

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CANKURTARAN VE SALMANKAŞ TÜNELLERİNDEKİ KAYAÇLARIN
DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK, MEKANİK VE PETROĞRAFİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, NET DELME HIZI VE BİT TÜKETİMİ
İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Maden Yük. Müh. Mehmet ÇAPİK

HAZİRAN 2014

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CANKURTARAN VE SALMANKAŞ TÜNELLERİNDEKİ KAYAÇLARIN
DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK, MEKANİK VE PETROĞRAFİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, NET DELME HIZI VE BİT TÜKETİMİ
İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

Maden Yük. Müh. Mehmet ÇAPIK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (MADEN MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.05.2014
Tezin Savunma Tarihi : 25.06.2014**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Mehmet Çapık Tarafından Hazırlanan

**CANKURTARAN VE SALMANKAŞ TÜNELLERİNDEKİ KAYAÇLARIN
DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK, MEKANİK VE PETROĞRAFİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, NET DELME HIZI VE BİT TÜKETİMİ
İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 / 06 / 2014 gün ve 1556/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN

Üye : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ

Üye : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI

Üye : Doç. Dr. Kerim AYDINER

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen BAP01 "8683", BAP02 "1123" ve BAP04 "1236" kodlu projeler kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan destek için teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın her aşamasında yaptığı yardım ve katkılarından dolayı danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesinde yer alarak görüş ve önerileri ile çalışmalarına destek veren Prof. Dr. Ayhan KESMAL'a, Ydr. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI'ya ayrıca tez jürimde görev alan Doç. Dr. Kerim AYDINER ile İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm öğretim üyesi Prof. Dr. Ataş BAŞÇETİN'e yaptıkları yardım ve eleştiriler için şükranlarımı sunarım.

Görüş, öneri ve yardımlarından dolayı Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. Olgay YARALI ve deneysel çalışmalarda yardımını esirgemeyen Maden Yük. Müh. Haşim DURU'ya, tezin Mineroloji-Petrografi tayinlerinde yardımcı olan İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nde Doç. Dr. Gültekin TOPUZ'a görüş ve önerileri için Yrd. Doç.Dr. İbrahim ÇAVUŞOĞLU'na, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Serdar YAŞAR'a, teşekkür ederim.

Cankurtaran Tünel inşaat işlerini gerçekleştiren NAS-YSE Ortak girişim yetkililerine, Jumbo İnşaat ve Kartaş İnşaat Firması yetkililerine ve özellikle çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen, Tünel Şefi Jeoloji Yük. Müh. Yaşar GÜMRÜKÇÜOĞLU'na ve diğer bütün mühendislere sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Salmankaş Tüneli kazı işlerini gerçekleştiren AS-YOL şirketi yetkililerine ve çalışan mühendislere içtenlikle teşekkürlerimi sunarım. Tünellerde çalışan formen, teknisyen, çavuş, işçi, bütün personellere ve özellikle çalışmalarımı takip etmeme sabır gösteren görüş ve önerileri ile çalışmama katkıda bulunan birlikte çalıştığım 15 Jumbo operatörüne çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi her türlü fedakârlıkları için anneme ve babama içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımın her aşamasında manevi desteğini esirgemeyen çok sevdiğim eşime sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet ÇAPIK

Trabzon, 2014

TEZ BEYANNAMESİ

“Doktora Tezi olarak sunduğum “Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerindeki Kayaçların Delinebilirlik, Aşındırıcılık, Mekanik ve Petrografik Özelliklerinin Araştırılması, Net Delme Hızı ve Bit Tüketimi ile İlişkilendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/07/2014

Mehmet ÇAPIK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XIX
SEMBOLLER DİZİNİ	XXII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Mekanize Kazı İşlemi ve Performans Değerlendirmeleri	2
1.3. Mekanize Kazı Performansını Etkileyen Faktörler	4
1.4. Kazı Makinaları İçin Performans Tahmin Modelleri	6
1.5. Spesifik Enerji ve Makine Performans İlişkisi	9
1.5.1. Spesifik Enerji ve Net Kazı Hızı	16
1.6. Schmidt Çekici ve Makine Performans İlişkisi	20
1.7. Keski ve Bitlerde Aşınma Mekanizması	23
1.7.1. Keskilerde Aşınmaya Etki Eden Faktörler	28
1.7.1.1. Tungsten Karbürün Metalürjik Bileşimi.....	28
1.7.1.2. Keski Uç Geometrisinin Aşınmaya Etkisi.....	30
1.7.1.3. Kayaç Özelliklerinin Etkileri.....	31
1.7.1.4. Kazı Şartları ve İşletmeye Bağlı faktörler	32
1.8. Kayaçlarda Kazılabilirlik ve Kazılabilirlik Tayini Metotları	33
1.9. Kayaçlarda Delinebilirlik ve Delinebilirlik Metotları	39
1.9.1. Delici Jumbo Makinaları	42
1.9.2. Delinebilirlik Prensipleri	44
1.9.3. Süreksizliklerin Delinebilirlik Üzerindeki Etkisi	48
1.9.4. Tabaka Yönünün Delinebilirlik Üzerindeki Etkisi.....	50
1.10. Delme Oranı İndeksi (DRI)	53
1.10.1. Delinebilirliği Etkileyen Faktörler.....	53

1.10.1.1.	Makine Tipi ve Ekipmana Bağlı Parametreler	54
1.10.1.2.	Delme Koşullarına Bağlı Faktörler.....	55
1.10.1.3.	Jeolojik Yapıya Bağlı Faktörler.....	55
1.11.	Kayaçların Aşındırıcılık Özellikleri	57
1.12.	Kaya Sınıflama Sistemi	62
1.12.1.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD).....	63
1.12.2.	RMR (Kaya Kütle Puanlaması) Sınıflama Sistemi	66
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	69
2.1.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	70
2.2.	Arazi Çalışmaları.....	71
2.2.1.	Çalışma Alanları	71
2.2.1.1.	Cankurtaran Tünelinin Genel Jeolojisi	73
2.2.1.1.1.	Subaşı Sırtı Formasyonu.....	76
2.2.1.1.2.	Cankurtaran Formasyonu.....	76
2.2.1.1.3.	Şenkaya Sırtı Formasyonu.....	76
2.2.1.1.4.	Kabaköy Formasyonu	77
2.2.1.2.	Salmankaş Tünelinin Genel Jeolojisi	77
2.2.2.	Tünellerde Kazı Çalışmaları	79
2.3.	RMR (Kaya Kütle Puanlaması) Sınıflama Sistemi	84
2.3.1.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD).....	86
2.3.2.	Süreksizlik Aralığı ve Eklem Sıklığı	86
2.3.3.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı	88
2.3.4.	Süreksizliklerde Dolgu Malzemesi.....	89
2.3.5.	Süreksizliklerin Devamlılığı.....	90
2.3.6.	Süreksizliklerde Pürüzlülük ve Dalgalılık	92
2.3.7.	Süreksizliklerde Bozunma Derecesi	93
2.3.8.	Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu	95
2.4.	Tünel Kazı Aynalarında Gerçekleştirilen Schmidt Çekiç Ölçüm Metotları.....	96
2.5.	Makine Performansı ve Spesifik Enerji	97
2.6.	Tünelde Delme İşleminde Kullanılan Delici Jumbo Makinaları.....	99
2.7.	Matkap Aşınma Ömürleri	100
2.8.	Laboratuvar Çalışmaları	101
2.8.1.	Tünellerde Örnek Alım Noktaları.....	101

2.8.2.	Örnek Hazırlama İşlemi.....	106
2.9.	Laboratuvarda Gerçekleştirilen Deneyler.....	108
2.9.1.	Fiziksel Özellikler.....	108
2.9.1.1.	Birim Hacim Ağırlık.....	108
2.9.1.2.	Su Emme Oranı.....	109
2.9.1.3.	Görünür Porozite Tayini	110
2.9.2.	Mekanik Özellikler	112
2.9.2.1.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	112
2.9.2.2.	Nokta Yük Dayanımı.....	113
2.9.2.3.	Dolaylı Çekme (Brazilian) Dayanımı.....	115
2.9.3.	Aşınma Deneyleri	116
2.9.3.1.	Cerchar Aşınma İndeksi (CAI).....	116
2.9.3.2.	Norveç Aşınma Deneyi (AV- Abrasion Value).....	117
2.9.3.3.	Mikro Deval Aşınma Kaybı	118
2.9.4.	Delinebilirlik Deneyleri	119
2.9.4.1.	Kırılabilirlik Testi(S20), (Brittleness).....	120
2.9.4.2.	Sievers Minyatür Delme Testi.....	121
2.9.4.3.	Delme Oranı İndeksi(DRI) Tayini.....	122
2.10.	Korelasyon Katsayısının Testi	123
3.	BULGULAR.....	125
3.1.	Yerinde Yapılan Çalışmalar	126
3.1.1.	RMR Sınıflama Sistemi.....	126
3.1.2.	Schmidt Çekici.....	128
3.1.3.	Delici Jumbo Makinalarda Spesifik Enerji ve Net Kazı Hızı.....	130
3.1.4.	Matkap Aşınım Şekilleri.....	134
3.1.5.	Matkap Aşınım Ömürleri.....	139
3.2.	Laboratuvar Çalışmaları	144
3.2.1.	Kayaçların Fiziko- Mekanik Özellikleri.....	144
3.2.1.1.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	144
3.2.1.2.	Nokta Yük Dayanımı.....	147
3.2.1.3.	Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian deneyi)	149
3.2.1.4.	Birim Hacim Ağırlık.....	151
3.2.1.5.	Su Emme Oranı.....	151

3.2.1.6.	Görünür Porozite ve Boşluk Oranı Tayini.....	151
3.2.2.	Delme Oranı İndeksi (DRI)	155
3.2.2.1.	Kırılgenlik Deneyi (S20)	155
3.2.2.2.	Sievers Minyatür Delme Deneyi	157
3.2.2.3.	Delme Oranı İndeksinin (DRI) Değerlendirilmesi	159
3.2.3.	Kayaçların Aşındırıcılık Özelliklerinin Belirlenmesi	161
3.2.3.1.	Cerchar Aşınma İndeksi (CAI).....	161
3.2.3.2.	Norveç Aşınma Deneyi (AV)	164
3.2.3.3.	Mikro Deval Aşınma Kaybı	165
3.3.	Kayaçların Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi	165
3.3.1.	Kayaçların Petrografik Özelliklerinden Eşdeğer Kuvars İçeriğın ve Kaya Aşındırıcılık İndeksinin Değerlendirilmesi	179
4.	VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	182
4.1.	Delme Oranı İndeksi (DRI) İle Diğer İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi	182
4.2.	Kayaçların Aşındırıcılık Özellikleri ile İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi	189
4.2.1.	Cerchar Aşındırıcılık İndeksi ile İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi.....	189
4.2.2.	Mikro Deval Aşınma Kaybı ile İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi.....	192
4.3.	Spesifik Enerji Verilerinin Değerlendirilmesi	196
4.4.	Delici Makine Performansı ve Spesifik Enerji	198
4.5.	Bit Ömürlerinin Değerlendirilmesi.....	202
4.6.	Delinebilirliğin Sınıflandırılması.....	207
4.7.	Kaya Sınıflama Sistemi	210
4.8.	Kayaçların Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	212
4.9.	Schmidt Çekici Sonuçlarının Değerlendirilmesi	219
4.10.	Korelasyon Katsayısı Testinin Değerlendirmesi	224
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	227
6.	KAYNAKLAR	237
7.	EKLER	253

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

CANKURTARAN VE SALMANKAŞ TÜNELLERİNDEKİ KAYAÇLARIN
DELİNEBİLİRLİK, AŞINDIRICILIK, MEKANİK VE PETROĞRAFİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, NET DELME HIZI VE BİT TÜKETİMİ İLE
İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Mehmet ÇAPIK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ
2014, 252 Sayfa, 19 Ek Sayfa

Bu çalışma Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden arazi ve laboratuvar çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarından 28 farklı kazı aynasında L ve N tipi Schmidt çekici ölçümleri alınmış ve kazı aynalarındaki jeoteknik birimlere ait RMR sınıflama sistemi hesaplanmıştır. Delici Jumbo makinaları üzerinde ilk defa pensampermetre ile akım zaman değişimleri incelenmiş ve 20 farklı kazı aynasına ait spesifik enerji (kWh/m^3) ve net kazı hızları (m^3/h) değerleri hesaplanmıştır. Delici bit ömürlerini belirlemek için Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA6 Jumbo makinaları üzerinde 84 farklı kazı aynasında 25 balistik, 2 yarı balistik ve 6 kübik bit üzere toplam 33 bit ömrü ölçülmüştür. Bitler üzerinde görülen aşınma şekilleri incelenmiştir. Literatürde görülen bit aşınma şekillerinden farklı olarak bit'in matkaptan kırılması ve gövdenin ortadan yarılması olarak iki farklı aşınma şekli belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları için Cankurtaranda Tünelinde 33 ve Salmankaş Tünelinde 10 olmak üzere toplam 43 farklı kazı aynasından numune alınmıştır. Tünellerden alınan kayaçların delinebilirlik, aşındırıcılık, mineralojik petrografik ve fiziko- mekanik özellikleri incelenmiştir. Kayaçlara ait ince kesitlerden eşdeğer kuvars içerikleri (EQU) belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen verilerin korelasyon analizleri yapılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delme oranı indeksi, Cerchar aşındırıcılık indeksi, Mikro Deval, Spesifik enerji, Makine performansı, Schmidt çekici, Bit ömrü, Bit aşınma şekli, RMR, Eş değer kuvars içeriği

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF DRILLABILITY, ABRASIVITY, MECHANIC AND
PETROGRAPHIC PROPERTIES OF ROCKS ASSOCIATED WITH NET DRILLING
RATE AND BIT WEAR IN CANKURTARAN AND SALMANKAS TUNNELS

Mehmet ÇAPIK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ
2014, 252 Pages, 19 Appendix

This study was carried out in two stages including in-situ and laboratory studies in Cankurtaran and Salmankas Tunnels. In the field studies, L and N-type Schmidt hammer measurements were taken from 28 different excavation faces and RMR classification of geotechnical units was calculated. Moreover, time dependent current variation were investigated on drill Jumbo machines with a pensampermetre for the first time, specific energy (kWh/m^3) and net excavation rate (m^3/h) values were calculated for 20 different excavation face. To determine the drill bit life, measurements were realized on Atlas Copco ROCKET-BOOMER 282, Sandvik DD320 and Tamrock AXERA6 Jumbo machines from 84 excavation faces with 33 drill bits and 25 of drill bits were ballistic, 6 of bits were spherical and 2 of bits were semi-ballistic. Wear types of bits were also investigated. Two new wear types were encountered which are namely split of bit shaft and break on drifter rod. Samples were obtained from the Cankurtaran tunnels and Salmankas tunnels respectively 33 and 10 samples at the different excavations face for the laboratory studies. Drillability, abrasiveness, physic- mechanical and mineralogical properties were investigated on rocks samples obtained at the tunnels. Equivalent Quartz Content (EQU) was determined with the help of thin section analysis. As a result, the correlation of the data obtained is analyzed and results have been statistically evaluated.

Key Words: Drill rate index, Cerchar abrasivity index, Micro Deval, Specific energy, Machine performance, Schmidt hammer, Bit life, Bit wear type, RMR, Equivalent quartz content.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Kazı maliyetinin tünel uzunluğuna bağlı olarak değişimi (Pakes, 1991).	4
Şekil 1.2.	Tek eksenli basınç dayanımı ile net kazı hızı ve net kırma hızı arasındaki ilişki a) Kollu galeri açma makinası b) Hidrolik kırıcı (Ocak ve Bilgin 2010).....	4
Şekil 1.3.	Araştırmacıların kazıcı makina performansı tahmininde kullandıkları parametreler ve kullanım oranı (Bilim, 2007).	5
Şekil 1.4.	Tarayba kanalizasyon tünelinin TBM performansı (Bilgin vd, 2005b; 2006).....	8
Şekil 1.5.	Kömür kazısı için 24 keski başlıklı kollu galeri açma makinesindeki ani güç değişimleri (Alvarez vd., 2003).	10
Şekil 1.6.	Kazılan kömür aynası (Alvarez vd., 2003).	11
Şekil 1.7.	Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının kazı yaparken çektiği akım değerlerinin zamana bağlı değişimi (Bilim, 2007).	11
Şekil 1.8.	Spesifik enerji ve penetrasyon hızı değişim grafiği (Reddish ve Yaşar 1996).....	12
Şekil 1.9.	Kepçe kapasitesi 7,65m ³ olan bir elektrikli ekskavatörün patlatılmış marn formasyonundaki kazılabilirlik durumu (Ceylanoğlu, 1991).	13
Şekil 1.10.	Spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki (Fowel ve Johnson, 1982).....	17
Şekil 1.11.	Kaya kütle kazılabilirlik indeksine bağlı olarak anlık kesme hızı oranı ve kaya kalite göstergesi değişimi	19
Şekil 1.12.	Hidrolik kırıcının net kırma hızıyla Schmidt çekici değeri ilişkisi (Bilgin, vd., 2002).	22
Şekil 1.13.	Schmidt değerleri ile net kazı oranı arasındaki ilişki (Göktaş ve Güneş, 2005).	23
Şekil 1.14.	Keski ucu aşınma çeşitleri sınıflandırılması (Grima ve Verhoef, 1999; Bilgin vd., 2005a).	24
Şekil 1.15.	Keski uçlarında görülen aşınma çeşitlerinin oransal dağılımı	25
Şekil 1.16.	Kaya bit ilişkisi ve bit tüketim mekanizması (Grima ve Verhoef, 1999).	26
Şekil 1.17.	Aşınma tiplerinin şematik görünümü (Yılmaz ve Gür, 2006).	26
Şekil 1.18.	Bit aşınma çeşitlerinin sınıflandırılması (Plinninger, 2002a).	27
Şekil 1.19.	Tane boyu ve kobalt içerikli tungsten karbür de bit sertlik değişimi (Clark, 1982, Bilgin vd., 2013'den).....	29
Şekil 1.20.	Tungsten karbür disk ile ısı dengeli elmas diskin aşınım sonrası görünümü (Boland ve Macrae 2006; Ramezanzadeh ve Hood 2010'den).....	30
Şekil 1.21.	Aşınma öncesi keski uç geometrisi (Bilgin, 1989).	30

Şekil 1.22. Aşınma sonrası keski uç geometrisi (Kenny ve Johnson 1976).	31
Şekil 1.23. Butonlarda uçlarının aşınma sonrası penetrasyon miktarındaki azalma miktarları (Plinninger, 2008).	31
Şekil 1.24. Kırılgan kayacın ufalanarak dağılması (Mishnaevsky, 1998).	32
Şekil 1.25. Bit uçlarındaki aşınma sonrası penetrasyon oranlarındaki azalma miktarları (Plinninger, 2008).	33
Şekil 1.26. Kollu galeri açma makinalarını ilerleme hızlarının spesifik enerji değerleri ile değişimi (McFeat-Smith ve Fowell, 1979).	35
Şekil 1.27. Kazılabilirliği etkileyen kayaç özellikleri ve kazı makinası akım şeması (Arı, 1990'dan değiştirilerek).	38
Şekil 1.28. Delinebilirlik uygulama indeksi (Hoseinie vd., 2008).	42
Şekil 1.29. Üç boumlu jumbo delici Atlas Copco Rocket Boomer XL3 C tipi makinası	43
Şekil 1.30. Üç boumlu jumbo delici Sandvik DD531-S60C tipi makinası	43
Şekil 1.31. Hidrolik bomun yatay ve dikey yönlerdeki dönme hareketleri (Thuro, 1997a).	44
Şekil 1.32. Delme işleminde kullanılan bitlerin farklı şekillerde dizaynı (Thuro, 1997a'den değiştirilmiş).	44
Şekil 1.33. Kayaç formasyonuna göre bit seçimi (Atlas Copco).	45
Şekil 1.34. Döner darbeli delicinin çalışma sistemi ve düzeneği (Thuro, 1997a).	46
Şekil 1.35. Döner darbeli delicilerde delme işlemi, a) buton ucu altındaki delme mekanizasyonu b) kaya parçalanma süreci (Thuro ve Spaun, 1996b; Plinninger vd., 2002a).	47
Şekil 1.36. Kireçtaşı formasyonunda eklem açıklığına bağlı olarak delme hızı ve delinebilirlik değişimi (Thuro, 1997b).	50
Şekil 1.37. Tabaka yönelmesi ve delinebilirlik ilişkisi (Thuro, 1997a; Thuro ve Plinninger 2002).	51
Şekil 1.38. Delinebilirlik sırasında kayaçta radyal çatlak oluşum şekli a) tabakalanma delici matkaba dik b) tabakalanma delici matkaba paralel (Schormair vd., 2006).	52
Şekil 1.39. Delme oranı ve kayaç foalasyon dalım açısı ilişkisi (Thuro ve Spaun, 1996a)..	52
Şekil 1.40. Delinebilirliği etkileyen faktörler (Thuro ve Spaun 1996a; Thuro, 1997a; Kahraman 1999; Thuro vd., 2002).	54
Şekil 1.41. Kaya kütlelerinin dayanımına etki eden faktörler (Palmström, 1995).	56
Şekil 1.42. Kalem ucu keski tüketimi ve (CAI) arasındaki ilişki (Restner ve Pichler, 2007).	59
Şekil 1.43. CAI ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki (Johnson ve Fowell 1986).	61
Şekil 1.44. Tek eksenli basınç dayanımı ve (CAI) indeksi ilişkisine göre TBM'lerde disk keski tüketimi (Maidl vd., 2001; Plinninger ve Thuro'den 2004).	61

Şekil 1.45. Palmström, (2005) tarafından RQD ve Jv için önerilen grafik.....	64
Şekil 1.46. Düzensiz eklemli bir dolerit - diyabaz yatağının görünümü ve yorumu (Palmström, 2005)	65
Şekil 1.47. 1 m ² alanlarda yapılan eklem ölçümleri (Palmström, 2005).	66
Şekil 1.48. RMR kaya kütleleri sınıflarına göre tavan açıklığı ve desteksiz ayakta kalma süresi arasındaki ilişki (Bienawski, 1989).	68
Şekil 2.1. Tez çalışma planı ve gerçekleştirilen parametreler	69
Şekil 2.2. Cankurtaran tüneline ait yer bulduru haritası	71
Şekil 2.3. Cankurtaran tüneli Hopa giriş tarafından bir görünüm	72
Şekil 2.4. Salmankaş tüneline ait yer bulduru haritası.....	72
Şekil 2.5. Salmankaş tüneli Bayburt çıkış tarafından bir görünüm	73
Şekil 2.6. Cankurtaran tüneli ve çevresine ait stratigrafik kolon kesit (Kaya 2012).	74
Şekil 2.7. Cankurtaran Tünel güzergahındaki birimlerin birleştirilmiş jeoloji kesiti üzerindeki görünümü (Kaya, 2012).....	75
Şekil 2.8. Dağbaşı Yöresi ve çevresine ait stratigrafik kolon kesit (Aydınçakır, 2006).....	78
Şekil 2.9. Cankurtaran tüneli tüpleri Hopa girişi	80
Şekil 2.10. Cankurtaran tüneli B3 kaya sınıfı kazı aşaması.....	80
Şekil 2.11. Cankurtaran tüneli B3 kaya sınıfı kazı alanı ve tahkimatı.....	81
Şekil 2.12. Salmankaş tüneli giriş tüpleri hat eksenini (Araklı)	81
Şekil 2.13. Salmankaş tüneli B3 kaya sınıfı kazı kademeleri	82
Şekil 2.14. Salmankaş tüneli kazı hattına göre kazı alanı (B3 kaya Klası)	82
Şekil 2.15. Cankurtaran tüneli üst yarısında kullanılan delme paterni, delik uzunlukları ve patlatma seri numaraları	83
Şekil 2.16. RMR sisteminin son versiyonundaki parametrelerine ait puanlama grafikleri (Bienawski, 1989).....	85
Şekil 2.17. Hat boyunca ortalama süreksizlik aralığı ve sıklığının tayini (ISRM, 1981).....	87
Şekil 2.18. Süreksizliklerin iki yüzeyi arasındaki açıklığı tanımlayan blok diyagramları (ISRM, 2007).....	89
Şekil 2.19. Salmankaş ve Cankurtaran tünelleri, a) Salmankaş tüneli kalsit dolgu, b) Cankurtaran tüneli kalsit dolgu, c) Salmankaş tüneli süreksizlik açıklığı ve süreksizlik aralığı, d) Cankurtaran tüneli.....	90
Şekil 2.20. Süreksizliklerin devamlılığı a) devamlılığı düşük süreksizlikler, b) devamlılığı yüksek süreksizlikler (Ulusay ve Sönmez, 2002) c) Cankurtaran tüneli aynası, d) Salmankaş tüneli süreksizlik devamlılığı, e) Cankurtaran tüneli süreksizlik aynası.....	91
Şekil 2.21. Süreksizlik yüzeylerinde dalgalılık ve pürüzlülük (ISRM, 1981).....	92

Şekil 2.22. Cankurtaran tüneli aynalarında süreksizliklerin durumu, a) ve b) süreksizliklerin devamlılığı, c) ve d) Cankurtaran tüneli aynalarında süreksizliklerdeki kalsit dolgu bozunma derecesi, e) ve f) Salmankaş tünel aynasındaki kazı aynasındaki süreksizlikler	94
Şekil 2.23. Tünel aynasında su durumunun görünümü, a) Cihala Çayı altındaki aynadan su durumu, b) Tünel aynasında genel bir görünüm (nemli ve ıslak ayna).....	96
Şekil 2.24. Cankurtaran ve Salmankaş Tünel kazı aynalarında kullanılan, a) L ve N tipi Schmidt çekiçleri ile (Proceq) kalibrasyon örsü, b) ölçümlerin yapıldığı hat aralığı, c) kazı aynasındaki Schmidt çekiçleri ve d) aynada ölçüm yapılması.....	97
Şekil 2.25. Jumbo makinaların spesifik enerji hesaplanması için akım ölçümleri a) pensampermetre, b) ölçüm esnasında veri alınımı	98
Şekil 2.26. Tünelde ayna delmede kullanılan makinalar (Jumbo) a) Sandvik DD320, b) Atlas Copco Rocket Boomer 282, c) Tamrock AXERA 6 (URL 1; URL 2; URL 3).	99
Şekil 2.27. Cankurtaran Tüneli Sağ ve Sol tüplerine ait numune alım noktaları.....	104
Şekil 2.28. Salmankaş Tüneli numune alım noktaları	105
Şekil 2.29. Numune hazırlama aşamaları a) karot alma b) karot düzeltme	106
Şekil 2.30. Hazırlanan numuneler a) I. grup, b) II. grup, c) III. grup, d) IV grup	107
Şekil 2.31. Kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilen aşamalar, a) numune tartımı, b) suya doygun numuneler, c) suya doyurma, d) Arşimet terazisiyle numune tartımı, e) fırında kurutma	110
Şekil 2.32. Kayaçta bulunan boşluk türlerinin şematik görünümü.....	111
Şekil 2.33. Tek eksenli basma dayanımı deneyin yapılışı, a) deney aleti, b) hazırlanan numunenin plakalar arasına yerleştirilmesi, c) ve d) kırılan numuneler	113
Şekil 2.34. Nokta yük deneyi, a) deney düzeneği, b) numunenin kırılması	114
Şekil 2.35. Brazilian dolaylı çekme deneyi, a) numunenin yerleştirilmesi, b) kırılan numune..	115
Şekil 2.36. Cerchar aşınma deneyi, a) deney aleti, b) deney sonrası aşınan kayaç görünümü.....	117
Şekil 2.37. Norveç aşınma deneyi, a) deney düzeneği, b) deney aleti, c) tungsten karbür ucu, d) deneyin yapılışı	118
Şekil 2.38. Mikro-Deval aşındırma deney aşamaları, a) numune hazırlama, b) numunelerin tamburlara yerleştirilmesi, c) deneyin yapılışı ve d) deney sonları görünüm	119
Şekil 2.39. Kırılma deneyinin yapılışı, a) deney düzeneği, b) numune hazırlama, c) deney aleti.....	121
Şekil 2.40. Sievers minyatür delme deneyi, a) deney düzeneği, b) deney aleti, c) deneyin yapılışı, d) kullanılan örnekler	122

Şekil 2.41. Delme oranı indeksi (DRI)'nin değerlendirilmesi için kullanılan diyagram (Dahl, 2003).....	123
Şekil 3.1. Tünellerdeki kazı aynalarına ait temel RMR değerleri ve Bieniawski (1989) kaya sınıflamasına göre tanımı	127
Şekil 3.2. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Jumbo delici makinaların delgi sırasında akım zaman değişim grafikleri, a) CR5 kodundaki Tamrock AXERA 6 tipi makinenin, b) CR8 kodundaki Atlas Copco Rocket Boomer 282 tipi makinenin, c) B10 kodundaki Sandvik DD320 tipi makinenin delme sırasındaki akım zaman değişim grafiği.....	131
Şekil 3.3. Bitlerin penetrasyon oranları (Atlas Copco 2014).....	137
Şekil 3.4. Bit takip edilmesinde elde edilen sonuçların bit aşınması ve bit ömrüne göre sınıflandırılması	143
Şekil 3.5. Tek eksenli basınç dayanımı sonucunda kırılan numuneler	145
Şekil 3.6. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları ve kaya sınıflandırılması.....	146
Şekil 3.7. Nokta yük dayanımı sonucu örneklerin kırılma şekilleri ve ISRM, 1985'e göre geçerli geçersiz yenilme şekilleri, a, b, c geçerli kırılma, d geçersiz kırılma.....	147
Şekil 3.8. Nokta yük dayanım deney sonuçları ve kaya sınıflaması.....	148
Şekil 3.9. Brazilian dolaylı çekme dayanımı, a)hazırlanmış numune b) numunenin kırılması, c) hazırlanan numuneler, d) kırılmış numuneler	149
Şekil 3.10. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney sonuçları	150
Şekil 3.11. Deney sonrası kayaçların birim hacim ağırlık sonuçları	152
Şekil 3.12. Ağırlıkça ve hacimce su emme deney sonuçları.....	153
Şekil 3.13. Görünür porozite ve boşluk oranı deney sonuçları.....	154
Şekil 3.14. Kırılgenlik deney (S20) sonuçları ve sınıflaması	156
Şekil 3.15. Sievers minyatür delme deneyinde kullanılan deney örnekleri.....	157
Şekil 3.16. Sievers minyatür delme (SJ) deney sonuçları ve sınıflaması	158
Şekil 3.17. Kırılgenlik (S20) ve delinebilirlik (SJ) değerlerine bağlı DRI belirleme grafiği (Dahl, 2003).	159
Şekil 3.18. Kayaçların delme oranı indeks deney sonuçları ve sınıflandırılması.....	160
Şekil 3.19. Andezit örneğine ait Cerchar aşınma uçlarının üstten ve yandan ölçülmesi.....	162
Şekil 3.20. Cerchar aşınma indeksi sonuçları, kayaç aşındırıcılık sınıflaması ve keski sarfıyatı	163
Şekil 3.21. Norveç aşınma deney sonuçları ve kayaç sınıflandırılması.....	164
Şekil 3.22. Mikro Deval aşınma deney sonuçları	166

Şekil 3. 23. Salmankaş tüneline ait ince kesitler (B4 Bazaltik kristal litik tuf, B5 Dolerit, B6 Bazaltif tuf, B7 Marn, B8 Aglomera, B10 Andezit) KP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Kuvars, (Qtz), Magnetit (Mag).....	170
Şekil 3.24. Cankurtaran Sol Tüpüne ait ince kesitler CL3 Fosilli Kumtaşı, CL4 Volkanoklastik kumtaşı, CL6 İnce taneli kumtaşı, CL11 Silttaşı-Marn, CL15 Porfirik Bazalt, CL16 Bazaltik litik kristal tuf,) KP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Matriks hamuru (MH), epidot (Epd), Biotit, (Biot).	175
Şekil 3. 25. Cankurtaran Sağ Tüpüne ait ince kesitler, CR10 Biyomikritik kireçtaşı, CR4 Volkanojinik Kumtaşı, CR5 Biyomikritik kireçtaşı, CR6 Fosilli Kumtaşı, C.R.9 Marn, CR8 Diyabaz) KP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Matriks hamuru (MH), epidot (Epd), Biotit, (Biot).	179
Şekil 3.26. Kayaçlara ait eşdeğer kuvars içerikleri.....	180
Şekil 3.27. Kayaçlara ait kaya aşındırıcılık indeksi (RAI)	181
Şekil 4.1. Tek eksenli basınç dayanımı ve delme oranı indeksi ilişkisi.....	183
Şekil 4.2. Nokta yük dayanımı ve delme oranı indeksi ilişkisi.....	184
Şekil 4.3. Brazilian çekme dayanımı ve delme oranı indeksi ilişkisi	184
Şekil 4.4. Delme oranı indeksi ile kırılgenlik (S20) ilişki	185
Şekil 4.5. Delme oranı indeksi ile Sievers minyatür delme ilişkisi	185
Şekil 4.6. Delme oranı indeksi ile Mikro Deval aşınma kaybı ilişkisi	186
Şekil 4.7. Cerchar aşındırıcılık indeksi ve delme oranı indeksi ilişkisi	186
Şekil 4.8. Keski sarfiyatı ile ve delme oranı indeksi ilişkisi.....	187
Şekil 4.9. Görünür porozite ve delme oranı indeksi ilişkisi.....	188
Şekil 4.10. Boşluk oranı ve delme oranı indeksi ilişkisi.....	188
Şekil 4.11. Tek eksenli basınç dayanımı ve CAI ilişkisi	190
Şekil 4.12. Nokta yük dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi.....	190
Şekil 4.13. Brazilian çekme dayanımı ile Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi	191
Şekil 4.14. Kayaçlarının kırılgenlik ve Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi	191
Şekil 4.15. Sievers Minyatür delme ve Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi	191
Şekil 4.16. Kayaçların mikro deval aşınma kaybı ve CAI indeksi ilişkisi	192
Şekil 4.17. Tek eksenli basınç dayanımı ve MD aşınma kaybı ilişkisi.....	194
Şekil 4.18. Kayaçların nokta yük dayanımı ve Mikro Deval ilişkisi	194
Şekil 4.19. Brazilian çekme dayanımı ve Mikro Deval ilişkisi	194
Şekil 4.20. Kırılgenlik ve Mikro Deval ilişkisi.....	195

Şekil 4.21. Mikro Deval aşınma ve Sievers delme ilişkisi	195
Şekil 4.22. Cankurtaran tüneli Sandvik DD320 Jumbo makinasına ait spesifik enerji değerleri ve net kazı hızı ilişkisi	197
Şekil 4.23. Salmankaş tüneli Sandvik DD320 Jumbo makinasına ait spesifik enerji değerleri ve net kazı hızı ilişkisi	197
Şekil 4.24. Salmankaş ve Cankurtaran tünelleri için spesifik enerji değerleri ve net kazı hızı ilişkisi	198
Şekil 4.25. DD320 Jumbo makinasına ait akım zaman grafikleri a) CR11a, b) CL11 ve c) B9 kodu.....	199
Şekil 4. 26. Farklı operatörlerin makine performansı üzerindeki etkisi	202
Şekil 4.27. Tek eksenli basınç dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi	203
Şekil 4.28. Nokta yük dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi	203
Şekil 4.29. Brazilian çekme dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi	204
Şekil 4.30. Mikro Deval aşınma kaybı ile matkap ömürleri ilişkisi	204
Şekil 4.31. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile bitp ömürleri ilişkisi	205
Şekil 4.32. Kırılgenlik deneyi ile matkap ömürleri ilişkisi	206
Şekil 4.33. Sievers minyatür delme ile matkap ömürleri ilişkisi	206
Şekil 4.34. Delme oranı indeksi ile matkap ömürleri ilişkisi.....	207
Şekil 4.35. Salmankaş Tünel’inde kullanılan matkap ömürleri ve net delme hızı diyagramı	208
Şekil 4.36. Cankurtaran Tünel’inde kullanılan matkap ömürleri ve net delme hızı diyagramı	209
Şekil 4.37. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kullanılan matkap ömürleri ve net delme hızı diyagramı	210
Şekil 4.38. Spesifik enerji ve net kazı hızının RMR ilişkisi.....	211
Şekil 4.39. Spesifik enerji ve net kazı hızının RQD ilişkisi	212
Şekil 4.40. Tek eksenli basınç dayanımı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi.....	212
Şekil 4.41. Nokta yük dayanımı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi.....	213
Şekil 4.42. Brazilian çekme dayanımı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi	213
Şekil 4.43. Cerchar aşındırıcılık indeksi ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi	214
Şekil 4.44. Delme oranı indeksi ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi	214
Şekil 4.45. Salmankaş tüneli kayaçlarının bit ömrü ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi	215
Şekil 4.46. Cankurtaran tünelleri kayaçlarının bit ömrü ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi.....	216
Şekil 4.47. Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarının bit ömrü ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi.....	217

Şekil 4.48. Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarının bit başına düşen pasa miktarı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi	218
Şekil 4.49. Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarına ait kaya aşındırıcılık indeksi ile bit ömrü ilişkisi	219
Şekil 4.50. Tek eksenli basınç dayanımı ile Schmidt Çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi.....	220
Şekil 4.51. Tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt Çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi.....	221
Şekil 4.52. Mikro Deval Aşınma kaybı ve Schmidt Çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi.....	221
Şekil 4.53. Mikro Deval Aşınma kaybı ve Schmidt Çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi.....	222
Şekil 4.54. Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ve Schmidt Çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi	222
Şekil 4.55. Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ve Schmidt Çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi	223
Şekil 4.56. Delme oranı indeksi (DRI) ve Schmidt çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi.....	223
Şekil 4.57. Delme oranı indeksi (DRI) ve Schmidt çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi.....	224

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Kazı makinelerinin performansını etkileyen bazı parametreler (Balcı vd., 2007).....	6
Tablo 1.2. Kazı performans tahmini için CSM ve NTNU modelleri (Özdemir ve Nilsen, 1999).....	7
Tablo 1.3. Arazi ve laboratuvar da yapılan baskı kuvveti değerleri (Bilgin vd., 2006).....	9
Tablo 1.4. Ağır Kısmi Cepheli Galeri Açma Makinelerinin Spesifik Enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi (McFeat-Smith and Fowell, 1979).....	15
Tablo 1.5. Orta Ağırlıktaki Kısmi Cepheli Galeri Açma Makinelerinin Spesifik Enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi (McFeat-Smith and Fowell, 1979).....	15
Tablo 1.6. Darbeli kırıcılar için dayk kalınlığına göre (k) sabiti tahmini (Ocak ve Bilgin 2010).....	20
Tablo 1.7. Uygulanmakta olan Schmidt çekici test metotları (Göktan ve Güneş 2005; Özkan ve Bilim, 2008).....	21
Tablo 1.8. Keski ve bitlerde görülen ortak aşınma çeşitleri.....	28
Tablo 1.9. Elektrikli kazıcılar için kazılabilirlik sınıflaması (Ceylanoğlu, 1991).	35
Tablo 1.10. 1960'dan beri kaya delinebilirlik üzerine yapılmış çalışmalar (Hoseinie vd., 2008'dan değiştirilerek).....	41
Tablo 1.11. Kayaçların özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler	42
Tablo 1.12. Doku, tane boyutu ve kaya yapısı ile kayacın delinme hızı arasındaki ilişki (Wilbur, 1982).	57
Tablo 1.13. Tek eksenli basınç dayanımı ile CAI arasındaki değişime göre keski değişim miktarı	61
Tablo 1.14. Özellikle tünellemede kullanılan başlıca kaya kütle sınıflama sistemleri (Bieniawski, 1989; Ulusay, 2010).	64
Tablo 2.1. RMR kaya kütle sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989).	84
Tablo 2.2. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski, 1989).....	85
Tablo 2.3. RQD kaya kalite sınıflaması (Deere, 1964).....	86
Tablo 2.4. Süreksizlik aralığı ve sıklığı sınıfları (Ulusay, 2010).	87
Tablo 2.5. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 2007).	89
Tablo 2.6. Süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007).	91
Tablo 2.7. Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün ve dalgalılığının ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	92

Tablo 2.8. Kaya kütlelerinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981).....	93
Tablo 2.9. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM 1981).....	96
Tablo 2.10. Arazide uygulanan Schmidt çekici test metotları	96
Tablo 2.11. Tünellerde delgi işleminde kullanılan delici Jumbo makinaların teknik özellikleri, (URL 1; URL 2; URL 3).	100
Tablo 2.12. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde numune alım noktaları	102
Tablo 3.1. Cankurtaran tüneline ait L tipi Schmidt çekici sertlik değerlerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi	128
Tablo 3.2. Cankurtaran Tüneline ait N tipi Schmidt çekici sertlik değerlerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi	129
Tablo 3.3. Salmankaş tüneline ait N ve L tipi Schmidt çekici sertlik değerlerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi.....	129
Tablo 3.4. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Jumbo makinaların delme sırasında harcadığı spesifik enerji miktarı	132
Tablo 3.5. Jumbo makinalarına ait net kazı hızları ve spesifik enerji değerleri	133
Tablo 3.6. Jumbo makinalarına ait net delme hızları.....	133
Tablo 3.7. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kullanılan bit aşınmalarının sınıflandırılması	135
Tablo 3.8. Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde delgi işleminde takip edilen bitler.....	139
Tablo 3.9. Cankurtaran giriş tüplerinde takip edilen bitler ve bit ömürleri	140
Tablo 3.11. Cankurtaran çıkış tüplerinde takip edilen bitler ve bit ömürleri	141
Tablo 3.12. Salmankaş tüneline ait takip edilen bitler ve bit ömürleri.....	142
Tablo 3.13. Kayaçların basınç dayanım değerlerine göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).	145
Tablo 3.14. Kayaçların nokta yük dayanımlarına göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1975).....	147
Tablo 3.15. Kırılgenlik sınıflandırılması (Dahl vd, 2012).	155
Tablo 3.16. Kayaç yüzey sertlik sınıflandırılması (Dahl, vd., 2012).	157
Tablo 3.17. DRI'nın sınıflaması (Dahl, 2003).....	161
Tablo 3.18. Cerchar aşındırıcılık sınıflandırması (ASTM, 2010c)	161
Tablo 3.19. Norveç aşınma sınıflandırılması	164
Tablo 3.20. Salmankaş Tüneline ait ince kesit analiz sonuçları.....	169
Tablo 3.21. Cankurtaran Tüneli Sol Tüpüne ne ait ince kesit analiz sonuçları.....	174
Tablo 3.22. Cankurtaran Tüneli Sağ Tüp ince kesit analiz sonuçları.....	178
Tablo 3.23. Rosiwal aşındırıcılık indeksi mineral değerleri (Schormair vd., 2006).	180

Tablo 4.1. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Sandvik DD320 Jumbo makinasının delme sırasında harcadığı spesifik enerji miktarı.....	201
Tablo 4. 2. DRI ve CAI ve Mikro Deval sonuçlarının korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi	225
Tablo 4. 3. Bit ömrü ve eş değer kuvars içeriğinin korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi	226
Tablo 4. 4. L ve N tipi Schmidt çekiçlerinin korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi	226

SEMBOLLER DİZİNİ

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Standartları
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
CAI	: Cerchar Aşındırıcılık İndeksi
DRI	: Delme Oranı İndeksi
SJ	: Sievers Minyatür delme
SE	: Spesifik Enerji
S ₂₀	: Kırılma Deneyi
NKH	: Net Kazı Hızı
D	: Örnek Çapı
D _e	: Eşdeğer Çap
F	: Yenilme Yüğü
HRC	: Rockwell Sertliğı
MDA	: Mikro Deval Aşınma Kaybı
n	: Porozite
Q	: Schmidt Çekici Geri Sıçrama Katsayısı
σ_c	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı, MPa.
I _s	: Düzeltilmemiş Nokta Yüğü Dayanımı, MPa,
D _e	: Eşdeğer çap, mm,
I ₅₀	: Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanımı, MPa,
σ_t	: Dolaylı Çekme Dayanımı, MPa,
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
RMR	: Kaya Kütle Puanlaması
N	: Süreksizlik Sayısı
L	: Hat Uzunluğu (m)
Λ	: Süreksizlik Sıklığı
J _v	: Hacimsel Eklem Sayısı
P	: Güç, kW
V	: Volt, V
I	: Amper, A
ℓ	: Bir Delik Uzunluğu, m
t _{net}	: Bir deliğın net delme zamanı dak.

l_t	: Delik Uzunluğu, m
b_t	: Toplam Bit Sayısı,
ρ	: Yoğunluk, g/cm ³
BHA	: Birim Hacim Ağırlık
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık (kN/m ³)
D_d	: Doygun birim hacim ağırlığı, g/cm ³ .
D_k	: Kuru birim hacim ağırlığı, g/cm ³ .
S_k	: Kütlege su emme oranı, %.
S_h	: Hacimce su emme oranı, %.
n	: Porozite, (%),

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya’da ve Türkiye’de madencilik ve inşaat sektöründe önemli bir yere sahip olan mekanize kazı makinalarının önemi gittikçe artmaktadır. Ülkemizde son yıllarda teknoloji ve bilimdeki gelişmelere paralel olarak mekanize kazı makinaları metro, tünel ve madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü kentleşmenin hızla artması ve artan nüfusa bağlı olarak trafik yoğunluğu nedeniyle metro ve tünel çalışmaları büyük önem kazanmaktadır. Bunların yanında su tünelleri, demiryolu tünelleri, karayolu tünelleri, sığınak ve depolama projelerinde de mekanik kazı makinaları yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olan bu makinaların, kayaç formasyonuna uygun şekilde seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bir kazı sistemi tasarımı yapılmadan veya mekanize kazıda iyi performans elde etmek ancak kazı yapılacak formasyonun kaya kütle özellikleri, fiziksel, mekanik özellikleri ve bunun yanında delinebilirlik ve aşındırıcılık özelliklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Yanlış makinenin seçilmesi durumunda, proje istenen sürede bitmeyecek ve maliyetlerde de çok fazla artışlar görülecektir.

