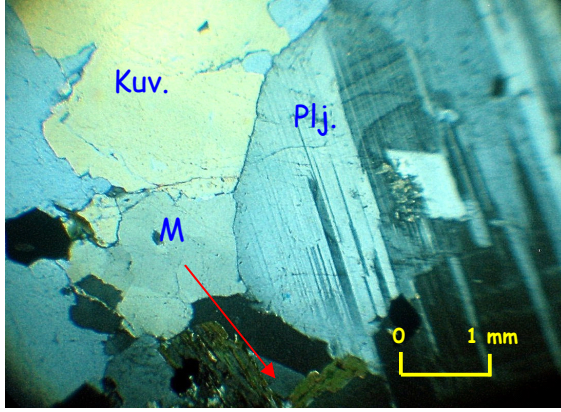
Prx: Piroksen, Plj: Plajiolklas
N/26 Porfirik bazaltik andezit



(X nikol, 4X8)

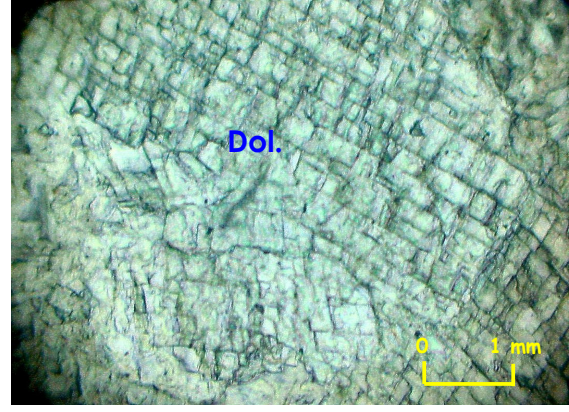
Kuv: Kuvars, Plj: Plajiolklas, M: Mika
N/33 Granit (kataklastik)

Şekil 5.1 (devam ediyor).



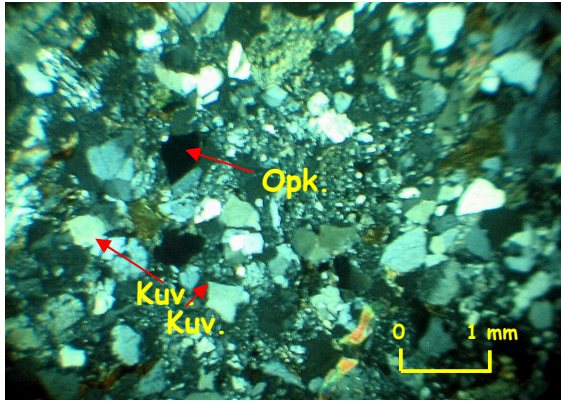
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Kuv: Kuvars, M: Mika
N/33 Granit (Kataklastik)



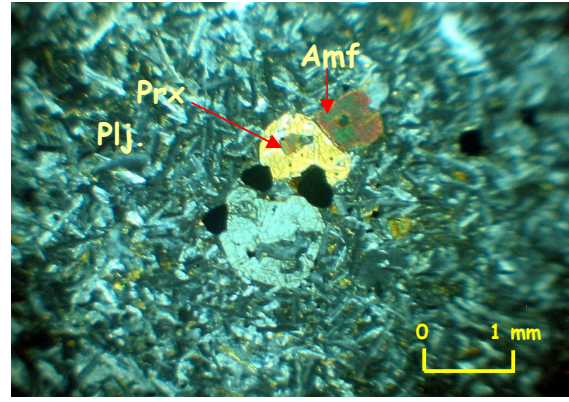
(X nikol, 4X8)

Dol. Dolomit (Dolotaşı)
N/29 Dolomit



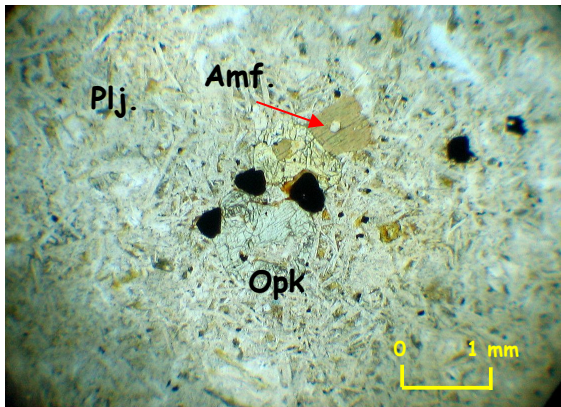
(X nikol, 4X8)

Kuv: kuvars, M. Mika
N/ 32 Litik arenit (Kumtaşı)



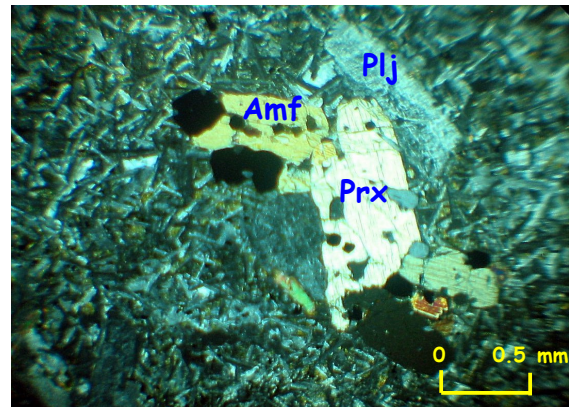
(X nikol, 4X8)

Plj: Plajiolklas, Prx: Piroksen, Amf: Amfibol
N/13 Bazaltik andezit



(I nikol, 4x8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol Opk: opak min.
N/13 Bazaltik andezit



(X nikol, 10X8)

Plj: Plajiolklas, Amf: Amfibol Prx: Piroksen
N/13 Bazaltik andezit

Şekil 5.1 (devam ediyor).



Şekil 5.2 İncelenen kayaçların makroskopik boyuttaki fotoğrafları.



Şekil 5.2 (devam ediyor).



Şekil 5.2 (devam ediyor).

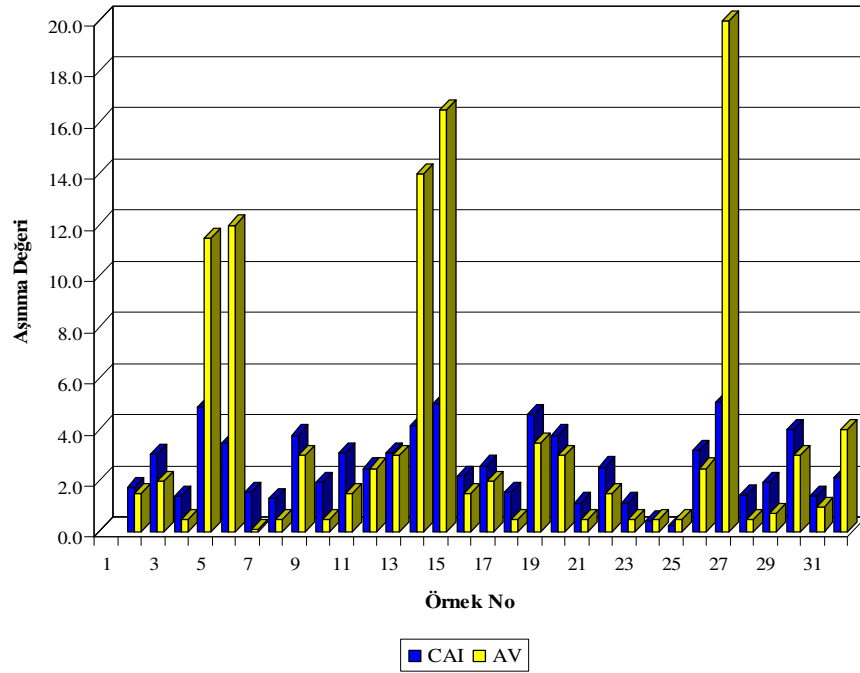
BÖLÜM 6

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

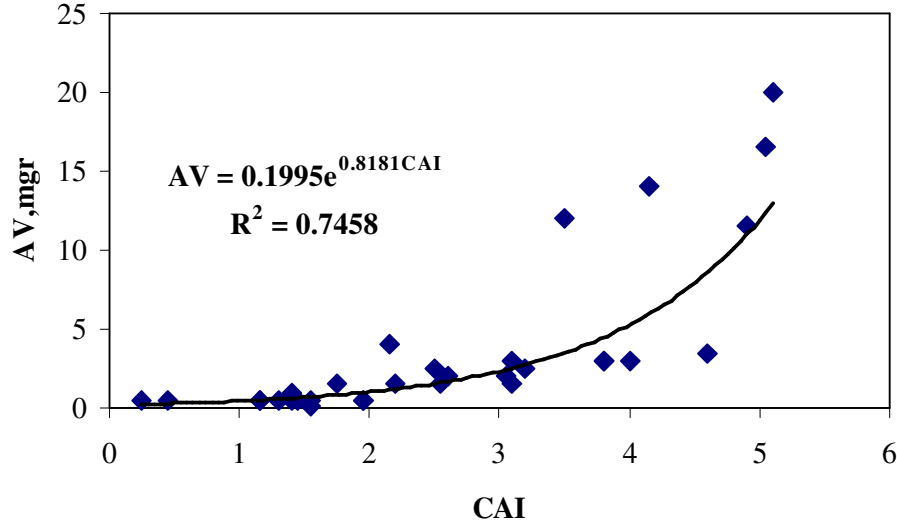
Bu çalışmanın başlığına uygun olarak delinebilirlik, aşındırıcılık ve petrografik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. İncelemede, hem EXCELL programına göre hem de istatistiksel olarak doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır.

6.1 AŞINMA DENEYLERİNİN (CERCHAR VE NORVEÇ AŞINMA DENEYİ) KENDİ ARALARINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Cerchar aşınma indeks değerleri ile Norveç aşınma deneyi arasındaki ilişkinin sütun diyagramında gösterimi Şekil 6.1’de, aralarındaki ilişki ise Şekil 6.2’de verilmiştir. Bu gösterimlerde 1 nolu kuvarsit örneği dikkate alınmamıştır.



Şekil 6.1 Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki değişim.



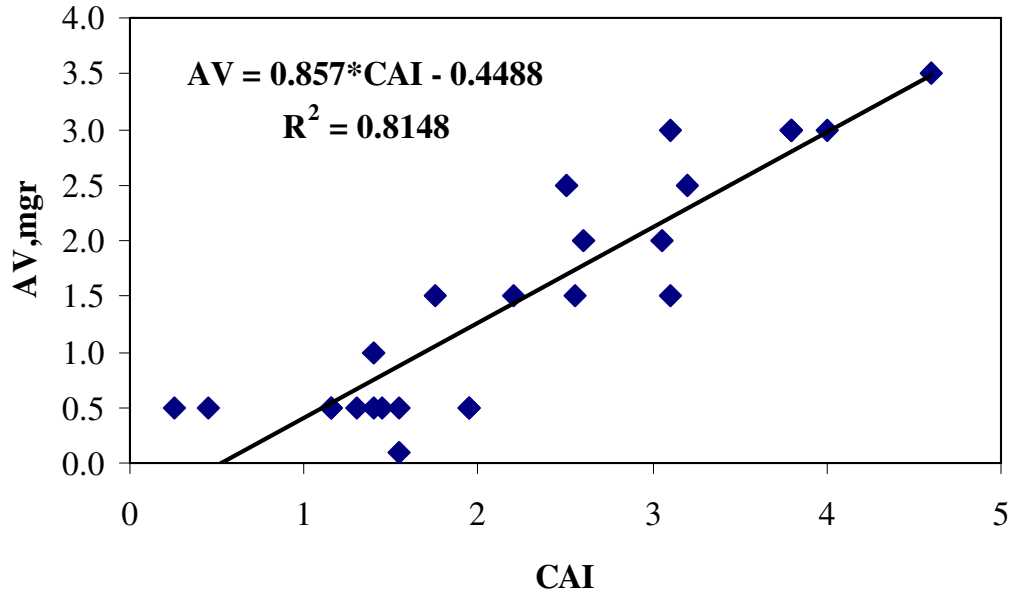
Şekil 6.2 Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki (1 nolu kuvarsit örneği hariç).

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2' ye bakıldığında 5 (kumtaşı) ,6 (granodiyorit), 14 (dolerit), 15 (alkali granit) ve 27 (granit) nolu örneklerin Norveç aşınma deney sonuçları (AV) yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; bu kayalar içersinde kuvars ve aşındırıcı minerallerin ve ortalama kuvars tane boyutunun diğer kayalara göre fazla olması, çimento türlerinin silis olması ve çimentolanma dercelerinin %60'dan büyük olmasında kaynaklanmaktadır.

Bu iki aşınma deneyi arasında üstel bir ilişki bulunmuş (Eşitlik 6.1) ve ilişki katsayısı değeri $R^2 = 0.75$ olması iki farklı aşınma deneyinin deney yöntemleri arasında farklılık olmasına rağmen, kayaların aşındırıcılıkları açısından aralarında olumlu bir ilişkiyi göstermektedir.

$$AV = 0.1995 * e^{0.8181 CAI} \quad R^2 = 0.75 \quad (6.1)$$

Şekil 6.2'daki 5 (kumtaşı) ,6 (granodiyorit), 14 (dolerit), 15 (alkali granit) ve 27 (granit) nolu örnekler göz ardı edildiğinde bu iki aşınma deneyi arasında Şekil 6.3'deki gibi yüksek ilişki katsayısına sahip ($R^2 = 0.81$) artan doğrusal ilişki bulunmaktadır (Eşitlik 6.2). Çimentolanma derecesi %60'dan az ve eşdeğer kuvars içeriği de %40'dan az olan kayalar için bu iki aşınma deneyi arasında oldukça anlamlı ilişkilerin olduğu söylenebilmektedir.



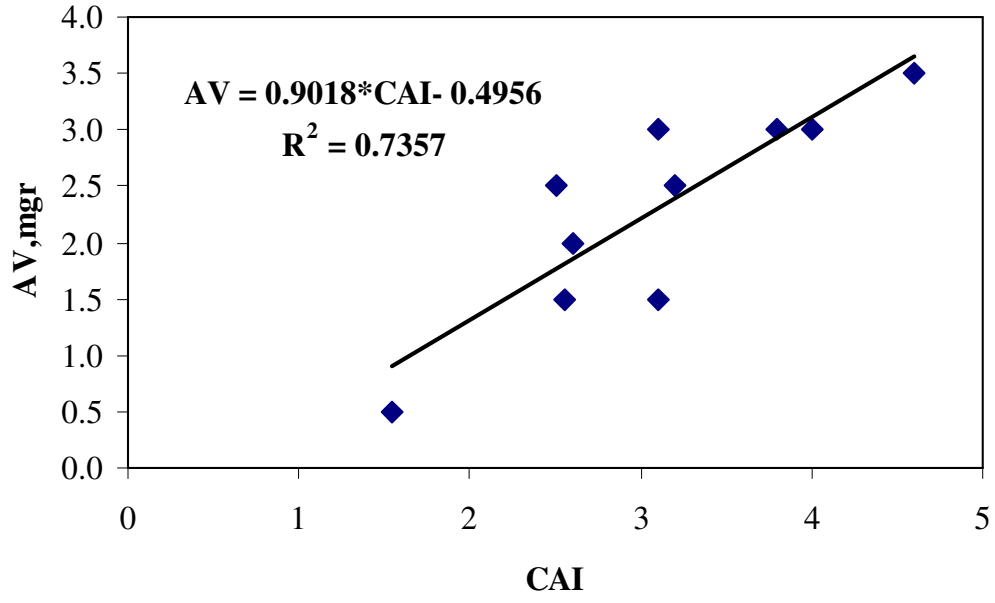
Şekil 6.3 Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki (5,6,14,15 ve 27 nolu örnekler hariç).

$$AV = 0.857*CAI - 0.4488 \quad R^2 = 0.81 \quad (6.2)$$

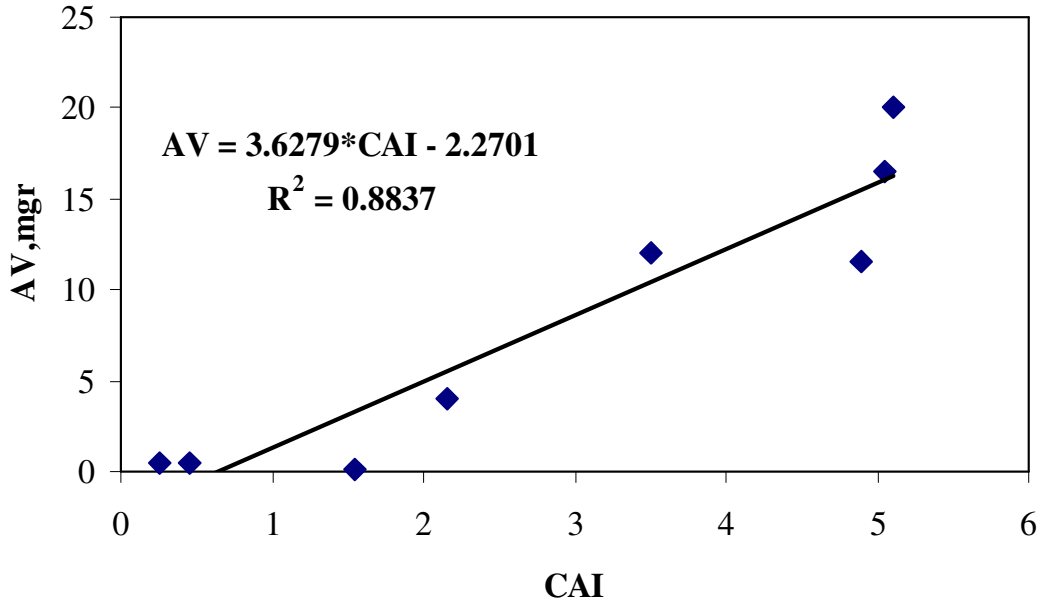
Kayaçlar gruplandırılarak bu iki aşınma deney sonuçları arasında ilişkiler aranmıştır. Buna göre 10 adet andezit örnekleri için benzer karşılaştırma yapıldığında Şekil 6.4'deki gibi doğrusal bir ilişki saptanmıştır (Eşitlik 6.3). Ancak , aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli dolomit, marn, kireçtaşı gibi örneklerde bu durum geçerli olmamıştır ($R^2 = 0.12$).

$$AV = 0.9018*CAI - 0.4956 \quad R^2 = 0.74 \quad (6.3)$$

Kuvars içeren 5,6,7,15,24,25,27 ve 32 nolu örnekler göz önüne alınmadığında bu iki aşınma deney sonuçları arasında doğrusal bir ilişki (Şekil 6.5) bulunmuştur (Eşitlik 6.4). İlişki katsayısı ise oldukça yüksek bir değerde ($R^2 = 0.88$) bulunması kayaç içerisinde kuvars gibi yüksek aşındırıcılık özelliğine sahip minerallerin olmaması durumunda yöntem farklı da olsa aşınma deneyleri arasında önemli bir ilişkinin olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 6.4 Andezit örnekleri için Cerchar aşınma (CAI) ve Norveç aşınma (AV) deney sonuçları arasındaki ilişki.

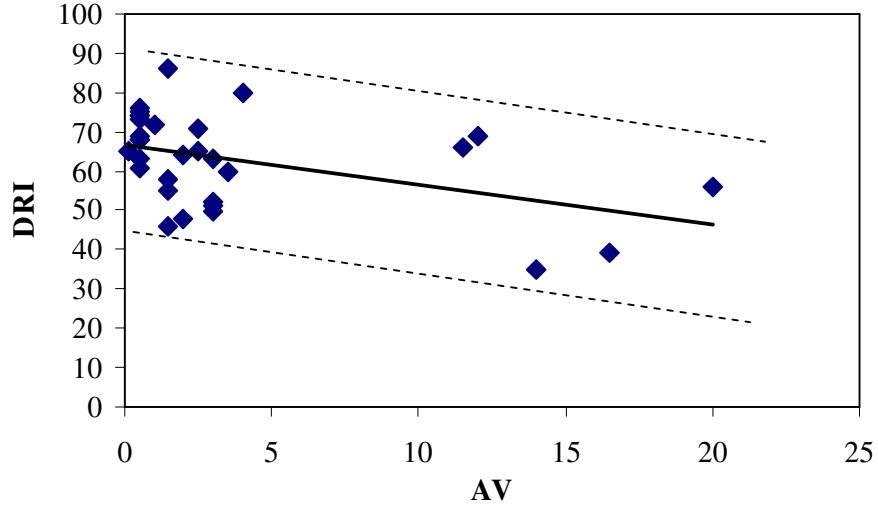


Şekil 6.5 Cerchar aşınma indeksi (CAI) değerleri ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki (kuvars minerali içeren kayalar).