Doğu Karadeniz Bölgesinde hidroelektrik santrali projeleri başta olmak üzere yapılan su tünelleri ile arazi şartları ve ağır hava şartlarına bağlı olarak yapılan karayolu tünellerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu tünellerin kazı çalışmalarında genellikle delme-patlatma yöntemi kullanılmaktadır. Delme patlatma yönteminde Jumbo delici makinalar kullanılmaktadır. İşletmeler açısından istenilen temel prensip ise projelerin hızlı ve ekonomik olarak yürütülmesidir. Bunun için delinecek kayacın jeolojik yapısının yanında, fiziko-mekanik özellikleri, kayacın delinebilirliği ve aşındırıcılığının bilinmesi işletme için önemli bir avantaj sağlayacaktır. Çünkü delici Jumbo takımlarında bit, tij, manşon ve şank gibi delici takımları önemli bir maliyet kalemidir. Bu özellikleri göz önünde bulundurarak, kazısı devam eden Cankurtaran ile Salmankaş karayolu tünellerinde makine performansı, spesifik enerji değerleri, kayaçların delinebilirlik özellikleri, aşındırıcılık özellikleri, fiziko- mekanik özellikleri, kullanılan matkap ömürleri ve matkap aşınım şekilleri ve kaya sınıflama sistemlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

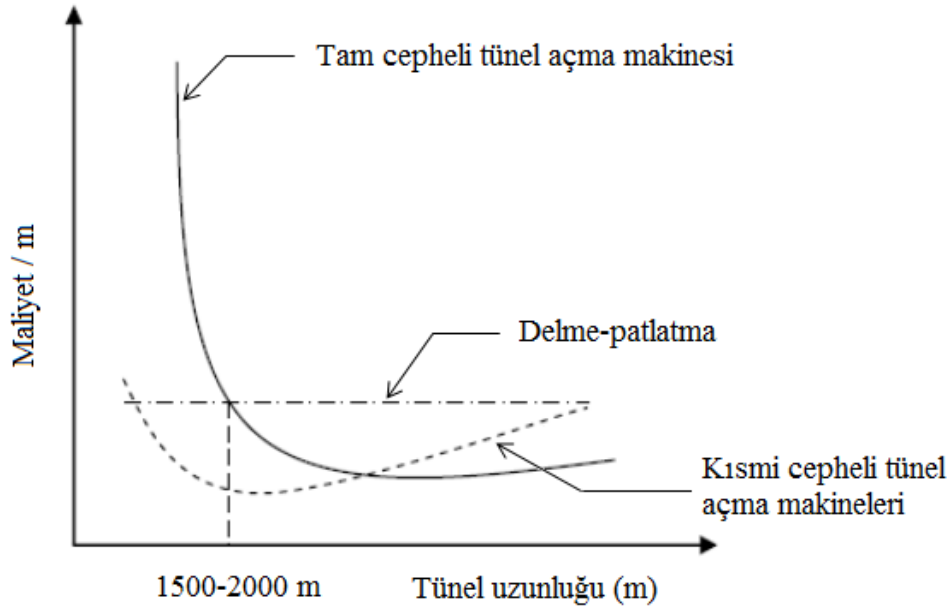
1.2. Mekanize Kazı İşlemi ve Performans Değerlendirmeleri

Mekanize kazı işlemi, galeri açma makineleriyle çeşitli keskiyer yardımcıyla mekanik olarak kesip parçalama esasına dayanan bir kazı yöntemidir. Madencilik ve inşaat sektöründe artan yeraltı kazı ihtiyacı özellikle bilimsel ve teknolojik ilerlemenin, hızlı kentleşmenin ve ekonomik gelişmenin kesişmesiyle mekanize kazının yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açmıştır.

İlk yatırım maliyeti ve kesici uç tüketimi çok yüksek olan ve hemen tümüyle ithal edilen bu makinaların, kayaç özelliklerine uygun şekilde seçilmesi çok önemlidir. Çünkü mekanize kazıda iyi performans elde etmek için kazı yapılacak kayaç formasyonun fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerinin yanında jeolojik özelliklerinin de bilinmesi ve ne kadar keski harcanacağı tahmin edilerek makina tipinin iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun tersi yönünde makinenin yanlış seçimi ve keski tüketiminin yanlış belirlenmesi kazı maliyetlerinin artmasına neden olacaktır (Yaralı, 2008; Yaralı 2010).

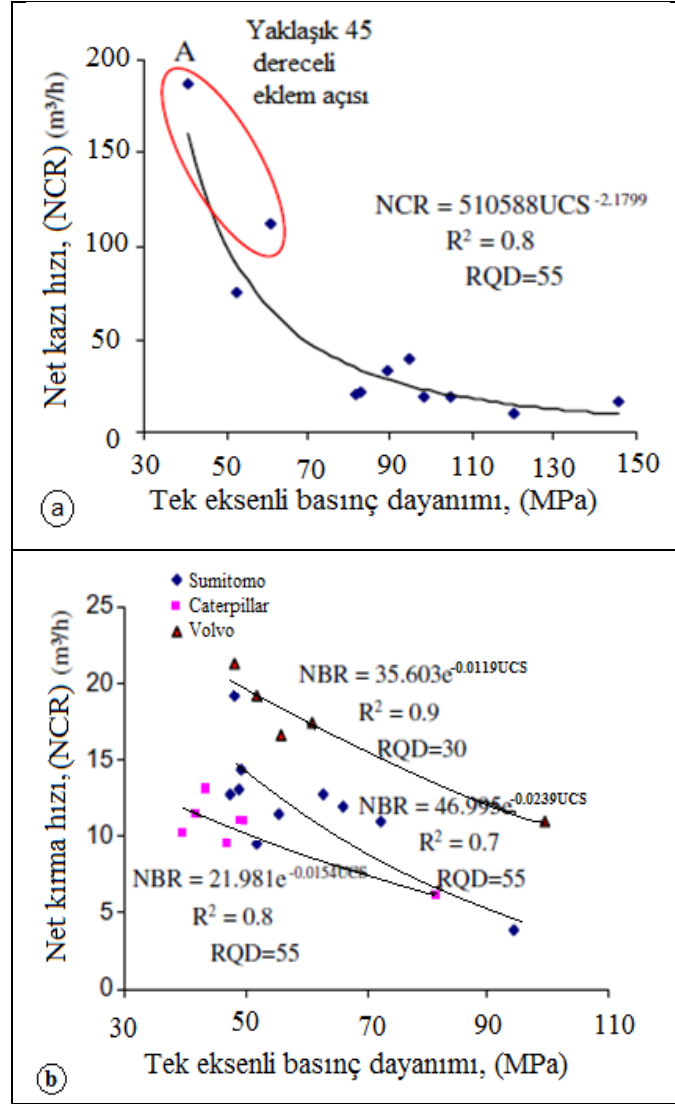
Mekanize kazı ile delme-patlatma yöntemi karşılaştırıldığında, mekanize kazı delme-patlatma yöntemine göre ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan bir yöntemdir. Fakat sadece ilk yatırım maliyetine göre seçim yapmak doğru bir tercih olmayabilir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi tünel uzunluğu arttıkça birim maliyet azalmaktadır. Tünel Açma Makinası (TBM) ile kazı sisteminin tercih edilmesi 1500–2000 m den sonra daha ekonomik olduğu görülmektedir.

Mekanize kazı sistemlerinde eğer şartlar uygunsa klasik yöntemle göre daha hızlı ilerleme elde edebilir. Fakat bu sistemin temelinde, kesici uçlar sürekli kayaçla temasta olduğu için bu keskiyer belli bir süre sonra fazla aşınmakta ve kullanılmaz hale gelmektedir. Hatta keski masraflarının tüm kazı maliyetinin 1/3’üne vardığı durumlara da rastlanmaktadır. Diğer önemli bir husus ise keskiyer körleştikçe, kesmek için harcanan kuvvetler artmaktadır, diğer bir deyişle birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli spesifik enerji değeri artmaktadır (Bilgin 1982).



Şekil 1.1. Kazı maliyetinin tünel uzunluğuna bağlı olarak değişimi (Pakes, 1991).

Bilgin vd., (2002), tarafından İstanbul'da gerçekleştirilen farklı tünel projelerinden alınan verilere göre bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde hidrolik kırıcılar için (net kırma hızı), kollu galeri açma makinaları için (net kazı hızı) değerlerinin yerinde toplanan ölçümlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Hidrolik kırıcı ve kollu galeri açma makinası net delme-kırma oranlarıyla kayaç dayanımları arasındaki ilişki Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Farklı çalışmalar tarafında yayınlanan sonuçlar net kesme-kırma oranıyla tek eksenli basınç dayanımı ilişkisini doğrulamaktadır (Çopur vd., 1998; Thuro ve Plinninger, 1998; Bilgin vd., 2002; Tunçdemir, 2007). Süreksizliklerin net kırma oranı üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Volvo 210'un net kırma oranı en yüksektir, çünkü RQD'si %30 olan formasyonunda çalışmaktadır. Caterpillar 318 ve Sumitomo SH200LC ise hemem hemen aynı net kırma oranına sahiptirler.



Şekil 1.2. Tek eksenli basınç dayanımı ile net kazı hızı ve net kırma hızı arasındaki ilişki a) Kollu galeri açma makinası b) Hidrolik kırıcı (Ocak ve Bilgin 2010).

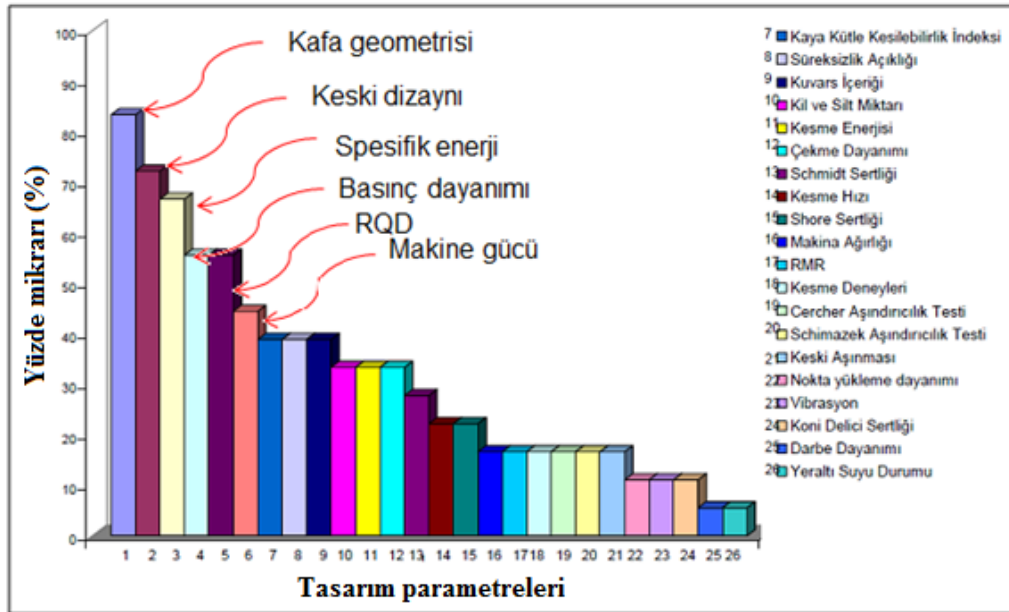
1.3. Mekanize Kazı Performansını Etkileyen Faktörler

Mekanize kazı üzerine yapılan çalışmalar, makine performanslarının tahminine yönelik çalışmalar ile başlayıp, kayacın jeolojik parametrelerini de kapsayan geniş bir spektruma sahip olmuştur. Son dönemdeki çalışmalar, kaya malzemesi özellikleri ve makine performansı üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan araştırmalara göre kazı makinalarının performansını etkileyen faktörler genel olarak üç grup altında toplanabilir.

- Kaya malzemesinin özelliği
- Kullanılan makine tipi

- İşletme ve çevresel faktörler

Bu üç faktör haricinde araştırmacılar tarafından pek çok parametre de kullanılmaktadır. Bunlar; makine tasarımı, kazı tahkimatı, nakliye ve havalandırma gibi faktörler gelmektedir. Seçilen makinanın kazı bölgesinde değişen kayaç formasyonuna ve kazı koşullarına göre uygun olması gereklidir. Makinanın yeni kazı koşullarına uygun hale getirilebilmesinde makinanın kesici kafa tasarımı ve kesici uçların tipi büyük önem taşımaktadır (Hurt, 1980; Fowell ve Johnson, 1982; Özdemir ve Nilsen, 1999; Balcı vd. 2007). Yapılan analiz ve araştırmalar sonucunda mekanize kazıcıların performans tahmininde kullandığı parametrelerin üzerindeki etkileri yüzde miktarı Şekil 1.3'de verilmiştir. Şekil 1.3'de görüldüğü gibi mekanize kazı makinalarında performans tahminlerinde en sık kullanılan parametrelerin başında kafa geometrisi, keski dizaynı ve spesifik enerji gelmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında Şekil 1.3'de verilen parametrelerden 15 tanesi kullanılmıştır.



Şekil 1.3. Araştırmacıların kazıcı makina performansı tahmininde kullandıkları parametreler ve kullanım oranı (Bilim, 2007).

Makine seçimini ve performansını etkileyen faktörleri üzerine Balcı vd., (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada bir yeraltı veya tünel kazı işlemine başlamadan önce makine seçimini ve performansını etkileyen faktörleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunlar

genel olarak iki başlık altında toplandığında kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler Tablo 1.1’de gösterilmiştir (Balcı vd., 2007).

Tablo 1.1. Kazı makinelerinin performansını etkileyen bazı parametreler (Balcı vd., 2007).

Makine Özelliklerine ve İşletme Faktörüne Bağlı Parametreler	Jeolojik Parametreler
<u>Makine Özellikleri</u> <ul style="list-style-type: none"> • Makine tipi • Makinenin ağırlığı ve boyutları • Pasa toplama ve taşıma kapasitesi • Makinenin kurulu toplam gücü 	<u>Kaya Kütleli Özellikleri</u> <ul style="list-style-type: none"> • Kayaç kalite değeri (RQD) • Kaya kütleli sınıflama sistemi (RMR) • Jeolojik süreksizlikler • Hidrojeolojik durum
<u>Kesici kafa özellikleri</u> <ul style="list-style-type: none"> • Kesici kafanın tipi ve boyutu • Kesici kafanın gücü • Keskinin dizilimi ve sayısı • Keski tipi ve özellikleri 	<u>Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri</u> <ul style="list-style-type: none"> • 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)
<u>İşletme faktörleri</u> <ul style="list-style-type: none"> • Ekipman temin hızı • Teknik personel kalitesi • İşyeri organizasyonu 	

1.4. Kazı Makinaları İçin Performans Tahmin Modelleri

Kazı makina performansları için kazı öncesinde iyi tahmin yapabilmek için kollu galeri açma makinası, tünel açma makinaları (TBM) ve diğer kazı makinaları için pek çok araştırmacı tarafında farklı performans ve maliyet değerlendirme tahmin modelleri geliştirilmiştir (McFeat-Smith ve Tarkoy, 1979; Nelson vd., 1985; Sundin ve Wanstedt, 1994; Bieniawski vd., 2007; Nilsen 2003; Geniş vd., 2007; Dahl vd., 2010; Yaralı ve Karaman 2011; Dalh, vd., 2012; Bilgin vd., 2013).

Bu modeller içinde uygulamada en çok kabul görmüş performans tahmin modelleri aşağıda listelenmiştir.

1. Colorado Madencilik Okulu (Colorado School of Mines, CSM) modeli,

2. Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (Norwegian University of Science and Technology, NTNU) modeli,
3. Ernst Buchi tarafında geliştirilen Net Penetrasyon Hızı modeli,
4. Spesifik enerji modeli,

Colorado Madencilik Okulu ve Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi tarafından geliştirilen modeller Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

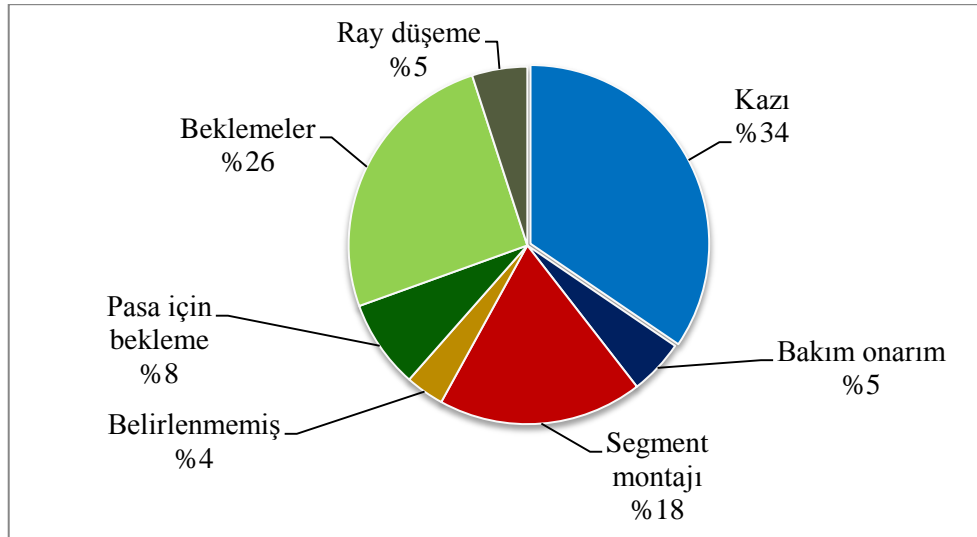
Tablo 1.2. Kazı performans tahmini için CSM ve NTNU modelleri (Özdemir ve Nilsen, 1999).

CSM Modeli	NTNU Modeli
<ul style="list-style-type: none"> Tek eksenli basınç dayanımı (deformasyon deneyi dahil) • Brazilian (dolaylı) çekme deneyi • Yoğunluk • Punch deneyi • Cerchar aşınma indeksi • Petrografik analizler <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sert minerallerin tipi ve içeriği ✓ Tanelerin konumu ve yönelme özellikleri ✓ Taneler arasındaki bağ ✓ Mikro çatlaklar ve boşluklar ✓ Diğer mikroskobik özellikler 	<ul style="list-style-type: none"> • Sievers minyatür delme deneyi (SJ) • Kırılma deneyi (S20) • Aşınma miktarı deneyi (AV) • Petrografik analizler <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sert minerallerin tipi ve içeriği ✓ Tanelerin konumu ve yönelme özellikleri ✓ Taneler arasındaki bağ ✓ Mikro çatlaklar ve boşluklar ✓ Diğer mikroskobik özellikler

Kollu galeri açma makinası üzerine pek çok performans tahmin modelleri geliştirmiş olmasına rağmen, özellikle tünelin eğimi, su geliri ve ileri derece kırıklı zonlu gibi sorunlu kayaç formasyonlarda yapılan modeller sınırlı sayıda kalmıştır. Hereke tüneline yapılan kazılarda, tünelin eğimli bölgesi ile eğimli olmayan bölgesi karşılaştırıldığında; tek eksenli basınç dayanımı ve spesifik enerji değerleri aynı olan bu bölgelerde net kazı hızının eğimli bölgede 2-5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum yerçekimi kuvvetinden dolayı pasa yüklenmesi ve pasanın kesici kafadan uzaklaştırılmasının daha kolay olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Suyun net kazı hızı üzerinde ciddi bir etkisi olduğu görülmüştür. Basınç dayanımı aynı ve su geliri 11 lt/m³ olan bölgenin kuru olan bölgeden kazı hızının iki kat daha fazla olduğu görülmüştür. Makinanın kullanım zamanı net kazı hızı kadar önemlidir. Çünkü günlük ilerleme oranının doğrudan belirlenmesinde kullanılan önemli parametredir. Hereke tüneli kazısındaki eğimli olarak açılan bölgelerde, makinadan yararlanma oranı %38’den % 8’e düşmüştür. Çünkü kazı ve tahkimat ayrı ayrı zamanlarda yapılmıştır (Bilgin vd., 2004). RQD değeri 80 (%) ve basınç dayanımı 1000kg/cm² den büyük olan kayaç formasyonları için laboratuvarda elde edilen net kazı hızı değeri ile

araziden elde edilen net kazı hızı tahmin değerlerinin Rostami vd., (1994) tarafında önerilen eşitlikle elde edilen değerler birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir (Bilgin vd., 2005a).

Tünel açma makinası (TBM) kullanıldığından beri, makine performans analizleri ve tahmin modelleri geliştirmek pek çok araştırmacının nihai hedefi olmuştur (Tarkoy ve Hendron, 1975; Ozdemir, 1977; Blindheim, 1979; Nelson ve Rourke, 1983; Rostami ve Ozdemir, 1993; Barton, 2000; Yagiz, 2008). Bilgin vd., (2006) tarafından TBM kazı performansı değerlerini belirlemek için, makinanın yerindeki performans değerleri ile laboratuvardaki tam boyutlu kaya kesme deneyinde elde edilen tahmini değerler ile arasındaki ilişkiyi tespit etmek için Sarıyer Baltalimanı arası uzunluğu 13.270m olan bir kanalizasyon kazısında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Tünel kazısı için kesme gücü 560 kW, kesici kafa çapı 2,9 m olan Herrenknecht marka tünel açma makinasının performansı değerlendirilmiştir. TBM'in kazı performansı ve makinadan faydalanma oranı Şekil 1.4'de verilmiştir. Makine kullanım zamanı %34, beklemler ise yaklaşık %26 gibi ciddi yüksek bir orana sahiptir. Beklemelerdeki bu oranın yaklaşık %35-40 disk montajı almaktadır. Ayrıca makinanın yerindeki performans değerleri ile laboratuvardaki tam boyutlu kaya kesme deneyi değerleri Tablo 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.4. Tarabya kanalizasyon tünelinin TBM performansı (Bilgin vd, 2005b; 2006).

Tablo 1.3. Arazide ve laboratuvarda yapılan baskı kuvveti değerleri (Bilgin vd., 2006).

Kesme derinliği (mm)	Arazide ölçülen (FT) (kN) değeri	Sürtünme faktöründen dolayı FT değerinde (%20) kayıp	Lab. ölçülen (FT) (kN) değerleri
2	100	81	80
3	110	87	88
4	120	94	96
5	135	101	108

Burada; FT, yuvarlama istikametinde diske gelen dikey kuvvetlerin ortalamasıdır. Makinanın belirli kesme derinliğine ulaşması arına bastırması için gerekli kuvvettir. Ancak kayaç yüzeyine uygulanan itme kuvveti değeri kayaçla kalkan arasında oluşan sürtünme kuvvetinden dolayı itme kuvveti azalmaktadır. Bu değer kazı sırasında %20 değerine kadar çıkabilmektedir (Bilgin 1989; Nelson, 1993; Bilgin vd., 2005a). Buradan laboratuvarda yapılan tam boyutlu kesme deneyi değerleri ile arazide ölçülen TBM itme kuvveti değerleri birbirine çok yakın değerler vermiştir. Tam boyutlu kesme deneyleri makinenin verimli çalışabilecek itme kuvvetinin belirlenmesinde ve makinenin performansı tahmininin yapılmasında önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir (Bilgin vd., 2005b).

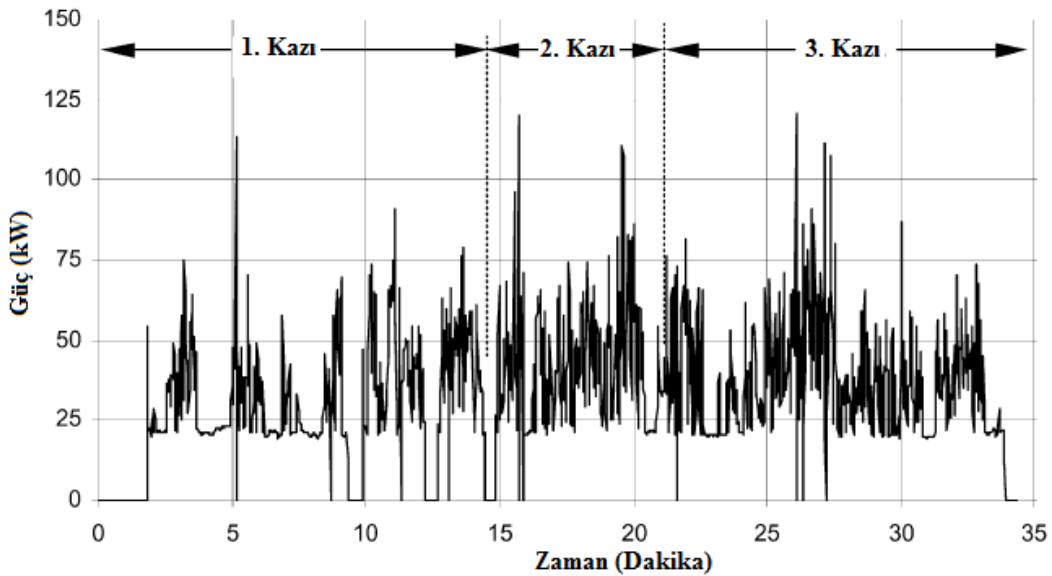
Performans tahminlerinde kullanılan diğer önemli parametreler kayaç dayanımı, sertlik, kaya kütleindeki süreksizlik, makine tipi ve teknik özellikleridir. TBM performans tahmininde en çok kullanılan deney tek eksenli basınç dayanımıdır. Buna ek olarak Brazilian çekme dayanımı, Schmidt çekici, nokta yük dayanımı, shore sertliği ve delme oranı indeksi (DRI) performans tahmin yöntemlerinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğu sağlam kayaçlar üzerinde gerçekleştirilmektedir. Ancak süreksizliklerin olduğu eklemlili ve faylı bir formasyonda çalışan makinaların, makine performansını yansıtmak kadar güvenli değildir (Fowel ve McFeat-Smith, 1976; Ozdemir, 1977; Howarth vd., 1986; Pang vd., 1989; Yağız, 2008).

1.5. Spesifik Enerji ve Makine Performans İlişkisi

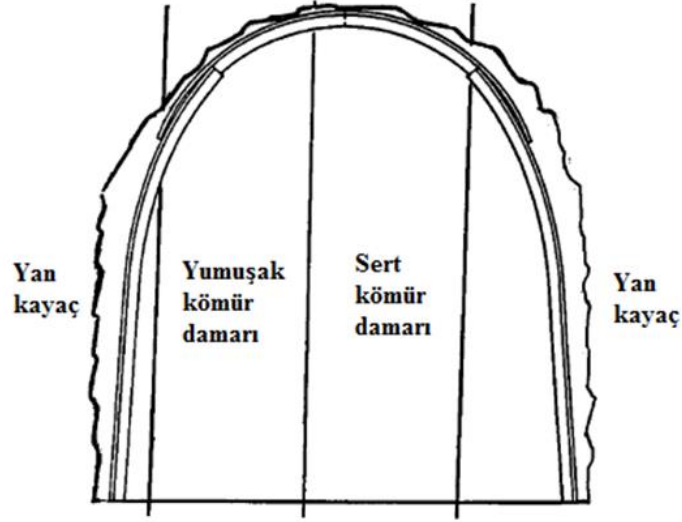
Spesifik enerji, birim hacimdeki kayacın kazılabilmesi için gerekli olan enerjidir ve birimi MJ/m³ ve kWh/m³'tür. Spesifik enerji kayaç aşındırıcılığı, delinebilirliği ve kazılabilirliği etkilediğinden, kazılan birim hacim kayaç (m³) başına keskinin aşınmasının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çünkü keski ucundaki aşınma miktarı,

makinenin ilerleme hızı, uygulanan kuvvetler ve harcanan enerji miktarları ile ilişkilidir (Fowell ve Johnson, 1991; Alvarez vd., 2003; Bilim 2007).

Alvarez vd., (2003) tarafından 45 kW'lık 15 tonluk bir kollu galeri açma makinasıyla kömür galerisinde iki farklı kayaç üzerinde 24 ve 36 keski uçlu iki kesici kafa kullanılarak kazı yapılmıştır. Kesici kafalar arasında; kesme hızı, spesifik enerji değeri, kesici uç kaybı, miktarı ve yüzdesi (kesici uç/m^3 , gr/m^3) gibi parametreler dikkate alınmıştır. Her bir kazıda 0.45 m kazı yapılmış ve toplamda 1.35 m kazı gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı olarak kesici kafanın güç tüketimi Şekil 1.5'de gösterilmiştir. Şekil 1.5'de görüldüğü gibi 3 ayrı kazı yapılmıştır. Bunlardan, birinci kazı yumuşak kömür, ikinci kazı sert kömür üçüncü ve son kazı ise yan duvar kazısı şeklinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.6). Kazı işlemi yumuşak kömür damarı tarafında başlatılmıştır. Sert kayaç ve daha sonra yan kayaç kazısı şeklinde ilerlemiştir. Burada ki ani pikler ihmal edilmiştir. Çünkü kesici kafa sert birimle karşılaştığında makine zorlanmakta ve ani pikler oluşmuştur. Kesici kafalar karşılaştırıldığından 24 keski uçlu kollu galeri açma makinesinin 36 keski uçlu makinadan hem kesme hızının %20 daha fazla hemde spesifik enerji değerinin daha az olduğu belirlenmiştir. Ancak keski tüketiminin % 40-50 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 24 keski uçlu kesici kafalı makinada yüksek titreşimlerin olduğu bu durumun yüksek dayanımlı kayacı kesmek için ihtiyaç duyulan yüksek teğetsel kuvvetten kaynaklanmaktadır.

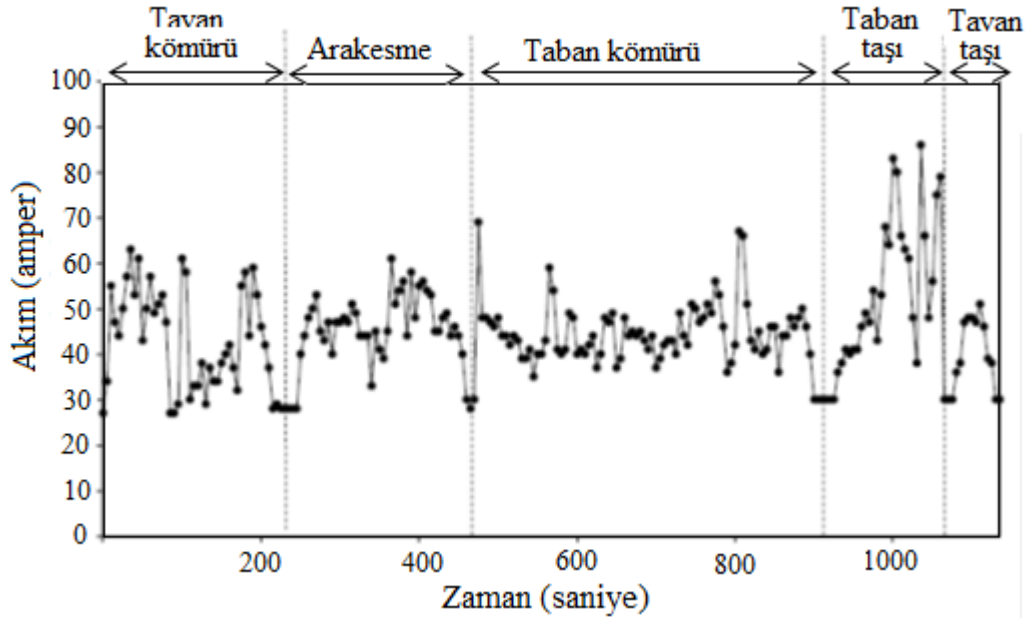


Şekil 1.5. Kömür kazısı için 24 keski başlıklı kollu galeri açma makinesindeki ani güç değişimleri (Alvarez vd., 2003).



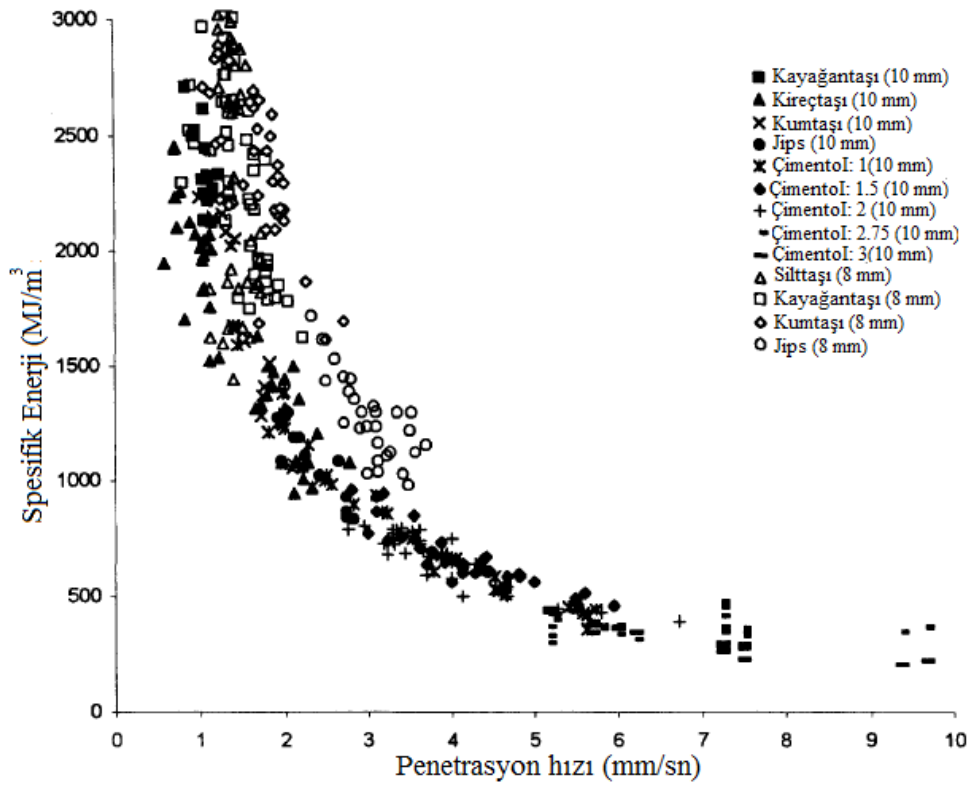
Şekil 1.6. Kazılan kömür aynası (Alvarez vd., 2003).

Bilim (2007), tarafından yapılan çalışmaya göre kazıcı makinaların performans değerlendirilmesinde kullanılan ve arazi koşullarında makinanın performans konusunda en belirleyici kıstas olan spesifik enerji parametresi kullanılmıştır. Kazı makinası tarafından harcanan gücün belirlenmesinde makinanın çektiği akım (Amper) ve makinanın voltaj (Volt) değerleri dikkate alınmıştır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Dosco Mk2B kollu galeri açma makinasının kazı yaparken çektiği akım değerlerinin zamana bağlı değişimi (Bilim, 2007).

Reddish ve Yaşar (1996), tarafında geliştirilen taşınabilir döner delici bir delme makinasıyla farklı kayaç ve çimento çeşitleri üzerinde spesifik enerji değerine bağlı olarak penetrasyon hız değerleri hesaplanmıştır. Çalışmalarında, bit boyutunun delme üzerindeki etkisini belirlemek için 8 mm ve 10 mm çapında iki çeşit bit kullanılmıştır. 8 mm boyutundaki bitlerle yapılan delginin spesifik enerji değeri 10 mm boyutundaki bitlerle yapılan delgideki spesifik enerji değerinden daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 1.8). Matkaplardaki penetrasyon hızları aynı olmasına rağmen kayaçların spesifik enerji değerleri arasında büyük farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu durum kazılan bölgedeki bitin çevresinde oluşan sürtünmenin etkisinden dolayı olabileceği öngörülmektedir. Sürtünme etkisi dikkate alındığında, büyük çaplardaki bitlerin testler için daha güvenilir olduğu belirtilmiştir.