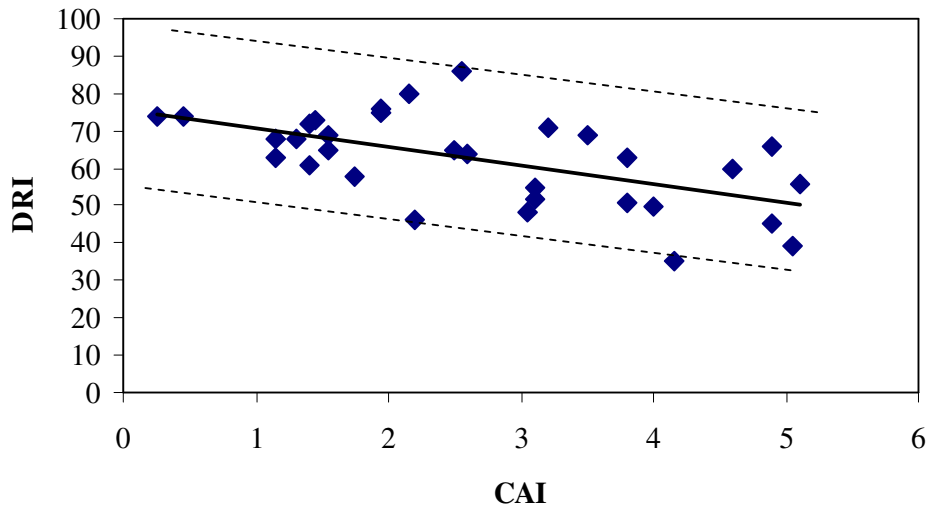
$$AV = 3.6279 \cdot CAI - 2.2701 \quad R^2 = 0.88 \quad (6.4)$$

6.2 AŞINMA DENEYLERİ İLE DELME ORANI İNDEKSİ (DRI) ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Kayaçların aşındırıcılıkları iki farklı deney yöntemiyle bulunmuştur. Bu iki aşınma deney yöntemiyle kayacın delinebilirliği arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Hem Norveç aşınma deneyi ile hem de Cerchar aşınma indeks deneyi ile delme oranı indeksi arasında azalan doğrusal ilişkiler bulunmuştur (Şekil 6.6 ve 6.7). Bu durum, kayacın aşındırıcılığı arttıkça kayacı delmenin zorlaştığı anlamına gelmektedir.



Şekil 6.6 Norveç aşınma deneyi (AV) ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.



Şekil 6.7 Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi ile delme oranı indeksi (DRI) arasındaki ilişki.

6.3 PETOGRAFİK ÖZELLİKLER İLE AŞINMA DENEYLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada 32 kayacın petrografik analizleri yapılmış ve Bölüm 5’de Çizelge 5.1’de sonuçlar verilmiştir. Kayaçların çimento türüne bakılarak McFeat ve Smith (1977)’e göre çimentolanma katsayıları (cementation coefficient) belirlenmiştir (Çizelge 6.1). Ayrıca, çimentolanma katsayısı ile çimentolanma derecesi çarpılarak “Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK)” adı olarak nitelendirilen kayacın çimentolanmasına ve çimento türüne bağlı olan bir katsayı bulunmuştur.

Çizelge 6.1 Çimentolanma katsayısı (McFeat and 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

Kayaçlar içersinde bulunan aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutları (d_{ort}) belirlenmiştir. Buna göre her kayaç için aritmetik olarak aşındırıcı tane boyutu bulunmuştur. Schormair et al. (2006)’ya göre kayaçların Rosival aşındırıcılıklarından kayaçların eşdeğer kuvars yüzdesi (Q_{eqv}) de saptanmıştır (Çizelge 6.2). Çizelge 6.3’de kayaçların petrografik analiz sonuçlarına göre petrografik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.2 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 6.3 İncelenen kayaçların petrografik özellikleri.

No	Kayaç Adı	d _{ort} (mm)	Q _{eqv} (%)	Çimento Türü	Çimentolanma Derecesi	DSK
1	Kuvarsit	1.30	95.00	9	90	810
2	Kireçtaşı	0.01	4.00	6	80	480
3	Diyabaz	0.57	30.30	9	60	540
4	Diyabaz	0.32	14.43	9	40	360
5	Granodiyorit	1.53	51.72	9	70	630
6	Kumtaşı	0.69	39.30	9	60	540
7	İnce taneli kum taşı	0.03	40.40	5	40	200
8	Kireçtaşı	0.06	4.00	6	80	480
9	Siyenit	0.93	41.60	9	70	630
10	Dolomit	0.49	6.55	6	60	360
11	Andezit	0.65	27.20	9	60	540
12	Andezit	0.55	25.55	9	50	450
13	Andezit	0.87	28.90	9	60	540
14	Diyorit	0.97	38.00	9	70	630
15	Alkali granit	1.46	46.80	9	75	675
16	Bazalt	0.24	30.55	9	60	540
17	Andezik bazalt	0.74	24.70	9	60	540
18	Porfirik andezit	0.38	23.53	9	40	360
19	Traki andezit	1.29	31.45	9	55	495
20	Bazaltik andezit	0.77	28.05	9	60	540
21	Dolomitik kireçtaşı	0.06	4.00	6	50	300

Çizelge 6.3 devam ediyor.

No	Kayaç Adı	d _{ort} (mm)	Q _{eqv} (%)	Çimento Türü	Çimentolanma Derecesi	DSK
22	Bazaltik andezit	0.59	28.05	9	40	360
23	Kireçtaşı	0.21	10.72	6	50	300
24	Çok ince silttaşı	0.05	35.60	5	65	325
25	Silttaşı	0.15	29.08	4	60	240
26	Andezit	0.54	28.05	9	55	495
27	Granit	1.68	52.44	9	75	675
28	Dolomitik kireçtaşı	0.39	4.00	8	45	360
29	Dolomit	0.20	4.00	6	60	360
30	Bazaltik andezit	0.88	29.45	9	70	630
31	Marn	0.08	1.60	6	45	270
32	Kumtaşı	0.62	45.60	5	50	250

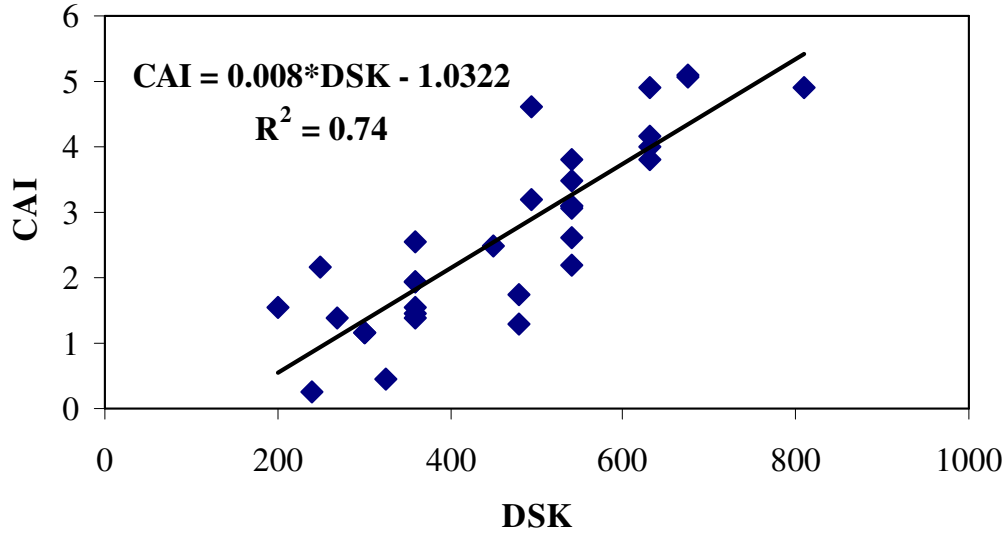
d_{ort} = Ortalama kuvars tane boyutu, Q_{eqv}= Eşdeğer kuvars yüzdesi, DSK= Doku Sağlamlık Katsayısı

6.3.1 Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK) İle Aşınma Deneyleri Arasındaki İlişkiler

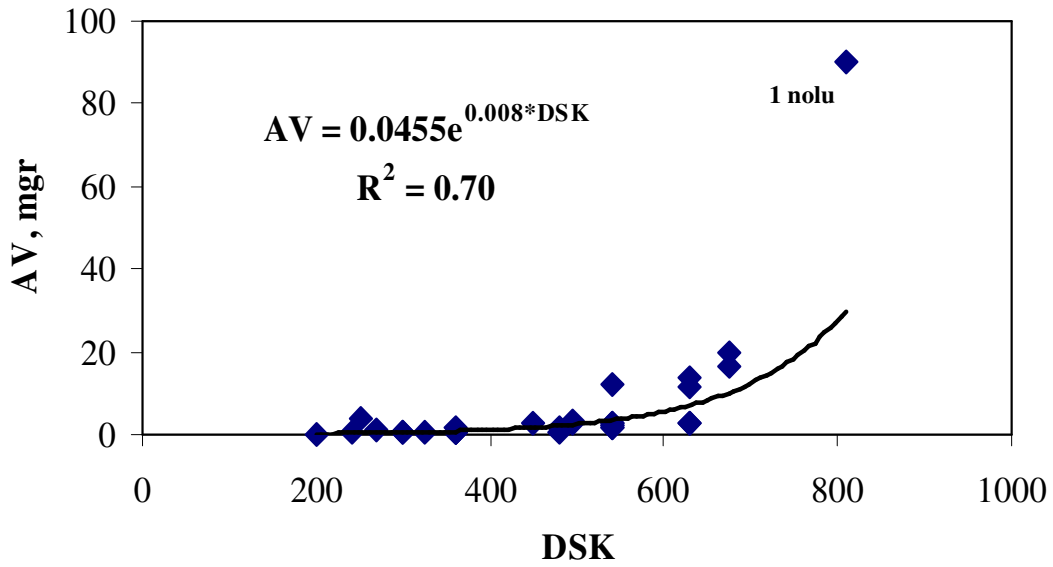
Bu çalışmada kayacın aşındırıcılıkları Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve Norveç aşınma deneyi (AV) ile Doku Sağlamlık Katsayısı arasında Şekil 6.8 ve 6.9'daki gibi sırasıyla, doğrusal (Eşitlik 6.5) ve üstel (Eşitlik 6.6) ilişkiler bulunmuştur. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 incelendiğinde kayacın çimentolanma derecesinin ve çimento türünün kayacın aşındırıcılığı üzerinde önemli bir etkilerinin olduğu görülmektedir.

$$CAI = 0.008 * DSK - 1.0322 \quad R^2 = 0.74 \quad (6.5)$$

$$AV = 0.0455e^{0.008*DSK} \quad R^2 = 0.70 \quad (6.6)$$



Şekil 6.8 Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki.

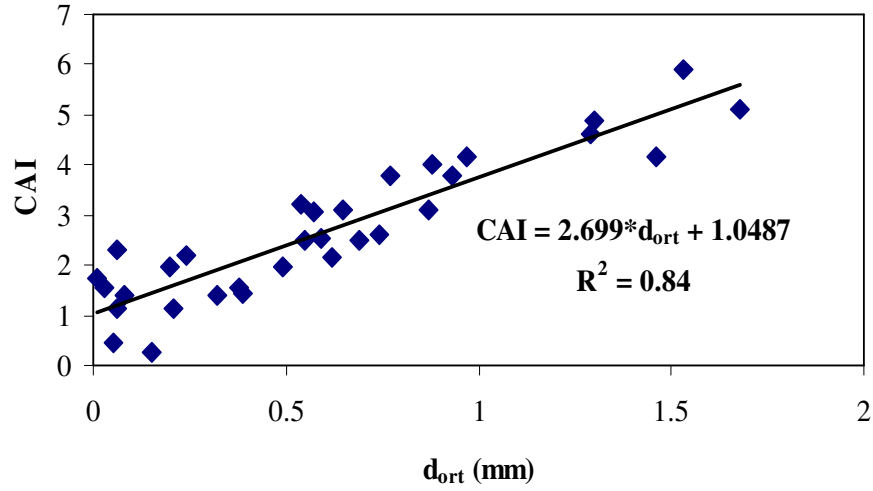


Şekil 6.9 Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK) ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki.

6.3.2 Ortalama Kuvars Tane Boyutu ile Aşınma Deneyleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

Ortalama kuvars tane boyutunun (d_{ort}) kayaçların aşındırıcılıklarına olan etkisi araştırılmıştır. Her iki aşınma deney sonuçları ile ortalama kuvars tane boyutları arasında çok uygun ilişkiler bulunmuştur. Özellikle Cerchar aşınma indeksi ile ortalama kuvars tane boyutları arasında

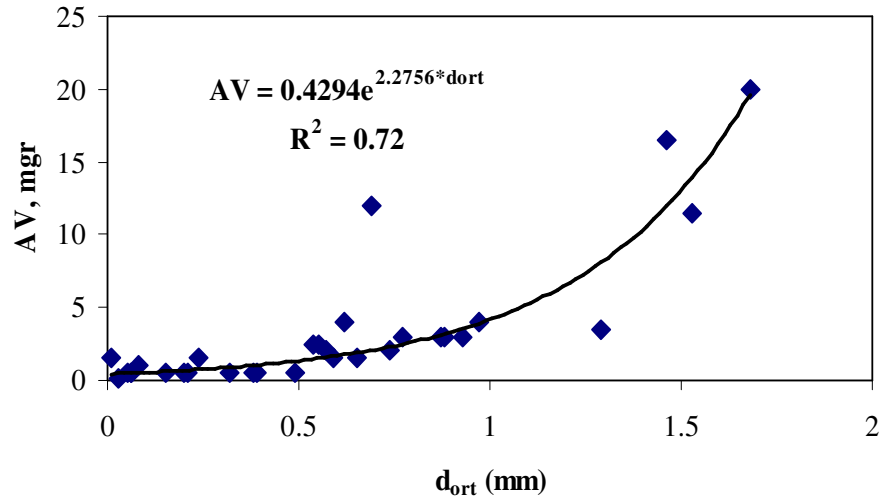
Şekil 6.10’da gösterilen ilişki katsayısı $R^2=0.84$ olan doğrusal bir ilişki bulunmuştur (Eşitlik 6.7).



Şekil 6.10 Ortalama kuvars tane boyutları (d_{ort}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki.

$$CAI = 2.699 * d_{ort} + 1.0487 \quad R^2 = 0.84 \quad (6.7)$$

Ortalama kuvars tane boyutları kayacın aşındırıcılığına olan etkisi Norveç aşınma deneyi ile değerlendirilmiştir (Şekil 6.11). İlişki katsayısı $R^2 = 0.72$ olan üstel bir ilişki bulunmuştur (Eşitlik 6.7).



Şekil 6.11 Ortalama kuvars tane boyutları (d_{ort}) ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki.

$$AV = 0.4294 * e^{2.2756 * d_{ort}} \quad R^2 = 0.72 \quad (6.7)$$

Literatüre bakıldığında West (1986) ve Yaralı et al. (2008)'in sedimanter kökenli kayalar üzerinde yaptıkları çalışmaya paralel sonuçlar bulunmuştur. Bu çalışmalarda eşdeğer kuvars yüzdesi ile ortalama kuvars tane boyutları ve Cerchar aşınma indeksine ilişkilere bakılmıştır. Ancak 3 farklı kökenli kayalar grupları üzerinde hem Cerchar hem de Norveç aşınma deneyleriyle yapılmış araştırma sayısı literatürde yoktur. Bu anlamda bu çalışma ilk olması bakımından da önemlidir.

Kayalar gruplandırılarak ortalama kuvars tane boyutlarının hem Cerchar hem de Norveç aşınma deney sonuçlarına olan etkisi incelenmiştir. Bu durum andezitler için Şekil 6.12.a, aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar için Şekil 6.12.b, kuvars içeren kayalar için Şekil 6.12.c'de gösterilmiştir.

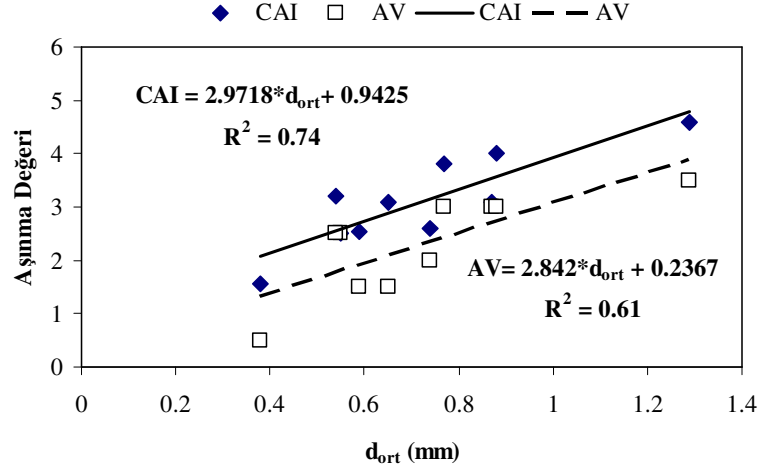
Şekil 6.12 incelendiğinde, aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar hariç andezitler ve kuvars minerali içeren kayalarda kayaların aşındırıcılıklarına, aşındırıcı minerallerin tane büyüklüğünün doğrudan etkilediği görülmektedir. Özellikle kuvars içeren kayalarda bu durum daha belirgindir.