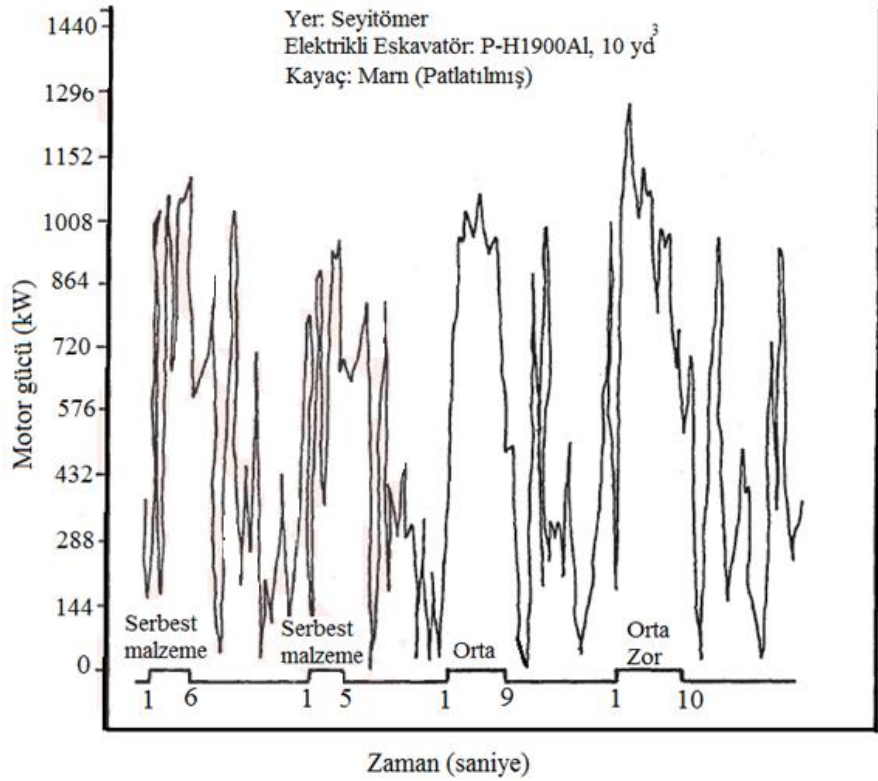


Şekil 1.8. Spesifik enerji ve penetrasyon hızı değişim grafiği (Reddish ve Yaşar 1996)

Spesifik enerjiye dayalı yeni bir dayanımı indeks test metodu yöntemi olan ham spesifik enerji değerlerinin kayacın dayanım ve sert değerlerini doğrudan belirlemek için çok güvenilir olmadığını belirtmişlerdir. Ancak, itme kuvvetine bağlı olarak değişen

spesifik enerji değerlerinin (minimum spesifik enerji durumunda maksimum penetrasyon hızı) kayacın sertlik ve dayanımını belirlemek için güvenilir olduğunu belirtmişlerdir (Reddish ve Yaşar 1996).

Ceylanoğlu (1991), Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) açık işletmelerinde çalışan çeşitli kapasitedeki elektrikli ekskavatörlerin, kazı performanslarını değerlendirmek amacıyla yapmış olduğu çalışmada kazıcı makinaların kazı esnasındaki güç değişimlerinin nasıl geliştiği konusu üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, farklı kazı koşulları arasındaki farklılığı yansıtan performans ölçüm parametrelerinden en önemlisinin spesifik kazma enerjisi olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, spesifik kazı enerjisi ile bazı kayaç özellikleri arasında yüksek korelasyonlu ilişkiler olduğu tespit etmiştir.



Şekil 1.9. Kepçe kapasitesi 7,65m³ olan bir elektrikli ekskavatörün patlatılmış marn formasyonundaki kazılabilirlik durumu (Ceylanoğlu, 1991).

Ekskavatörlerin patlatılmış ve patlatılmamış kazı koşullarındaki çalışmalarını incelemiştir. Kepçe kapasitesi 7,65m³ olan bir elektrikli ekskavatörün patlatılmış marn kayacındaki 4 farklı kazı koşulu için kazılabilirlik durumu Şekil 1.9'de gösterilmiştir. Orta ve orta-zor kazı koşullarında ortalama bir kepçe dolumu için harcanan güç 821 kW ve 914

kW'tır. Güç artışına bağlı olarak harcanan zamanda artmaktadır. Ayrıca patlatılmış ve patlatılmamış kazı koşulları karşılaştırıldığından, patlatmanın genel olarak ekskavatörün spesifik kazı enerjisini % 15-50 dolaylarında düşürdüğü belirlenmiştir.

McFeat-Smith ve Fowell (1979) yerinde ve laboratuvarında yaptıkları çalışmalar sonucunda spesifik enerjiye dayalı bir kazılabilirlik sınıflaması yapmışlardır. Spesifik enerji değerlerine bağlı olarak ağır ve orta ağırlıktaki kollu galeri açma makinalarının kazı performansları değişimleri üzerine detaylı çalışmalar yapılmıştır. Deney şartları olarak; kesme derinliği 5 mm, kesme hızı 150 mm/saniye, kesme açısı -5° , temizleme açısı 5° ve keski ucu olarak Tungsten karbür ucu kullanılmıştır. Spesifik enerji değerlerine bağlı olarak hangi tip makinenin seçilebileceği ve bu durumda kazı hızının ne olabileceğini tahmin etmek mümkün olabilmektedir (Tablo 1.4 Tablo 1.5).

Tablo 1.4. Ağır Kısmi Cepheli Galerî Açma Makinelerinin Spesifik Enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi (McFeat-Smith and Fowell, 1979).

Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Ağır Kısmi Cepheli Galerî Açma Makinalarının Uygulanabilirlikleri
32	Bu sertlikteki formasyon ancak arında ince tabakalar halinde ise kesilebilir. Makinada kısa zamanda hasarlar meydana gelir. Keski sarfiyatının büyük olması beklenmelidir.
25	Özellikle masif arınlar da makinanın uygulama alanı zayıftır. Keski aşınması kritiktir. Kalem ucu tipindeki keski tercih edilmeli ve döner kafadaki durumları devamlı kontrol edilmelidir. 9-11 m ³ /h'lik ilerlemeler mümkündür.
17	Makina uygulama alanı ortadan iyiye doğru değişir. Aşındırıcı formasyonlar geçilirken keski devamlı kontrol edilip değiştirilmelidir. Makina ilerleme hızı 12-13 m ³ /h arasında değişir.
8	İlerleme hızı 30 m ³ /h civarındadır. Uygulama alanı çok iyidir. Bu sınıftaki bir çok çamurtaşı makina tarafından kesilmenin ötesinde ripelenmektedir. Büyük kapasiteli taşıma sistemleri uygulanarak makina verimi artırılabilir.

Bilgin (1983) tarafından darbeli bir delicinin delme hızında spesifik enerji üzerine geliştirilen modelde kayacın basınç dayanım değerlerinin artmasıyla kollu galeri açma makinasının kesme hızının azaldığı görülmüştür. Schneider (1988) Gehring (1997), Dun vd., (1997), Çopur vd. (1997-,1998) tarafında gerçekleştirilen çalışmalarda kollu galeri açma makinasının ağırlığı, gücü ve kayacın basınç dayanımı birlikte düşünüldüğünde kesme hızı tahmini için daha gerçekçi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Tablo 1.5. Orta Ağırlıktaki Kısmi Cepheli Galeri Açma Makinelerinin Spesifik Enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi (McFeat-Smith and Fowell, 1979).

Spesifik Enerji (MJ/m ³)	Orta Ağırlıktaki Kısmi Cepheli Galeri Açma Makinalarının Uygulanabilirlikleri
20	Makina verimli çalışmaz, ancak bu özelliği gösteren kayaç arında 0.3 m'den ince bantlar halinde ise ekonomik ilerleme beklenebilir. Aşırı titreşimlerden dolayı makinanın bazı parçaları çok çabuk bozular.
15	Kesme verimi düşüktür. Saatte 5 m ³ kazı yapılabilir. Keski uçları sık, sık kırılıp parçalanabilir. Aşınmaya başlayan keskinin hemen değiştirilmesi enerji gereksinimini azaltacaktır. Düşük hızlı kesme motorları ve kalem ucu tipindeki keskiner uygundur.
12	Makina ilerleme hızı 9-10 m ³ /h arasında, kesme verimi ortadadır. Keski uçlarının kırılıp parçalanmasına az rastlanır. Aşındırıcı kayaçlarda keski uçları sık sık kontrol edilip değiştirilmelidir.
8	İlerleme hızı 10-12 m ³ /h arasında değişir. Verim ortadan iyiye doğru değişim gösterir. Özellikle aşındırıcı kayaçlarda keskiner devamlı gözlenerek gerektiğinde değiştirilmelidir.
5	Uygulama alanı çok iyi, ilerleme hızları 20 m ³ /h'i bulur. Zayıflık düzlemlerinin çok olduğu çamur taşında makina kesmenin ötesinde ripleme yapmaktadır ve çok yüksek ilerleme hızlarına erişilebilir.

Farmer ve Garrity (1987), Poole (1987), Özdoğan (2003) ve Bilim (2007), tarafından kazıcı makinaların harcadığı güç, net kazı hızı (NKH) ve spesifik enerji (SE) değerlerini belirlemek için aşağıdaki eşitlikleri kullanmışlardır.

$$P = \frac{V \cdot I}{1000} \quad (1.1)$$

$$NKH = \frac{v}{t} \quad (1.2)$$

$$SE = \frac{P}{NKH} \quad (1.3)$$

Burada;

P :Güç, kW

V :Volt, V

I :Amper, A

NKH :Net kazı hızı, m³/h

v :Kazılan malzeme, m³,

- t :Kazı süresi, h,
 SE :Spesifik enerji, kWh/m³
 P :Güç, kW'tır.

Spesifik enerji için geliştirilen bir diğer formül ise;

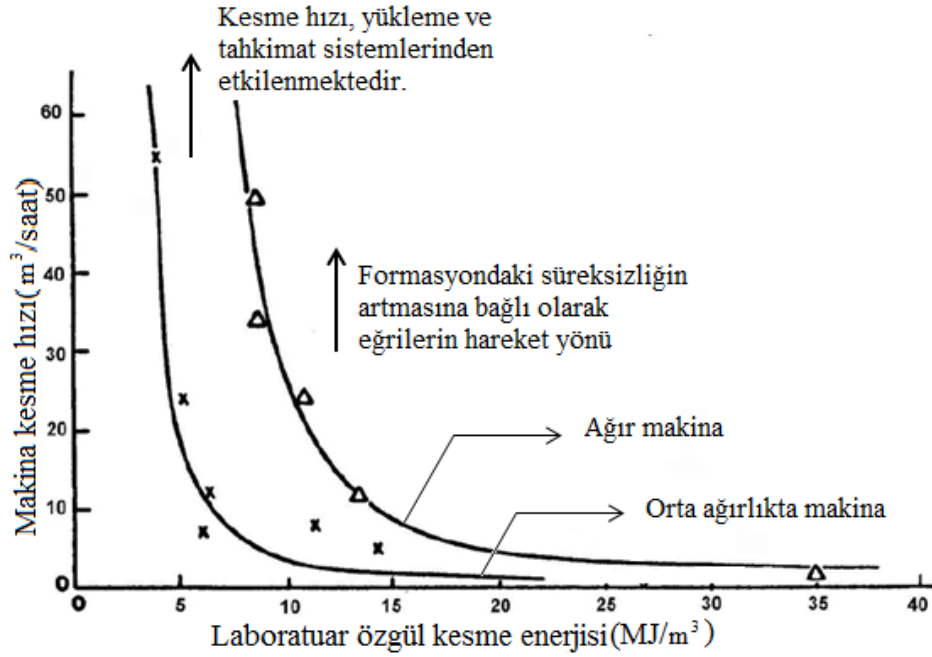
$$SE = \frac{\sigma_c^2}{2E} \quad (1.4)$$

Burada;

- SE :Spesifik enerji, kWh/m³,
 σ_c :Kayacın tek eksenli basınç dayanımı, MPa,
 E :Kayacın elastisite modülü, GPa'dır.

1.5.1. Spesifik Enerji ve Net Kazı Hızı

Yapılan çalışmalara göre kayaçların kesilebilirlik ve delinebilirlik tahmini için en etkin parametrenin spesifik enerji olduğu görülmektedir. Spesifik enerji değeri ile net kazı hızı arasında güçlü bir bağıntı olduğu görülmüş ve belli bir değerden sonra spesifik enerji değeri arttıkça net kazı hızının azaldığı görülmüştür. Ağır ve orta ağırlıktaki kısmi cepheli galeri açma makinelerinin spesifik enerjiye bağlı olarak makinanın kazı hızı değişim ilişkisi Şekil 1.10'da gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki (Fowel ve Johson, 1982).

Kayaç kesilebilirlik sınıflandırılmasında kullanılan karot kesme testinin kayacın içindeki süreksizliklerin etkisini yapılan performans tahminlerden yansıtmadığı pek çok araştırmacı tarafından eleştirilmiştir. Bu durum için, Bilgin vd. (1988, 1990, 1996, 1997), Ocak ve Bilgin (2010) ve Çopur vd., (1998) tarafından yapılmış oldukları araştırmalar sonucunda kollu tünel açma makinası ve darbeli kırıcılar için kaya kütlesi kesilebilirlik indeksi (RMCI), tek eksenli basınç dayanımı ve kaya kalite göstergesi (RQD) değerleri esas alınarak kazı makinaları için performans tahmini ve anlık kesme oranını hesaplamak için bazı eşitlikler geliştirmişlerdir (Çopur vd., 1998; Bilgin vd, 2004; Ocak ve Bilgin 2010). Bu eşitlikler;

$$NBR = 4.24 \times P_i \times (RMCI)^{0.567} \quad (1.5)$$

$$ICR = 0.28P(0.974)^{RMCI} \text{ (kollu tünel açma makinesi)} \quad (1.6)$$

$$ICR = 4.23P(RMCI)^{0.567} \quad \text{(darbeli kırıcı-1)} \quad (1.7)$$

$$ICR = K4.24P(RMCI)^{0.567} \text{ (darbeli kırıcı-2)} \quad (1.8)$$

$$RMCI = \sigma_c \left(\frac{RQD}{100} \right)^{2/3} \quad (1.9)$$

$$ICR = 27.11e^{0.0023RPI} \quad (1.10)$$

$$RPI = \frac{PW}{\sigma_c} \quad (1.11)$$

Burada;

ICR :Anlık kesme hızı, m³/h

P :Makinenin gücü, HP

RMCI :Kaya kütlesi kesilebilirlik indeksi,

σ_c :Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

RQD :Kaya kalite göstergesi, %

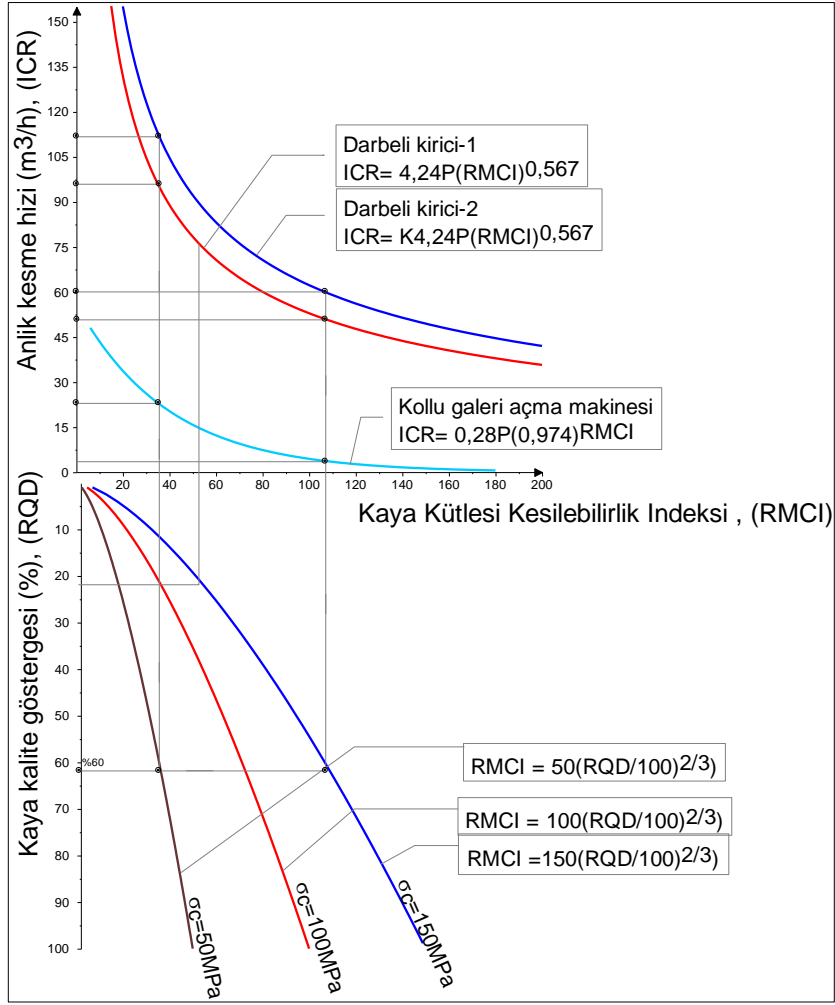
RPI :Kollu tünel açma makinesinin kazı indisi,

W :Kollu tünel açma makinesinin ağırlığı, ton

Eşitlik 1.6, Eşitlik 1.7, Eşitlik 1.8 ve Eşitlik 1.9'un çalıştırılması ile elde edilen nomagram Şekil 1.11'de gösterilmiştir. Şeklin yakından incelenmesi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Belirli bir kaya kütlesi kesilebilirlik indeks değeri (RMCI=107) için kollu galeri açma makinesindeki anlık kesme hızı (3 m³/h) darbeli kırıcıların anlık kesme oranından (darbeli kırıcı-1= 60m³/h) oldukça büyüktür. Kayacın kesilebilirlik indeksi arttıkça anlık kesme oranı düşmektedir. Örneğin kollu galeri açma makinelerinde (RMCI= 36) için ICR=22 m³/h olurken RMCI=107 değerine yükseldiğinde ICR değeri % 86 azalarak 3 m³/h olmaktadır. Anılan durum darbeli kırıcılar için de geçerlidir.

Kayaç kalite göstergesi ve kayacın tek eksenli basınç dayanımı artıkça kaya kesilebilirlik indeksi de artmakta, buna karşın anlık kesme hızı düşmektedir. Örneğin darbeli kırıcı-1 için RQD =%20, σ_c =150 MPa için kaya kesilebilirlik indeksi ve anlık kesme hızı sırasıyla 51 MPa ve 78 m³/h değerlerini almıştır. RQD=%60, σ_c =150 MPa için kaya kesilebilirlik indeksi 107 çıkarken anlık kesme oranı 60 m³/h değerine düşmektedir. Benzer durum sabit bir RQD değerinde değişen tek eksenli basınç dayanımı için de geçerlidir. RQD=%60 ve σ_c = 50MPa için kayaç kütle kesilebilirlik indeksi 36, anlık kesme oranı 94 m³/h değerini almaktadır. RQD değeri sabit kalırken (%60), σ_c =150 MPa için kaya kütle kesilebilirlik indeksi 107 değerine yükselmekte, buna karşın anlık kesme hızı 51 m³/h değerine düşmektedir.



Şekil 1.11. Kaya kütle kazılabilirlik indeksine bağlı olarak anlık kesme hızı oranı ve kaya kalite göstergesi değişimi

Performans değerlendirmesinde kullanılan anlık kesme hızı Rostami vd, (1994), Rostami ve Ozdemir (1996) ve Bilgin vd, (2004) tarafından aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$ICR = k \frac{P}{SE_{opt}} \quad (1.12)$$

Burada,

ICR :Anlık kesme hızı, m³/h

P :Kesme gücü, kW

SE_{opt} :Optimum spesifik enerji, kWh/m³

k :Kesici kafa gücünün kayaca iletilme oranıdır.

Burada, (k) kazı makinasının kullanımına bağlı bir enerji transfer katsayısıdır. (k) sabitinin değeri, kollu galeri açma makinelerde 0.45- 0.55 arasında TBM'lerde ise 0.85 - 0.90 arasında değişmektedir. Darbeli kırıcılar için dayanımı 120 MPa'dan yüksek olan kayalar için dayk kalınlığına göre (k) sabiti tahmini Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Darbeli kırıcılar için dayk kalınlığına göre (k) sabiti tahmini (Ocak ve Bilgin 2010).

Dayanımı > 120 MPa kayaçların dayk kalınlığı (cm)	(k) sabiti tahmini
0-10	0.9-1
10-20	0.8-0.9
20-30	0.7-0.8
30-40	0.6-0.7
40-50	0.5-0.6
>50	Delme patlatma öneriliyor

1.6. Schmidt Çekici ve Makine Performans İlişkisi

Schmidt çekici, ucuz, taşınabilir, pratik ve kolayca kayaç sertlik tahmininde kullanılan etkili mekanik yöntemlerden biridir. Schmidt çekici 1948'de İsviçre'de Ernest Schmidt tarafından yerinde beton dayanım tahmini için geliştirilmiş ve 1960'ların başından bu yana giderek artan bir yaygınlıkla kayaç dayanım tahmininde kullanılmaktadır. Schmidt çekiçleri farklı vuruş enerjilerine göre tasarlanmış olmasına rağmen N ve L tipleri sırasıyla beton ve kaya tipleri için kullanılmaktadır. N tipi 2.207 Nm vuruş enerjisine L tipi 0.735 Nm vuruş enerjisine sahiptir (Gökten ve Güneş, 2005).

Schmidt çekicinin nasıl kullanılacağı ile ilgili olarak pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğu, bozulmamış karot ve blok kaya numuneler üzerinde yapılmıştır. Ancak deney aletinin tipi ve uygulanan test yöntemi, elde edilen kayaç dayanım değerlerini etkilemektedir. Bu nedenle, bir mekanik özellik tanımlarken kullanılan alet ve yöntem

belirtmek son derece önemlidir. Uygulanmakta olan Schmidt çekici test metotları Tablo 1.7’de verilmiştir.

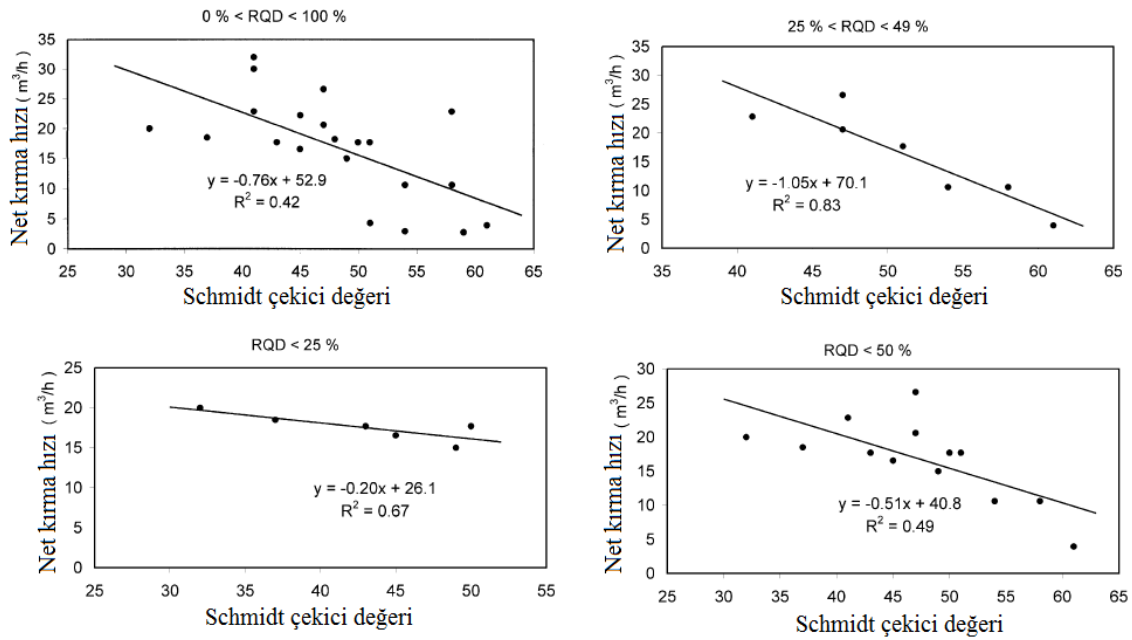
Tablo 1.7. Uygulanmakta olan Schmidt çekici test metotları (Gökten ve Güneş 2005; Özkan ve Bilim, 2008).

Yazar	Test Yöntemi
Soiltest (1976)	Farklı noktalardan 15 ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerlerin ortalaması alınır. Ortalama değerden maksimum sapma 2.5’den az olmalıdır.
Young ve Fowell (1978)	Kaya kütlesi yüzeyi ızgaralara bölünür, her bir ızgaradan bir ölçüm alınarak, yapılan ölçümlerin ortalaması alınır.
ISRM (1981)	Farklı noktalardan toplam 20 adet ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerlerin ortalaması alınır.
Kazi ve Al-Mansour (1980)	En az 35 okuma alınır ve en küçük 10 okuma değeri iptal edilir. Geriye kalan 25 ölçümün okuması alınır.
Gökten ve Ayday (1993)	Farklı noktalarda 20 ölçüm alınır. Chauvenet’s kriterine uymayan değerler çıkarıldıktan sonra geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.
USBR (1998)	Farklı noktalardan 10 ölçüm alınır. En küçük 5 okuma değeri iptal edilerek geriye kalan en büyük 5 değerlerin ortalaması alınır.
Katz vd. (2000)	32–40 arasında ölçüm alınır ve ölçüm sayısının yarısı kadar en büyük ölçümlerin ortalaması alınır.
Sumner ve Nel (2002)	Farklı noktalarda 15 ölçüm alınır ve en kötü 5 değer çıkarılarak geriye kalan 10 değerlerin ortalaması alınır.
GBG	Paralel kenar şeklindeki bir test alanında 12 okuma alınır. En yüksek ve en küçük değer çıkarılarak geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.
ASTM (2005)	Farklı noktalardan 10 ölçüm alınır ve ortalama değerden 7 birim sapan değerler çıkarılarak geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.
Özkan ve Bilim (2008)	Arazi 0.375 m ² ’lik ızgaralara bölünür, her birimde 6 adet yapılır ve ölçülen değerlerin ortalaması alınır
Gökten ve Güneş 2005	Her bir noktaya 15-20 ölçüm alınır, Chauvenet’s kriterine göre düşük değerler çıkartılarak, geriye kalanların ortalaması alınır.

Schmidt çekici galeri açma makinası performans tahmininde, tavan duraylığında ve kaya kütlesi özellikleri ve kayanın elastik ve mekanik özelliklerinin tahmininde pek çok araştırmacı tarafından kullanılmışlardır. Ayrıca, Schmidt çekici kaya dayanım tahmininin yanında kayacın bozunma ve süreksizlik durumunu belirlemek, kollu galeri açma makinaları ve TBM’in performansı, delme makinası delme oranı, hidrolik kırıcıların net kırma hızı, kesme makinaları için net kesme hızı, kaya sökülebilirliği, kayaç deformasyon katsayısı, kayaç aşındırıcılığı, kaya kazısı için bir sınıflama parametresi olarak kullanılmış

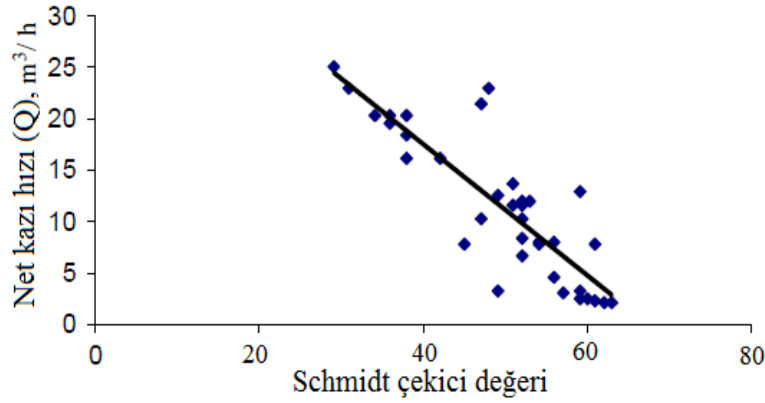
ve galerilerdeki yerinde gerilme tahmini gibi alanlarda kullanılmaktadır (Kahraman, 2001; Bilgin vd., 2002).

Bilgin vd., (2002) tarafından İstanbul metrosu kazısında Schmidt çekici değerleri ile darbeli kırıcının performans tahmini, hidrolik kırıcının anlık kırma oranı ve ayrıca tünelin ilerlemesiyle net kırma hızı (m^3/s) tahmini belirlenmiştir. Hidrolik kırıcının net kırma hızıyla Schmidt çekici değeri ilişkisi Şekil 1.12’de verilmiştir. Schmidt çekici değeri arttıkça kayacı kırmak için gerekli enerjisinin de arttığı görülmektedir. RQD değerleri 0-100 arası alındığında korelasyon ilişkisi çok düşük çıkmıştır. Bu durum için RQD değerlerini üç gruba bölmüşlerdir. RQD ($RQD < 25$, $25 < RQD < 49$, ve $RQD > 50$). RQD değerlerinin üç gruba ayrılmasıyla darbeli çekiç için daha güvenilir sonuçlar alındığı görülmüştür.



Şekil 1.12. Hidrolik kırıcının net kırma hızıyla Schmidt çekici değeri ilişkisi (Bilgin, vd., 2002).

Göktan ve Güneş (2005), Schmidt çekici test yönteminin makina ile kaya kesilebilirliğini tahmin etmek için kullanışlı bir araç olduğunu belirtmişlerdir. Kaya litolojisinin çeşitliliğini anlamak için arazideki Schmidt çekici değerlerini toplayarak bir kollu galeri açma makinasını net kazı hızları ile karşılaştırmış ve elde edilen ilişki Şekil 1.13’de verilmiştir.



Şekil 1.13. Schmidt değerleri ile net kazı oranı arasındaki ilişki (Gökten ve Güneş, 2005).

1.7. Keski ve Bitlerde Aşınma Mekanizması

Keski ve bitler ile yapılan kazı ve delme işlemi sonucunda, keski ve bitlerde karmaşık bir aşınma yapısı gözlenmektedir. Çünkü aşınmada üzerinde dinamik ve çevresel parametrelerin yanında malzeme özellikleri de büyük öneme sahiptir.

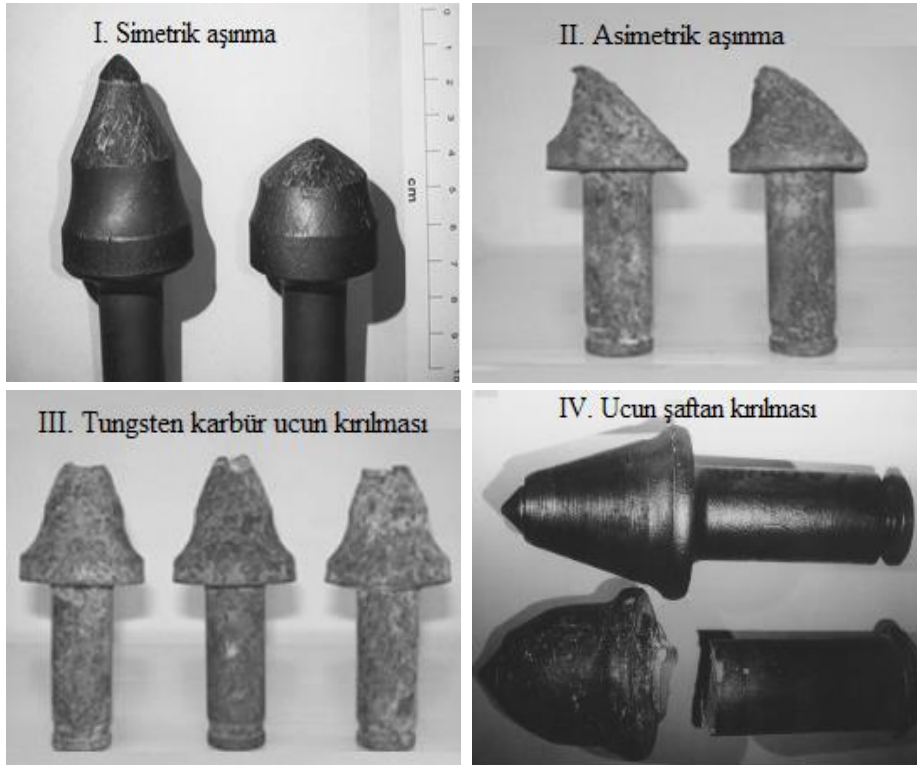
Keski mekanizmalarını incelediğinde; aşınma ve kırılma olarak ikiye ayrılır. Aşınma kayma hareketinden dolayı keski yüzeyindeki malzemenin giderek kaybolması olarak tanımlanır. Kırılma ise mekanik hareketlerden dolayı, bitin aniden kırılması olarak tanımlanır (Deketh, 1995; Grima ve Verhoef, 1999).

Keskilerde kesme işlemi, ilk olarak kayaç ile temas ettiğinde yüzeyden belirli bir derinlikte (kesme derinliği) kayaçta bir kırma çatlak oluşturur ve daha sonra kırma çatlakından küçük kaya parçası koparak ayrılır. Uç kesme yönünde ilerlemeye devam eder ve bu arada keski kayaç ile temasa devam eder. Yeni bir çatlak oluşur ve keski yeni bir parça koparır ve kazı hareketi bu şekilde devam eder. Bu süre içinde her bir çatlak oluşumunda uca etki eden kuvvetler yükselir ve parçanın kopması ile azalır. Kaya yüzeyi ile uç devamlı temas halinde olup sürtünme vardır. Sonuç olarak uç metalinin sıcaklığı artar ve bu etkiler ile uçta aşınma olur (Altınoluk, 1989).

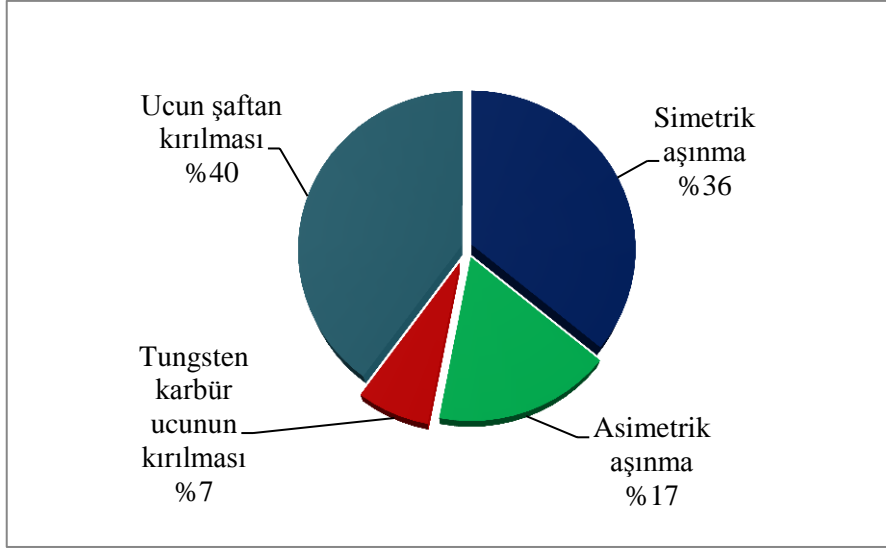
Keskilerde aşınma özellikleri keskinin yapısal ve metalürjik özelliklerinin yanında kayaçların dayanım, sertlik ve içerdiği aşındırıcı minerallerin miktarlarına bağlıdır. Literatürde keskiye ait parametrelerden aşınmayı etkileyen özellikler olarak, “bağlayıcı madde olan kobalt tozunun miktarı, tungsten karbür uçun porozitesi, uçtaki karbon tozu miktarı ve tungsten tozunun tane boyutu” olduğu belirtilmektedir (Bilgin, 1989).

Kazı sonrasında keskilerde oluşan aşınma çeşitleri Şekil 1.14’de verilmiştir. Keskilerin aşınma sınıflandırılmasında simetrik aşınma %36, asimetrik aşınma %17, tungsten karbür ucunun kırılması %7 ve ucun şafttan kırılması %40 aşınma çeşitlerinin oransal dağılımları Şekil 1.15’da gösterilmiştir. Tungsten karbür ucunun kırılması çoğunlukla kesici kafanın çevre kazısında kalkanlara teması sonucunda oluşmaktadır. Ucun şafttan kırılması durumu ise kazı sırasında keski şaftının yüksek kuvvetlere maruz kalmasından olabilmektedir. Ayrıca sürtünme kaynaklı uçlarda aşınma olduğu şekilde görülmektedir (Bilgin vd., 2005a). Asimetrik aşınma çeşidinde keski uçlarında kendi eksenleri etrafında dönemediklerinde veya sıkıştıkların dolayı görülen bir aşınma çeşidi olabilmektedir.

Keski aşınım mekanizmalarını incelediğimizde; keski aşınmalarında değişik tip mekanizmalar aynı anda etkili olabilir. Ancak en fazla olan parametre diğerlerini maskeler. Uygulamada bir tür aşınmayı azaltmak genellikle bir başka tür aşınmanın ortaya çıkmasına neden olabilir (Altınoluk, 1989).



Şekil 1.14. Keski ucu aşınma çeşitleri sınıflandırılması (Grima ve Verhoef, 1999; Bilgin vd., 2005a).

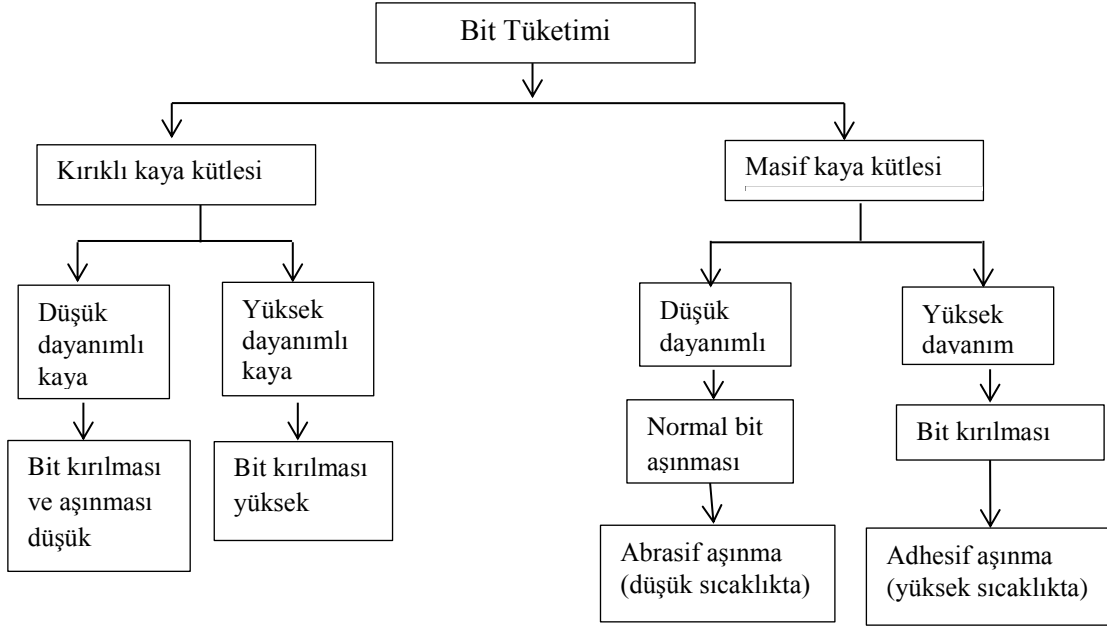


Şekil 1.15. Keski uçlarında görülen aşınma çeşitlerinin oransal dağılımı

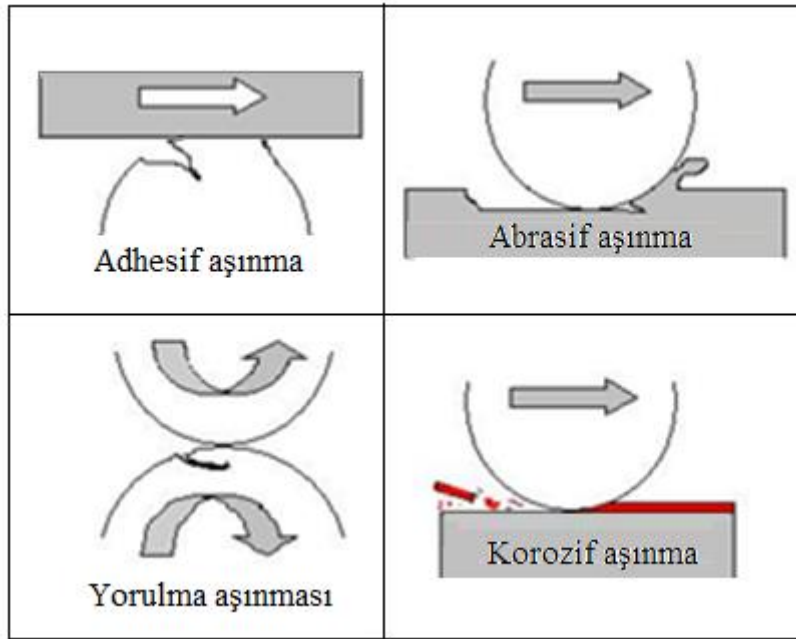
Deketh, (1995) göre bitlerdeki aşınma mekanizması sürtünmeyle abrasif aşınma (abrasive wear) ve adhesif aşınma (adhesive wear) olmak üzere ikiye ayrılır (Grima ve Verhoef, 1999). Kaya bit ilişkisi ve bit tüketim mekanizması Şekil 1.16'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde kırıklı ve masif kaya formasyonlarından bit aşınma ve bit kırılma mekanizmalarının kayaç dayanımına göre değişimi gösterilmiştir. Kırıklı ve düşük dayanımlı formasyonlarda bit aşınması ve bit kırılması düşüktür. Ancak yüksek dayanımlı kayaç delgisinde bit kırılmaları daha fazla olmaktadır. Masif, yüksek dayanımlı ve aşındırıcı kayaç formasyonlarında bitlerde genelde normal aşınma yaşanır ve düşük sıcaklıkta abrasif türü aşınma görülür. Ayrıca burada sökülen/kırılan kaya parçaları bit malzemesi için aşındırıcıdır. Şekil 1.17. Aşınma tiplerinin şematik görünümü (Yılmaz ve Gür, 2006).

Osborn, (1969)'a göre kazıcı uçlarla kayaç kesme işleminde 4 çeşit aşınma mekanizması vardır. Bunların başlıca;

1. Abrasif aşınma
2. Mikro parçaların kopması, darbe yorulması
3. Termal yorulma ve termal şok
4. Darbe hasar ve tamamen parçalanma



Şekil 1.16. Kaya bit ilişkisi ve bit tüketim mekanizması (Grima ve Verhoef, 1999).



Şekil 1.17. Aşınma tiplerinin şematik görünümü (Yılmaz ve Gür, 2006).

Şekil 1.17’de verilen adhesif aşınma; kaymalı aşınma olarak da adlandırılır. Abrasif aşınma, sürtünen cisimlerden biri yumuşak diğeri sert cisim ise, sert olan yumuşak olanı çizerek ve kazıyarak aşınmaya neden olabilir. Bu tip aşınmaya abrasif aşınma denir. Bir başka ifade ile sert parçacıkların kesme davranışı ile yüzeyden malzemenin

uzaklaştırılmasıdır. Yorulma; sürekli etkileşim sonrası meydana gelen aşınma, yorulma aşınması olarak adlandırılmaktadır. Korozif aşınma malzemenin ayrılarak kopmasıdır.

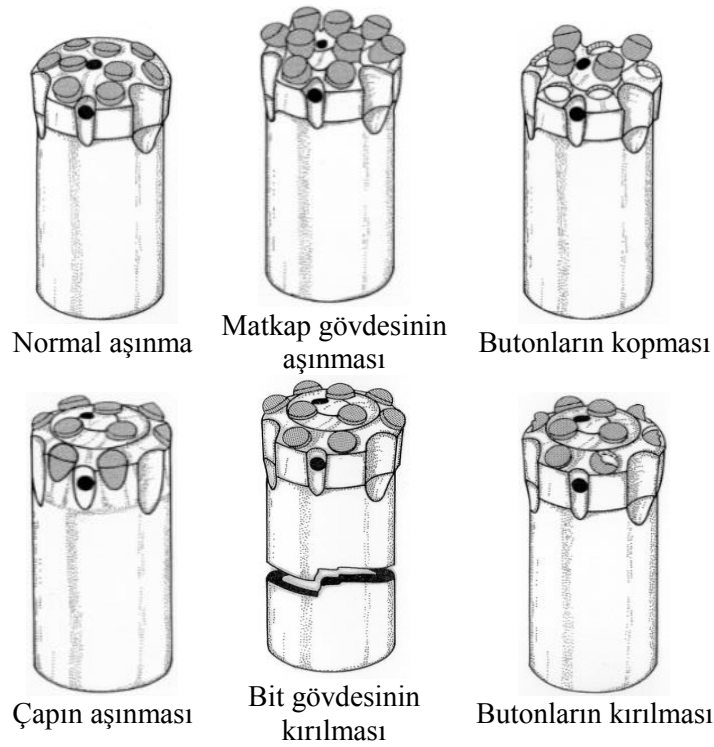
Bit aşınma çeşitlerinde görülen tipik aşınma çeşitleri normal aşınma, matkap gövdesinin aşınması, butonların kopması, çapın aşınması, bit gövdesinin kırılması ve butonların kırılması şeklindedir ve Şekil 1.18’de verilmiştir.

Normal aşınma; gövde üzerinde bulunan butonların zamanla aşınmasıdır.

Matkap gövdesinin butonlardan önce aşınması; çelik gövde ile butonların yapıldığı sinterlenmiş karbürün farklı aşınma hızlarına sahip olmasındadır.

Butonların kopması; bağlayıcı eksikliği veya kalitesizliğinden dolayıdır.

Bit gövdenin kırılması ve butonların kırılması; malzeme kusurundan dolayı veya yanlış kullanım sonucunda ortaya çıkan aşınma şekilleridir.



Şekil 1.18. Bit aşınma çeşitlerinin sınıflandırılması (Plinninger, 2002a).

Literatürde görülen keski ve bit aşınma mekanizmaları incelendiğinde, keski aşınma mekanizması ile bitlerdeki aşınma mekanizması temelde birbirlerine benzemektedir. En fazla benzerlik gösteren aşınma çeşitleri Tablo 1.8.’de verilmiştir.

Tablo 1.8. Keski ve bitlerde görülen ortak aşınma çeşitleri

Keskilerde görülen aşınma türü	Bitlerde görülen aşınma türü
Simetrik aşınma	Normal aşınma
Tungsten karbür ucun kırılması	Butonların kopması
Ucun şafttan kırılması	Bitin gövdeden kırılması

1.7.1. Keskilerde Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Keski aşınmalarını etkileyen faktörler çok çeşitli olup birbirleri ile etkileşim halindedir ve en fazla olan faktör diğerinin önüne geçmektedir.

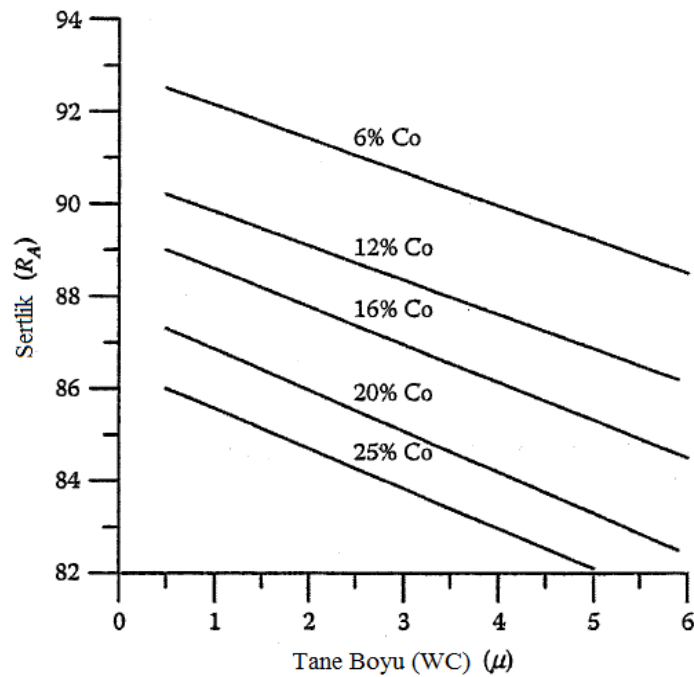
Keskilerde aşınmayı etkileyen faktörleri başlıca aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Tungsten karbürün metalürjik bileşimi,
2. Keski ucu geometrisi
3. Kayaç özellikleri
4. Kazı şartları ve işletmeye bağlı faktörler
5. Diğer faktörler

1.7.1.1. Tungsten Karbürün Metalürjik Bileşimi

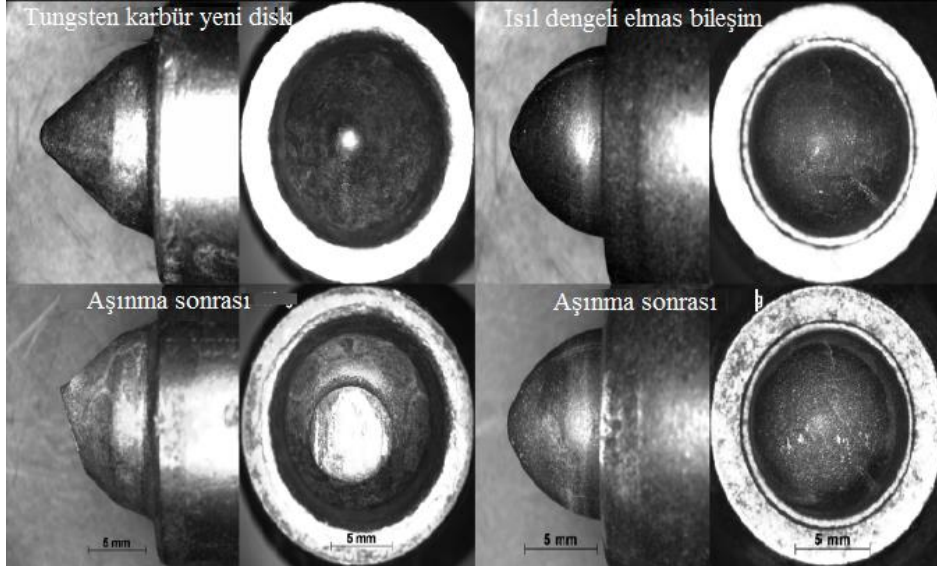
Keski aşınmasındaki en önemli etkenlerden biri, tungsten karbür ucun yapımı sırasındaki ısı işlemlerdir. Uçların bileşimini oluşturan tungsten karbür, kobalt ve karbürdeki karbon miktarları aşınma üzerinde önemli etkilere sahiptir. Tane boyutu ve porozite de aşınmayı etkilemektedir. Buradaki belirgin faktör kobalttır. Kobalt miktarının artması ile aşınma artmaktadır. Karbonun limit sınırlar içinde değişiminin etkisi diğerlerine nazaran etkisi daha azdır. Karbür tane boyutu da aşınma üzerinde önemli bir role sahiptir. Belirli bir kobalt miktarında tane boyutu büyüdükçe uç sertliğini kaybetmektedir. İri taneler WC-Co ucun sertliğini azaltır ve taneler delme sırasında yapıdan kolaylıkla ayrılır. Teorik olarak saf tungsten karbür de karbon miktarı %6,12'dir. Sinterleme sırasında serbest karbonun uca girişi enine kırılma dayanımını azaltır. Karbon miktarının azlığı da çok kırılğan bir uç oluşumuna neden olur. Bu sebeple kobalt miktarı fazla azaltılmamalı, böyle ortamlar için aşınma direncinin artırılması tane boyutunu küçülterek sağlanmalıdır. Ucun porozitesi, ucun ömrünü etkilemektedir. Poroziteden tamamen arınmış bir ucun ömrü,

standartlarca belirlenmiş poroziteye sahip bir ucun ömrüne göre %100 kadar artabilmektedir (Altınoluk, 1989; Bilgin 2013). Tane boyu ve kobalt içerikli tungsten karbür bitin sertlik değişimi Şekil 1.19'da verilmiştir (Clark, 1982'dan alıntılan Bilgin vd, 2013). Şekil 'de görüldüğü gibi sabit tane boyunda bileşimdeki kobalt miktarı artırılması ucun sertliğini azaltırken aynı zamanda kırılabilirliği azaltılmasına sebep olur. Bir başka deyişle kobalt miktarının artırılması ile sertlik artar ancak kırılabilirlikte artar. Uçtaki sertliğin artırılması için kobalt miktarı fazla azaltılmamalı, tane boyutunu küçülterek sağlanmalıdır.



Şekil 1.19. Tane boyu ve kobalt içerikli tungsten karbür de bit sertlik değişimi (Clark, 1982, Bilgin vd., 2013'den).

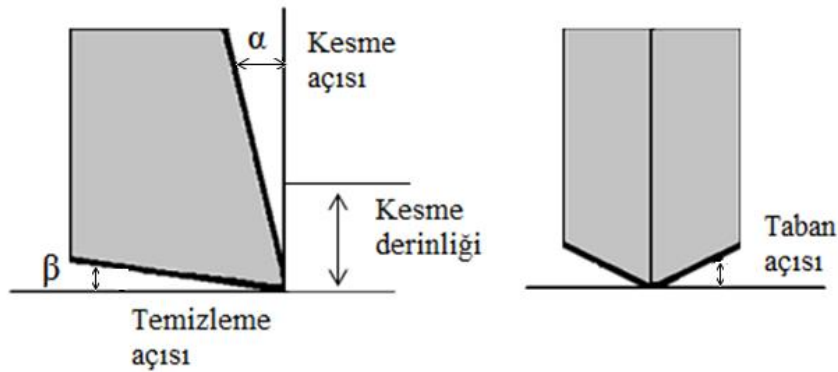
Ramezanzadeh ve Hood, (2010) tarafında keski bileşim malzemesinin aşınma üzerindeki etkisini göstermek için ısı dengeli elmas bileşimli disk ile geleneksel olarak kullanılan Tungsten karbür bileşimli diskin, 114 MPa dayanımlı kireçtaşı kazı sonrasındaki aşınım durumunu Şekil 1.20'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ısı dengeli elmas bileşimli diskin tungsten karbür diskinden aşınım karşı direnci çok daha yüksek olduğu görülmüştür.



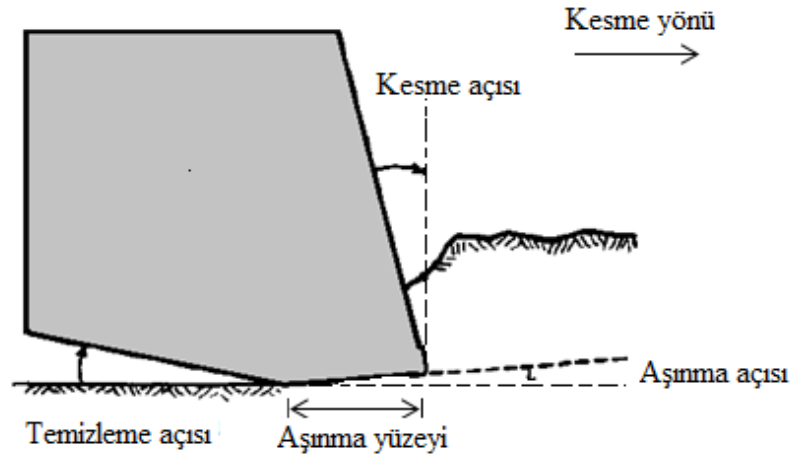
Şekil 1.20. Tungsten karbür disk ile ısı dengeli elmas diskin aşınım sonrası görünümü (Boland ve Macrae 2006; Ramezanzadeh ve Hood 2010'den).

1.7.1.2. Keski Uç Geometrisinin Aşınmaya Etkisi

Kesici uç geometrisi, uç aşınmaları ve kazı performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Aşınma üzerinde en fazla etkisi olan ucun temizleme açısıdır. Bu açı 5° den 0° 'ye düşünce keski kuvvetleri ve spesifik enerji miktarlarında birkaç kat artış olmaktadır. Kesme açısı da kazı performansını etkilemektedir. Kesme açısı arttıkça gerek keski kuvvetleri gerekse de spesifik enerji azalmaktadır (Bilgin, 1989). Aşınma öncesi ve aşınma sonrası uç geometrisindeki değişimler Şekil 1.21 ve Şekil 1.22'de verilmiştir. Ayrıca, delici Jumbo makinalarında kullanılan bitlerdeki butonların aşınma sonucu azalmasıyla kayaca nüfuz eden yani penetrasyon miktarı da azalmaktadır (Şekil 1.23).

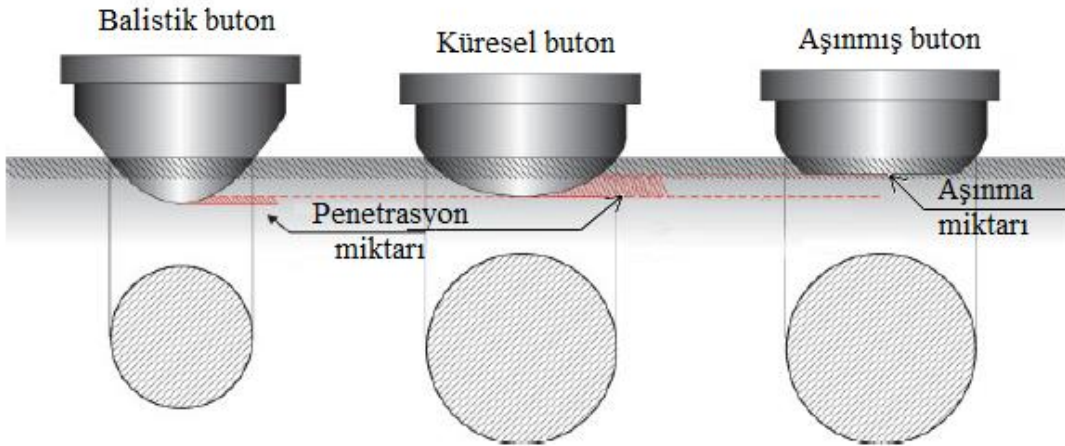


Şekil 1.21. Aşınma öncesi keski uç geometrisi (Bilgin, 1989).



Şekil 1.22. Aşınma sonrası keski uç geometrisi (Kenny ve Johnson 1976).

Şekil 1.23’de delici Jumbo makinalarına ait buton uçlarından aşınma sonrası penetrasyon miktarındaki azalma miktarları verilmiştir.

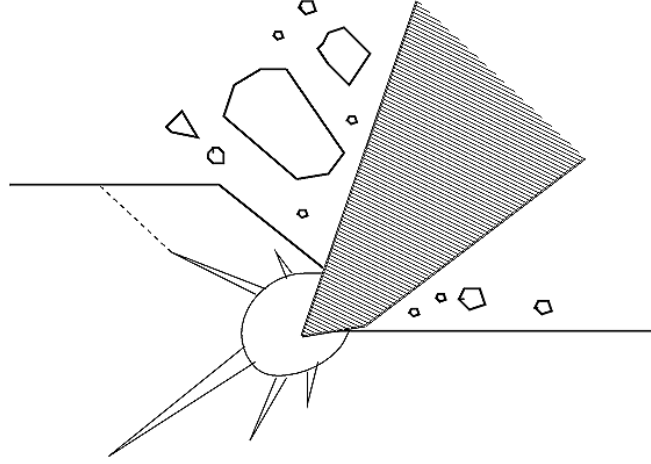


Şekil 1.23. Butonlarda uçlarının aşınma sonrası penetrasyon miktarındaki azalma miktarları (Plinninger, 2008).

1.7.1.3. Kayaç Özelliklerinin Etkileri

Kazı yapılan kayacın fiziko-mekanik özellikleri, mineralojik ve petrografik özellikleri aşınmayı önemli şekilde etkilemektedir. Sert, dayanımı yüksek olan kayalarda ve kuvars gibi aşındırıcı mineral içeren kayalarda aşınma miktarı fazla olmaktadır. Özellikle kırılgen yapıli kayaların bitler üzerinde aşınma etkisi yapar. Çünkü kırılgen kayalar delgi sırasında iri parçalar halinde kopmaktadır ve bu parçaların delik dışına

çıkması için ufalanması ve ezilmesi gereklidir. Kopan parçalar delikten çıkarken bit gövdesi üzerinde aşınma meydana getirmektedirler. Gövdesi aşınan devam ettikçe bit üzerindeki butonların etrafı da çıplaklaşır ve butonlar kopmaya başlarlar. Şekil 1.24’de kırılğan bir kayacın, kazı esnasındaki davranışı gösterilmektedir. Kayaç kırılğan olduğundan iri parçalar halinde kopmaktadır.

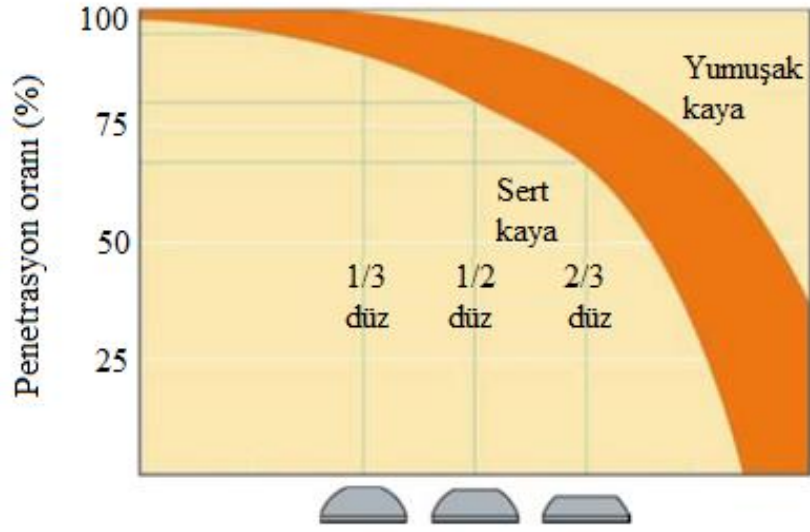


Şekil 1.24. Kırılğan kayacın ufalanarak dağılması (Mishnaevsky, 1998).

1.7.1.4. Kazı Şartları ve İşletmeye Bağlı faktörler

Kazı şartları, operatörün tecrübesi, kesici kafanın yanal ve dikey hareketi, kesici kafa veya tamburun dizaynı, kesicilerin su ile soğutulmaları gibi faktörler aşınma üzerinde önemli etkilere sahiptirler. Kazıcı uçların aşınması sonucunda makinanın kazı performansı düşer, kesme kuvvetlerinde normalden fazla artış olur ve kazı için ihtiyaç duyulan makine gücü de artmaktadır. Uçların kayaya girmeleri zorlaştığından kesme derinliği düşer, makinada titreşimler oluşur. Şekil 1.25’de delgi sırasında bit uçlarındaki aşınma sonrası penetrasyon oranlarındaki azalma miktarları verilmiştir.

Yüksek basınçlı su kullanımı, keski tüketim hızını önemli ölçüde azaltmaktadır. Çünkü kesme ve delme esnasında oluşan kaya parçacıkları suyun yardımıyla uzaklaşmakta ve bu durum kesme kuvvetlerini azaltarak, kaya parçacıklarının keski aşınmasını minimuma indirir. Ayrıca su, keski ile kayaç arasında yağlama işlevini görerek, sürtünme katsayısını azaltır (Rogers ve Roberts, 1991).



Şekil 1.25. Bit uçlarındaki aşınma sonrası penetrasyon oranlarındaki azalma miktarları (Plinninger, 2008).

1.8. Kayaçlarda Kazılabilirlik ve Kazılabilirlik Tayini Metotları

Kazılabilirlik, kayaçların buldukları yerden kazı ekipmanları ile ne ölçüde koparılabildiklerinin göreceli ifadesidir (Ceylanoğlu vd, 2007). Howarth (1987),’a göre kazılabilirlik, kaya kütlesi içerisinde mekanize kazı makinasının ilerleme miktarının tahmin edilmesi olarak açıklanmaktadır.

Kayaçların kazılabilirlik özelliklerini tespit etmek için bugüne kadar birçok araştırma yapılmış, bazı temel kurallar belirlenerek, kazı mekaniği prensipleri ortaya konulmuştur (Tunçdemir ve Bilgin 2002).

Operatör tecrübesi, ekskavatörün yaşı, makinanın kazı aynasına göre aldığı pozisyon ve işletme koşulları kazılabilirlik sınıflanmasında oluşan farklılıklara sebep olan başlıca parametrelerdir. Elektrikli kazıcılar için kazılabilirlik sınıflaması Tablo 1.9’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi kazı aynasında makinanın karşılaştığı kazı zorluğu arttıkça spesifik enerji değeri de artmaktadır. Örneğin kazıcı kapasitesi $7,65 \text{ m}^3$ olan elektrikli kazıcı için kolay kazılabilirlik kazı da $0,235 \text{ kWh/m}^3$ enerji harcarken, orta sertlikteki kazılarda $0,236-0,300 \text{ kWh/m}^3$, orta-zor sertlikteki kayaçlarda spesifik enerji $0,301-0,390 \text{ kWh/m}^3$ ’e kadar çıkmaktadır. Zor kazı şartlarında ise kazıyı gerçekleştirmek için $0,391 \text{ kWh/m}^3$ ’den büyük spesifik enerji değeri harcanmıştır. Ayrıca kazıcı kapasitesi düştükçe kazı yapmak için harcaması gereken spesifik enerji değeri artmaktadır.

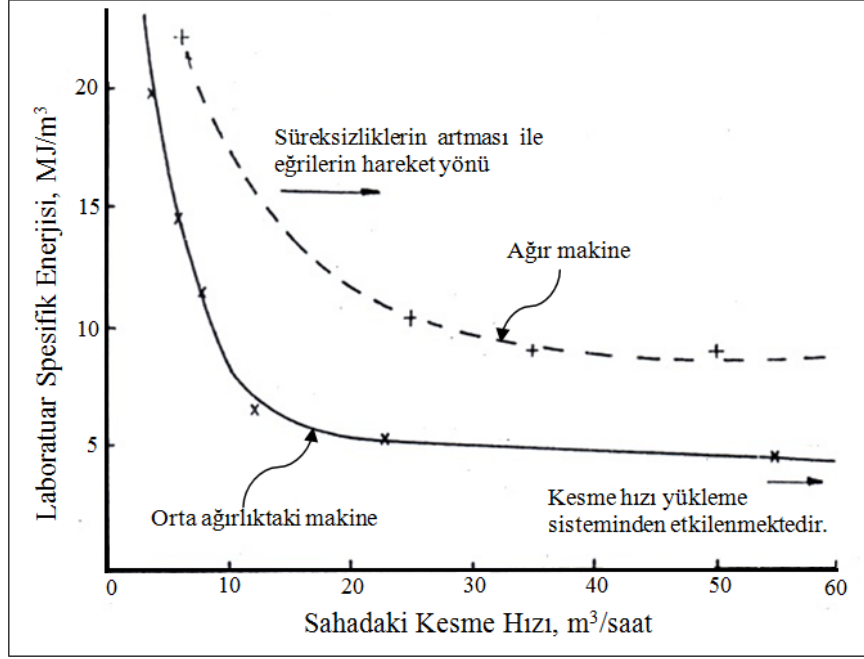
Tablo 1.9. Elektrikli kazıcılar için kazılabilirlik sınıflaması (Ceylanoğlu, 1991).

Kazıcı kapasitesi (m ³)	Spesifik kazı enerjisi (kWh/m ³)			
	Kolay	Orta	Orta- Zor	Zor
7,65	≤ 0,235	0,236-0,300	0,301-0,390	≥ 0,391
11,48	≤ 0,210	0,211-0,275	0,276-0,345	≥ 0,346
15,30	≤ 0,285	0,186-0,250	0,251-0,315	≥ 0,316
19,13	≤ 0,155	0,156-0,220	0,221-0,290	≥ 0,291

Herhangi bir formasyonu kazmak için kullanılacak bir mekanik kazıcının performans tahmini, kazının ekonomikliğinin belirlenmesinde ana faktörlerden biridir. Kazı performansı tahminine yönelik birçok araştırmacı tarafından değişik metotlar geliştirilmiştir. Ancak gerçekçi sonuçlar elde etmek için bu metotlardan bir kaçını birlikte uygulanarak yapılmalıdır. Bu metotlar; tam boyutlu kesme deneyleri, küçük boyutlu kesme deneyleri, ampirik yaklaşımlar, yarı teorik yaklaşımlar ve arazide gerçek bir makine kullanımında alınan değerler olarak bölümlere ayrılabilir (Tunçdemir ve Bilgin 2002).

Tam boyutlu kesme deneyleri, belirli bir kayaç formasyonu için en uygun keski tipini, keski kuvvetlerini, spesifik enerji değerlerini, kesici kafa dizaynını ve kazı yapacak makine türünü ve performansının önceden tahminin edilmesine imkân sağlamaktadır (Rostami vd, 1994).

Küçük boyutlu kesme deneyleri arazide ve laboratuvarında birçok kayaç üzerinde yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda oluşturulmuş, en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (McFeat-Smith ve Fowell 1977, 1979). Küçük boyutlu kazı kesme deneyi ile laboratuvarında yapılan kesme deneyleri ile kollu galeri açma makinalarının sahadaki kesme hızlarının tahmini değişim grafiği Şekil 1.26'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi belirli bir değere kadar, spesifik enerji düştükçe kollu galeri açma makinasının ilerleme hızlarının arttığı görülmektedir (McFeat-Smith ve Fowell, 1979).



Şekil 1.26. Kollu galeri açma makinalarını ilerleme hızlarının spesifik enerji değerleri ile değişimi (McFeat-Smith ve Fowell, 1979).

Ampirik performans tahmin modelleri, temel olarak geçmiş deneyimlere ve daha önce bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin istatistiki analizlerinin yorumlanmasına dayanır. Çok yaygın bir şekilde kullanılan bu yöntem, birçok tünelde toplanan veriler yardımı ile tamburlu, spiral tipli kollu makine ve hidrolik kırıcıların anlık kazı hızı tahminlerinde kullanılabilir (Bilgin vd., 1988, 1990, 1996, 1997; Hartman vd., 1992; Eskikaya vd., 1998).

Yarı teorik performans tahmin yöntemleri, bilgisayarla tasarlanarak oluşturulmuş modellerdir. Birçok makine üreticisi, araştırma enstitüsü ve danışman firmalar bu amaç için geliştirilen kendi bilgisayar modellerini geliştirmişlerdir (Çopur, 1999; Hurt vd., 1982; Rostami ve Özdemir, 1994). Dursun, ve Gökay (2013), çalışmalarında Nevşehir bölgesinden elde edilen tuf numuneleri üzerinde küçük boyutlu kesme deneyleri yapılmış ve spesifik enerji miktarını hesaplamışlardır. Elde edilen spesifik enerji değeri ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri kullanılarak seçilen bir kollu galeri açma makinesi için Rostami vd., (1994) ve Bilgin vd., (1990) modelinden faydalanarak performans tahmin modellerini geliştirmişlerdir. Her iki modelle elde edilen sonuçların birbirlerine yakın değerlerde çıkması, yarı ampirik model kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Çünkü gerçek bir makine ile yerinde yapılan kazı ve performans tahmin değerlerinin test edilmesi pahalı, yapılması zor ve zaman alıcı bir yöntemdir.

Kazılabilirlik ve performans tahmin modelleri için bir dizi çalışma yapılmıştır (Barton, 2000; Alber, 2000; Bieniawski 2004; Blindheim, 2005). Gehring, (1989), Thuro vd., (1999) yaptıkları çalışmalarda tek eksenli basınç dayanımını kullanarak makinaların kazı arını dik ve paralel olarak kazı yapmaları durumunda kazı hızının tahmini için bir model geliştirmişlerdir.

Ayrıca, kazılabilirlik tayini için yukarıda belirtilen yöntemlerin çoğu kayaç malzemesi üzerinde gerçekleştirilmiş laboratuvar çalışması, ampirik ve yarı ampirik modellerdir. Ancak son zamanlarda kazılabilirlik tayini için kaya külesinden de yararlanılmaya başlanmıştır. Literatürde kullanılan kaya kütle sınıflama indeksleri değişikliklere uğrayarak kazılabilirlik tayininde de kullanılmaya başlanmıştır.

Kazılabilirlik tayini için kullanılan kaya kütle sınıflama indeksleri aşağıda verilmiştir. Araştırmacılar kaya kütle sınıflama sistemlerinden ziyade kaya kütle kazılabilirlik indekslere yönelmişlerdir (Bieniawski, 2007).

Kaya kütle kazılabilirlik indeksi RMCI (Bilgin vd., 1990),

Kaya kalite göstergesi RQD_{TBM} (Deere),

Kazılabilirlik indeksi, N(Kirsten, 1982),

Kaya kütle puanlaması, RMR_{TBM} (Bieniawski),

Kaya kütle indeksi, RMİ_{TBM} (Palmström 1995),

Kaya kütle kalitesi, Q_{TBM} (Barton, 2000),

Kaya kütle kazılabilirlik, RME (Bieniawski, vd, 2006).

RMCI (Bilgin vd., 1990)

$$RMCI = \sigma_c \left(\frac{RQD}{100} \right)^{2/3} \quad (1.13)$$

N (Kirsten, 1982),

$$N = M_s \left[\frac{RQD}{J_n} \right] J_s \left[\frac{J_r}{J_a} \right] \quad (1.14)$$

Q_{TBM} (Barton, 2000),

$$Q_{TBM} = \frac{RQD_0}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{\sigma_c}{F^{10}/20^9} \times \frac{20}{CLI} \times \frac{q}{20} \times \frac{\sigma_\theta}{5} \quad (1.15)$$

Burada;

RMCI : Kaya kütle kazılabilirlik indeksi,

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

RQD : Kaya kalite göstergesi, %,

RQD₀ : Yönlendirilmiş RQD,

J_n : Süreksizlik takım sayısı

J_r : Süreksizlik pürüzlülük durumu

J_a : Süreksizlik ayrışma durumu

J_w : Süreksizlik suyu indirgeme faktörü

SRF : Gerilme azaltma faktörü,

F : Her bir kesiciye gelen itme kuvveti

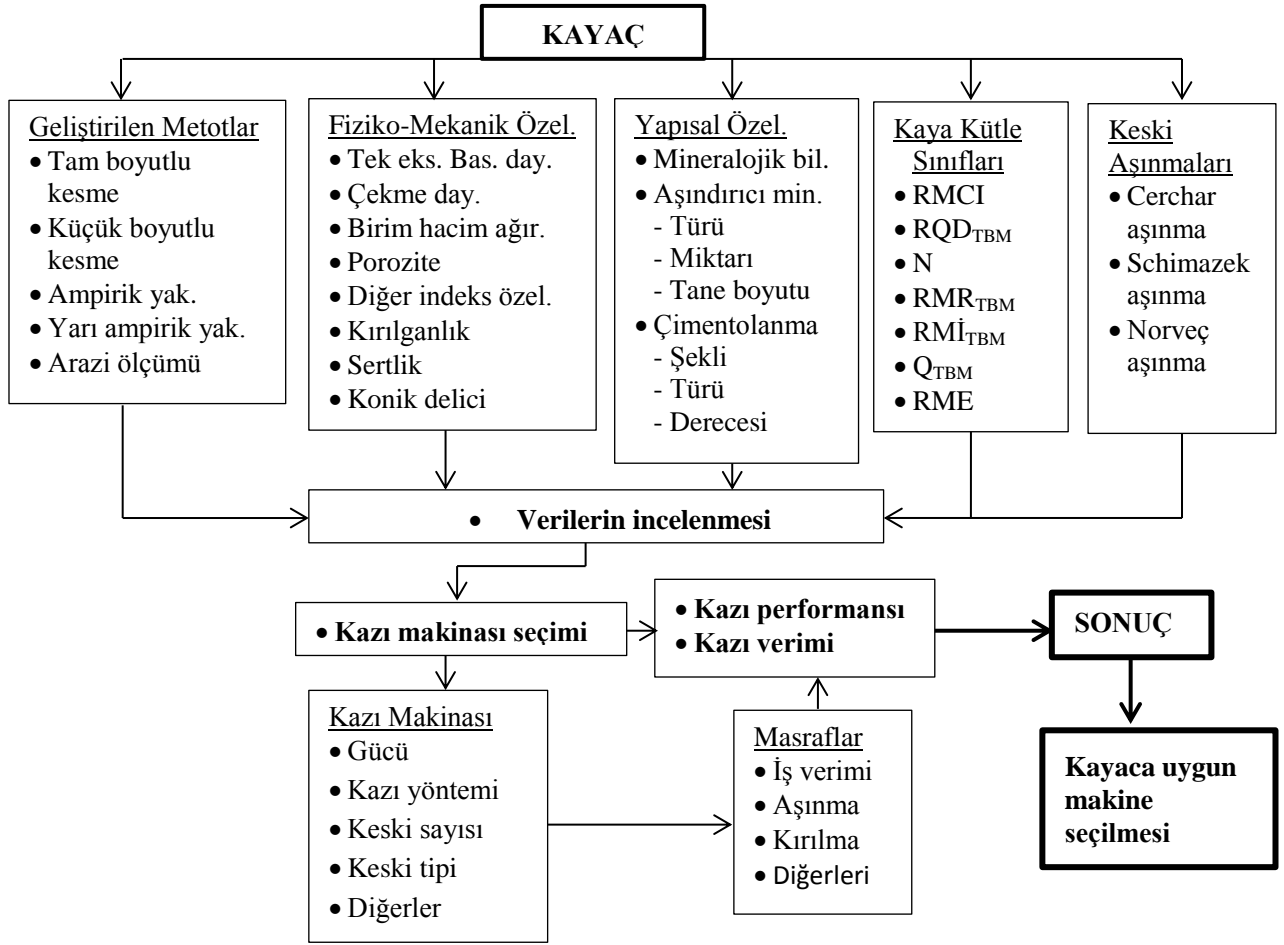
SIGMA : Kaya kesici gelen itme kuvveti

CLI : Kesici ömrü,

q : Kuvars içeriği, %,

σ_θ : Biaksial gerilme değerlerini göstermektedir.

Görüldüğü gibi kazılabilirlik birçok kayaç özelliğine bağlı, karmaşık ve tanımlanması güç bir büyüklüktür. Kazılabilirlik ölçütü kayacın fiziko-mekanik, yapısal ve jeolojik özellikleri gibi birçok parametreye bağlı olmasından dolayı, kazılabilirliği sadece bir parametre ile ifade edilmesini güçleştirmektedir. Kayaç özellikleri dışında, kazı makinasının kesme gücü, keski konumu, keski tipi gibi makine tekniği ile ilgili parametreler de kazılabilirliği etkilemektedir. Kazı makinası tasarımı yapılırken, ekonomik kazı çalışmasının da temel hedefler arasında olduğu düşünülmelidir. Şekil 1.27'de kazılabilirliği etkileyen kayaç özellikleri ve kazı makine seçimi için akım şeması gösterilmiştir. Kazı yapılacak formasyon özelliklerine uygun makina seçilmesi için öncelikle kayacın fiziko mekanik özellikleri, yapısal özellikleri ve kaya kütle sınıflama sistemleri incelenmelidir. Daha sonra kazılabilirlik için geliştirilen metotlarından biri kullanılarak kazılabilirlik tayini yapılır ve kullanılacak makinanın keski sarfiyatını belirlemek için keski aşınım deneyleri yapılmalıdır. Elde edilen tüm verileri değerlendirerek kazılacak formasyona uygun makine seçimi yapılır.



Şekil 1.27. Kazılabilirliği etkileyen kayaç özellikleri ve kazı makinası akım şeması (Arı, 1990'dan değiştirilerek).

Sonuç olarak kayaçların kazılabilirlik tayini için birçok yöntem geliştirilmiş ve bunların yardımıyla elde edilen ölçütler kazılabilirlik tayininde kriter olarak kullanılmıştır. Örneğin, kayaçların spesifik enerji değeri, tek eksenli basınç ve çekme dayanımı, Schmidt sertliği değeri, koni delici sertliği değeri, Shore sertliği değeri, Cerchar aşınma indeksi, darbe dayanımı indeksi, aşındırıcı mineral miktarı gibi ölçütler bunların başında gelmekte olup kazılabilirlik tayininde uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Ancak, bunların hiçbirinin tek başına kullanılması güvenilir bir ölçüt değildir. Bu nedenle, kazılabilirlik tayininde birkaç ölçütün birlikte yorumlanması önerilmektedir (Bilgin, 1989). Çünkü yeraltı ve yerüstü kazı çalışmalarında, makine tipi ve kesici kafa dizaynından önce kazılacak olan kayaçın karakteristik özelliklerinin tayin edilmesi gereklidir. Kazılabilirlik tayininin yapılabilmesi için kayaçın aşındırıcılığı ile spesifik enerji değerinin birleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü aşındırıcılığı düşük olan bir kayaçı kazabilmek için gerekli enerji

yüksek olabileceği gibi bu durumun tam tersi de mümkündür (McFeat-Smith ve Fowell, 1979).

1.9. Kayaçlarda Delinebilirlik ve Delinebilirlik Metotları

Delinebilirlik, matkabının kayaç içinde ilerleme yapabilme oranı olarak tanımlanmaktadır (Tamrock 1987). Delinebilirlik tanımlanmasında pek çok metot uygulanmakta olup bunların çoğu ampirik yaklaşımlara dayanmaktadır (Kahraman, 1999). Bu metotlar kayacın mineral bileşimi, kaya dokusu (şekli ve tane boyutu), porozite, yoğunluk, aşındırıcılık, sertlik, basma ve çekme dayanımı ve kaya kütlelerinin yapısal parametreleri (eklemler, çatlaklar ve kırıklar) gibi birçok kayaç özelliği ile ilişkilidir (Hoseinie vd, 2008; Osanloo, 1998; Rao ve Misra,1998; Ersoy ve Waller 1995). Bir başka ifadeyle delinebilirlik; dönerli ve darbeli tip delici makinaların belli bir güç harcayarak, matkapların hızına, tabancanın basma kuvvetine, kayacın jeolojik ve mekanik özelliğine, operatör tecrübesine ve işletmenin çevresel koşulları gibi, pek çok değişken parametrelere bağlı olarak matkabın kayaç içinde ilerleme yapması olarak tanımlanabilir.