6.3.3 Eşdeğer Kuvars Yüzdesi İle Aşınma Deneyleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

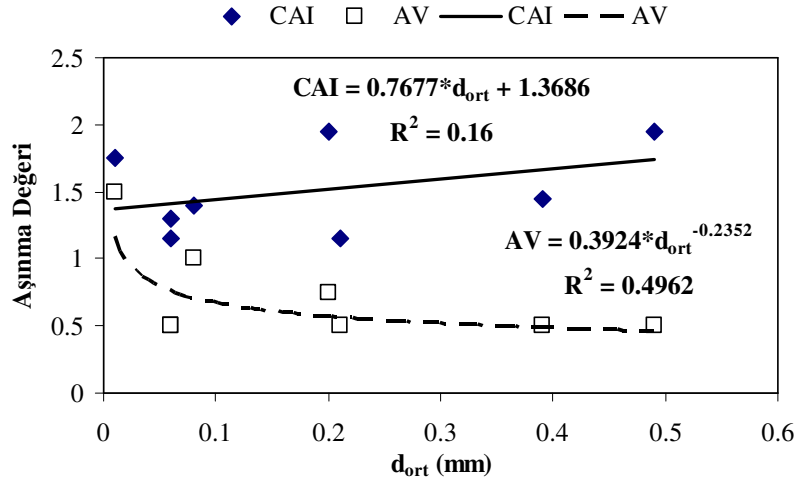
Kayaların eşdeğer kuvars yüzdesi, kayalar içerisinde bulunan minerallerin Rosival aşındırıcılık katsayısı değerleriyle çarpılıp aritmetik toplamlarından bulunmuştur. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de eşdeğer kuvars içeriğinin (Q_{eqv}) kayaların aşındırıcılığına etkisi gösterilmiştir (Eşitlik 6.8, Eşitlik 6.9).

$$CAI = 0.0451 * Q_{eqv} + 1.4019 \quad R^2 = 0.39 \quad (6.8)$$

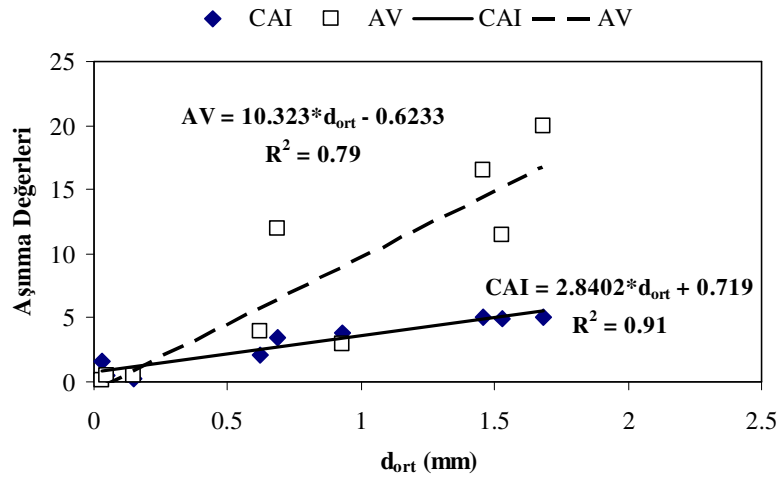
$$AV = 0.391 * e^{0.0545 * Q_{eqv}} \quad R^2 = 0.56 \quad (6.9)$$



a. andezitler

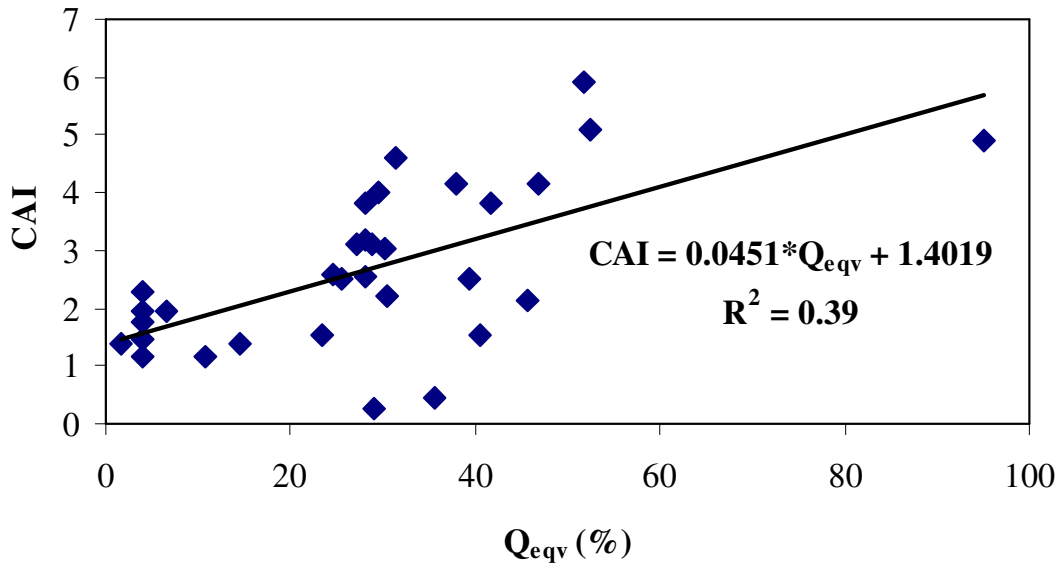


b. aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar

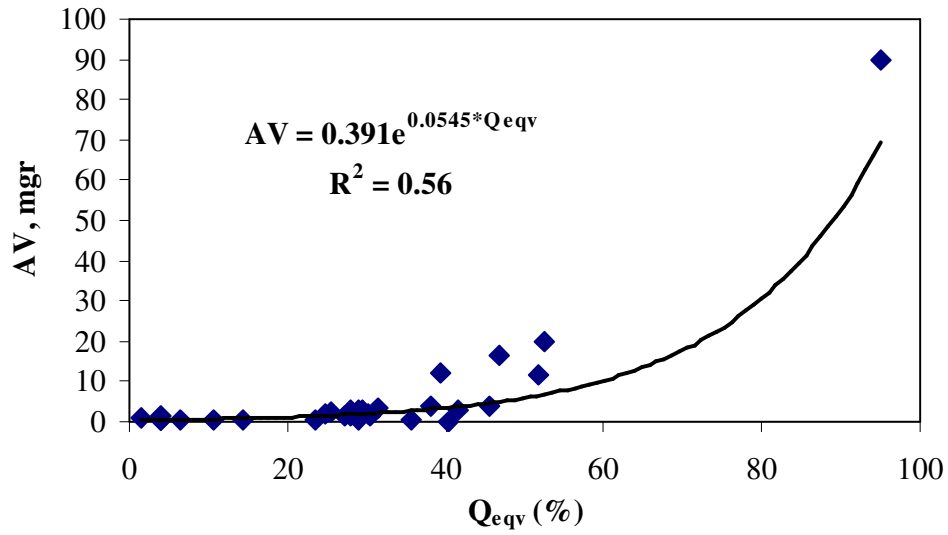


c. kuvars içeren kayalar

Şekil 6.12 Kayac gruplarına göre ortalama kuvars tane boyutları (d_{ort}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve Norveç aşınma (AV) arasındaki ilişkiler.



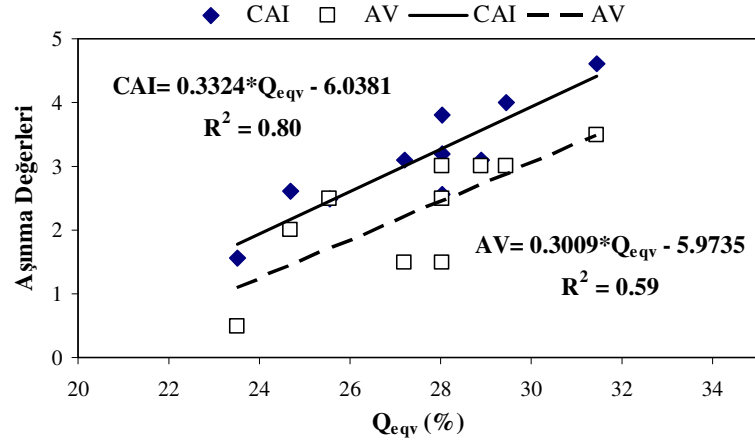
Şekil 6.13 Eşdeğer kuvars yüzdesi (Q_{eqv}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) arasındaki ilişki.



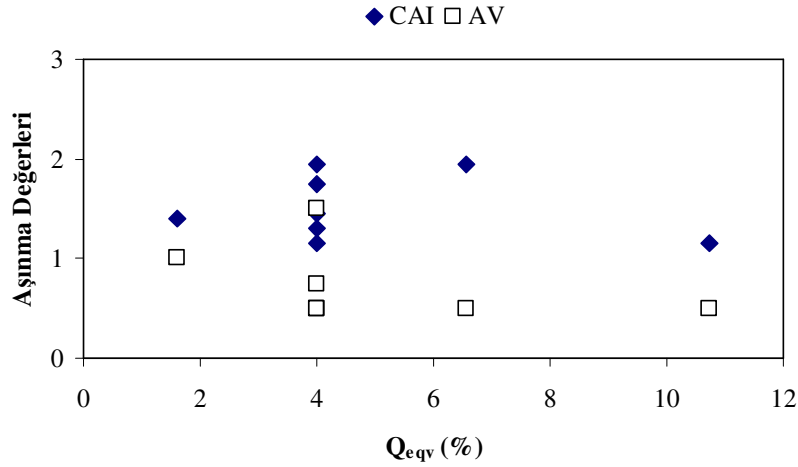
Şekil 6.14 Eşdeğer kuvars yüzdesi (Q_{eqv}) ile Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişki.

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14 incelendiğinde, eşdeğer kuvars yüzdesinin kayaç aşındırıcılığı üzerinde etkisinin ortalama kuvars tane büyüklüğüne göre daha az olduğu görülmektedir.

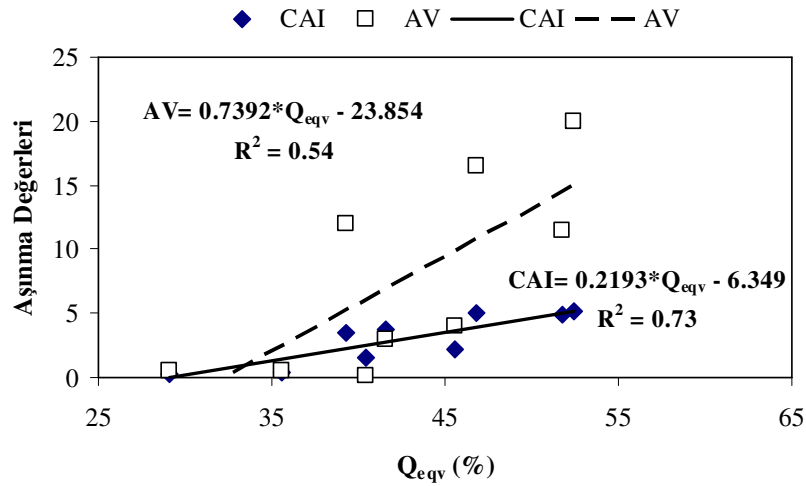
Kayaçları gruplandırılarak eşdeğer kuvars yüzdesinin kayaç aşındırıcılığına olan etkisine de bakılmıştır. andezitler için Şekil 6.15.a, aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayaçlar için Şekil 6.15.b, kuvars içeren kayaçlar için Şekil 6.15.c’de gösterilmiştir.



a. andezitler



b. aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar



c. kuvars içeren kayalar

Şekil 6.15 Kayaç gruplarına göre eşdeğer kuvars yüzdesinin (Q_{eqv}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve Norveç aşınma deneyi (AV) arasındaki ilişkiler.

Şekil 6.15 incelendiğinde, eşdeğer kuvars yüzdesinin aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalarda herhangi bir etkinin olmadığı saptanmıştır. Zaten bu kayalar içerisinde aşındırıcı mineraller bulunmamaktadır. Bu kayalarda oluşan aşınma, kayacın dayanımına bağlı olarak olan termal aşınma sonucu oluşmaktadır.

Hem andezit örneklerinde hem de kuvars içeren kayalarda, eşdeğer kuvars yüzdesi ile kayacın aşındırıcılığı arasında doğrusal ilişkiler bulunmuştur. İlişki katsayılarına bakıldığında eşdeğer kuvars yüzdesinin Cerchar aşınma indeks deney sonuçlarına (sırasıyla $R^2 = 0.80$, $R^2 = 0.73$) Norveç aşınma deney sonuçlarına (sırasıyla $R^2 = 0.59$, $R^2 = 0.54$) göre daha fazla etkisinin olduğu görülmektedir. (Eşitlik 6.10 - 6.13).

$$CAI = 0.3324 * Q_{eqv} - 6.0381 \quad R^2 = 0.80 \quad (6.10)$$

$$CAI = 0.2193 * Q_{eqv} - 6.349 \quad R^2 = 0.73 \quad (6.11)$$

$$AV = 0.3009 * Q_{eqv} - 5.9735 \quad R^2 = 0.59 \quad (6.12)$$

$$AV = 0.7392 * Q_{eqv} - 23.854 \quad R^2 = 0.54 \quad (6.13)$$

6.4 İSTATİSTİKSEL ARAŞTIRMA

Bu bölümde deney verileri ve SPSS programı kullanılarak veriler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Deney sonuçları arasında doğrusal artan ilişkiler bulunmuştur. Bu ilişkileri desteklemek amacıyla doğrusal regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Bağımsız değişken olarak ikili ve üçlü kombinasyonlar kullanılmıştır.

6.4.1. Aşınma Deneyleri ile Doku Sağlamlık Katsayısı, Eşdeğer Kuvars Yüzdesi ve Ortalama Kuvars Tane Boyutu Arasındaki Regrasyon Denklemi

Aşınma deneylerinden Cerchar aşınma indeksi ile petrografik özelliklerin (doku sağlamlık katsayısı, eşdeğer kuvars yüzdesi, ortalama kuvars tane boyutu) ilişkisi istatistiksel olarak incelenmiştir. Kayalar kuvars içerenler, aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar

ve andezitler olarak sınıflandırılmıştır. Regrasyon sonuçları Çizelge 6.4, Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.4 Kuvars içeren kayalar için CAI ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regrasyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R ² Değeri
CAI	DSK	0.934
-	Q _{eqv}	
-	d _{ort}	
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: -0.001	0.003	
Q _{eqv} : 0.022	0.018	
d _{ort} : 2.999	0.785	
Sabit sayı: 0.049	0.697	
Regrasyon Denklemi: CAI= -0.001DSK+0.022 Q _{eqv} + 2.999d _{ort} +0.049		
Sonuç: Regrasyon denklemi CAI daki değişimin %93.4’ünü açıklayabilmektedir		

Çizelge 6.5 Aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar için CAI ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regrasyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R ² Değeri
CAI	DSK	0.666
-	Q _{eqv}	
-	d _{ort}	
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: 0.004	0.002	
Q _{eqv} : -0.038	0.048	
d _{ort} : 0.777	0.759	
Sabit sayısı: 0.180	0.658	
Regrasyon Denklemi: CAI= -0.004DSK–0.038Q _{eqv} + 0.777d _{ort} +0.180		
Sonuç: Regrasyon denklemi CAI daki değişimin %66.6’sını açıklayabilmektedir		

Çizelge 6.6 Andezitler için CAI ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regrasyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R ² Değeri
CAI	DSK	0.918
-	Q _{eqv}	
-	d _{ort}	
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: 0.003	0.001	
Q _{eqv} : 0.211	0.073	
d _{ort} : 0.889	0.714	
Sabit sayı:- 4.804	1.703	
Regrasyon Denklemi: CAI= -0.003DSK+0.211Q _{eqv} + 0.889d _{ort} -4.804		
Sonuç: Regrasyon denklemi CAI daki değişimin %91.8’ini açıklayabilmektedir		

Norveç aşınma deney (AV) sonuçları ile petrografik özelliklerin (doku sağlamlık katsayısı, eşdeğer kuvars yüzdesi, ortalama kuvars tane boyutu) ilişkisi istatistiksel olarak incelenmiştir. Kayaçlar kuvars içerenler, aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayaçlar ve andezitler olarak sınıflandırılmıştır. Regrasyon sonuçları Çizelge 6.7, Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.7 Kuvars içeren kayaçlar için AV ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regrasyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R^2 Değeri
AV	DSK	0.967
-	Q_{eqv}	
-	d_{ort}	
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: 0.074	0.026	
Q_{eqv} : 1.196	0.171	
d_{ort} : -21.402	7.583	
Sabit sayı:- 57.765	6.735	
Regrasyon Denklemi: $AV= 0.074DSK+1.196Q_{eqv} - 21.402d_{ort} -57.765$		
Sonuç: Regrasyon denklemi AV daki değişimin %96.7'sini açıklayabilmektedir		

Çizelge 6.8 Aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli kayalar için AV ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R ² Değeri
AV	DSK	0.363
-	Q _{eqv}	
-	d _{ort}	
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: 0.001	0.002	
Q _{eqv} : - 0.029	0.058	
d _{ort} : - 0.826	0.915	
Sabit sayısı: 0.642	0.795	
Regrasyon Denklemi: AV= 0.001DSK – 0.029Q _{eqv} – 0.826d _{ort} + 0.642		
Sonuç: Regrasyon denklemi AV daki değişimin %36.3'ünü açıklayabilmektedir		

Çizelge 6.9 Andezitler için AV ile DSK, Q_{eqv} , d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R ² Değeri
AV	DSK	0.743
-	Q _{eqv}	
-	d _{ort}	
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: 0.003	0.003	
Q _{eqv} : 0.154	0.135	
d _{ort} : 1.100	1.326	
Sabit sayısı: - 4.430	3.162	
Regrasyon Denklemi: AV= 0.003DSK + 0.154Q _{eqv} + 1.100d _{ort} - 4.430		
Sonuç: Regrasyon denklemi AV daki değişimin %74.3'ünü açıklayabilmektedir		

6.4.2 İki Bağımsız Doğrusal Regresyon Denklemleri

Üçlü kombinasyon şeklinde kayaların petrografik özellikler ile aşınma deneyleri arasında ilişkiler bir önceki bölümde araştırılmıştır. Bu bölümde petrografik özelliklerin ikili kombinasyonu ile aşınma deneyleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak araştırılmış.

En yüksek ilişki katsayısını veren regresyon sonuçlarına örnek, Çizelge 6.10 ve 6.11' de verilmiştir.Çizelge 6.12' de ise iki bağımsız değişkenler ile bir bağımlı değişkenler arasında yapılan regresyon analiz sonuçları ile doğrusal regresyon denklemleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.10 Kuvars içeren kayalar için CAI ile DSK, d_{ort} arasında yapılan regresyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R ² Değeri
CAI	DSK	0.934
-	d _{ort}	
-		
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: 0.002	0.002	
d _{ort} :2.20	0.687	
Sabit sayı: 0.136	0.566	
Regrasyon Denklemi: CAI= 0.002DSK+ 2.20d _{ort} +0.136		
Sonuç: Regrasyon denklemi CAI daki değişimin %93.4' ünü açıklayabilmektedir		

Çizelge 6.11 Kuvars içeren kayalar için AV ile DSK, Q_{eqv} arasında yapılan regresyon sonuçları.

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	R ² Değeri
AV	DSK	0.913
-	Q _{eqv}	
-		
Bağıntı Katsayıları		
Katsayılar	Standart Sapma	
DSK: 0.013	0.020	
Q _{eqv} : 1.282	0.247	
Sabit sayı: - 50.578	0.166	
Regrasyon Denklemi: AV= 0.013DSK + 1.282Q _{eqv} +- 50.578		
Sonuç: Regrasyon denklemi AV daki değişimin %91.3’ ünü açıklayabilmektedir		

Çizelge 6.12 İki bağımsız değişkene göre yapılan regresyon analiz sonuçları.

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler (İkili)	Kayaç Grubu	R ²	Doğrusal Regresyon Denklemi
CAI	d _{ort} , Q _{eqv}	Tamamı	0.884	CAI=0984-0.002 Q _{eqv} +2.803 d _{ort}
CAI	d _{ort} , Q _{eqv}	Andezitler	0.856	CAI=-6.302+0.278 d _{ort} +0.213 Q _{eqv}
CAI	d _{ort} , Q _{eqv}	Kuvars İçeren Kayaçlar	0.926	CAI=0.320+2.747 d _{ort} +0.010 Q _{eqv}
CAI	d _{ort} , Q _{eqv}	Aşındırıcı mineral İçermeyen Tortul Kökenli Kayaçlar	0.272	CAI=1.534+1.014 d _{ort} -0.043 Q _{eqv}
CAI	DSK, d _{ort}	Tamamı	0.921	CAI=0.033+1.997 d _{ort} +0.003 DSK
CAI	DSK, d _{ort}	Andezitler	0.802	CAI=-0.186+2.442 d _{ort} +0.003 DSK
CAI	DSK, d _{ort}	Kuvars İçeren Kayaçlar	0.934	CAI=0.136+2.20 d _{ort} +0.002 DSK
CAI	DSK, d _{ort}	Aşındırıcı mineral İçermeyen Tortul Kökenli Kayaçlar	0.324	CAI=0.708+0.938 d _{ort} +0.001 DSK
CAI	Q _{eqv} , DSK	Tamamı	0.792	CAI=-1.146+0.018 Q _{eqv} +0.007 DSK
CAI	Q _{eqv} , DSK	Andezitler	0.896	CAI=-6.302+0.278 Q _{eqv} +0.003 DSK
CAI	Q _{eqv} , DSK	Kuvars İçeren Kayaçlar	0.824	CAI=-0.654-0.006 Q _{eqv} +0.008DSK
CAI	Q _{eqv} , DSK	Aşındırıcı mineral İçermeyen Tortul Kökenli Kayaçlar	0.111	CAI=1.146 -0.015 Q _{eqv} +0.001 DSK
AV	d _{ort} , Q _{eqv}	Tamamı	0.549	AV=-11.678+1.916 d _{ort} +0.561 Q _{eqv}
AV	d _{ort} , Q _{eqv}	Andezitler	0.668	AV=-3.241+1.668 d _{ort} +0.157 Q _{eqv}
AV	d _{ort} , Q _{eqv}	Kuvars İçeren Kayaçlar	0.911	AV=-149.854-3.249 d _{ort} +1.455 Q _{eqv}
AV	d _{ort} , Q _{eqv}	Aşındırıcı mineral İçermeyen Tortul Kökenli Kayaçlar	0.316	AV=1.043-0.914 d _{ort} -0.031 Q _{eqv}
AV	DSK, d _{ort}	Tamamı	0.353	AV=-16.084+3.759 d _{ort} +0.044 DSK
AV	DSK, d _{ort}	Andezitler	0.687	AV=-1.062+2.232 d _{ort} +0.003 DSK
AV	DSK, d _{ort}	Kuvars İçeren Kayaçlar	0.639	AV=-38.512-30.946 d _{ort} +0.168 DSK

Çizelge 6.12 (devam ediyor).

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler (İkili)	Kayaç Grubu	R ²	Doğrusal Regresyon Denklemi
AV	DSK, dort	Aşındırıcı mineral İçermeyen Tortul Kökenli Kayaçlar	0.322	AV=0.505–0.984 dort+0.001 DSK
AV	Qeqv, DSK	Tamamı	0.612	AV=–20.358+0.478 Qeqv+0.027 DSK
AV	Qeqv, DSK	Andezitler	0.713	AV=–6.283+0.237 Qeqv+0.004 DSK
AV	Qeqv, DSK	Kuvars İçeren Kayaçlar	0.913	AV=–50.578+1.282 Qeqv+0.013 DSK
AV	Qeqv, DSK	Aşındırıcı mineral İçermeyen Tortul Kökenli Kayaçlar	0.234	AV=0.463–0.046 Qeqv+0.001 DSK

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerek madencilik gerekse inşaat mühendisliği uygulamalarında kayacın davranışının belirlenebilmesi için, mühendislik özelliklerinin (fiziksel, mekanik ve indeks) bilinmesi gereklidir. Kayaca ait mühendislik özellikleri kayacın yapısal özellikleri olan petrografik özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Petrografik olarak; mineral içeriği, tanelerinin şekli (yuvarlaklılık, köşelilik), tane boyu, tane yönelmesi, aşındırıcı mineral içeriği, ortalama aşındırıcı ve kuvars tane boyutu, çimento türü, çimentolama derecesi kayaçların mühendislik özelliklerini etkilediği bilinen yapısal özelliklerdir.

Kayaçların aşındırıcılığı delinebilirliği-kazılabilirliği etkilediğinden, kazılan birim hacim kayaç başına keskinin aşınmasının belirlenmesi gereklidir. Keski ucu aşınmasının; makinanın ilerleme hızı ve uygulanan kuvvetler ve dolayısıyla enerji sarfiyatında da önemi vardır. Körelmiş keski ve burgular ile daha fazla kesme ve delme kuvveti harcanmakta ve daha az ilerleme kaydedilmektedir (Fowell and Johnson 1991).

McFeat-Smith ve Fowell (1977), kayacın kuvars içeriğinin, kesici uç tüketimi açısından kayaç aşındırıcılığını tek başına ifade edemeyeceğini bildirmiştir. Barbour et al. (1979), kumtaşlarında galeri açma makineleri ile yapılan kazılarda, kesici uç tüketiminin kuvars içeriğinden çok çimentolaşma derecesi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Al-Ameen ve Waller (1994), yaptıkları çalışmada, az miktarda aşındırıcı mineraller içeren yüksek dayanımlı bazı kayaçların yüksek aşındırıcılık indeksine sahip olabildiklerini belirlemişlerdir. Diğer taraftan, çok yüksek aşındırıcı mineral içeriğine sahip olan bazı düşük dayanımlı kayaçların, düşük aşındırıcılık indeksine sahip olabildikleri de görülmüştür.

Bu tez kapsamında Zonguldak Yöresi'ne ait 29 farklı yerden magmatik ve sedimanter kökenli 29 adet kayaç örnekleri ile 2 adet Norveç'ten getirilen ve 1 adet de İç Anadolu Bölgesi Hasan

Dağı eteklerinden alınan bazalt örneği olmak üzere toplam 32 kayaç üzerinde araştırma yapılmıştır. Örnek alım yerlerinin 15'inde gps ile koordinatları belirlenmiştir.

Örneklerin araziden alınmasında ISRM standartlarına dikkat edilmiştir. Araziden alınan kaya bloklarının içindeki çatlakları yerinde görmek mümkün olmadığı için zaman zaman aynı yerden birkaç kez örnek almak zorunda kalınmıştır.

Bu çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, 32 kayaç üzerinde laboratuvarda aşınma ve delinebilirlik deneyleri (Cerchar aşınma indeks deneyi, Norveç aşınma deneyi, kırılgenlik deneyi, Sievers minyatür delem deneyi) gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, kayaçların ince kesitlerine bakılarak petrografik analizleri (minerolojik bileşim, aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu, tane boyutu, küresellik, çimento türü, çimentolanma derecesi, doku) yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise laboratuvarından elde edilen deney verileri değerlendirilmiş, aralarındaki ilişkiler istatistiksel olarak irdelenmiştir. Bu çalışmada;

- ❖ Petrografik özellikler ile delme oranı indeksi ve aşınma deneyleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Büyüklükler arasındaki ilişkiler araştırılırken MS EXCEL programı kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçları arasında üçlü kombinasyonlar halinde regresyon denklemleri oluşturulmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ❖ Delme oranı indeksine göre kayaçların delinebilirlikleri belirlemiştir. Buna göre, dolomit, dolomitik kireçtaşlarının, kireçtaşlarının, marn, 32 nolu kumtaşının, silttaşlarının delinebilirlikleri çok yüksek; andezitlerin, 4 nolu diyabazın, 6 nolu kumtaşının yüksek; 3 nolu diyabaz, siyenit, bazalt ve bazalt karışımı andezitlerin orta delinebilirlik sınıfında yer aldığı tesbit edilmiştir. Sadece 14 nolu dolomit ile 15 nolu alkali granitin delinebilirlik sınıfın düşük olduğu görülmüştür.
- ❖ Çizelge 4.5' e bakıldığında Zonguldak Bölgesine ait sedimanter ve magmatik kökenli kayaçların Norveç aşınma deneyine göre düşük aşındırıcılığa sahip olduğu görülmektedir. Sadece granit örnekleri (5, 15 ve 27) ile kuvars içeriği fazla olan 6 nolu kumtaşı örneklerinin aşınmaları orta düzeydedir.

- ❖ Cerchar aşınma indeks deneyine göre incelenen kayaçların aşındırıcılıklarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu kayaçlarla yapılacak mekanize kazıda keski tüketiminin fazla olacağı beklenmektedir. Keski tüketimin az olması için kullanılacak kazı makinalarına mutlaka su emprenye sistemlerinin bulunması gerekmektedir.
- ❖ Çizelge 4.7 incelendiğinde iki farklı aşınma yöntemim için önerilen sınıflama aralığının da birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Sadece 1 nolu kuvarsit örneği için her iki yöntemde oldukça fazla aşındırıcı kabul edilirken, 5 nolu granodiyorit örneğinde durum farklıdır. Benzer durum dolomit örneklerinde de söz konusudur. CAI'ya göre aşındırıcı olan dolomit örnekleri Norveç aşınma deneyine göre oldukça düşük aşınma değeri göstermiştir. Bu iki aşınma deney yöntemine, hem deneyin yapılışında izlenen yol açısından hem de değerlendirme açısından bakıldığında her ikisinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Ancak her iki yöntemin kullanıldığı tahmin modellerindeki yeri açısından bakıldığından ise kayaçların aşındırıcılıklarını önceden tahmin edilmesinde faydalı oldukları söylenebilmektedir.
- ❖ Bu iki aşınma deneyi karşılaştırılmıştır. Buna göre; Şekil 6.1 ve Şekil 6.2' ye bakıldığında 5 ,6 15 ve 27 nolu örneklerin Norveç aşınma deney sonuçları (AV) yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Bu iki aşınma deneyi arasında üstel bir ilişki bulunmuştur. İlişki katsayısı değeri düşüktür ($R^2 = 0.75$). İlişkinin düşük olması, bu kayaçların içinde diğer kayaçlara göre yüksek miktarda kuvars içermesinden kaynaklanmaktadır. Kuvars içeren 1,5,6,7,15,24,25,27 ve 32 nolu örnekler göz önüne alınmadığında bu iki aşınma deney sonuçları arasında doğrusal bir ilişki (Eşitlik 6.3) bulunmuştur (Şekil 6.5). İlişki katsayısı ise oldukça yüksek bir değerde ($R^2 = 0.88$) bulunması kayaç içersinde kuvars gibi yüksek aşındırıcılık özelliğine sahip minerallerin olmaması durumunda yöntem farklı da olsa aşınma deneyleri arasında önemli bir ilişkinin olduğu söylenebilmektedir. Kayaçlar gruplandırılarak bu iki aşınma deney sonuçları arasında ilişkiler aranmıştır. Buna göre 10 adet andezit ve bazaltik andezit örnekleri için benzer karşılaştırma yapıldığında Şekil 6.3'deki gibi doğrusal bir ilişki saptanmıştır. Ancak , aşındırıcı mineral içermeyen tortul kökenli dolomit, marn, kireçtaşı gibi örneklerde bu durum geçerli olmamıştır (Şekil 6.4). Bunun nedeni kayaçların petrografik özelliklerinden kaynaklanmasıdır. Özellikle dokusu içindeki kristalleri stabil özellikte, eş tane boylu ve taneleri kenetli ve değişimli olan (Comb Structure) mikrotane özellikli karbonatlı kayaçların gözeneksiz ve boşluksuz oluşu, onların dayanımını arttıran bir özellik olarak belirlemektedir Kuvars içeren

1,5,6,7,15,24,25,27 ve 32 nolu örnekler göz önüne alındığında bu iki aşındırma deney sonuçları arasında doğrusal bir ilişki ($R^2=0.74$) bulunmuştur.

- ❖ Kayaçların aşındırıcılıkları ile delinebilirliği arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Norveç aşınma deneyi ile delinebilirliği arasında hiçbir ilişki gözlenememişken, Cerchar aşınma indeks deneyi ile kayacın delinebilirliği arasında oldukça düşük ilişkiler bulunmuştur.
- ❖ Bu çalışmada 32 kayacın petrografik analizleri yapılmış ve Bölüm 5’de Çizelge 5.1’de sonuçlar verilmiştir. Kayaçların çimento türüne bakılarak McFeat-Smith ve Fowell, (1977)’e göre çimentolanma katsayıları (cementation coefficient) belirlenmiştir. Ayrıca, çimentolanma katsayısı ile çimentolanma derecesi çarpılarak “Doku Sağlamlık Katsayısı (DSK)” adı olarak nitelendirilen kayacın çimentolanmasına ve çimento türüne bağlı olan bir katsayı bulunmuştur. Kayaçlar içersinde bulunan aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutları da (d_{ort}) belirlenmiştir. Buna göre her kayaç için aritmetik olarak aşındırıcı tane boyutu bulunmuştur. Schormair et al (2006)’ya göre kayaçların Rosival aşındırıcılıklarından kayaçların eşdeğer kuvars içerikleri (Q_{eqv}) de saptanmıştır. İncelenen kayaçlar kökenlerine ve kuvars içirme durumuna göre üç sınıfta gruplandırılmıştır. Dolomit, kireçtaşı ve marn örneklerinin bulunduğu gruba “Aşındırıcı Mineral İçermeyen Tortul Kökenli Kayaçlar”, bünyesinde aşındırıcı mineral olarak %5 den fazla kuvars içeren kayaçları “Kuvars İçeren Kayaçlar” ve “Andezitler” olmak üzere sınıflandırılmıştır.
- ❖ Doku Sağlamlık Katsayısı ile kayaç aşındırıcılık deneyleri arasında sırasıyla, doğrusal (Eşitlik 6.5) ve üstel ilişkiler bulunmuştur. Doku sağlamlık katsayısıyla Cerchar aşınma indeksi arasında doğrusal ve ilişki katsayısı $R^2= 0.72$ gibi uygun bir ilişki bulunmuştur. Kayacın çimentolanma derecesinin ve çimento türünün kayacın aşındırıcılığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir.
- ❖ Aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutlarının (d_{ort}) kayaçların aşındırıcılıklarına olan etkisi araştırılmıştır. Her iki aşınma deney sonuçları ile aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutları arasında çok uygun ilişkiler bulunmuştur. Özellikle Cerchar aşınma indeksi ile aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutları arasında ilişki katsayısı $R^2=0.84$ olan doğrusal bir ilişki saptanırken, Norveç aşınma deneyi ile ilişki katsayısı $R^2 =0.72$ olan

üstel bir ilişki bulunmuştur. Kayaçları gruplandırarak hem Cerchar hem de Norveç aşınma deneylerine aşındırıcılıklarına aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutlarının etkisi incelenmiştir. Bu durum sırasıyla Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da gösterilmiştir. Şekil 6.15 incelendiğinde, tortul kökenli kayaçlar hariç andezitler ve kuvars minerali içeren kayaçlarda kayaçların aşındırıcılıklarına, aşındırıcı minerallerin tane büyüklüğü doğrudan etkilediği görülmüştür. Özellikle kuvars içeren kayaçlarda bu durum ilişki katsayısının ($R^2 = 0.91$) yüksek çıkmasıyla teyit edilmiştir. Şekil 6.16 incelendiğinde her üç grup kayacın Norveç aşınma deneyine göre bulunan aşındırıcılıkları, aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutundan etkilenmiştir. Özellikle kuvars içeren kayaçlarda bu etki daha fazla olduğu görülmüştür. Kayaçların aşındırıcılıklarına aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutunun her iki aşınma deney yöntemine göre etki ettiği ve özellikle bünyesinde kuvars minerali içeren kayaçlarda bu etkinin oldukça fazla olduğu ilişki katsayısıyla da ($R^2 = 0.90$ civarlarında) görülmüştür.

- ❖ Eşdeğer kuvars içeriğinin kayaçların aşındırıcılıklarına olan etkisi araştırılmıştır. Buna göre kayaçların eşdeğer kuvars içeriklerinin kayaçların aşındırıcılığına etkisinin gruplandırılmadan bakıldığında çok az olduğu sonucuna varılmıştır. Kayaçları gruplandırılarak bakıldığında ise, tortul kökenli kayaçlarda herhangi bir etkinin olmadığı saptanmış, andezit örneklerinde ve kuvars içeren kayaçlarda eşdeğer kuvars içeriği ile kayaç aşındırıcılığı arasında doğrusal bir ilişkilerin olduğu bulunmuştur. Özellikle Cerchar aşınma indeks deney sonuçlarıyla eşdeğer kuvars içerikleri arasındaki ilişkinin daha fazla olduğu ilişki katsayısından da (sırasıyla $R^2 = 0.80$ ve $R^2 = 0.77$) belirlenmiştir. Bu durum bünyesinde aşındırıcı mineral olmayan kayaçların aşındırıcılıklarının dokusal yapılarına göre olduğu, bünyesinde aşındırıcı mineraller içeren kayaçlarda ise aşınmanın bu minerallerin cinsi ve miktarına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Hem andezitler hem de kuvars içeren kayaçlar için eşdeğer kuvars içeriğinin Norveç aşınma deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında doğrusal bir ilişki elde edilmesine ($R^2 = 0.58$) rağmen ilişki katsayıları Cerchar aşınma indeks deneyindeki sonuçlara göre düşük (sırasıyla $R^2 = 0.59$ ve $R^2 = 0.45$) çıkmıştır. Bu durum Norveç aşınma deney yönteminden kaynaklanmaktadır.
- ❖ Aşındırıcı minerallerin ortalama tane boyutları ve eşdeğer kuvars içeriği ile delme oranı indeksi ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu büyüklükler kayacın aşındırıcılığına etki etmekteyken kayacın dayanımına ve delinebilirliğine etkisinin

çok az olduğu sonucuna varılmıştır. Kayaçları gruplarına göre değerlendirildiğinde de aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Kayaçlarının delinebilirliklerini gösteren bir sınıflama sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Ancak incelenen 32 kayaç içinde metamorfik kayaç olarak sadece 1 adet kuvarsit örneğini olması ve kömür çevre kayacı olan kumataşı ve silttaşı örneklerinin 5 adetle sınırlı kalması bu sınıflama sistemini geliştirmeyi uygun kılmamıştır. Bu çalışmada özellikle bazı andezit (17,18,19,20), dolomit (10), kireçtaşı (8 ve 23) ile granodiyorit ve kumtaşı örneklerinde delinebilirlikleri yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi kayacın doku ve içerik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle çimento türü killi veya çimentolanma derecesi düşük olan kayaçların dayanımı yüksek olmasına karşılık delinebilirlikleri de yüksek çıkmıştır. Ancak incelenen kayaçlar genel olarak değerlendirildiğinde dayanımı ve sertliği yüksek olan kayaçları delmek için yüksek güçte kazı makinesi gerekmektedir. Ayrıca incelenen kayaçların Cerchar aşınma indekslerine göre genel olarak aşındırıcı ve çok aşındırıcı olarak bulunmuştur. Bu da yapılacak kazıda keski tüketiminin fazla olacağı anlamına gelmektedir. Bu amaçla kazı makinesi üzerinde opsiyon olarak su emprenye sistemlerinin olması gerekmektedir. Böylece hem keskiler soğutularak ömürleri uzatılmakta hem de kazıya yardımcı olunacaktır.

Petrografik özelliklerin (çimento türü, çimentolanma derecesi, ortalama kuvars tane boyutu, mineral içerikleri) kayacın delinebilirliğine etkilerinin tek tek olmadığı bir kombinasyon şeklinde etkilediği bulunmuştur. Kayacın aşındırıcılığında ise petrografik özellikler kendi başlarına da etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma sonucu bulunan sonuçlar ve değerlendirmeler literatürdeki çalışmalarla paralellik sağlamaktadır. Bu araştırmanın, kayaçların aşındırıcılıklarının ve delinebilirliklerinin petrografik özelliklere göre değişimini ortaya koyması açısından ve geniş kapsamlı yapılan ilk çalışma olması bakımından da ayrı bir önemi vardır.

Kayaçlarının delinebilirliklerini gösteren bir sınıflama sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Ancak incelenen 32 kayaç içinde metamorfik kayaç olarak sadece 1 adet kuvarsit örneğini olması ve kömür çevre kayacı olan kumataşı ve silttaşı örneklerinin 5 adetle sınırlı kalması bu sınıflama sistemini geliştirmeyi uygun kılmamıştır. Yapılan çalışma sonucu, kayaç dayanımının ve sertliğini kayacın delinebilirliğine olan doğrudan etkisi ortaya konulmuştur. Literatürde de belirtildiği gibi dayanımı yüksek olan kayaçlar düşük delinebilirlik özelliği

göstermesi beklenirken yüksek delinebilirlik özelliği gösterebilmektedir. Bu çalışmada da benzer sonuçlar alınmıştır. Özellikle bazı andezit (17,18,19,20), dolomit (10), kireçtaşı (8 ve 23) ile granodiyorit ve kumtaşı örneklerinde delinebilirlikleri yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi kayacın doku ve içerik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle çimento türü killi veya çimentolanma dercesi düşük olan kayaların delinebilirlikleri yüksek çıkmıştır.