1960'lı yıllardan beri pek çok araştırmacı delinebilirlik üzerinde çalışılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğu kayaçların çeşitli fiziko- mekanik özellikleri ve delme hızı ilişkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Kayaçların delinebilirlik özelliği üzerine yapılmış en önemli ve en fazla öne çıkan çalışmaların bir özeti Tablo 1.10'da verilmiştir. Tablo incelendiğinde kayaçların delinebilirliğini etkileyen pek çok fiziksel, mekanik ve mineralojik parametre olduğu görülmektedir. Bunların çoğu temel kaya mekaniği çalışmalarıdır. Ancak kaya dayanım katsayısı (CRS), Delme oranı indeksi (DRI), Spesifik enerji (SE), Darbe sertlik sayısı (IHN) ve protodyakonov indeksi (PI) gibi çalışmalar kaya delinebilirlik değerlendirilmesinde özel uygulamalar olarak sunulmuştur. Bu parametreler temel kaya karakteristik özelliklerinden bağımsız değildir. Ayrıca basınç dayanımı, matris tipi, çimentolama türü ve ayrışma önemli delinebilirlik parametreleridir (Hoseinie vd., 2009). Hoseinie vd., (2009) tarafından Bulanık Delphi analitik hiyerarşi yöntemini (FDA HP) kullanarak kayaçların delinebilirlik tahmini için yeni indeksi geliştirmiştir. Geliştirilen indeks için tek eksenli basınç dayanımı, Schimazek aşınma indeksi, Mohr sertliği, doku ve tane boyutu, Young's modülü kullanılmıştır. Geliştirilen delinebilirlik uygulama indeksi Şekil 1.28'de verilmiştir.

Tablo 1.10. 1960'dan beri kaya delinebilirlik üzerine yapılmış çalışmalar (Hoseinie vd., 2008'dan değiştirilerek)

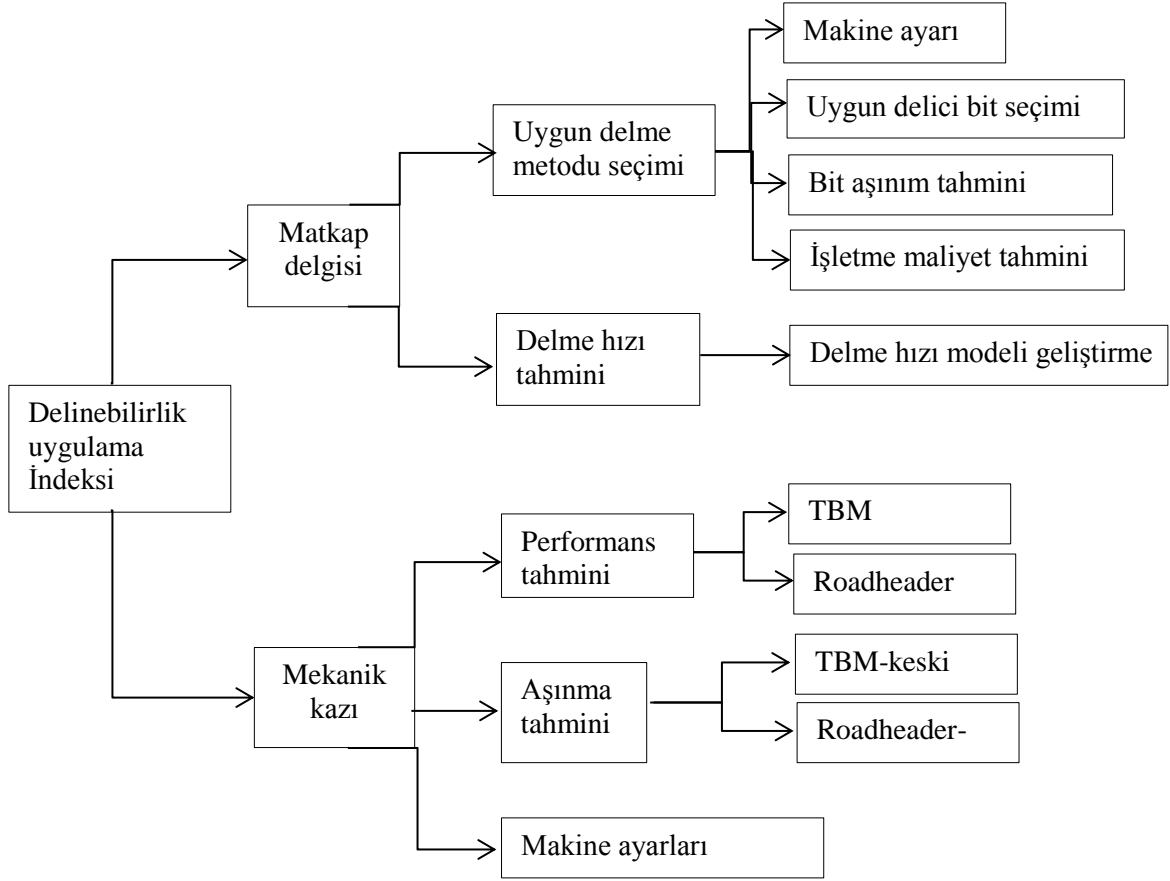
	PI	IHN	n	WV	S.E	DRI	CRS	S.H	To	YM	TS	CS	Sc.h	D	We	Ab	Ha	QC	Ma	GS	Te
Simon, (1956)									♦			♦					♦				
Tandanand ve Unger (1960)							♦														
Teale (1965)					♦																
Paone vd., (1969)							♦	♦		♦	♦	♦									
S-Olsen ve Blendheim, (1970)						♦															
Hustrulid ve Fairhurst (1971)					♦																
Pathinkar ve Misra (1976)					♦																
Rabia ve Brook (1981)		♦						♦													
Wilbur (1982)																		♦			♦
Howarth (1986)			♦	♦						♦	♦	♦	♦	♦							♦
Bilgin vd., (1993)						♦					♦	♦		♦							
Ersoy ve Waller (1995)										♦	♦	♦		♦	♦	♦		♦	♦	♦	♦
Jimeno vd., (1995)																		♦			
Serradj, (1996)	♦											♦									
Thuro ve Spaun (1996)									♦	♦	♦	♦									
Thuro (1997)												♦			♦	♦		♦			
Shimada ve Matsui, (1998)								♦			♦	♦									
Osanloo,(1998)			♦						♦	♦	♦			♦				♦		♦	♦
Kahraman, (1999)		♦		♦						♦	♦	♦		♦				♦			
Kahraman vd.,(2000)		♦		♦						♦	♦	♦	♦	♦							
Li vd., (2000)													♦								
Rao vd., (2002)					♦						♦	♦				♦	♦			♦	♦
Plinninger vd.,(2002)																	♦				
Ersoy ,(2003)					♦																
Kahraman vd., (2004)		♦		♦	♦					♦	♦	♦	♦	♦							
Izquierdo ve Chiang, (2004)					♦																
Tanaino, (2005)					♦							♦									
Akun ve Karpuz, (2005)					♦							♦									
Schormair vd., (2006)																		♦			♦
Singh vd., (2006)	♦								♦				♦								
Hoseinie vd., (2008)												♦						♦			♦
Yaralı ve Kahraman (2011)		♦							♦												
Dahl vd., (2012)		♦				♦			♦								♦				
Yaralı vd., (2013)						♦		♦			♦	♦	♦								

PI: Protodyakonov indeksi, IHN: darbe sertlik sayısı, n: porozite, WV: P-dalga hızı, S.E.: spesifik enerji, DRI: delme oranı indeksi, CRS: kaya dayanım katsayısı, S.H.: shore sertliği, To: tokluk, YM: Young modülü, TS: çekme dayanımı, CS: basınç dayanımı, Sc.H.: Schmit çekiç, D: yoğunluk, We: ayrışma, Ab: Aşındırıcılık, Ha: sertlik, QC: sabit kuvars, Ma: matris, GS: tane boyutu, Te: doku,

Gerek madencilikte gerekse inşaat alanında yeraltı kazı çalışmalarında kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesine yönelik kabul görmüş deney yöntemi az sayıdadır. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (International Society of Rock Mechanics), 3 Eylül 1987 yılında Montreal’de yaptığı toplantıda kaya mekaniğinde kayaçların delinebilirliği yöntemlerini 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 vd., 1987). Ancak Uluslararası Kaya Mekaniği Derneğinde belirtildiği gibi birkaç yöntemin birlikte değerlendirilmesi bazen pahalıya mal olabilmektedir. Böylece güvenilir ve başarılı sonuçlar elde etmek için, laboratuvarında spesifik enerji ve aşındırıcılık deneyi gibi özel olarak tasarlanan ve delinebilirliğe etki eden çeşitli özellikleri birlikte irdeleyen deney yöntemleri irdelenmelidir. Çünkü delinebilirlik kayaçların dayanımı, kırılabilirliği, aşındırıcılığı ve süreksizlik özelliklerinden etkilenmektedir. Delinebilirlik tayininde bu özelliklerden bir kaçını bir arada değerlendirilmektedir. Delinebilirlik tayininde kullanılan bu özelliklere göre yapılan sınıflama Tablo 1.11’de özetlenmiştir (Yazıcı 1984; Puhakka, 1997; Yaralı 2007; Yaralı 2008; Soyer 2009).

Tablo 1.11. Kayaçların özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler

Dayanım	Kırılabilirlik ve aşındırıcılık	Dayanım ve kırılabilirlik	Dayanım, kırılabilirlik ve süreksizlik	Dayanım, kırılabilirlik, süreksizlik, aşındırıcılık	Delinebilirlik tayini
Basınç dayanımı	Shore Skleroskobu	Darbe dayanımı	Schmidt çekici	Cerchar aşındırıcılık	Kırılabilirlik Testi
Çekme dayanımı	Plastik sertlik deneyi	Konik delici	Kayaç kazılabilirlik	Spesifik enerji ve aşındırıcılık	Sievers Minyatür Delme Testi
Nokta yükü day.	Aşındırıcılık özelliği	Shore sertliği	Yerinde kayaç dayanım indeksi	Laboratuvar spesifik enerji	Norveç Aşınma
	Kayaçın mineral içeriği	Sivri uç Batırma	Darbeleri delici	Norveç Aşınma	Delinebilirlik Oranı İndeksi
	Kayaçların tane boyutu ve şekli				
	Çimentolama derecesi				



Şekil 1.28. Delinebilirlik uygulama indeksi (Hoseinie vd., 2008).

1.9.1. Delici Jumbo Makinaları

Yeraltı veya yerüstü delme patlatmalı kazılarda delik delmek için dizel yakıt sistemiyle çalışan lastik tekerlekli, elektrikli, hidrolik sistem kontrollü delici Jumbo makinaları kullanılmaktadır. En yaygın olarak iki veya üç bom taşıyacak şekilde dizayn edilmişlerdir.

Sert kayaç formasyonlarında özellikle tünelticilikte, maksimum kazı performansını elde etmek için delik delme işinde dönerli, darbeli deliciler daha çok tercih edilmektedir. Hidrolik deliciler, dönerli delme makinası ve darbeli delme makinesinin bir bileşimidir. Delicilerle ilişkili olarak dönerli darbeli deliciler, dönerli deliciler ve darbeli delicilerden daha üstünlerdir (Thuro, 1997a).

Şekil 1.29'de Atlas Copco Rocket Boomer XL3 C tipi Jumbo makinasının, Şekil 1.30'da Üç bomlu Sandvik DD531-S60C tipi Jumbo makinasının yeraltındaki bir görünümü verilmiştir. Her iki Jumbo makinası otomasyon kontrolünde delgi işlemi gerçekleştirmektedir. Kazı yapılacak aynanın delgi planı, makinaların bilgisayar ekranına

yerleştirilerek delgi işlemleri kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu tür makinalarda delgi sapması minimum düzeydedir.



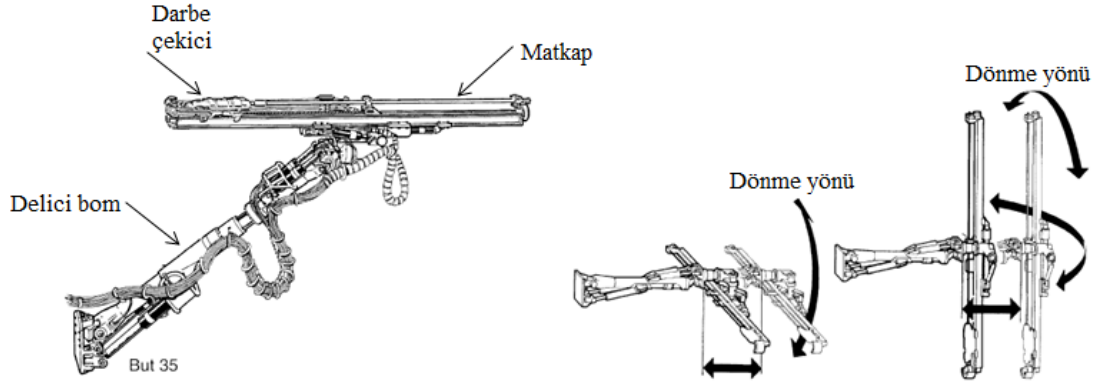
Şekil 1.29. Üç boumlu jumbo delici Atlas Copco Rocket Boomer XL3 C tipi makinesi



Şekil 1.30. Üç boumlu jumbo delici Sandvik DD531-S60C tipi makinesi

Jumbo makinesi üzerine monte edilmiş elektrikli hidrolik sistem kullanılan en yaygın delici tipleridir. Çünkü yatay ve tavan delgisinde makina kollarının hatasız şekilde çift taraflı (358 derece) dönmesi ve hızlı yerleştirilmesi, tavanda tam paralel bir şekilde

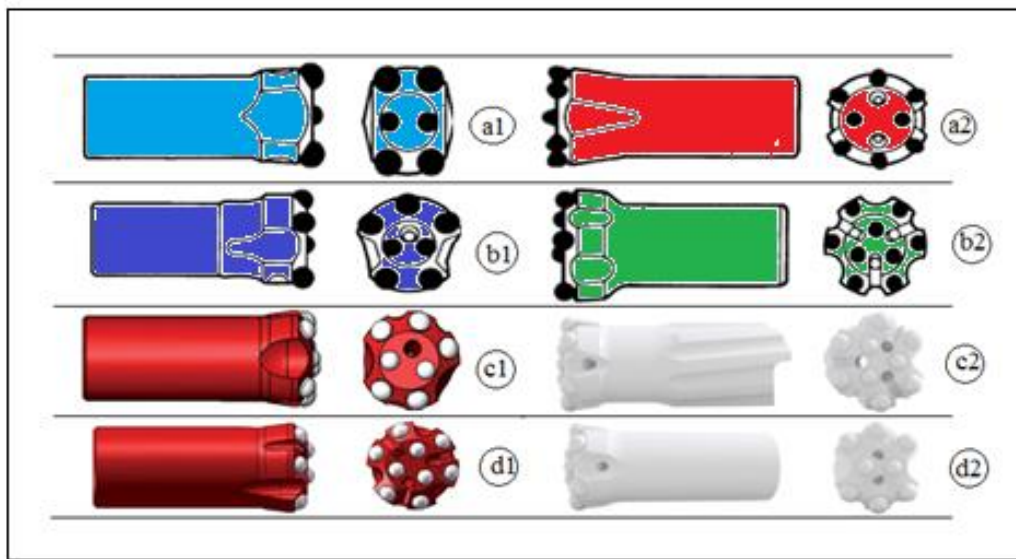
pozisyon alması tercih edilme sebeplerindendir. Şekil 1.31’da delici bomun üzerinde bulunan kazığın farklı pozisyonlardaki hareketi görünmektedir (Thuro, 1997a).



Şekil 1.31. Hidrolik bomun yatay ve dikey yönlerdeki dönme hareketleri (Thuro, 1997a).

1.9.2. Delinebilirlik Prensipleri

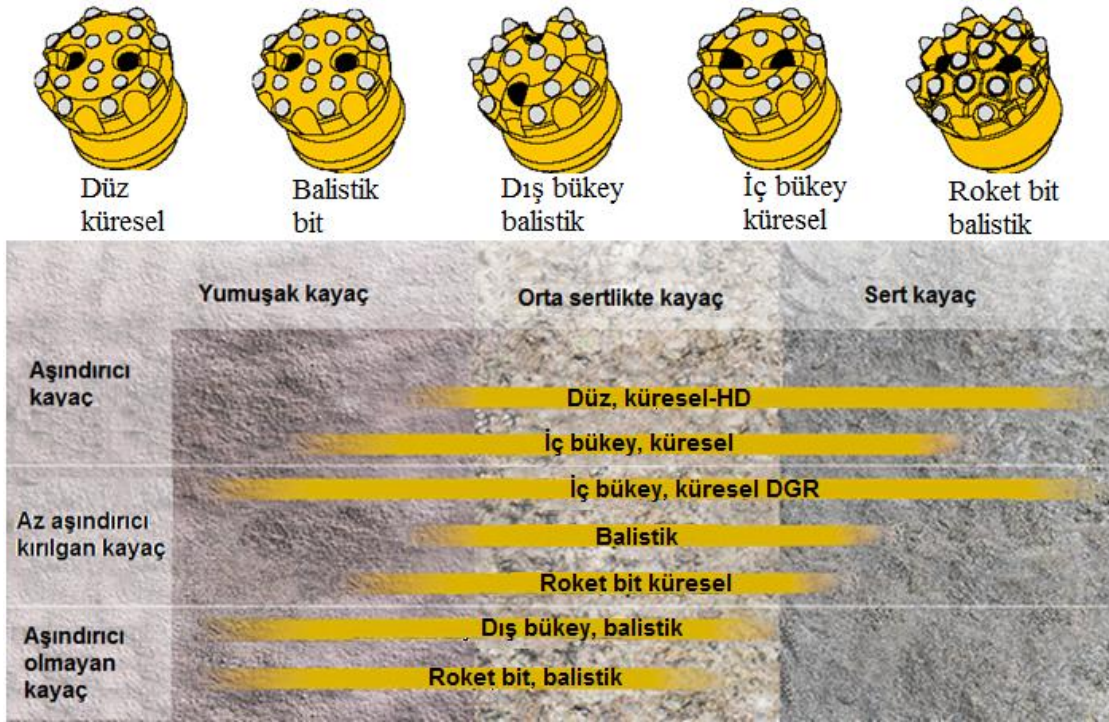
Delinebilirlik prensiplerine göre bitler uygulanacağı kayaç formasyonuna uygun seçilmelidir. Delmede kullanılan bitlerin tipi, dizaynı ve yapıldığı malzemenin kalitesine (kobalt bağlayıcı ile tungsten karbür, Mohs sertliği) göre değişmektedir. Şekil 1.32’de gösterilen farklı tiplerde ve dizaynlarda imal edilmiş bit şekilleri verilmiştir.



Şekil 1.32. Delme işleminde kullanılan bitlerin farklı şekillerde dizaynı (Thuro, 1997a’den değiştirilmiş).

Şekil 1.32’de görüldüğü gibi bitlerin farklı büyüklükte ve sayıda su püskürtme sistemine sahip olması, aynı zamanda bit üzerinde bulunan butonların çevreden merkeze doğru farklı sayılarda ve büyüklükte olması kullanılacağı kayaç formasyonuna göre değişmektedir.

Şekil 1.32’de verilen farklı tipte ve dizaynlarda bit çeşitleri incelendiğinde a_1 ; ortada iki buton, çevrede dört buton bulunmaktadır. a_2 ; ortada iki buton, iki de su püskürtme deliği, çevrede altı buton bulunmaktadır. Bu farklılıklar diğer bitlerde de vardır b, c ve d bitlerine baktığımızda hem merkezde hem de çevredeki buton ve su püskürtme delikleri birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Ayrıca bitlerin kafa ve gövde dizaynları da birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bitlerin farklılığı kullanılacağı kayaç formasyonuna göre tercih edilmektedir.



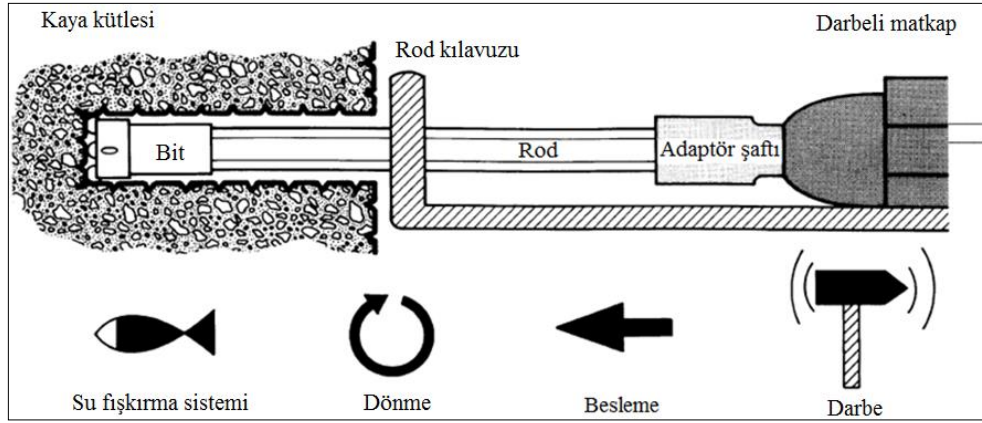
Şekil 1.33. Kayaç formasyonuna göre bit seçimi (Atlas Copco 2014).

Değişen kayaç formasyonlarına göre bit seçimi Şekil 1.33’de verilmiştir. Şekil 1.33’de görüldüğü gibi orta sertlikte, sert ve aşındırıcı kayaç formasyonlarda iç bükey ve düz başlıklı, küresel butonlu bitler tercih edilir. Bu bitlerin en büyük dezavantajı delme hızları düşük olmasıdır. En büyük avantajları ise aşınma oranları da düşük olmasıdır.

Yumuşak, orta sertlikte ve az aşındırıcı kırılğan olan kayaç formasyonlarda roket tip başlıklı, balistik butonlu bitler tercih edilir. Balistik uçlu bitlerin en büyük avantajı delme hızı yüksek olmasıdır. En büyük dezavantajı ise uç aşınma oranının yüksek olmasıdır.

Yumuşak, orta sertlikte ve aşındırıcı olmayan formasyonlarda dış bükey ve roket başlıklı, balistik butonlu bitler tercih edilir.

Delme işleminde kullanılan bitler, çoğunlukla Jumbo delici makinalarında kullanılmaktadır. Bu makinalarda delik delme işlemi basınçlı su/hava matkaba verilmesi ile birlikte matkap döndürmeye başlamaktadır. Daha sonra darbe ve baskı hareketleriyle birlikte delikteki kayaç kırılır/parçalanır ve basınçlı su/hava yardımıyla dışarı atılır. Döner darbeli deliciye ait tasarım düzeneği Şekil 1.34'de verilmiştir (Thuro, 1997a).



Şekil 1.34. Döner darbeli delicinin çalışma sistemi ve düzeneği (Thuro, 1997a).

Döner darbeli delici makinalarda delme işlemi, buton ucu altındaki delme mekanizması ve kaya parçalanma süreci Şekil 1.35'da verilmiştir.

Delme mekanizmasına bakıldığında darbe işleminden dolayı basınç ve çekme dayanımı, matkap dönmesinden meydana gelen kesme dayanımının yanında kayaç malzemesinin elastik özelliği delme işleminde büyük önem taşımaktadır. Bit delme işlemi boyunca her zaman çatlamış kayaç üzerinde delme işlemini gerçekleştirmektedir. Çünkü bit ilerledikçe kayaçta sürekli radyal çatlaklar oluşur ve oluşan bu çatlaklar üzerinde delme gerçekleşir.

Şekil 1.35 b) şekli incelendiğinde; (a) Darbenin başlaması; dönen matkapla birlikte butonlu bitler, belli bir darbe ve baskı altında kaya kütlesi içine nüfuz edilir. Bu işlem sırasında yüksek lokal gerilmelere sebep olur. Yüksek gerilmeler, buton uçların altında ezilmiş bölgelerin oluşmasına neden olur (a-1). Delme yönü boyunca düşük seviyede gerilme alanları oluşmaktadır (a-2).

(b) Çatlama işlemi; bu aşamada darbe ve baskı sonucu artan gerilmelerden dolayı kaya dayanım gücünü kaybeder, bu işlemde sonra ilk çatlaklar ezilmiş bölgelerin kenarında oluşmaya başlamaktadır. Oluşan bu çatlaklar yavaşça kayanın içine doğru yayılmaktadır (b-3). Çatlaklar komşu bölgelerde etkileşim oluşturmaya başlarlar. Parçalanmış malzemeler suyun yardımıyla matkabın çevresinden dışarı doğru atılır.

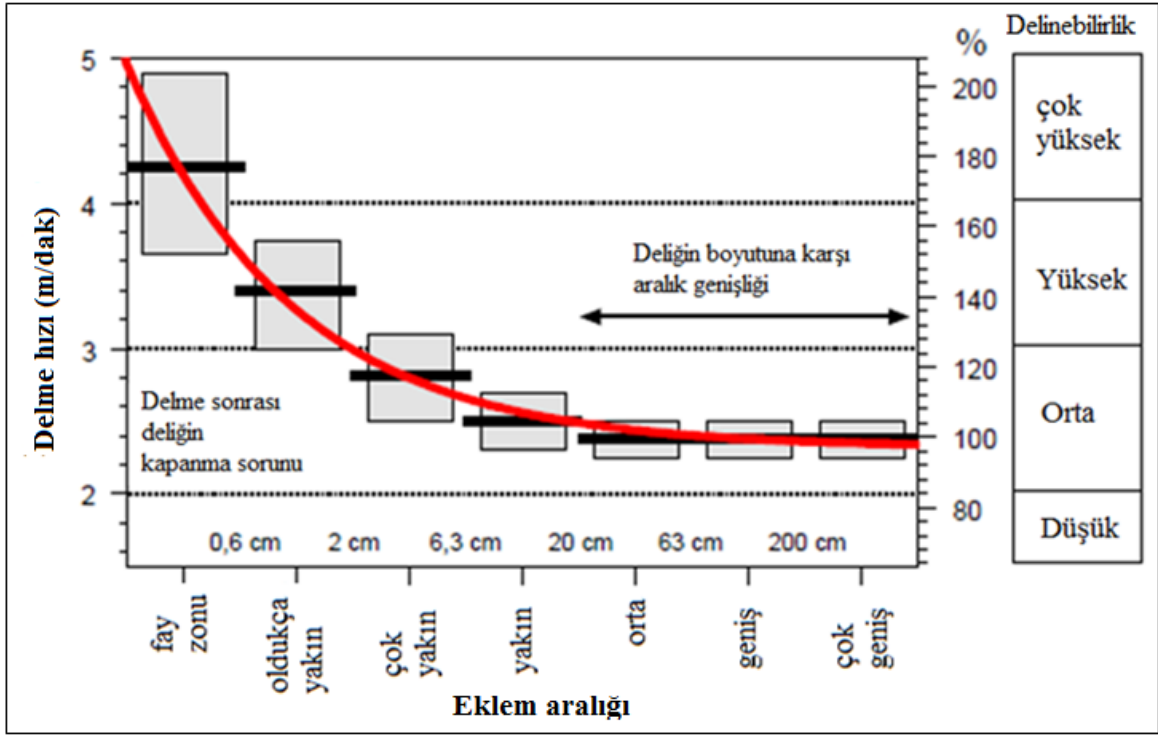
(c) Darbe işleminin tamamlanması; delme işlemi bittikten sonra matkap geri çekilir. Delme işleminin bitmesiyle delikte oluşan gerilmeler serbest kalır. Kaya kütlesinin elastik geri tepmesi oluşur, su yardımıyla ezilmiş ve kırılmış parçalar uzaklaştırılır (c-4). İşlem sonunda eğer delikte tıkanma mevcutsa basınçlı hava yardımıyla bu parçalar delikten dışarı atılır.

1.9.3. Süreksizliklerin Delinebilirlik Üzerindeki Etkisi

Kaya kütlesi ve kaya yapısı özelliklerinin belirlenmesi, delme sürecinde büyük öneme sahiptir. Çünkü delinebilirlik direkt kaya yapısıyla ilişkilidir. Eklemlili kaya yapılarında delik delmek, sağlam yapılara oranla daha zordur. Aşırı eklemlili, süreksizlik içeren kaya kütlerinde delik delme işlemi beraberinde birçok sorun meydana getirir. Bu sorunlardan en önemlisi delici ucun delik içinde sıkışması-kilitlenmesi, bu durum delik delme zamanını artırmakta ve delik delme hızını düşürmektedir. Ayrıca delinebilirlik süreksizlikler arası açıklığa da bağlıdır. Delinebilirliği etkileyen diğer önemli özellik ise eklem dolgusudur. Bu açıklıkların dolgulu olması veya kapalı olması delinebilirlik üzerinde çok fazla olumsuz etki meydana getirmez. Ancak eklemlerin açık olması

durumunda yukarıda da belirtildiği gibi delici uçların eksenden sapmasına, basınçlı hava ve suyun bu açıklıklara kaçmasına ve delici uçların kilitlenmesine neden olur. Dolgu malzemesinin ana kayaktan daha yumuşak olması durumunda ise delici uçlar bu açıklığa doğru sapma göstereceğinde delinebilirlik verimi düşmektedir (Hoseinie vd, 2008).

Kaya kütlelerindeki dolgu delme için sorun oluşturulmaktadır. Çünkü basınçlı hava altında kırılan kaya parçalarının bir kısmının süreksizlik boşluklarına kaçtığı, kalan diğer parçalar ise enerji kaybına ve delme oranının azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum TBM'lerdeki kırılan-parçalanan kaya parçalarının kesici disklerle kaya arasında kalması gibidir. Eklem deliğinin sapmasına sebep olmaktadır bunun sonucunda delik şarjının ve delme hızının azalması sonucunu doğurmaktadır. Dolgu malzemesiyle dolmuş eklem takımlarında eğime bağlı olarak delme işlemi sırasında ve sonrasında, dolgu parçaları delik içine düşebilir bu ise delici ucun sıkışmasına neden olabilmektedir (Hoseinie vd, 2008). Şekil 1.36'de zayıf kireçtaşı formasyonunda eklem açıklığı azalmasıyla delme hızı değişim grafiği verilmiştir. Eklem aralığı çok yakın, oldukça yakın ve fay zonu bölgelerinde delinebilirlik orta, yüksek ve çok yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Eklem aralığı çok geniş olan yerlerde delme hızı 2,5 m/dak oldukça yakın olan yerlerde ise delme hızı ortalama 3,5 m/dak değerine ulaşmaktadır. Fay zonu bölgesinde ise delme hızı değeri artarak ortalama 4,1 m/dak hızına kadar çıkmıştır. Ayrıca bu bölgelerde delme sonrasında parçalanan kayalar matkabın çıkartılmasıyla deliğe düşerek deliğin kapanmasına neden olabilmektedir. Deliğin kapanması durumunda delik tam olarak şarj edilemeyeceği için istenilen seviyede verimli bir delme patlatma gerçekleşmez.

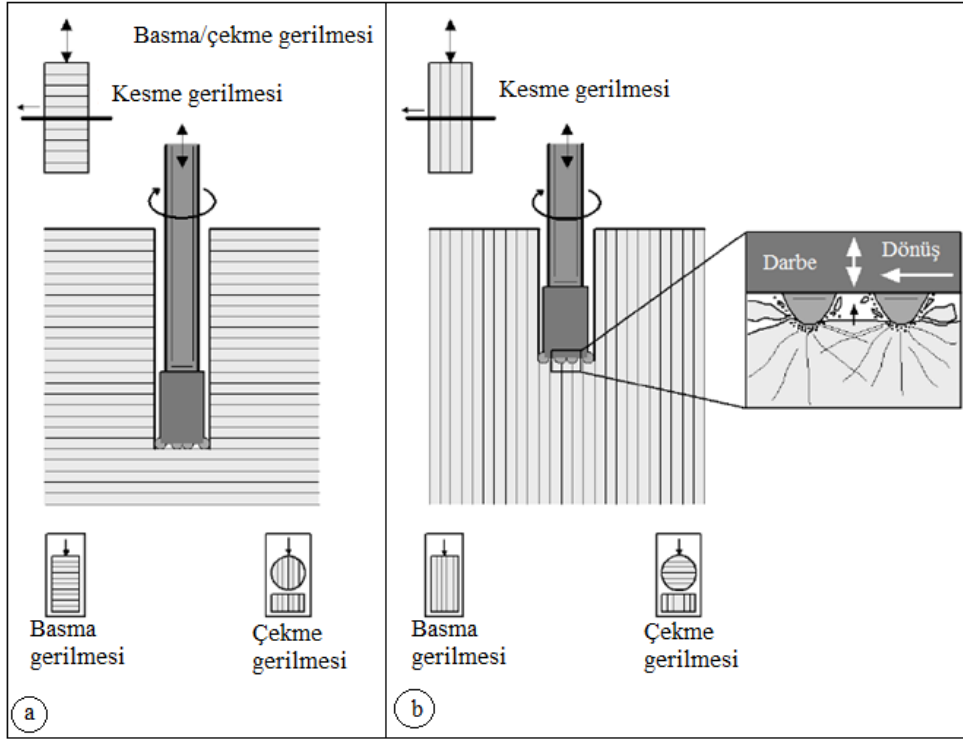


Şekil 1.36. Kireçtaşı formasyonunda eklem açıklığına bağlı olarak delme hızı ve delinebilirlik değişimi (Thuro, 1997b).

1.9.4. Tabaka Yönünün Delinebilirlik Üzerindeki Etkisi

Delinebilirlik hızı kayacın tabaka yönüne bağlıdır (Thuro ve Spaun 1996). Çünkü tabakalama düzlemi ile delme mekanizması ilişkisine bakıldığında basınç dayanımı, çekme dayanımı, makaslama dayanımı ve kayaç malzemesinin elastik davranışı ile olan ilişkileri büyük önem taşımaktadır.

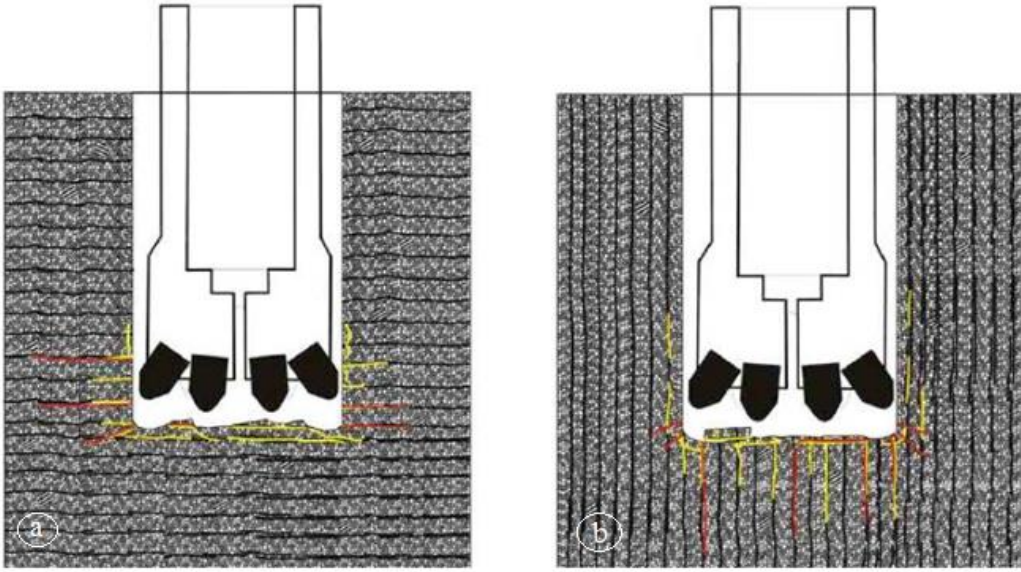
Tabaka yönelmesi ve delinebilirlik ilişkisi Şekil 1.37'de verilmiştir. Şekil 1.37 (a) delme yönü tabakalamaya dik olduğu zaman, basma gerilmesi tabakalanma düzlemine dik çekme gerilmesi ise tabakalanma düzlemine paralel olur, ancak matkabın dönüş yönü dikkate alındığında tabakalanma yönü kesme gerilmesiyle paralel bir şekil almaktadır. Bu durum da delme hızının artmasına ve kolay delgi gerçekleşmesine neden olmaktadır. Delme yönü tabakalanma yönüne paralel olduğu zaman (Şekil 1.37.b) basma gerilmesi tabakalanma yönüne paralel çekme gerilmesi ise tabakalanma düzlemine dik durmaktadır. Ancak matkabın dönüş yönü dikkate alındığında kesme gerilmesi tabakalanma düzlemine dik bir şekil almaktadır. Bu durum delme performansını ve delme hızını düşürmektedir.



Şekil 1.37. Tabaka yönelmesi ve delinebilirlik ilişkisi (Thuro, 1997a; Thuro ve Plinninger 2002).

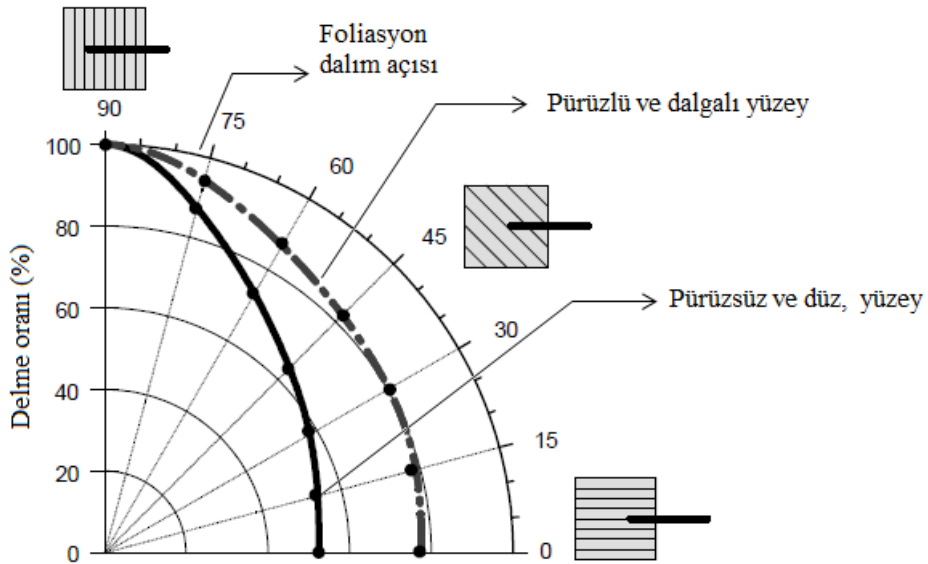
Tabaka duruş yönlerinin, delici matkaba dik veya paralel olması halinde delme sırasında oluşan radyal çatlak yönelimleri de farklı olmaktadır. Şekil 1.38’de delinebilirlik sırasında kayada radyal çatlak oluşum şekilleri verilmiştir. (Şekil 1.38.a) Tabakalanma düzleminin delici matkaba dik durumunda delme sırasında oluşan çatlaklara baktığımızda; oluşan çatlaklar yan duvarlarda ve matkaba dik şekillerde oluşmaktadır. Tabakalanma düzlemi delici matkaba paralel durumunda oluşan çatlaklar (Şekil 1.38.b) çoğunlukla kayaç yönelimi boyunca ve matkaba paralel olacak şekilde çatlaklar oluşmaktadır .

Delme hızı ve tabakalanma eğim açısı ilişkisini belirlemek için Thuro ve Spaun, (1996), tarafından yapılan çalışmada farklı foalasyon dalım açısına sahip kuvars-fillit kayacında pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler üzerinde araştırma yapılmış ve Şekil 1.39’da gösterdiği gibi araştırma yapılmıştır.



Şekil 1.38. Delinebilirlik sırasında kayaçada radyal çatlak oluşum şekli a) tabakalanma delici matkaba dik b) tabakalanma delici matkaba paralel (Schormair vd., 2006).

Delme oranı kayalarındaki foliasyon eğim açısı değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Delme oranı en yüksek matkabın kayaca dik olduğu durumda elde edilir. Ancak delme oranı en düşük değeri foliasyonun paralel olduğu durum da elde edilmiştir.



Şekil 1.39. Delme oranı ve kayaç foliasyon dalım açısı ilişkisi (Thuro ve Spaun, 1996a).

1.10. Delme Oranı İndeksi (DRI)

Delme oranı indeksi (Drilling Rate Index) (DRI) 1943 yılında İsviçre’de N. Von Matern ve A. Hjelmer tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra bu yöntem birkaç değişikliğe uğramıştır (Dahl vd, 2012). Bu deney aletlerinin orijinali Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi SINTEF Kayaç ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında (Norwegian University of Science and Technology (NTNU) SINTEF Rock and Soil Mechanics) bulunmaktadır. Bu deney yöntemi özellikle sert kayaç kazısında kullanılan tam cephe tünel açma makinalarının (hard rock TBM) ve kayaçların darbeli delme yöntemlerinin performans tahmin modellerinde kullanılmaktadır (Nilsen, 2003).