Özellikle kömür çevre kayaları ve metaformik kökenli kayalar üzerinde bu çalışmanın devamının yapılması gerekmektedir. Delme oranı indeksi ve Norveç aşınma deneyleri özellikle yeraltı açıkların (tünel, metro, kanalizasyon gibi) hızlı ve güvenilir şekilde kazılarında kullanılan kazı makinelerinin (TBM, galeri açma makinesi, hidrolik kırıcı vs.) performans analizlerinde yaygın kullanılan deney yöntemleridir. Bu deney aletlerinin orjinalleri SINTEF-Norveç'te bulunmaktadır. TÜBİTAK araştırma projesi kapsamında yapılan çalışmadan sağlanan ödenek ile ZKÜ Maden Mühendisliği bölümünde kurulmuş olan laboratuvarında delme oranı indeksi ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Bu merkezde yapılacak araştırmalarla, kazının amacına uygun doğru makine seçilmesi gerçekleştirilecektir. Böylece yanlış makine seçiminden kaynaklanan olumsuzluklar ve yüksek kazı maliyetleri giderilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Al-Ameen S I and Waller M D** (1994) The influence of rock strength and abrasive mineral content on the Cerchar abrasive index. *Engineering Geology*,4: 293-301.
- Altındağ R** (2000) Darbeli delme performans analizlerinde kayaç gevrekliğinin rolü. *5. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Isparta, s.105-112.
- Altınoluk S** (1989) Tünel açma makinalarında kazıcı uçların aşınmalarına etki eden faktörler. *11. Türkiye Madencilik ve Bilimsel Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, Ankara, s. 285-303.
- Arı H** (1990) TTK Asma İşletmesi Kömür Çevre Kayaçlarının Kazılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 85 s.
- Atkinson R H** (1993) Hardness tests for rock characterization. *Comprehensive Rock Engineering*, ed. J A Hudson, Chapter 5, pp. 105-117.
- Avcı F** (2001) TTK Asma-Dilaver İşletmesi Kömür Çevre Kayaçlarının Aşındırıcılık Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Mühendislik Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 100 s.
- Balcı C, Bilgin N, Çopur H, Tumaç D ve Akgül M** (2007) Tünel açma makinelerinin tam boyutlu kesme deneyi ile performans tahmini, *1. Maden Makinaları Sempozyumu*, TMMOB, MMO, Kütahya s.61-70.
- Barbour T G, Atkinson R H and Ko H Y** (1979) Realationship of mechanical index and mineralogic properties of coal measures rock. *20th Symposium on Rock Mechanics*, Austin, Texas, USA, pp. 189-198.
- Baş N** (1993) Elektro Hidrolik Delicilerin Delme Performansının İncelenmesi. Yüksek Mühendislik Tezi (yayımlanmamış), 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.
- 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.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- 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.
- Birinci A** (1989) TTK Üzülmaz 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.
- Bruland A, Dahl T S and Nilsen B** (1995) Tunnelling performance estimation based on drillability testing. *ISRM Congress*, Tokyo, pp.123-126.
- Bruland A** (2000) Hard Rock Tunnel Boring, Doctoral Theses at NTNU, Trondheim Norway, vol. 1-10, p. 25-27.
- Cerchar Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France** (1986) *The Cerchar Abrasiveness Index*, France, 12 p.
- Cerman T** (1988) Investigation into the application of Cerchar hardness and abrasivity tests in different rock formations of Ankara Coalfield and Eyüp Tunnel, Yüksek Mühendislik Tezi (yayımlanmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 92 p.
- Dahl F** (2003) *DRI Standards*, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim. 21 p.
- Dahl F, Grov E and Breivik T** (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*, 22:106-116.
- Deketh H J R** (1995) *Wear of Rock Cutting Tools*, A A Balkema, Rotterdam, Netherlands, p.143
- Ekincioglu G** (2008) Çeşitli Kireçtaşlarının Delinebilirlik İndeks Özellikleri ve Kayaç Kesilebilirliği Arasındaki İlişkilerin Değerlendirilmesi. Yüksek Mühendislik Tezi (yayımlanmamış), SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 78 s.
- Erdaş E** (2002) Bazı Kayaçların Cerchar Aşınma İndeks Özelliklerinin Belirlenmesi. Diploma Çalışması (yayımlanmamış), ZKÜ Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, Zonguldak, 32 s.
- ISRM** (1980) Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock MechMin. Sci. And Geomech. Abstr.*, Vol. 18, pp. 85-110.
- Johannessen O** (1998) *Hard Rock Tunnel Boring Advance Rate And Cutter Wear*. Project Report, IB-98, NTNU, Trondheim, Norwegian, 22 p.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kaba M** (2004) Zonguldak ve civarı kayaçların Cerchar aşınma indeksi ile petrografik özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması. Diploma Çalışması (yayımlanmamış), ZKÜ Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Zonguldak, 38 s.
- Kahraman S, Balcı C, Yazıcı 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** (2001) Evaluation Of Simple Methods For Assessing The Uniaxial Compressive Strength Of Rock, *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 981-994.
- Kahraman S** (2002) Correlation of TBM and drilling machine performances with rock brittleness. *Engineering Geology*, 65, pp. 269-283.
- Kahraman S, Bilgin N and Feridunoğlu C** (2003) Dominant rock properties affecting penetration rate of percussive drills. *International Journal Of Rock Mechanics & Mining Sciences* pp. 711-723.
- Karpuz C, Paşamehmetoğlu A C, Dinçer T and Müftüoğlu Y** (1990) Drillability studies on the rotary blast hole drilling on lignite overburden series. *Int. J. Surface Min. Reel.*, 4, 89-93.
- Kel K** (2003) Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Kazılabilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 181 s.
- Kutlu V** (2004) Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Cerchar Aşınma İndeksleri İle Petrografik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. Diploma Çalışması (yayımlanmamış), ZKÜ Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Zonguldak, 54 s.
- 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.
- Miskovsky K, Taborda Duarte M, 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: 144-150 p.
- 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 Özdemir L** (1993) Hard rock tunnel boring prediction and field performance. Chapter 52, *RETIC Conference Proceedings*, June 13-17, Boston MA, pp. 833-852.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Nilsen B** (2003) Investigation and testing for Norwegian hard rock TBM performance prediction. *Türkiye Yeraltı Kaynaklarının Bugünü ve Geleceği, İTÜ Maden Fakültesi 50. Yıl Sempozyumu Kitabı*, İstanbul, pp. 89-96.
- Özdemir L and Nilsen B** (1999) Recommended laboratory rock testing for TBM projects. *AUA News 14:2*, pp 21-35.
- Pandey A K, Jain A K and Signh D P** (1991) An investigation into rock drilling, *Int J Surf Min Recl.*, 5: 114-39.
- Plinninger R, Kasling H, Thuro K and Spaun, G** (2003), Testing conditions and geomechanical properties influencing the Cerchar abrasiveness index value. Technical Note, *Int Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol 40, pp 259-263.
- Rostami J, Özdemir 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.
- 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.
- Schimazek J and Knatz H** (1970) Der einfluss des gesteinsaufbaus auf die schnittgeschwindigkeit und den meisselverschlers von strecken vortriebs maschinen, *Glückauf*, pp. 274-278.
- 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 incelenmesi. Doktora Tezi (yayımlanmamış), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 241 s.
- Sofretu F M and Schwenzfeier G** (2005) AFTES Working Group No 4 Mechanized Excavation, www.al'tes.asso.l'r.
- Soyer E** (2009) Kayaçların dayanım ve petrografik özelliklerinin delinebilirliğe etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 163 s.
- Suana M and Peters T** (1982) The Cerchar abrasivity index and it's relation to rock mineralogy and petrography. *Rock Mechanics*, 15 (1), 1-7.
- Tamrock** (1987) *Handbook of Underground Drilling*, Tamrock Drills SF-33310 Tampere, Finland, 327 p.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tamrock** (1999) *Rock Excavation Handbook for Civil Engineering*, ed. R. Heneö, 99-808-GB6000, Sandvik Tamrock Corp., 364 p.
- Thuro K and Spaun G** (1996) Introducing the ‘detruction work’ as a to new rock property of toughness refering to drillability in conventional drill and blast tunnelling. ed. M. Barla, *Eurock’96 Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Enginnering*, Vol. 2, p. 707-13.
- Tunçdemir H** (2002) Kollu Galeri Açma Makinelerinin Veya Benzer Makinelerin Cevher Kazısında Kullanımlarının Araştırılması. Doktora Tezi (yayımlanmamış), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 295 s.
- 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. 15-99.
- West G** (1981) A review of rock abrasiveness testing for tunnelling, *Proc. of the Int. Symp. on Weak Rock*, Tokyo, 1, pp. 585-594.
- West G** (1986) A relation between abrasiveness and quartz content for some coal measures sediments, *Int. J. of Mining and Geological Engineering*, 4, 73-78.
- West G** (1989) Rock abrasiveness testing for tunnelling, Technical Note, *Int. Journal of Rock Mech. & Mining Sciences*, 26 (2) , 151-160.
- Yaralı O** (2005) Zonguldak taşkömür çevre kayaçlarının aşındırıcılık özelliklerinin araştırılması, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Konferans ve Fuarı Bildiriler Kitabı*, IMCET, İzmir s.243-244.
- Yaralı O ve Akçın N A** (2005) Kayaçların Cerchar sertlik indeks değerleri ile dayanım özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı Bildiriler Kitabı*, IMCET, İzmir, s. 271 – 273.
- Yaralı O, Yaşar E, Bacak G ve Su O** (2006) *Mekanize Kazıda Kayaçların Petrografik Özellikleri ile Aşındırıcılık ve Sertlik İndeksleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi*. ZKÜ Araştırma Fonu Projesi Final Raporu, Zonguldak, 24 s.
- Yaralı O** (2007) Tünel açma makinalarının performans tahminleri için 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 indeksinin (DRI) tahmini. 2. *Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, ed. N. Bilgin vd., İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü İstanbul, s. 169 - 180.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Yaralı O** (2007) Kayaç kırılabilirliği ve delme oranı indeksi arasındaki ilişkilerin araştırılması. *Türkiye Uluslararası 20. Madencilik Kongresi Kitabı*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, Ankara, s.217-224.
- Yaralı O, Yaşar E, Bacak G and Ranjith P G** (2008) A study of rock abrasivitiy and tool wear in coal measures rocks. *Int. J. of Coal Geology*, 74, Issue 1, pp. 53 – 66.
- Yaralı O** (2008) Kayaçların delinebilirlik ve aşındırıcılıklarının belirlenmesi. *Türkiye 16. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, ed. H. Aydın – A. Çakır, TMMOB MMO Zonguldak Şubesi, Zonguldak, s. 77 – 92.
- 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 Final Raporu, Proje No: 104M437, Zonguldak, 160 s.
- Yenice H, Özfırat M K, Karaca Z ve Kahraman B** (2009) Mermerlerde delme oranı indeksini etkileyen parametrelerin araştırılması. *Türkiye 2. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, ed. M E Bilir – B. Ekmekçi, TMMOB MMO Zonguldak Şubesi, Zonguldak, s. 233 – 246.

BİBLİYOGRAFYA

- Bamford W E, Howarth D F and Farmer I** (1987) Notes of the workshop held at Montreal on rock boreability cuttability and drillability. *International Society for Rock Mechanics*, Vol. 2, pp. 365-382.
- 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.
- Clark G B** (1979) *Principles of rock drilling*, Colorado School of Mines p 91.
- Dutta P K** (1972) Theory of percussive drill bit penetration, *Int 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 & Quarry Engineering*, 27: 74-81.
- Fowell R J and Mcfeat-Smith** (1976) Factors influencing the cutting performance of a selective tunneling machine, ed. J. M Jones, *Proceedings of the Seventh International Symposium on Tunneling'76*, London: IMM, pp. 301-9
- Franklin J A and Dusseault M B** (1989) *Rock Engineering*, New York: McGraw-Hill.
- 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.
- 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. *Proceedings of the 14th Symposium on Rock Mechanics*, Pennsylvania State Universty, pp. 613-621.
- Howarth D F, Adamson W R and Berndt J R** (1985) Correlation of model tunnel boring and drilling machine performances with rock proprties. *Int J Rock Mech Min Sci*, 23: 57-85.

BİBLİYOGRAFYA (devam ediyor)

- 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. 134-140.
- 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: 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 Felsmechanik*, Aachen, Deutschland, pp. 985-990.
- Johnson S T and Fowell R J** (1986) Compressive strenght is not enough, Assessing Pick Wear Rates for Drag Tool Equipped Machines. *Proc. 27th US Rock Mech. Symp.* AIME, Tuscaloosa, pp. 286-292.
- Lien R** (1961) An Indirect test Method for Estimating the Drillability of Rocks. Dr. thesis, NTH Dept. of Geology, Norwegian, in Norwegian, 90 p.
- Lundberg B** (1985) Microcomputer simulation of stres wave energy transfer to rock in percussive drilling. *Int J Rock Mech. Min Sci.*, 22, pp. 1417-10.
- 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, pp. E195-E200.
- Nizamoğlu S** (1978) *Contribution a L' etude du Fonctionnement des Tunneliers plein section, et Analyse de L' usure de Leurs outils de coupe*. These Pour Obtenir Le Grade De Docteur Ing. Ecole des Mines de Nancy, 139 p.
- Özdemir 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, 252 p.
- Paone J, Madson D and Bruce W E** (1969) Drillability studies-laboratory percussive drilling, *USBM RI 7300*.
- Prodoyakonov M M** (1962) Mechanical prooporties and drillability of rocks. In: *Proceedings of the Fifth Symposium on Rock Mechanics*, Minneapolis, University of Minnesota, pp. 103-108.
- 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: 211-220.
- Roxborough F F** (1985) Research in mechanical rock excavation: progress and prospects. In *Proc. Rapid Excavation and Tunneling Conference*, Vol. 1, New York, USA.

BİBLİYOGRAFYA (devam ediyor)

- Roxborough F F and Phillips H R** (1975) Rock excavation by disc cutter. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, 12 pp. 361-366.
- Sasaki K N, Yamakado N, Shiohara F and Tobe M** (1962) Investigations of diamond core bit boring, *Ind Diamond Rev.*, 22: 259, 178-186.
- Schmidt R L** (1972) Drillability 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.*, 78:844-852.
- 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*, Vol. 1-2, Mining Hobart Muden Publishing Company, Hobart, Australia, 1911 p.
- 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.
- Tahdanand S and Unger H F** (1975) *Drillability Determination, A Drillability Index for Percussive Drills*. U. S. B. M., R. I. 8073, 20 p.
- Tarkoy P J** (1973) Predicting TBM penetration rates in selected rock types. *In Poc. Ninth Canadian Rock Mechanics Symposium*, Montreal, pp. 116-132.
- Thuro K** (1997) Predictionof drillability in hardrock tunneling by drilling and blasting, *In: Golse J et al.*, pp.103-111.
- Wallis S** (1999) Record setting TBMs on China's long Yellow River drives. *Tunnel*;1:19-26.
- Yazıcı S** (1984) Galeri açma makinalarının seçimi için kazılabilirliğin saptanması. *Madencilik*, 22 (2): 23-33.
- Zum Gahr K H** (1987) *Microstructure and wear of materials*, Tribology Series 10, Elsevier, Rotterdam.

EK AÇIKLAMALAR A
KIRILGANLIK DENEY SONUÇLARI

Çizelge A.1 Kırılgenlik deneyi sonuçları (Yaralı vd. 2008)

Örnek Adı: Kuvarsit (Norveç)-1						
<i>Yoğunluk = 2.61 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	492.5		492.5			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	232.0		235.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	260.5		257.0			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{260.5}{492.5} = \%52.80$ $S_{20_2} = \frac{257}{492.5} = \%52.10$ $S_{20_{ort}} = \% 52.45$						
Örnek Adı: Kireçtaşı (Norveç)-2						
<i>Yoğunluk = 2.62 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	494					
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	260					
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	234					
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = 234 / 494 = \% 47.37$						
Örnek Adı: Diyabaz (açık gri. Dorukan)-3						
<i>Yoğunluk = 2.88 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	543		543.0		543	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	353		335.5		332	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	190		207.5		211	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{190}{543} = \%35$ $S_{20_2} = \frac{207.5}{543} = \%38.21$ $S_{20_3} = \frac{211}{543} = \%38.85$ $S_{20_{ort}} = \%37.35$						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı: Diyabaz (koyu gri. Dorukan)-4						
<i>Yoğunluk = 2.38 gr/cm³</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	449.0		449.0			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	225		223.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	224		225.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2			
$S_{20_1} = \frac{224}{449} = \%50.22$ $S_{20_2} = \frac{225.5}{449} = \%49.88$ $S_{20_{ort}} = \%50.00$						
Örnek Adı: Granodiorit (Dorukan)-5						
<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	507.5		507.5		507.5	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	168.5		190.0		164.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	339.0		317.5		343	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{339}{507.5} = \%66.80$ $S_{20_2} = \frac{317.5}{507.5} = \%62.5$ $S_{20_3} = \frac{343}{507.5} = \%67.59$ $S_{20_{ort}} = \%65.65$						
Örnek Adı: İnce taneli kumtaşı (TTK Kozlu döküm sahası)-6						
<i>Yoğunluk = 2.53 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	477.5		477.5			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	204.5		228			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	273		249.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{273}{477.5} = \%57.17$ $S_{20_2} = \frac{249.5}{477.5} = \%52.25$ $S_{20_{ort}} = \%54.71$						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı: Diyabaz (koyu gri. Dorukan)-4						
<i>Yoğunluk = 2.38 gr/cm³</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	449.0		449.0			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	225.5		223.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	224		225			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2			
$S_{20_1} = \frac{225.5}{449} = \%49.77$ $S_{20_2} = \frac{224}{449} = \%50.11$ $S_{20_{ort}} = \%49.94$						
Örnek Adı: Granodiorit (Dorukan)-5						
<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	507.5		507.5		507.5	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	168.5		190.0		343.0	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	339.0		317.5		164.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{339}{507.5} = \%66.80$ $S_{20_2} = \frac{317.5}{507.5} = \%62.5$ $S_{20_3} = \frac{343}{507.5} = \%67.59$ $S_{20_{ort}} = \%65.65$						
Örnek Adı: İnce taneli kumtaşı (TTK Kozlu döküm sahası)-6						
<i>Yoğunluk = 2.53 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	477.5		477.5			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	204.5		228			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	273		249.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{273}{477.5} = \%57.17$ $S_{20_2} = \frac{249.5}{477.5} = \%52.25$ $S_{20_{ort}} = \%54.71$						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı: Silttaşı (TTK Kozlu döküm sahası)-7								
Yoğunluk = 2.66 gr/cm ³ (karot boyutlarından)								
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek			
	gr	%	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	501.0		501.0		501			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	258.5		274.5		269			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	242.5		226.5		232			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1			
$S_{20_1} = \frac{242.5}{501} = \%48.20$ $S_{20_2} = \frac{226.5}{501} = \%45.20$ $S_{20_3} = \frac{232}{501} = \%46.30$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 46.63$								
Örnek Adı: Kireçtaşı (ZKÜ yeni kapı giriş inşaat alanı)-8								
Yoğunluk = 2.65 gr/cm ³ (karot boyutlarından)								
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek			
	gr	%	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	500		500		500			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	213		205		216.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	287		295		283.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1			
$S_{20_1} = \frac{287}{500} = \%57.40$ $S_{20_2} = \frac{295}{500} = \%59$ $S_{20_3} = \frac{283.5}{500} = \%56.70$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 57.70$								
Örnek Adı: Siyenit (Devrek)-9								
Yoğunluk = 2.65 gr/cm ³ (karot boyutlarından)								
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek		4. Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	438		438.0		438.0		438.0	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	266		241.5		260.5		256.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	172		196.5		177.5		181.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{172}{438} = \%39.27$ $S_{20_2} = \frac{196.5}{438} = \%44.86$ $S_{20_3} = \frac{177.5}{438} = \%40.52$								
$S_{20_4} = \frac{181.5}{438} = \%41.44$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 41.52$								

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Dolomit (Devrek)-10						
<i>Yoğunluk = 2.80 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	528.5		528.5		528.5	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	179.0		154.0		151.0	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	349.5		374.5		377.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{349.5}{528.5} = \%66.13$ $S_{20_2} = \frac{374.5}{528.5} = \%70.86$ $S_{20_3} = \frac{377.5}{528.5} = \%71.4$ $S_{20 \text{ ort}} = \% \mathbf{69.47}$						
Örnek Adı : Porfirik bazaltik andezit (koyu renk. ZKE 34. km)-11						
<i>Yoğunluk = 2.17 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3. Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	409		409		409	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	240		233.5		253	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	169		175.5		156	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{169}{409} = \%41.32$ $S_{20_2} = \frac{175.5}{409} = \%42.91$ $S_{20_3} = \frac{156}{409} = \%38.14$ $S_{20 \text{ ort}} = \% \mathbf{40.79}$						
Örnek Adı : Porfirik bazaltik andezit (açık renk. ZKE 42. km)-12						
<i>Yoğunluk = 2.20 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr		%	
11.2 – 16 mm arası eleme	415		415			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	193.5		214.5			
Kayaç malzemesi <11.2mm (20 darbe sonrası)	221.5		200.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{221.5}{415} = \%53.37$ $S_{20_2} = \frac{200.5}{415} = \%48.37$ $S_{20 \text{ ort}} = \% \mathbf{50.87}$						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Bazaltik andezit (açık renk. ZKE 43. km. çok boşluklu)-13						
<i>Yoğunluk = 2.20 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	415		415			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	244		233			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	171		182			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{171}{415} = \%41.20$ $S_{20_2} = \frac{182}{415} = \%43.86$ $S_{20_{ort}} = \% 42.53$						
Örnek Adı : Dolerit-14						
<i>Yoğunluk = 2.89 gr/cm³(karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	545		545		545	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	385		405		410	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	160		140		135	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{160}{545} = \%29.36$ $S_{20_2} = \frac{140}{545} = \%25.62$ $S_{20_3} = \frac{135}{545} = \%24.77$ $S_{20_{ort}} = \% 26.60$						
Örnek Adı : Alkali granit -15						
<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)	267		276.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	220		210.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{220}{487} = \%45.17$ $S_{20_2} = \frac{210.5}{487} = \%43.22$ $S_{20_{ort}} = \% 44.19$						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Bazalt (Hasan Dağı etekleri)-16				
Yoğunluk = 2.46 gr/cm ³ (karot boyutlarından)				
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek	
	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	464.0		464	
Kayaç malzemesi > 11.2 mm (20 darbe sonrası)	265.5		279	
Kayaç malzemesi < 11.2 mm (20 darbe sonrası)	198.5		185	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1	
$S_{20_1} = \frac{198.5}{464} = \%42.78$ $S_{20_2} = \frac{185}{464} = \%39.87$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 41.32$				
Örnek Adı : Andezitik bazalt (ZKE 26.km)-17				
Yoğunluk = 2.52 gr/cm ³ (karot boyutlarından)				
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek	
	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası	475.5		475.5	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	255.5		239	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	220		236.50	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1	
$S_{20_1} = \frac{220}{475.5} = \%46.27$ $S_{20_2} = \frac{236.5}{475.5} = \%49.73$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 48.00$				
Örnek Adı : Porfirik andezit (ZKE 37.km)-18				
Yoğunluk = 2.39 gr/cm ³ (karot boyutlarından)				
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek	
	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası	451		451	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	206		197.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	245		253.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1	
$S_{20_1} = \frac{245}{451} = \%54.32$ $S_{20_2} = \frac{253.5}{451} = \%56.20$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 55.26$				

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Taraki andezit (Kdz.Ereğli- Alaplı, Taşocağı)-19						
<i>Yoğunluk = 2.46 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
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)	192		176		182	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	272		288		282	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{272}{464} = \%58.62$ $S_{20_2} = \frac{288}{464} = \%62.07$ $S_{20_3} = \frac{282}{464} = \%60.77$ $S_{20_{ort}} = \% 60.48$						
Örnek Adı : Bazaltik andezit (Kdz.Ereğli-Devrek 11.km)-20						
<i>Yoğunluk = 2.64 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	498		498		498	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	234.5		216.5		244.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	264		281.5		253.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{264}{498} = \%53.01$ $S_{20_2} = \frac{281.5}{498} = \%56.25$ $S_{20_3} = \frac{253.5}{498} = \%50.90$ $S_{20_{ort}} = \% 51.96$						
Örnek Adı : Dolomitik kireçtaşı (Kdz. Ereğli-Devrek 25. km)-21						
<i>Yoğunluk = 2.69 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	507.5		507.5			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	219.5		214.5			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	288		293			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{288}{507.5} = \%56.74$ $S_{20_2} = \frac{293}{507.5} = \%57.73$ $S_{20_{ort}} = \% 57.24$						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Bazaltik andezit (Amasra)-22						
<i>Yoğunluk = 2.15 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	406		406		406	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	108.5		102		101	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	297.5		304		305	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{297.5}{406} = \%73.28$ $S_{20_2} = \frac{304}{406} = \%70.86$ $S_{20_3} = \frac{305}{406} = \%75.13$ S_{20 ort}= % 74.43						
Örnek Adı : Kireçtaşı (Amasra)-23						
<i>Yoğunluk = 2.68 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3. Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	505.5		505.5		505.5	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	217.5		218		210	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	288		287.5		295.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{288}{505.5} = \%56.97$ $S_{20_2} = \frac{287.5}{505.5} = \%56.90$ $S_{20_3} = \frac{295.5}{505.5} = \%58.45$ S_{20 ort}= % 57.44						
Örnek Adı : Silttaşı (Çok ince taneli, Türkali-Göbü arası)-24						
<i>Yoğunluk = 2.34 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr		%	
11.2 – 16 mm arası eleme	441.5		441.5			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	161.5		159.5			
Kayaç malzemesi <11.2mm (20 darbe sonrası)	280		282			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			

$$S_{20_1} = \frac{280}{441.5} = \%63.42 \quad S_{20_2} = \frac{282}{441.5} = \%63.87 \quad S_{20 \text{ ort}} = \% 63.65$$

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Bazaltik andezit (Amasra)-22						
<i>Yoğunluk = 2.15 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	406		406		406	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	108.5		102		101	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	297.5		304		305	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{349.5}{528.5} = \%66.13$ $S_{20_2} = \frac{374.5}{528.5} = \%70.86$ $S_{20_3} = \frac{377.5}{528.5} = \%71.4$ S_{20 ort}= % 69.47						
Örnek Adı : Kireçtaşı (Amasra)-23						
<i>Yoğunluk = 2.68 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3. Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	505.5		505.5		505.5	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	217.5		218		210	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	288		287.5		295.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1	
$S_{20_1} = \frac{169}{409} = \%41.32$ $S_{20_2} = \frac{175.5}{409} = \%42.91$ $S_{20_3} = \frac{156}{409} = \%38.14$ S_{20 ort}= % 40.79						
Örnek Adı : Silttaşı (Ço ince taneli, Türkali-Göbü arası)-24						
<i>Yoğunluk = 2.34 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	441.5		441.5			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	161.5		159.5			
Kayaç malzemesi <11.2mm (20 darbe sonrası)	280		282			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{280}{441.5} = \%63.42$ $S_{20_2} = \frac{282}{441.5} = \%63.87$ S_{20 ort}=% 63.65						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Silttaşı (Kaba taneli, Zong.-Devrek 18. km)-25						
<i>Yoğunluk = 2.33 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	439		439		439	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	169		156		150.5	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	270		283		288.5	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{270}{439} = \%61.50$ $S_{20_2} = \frac{283}{439} = \%64.47$ $S_{20_3} = \frac{288.5}{439} = \%65.72$ S_{20 ort}=% 63.90						
Örnek Adı : Porfirik bazaltik andezit (Zong. –Devrek 18.km)-26						
<i>Yoğunluk = 2.40 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3. Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	453		453		453	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	158		147		150	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	295		306		303	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{295}{453} = \%65.12$ $S_{20_2} = \frac{306}{453} = \%67.55$ $S_{20_3} = \frac{303}{453} = \%66.89$ S_{20 ort}=% 66.52						
Örnek Adı : Granit (Yenice)-27						
<i>Yoğunluk = 2.67 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	504		504			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	229.5		219			
Kayaç malzemesi <11.2mm (20 darbe sonrası)	274.5		285			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1			
$S_{20_1} = \frac{274.5}{504} = \%54.46$ $S_{20_2} = \frac{285}{504} = \% 56.55$ S_{20 ort}=% 55.50						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Dolomitik kireçtaşı (Zong. – Filyos arası)-28						
Yoğunluk = 2.56 gr/cm ³ (karot boyutlarından)						
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)	180.5		175.5		190	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	302.5		307.5		293	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		2	
$S_{20_1} = \frac{302.5}{483} = \%62.63$ $S_{20_2} = \frac{307.5}{483} = \%63.66$ $S_{20_3} = \frac{293}{483} = \%60.06$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 62.12$						
Örnek Adı : Dolomit (Zong. – Filyos arası)-29						
Yoğunluk = 2.78 gr/cm ³ (karot boyutlarından)						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek			
	gr	%	gr	%		
11.2 – 16 mm arası eleme	524.5		524.5			
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	198		184			
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	326.5		340.5			
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2			
$S_{20_1} = \frac{326.5}{524.5} = \%62.25$ $S_{20_2} = \frac{340.5}{524.5} = \% 64.92$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 63.58$						
Örnek Adı : Bazaltik Andezit (Zong. – Yenice 50.km)-30						
Yoğunluk = 2.45 gr/cm ³ (karot boyutlarından)						
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek	
	gr	%	gr	%	gr	%
11.2 – 16 mm arası eleme	462		462		462	
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	250		271.5		260	
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	212		190.5		202	
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	0		0		0	
$S_{20_1} = \frac{212}{462} = \%45.89$ $S_{20_2} = \frac{190.5}{462} = \%41.23$ $S_{20_3} = \frac{202}{462} = \%43.72$ $S_{20 \text{ ort}} = \% 43.61$						

Çizelge A.1 (devam ediyor).

Örnek Adı : Marn (Zong. – Filyos arası)-31					
<i>Yoğunluk = 2.52 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>					
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		
	gr	%	gr	%	
11.2 – 16 mm arası eleme	475.5		475.5		
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	177		167		
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	298.5		308.5		
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	2		2		
$S_{20_1} = \frac{298.5}{475.5} = \%62.77$ $S_{20_2} = \frac{308.5}{475.5} = \% 64.88$ S_{20 ort}=% 63.82					
Örnek Adı : Kumtaşı (TTK Armutçuk Mües. Döküm sahası)-32					
<i>Yoğunluk = 2.40 gr/cm³ (karot boyutlarından)</i>					
Eleme Aşaması	1.Örnek		2.Örnek		3.Örnek
	gr	%	gr	%	gr %
11.2 – 16 mm arası eleme	453		453		453
Kayaç malzemesi >11.2 mm (20 darbe sonrası)	162		164		170
Kayaç malzemesi <11.2 mm (20 darbe sonrası)	291		289		283
Sıkışabilirlik indeksi 0-3	1		1		1
$S_{20_1} = \frac{291}{453} = \%64.26$ $S_{20_2} = \frac{289}{453} = \%63.73$ $S_{20_3} = \frac{283}{453} = \%62.52$ S_{20 ort}=% 63.50					

EK AÇIKLAMALAR B

NORVEÇ AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

Çizelge B. 1 Norveç aşınma deney (AV) sonuçları.

Örnek Adı : 1-Kuvarsit (Norveç)				
Uç No	6	7	8	
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.940	53.609	54.027	
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.850	53.524	53.932	
Kayıp (mgr)	90	85	95	
AV_{ort} (mgr) = 90				
Örnek Adı : 2-Kireçtaşı (Norveç)				
Uç No	1	2		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.947	53.946		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.946	53.944		
Kayıp (mgr)	1	2		
AV_{ort} (mgr) = 1.5				
Örnek Adı : 3-Diyabaz (açık gri) (Dorukan Tüneli)				
Uç No	11	31		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.287	53.286		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.285	53.284		
Kayıp (mgr)	2	2		
AV_{ort} (mgr) = 2				
Örnek Adı : 4- Diyabaz (koyu gri) (Dorukan Tüneli)				
Uç No	12	32		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.402	53.306		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.402	53.305		
Kayıp (mgr)	0	1		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				

Çizelge B. 1 (devam ediyor).

Örnek Adı : 5-Granadiyorit (Dorukan Tüneli)				
Uç No	3	23		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.932	53.823		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.923	53.809		
Kayıp (mgr)	9	14		
AV_{ort} (mgr) = 11.5				
Örnek Adı : 6- Kumtaşı (TTK-Kozlu)				
Uç No	4	10	24	30
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.621	53.617	53.611	53.813
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.609	53.605	53.600	53.800
Kayıp (mgr)	12	12	11	13
AV_{ort} (mgr) = 12				
Örnek Adı : 7- Silttaşı (TTK-Kozlu)				
Uç No	5	25		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.754	53.7568		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.754	53.7566		
Kayıp (mgr)	0	0.2		
AV_{ort} (mgr) = 0.1				
Örnek Adı : 8-Kireçtaşı (ZKÜyeni kapı girişi)				
Uç No	13	33		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.366	53.487		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.365	53.487		
Kayıp (mgr)	1	0		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				

Çizelge B. 1 (devam ediyor).

Örnek Adı : 9-Siyenit (Yenice)				
Uç No	15	35		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.223	53.232		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.221	53.228		
Kayıp (mgr)	2	4		
AV_{ort} (mgr) = 3				
Örnek Adı : 10-Dolamit (Devrek)				
Uç No	14	34		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.809	53.609		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.808	53.609		
Kayıp (mgr)	1	0		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				
Örnek Adı : 11-Porfirik Bazaltik Andezit (ZKE 34.km)				
Uç No	16	36		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.249	53.426		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.248	53.424		
Kayıp (mgr)	1	2		
AV_{ort} (mgr) = 1.5				
Örnek Adı : 12-Porfirik Bazaltik Andezit (ZKE 35.km)				
Uç No	19	20		
Deney öncesi ağırlık (gr)	50.534	52.430		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	50.531	52.428		
Kayıp (mgr)	3	2		
AV_{ort} (mgr) =2.5				

Çizelge B. 1 (devam ediyor).

Örnek Adı : 13-Bazaltik Andezit (ZKE 42.km)				
Uç No	26	27	28	
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.221	53.316	53.608	
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.219	53.313	53.604	
Kayıp (mgr)	2	3	4	
AV_{ort} (mgr) = 3				
Örnek Adı : 14-Dolerit (Yenice)				
Uç No	9	29		
Deney öncesi ağırlık (gr)	54.178	53.926		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	54.165	53.911		
Kayıp (mgr)	13	15		
AV_{ort} (mgr) = 14				
Örnek Adı : 15-Alkali Granit (Yenice)				
Uç No	17	37		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.890	58.874		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.874	58.857		
Kayıp (mgr)	16	17		
AV_{ort} (mgr) = 16.5				
Örnek Adı : 16-Bazalt (Hasan Dağı)				
Uç No	18	38		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.537	53.446		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.536	53.444		
Kayıp (mgr)	1	2		
AV_{ort} (mgr) = 1.5				

Çizelge B. 1 (devam ediyor).

Örnek Adı : 17-Andezitik Bazalt (ZKE 26.km)				
Uç No	19	19		
Deney öncesi ağırlık (gr)	50.473	50.471		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	50.471	50.469		
Kayıp (mgr)	2	2		
AV_{ort} (mgr) = 2				
Örnek Adı : 18-Porfirik Andezit (ZKE 37.km)				
Uç No	21	21		
Deney öncesi ağırlık (gr)	50.472	50.472		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	50.472	50.471		
Kayıp (mgr)	0	1		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				
Örnek Adı : 19-Traki Andezit (Kdz. Ereğli- Alaplı arası Taşocağı)				
Uç No	22	22		
Deney öncesi ağırlık (gr)	46.980	46.977		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	46.977	46.973		
Kayıp (mgr)	3	4		
AV_{ort} (mgr) = 3.5				
Örnek Adı : 20-Bazaltik Andezit (Kdz. Ereğli –Devrek 11. km)				
Uç No	23	2		
Deney öncesi ağırlık (gr)	46.978	53.874		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	46.975	53.871		
Kayıp (mgr)	3	3		
AV_{ort} (mgr) = 3.0				

Çizelge B. 1 (devam ediyor).

Örnek Adı : 21-Dolomitik Kireçtaşı (Kdz. Ereğli –Devrek 25. km)				
Uç No	39	39		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.942	53.941		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.941	53.941		
Kayıp (mgr)	1	0		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				
Örnek Adı : 22-Bazaltik Andezit (Amasra)				
Uç No	40	1		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.940	53.866		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.939	53.864		
Kayıp (mgr)	1	2		
AV_{ort} (mgr) = 1.5				
Örnek Adı : 23-Kireçtaşı (Amasra)				
Uç No	9	10		
Deney öncesi ağırlık (gr)	54.067	53.525		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	54.066	53.523		
Kayıp (mgr)	1	2		
AV_{ort} (mgr) = 1.5				
Örnek Adı : 24-Sittası (Türkali – Göbü arası)				
Uç No	28	29		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.532	53.848		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.532	53.847		
Kayıp (mgr)	0	1		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				
Örnek Adı : 25-Silttaşı (Zong. – Devrek 18. km)				
Uç No	30	31		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.726	53.204		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.726	53.203		
Kayıp (mgr)	0	1		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				

Çizelge B. 1 (devam ediyor).

Örnek Adı : 26-Porfirik Bazaltik Andezit (Zong. – Devrek 18. km)				
Uç No	32	22		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.276	46.901		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.274	46.898		
Kayıp (mgr)	2	3		
AV_{ort} (mgr) = 2.5				
Örnek Adı : 27-Granit (Yenice)				
Uç No	33	34		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.435	53.537		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.426	53.516		
Kayıp (mgr)	19	21		
AV_{ort} (mgr) = 20.00				
Örnek Adı : 28-Dolomitik Kireçtaşı (Zong. - Filyos)				
Uç No	35	36		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.158	53.347		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.158	53.346		
Kayıp (mgr)	0	1		
AV_{ort} (mgr) = 0.5				
Örnek Adı : 29-Dolomit (Zong. - Filyos)				
Uç No	37	38	39	4
Deney öncesi ağırlık (gr)	58.802	53.368	53.870	53.557
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	58.801	53.368	53.869	53.556
Kayıp (mgr)	1	0	1	1
AV_{ort} (mgr) = 0.75				

Çizelge B. 1 (devam ediyor).

Örnek Adı : 30-Bazaltik Andezit (Zong. – Yenice arası 50. km)				
Uç No	25	26		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.676	53.129		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.674	53.125		
Kayıp (mgr)	2	4		
AV_{ort} (mgr) = 1.0				
Örnek Adı : 31-Marn (Zong. – Devrek Karaman Mevkii)				
Uç No	27	24		
Deney öncesi ağırlık (gr)	53.242	53.531		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	53.241	53.530		
Kayıp (mgr)	1	1		
AV_{ort} (mgr) = 1.0				
Örnek Adı : 32- Kumtaşı (Armutçuk)				
Uç No	20	21		
Deney öncesi ağırlık (gr)	52.354	50.400		
5 dak. Deney sonrası ağırlık (gr)	52.350	50.396		
Kayıp (mgr)	4	4		
AV_{ort} (mgr) = 4.0				

EK AÇIKLAMALAR C

KAYAÇLARIN PETROGRAFİK TANIMLAMALARI

N/1 ÖRNEK-1

Kayaçta genel anlamda tanecikli, kristalin bir doku türü egemendir. Tanelerde tektürde (unimodal) dağılım gözlenir, iyi derecede boylanma ve tanelerde kenetli dokanak türleri yaygın olup, dokusal olgunluk yüksektir. Mineral bileşim: Kuvars ortalama %95, silis ve kısmen de killi matriks/çimento %5 oranında dağılım sunar. Ortalama kuvars kristal tane boyu 0.3-0.7 mm dir. Çimentolanma derecesi %90 oranında olup, tanelerde yarı köşeli %55, yarı yuvarlak %40, yuvarlak %5 oranları belirlenmiştir. Kayaçta yarı öz şekilli ve öz şekilsiz dalgalı sönümlü kuvars taneleri silisli ve killi taneler arası çimento ile tutturulmuştur. Kayaç sağlam, masif ve sert özellikte, petrografik olarak “Kuvarsit” olarak tanımlanmıştır.

N/2 ÖRNEK-2

Kayaçta, bol oranda fosil kavkaları, mikritik (Biyomikritik) kalsitten oluşan hamur içinde dağılım sunmaktadır. Kayaçta yersel ikincil çatlak dolgusu şeklinde gelişim sunan sparitik kalsitli dolgular izlenir. Bünyede izlenen foraminifer kavkaları kireçtaşının denizel kökenli, bölgesel bazda ise Kretase yaşında olabileceğini gösterir.

Mineralojik olarak mikritik kalsit kristalleri mikron boyutlarında/ölçeğindedirler. Mikroskopik bazda <1/100 mm. (0.01 mm) olarak belirlenmiş olup, % 95 oranında bileşimde yer alırlar. Spar kalsitler kayaçtaki kırık ve çatlak dolguları şeklinde ikincil oluşumludurlar (oluşum sonrası yerleşimli). Ortalama 0.5-1 mm tane boylarında, romboedrik öz şekilli, ikizlenmeli kristeller şeklinde izlenmiştir. Kayaçta çimentolanma derecesi %80 olup, çimento türü karbonat bileşimlidir. Ortalama yarı yuvarlak tane bileşim %80, yarı köşeli oranı %20’ dir. Kayaç bu petrografik özellikleri ile “Biyomikritik, fosilli kireçtaşı” olarak tanımlanmıştır.