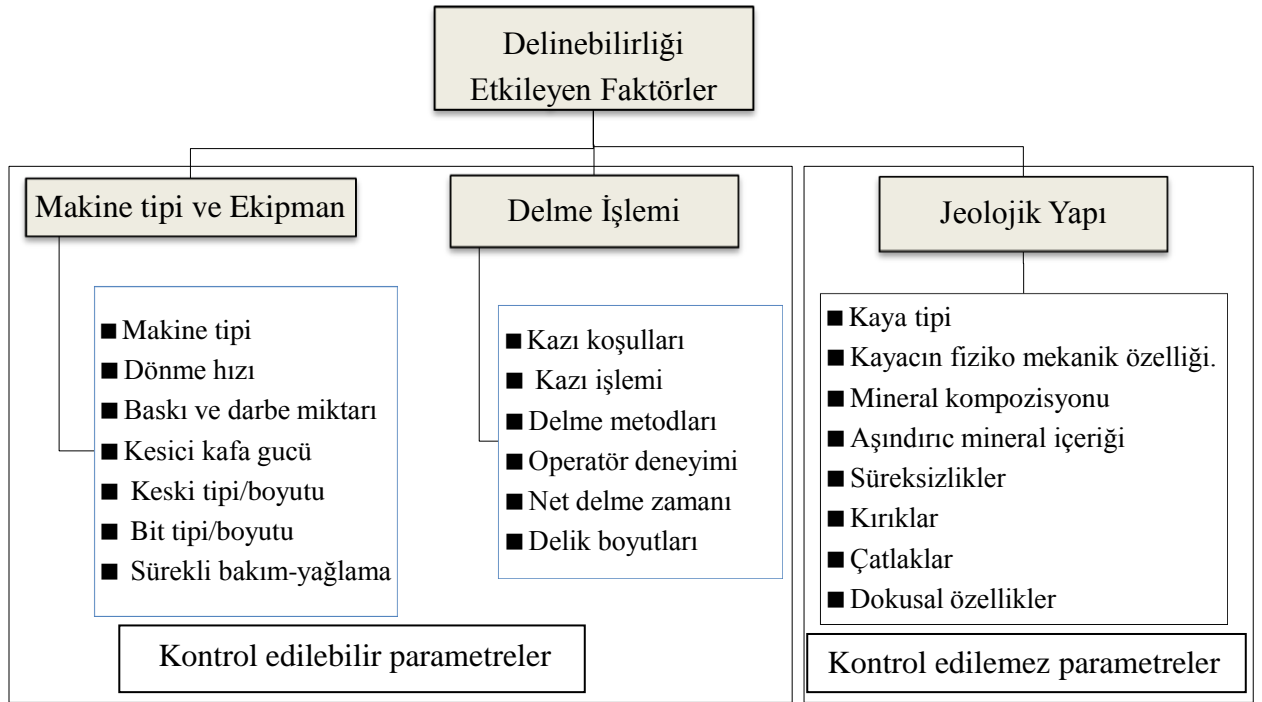
Kayaçların delinebilirliklerini belirlenmesinde kullanılan delme oranı indeksi daha çok kazı makinalarının performans tahmininde ve kayaç dayanımı hakkında bilgi sahibi olmak için geliştirilmiş bir indekstir. Deney iki laboratuvar deneyi ile belirlenmektedir. Birincisi; kırılma deneyi (brittleness test) S_{20} , ve Sievers minyatür delme (SJ) değeri deneyi (Sievers miniature drill-test value)’dir. Delme oranı indeksi kayaç yüzey sertliği için düzeltilmiş kırılma değeri olarak da tanımlanabilir (Dahl, 2003).

Yaralı vd (2008), Soyer (2009), farklı bölgelerden alınan kayaç örnekleri üzerinde klasik kaya mekaniği deneyleri ve delme oranı indeksi deneyleri (DRI) gerçekleştirmişlerdir. İncelenen kayaçların delinebilirlik özelliklerinden delme oranı indeksi, kırılma deneyi ile Sievers minyatür delme deneylerinden elde edilen sonuçlardan yararlanarak delme oranı indeks değerleri bulunmuştur. Çalışmalarında dolomit, dolomitik kireçtaşlarının, marn, silttaşlarının delinebilirlikleri çok yüksek; andezitlerin yüksek; siyenit, bazalt ve bazalt karışımı andezitlerin orta delinebilirlik sınıfında yer aldığını tespit etmişlerdir. Sadece alkali granitin delinebilirlik sınıfının düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi kayacın doku ve içerdiği mineral özelliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Özellikle çimento türü killi veya çimentolanma derecesi düşük olan kayaçların dayanımı yüksek olmasına karşılık delinebilirlikleri de yüksek çıkmıştır.

1.10.1. Delinebilirliği Etkileyen Faktörler

Delinebilirliği etkileyen pek çok faktör olmasına rağmen temel de üç faktör vardır. Bunlar; jeolojik formasyon, makine tipi ve delme işlemine bağlı faktörlerdir (Şekil 1.40).

Jeolojik faktörler kayacın tipi, kayacın mekanik özellikleri, yapısal ve dokusal özellikleri, süreksizlikler ve mineral kompozisyonudur. Makine tipi ve ekipmana bağlı parametreler sırasıyla; delme makinasının tipi, dönme hızı, bastırma kuvveti ve keski tipidir. Delme işlemine bağlı parametreler sırasıyla; delme metotları, makinanın çalışma ve bakımı, makine operatörünün deneyimi gibi faktörlerdir. Makine tipi ve ekipman işlemine bağlı parametreler kontrol edilebilir parametreler iken, jeolojik özelliklere bağlı parametreler arazi yapısıyla ilgili olduğundan ve değiştirmesi zor olduğundan kontrol edilemeyen parametreler olarak tanımlanmaktadır (Karaman 2002). Özellikle kayaçların bazı jeolojik özelliklerinin delinebilirlik üzerindeki etkisi büyük önem taşımaktadır. Örneğin kayaç tipi, süreksizlikler ve aşındırıcı mineral içeriği önemli etkilere sahiptir.



Şekil 1.40. Delinebilirliği etkileyen faktörler (Thuro ve Spaun 1996a; Thuro, 1997a; Kahraman 1999; Thuro vd., 2002).

1.10.1.1. Makine Tipi ve Ekipmana Bağlı Parametreler

Delinebilirlik tahmininde doğru ve uygun ekipman seçilmesi büyük önem kazanmaktadır. Delmede kullanılacak makinenin tipi, darbe etkisi, basma gücü, dönme hızı, bitlerin tipi ve kullanılan makinenin düzenli bakımı delinebilirlik için çok önemlidir.

Çünkü delme performansı seçilen delme takımının teknik parametrelerine göre değişmektedir.

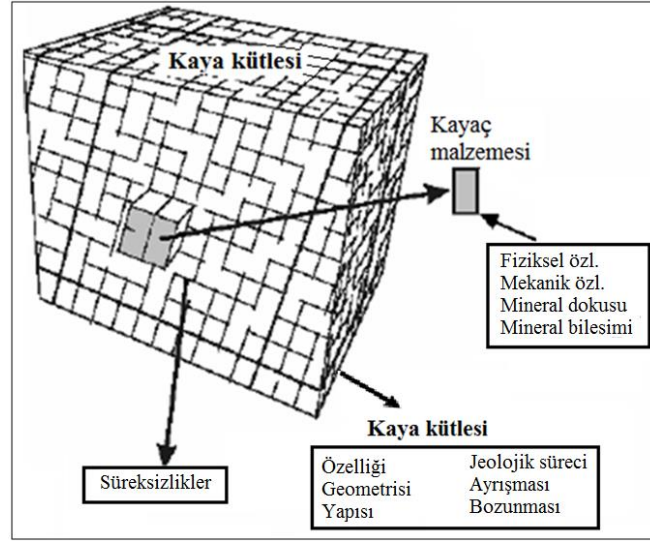
Delinebilirlik makine parametrelerine bağlı olduğu için makine seçimi, delme işleminin uygulanacağı kayacın formasyonuna ve çevresel koşullarına göre seçilmelidir. Delmede kullanılan bitlerin tipi, dizaynı ve yapıldığı malzemenin kalitesine (kobalt bağlayıcı ile tungsten karbür, Mohs sertliği) göre değişmektedir.

1.10.1.2. Delme Koşullarına Bağlı Faktörler

Burada önemli olan başlıca parametreler kazı koşulları, delme dizaynı ve operatör tecrübesidir. Kazı koşulları iyi olan ve düzenli ekipman bakımı yapılan çalışmalarda başarılı bir delme performansı elde edilebilir. Zayıf formasyonlu kazı koşullarında ihtiyaç duyulan tahkimat kurma süresi çoğu zaman delme zamanını geçmektedir. Ancak, eğer delme zamanı kazı sürecinin büyük bir bölümünü oluşturuyorsa bu durum kazı çalışması için zaman ve maliyet sorunu oluşturabilir, bu duruma mahal vermemek için iş kontrolü ve düzenli bakım yapılmalıdır.

1.10.1.3. Jeolojik Yapıya Bağlı Faktörler

Özellikle jeolojik parametreler delicinin performansını ve uç aşınmasını etkilemektedir. Jeolojik formasyona bağlı başlıca parametreler olarak kaya kütlelerinin ve kaya malzemesinin fiziko-mekanik ve yapısal özellikleri, aşındırıcı mineral içeriği, mineral bileşimi ve süreksizlikler gibi parametreler gelmektedir. Kayacın süreksizlik yapısı, jeolojik sürece, hidrotermal ayrışması - bozunması ise kaya kütlelerine bağlı parametrelerdir (Şekil 1.41). Jeolojik formasyona bağlı parametreler arazi yapısıyla ilişkili bir özellik olduğundan değiştirilmesi zor ve kontrol edilemeyen parametrelerdir.



Sekil 1.41. Kaya kütleinin dayanımına etki eden faktörler (Palmström, 1995).

Kayaçların bazı jeolojik özellikleri delinebilirlik üzerinde büyük önem taşımaktadır. Bunlar tane ve doku özellikleri ve kayaç formasyonu olup bunlar kayacın matkapla delinme hızını etkilemektedir (Tablo 1.12). Kayaçlarda tane boyu inceldikçe ve kayaç dokusu sıklaştıkça kayacın delme hızı azalmaktadır (Hoseinie vd, 2008).

Tablo 1.12. Doku, tane boyutu ve kaya yapısı ile kayacın delinme hızı arasındaki ilişki (Wilbur, 1982).

Kayaç delinme hızı	Tane ve doku boyutu	Formasyon	Kayacın kırılma şekli
Çok yüksek	Poroz (gözenekler belirgin)	Masif (katı ve yoğun)	Çekiçle hafifçe vurulduğunda, küçük parçalara dağılma
Yüksek	Parçalı (parçalar gevşek yada az sağlam)	Tabakalı (ince yatay süreksizliklerle bölünmüş kalın tabakalar)	Gevrek (hafif çekiç darbesi ile kolayca kırılma)
Orta	Granitoid (orta derecede tane doku boyutu)	İnce tabakalı (yatay süreksizlikler ile bölünmüş ince tabakalar)	Dilimli (çekiçle vurulduğunda dilimlere ayrılır)
Düşük	Porfiritik (ince taneli granit içinde iri kristaller)	Damarlı (birçok açık yatay ve düşey süreksizlikler bulunmakta)	Sağlam (sert çekiç darbelerine karşı dayanıklı)
Çok düşük	Yoğun (ince dokulu)	Blok şekilli (her yönde arası açık yada dolgu malzemeli birçok süreksizlikler mevcut)	Dövülebilir (çekiçle dövüldüğünde saç levha yada ince bantlı kırılması)

Howarth ve Rowlands, (1987), tarafından kayaçların dokusal özellikleri, dayanımları ve delinebilirlik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kayanın mineralojik–petrografik incelenmesi ile tane şekli, tane yönlenmesi, tanelerin birbiri içine girift yapı oluşturma derecesi ve paketlenme yoğunluğu gibi kaya dokusu parametrelerini dikkate alarak bir kaya doku katsayısı eşitliğini geliştirmişlerdir. Bu modele göre düşük doku katsayısı, düşük dayanımı ifade etmektedir. Düşük doku katsayısına sahip olan kayaların yüksek delme hızları ile delinmesi beklenmektedir.

$$TC = AW \frac{N_0}{N_0 + N_1} \cdot \frac{1}{FF_0} + \frac{N_1}{N_0 + N_1} \cdot AR_1 \cdot AF_1 \quad (1.16)$$

Burada;

TC : Doku katsayısı

AW : Paketlenme yoğunluğu

N_0 : Görünüş oranı 2'den küçük olan tanelerin sayısı

N_1 : Görünüş oranı 2'den büyük olan tanelerin sayısı

FF_0 : Tüm N_0 tanelerinin şekil faktörü değerlerinin ortalaması

AR_1 : Tüm N_1 tanelerinin uzunluk-genişlik oranı değerlerinin ortalaması

AF_1 : Tane yönelmesini ifade eden açı faktörüdür.

1.11. Kayaçların Aşındırıcılık Özellikleri

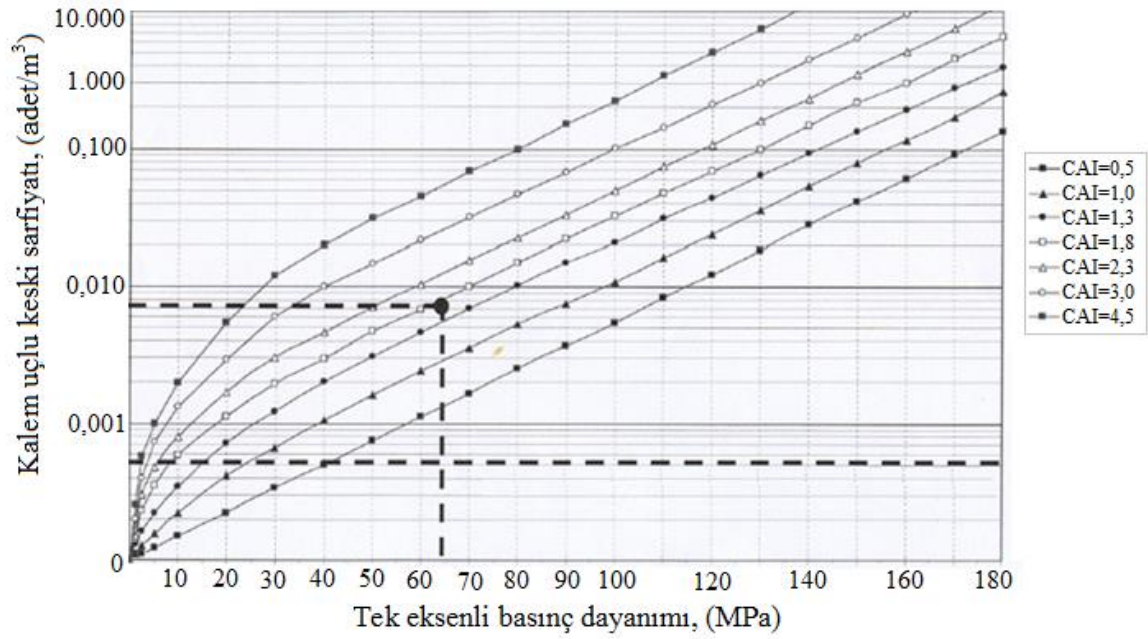
Aşınma; kazı esnasında kayaçların keski tarafından koparılması sırasında keskiye meydana gelmektedir. Yüksek aşındırıcı özelliğine sahip kayaçlar, kısa zamanda keskinin körlenmesine ve körelen keskiye çapraz kuvvetlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu durum, bir yandan keski tüketimini artırmakta, diğer yandan kazı verimini düşürmekte ve dolayısı ile de kazı maliyetinin artmasına yol açmaktadır. Kazı makinaları ile galeri sürmede, birim miktar kayaç kazısı için tüketilen keski sayısı, kazı işinin ekonomik olup olamayacağı hakkında en önemli kıstastır. Keski aşınması başta kayaç özellikleri olmak üzere; keski tipi, keskinin metalurjik yapısı, keskinin kazı esnasında ulaştığı ısı derecesi gibi etkenlere de bağlıdır (Bilgin 1989, Arı 1990).

Kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesine yönelik birçok deney yöntemi önerilmiştir. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (International Society of Rock Mechanics), 3 Eylül 1987 yılında Montreal’de yaptığı toplantıda kaya mekaniğinde kayaçların kesilebilirliği, delinebilirliği ve kazılabilirliği konularında Cerchar aşınma ve Cerchar sertlik indeks deneylerinin standart kaya mekaniği deneyi olarak uygulanmasını önermiştir. Cerchar Aşınma İndeksi deneyi ilk olarak Fransa’da Cerchar Araştırma Enstitüsü (Research Institute Cerchar of the Charbonnages de France)’nde 1971 yılında bulunmuş ve sonuçlar Valantin (1973) tarafından yayınlanmıştır. Bu deney yöntemi keski aşınması ve sarfiyatının ve keski değişim maliyetlerinin doğru tahmin edilmesinin ekonomik öneminden dolayı dikkate değer bir önem kazanmıştır. Özellikle Avrupa’daki kaya mekaniği laboratuvarlarında sert kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesinde oldukça yaygın kullanılan bir deney yöntemidir (Bilgin, 1989; Atkinson, 1993; Plinninger vd, 2003; Yaralı, 2010). Tamrock (1999) göre kaya kütlelerinin aşındırıcılığı pek çok parametreye bağlıdır. Bunlar;

- Kayacın dayanımı ve sertliği,
- Keskinin kesme derinliği ve kesme hızı,
- Keskilerin oluşturdukları darbe yükleri,
- Kesme tipi veya keskinin hareket şekli,
- Etkin kesme veya ufalanma,
- Keskilerin kalitesi,
- Mineral bileşimi, mineral tanelerinin boyutu ve sertliği,
- Kuvars ve diğer aşındırıcı minerallerin miktarı,
- Tane boyu,
- Kayacın çimentolanma derecesidir.

Kayaç aşındırıcılığı, delinebilirliği ve kazılabilirliği etkilediğinden, kazılan m³ kayaç başına keskinin aşınmasının belirlenmesi gereklidir. Keski ucu aşınması, makinanın ilerleme hızı, uygulanan kuvvetler ve harcanan enerji sarfiyatı ile ilişkilidir. Körelmiş keskinin ile daha fazla kesme kuvveti harcanmakta ve daha az ilerleme kaydedilmektedir. Bu durumda kazı makinasının kesme hızı, spesifik enerji, kesici uç kaybı, miktarı ve yüzdesi değerlerini belirlemesi için makinanın kazı sırasında tükettiği gücün belirlenmesi gereklidir (Bilgin 1982; Fowell ve Johnson, 1991; Alvarez vd. 2003).

Ayrıca kayaçlardaki kuvars içeriği ve çimentolanma derecesi delinebilirliği etkileyen önemli parametrelerdir. Kuvars gibi aşındırıcı minerallerin yüzdesi, tane boyu ve çimentolanma derecesi üzerinde pek çok araştırma yapılmıştır. Bunlardan; McFeat-Smith ve Fowell (1977), yaptıkları çalışmalarında kayacın kuvars içeriğinin, kesici uç tüketimi açısından kayaç aşındırıcılığını tek başına ifade edemeyeceğini bildirmişlerdir. Barbour vd. (1979), kumtaşlarında galeri açma makineleri ile yapılan kazılarda, kesici uç tüketiminin kuvars içeriğinden çok çimentolama derecesi ile ilişkili olduğunu belirlemiştir. Yaralı vd. (2008), kayaç aşındırıcılığın petrografik özelliklerden özellikle ortalama kuvars tane boyutu miktarı, çimento türü, çimentolanma derecesi ve mineral bileşimi ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Suana ve Peters (1982), eşdeğer kuvars yüzdesinin kayaç aşındırıcılığı için yeterli olduğu fakat tane boyu ve diğer matriks özelliklerinin de önemli olduğunu bildirmişlerdir. Özdemir (2010), kaya delinebilirliğinde tane şekli, kuvars, silis içeriği ve gözeneklilik gibi dokusal özelliklerin etkisini göstermiştir. Kuvars ve silis içeriğinin artması matkap aşınmasını artırmaktadır. 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. Restner ve Pichler (2007), yaptıkları çalışmalarında kalem ucu keski sarfiyatının tek eksenli basınç dayanımı ve Cerchar aşınma değerinin bir fonksiyonu olduğunu göstermişlerdir (Şekil 1.42). Şekil 1.42'deki grafiğin tek eksenli basınç dayanımı ile CAI arasındaki değişim farkının belirlenmesi için ve keski değişim miktarına etkisi Tablo 1.13'da bir örnekle hesaplanarak verilmiştir. Keski aşınımının kayaç dayanımından çok kayacın içerdiği aşındırıcı mineral miktarı olduğu görülmektedir.



Şekil 1.42. Kalem ucu keski tüketimi ve (CAI) arasındaki ilişki (Restner ve Pichler, 2007).

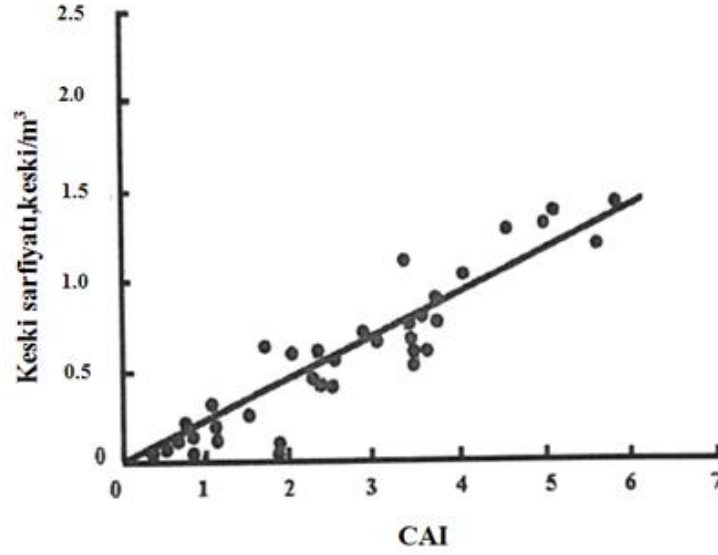
Tablo 1.13. Tek eksenli basınç dayanımı ile CAI arasındaki değişime göre keski değişim miktarı

Tek eksenli basınç dayanımı	CAI	Keski tüketimi adet/m ³	Kazılan miktar m ³	Kazılan miktara göre keski adeti
60	0,5	0,012	1000	12
	1,8	0,070		70
	4,5	400		400000
80	0,5	0,025	1000	25
	1,8	100		100000
	4,5	1000		1000000
100	0,5	0,050	1000	50
	1,8	200		200000
	4,5	2000		2000000
120	0,5	0,120	1000	120
	1,8	700		700000
	4,5	5000		5000000
130	0,5	0,200	1000	2000
	1,8	1000		1000000
	4,5	8000		8000000

Alber (2008), Cerchar aşındırma indeksinin gerilme bağımlılığı ve kazıcı seçiminde aşınmanın etkisi üzerine yapmış olduğu çalışmada kayaçların aşındırıcılığı genelde Cerchar aşındırıcılık indeksi tarafında tanımlanır. Çalışmada dikdörtgen, at nalı ve daire

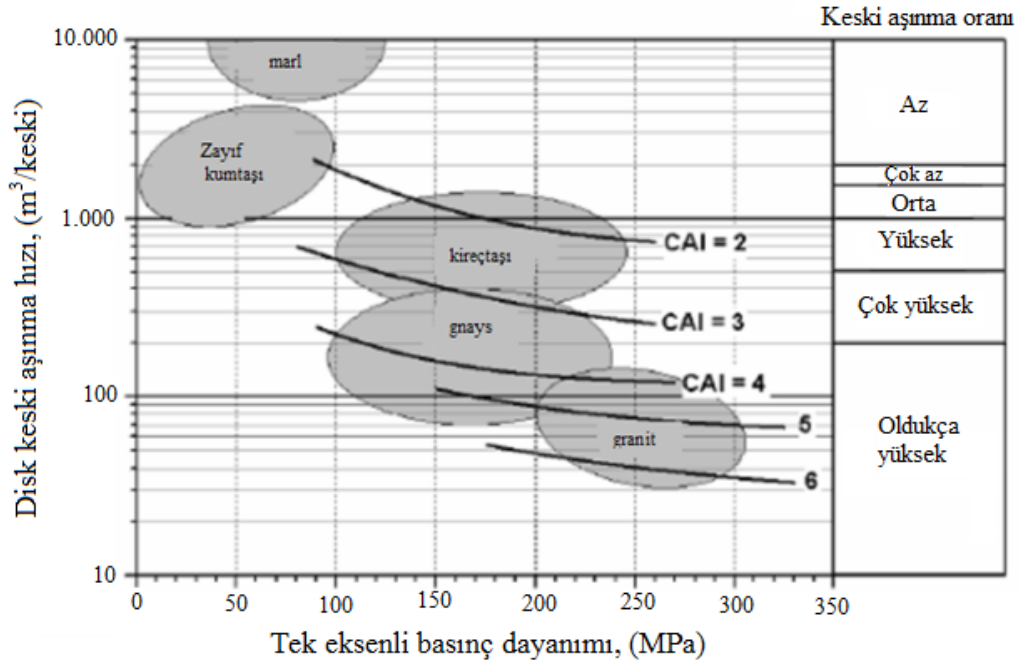
şeklindeki farklı tünellerin yüzeyinde oluşan gerilme durumları incelenmiş, TBM diskleri, kollu galeri açma makinası diskleri ve hidrolik kırıcı uç aşınmaların tahmin etmek için Cerchar aşındırma indeksinden yararlanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada Cerchar aşındırma indeksinin gerilmeye bağlı olduğu ve gerilme durumu kayanın Young Modulu ve porozitesinin bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir.

Johnson ve Fowell (1986) yerinde yaptıkları ölçmelerle keski sarfiyatının, kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeksleriyle doğrudan ilişki içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Bu ilişki Şekil 1.43’de verilmiştir.



Şekil 1.43. CAI ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki (Johnson ve Fowell 1986).

Bazı mekanize kazı makinesi üreten firmalar bilgi vermek amacıyla, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ve Cerchar aşınma indeksinin birlikte kullanıldığı grafikler geliştirmişlerdir. Şekil 1.44’de Herrenknecht firmasının tam cephe galeri açma (TBM) makinaları için disk tipi keski sarfiyatının tek eksenli basınç dayanımına ve CAI değerine göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.44. Tek eksenli basınç dayanımı ve (CAI) indeksi ilişkisine göre TBM'lerde disk keski tüketimi (Maidl vd., 2001; Plinninger ve Thuro'den 2004).

1.12. Kaya Sınıflama Sistemi

Kaya kütlesi sınıflama kavramı bir bütün olarak ele alındığında sağlam kaya ve süreksizliklerin olduğu kayayı ifade etmektedir. Bu birimlerin fiziksel ve jeomekanik özellikleri birbirinden farklı olup, kütlelerin genel davranışını etkilemektedir. Tünel, metro, galeri yeraltı ve yer üstü kazılarda, hemen her türlü kaya mühendisliği ile ilgili yapılarda kaya kütle sınıflandırılması, projelendirme, tasarım ve gerekirse iyileştirme açısından kullanılan kaya kütle sınıflama sistemi kaya mühendisliğinde tasarıma yardımcı olan ve ön tasarım amacıyla kullanılacak bir araç olarak değerlendirilmelidir.

Kaya kütle sınıflama sistemlerinde şimdiye kadar değinilen kayaç malzemesinin mekanik özellikleri ve süreksizliklerin özellikleri girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde, kaya kütlelerinin ait olduğu sınıf tayin edildikten sonra, mühendislik projesinin amacına bağlı olarak dizayn problemlerinin çözümü amacıyla farklı amaçlara yönelik olarak kullanılabilir. Günümüze değin ulaşılmış ve hali hazırda kaya mühendisliği projelerinde ve özellikle tünellerde uygulamalarında kullanılmakta olan kaya kütle sınıflama sistemlerinin genel bir özeti verilmiştir Tablo 1.14' de verilmiştir. Takip eden bölümlerde, bu çalışmanın gerçekleştirildiği Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kazı

aynalarından kaya kalite göstergesi (RQD) ve kaya kütle puanlama (RMR sistemi) kullanılmış olup bu sistemler hakkında bilgiler verilmiştir.

Tablo 1.14. Özellikle tünelcilikte kullanılan başlıca kaya kütle sınıflama sistemleri (Bieniawski, 1989; Ulusay, 2010).

Sınıflama Sistemi	Geliştiren	Geliştirildiği yer	Yıl	Uygulama alanı
Terzaghi kaya yükü	Terzaghi	A.B.D	1946	Çelik destekli tüneller
Lauffer sınıflaması (Desteksiz durma süresi)	Lauffer	Avusturalya	1958	Tünelcilik
RQD	Deere vd.,	A.B.D	1967	Karot loglama ve tünelcilik
NATM Sınıflaması	Pacher, Rabcewicz	Avusturya	1964	Tünelcilik
RSR (<i>Kaya Yapısı Oranı</i>)	Wickham vd.	A.B.D	1972	Tünelcilik
RMR	Bieniawski	G. Afrika A.B.D	1973, 1989	Tüneller, madenler, (Şevler, temeller)
RMR sistemine ilave	Moreno Tallon	İspanya	1982	Tünelcilik
	Nakao vd,	Japonya	1983	Tünelcilik
	Gonzalez De Vallejo,	İspanya	1983	Tünelcilik
Q Sınıflaması	Barton vd.	Norveç	1974	Tüneller ve yeraltı boşlukları (odalar)
Q sistemine ilave	Kirsten	G. Afrika	1982	Kazılabilirlik
	Kirsten	G. Afrika	1983	Tünelcilik
	Grimstad ve Barton	Norveç	1993	Tünelcilik, yeraltı boşlukları, madencilik
	Barton	Norveç, Brezilya	2000	TBM Tünelcilik
Dayanım- boyut	Fraklin	Kanada	1975	Tünelcilik
RTR	Inyang	A.B.D	1991	Tünelcilik, madencilik, şevler.
RMİ (Kaya kütle indeksi)	Palmstrom	İsveç	1995	Tünelcilik, kaya müh.
RME (Kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi)	Bieniawski vd,	İspanya	2006	TBM Tünelcilik

1.12.1. Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

Kaya kalite göstergesi (RQD), uzunluğu 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzde olarak ifade edilen kantitatif bir indekstir. Deere (1964) tarafından önerilen RQD, aşağıda verilen eşitlikle belirlenir.

$$RQD = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{L} \quad (1.18)$$

Burada:

n: İlerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı,

L: İlerleme uzunluğudur (cm),

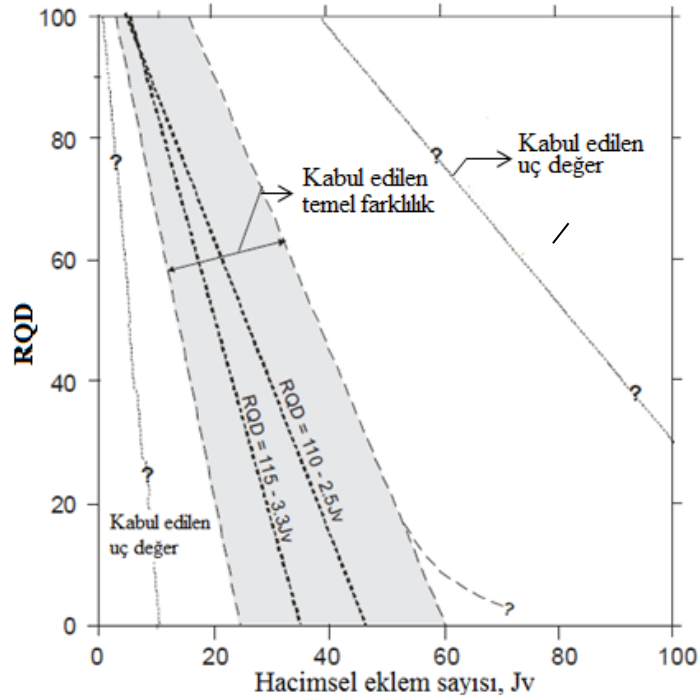
Palmström (2005), tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı (Jv) birim hacimdeki bir kaya kütleğinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. Burada, 1m³'lük kaya bloğunun içerdiği süreksizlik sayısından yararlanarak RQD'nin aşağıdaki eşitliklerle bulunabileceğini belirtmiştir. İlk eşitlik Palmström (1974) tarafında geliştirilmiştir. Daha sonra bu eşitliği modifiye ederek ikinci eşitliği geliştirmiştir. Palmström tarafından geliştirilen eşitliklere ait grafikler Şekil 1.45'de verilmiştir.

$$RQD = 115 - 3.3 Jv \quad (1.19)$$

$$RQD = 110 - 2.5 Jv \quad (1.20)$$

Burada;

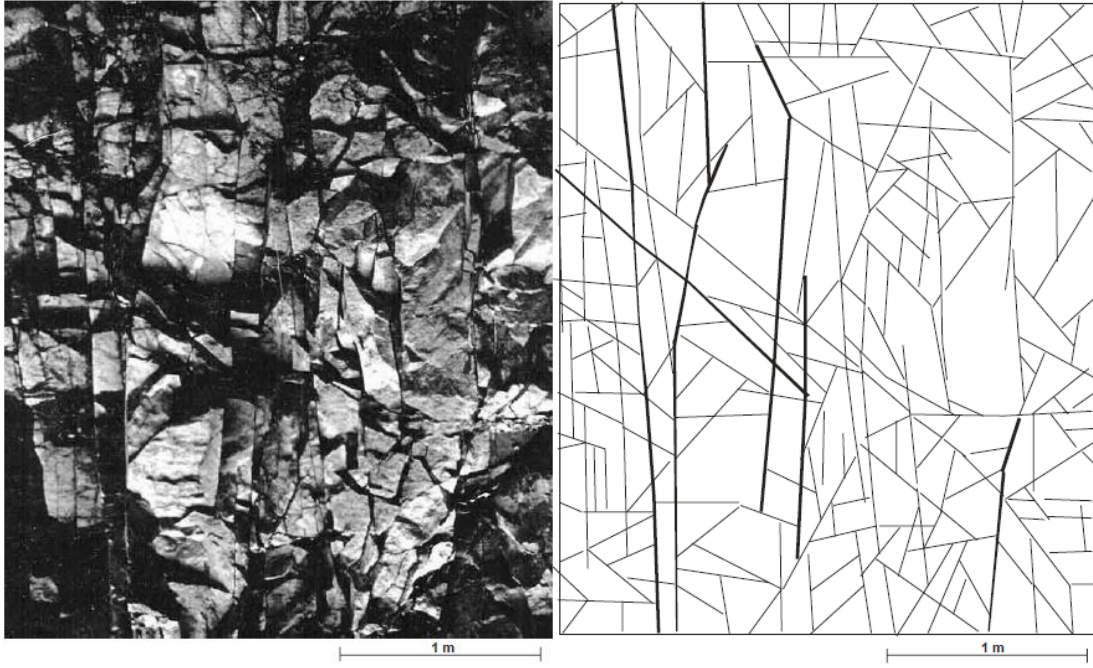
Jv: 1 m³'lük kaya bloğundaki süreksizlik sayısıdır



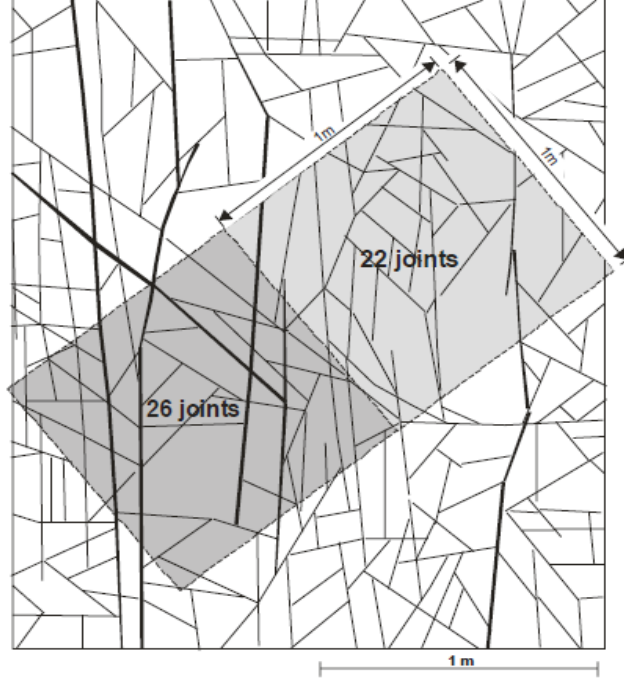
Şekil 1.45. Palmström, (2005) tarafından RQD ve Jv için önerilen grafik

Kaya kütle sınıflama sistemleri, kaya kütle karakteristik özellikleri, eklem takımları ve süreksizlikler arazi şartlarında yapılan bir iştir. Ayrıca tecrübe ve bilgi isteyen bir iştir. Çünkü kayaç kütlesi yerinde 3 boyutlu görünürken, ölçümler genelde 2 boyutlu veya tek boyutlu şekilde hesaplanmaktadır. Bu durumda sadece sınırlı sayıdaki süreksizlik ölçümü doğru yapılmaktadır. Uzunluk ve boyut bakımından farklılıklar gösteren eklem ve süreksizliklerin ölçümü kolay değildir. Şekil 1.46’da düzensiz eklemliler bir dolerit - diyabaz yatağı görünümü ve kâğıt üzerindeki çizimi verilmiştir. Ölçekli olarak fotoğraflanan süreksizlikler tekrar ölçekli olarak bilgisayar ortamından çizimi yapıp arşivlenebilmektedir. Bu çalışmalar istenildiği zaman farklı çalışma veya incelemeler için çıkarıp tekrar kullanılabilir.

Uzunluğu ve büyüklüğü birbirinde çok farklı olan düzensiz eklemlilerin blok ölçümlerinden 1 m² alanlarda yapılan eklem ölçümleri Şekil 1.47’de gösterilmiştir.



Şekil 1.46. Düzensiz eklemliler bir dolerit - diyabaz yatağının görünümü ve yorumu (Palmström, 2005)



Şekil 1.47. 1 m² alanlarda yapılan eklem ölçümleri (Palmström, 2005).

Bloğun boyutunu ölçmek için kullanılacak yöntem yerel koşullara ve bu ölçümlerin kullanılabilirliklerine bağlıdır. Örneğin, planlama aşamasında, kaya yüzeyi genelde toprak veya ayrışma malzemeyle gizlidir, bu alanlarda blok boyut ölçümleri sondaj karotları veya jeofizik ölçümlerle blok boyutunu ölçmek için kullanılır. Ancak, inşaat sırasında, kaya kütlesi, maden, tünel, shaft veya galerilerde (püskürtme betonla kaplı değilse) kolayca görülebilir. Bu tür durumlarda daha hassas ölçümlerin yapılması mümkün olabilmektedir.

1.12.2. RMR (Kaya Kütle Puanlaması) Sınıflama Sistemi

Jeomekanik kaya kütle sınıflaması olarak da bilinen RMR sistemi, ilk defa Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiş ve 1974, 1979 ve 1989'da değişikliklere uğramıştır. RMR sınıflama sistemi son halini 1989 yılında yapılan değişiklikle almıştır. RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır (Bieniawski, 1989).

- Kaya malzemesinin nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı,
- Kaya kalitesi göstergesi (RQD),

- Süreksizlik ara uzaklığı,
- Süreksizliklerin durumu (Devamlılık, açıklılık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma),
- Süreksizliklerin yönelimi,
- Yeraltı suyu koşulları,

RMR sınıflama sistemi kömür madenciliği, sert kayalarda yapılan madencilik, şevlerin ve temellerin duraylılığı, tünelcilik, galeri, yeraltı kazıları ve kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerinin tayini olmak üzere açılan pek çok yeraltı açıklıklarında uygulanmaktadır.

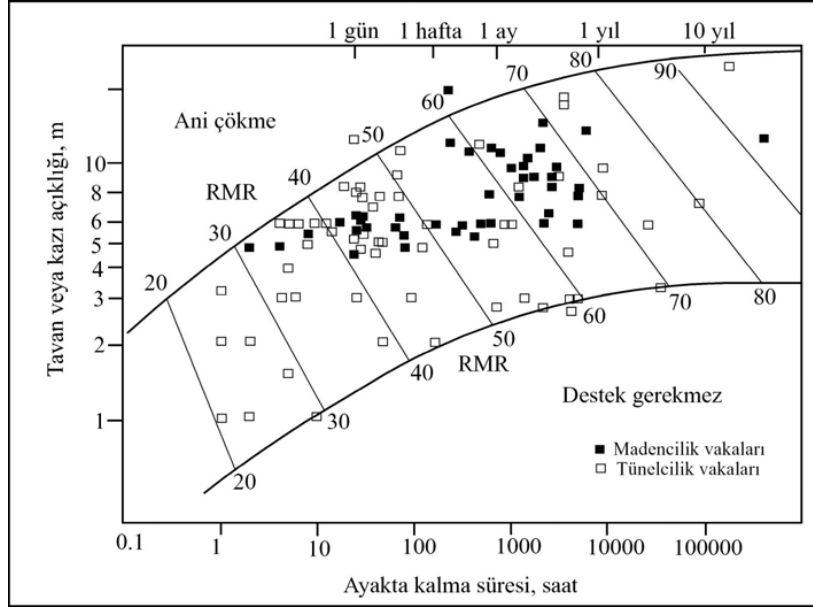
Elde edilen sınıflama sistemiyle başlıca üç önemli parametreye yönelik kullanılabilir (Ulusay, 2010).

a) Kaya kütlelerinin kohezyonu ve içsel sürtünme açısının kabaca belirlenebileceğini önermiştir.

b) Tünel destek sistemini belirleme kılavuzu kullanılarak destek sisteminin tayinine olarak sağlar. Ayrıca, klasik delme patlatma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen kazılarda uygulanır.

c) Yeraltı açıklığının belirlenmiş boyutu ve açıklığın desteksiz durma süresini tahmin belirlenebileceğini önermiştir.