N/3 ÖRNEK-3

Genel doku ve karakter açısından 3 numaralı örneğe benzer özellikler sunmaktadır. Dokusal olarak kayaçta intersertal-interstitial, grift özellikte, mikrolitik porfirik doku egemendir. Mineralojik bileşimde ise; Plajiolaslar (Feldspat) %35, Amfibol (Hornblend+Tremolit) %25, Kuvars (2.) %5, Piroksen %30 ve Opak (Manyetit)- %5 oranında yer alırlar. Ortalama plajiolas tane boyları 0.1-0.2 mm, piroksenler ise 0.3-0.8 mm tane boylarındadırlar. Tane dağılımında ortalama yarı yuvarlak tane bileşim oranı %50, köşeli tane oranı ise %40, yarı

yuvarlak %10 olarak belirlenmiştir. Çimentolanma derecesi % 40, çimento türü ise silislidir. Kayaç “Diyabaz” olarak tanımlanmıştır.

N/4 ÖRNEK-4

Kayaçta tipik intersertal-interstitial, grift mikrolitik ve hyalomikrolitik doku egemendir. Mineral bileşiminde; Amfibol (Tremolit-Aktinolit) %65, Opak %5, Mikrolitik plajioklaslar %27, kuvars (2.) %3 oranında dağılım sunar. Ortalama plajioklas tane boyu 0.1-0.14 mm, amfibollerde ise 0.2-1 mm aralığında değişim sunmaktadırlar. Tanesel bazda yarı köşeli tane bileşim %55, köşeli ise % 45 oranındadır. Silisli bir çimento türü egemen olup, çimentolanma derecesi ortalama %60 oranındadır. Kayaç gerek mineral bileşim ve gerekse dokusal özellikleri dikkate alındığında petrografik açıdan “Diyabaz” olarak tanımlanmıştır.

N/5 ÖRNEK-5

Kayaçta tüm kristalli, kataklastik derinlik kayaç dokusu egemendir. Öz şekilsiz (un hedral-ksenomorfik) kuvarslar tektonik deformasyonların etkisi ve kataklazm ile birlikte parçalanmış, tane boyu küçülümü gerçekleşmiş ve sonrasında yeniden kristallenmeler gerçekleşmiştir. Özellikle kuvarslarda yoğun dalgalı sönüm bunu desteklemektedir. Kayaçta izlenen alkali feldspatlar (ortoz ve mikroklin) ve plajioklaslar yoğun bir şekilde alterasyon sunmakta, serisitleşmişler, kısmende epidot gelişimi gözlenmiştir. Mineralojik bileşimde ortalama; %26 Kuvars, %47 Feldspat, %20 Mika, %5 opak ve %2 Epidot izlenmiştir. Kayaçta silisli çimento hakim olup, çimentolanma derecesi %70, köşeli bileşenler % 35, yarı yuvarlak %5, Yarı köşeli bileşen ise %60 oranındadır. Kayaç petrografik olarak “ Granodiyorit” olarak tanımlanmıştır.

N/6 ÖRNEK-6

Kayaçta kırıntılı klastik kumtaşı-kumlu-tanecikli doku egemendir. Mineral bileşimde; Kaya kırıntısı %30, Kuvars %25, Feldpat %25, Mika %5, Amfibol %13 ve Opak (Manyetit) %2 oranında dağılım sunar. Ortalama kuvars tane boyu; 0.3-0.5 mm, feldspat tane boyu ise 0.5-0.6 mm dir. Kayaçta silisli çimento türü egemen olup, çimentolanma derecesi %60 dır. Tane şekli özelliğinde; yarı köşeli %50, yatı yuvarlak %20, Yuvarlak %5, Köşeli ise %25 lik

oranlarda dağılım sunar. Tanelerde kenetli dokanak türü yaygındır. Kayaç Folk (1968-1974) sınıflandırmalarına göre “litik arkoz”, orta kum boyutlu “kumtaşı” özelliğindedir.

N/7 ÖRNEK-7

Kayaç ince silt ve çoğunlukla kil boyutu taneler içermektedir. Tane boyu dağılımı 0.015-0.025 mm aralığındadır. Bu aralık Wentworth sınıflamasına göre çok ince taneli silt taşı-kil taşı aralığında yer almaktadır. Ortalama mineralojik bileşimde %50 Kuvars, %30 feldspat, %15 mika (Biyotit+Klorit) +Opak mineral (Manyetit-pirit) yer alır. Taneler % 70 oranında yarı köşeli, %20 yarı yuvarlak, %10 köşeli bileşenlerden oluşmuşlardır. Çimentolanma derecesi %40, çimento türü silis+killi, iyi derecede boylanma mevcut olup, kayaç “Silttaşı” (ince taneli silttaşı) olarak tanımlanmıştır.

N/8 ÖRNEK- 8

Kayaç bol fosilli foraminifer ve textularitli biyomikritik, yersel ikincil kalsit damar dolgulu bir dokuya sahiptir. Mineralojik bileşimde % 95 kriptokristalin ve mikrokristalin kalsit %5 spar kalsit ve fosil kavkılarını içerir. Bünyedeki yarı köşeli tane bileşeni %10, yarı yuvarlak %70, yuvarlak %20 oranında dağılım sunar. Çimentolanma derecesi %80 olup, Çimento türü karbonatlıdır. Kayaç petrografik özellikleri açısından “Kireçtaşı” (Biyomikritik kireçtaşı) olarak adlandırılmıştır.

N/9 ÖRNEK-9

Kayaçta mikrolitik porfirik doku yaygın olarak izlenir. Mikrolitler arasında öz şekilli fenokristaller şeklinde iri plajhioklas lataları ve amfiboller ile mika mineralleri dağılım sunar. Mineral bileşiminde; %35 plajhioklas (oligoklas-andezin), %40 alkali feldspat (mikroklin-ortoz) ve %15 Amfibol, %5 kuvars yer almaktadır. Plajhioklaslarda tane boyu ortalama 0.17-0.25 mm aralığındadır. Kayaçta çimento türü silisli, çimentolanma derecesi % 65 dir. Ortalama %40 köşeli, % 60 yarı köşeli tane şekli izlenir. Kaya. Petrografik olarak “Siyenit” (Siyenit Porfir) olarak tanımlanmıştır.

N/10 ÖRNEK 10

Kayaçta re kristalize tanecikli, karbonatlı doku izlenir. Mineral bileşimde %5 kalsit, %90 Dolomit, %5 Opak (manyetit) yer almaktadır. Çimento türü karbonatlı olup, çimentolanma derecesi %50-55' dir. Tane şekli açısından; %50 yarı köşeli, %50 yarı yuvarlak bileşen hakimdir. Dolomit ve kalsitlerde ortalama tane boyu 0.5 mm' dir. Kayaç “Dolomit” (Dolotaşı) olarak tanımlanmıştır.

N/11 ÖRNEK 11

Mikrolitik porfirik-interstial doku türü egemendir. Kayaçta mineralojik olarak %65 feldspat, % 20 Amfibol, %20 Piroksen (Ojit) izlenmiştir. Plajioklaslarda kristaller genelde labrador bileşimlidir. Feldspat fenokristalleri ortalama 0.5-1 mm, Amfibol (tremolit) 0.14-0.2 mm dir. Çimentolanma derecesi ortalama %60 olup, çimento türü silisli, yarı köşeli bileşen %15, köşeli %85 oranında izlenmiştir. Kaya. “Porfirik bazaltik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/12 ÖRNEK 12

Kayaçta mikrolitik porfirik doku yaygın olarak izlenir. İri plajioklas lataları ve amfiboller ve az oranda piroksenler, mikrolitik plajioklaslar arasında daılım sunarlar. Mineralojik bileşimde feldspatlar (mikrolitik+fenokristal) %70, Amfibol (Hornblend+Aktinolit) %20, Piroksen %5 Opak (Manyetit) %5 oranında dağılım göstermektedir. Bileşimde yaygın ve hakim olan plajioklaslar yarı öz şekilli ve öz şekilli, iri latalar (andezin) 1-2 mm tane boylarında, mikrolitik olanlar (labrodorit) ise 0.1-0.15 mm boylarda, çoğunlukla serisitleşmiş ve kısmen epidotlaşmışlardır. Amfibol ve piroksenler ise korede/aşındırılmış, öz şekilsiz taneler şeklinde, 0.13-0.25 mm tane boylarındadırlar. Kayacın çimento türü silisli, çimentolanma derecesi %40 oranında olup, köşeli kristal tane bileşen %20, yarı yuvarlak %10 ve yarı köşeli %70 oranındadır. Kayaç bu özellikleri ile “Porfirik bazaltik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/13 ÖRNEK 13

Bu örnekte de bir önceki N/12 de olduğu gibi mikrolitik porfirik doku türü egemendir. Ayrıca kayaçta yoğun hidrotermal altareasyon etkisi izlenmektedir. Plajioklas latalarının çoğu serisitleşmiş, sosuritleşmiş olup, kırık ve çatlaklıdır. Aralarda bozunarak amfibollere dönüşüm

sunan piroksenler kısmi pseudomorfik şekillerde izlenirler. Mineralojik bileşimde feldspat oranı %75, Piroksenler %10, Amfibol %10 ve Opak (Manyetit) % 5 oranında yer alır. Ortalama iri plajioklaslarda tane boyu 0.5-1 mm, piroksenler ve amfibollerde 1-1.2 mm dir. Çimento türü silisli olup, çimentolanma derecesi %55 oranındadır. Kayaçta tane şekil açısından %60' lık oranda yarı yuvarlak ve %30 oranında yarı köşeli, %10 köşeli bileşen yaygındır. Kayaç petrografik olarak “Bazaltik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/14 ÖRNEK 14

Kayaçta intersertal, yarı grift dizilimli, plajioklasların ve piroksenlerin oluşturduğu mikrolitik ve doleritik doku türleri izlenmiştir. Plajioklaslar birbirleriyle grift dizilimli, çoğunlukla birbirleriyle deyimli (doleritik) dizilim sunarlar. Mineral bileşimde %58 Feldspat (labrador türü plajioklas), %2 Kuvars (Boşluk dolgusu ve damarcık şeklinde), %38 piroksen (Ojit), %2 Biyotit yer almaktadır. Ortalama tane boyları feldspatlarda; 0.8-1 mm, Piroksenlerde 0.4-1 mm, Kuvarslarda 0.1-0.2 mm, arasında dağılım sunar. Çimento türü silisli olup, %65-70'lik çimentolanma oranına sahiptir. Kayaç gerek mineral bileşimi ve gerekse doku özellikleri dikkate alındığında “Dolerit” (Bir tür Diyabaz) olarak tanımlanmıştır.

N/15 ÖRNEK 15

Kayaçta holokristalin, granüler, kataklastik doku hakimdir. Mineral bileşimde %30 Kuvars, %50 Feldspat (Ortoz %45+Plajioklas %5) , %12 Mika, %3 Epidot, %5 Opak (Manyetit) mevcuttur. Çimentolanma derecesi %55-60 oranında olup, tane şekli açısından; %70 yarı köşeli ve %30 yarı yuvarlak bileşen izlenmiştir. Kuvars ortalama tane boyu 1 mm, feldspatlarda ise 0.5-0.75 mm.dir. Doku ve minerolojik bileşim dikkate alındığında kayaç “Alkali granit” olarak tanımlanmıştır.

N/16 ÖRNEK 16

Kayaçta Mikrolitik porfirik doku egem olup, lokal bazda akış (fluidal) dokusu da izlenmiştir. Mineralojik bileşimde %60 Feldspat (Labrador), %37 Piroksen ve % 3 oranında Opak (Manyetit) yer alır. Ortalama tane boyu plajioklaslarda 0.1-0.3 mm, piroksenlerde 0.3-0.7 mm dir. Tane şekli açısından %75 köşeli, %20 oranında yarı köşeli ve % 5 oranında yarı yuvarlak bileşenler hakimdir. Kayaç dokusu içinde yarı öz şekilli plajioklas (labrador) mikrolitleri

içinde akma dokusuyla birlikte piroksenlerde kırılanma ve dağılım ve akış yönünde mikrolitik plakioklaslarla birlikte dizilim izlenir. Kayaçta kısmen opaklaşma/piroksenlerde demirce zenginleşme şeklinde dışında alterasyon izlenmemiştir. Çimento türü silis ve demirli olup, çimentolanma derecesi %60 oranındadır. Az oranda soğumaya bağlı gaz boşlukları gelişmiştir. Kayaç bu özellikleri ile petrografik olarak “Bazalt” olarak tanımlanmıştır.

N/17 ÖRNEK 17

Kayaçta mikrolitik porfirik ve yersel fluidal akma dokusu izlenir. Plajioklas mikrolitlerinde lavın akış yönünde paralel dizilimleri mevcuttur. Mikrolitik plajioklas ve amfibollerle birlikte bünyede yarı öz şekilli piroksenler (Ojit) dağılım sunarlar. Mineralojik bileşimde %60 Feldspat (Labrador ve bitovnit), %20 Piroksen, %15 Amfibol ve % 5 oranında Opak (Manyetit) bulunur. Ortalama feldspat ve piroksen tane boyu 0.25-2 mm arasında değişir, Kayaçta silisli bir çimento türü egemendir. Çimentolanma derecesi %70 dir. Petrografik özellikleri dikkate alındığında kayaç “Andezitik bazalt” olarak tanımlanmıştır.

N/18 ÖRNEK 18

Kayaç makroskopik olarak masif, kompakt, yersel gaz boşluklu, iri porfirik feldspat kristalleri (fenokristal) içermekte olup, camsal porfirik (Hyalotik porfiri/vitrofirik porfirik) doklu izlenmiştir. Mineralojik bileşimde ortalama % 60 mikrolitik boyutta plajioklaslar, %15 iri plajioklas lataları /porfirik plajioklaslar (Andezin), %18 Amfibol (Aktinolit), %2 Piroksen ve %5 Opak mineral (Manyetit) yer alır. Mikrolitik plajioklaslarda tane boyu 0.24-0.5, fenokristallerinde 1-3 mm yi bulmaktadır. Kayaçta silisli çimento türü hakim olup, çimentolanma derecesi %60’dır. Tane şekilleri açısından; yarı köşeli bileşen %95, yarı yuvarlak %5 oranındadır. Kayaç “Porfirik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/19 ÖRNEK 19

Kayaç dokusunda kısmi trakitik, kısımda akma dokusu izlenmiştir. Genel anlamda ise mikrolitik porfirik doku türü egemendir. Feldspatlar, amfiboller ve piroksenler akış yönünde dizilim sunmakta olup, kayaç mineral bileşiminde bol oranda sanidin türü feldspat yer almaktadır.

Mineralojik bileşimde %25 plajioklas (porfirik), %15 Amfibol (hornblend), %10 Piroksen, %15 Sanidin, %10 Opak mineral (Manyetit) ve hamurda ise %20 mikrolitik feldspatlar (labrador) ve %15 Opak yer alır. Tane şekli açısından %50 yarı köşeli, %15 yarı yuvarlak, %30 köşeli ve %5 yuvarlak tane şekil dağılımı izlenmiştir. Çimentolanma türü silisli olup, derecesi %40-50 oranlarındadır. Kayaç gerek mineralojik bileşim ve gerekse doku türü dikkate alındığında “Traki-andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/20 ÖRNEK 20

Kayaçta mikrolitik porfirik doku egemen olup, lokal bazda(yersel) akma /fluidal doku özelliğinde izlenmiştir. Mineralojik bileşimde %25 porfirik plajioklaslar (Andezin ve labrodor), %20 Mikrolitik Plajioklaslar (Labrador) , %15 Piroksen (Ojit ve hipersten), %25 Amfibol, %15 opak mineral (Manyetit) yer almaktadır. Ortalama plajioklaslarda tane boyu; mikrolitik hamur malzemede 0.1- 0.2 mm, porfirik olanlarda 1-2.1 mm aralığındadır. Kayaçta çimento türü silisli olup, çimentolanma derecesi ortalama %50-55 oranındadır. Tane şekil özelliği açısından yarı yuvarlak %20, köşeli %45, yarı köşeli %30 ve yuvarlak %45 bileşen oranına sahiptir. Kayaç gerek mineral bileşim ve gerekse doku özellikleri dikkate alındığında “Bazaltik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/21 ÖRNEK 21

Kayaçta mikritik doku yaygın olarak izlenir. Mikrokristalin kalsitten oluşan dokuda kayacın kırık ve çatlaklarında ikincil gelişmiş iri kristalli, kısmen spar kalsit özelliği gösteren, öz şekilli ve ikizli kalsit damarcıkları ve dolomitleşme izlenmiştir. Mineral bileşiminde Mikritik kalsit %70, ikincil damar dolgusu şeklinde izlenen kalsit ve dolomitize kalsit %20, Fosil kavrıkları (karbonatlı) % 5 ve Opak mineral (manyetit ve pirit) % 5 oranında dağılım sunar. Tane boyu açısından; mikritik kalsitler 0.01 mm ve altı, spar kalsitler ise 1-2 mm tane boyu dağılımı sunarlar. Kayaçta çimento türü karbonatlı olup, % 80 oranında çimentolanma derecesine sahiptir. Tane şekli açısından; %70 yuvarlak, %20 yarı yuvarlak, %10 oranında ise yarı yuvarlak tane bileşeni içerir. Kayaç bu özellikleri ile “Dolomitik Kireçtaşı” olarak tanımlanmıştır.

N/22 ÖRNEK 22

Kayaç mikrolitik porfirik, kısmi glomera porfirik dokular sunar. Plajiolas, Aktinolit (Amfibol) ve kloritik piroksen pseudomorflarından oluşan doku içinde dağılım sunan porfirik iri plajiolas lataları zilenir. Plajiolaslarda interstitial dizilimler izlenir. Mineral bileşiminde Porfirik plajiolas (Labrador) %20, Mikrolitik Plajiolas (Andezin-Labrador) %50, Piroksen %15, Amfibol (Aktinolit-Hornblend) %10 ve Opak mineral (Manyetit) %5 oranında dağılım sunar. Plajiolaslarda tane boyu porfirik olanlarda 1-4 mm, mikrolitiklerde ise 0.13-0.2 mm arasında değişir. Kayaçta çimentolanma derecesi %35-40 oranında, çimento türü silisli olup, %60 lık oranda yarı köşeli, %30 köşeli ve %10 yarı yuvarlak tane şekil dağılımı izlenmiştir. Mineral bileşim ve doku özelliklerine göre kayaç “ Bazaltik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/23 ÖRNEK 23

Kayaçta biyomikritik doku türü egemendir. Kayaç bol oranda fosilli, mikritik kalsitce zengin biyoklastlı kireçtaşı özelliğindedir. Fosillerden bol oranda izlenen Textularia Sp formları (?) Üst Kretase yaşını verir. Ayrıca bol oranda Alg oluşumları mevcuttur. Mineral bileşiminde Mikrokristalin kalsit %58, Karbonat (kalsitli) kavkı %35, ikincil kuvars (damarcık ve boşluk dolgusu) %7 oranında dağılım sunar. Kayaçta karbonatlı çimento izlenmiştir. Çimentolanma derecesi %50-55 oranında olup, tane şekli bazında %45 yarı köşekli, %20 yarı yuvarlak, %25 yuvarlak ve %10 köşeli bileşen bulunur. Kayaç genel özellikleri açısından Folk (1962) sınıflamasına göre istiflenmiş Biyomikritik özellikte (resifal) “Kireçtaşı” olarak tanımlanmıştır.

N/24 ÖRNEK 24

Kayaç detritik-klastik ince taneli silt-kil boyutu tanelerin dağılım sunduğu ince taneli klastik karakterde dokuya sahiptir. Taneleri Kuvars, Feldspat, Mika ve Opak (manyetit) bileşenlerden oluşmuştur. Mineralojik bileşimde Kuvars %30, Feldspat (Plajiolas/Albit) %15, Mika (Biyotit) %10, Opak %15 ve Killi-çamurlu matriks %40 oranında dağılım sunar. Ortalama Kuvars tane boyu 0.03-0.063 mm, Feldspatlarda ise 0.04-0.05 mm’ dir. Kayaçta silisli ve killi çimento türü egemendir. Çimentolanma derecesi %65-66 oranındadır. Tane şekli özelliği bazında Ortalama %30 yarı yuvarlak, %35 yarı köşeli, %10 yuvarlak ve %25 köşeli bileşenler izlenmiştir. Kayaç petrografik özelliklerine göre “ İnce taneli silttaşı” olarak tanımlanmıştır.

N/25 ÖRNEK 25

Kayaç farklı boyut dağılımlı, kırıntılı, detritik-klastik sedimanter kayaç dokusuna sahiptir. Dokuda yarı köşeli, köşeli kuvars, mika mineralleri killi bir hamur malzeme içinde yüzer durumdadırlar. Mineral bileşiminde; %25 kuvars, %10 Feldspat (Albit), %10 Amfibol (Hornblend), %7 Opak mineral (manyetit), %5 Mika (Biyotit), %3 İkincil damarcık dolgusu kalsit, ve %40 Killi hamur matriks yeralır. Çimentolanma derecesi %60-65, çimento türü killi ve zemin çimentoludur (Kırıntılı taneler çimento/hamur malzeme içinde birbirinden aralıklı dağılmışlardır). Tane şekil bileşeni açısından; %65 yarı köşeli, %20 köşeli, %10 yarı yuvarlak, %5 yuvarlak bileşen izlenmiştir. Kayaç “Kaba taneli silttaş” olarak tanımlanmıştır.

N/26 ÖRNEK 26

Kayaçta öz şekilli ve yarı öz şekilli prizmatik kristaller şeklinde iri/porfirik/fenokristal plajioklas, yarı öz şekilli piroksenlerin mikrolitik plajioklas ve aktinolitlerden oluşan hamur/matriks içinde dağılım sunduğu mikrolitik porfirik doku ve lokal bazda glomera porfirik (kümelenmeli) doku türü görülmüştür. Mineralojik bileşimde %50 mikrolitik plajioklas , %15 oranında iri plajioklas lataları (Feldspatlar), %16 Amfibol, %15 Piroksen (Ojit) ve %4 Opak mineral (Manyetit) dağılım sunmaktadır. Porfirik iri taneli plajioklaslar (feldspat) 0.5-2 mm, mikrolitik olanlar ise 0.1-0.15 mm. tane boylarındadır. Çimentolanma derecesi %55-60, çimento türü silisli olup, tane şekli açısından %50 yarı köşeli, %15 yarı yuvarlak, %30 köşeli, %5 yuvarlak bileşen dağılım sunar. Kayaç “Bazaltik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/27 ÖRNEK 27

Kayaç tüm kristalli (holokristalen), granüler, kataklastik ve yersel mirmekitik doku türlerini içerir. Özellikle kuvars ve feldspatlarda izlenen yoğun granülasyon (tane boyu küçülümü; parçalanma), kuvarslarda dalgalı sönüm, kayaçta yoğun kataklastik deformasyon etkisini işaret eder. Mineralojik bileşimde %40 kuvars, %30 Feldspat (Ortoz, mikroklin), %20 Plajioklas (Albit), %10 Mika (Biyotit, klorit), tali %2 Opak (manyetit) izlenir. Ortalama Kuvaras tane boyu 0.5-1.5 mm arsında değişir. Kayaç silis çimentolu, %75-80 çimentolanma derecesine sahip olup, tane şekli özelliği açısından %40 köşeli, %35 yarı köşeli, %20 yarı yuvarlak bileşene sahiptir. Petrografik olarak “Granit” (Kataklastik) olarak tanımlanmıştır.

N/28 ÖRNEK 28

Kayaçta dolomitleşmiş ve bol oranda ağsal ikincil kalsit ve demiroksit (Hematit, limonit) damarcıklı kristalize bir doku egemendir. Ana kayaçta yoğun dolomitleşme izlenmekle birlikte kayaç yoğun bir şekilde ikincil kalsit +Hematit-Limonit dolgulu damarlarla kesilmiştir. Mineral bileşimde %40 İri kristalize kalsit, %30 Dolomit, %10-15 ikincil kalsit (damar dolgusu), %10-15 İkincil Opak mineral (Hematit ve limonit), %1-3 Opak (Manyetit) yeralır. Karbonatlı ve demirli çimento türü mevcut olup, çimentolanma derecesi %40-45' dir. Tane şekli olarak % 55 oranında yarı yuvarlak, %30 yarı köşeli, %10 köşeli, %5 yuvarlak tane bileşim oranına sahiptir. Kayaç petrografik özellikleri dikkate alındığında “Dolomitik Kireçtaşı” (demir içerikli) olarak tanımlanmıştır.

N/29 ÖRNEK 29

Kayacın dokusunda bol oranda köşeli şekle sahip, dolomitleşmiş kristallerin kısmen breşik (ezik, kırıklı ve parçalı) ve bol oranda ikincil demir oksit + kalsit dolgulu damarcıkların kestiği şekersi-masif ve kısmen de breşik doku türleri hakimdir. Mineral bileşiminde %20 kalsit, %65 Dolomit, %15 damar dolgusu şeklinde kalsit ve hematit yeralır. Çimento türü karbonatlı, kontakt çimento özelliği gösterir. Çimentolanma derecesi %70-75 oranındadır. Kalsitler ortalama 0.17-0.25 mm tane boylarında olup, kayaçta tane şekli dağılım oranına bakıldığında; köşeli bileşen %60, yarı köşeli %20, yarı yuvarlak %10, yuvarlak %10 oranında dağılım sunar. Kayaç petrografik olarak “Dolomit” olarak tanımlanmıştır.

N/30 ÖRNEK 30

Kayaçta mikrolitik porfirik doku türü izlenir. İri taneli, öz şekilli ve yarı öz şekilli plajioklas, piroksen ve amfiboller mikrolitik plajioklas ve aktinolitlerden oluşan bir hamur içinde dağılım sunmaktadırlar. Ayrıca loka bazda glomera porfirik doku türü izlenmiştir. Mineralojik “bileşimde; %60 Feldspat (%40 Mikrolitik plajioklas (Andezin) + %20 İri plajioklas (Labrador-andezin) kristalleri/porfirik), %20 Amfibol, %15 Piroksen, %5 Opak (Manyetit) yeralır. Ortalama feldspatlarda tane boyu; mikrolitiklerde 0.17-0.25, iri kristallerde 1-2 mm' dir. Kayaçta silisli çimento hakimdir. Çimentolanma derecesi %50-55' dir. Tane şekli dağılımında %65 köşeli, %25 yarı köşeli, %10 yarı yuvarlak bileşen dağılım sunar. Kaya. “Bazaltik andezit” olarak tanımlanmıştır.

N/31 ÖRNEK 31

Kayaçta killi, karbonatlı karışım, hamur malzemesi içinde ortalama 0.13-0.25 mm boylarda yuvarlak kavkılardan (CaCO_3 bileşimli, mikro organizma kemiksi kabuk kalıntıları) izlendiği bir killi-karbonatlı doku türü izlenmiştir. Mineral bileşiminde %40 organizma kavkısı, %60 kil boyutu hamur malzeme yer alır. Kayaçta çimento türü killi ve karbonatlı olup, çimentolanma derecesi %40-45, tane şekli dağılımında ise, %85 köşeli, %10 yarı köşeli, %5 yarı yuvarlak bileşene sahiptir. Kayaç petrografik özellikleri dikkate alındığında “Marn” olarak tanımlanmıştır.

N/32 ÖRNEK 32

Kayaçta genelde eş tane boyuna yakın detritik/klastik kumlu doku özelliği gözlenmiştir. Mineral bileşiminde %40-45 Kuvars, %10-15 Feldspat (Ortoz), %25-30 Litik kaya parçası/Litik bileşen, %5-10 Metamorfik Kayaç parçası, %5-10 Mika (Biyotit, klorit), %3-5 Mika (Muskovit) yer almaktadır. Çimentolanma derecesi %45-50 olup, silisli ve killi çimento türü izlenmiştir. Ortalama kuvars tane boyu 0.5-1 mm’ dir. Tane şekli dağılımında; yarı köşeli %40, yarı yuvarlak %30, köşeli %20, yuvarlak %10 oranında dağılım sunmaktadır. Kayaç “Kumtaşı” ; Litik Arenit olarak tanımlanmıştır.

Çizelge C.1 Kayaçların petrografik analiz sonuçları.

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min. ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolama derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
1	Kuvarsit	Norveç Trondheim	Q: 95 kil mat.: 5	SA: 55 SR: 40 R: 5	Q: 1.3	Silisli	90	30	İnce taneli-kristalize
2	Biyomikritik kireçtaşı	Norveç Trondheim	Kal (mik.): 95 Kal (Spr): 5	SA: 20 SR: 80	Kal:<1/100 mm.	Karbonatlı	80	-	Biyomikritik
3	Diyabaz (Açık gri)	Dorukan Tüneli	Q (2.):5 Feld: 35 Opk: 5 Amf: 25 Prx: 30	A: 40 SA: 50 SR: 10	Q (2.) :0.2 Feld:0.1-0.2 Opk: 0.1 Amf:0.1-0.2 Prx:0.3-0.8	Silisli	60	-	Mikrolitik porfirik
4	Diyabaz (Koyu gri)	Dorukan Tüneli	Q (2.): 3 Feld: 27 Opk: 5 Amf: 65	SA: 55 SR: 0 R: 0, A: 45	Q (2.):0.14, Feld:0.15 Opk: 0.13, Amf: 0.5	Silisli	60	-	Mikrolitik porfirik, hyalomikrolitik porfirik
5	Granodiyorit	Dorukan Tüneli	Q:36, Feld:47 Mik:10, Epid:2 Opk: 5	SA: 60 SR: 5 R: 0 A: 35	Q: 0.3-1, Feld: 1 Mik: 0.4, Epid: 0.1 Opk: 0.4	Silisli	70	-	Holokristalen-kataklastik fanaritik
6	Litik Arenit Kumtaşı	TTK Kozlu	Q:25, Feld: 25 Mik:5(Bio+Klor.) Amf:13 Opk: 2 K.K: 30	SA: 50 SR: 20 R: 5 A: 25	Q:0.3-0.5 Feld: 0.5 Mik:0.3 (Bio+Klor.) Amf: 0.35 Opk: 0.17	Silisli	60	30	Kırıntılı-klastik tanecikli
7	Silttaşı (İnce taneli)	TTK Kozlu	Q: 30 Feld:30 Mik:15 Opk: 5	SA: 70 SR:20 R:0 A: 10	Q: 0.025, Feld: 0.015 Mik: 0.02 Opk: 0.01	Silisli	40	20	Killi,yersel ince laminalı

Çizelge C.1 (devam ediyor).

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min.ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
8	Kireçtaşı (Mikritik)	ZKÜ Yeni kapı girişi inşaat alanı	Kal (Mik.):95 Kal (Spr): 5	SA:10 SR:70 R:20	Kalsit Mik.:<0.01 Spr.: 0.3-0.9	Karbonatlı	80	40	İnce taneli-mikritik-kristalize
9	Siyenit (Porfirik)	Devrek-Yenice	Q:5 Feld:75 Amf:15 Biot:5	SA:60 SR:- A:40 R:-	Q:0.7 Feld:0.21 Amf:0.37 Biot:0.25	Silisli	70	-	Mikrolitik porfirik
10	Dolomit	Devrek	Kal:5 Dol:90 Opk:5	SA:50 SR:50	Kal: 0.55 Dol:0.50 Opk : 0.2	Karbonatlı	60	25	Rekristaliz e,tanecikli
11	Porfirik bazaltik andezit	Zonguldak-Kdz. Ereğli 34. km	Feld: 55 Amf.:20 Prx.:20 Opk.:5	SA:15 SR:- R:- A.85	Feld.: 0.5-1 Amf.:0.14 Prx.:.0.3 Opk.:0.17	Silisli	60	-	Mikrolitik porfirik
12	Porfirik bazaltik andezit (Koyu renk)	Zonguldak-Kdz. Ereğli 35.km	Feld:70 Amf:20 Prx.:5 Opk.:5	A:20 SA:70 SR:10	Feld: 0.7 Amf: 0.13 Prx.:0.20 Opk: 0.4	Silisli	50	-	Mikrolitik porfirik

Çizelge C.1 (devam ediyor).

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min.ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
13	Bazaltik andezit (Açık renk)	Zonguldak-Kdz. Ereğli 42.km	Feld: 75 Amf.:10 Prx.:10 Opk.:5	SR: 60 SA:30 A:10 R: -	Feld: 0.85 Amf: 1 Prx.:1.20 Opk: 0.3	Silisli	60	-	Mikrolitik porfirik
14	Dolerit	Devrek-Yenice	Q : 2 Feld: 58 Prx.:38 Biot: 2	SA:80 SR:20	Q : 0.2 Feld.:0.8 Prx.:0.8 Biot.:0.3	Silisli	70	-	İntersertal doleritik
15	Alkali granit	Devrek-Yenice	Q:30 Feld:50 Mik:12 Opk:5 Epid:3	SA:70 SR:30	Q:1 Feld:0.75 Mik:0.5 Opk:0.3 Epid:0.25	Silisli	55-60	-	Kataklastik-holokristalin
16	Bazalt	Hasan Dağı Eteği	Feld.:60 Prx.:25 Opk.:15	SA:20 Sr:5 R:0 A:75	Feld: 0.2 Prx.:0.45 Opk.:0.05	Silisli+az oranda demirli	60	-	Mikrolitik Porfirik

Çizelge C.1 (devam ediyor).

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min. ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
17	Andezitik bazalt	Zong.-Krd. Ereğli 26.km	Feld:60 Prx: 10 Amf: 15 Opk: 15	SA: 65 SR: 5 A: 30	Feld:0.8 Amf:0.99 Prx:0.40 Opk:0.20	Silisli	60	-	Mikrolitik porfirik ve fluidal
18	Porfirik andezit	Zong.-Krd. Ereğli 37.km	Feld:60 Amf:23 Prx:7 Opk:10	SA:95 SR:5	Feld:0.6 Amf:0.2 Prx:0.3 Opk:0.15	Silisli	40		Vitrofirik porfirik
19	Traki-andezit	Krd. Ereğli-Alaplı arası taş ocağı	Q : 5 Feld:60 Amf:15 Prx:10 Opk:5	SA:50 SR:15 A:30 R:5	Q: 0.5 Feld: 1 Amf:0.70 Prx:0.50 Opk:0.20	Silisli	55	-	Trakitik ve fluidal
20	Bazaltik andezit	Krd. Ereğli-Devrek 11.km. Yazıcılar Köyü	Feld:65 Prx:10 Amf:20 Opk:5	SA:30 SR:20 A:45 R:5	Feld:0.90 Prx:0.55 Amf:0.60 Opk:0.15	Silisli	60	-	Mikrolitik porfirik

Çizelge C.1 (devam ediyor).

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min. ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
21	Dolomitik kireçtaşı	Krd. Ereğli-Devrek 25.km. Yazıcılar Köyü	Kal:75 Dol:20 Opk:5	SA:10 SR:20 R:70	Opk:0.2 Kal : 0.01 mm	Karbonatlı	50	-	Mikritik
22	Bazaltik andezit	Amasra Kuşkayası	Feld:70 Prx:15 Amf:10 Opk:5	SA:60 SR:10 A:30	Feld:70 Prx:0.5 Amf:0.20 Opk:0.15	Silisli	40	-	Mikrolitik porfirik, glomera porfirik
23	Kireçtaşı (Biyomikritik)	Hema Madencilik Yeni kuyu, Amasra	Kal:93 Q (2.):7	SA:45 SR:20 R:25 A:10	Q:0.20 Kal: 0.01 mm	Karbonatlı	50	-	Biyomikritik
24	Çok ince taneli silttaşı	Türkali-Göbü arası	Q:30 Feld:15 Mik:10 Opk:10 Killi matriks:40	SR:30 SA:35 R:10 A:25	Q:0.04 Feld:0.034 Mik: 0.030 Opk:0.034	Silisli ve killi	65	30	silt-kil boyutu tanelerin dağılımı sunduğu ince taneli, klastik

Çizelge C.1 (devam ediyor).

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min. ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
25	Kaba taneli silttaşı	Beycuma yol ayrımı/Zonguldak-Devrek 18.km. ana yol, kenar yarmadan	Q: 25 Amf: 10 Feld:10 Mik:5 Opk:7 Kil mat.: 40 Kalsit (2.):3	SA:65 SR:10 A:20 R:5	Q: 0.1 Feld:0.17 Mik:0.15 Opk:0.09 Amf : 0.2	Killi	60	15	Farklı tane boylu, klastik/kırıntılı zemin çimentolu doku türü
26	Porfirik bazaltik andezit	Zonguldak-Devrek 18. km Beycuma yol kavşağı karşısı	Feld: 65 Amf: 16 Prx:15 Opk:4	SA:50 SR:15 A:30 R:5	Feld:0.65 Amf: 0.3 Opk: 0.15 Prx: 0.45	Silisli	55	10	Mikrolitik porfirik, lokal bazda glomera porfirik
27	Granit	Yenice Kayabaşı Mvk.	Feld: 53 Q:35 Mik: 10 Opk. 2	SA:35 SR:20 A:40 R:5	Feld:1.2 Q:1 Mik.:0.35 Opk: 0.2	Silisi	75	10	Kataklastik, tümkristalli-granuler

Çizelge C.1 (devam ediyor).

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min. ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
28	Dolomiti k kireçtaşı	Zonguldak-Filyos arası	Dol: 30 Kal:55 Opk:15	SA:30 SR: 55 A: 10 R: 5	Opk: 0.17 Kal : 0.55 Dol : 0.20	Karbonatlı ve Demirli	45	30	Kristalize, 2. cıl bol oranda kalsit damarcıklı
29	Dolomit	Zonguldak-Filyos arası	Kal.:28 Dol.:65 Opk/ Hematit (2.):7	SA: 20 SR: 10 A: 60 R: 10	Opk: 0.2 Kal : 0.5 – 0.6 Dol : 0.2	Karbonatlı	60	20	Kristalize, kısmen breşik
30	Bazaltik andezit	Zonguldak-Yenice arası 50.km.	Feld:70 Prx:15 Amf: 10 Opk: 5	SA:25 SR:10 A:65 R:0	Feld: 1 Prx: 0.8 Amf: 0.48 Opk:0.2	Silisli	70	5	Mikrollitik porfirik ve lokal bazda glomera porfirik
31	Marn	Beycuma yolu ayrımı, anayol üstü	Kal :40 Kil matriks: 60	SA:5 SR: 10 A: - R: 85	Kal : 0.2	Kil ve Karbonatlı	40-45	25	Killi-karbonatlı karışımda kavkı izli

Çizelge C.1 (devam ediyor).

No	Kayaç Türü	Alındığı Yer	Mineralojik Bileşim (%)	Yuvarlaklık (%)	Aşındırıcı min. ort. tane boyutu (mm)	Çimento türü	Çimentolanma derecesi (%)	Küresellik (%)	Doku
32	Litik arenit kumtaşı	Armutcuk.	Q: 40 Feld: 15 KK:25 Opk: 10 Mik:10	SA: 40 SR: 30 R: 10 A:20	Q: 0.5 Feld: 0.4 Kk:0.4 Opk::0.4 Mik:0.2	Silisli +killi	50	%20	Klastik, kumlu doku
Q: Kuvars, Feld: Feldspat, Mik: Mika, Opk: Opak, Epd: Epidot, Amf: Amfibol, Oliv: Olivin, KK: Kaya kırıntısı, Dol: Dolomit, Prx: Piroksen, Biot: biotit, Kal: Kalsit, SA: Yarı yuvarlaklılık, A: Yuvarlaklılık, SR: Yarı köşegenlik, R: Köşelilik.									

ÖZGEÇMİŞ

yılında Elbistan’ da doğdu, ilk ve orta öğrenimini Ankara Beypazarı’ nda tamamladı; Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi’nden mezun olduktan sonra. 2001 yılında ZKÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne girdi, 2006 yılında mezun olduktan sonra Ciner Grup Park Teknik A. Ş.’de maden mühendisi olarak göreve başladı; halen ZKÜ Fen Bilimleri Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’da yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

168

Adres: Park Teknik A. Ş.
Ankara yolu üzeri 3. Km
Çayırhan/Nallıhan/ANKARA

Tel: (543) 472 93 33

E-posta: anil.kandemir@gmail.com

Anıl KANDEMİR