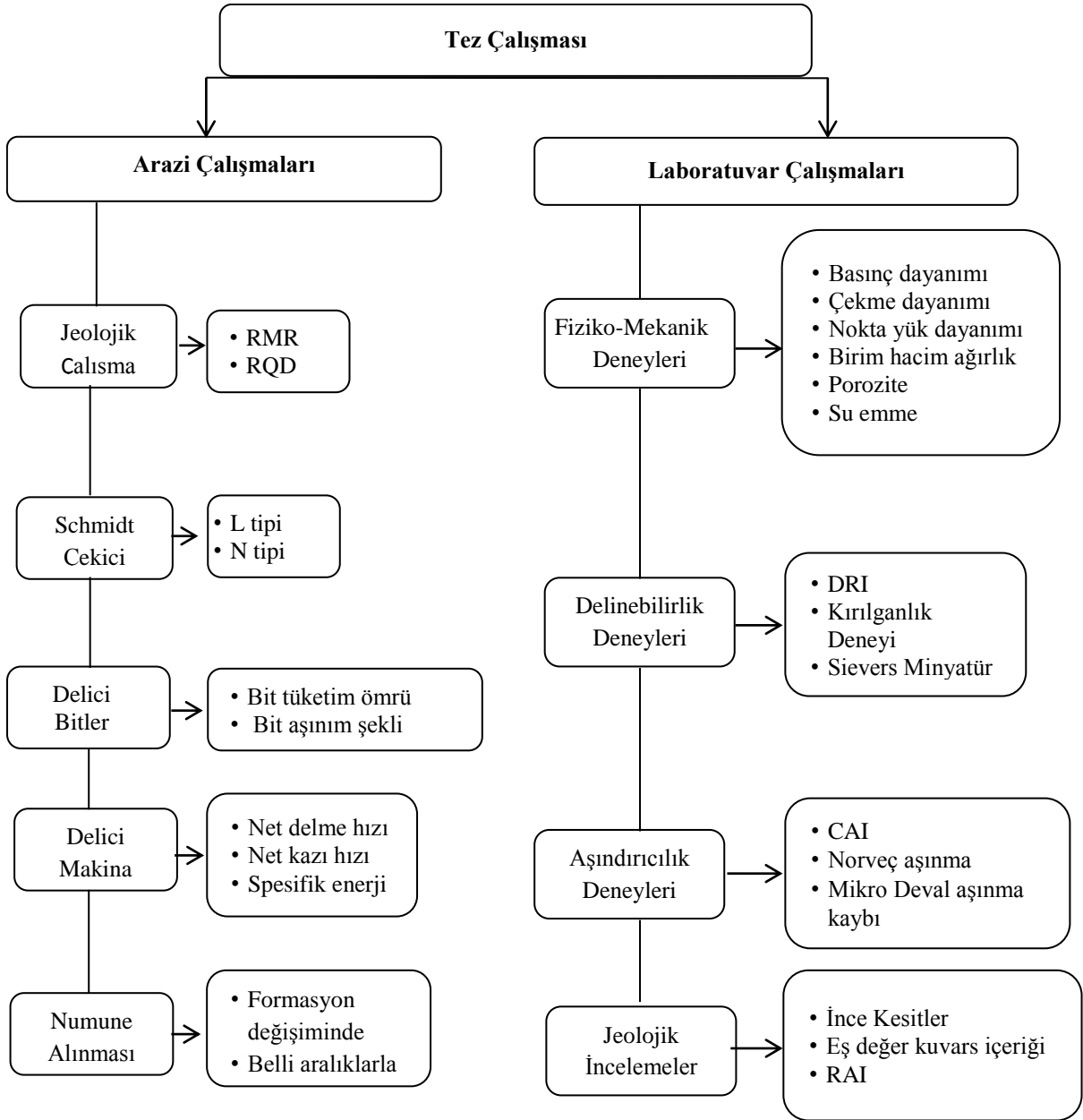
Kaya kütlelerinde hesaplanan RMR puanı tünelde kazı açıklığına göre kayanın desteksiz durma süresini veren ilişki Şekil 1.48'de görülmektedir. Yeraltı açıklığının desteksiz durma süresi tavan ve kazı açıklığının uzunluğuna bağlıdır. Desteksiz ayakta kalma süresi uzun olacağı tahmin edilen bir kaya kütlelerinin, uygulama sırasında açıklığın tavanının desteklenmesinde meydana gelebilecek bir gecikmenin bu süreyi azaltacağı dikkatte alınmalıdır. Kemer tipi bir açıklığın desteksiz durma süresi, düz tavanlı bir açıklığa göre daha fazladır (Bienawski, 1989; Singh ve Goel, 1999).



Şekil 1.48. RMR kaya kütleli sınıflarına göre tavan açıklığı ve desteksiz ayakta kalma süresi arasındaki ilişki (Bienawski, 1989).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, yapılan çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır. Daha sonra arazide ve laboratuvarında yapılan çalışmaların yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Tez çalışma plan şeması ve çalışmada gerçekleştirilen parametreler Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tez çalışma planı ve gerçekleştirilen parametreler

2.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Doğu Karadeniz Bölgesinde şimdiye kadar çok sayıda Hidroelektrik santral (HES) ve karayolları tünelleri açıldı, halen kazı ve planlama aşamasından olan bir çok tünel mevcuttur. Bu çalışmadaki amaç, Doğu Karadeniz Bölgesinde kazısı devam eden Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinin kayaç yapısını belirleyebilmek, kayacın delinebilirlik ve aşındırıcılık özelliklerini incelemek, bit ömürleri ve bit aşınma şekilleri ile Jumbo makinaların performansları ve spesifik enerji değerlerinin araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilecek veriler ile açılacak olan yeni tünel, galeri ve yeraltı kazılarına ışık tutacaktır.

Tez kapsamında; laboratuvar çalışmaları için Cankurtaran ve Salmankaş Karayolu tünellerinden alınan kayaç örnekleri üzerinde fiziko-mekanik özellikler, delinebilirlik, aşındırıcılık ve mineralojik petrografik özellikler araştırılmıştır.

Arazi çalışmaları için ise tünel kazı çalışmalarında kullanılan delici makina performansları, spesifik enerji değerleri, matkap ömürleri ve matkap aşınım şekilleri kaya sınıflama sistemleri ve kayacın yerinde dayanımı tespiti için Schmidt çekiçleri kullanılmıştır.

Gerçekleşen incelemeler ve araştırmalar sonucunda elde edilen deneyimlerin birleştirilmesi ile Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinin kayaç yapısı, delici makine performansları ve matkap ömürleri ve aşınım şekilleri belirlenmiştir. Bu sayede bölgede açılacak yeni tünellerin kazı çalışmalarında rol alan mühendislere ve işletme sahiplerine çalıştıkları sahaya göre uygun makine parametrelerin belirlenmesinde yararlı olacaktır. Bunlardan makinanın gücü ve makine tipi, makinanın çalışma süresi, bekleme süresine (arızalar-aksaklıklar) göre makina seçiminde ve matkap seçiminde kolaylıklar sağlayacaktır. Özellikle tünel, metro, alt yapı, galeri ve temel kazısı için kayaçların delinebilirliği, kayacın dayanımı, jeolojik özellikleri ve mineralojik petrografik özelliklerinin yerinde belirlenmesi hem makine performansını arttıracak, hem de hızlı ve ekonomik bir çalışma gerçekleşecektir.

Gelişen teknoloji ile birlikte yeraltı çalışmalarında mekanize kazı makinalarının kullanım yaygınlığının yanında bu makinaların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olduğuna dikkat etmek gerekmektedir. Kullanılacak ekipmanların çalışma koşullarının uygun seçilmesi hem makinanın performansını arttıracak, hem de hızlı ve ekonomik bir çalışma gerçekleşecektir.

2.2. Arazi Çalışmaları

2.2.1. Çalışma Alanları

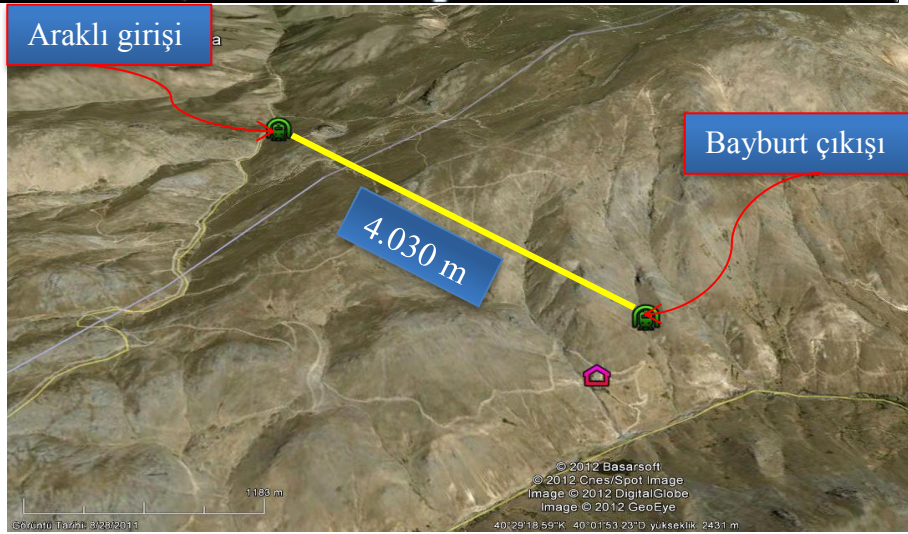
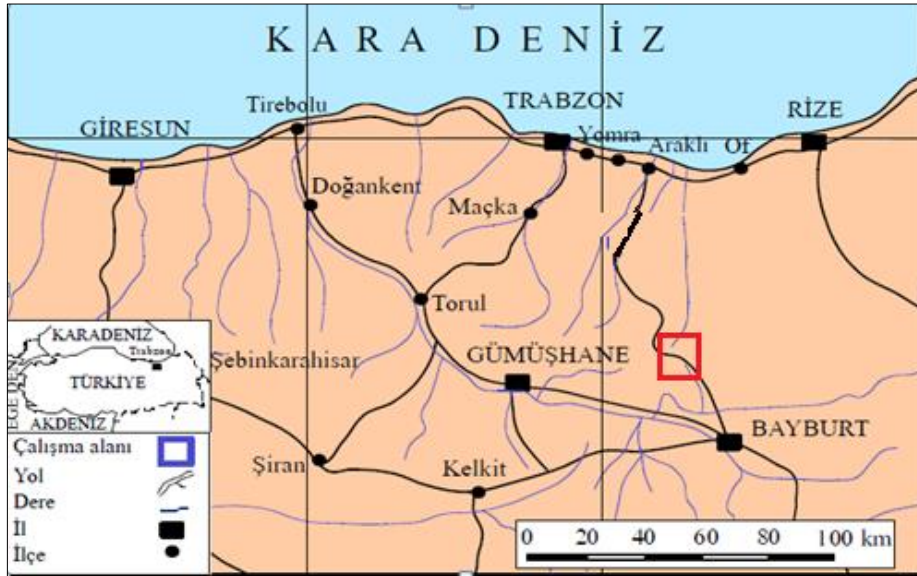
Çalışma Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Cankurtaran Tüneli Hopa-Borçka (Artvin) karayolu 7+980-13+208 km'leri arasında çift tüp olarak inşa edilmektedir. Yapımı tamamlamasıyla birlikte 5.288 m uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun tüneli olma özelliğini taşıyacaktır. Cankurtaran tüneline ait yer bulduru haritası Şekil 2.2'de ve sağ ve sol tüplerine ait görünüm Şekil 2.3.'de verilmiştir. Salmankaş Tüneli ise Trabzon Araklı ilçesi Dağbaşı- Uğrak yolu üzerinde, Araklı ile Bayburt arasında inşa edilen Salmankaş Geçidi Tüneli 36+121.97-40+151.67 km'leri arasında 4.030 metre uzunluğunda çift tüp olarak kazısı devam eden bir karayolu tüneldir. Salmankaş tüneline ait yer bulduru haritası Şekil 2.4'de ve tünelin portal görünümü Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Cankurtaran tüneline ait yer bulduru haritası



Şekil 2.3. Cankurtaran tüneli Hopa giriş tarafından bir görünüm



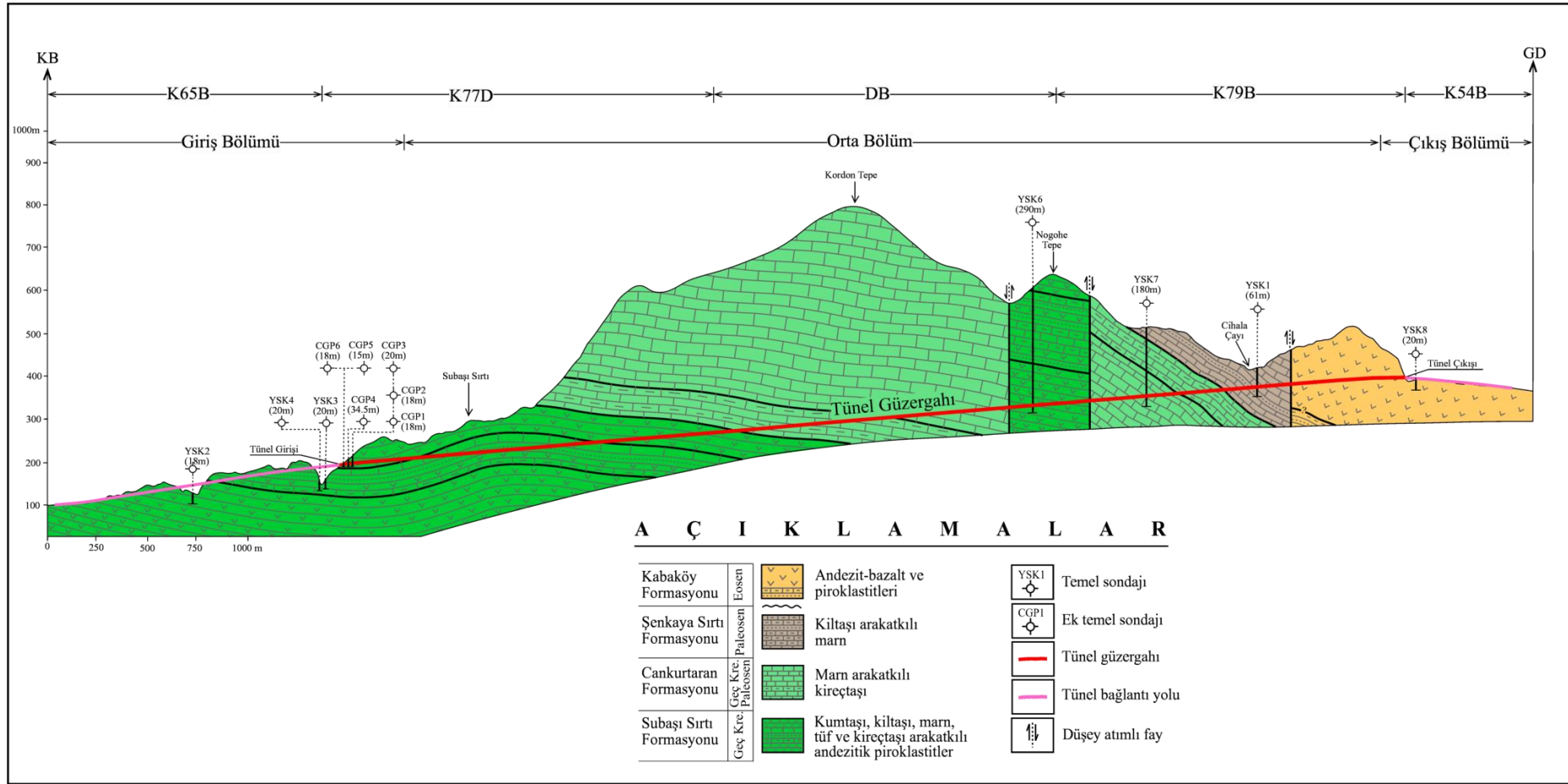
Şekil 2.4. Salimkaş tüneline ait yer buldurular haritası



Şekil 2.5. Salmankaş tüneli Bayburt çıkış tarafından bir görünüm

2.2.1.1. Cankurtaran Tünelinin Genel Jeolojisi

Cankurtaran tünel hattı boyunca 4 adet litolojik birim geçilmektedir. Bunlar; Subaşı Sırtı Formasyonu, Cankurtaran Formasyonu, Şenkaya formasyonu ve Kabaköy Formasyonu litolojik birimleridir. Cankurtaran formasyonuna ait marn ara katkılı kireçtaşları bu litolojik birimde oluşur. Şenkaya Sırtı Formasyonunda yer yer kil taşı ara katkılı marnlardan oluşmaktadır. Son olarak tünelin çıkış bölümünde yer alan Kabaköy Formasyonu bazaltlardan oluşan bir litolojik birimden oluşmaktadır. Tünel hattı boyunca geçilen bu formasyonların genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Çalışma alanı ve çevresine ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit Şekil 2.6'da ve jeolojik haritası Şekil 2.7'de, verilmiştir (Kaya, 2012).



Şekil 2.7. Cankurtaran Tünel güzergahındaki birimlerin birleştirilmiş jeoloji kesiti üzerindeki görünümü (Kaya, 2012).

2.2.1.1.1. Subaşı Sırtı Formasyonu

Formasyon tipik yüzeylemelerinin görüldüğü Subaşı Sırtı'ndan türetilmiştir. Birim, Cankurtaran Tüneli'nin giriş bölümünün yer aldığı Subaşı Köyü civarında genişçe yüzeyleme vermektedir. Formasyon, tabanda piroklastitlerle başlayıp kireçtaşı, marn, kumtaşı, tuf, silttaşı arakatkıları içeren ve tavana doğru tekrar piroklastit seviyesi ile son bulan bir volkano tortul istif özelliğindedir. Kalınlığı 600 m'ye varan bu birim, alttan Çağlayan Formasyonu, üstten Cankurtaran Formasyonu ile sınırlandırılmıştır. Taban ve tavan seviyesinde bulunan aglomera ve volkanik breşler genellikle yeşil, mavimsi yeşil ve koyu yeşil renkli olup, bordo ve yeşil renkli andezit ve bazalt çakıl ve blokları içeren sıkı matriksli piroklastitlerdir. Tabakalanması masif olup, zamanla tüfe geçişler (Kaya, 2012).

2.2.1.1.2. Cankurtaran Formasyonu

Formasyon tipik yüzeylemelerinin izlenebildiği Cankurtaran Yöresi'de türetilmiştir. Tabanda ve tavanda ince tabakalanmalı marn ara seviyeleri içeren formasyon, orta kısmında ise tamamen kireçtaşları ise aynı dönemde gelişme göstermişlerdir. Birim alttan Subaşı Sırtı Formasyonu, üstten ise Şenkaya Sırtı Formasyonu ile uyumlu olarak sınırlandırılmıştır. Yer yer kırıklı ve basit kıvrımlı yapılar gözlenmektedir. Kireçtaşları yeşilimsi gri, gri-bej ve kirli sarı renkli, çok sert ve konkoidal kırılmalıdır. İnce-orta tabakalanmalı olan kireçtaşları yer yer koyu gri, sarımsı yeşil ve gri renklidir. Genellikle çatlaklı olup, çatlaklar ikincil kalsitle ve kille dolguludur (Kaya, 2012).

2.2.1.1.3. Şenkaya Sırtı Formasyonu

Formasyon tipik yüzeylemelerinin izlendiği Şenkaya Sırtı civarında adlandırılmıştır. Cankurtaran Formasyonu ile net bir kontak oluşturan birimin üst sınırı, Kabaköy Formasyonu'nun tabanını oluşturmaktadır. Üst sınır arazinin örtülü olması nedeniyle hiçbir yerde net olarak izlenememektedir. Hakim litolojisini marnların oluşturduğu bu istif içinde marnlar genel olarak bordo, gri ve kirli sarı renkte olup, yer yer ince tabakalanmalı kırmızı ve gri renkli kireçtaşı ile ince orta tabakalanmalı kilitaşı ara seviyeleri içermektedir. Yumuşak bir morfoloji sunan bu istif içinde kireçtaşı ara seviyeleri daha keskin hatlarla kendilerini belli etmektedir. Az miktardaki bu kireçtaşı ve kilitaşı ara seviyeleri dışında

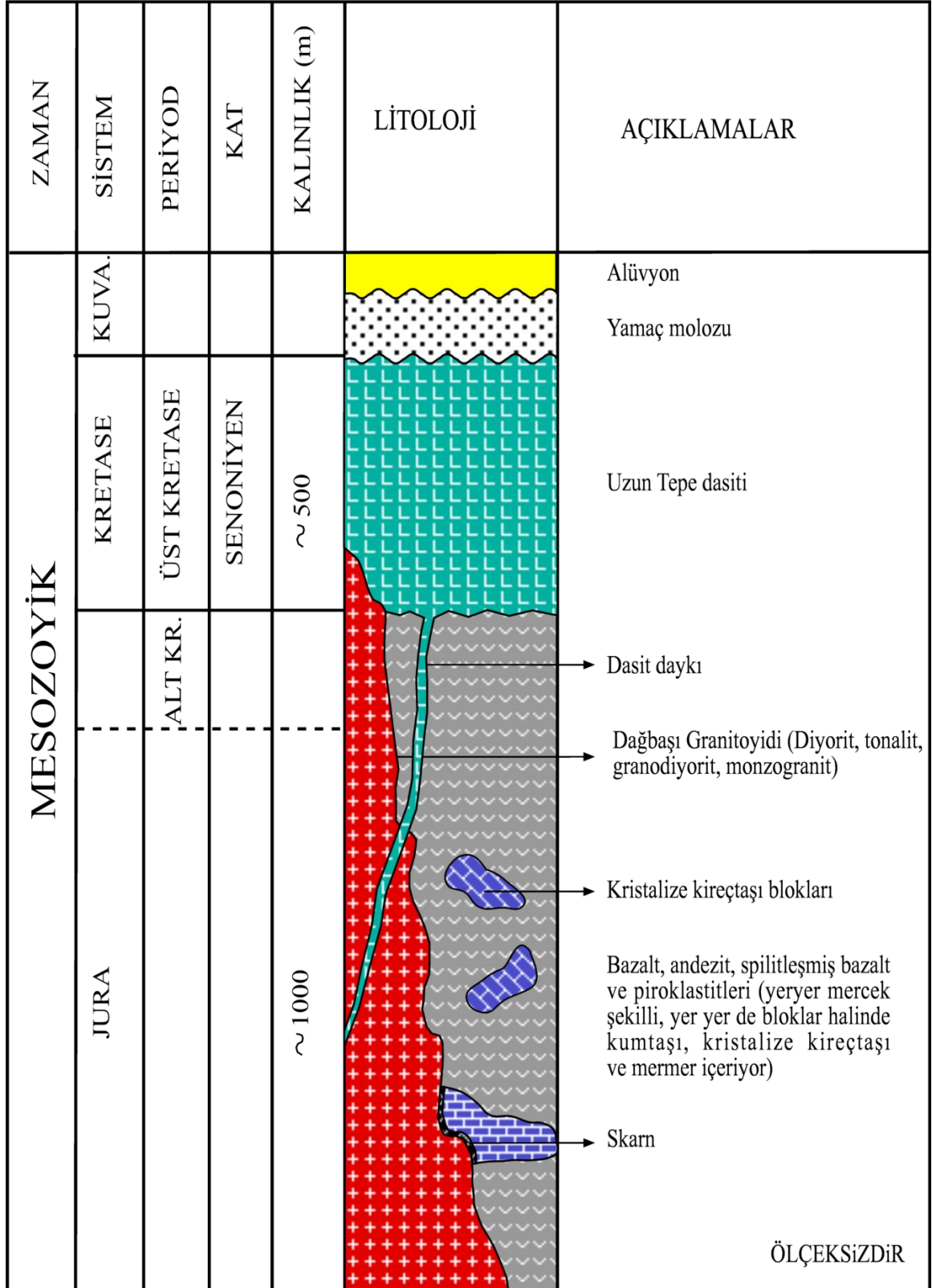
formasyon tek düze bir marn istifli şeklindedir. Kaya (2012) marn üzerinde yatığı mikroskobik incelemede çimentonun karbonat, kil ve demiroksitten oluştuğu, yoğun olarak köşeli kuvars ve feldspat mineralleri ile ince-uzun latalar halinde hornblend kristalleri, köşeli ve yuvarlak taneler halinde opak mineraller, az oranda ise küçük biyotit pulcukları içerdiği belirtmiştir.

2.2.1.1.4. Kabaköy Formasyonu

Formasyon Tipik olarak genellikle kırıntılı çökellerle başlayıp üste doğru volkanik karakterde olan birim, Kabaköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Cankurtaran Tüneli çıkış bölümünün de içinde yer aldığı Çifte köprü Yöresi'nde genişçe yayılımlar gösteren andezit ve bazalttan oluşan birim oluşturmaktadır. Paleosen yaşlı birimlerin üzerine taban konglomerası ile açılal uyumsuzlukla gelen formasyon, tabanda kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn tabakaları içeren andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. Formasyonun tabanındaki tortul seviye Cankurtaran Tüneli'nin çıkış bölümünde gözlenemediğinden, Şenkaya Sırtı Formasyonu ile Kabaköy Formasyonu arasındaki sınırın bu alanda faylı olduğu düşünülmektedir.

2.2.1.2. Salmankaş Tünelinin Genel Jeolojisi

İnceleme alanını büyük bir bölümünde yüzeyleme veren birim bazalt, andezit, spilitleşmiş bazalt ve bunların piroklastitleri ile yer yer mercek, yer yer de bloklar halinde kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu birim ve üzerine gelen masif kireçtaşları "Alt Bazik Seri" bazı araştırmacılarda aynı seriyi "Pontid Alt Bazik Karmaşığı" olarak isimlendirmiştir. Pontidler'de (Doğu Karadeniz Dağ Kuşağı'nda) geniş yayılım gösteren ve Alt Bazik Seri olarak bilinen birim yaşlı birimini oluşturmaktadır. Birim inceleme alanının büyük bir kısmında yüzeylemektedir. Birim renkleri açık yeşilden koyu yeşile, griden siyaha doğru değişmektedir. Çalışma alanı kayaçların stratigrafik dizilimi ve litolojisi aşağıda Şekil 2.8'de verilmiştir (Aydınçakır, 2006; Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012).



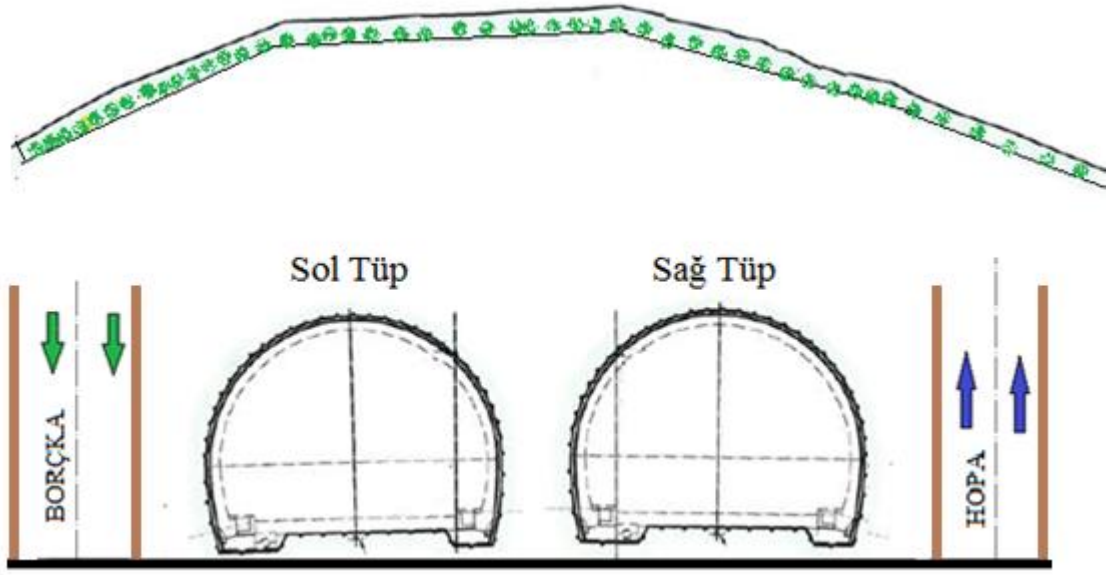
Şekil 2.8. Dağbaşı Yöresi ve çevresine ait stratigrafik kolon kesit (Aydınçakır, 2006).

Ayrıca inceleme alanı Dağbaşı (Araklı-Trabzon) beldesi ve yakın civarında, volkanik ve plütonik kayaçların egemen olduğu, yaklaşık 50 km²'lik bir alandan oluşur. Bu alanda yüzeyleyen kayaçlar Jura'dan Kuvaterner'e kadar uzanan geniş bir süreçte gelişmişlerdir. İnceleme alanının büyük bir bölümünde yüzeyleme veren tabandaki Liyas volkanitleri, bazalt, andezit, spilitik bazalt ve bunların piroklastikleri ile yer yer mercek yer yer de bloklar halinde kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Çalışma alanında yüzeyleme veren kayaçların yaşlıdan aşağıdaki şekilde verilmiştir Aydınçakır, 2006; Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012).

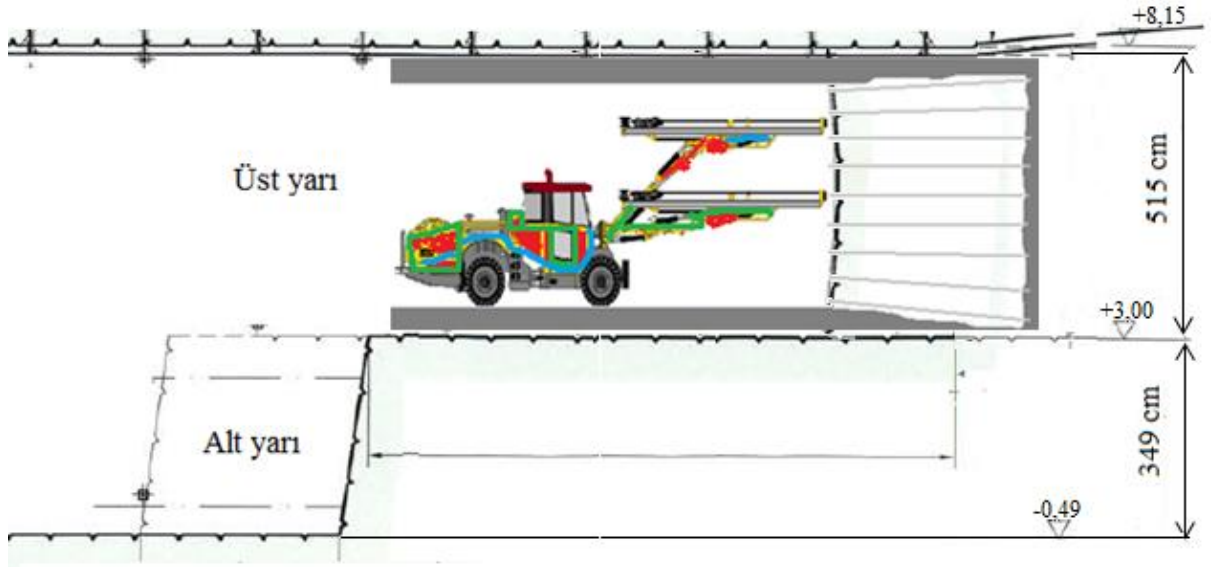
- Alüvyon (Kuvaterner)
- Yamaç Molozu (Kuvaterner)
- Uzun Tepe Dasiti (Üst Kretase)
- Dağbaşı Granitoyidi (Üst Kretase)
- Bazalt, Andezit, Spilitik Bazalt ve Piroklastikleri (Jura-Alt Kretase)

2.2.2. Tünellerde Kazı Çalışmaları

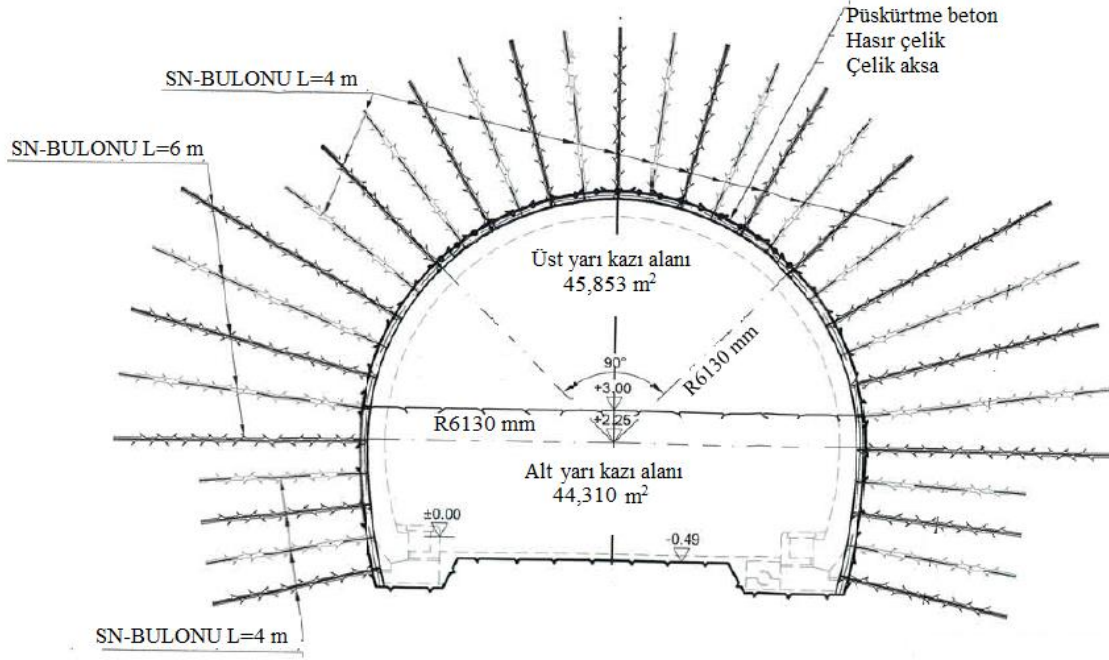
Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kazı işlemi, üst yarı ve alt yarı olmak üzere iki kademe de gerçekleştirilmektedir. Arazide yapılan tüm çalışmalar da tünelin üst yarı kazısı takip edilmiştir. Çalışmalarda çift tüp olarak inşa edilen Cankurtaran tüneline sağ tüp ve sol tüp takip edilmiştir. Cankurtaran tüneli giriş (Hopa) tarafından sağ tüp ve sol tüp hat eksenlerinin şematik bir görünümü Şekil 2.9'da verilmiştir. Alt yarı ve üst yarı olarak kazı işleri yapılan Cankurtaran tünelinin, B3 kaya sınıfına ait kazı kademeleri Şekil 2.10'da verilmiştir. Ayrıca B3 kaya sınıfındaki alt yarı ve üst yarı kazı alanları Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Cankurtaran tüneli tüpleri Hopa girişi

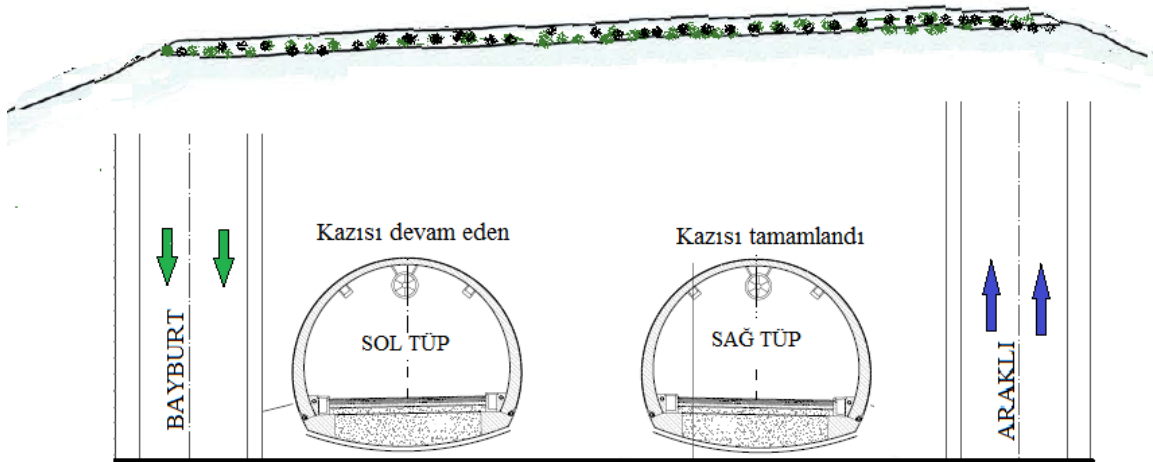


Şekil 2.10. Cankurtaran tüneli B3 kaya sınıfı kazı aşaması

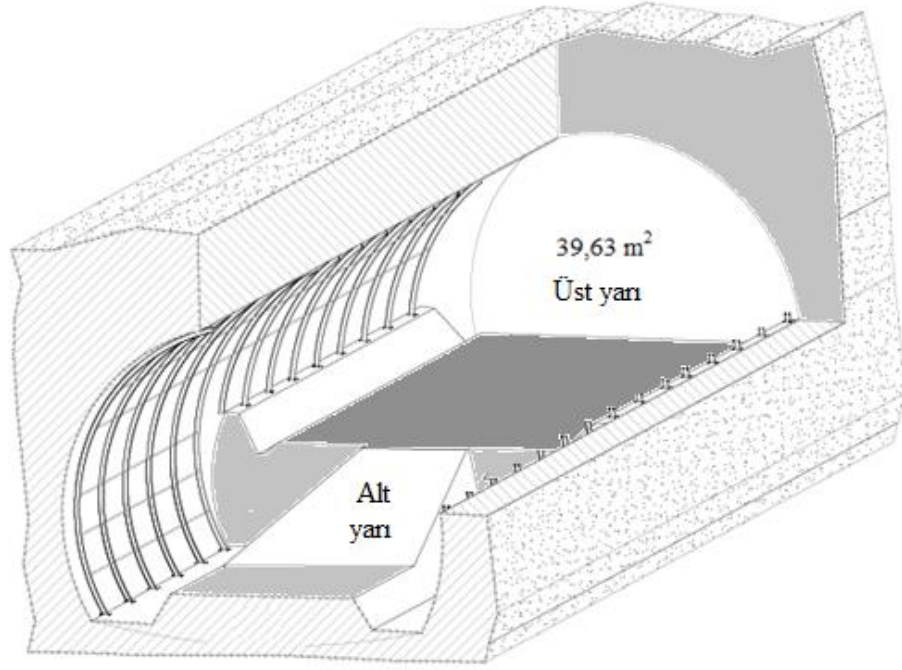


Şekil 2.11. Cankurtaran tüneli B3 kaya sınıfı kazı alanı ve tahkimatı

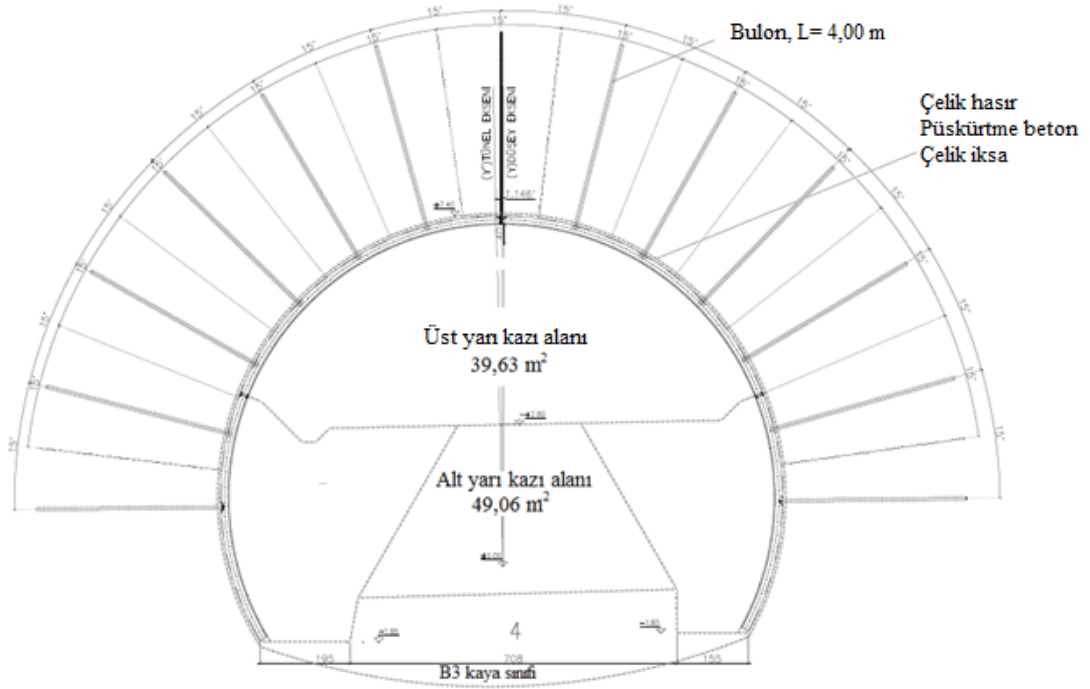
Salmankaş tüneli çift tüp olarak inşa edilmektedir. Sağ tüp kazı işlemleri bittikten sonra sol tüp kazı işlemi başlatılmıştır. Dolayısıyla çalışmalarda sadece sağ tüp kazısı takip edilmiştir. Salmankaş tüneli giriş (Araklı) tarafından sağ ve sol tüpleri hat eksenlerin şematik bir görünümü Şekil 2.12’de verilmiştir. Alt yarı ve üst yarı olarak kazı işleri yapılan Salmankaş tünelinin, B3 kaya sınıfına ait kazı kademeleri Şekil 2.13’da verilmiştir. Ayrıca B3 kaya sınıfındaki alt yarı ve üst yarı kazı alanları Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Salmankaş tüneli giriş tüpleri hat eksenleri (Araklı girişi)



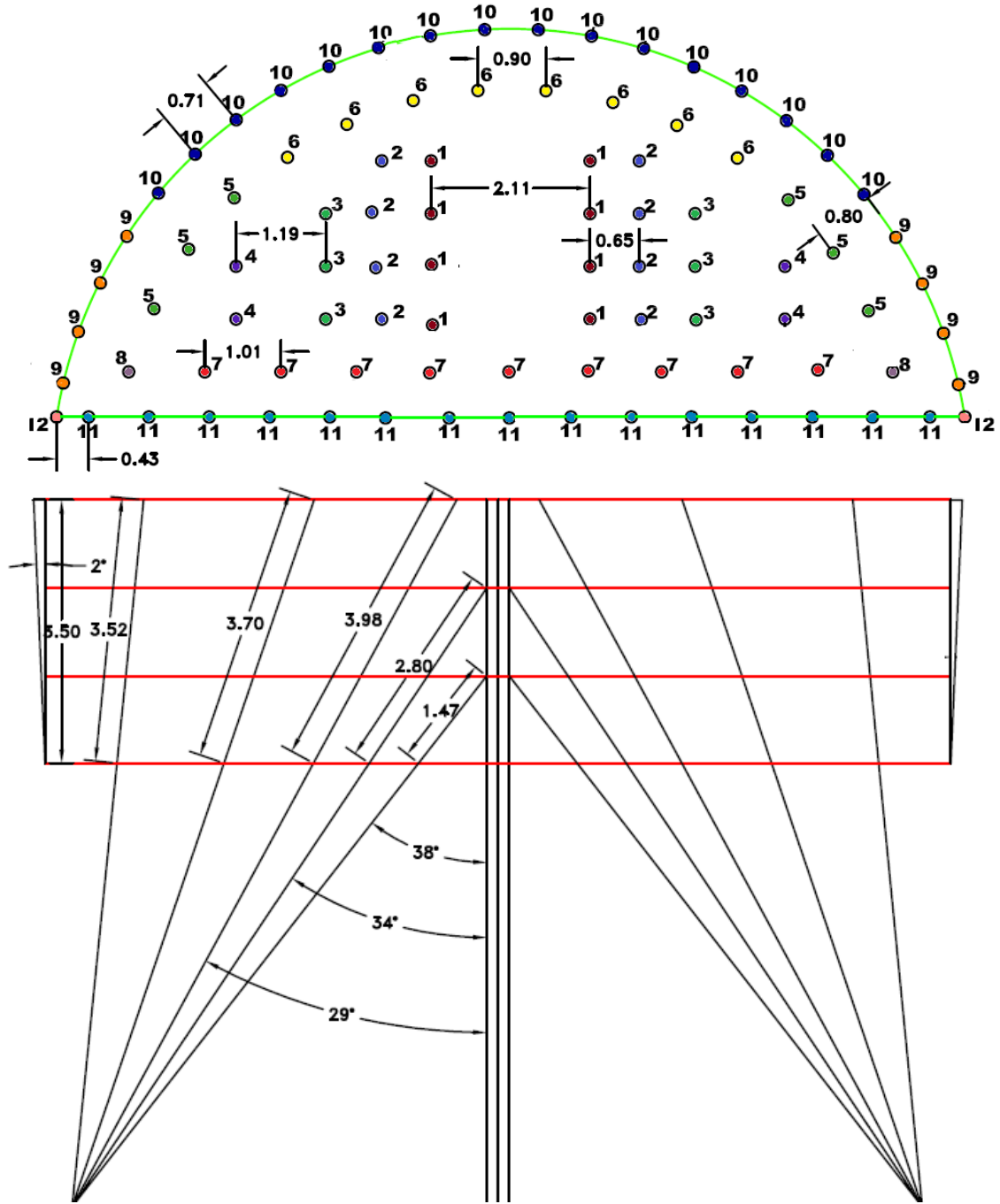
Şekil 2.13. Salmankaş tüneli B3 kaya sınıfı kazı kademeleri



Şekil 2.14. Salmankaş tüneli kazı hattına göre kazı alanı (B3 kaya Klası)

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kazı işlemi delme patlatma yöntemi ile gerçekleştirilmekte ve uygulanan delik delme dizaynı V Cut yöntemidir. Bu yöntem delme

patlatmalı tünellerde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. V Cut (orta çekme veya göbek çekme) yöntemi olarak da bilinir. Bu yöntemle deliklerin istenilen doğrultuda delinmesi önemlidir. Deliklerde yanlış nişanlama veya doğrultuyu tutturamama gibi sorunlar olursa patlatma verimi düşük olur. Cankurtaran tüneline üst yarı kazısında uygulanan V Cut yöntemi Şekil 2.15’de verilmiştir.



2.3. RMR (Kaya Kütle Puanlaması) Sınıflama Sistemi

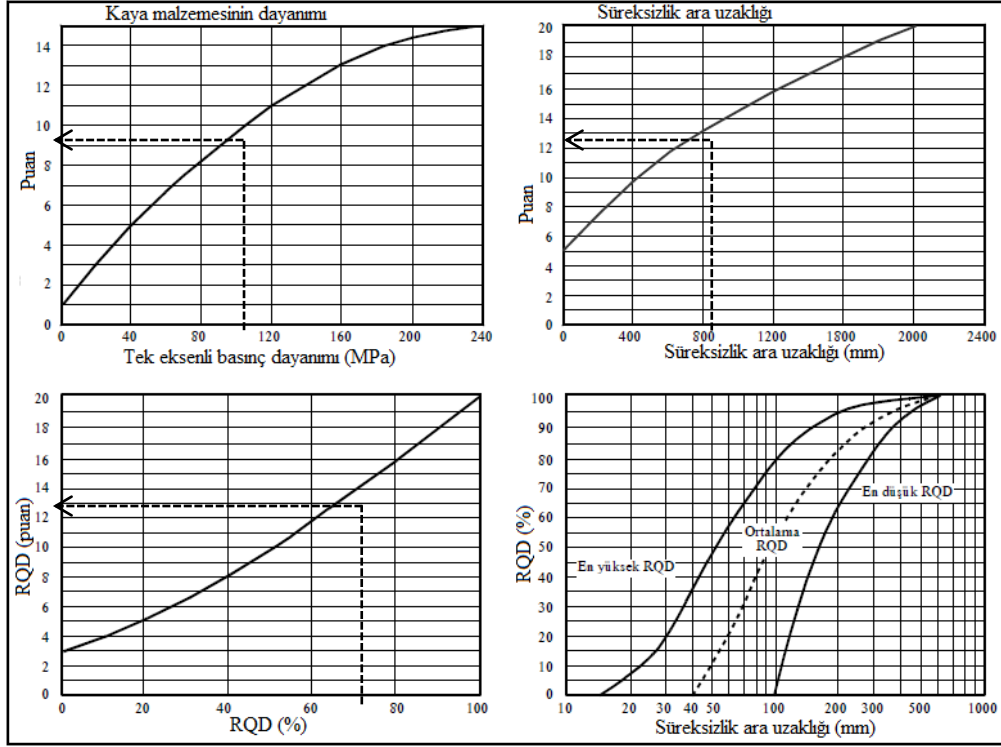
RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıdaki özellikler kullanılmaktadır.

- Kaya malzemesinin nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı
- Kaya kalitesi göstergesi (RQD)
- Süreksizlik ara uzaklığı
- Süreksizliklerin durumu (Devamlılık, açıklıklık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma)
- Süreksizliklerin yönelimi
- Yeraltı suyu koşulları

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinin jeoteknik birimi temsil edecek şekilde farklı zamanlarda ölçümler alınmıştır. Cankurtaran tüneli giriş tüpleri, çıkış tüpleri ve Salmankaş tüneli kazı aynalarından alınan ölçümler Tablo 2.1’de verilen puanlama sistemini kullanarak temel RMR sistemi sınıflanmıştır. RQD, süreksizlik ara uzaklığı ve laboratuvaradan elde edilen tek eksenli basınç dayanımı parametrelerine ait puanlar ise Şekil 2.16’da verilen grafikler yardımıyla belirlenmiştir.

Tablo 2.1. RMR kaya kütle sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989).

1	Kayaç malzemesinin dayanımı (MPa)	Nokta yük indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için dayanım	
		Tek eksenli basınç dayanımı	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5 <1
	Puan		15	12	7	4	2	1 0
2	Kayaç kalite göstergesi, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25	
	Puan		20	17	13	8	3	
3	Süreksizlik sıklığı (cm)		>200	60-200	20-60	20-6	<6	
	Puan		20	15	10	8	5	
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20	
		Puan	6	4	2	1	0	
		Açıklık (mm)	Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5	
		Puan	6	5	4	1	0	
		Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan	
		Puan	6	5	3	1	0	
		Dolgu	Yok	Sert <5mm	Sert >5 mm	Yumuşak <5 mm	Yumuşak >5 mm	
		Puan	6	4	2	2	0	
		Bozunma	Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş	
		Puan	6	5	3	1	0	
5	Yer altı suyu (lt/dk)	10 m’lik kısımda gelen su	Yok	10lt/dk	25lt/dk	25-125lt/dk	>125lt/dk	
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı	
		Puan	15	10	7	4	0	
Toplam puan			100	77	51	30		



Şekil 2.16. RMR sisteminin son versiyonundaki parametrelerine ait puanlama grafikleri (Bieniawski, 1989).

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinin RMR kaya kütle sistemini oluşturan süreksizliklerin özelliklerini belirlemek için kazı aynalarından, hat etüdü yöntemiyle süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. Süreksizlik özellikleri kazı aynasının üst yarısının da aynaya paralel olacak şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümün yapıldığı 11 metrelik kazı hattı boyunca, hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizliklerin özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler, saha genelinde kaya kütle koşullarının karşılaştırılması veya kaya kütle kalitesi değerini belirlemektedir. Kaya kütle sınıfı, RMR puanına göre sınıfı Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski,1989).

Sınıf No	Kaya kütle tanımı	RMR puan
I	Çok iyi	100-81
II	İyi	80-61
III	Orta	60-41
IV	Zayıf	40-21
V	Çok zayıf	20-0

2.3.1. Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinin jeoteknik birimi temsil edecek RQD değeri için farklı zamanlarda tünellerin kazı aynasından alınan ölçümlerle hesaplanmıştır. Bu çalışmada, ölçüm hattı boyunca birbirine dik yönde yapılan ölçümlerle belirlenen süreksizlik sıklığı (λ) değerlerinden yararlanılarak jeoteknik birimler için RQD değerleri hesaplanmıştır. İnceleme alanında düzensiz süreksizliklerin gelişmiş olması nedeniyle RQD'yi belirlemek için Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen eşitlikten yararlanılmıştır. Deere, (1964) tarafından önerilen RQD'ye dayalı kaya kalitesi sınıflaması Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. RQD kaya kalite sınıflaması (Deere, 1964).

Sınıf No	Kaya kalitesi	RQD, %
I	Çok düşük	0-25
II	Düşük	25-50
III	Orta	50-75
IV	İyi	75-90
V	Çok iyi	90-100

Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kazı aşamasında olduğundan RMR, RQD ve Schmidt ölçümleri tünel aynasında emniyet betonu atılmadan önce alınmıştır. Arazide alınan ölçümler sonucunda RQD değeri aşağıdaki verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (1 + 0.1\lambda) \quad (2.1)$$

Burada;

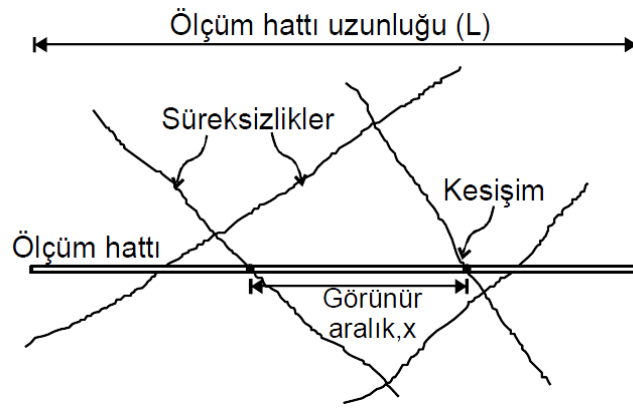
λ : 1 metredeki süreksizlik sayısı,

2.3.2. Süreksizlik Aralığı ve Eklem Sıklığı

Süreksizlik aralığı bir süreksizlik setindeki iki süreksizlik arasındaki dik mesafe olarak tanımlanmakta ve ayrıca komşu iki süreksizlik arasındaki mesafe blokların boyutlarını da belirlemektedir. Süreksizlik aralığı azaldıkça duraylılık azalır. Yani ölçülebilirliğin kolaylığı ve kaya kütlelerinin dayanımını denetleyen önemli parametrelerden biri olması sebebiyle önem arz etmektedir. Bazı durumlarda yakın aralıklı süreksizlikler kaya

kütlesinde oluşacak kaymanın dairesel kayma şeklinde olmasına neden olur. Bunun yanında kütlenin stabilitesini kaybetmesi akma şeklinde de gerçekleşebilir. Süreksizlik aralıklarının azalması çatlak takımlarının yönelimlerinin önemini azaltmaktadır (ISRM, 1981). Tüm bunlar süreksizlik aralığı parametresinin kaya kütlesinin dayanımı üzerindeki önemini göstermektedir.

Ortalama süreksizlik aralığı veya bir metredeki süreksizliklerin veya eklemlerin sayısı olarak tanımlanan “süreksizlik sıklığı”dır. Süreksizlik sıklığı; belirli bir uzunluk boyunca sayılan toplam süreksizlik sayısının o uzunluğa bölünmesidir (Şekil 2.17). Süreksizlik aralığı ve sıklığı sınıflamaları Tablo 2.4’de verilmiştir (Ulusay, 2010).



Şekil 2.17. Hat boyunca ortalama süreksizlik aralığı ve sıklığının tayini (ISRM, 1981).

Tablo 2.4. Süreksizlik aralığı ve sıklığı sınıfları (Ulusay, 2010).

Kaya kütle tanımı	Ort. Süreksizlik aralığı (m) \bar{X}	Ort. Süreksizlik sıklığı, λ (m^{-1})
Masif	$\bar{X} > 1$	< 1
Az çatlaklı-kırıklı	$0.3 < \bar{X} < 1$	1-3
Kırıklı	$0.1 < \bar{X} < 0.3$	3-10
Çok çatlaklı-kırıklı	$0.02 < \bar{X} < 0.1$	10-50
Parçalanmış	$\bar{X} < 0.02$	> 50

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinden alınan ölçümlerden ortalama süreksizlik aralığı (\bar{X}) ve süreksizlik sıklığı (1 metredeki süreksizlik sayısı, λ) aşağıdaki verilen eşitliklerden yararlanarak hesaplanmıştır.

Ortalama süreksizlik (eklem) aralığı:

$$\bar{X} = \frac{L}{N} \quad (2.2)$$

Süreksizlik sıklığı;

$$\lambda = \frac{N}{L} \quad (2.3)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.4)$$

$$\lambda = \frac{1}{\bar{X}} \quad (2.5)$$

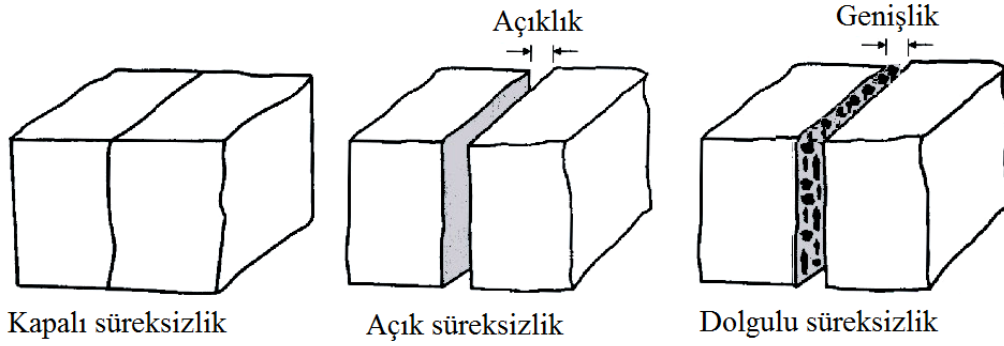
Burada;

N: Ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısı

L: Ölçüm hattının uzunluğu (m)

2.3.3. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı

Süreksizlik açıklığı birbirine komşu iki süreksizlik yüzeyi arasındaki dik mesafe olarak tanımlanır (Şekil 2.18). Bu açıklık kapalı, dolgulu ve boş olabileceği gibi bazen su tarafında doldurulmuş olabilir. Süreksizlikler çok düz yüzeylere sahip olmadıkları sürece 0.1-1 mm genişliğindeki açıklıkların süreksizliklerin makaslama dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmamaktadır. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler Tablo 2.5’de verilmiştir. Özellikle yeraltı açıklıklarda açıklık parametresi, kaya kütlelerinin gevşemesi ve sıvıları iletme kapasitesi açısından da büyük önem taşır. Çünkü süreksizlikler boyunca gelişen su basıncı, su girişi ve akışı büyük ölçüde açıklık parametresi tarafından denetlenir. Açıklığın ölçülmesinde en basit ve pratik ölçüm bir şerit metre veya mikrometre ile yapılmaktadır (Ulusay, 2010). Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde uygulanan süreksizlik yüzey açıklığı ölçüm yöntemi olarak dolgulu açıklıkta dolgu malzemesinin genişliği ölçülerek belirlenmiştir. Açıklık parametresi değerlendirilirken, süreksizlik seti için ortalama açıklık değeri belirlenmiştir. Şekil 2.19’da Salmankaş tüneli kazı aynasındaki süreksizlik açıklığı, ve süreksizlik aralığı gösterilmiştir.



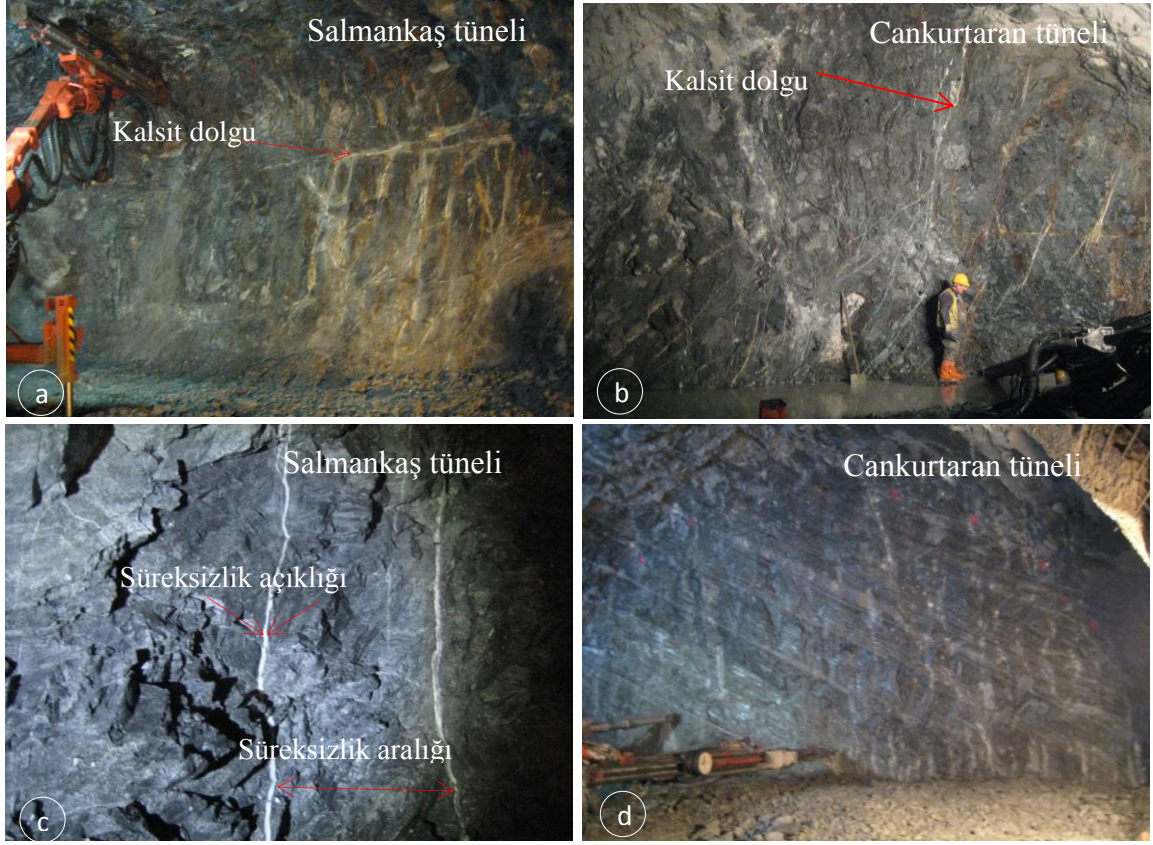
Şekil 2.18. Süreksizliklerin iki yüzeyi arasındaki açıklığı tanımlayan blok diyagramlar (ISRM, 2007)

Tablo 2.5. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 2007).

Süreksizlik açıklığı (mm)	Tanımlama
<0.1	Çok sıkı
0.1-0.25	Sıkı
0.25-0.5	Kesmen sıkı
0.5-2.5	Açık
2.5-10	Orta derecede geniş
>10	Geniş
10-100	Çok geniş
100-1000	Aşırı geniş
1000	Boşluklu

2.3.4. Süreksizliklerde Dolgu Malzemesi

Dolgu malzemeleri kum, silt, kil, breş, ve milonit olup bunların yanı sıra kuvars, kalsit gibi minerallerden oluşan damarlarda dolgu malzemesidir. Dolgu malzemesi süreksizlikler boyunca kaymaya karşı bir direnç sağlar. Bu nedenle dolgu malzemesinin türü, kalınlığı, bozunma derecesi ve mineralojisi dayanım üzerinde etki sağlamaktadır. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde süreksizliklerde bulunan dolgu türü genelde kalsit ve az da olsa kil dolgu varlıkları gözlenmiştir. Dolgu genişliği genelde 0.1-1 ve 1-5 mm arasında değişen ve bazen de 5mm'den büyük sert kalsit dolgunun varlığı gözlenmiştir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Salmankaş ve Cankurtaran tünelleri, a) Salmankaş tüneli kalsit dolgu, b) Cankurtaran tüneli kalsit dolgu, c) Salmankaş tüneli süreksizlik açıklığı ve süreksizlik aralığı, d) Cankurtaran tüneli

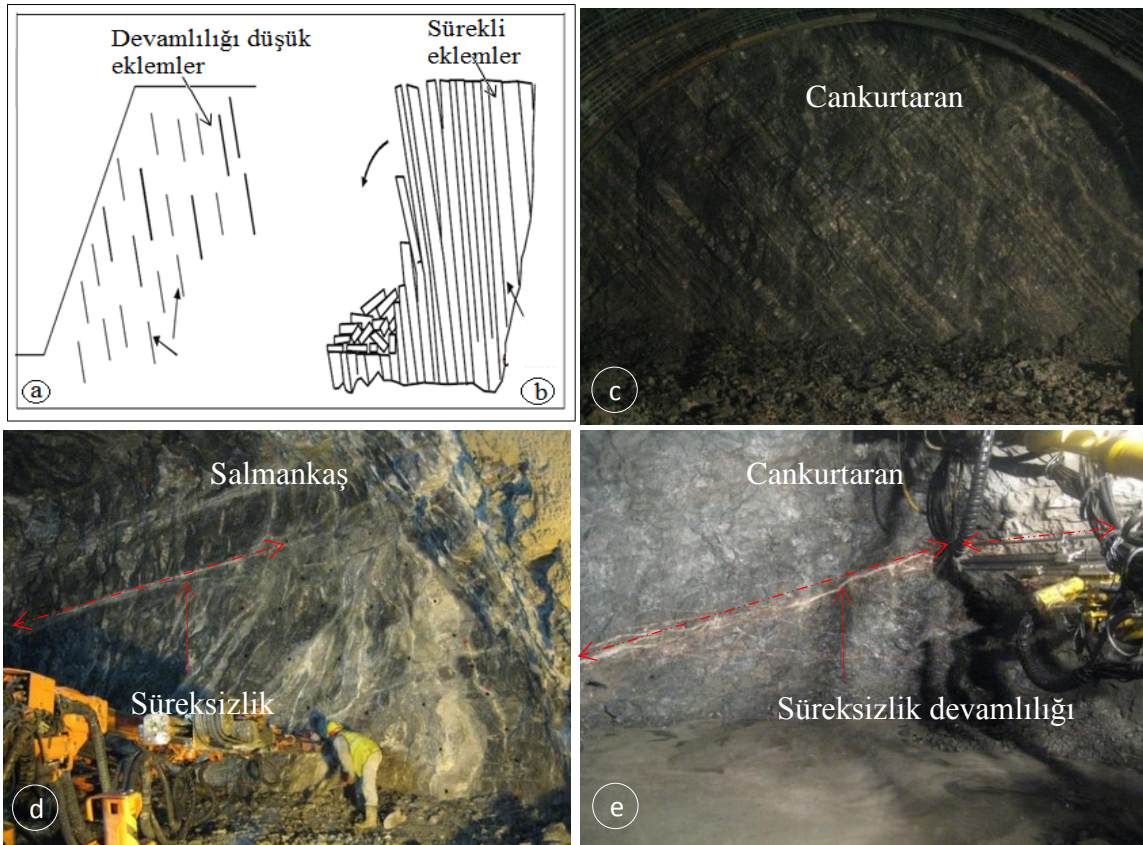
2.3.5. Süreksizliklerin Devamlılığı

Kaya düzlemlerinde süreksizlik izinde gözlenen uzunluk devamlılık olarak tanımlanır. Süreksizliğin devamlılığı onun sürekliliğinin ölçülmesi ile elde edilir ve kaya mostrasından veya tünel aynasından gözlemlenmesi suretiyle tayin edilir. Ancak yerinde yapılan ölçümde bir takım zorluklar sebebiyle ölçümü zor olan bir parametredir. Çünkü süreksizlik düzlemleri kaya kütlelerinde sonsuz bir devamlılığa sahip değildir. En yüksek devamlılığa sahip tabakalanma düzlemleri bile havza kenarlarında sonlanır. Ayrıca, süreksizlik devamlılığı duraylılığı etkileyen önemli bir parametredir. Devamlılığın artması, kazı duraylılığı üzerinde daha olumsuz bir etki yapmaktadır. Bir süreksizliğin kaya malzemesi içinde son bulması veya diğer süreksizlikler tarafından kesilmesi, devamlılığı azaltan faktörlerdir. Süreksizlik devamlılığı Tablo 2.6'de verilen ölçütlere göre tanımlanır (Ulusay ve Sönmez, 2002; ISRM, 2007; Ulusay, 2010). Cankurtaran tüneli kazı aynalarında alınan süreksizlik devamlılık ölçümlerinde tabaka türü süreksizliklerin 10-20

ve >20 m arasında değişen ve ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine göre sırasıyla yüksek devamlılık ve çok yüksek devamlılık türünde olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.20). Salmankaş tüneli kazı aynalarında ise süreksizliklerin ise 1-3 ve 3-10 m arasında değişen ve ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine göre sırasıyla düşük devamlılık ve orta derecede devamlılık olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2.6. Süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007).

Süreksizlik izin ölçülen zunluğu	Tanımlama
<1 m	Çok düşük devamlılık
1-3 m	Düşük devamlılık
3-10 m	Orta devamlılık
10-20 m	Yüksek devamlılık
>20 m	Çok yüksek devamlılık



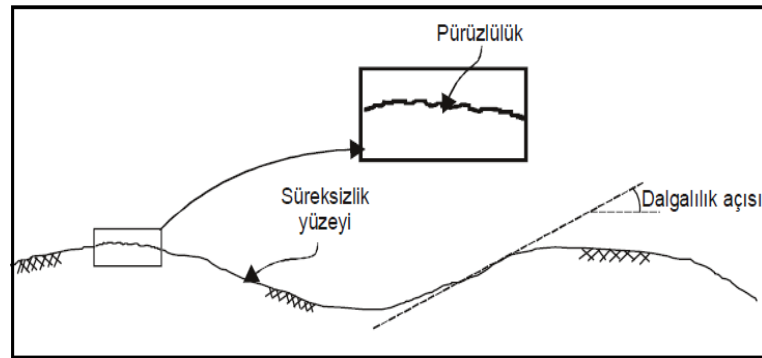
Şekil 2.20. Süreksizliklerin devamlılığı a) devamlılığı düşük süreksizlikler, b) devamlılığı yüksek süreksizlikler (Ulusay ve Sönmez, 2002) c) Cankurtaran tüneli aynası, d) Salmankaş tüneli süreksizlik devamlılığı, e) Cankurtaran tüneli süreksizlik aynası

2.3.6. Süreksizliklerde Pürüzlülük ve Dalgalık

Pürüzlülük ve dalgalık, bir süreksizlik yüzeyinin düzlemsellikten sapmasının ölçüsüdür. Bu özellikler kayanın makaslama dayanımı üzerinde etkin rol oynar. Süreksizliklerde küçük ölçeklerdeki düzlemsellikten sapmalar pürüzlülük olarak tanımlanırken daha büyük ölçekteki salınımlara dalgalık denilmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, pürüzlülük ile kesme dayanımı arasında önemli ilişkiler bulunmaktadır. Pürüzlülük küçük ölçekteki kayanın laboratuvar deneyi sırasında bulunacak olan kesme dayanımı değeri üzerinde etkili iken, dalgalık kesme deformasyonunun yönü üzerinde etkili olmaktadır (ISRM, 1981). Pürüzlülüğün önemi artan dolgu kalınlığı veya açıklık miktarına bağlı olarak azalmaktadır (Ulusay ve Sönmez, 2002). Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün ve dalgalılığının ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirme sınıfı Tablo 2.7’de ve süreksizlik yüzeyi dalgalık açısını ve pürüzlülük görünümü Şekil 2.21’de gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün ve dalgalılığının ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Pürüzlülük	Sınıf	Dalgalık	Sınıf
Kaygan-parlak	1	Düzlemsel	1
Düz	2	Az dalgalı	2
Pürüzlü	3	Dalgalı	3
Çıkıntılı	4	Kavisli	4
Basamaklı	5	Kıvrımlı	5



Şekil 2.21. Süreksizlik yüzeylerinde dalgalık ve pürüzlülük (ISRM, 1981).

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait pürüzlülük ve dalgalılık parametreleri belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemlerden yararlanılmıştır. Tünel aynalarına ait ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine göre eklem türü süreksizliklere ait yüzeylerin pürüzlülük ve dalgalılık ölçümleri sırasıyla pürüzlü ve dalgalı olduğu belirlenmiştir.

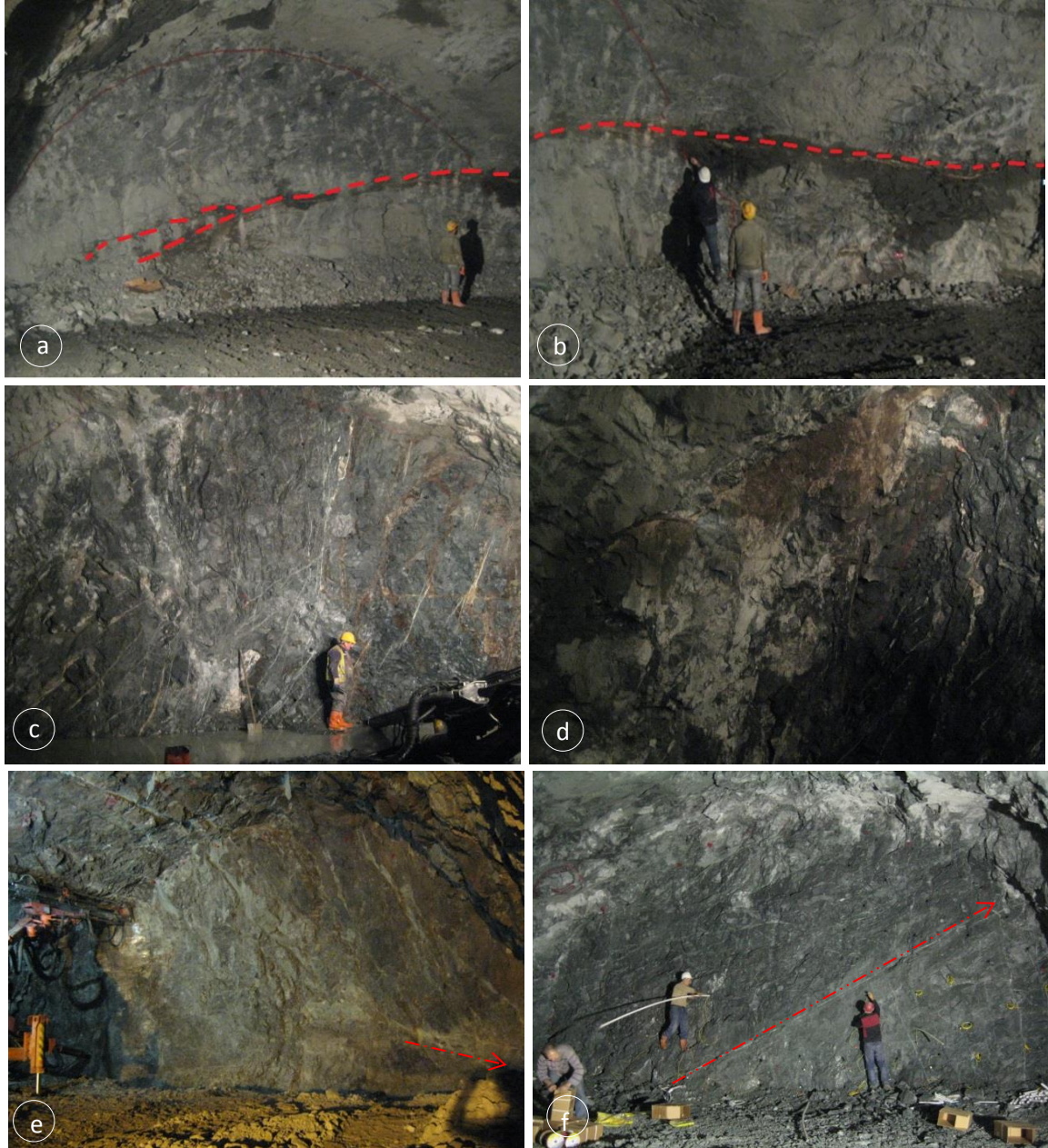
2.3.7. Süreksizliklerde Bozunma Derecesi

Bozunma derecesi arazi çalışmalarında, bozunma sınıflaması ölçütleri ile kolaylıkla belirlenebilen bir sınıflamadır. Genel olarak kayaç aşınmasında fiziksel (mekanik) ve kimyasal faktörler etkirler. Fiziksel bozunma faktörü, süreksizliklerin açıklıkları boyunca meydana gelir ve kayacın parçalanması sonucu komşu mineral tanelerinde dilinim ve kırıkların gelişerek yeni mikro süreksizliklerin oluşturması şeklinde olur. Kimyasal bozunma faktörü ise, kayaçlarda renk değişimi ve özellikle silikat minerallerinin kil minerallerine dönüşmesiyle sonuçlanmaktadır. Ayrıca kimyasal bozunma sonucunda karbonat ve tuz minerallerinin çözünmesi de görülen bir etkendir. Arazi çalışmaları sırasında kaya kütlesi ve kayaç malzemesi için pratik olarak kullanılabilir bozunma sınıflaması ölçütleri tanımlama dereceleri Tablo 2.8’de verilmiştir (ISRM, 1981; Ulusay ve Sönmez, 2002). ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine göre Cankurtaran ve Salmankaş Tünelleri kazı aynalarında belirlenen süreksizlik yüzeylerinin bozunma dereceleri “az bozunmuş” ve “bozulmamış” özellikte olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2.8. Kaya kütlelerinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981)

Tanım	Tanımlama ölçütü	Bozunma derecesi
Bozunmamış (Taze)	Kayanın bozunduğuna ilişkin gözle ayırdedilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözlenebilir.	1
Az bozunmuş	Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiş ve kayaç taze halinden daha zayıf olabilir.	2
Orta derecede bozunmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Kayaç taze, ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	3
Tamamen bozunmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	4
Artık zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmakla birlikte, zemin taşınmamıştır	5

Ayrıca fiziksel bozunma faktöründe kayacın parçalanması ve dilinim ve kırıkların gelişmesi faktörü göz önüne alındığında bazı aynalarda orta derece bozulmanın olduğu gözlenmiştir. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki süreksizliklerin devamlılığı, bozunma derecesi, dolgu malzemeleri ve kazı aynalarındaki süreksizliklerin durumuna ait görüntüler Şekil 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.22. Cankurtaran tüneli aynalarında süreksizliklerin durumu, a) ve b) süreksizliklerin devamlılığı, c) ve d) Cankurtaran tüneli aynalarında süreksizliklerdeki kalsit dolgu bozunma derecesi, e) ve f) Salmankaş tüneli aynasındaki kazı aynasındaki süreksizlikler

2.3.8. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu yeraltı yapılarının stabilizasyonunu etkilenmesi açısından önem arz etmektedir. Süreksizliklerde su durumu, birbiriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca meydana gelen akışla gerçekleşir. Sürekli bir su akışının varlığı kaya kütlelerindeki mekanik ve hidrojeolojik özellikleri değiştirebilir. Çünkü süreksizlik yüzeylerindeki su basıncı normal gerilimi etkiler ve dolayısıyla makaslama dayanımını azaltır. Tünel gibi yeraltı yapılarının planlama ve proje aşamasında yeterli sondaj yapılmadığı için süreksizlik durumları, daha çok kazı sırasında gözleme dayalı ölçütlerle belirlenir. Arazi çalışmalarından ISRM (1981) tarafında önerilmiş olan ve kazı aynalarında gözlenen su sızıntısıyla ilgili tanımlamalardan yararlanılmıştır. Tünel gibi yeraltı yapılarında kaya kütlelerinden gelen suyun tanımlanması için Tablo 2.9’da verilen tanımlama ölçütleri kazı sırasında veya kazıdan hemen sonra yapılmalıdır.

Cankurtaran tüneli çıkış tarafında (Borçka) Cihala Çayı’nın bir kolu tünel güzergâhını kesmektedir. Bu güzergâh boyunca tünel içinde ve aynalarda su akışının arttığı dalgıç pompaların bile zaman zaman yetersiz kaldığı görülmüştür. Şekil 2.23’de görüldüğü gibi tünel aynasında biriken su miktarının tünelde çalışma koşullarını zorlaştırdığı görülmektedir. Ancak Cihale çayı güzergâhı haricinde tünel genelinde bir su sorununun yaşanmadığı gözlenmiştir. Çalışılan aynaların genelde nemli ve ıslak olduğu ve bu durumun çalışma koşullarını olumsuz yönde etkilemediği görülmüştür. Salmankaş tünelinde de portal kısımları hariç tünel hattı boyunca her hangi bir su sorununun yaşanmadığı gözlenmiştir. Salmankaş tünel kazı aynalarında, aynaların genelde ıslak olduğu bu durumun çalışma koşullarını olumsuz yönde etkilemediği izlenmiştir. Tünel geneli için ISRM (1981) kaya kütleleri için su sızıntılarının sınıflama ve tanımlama ölçütlerine göre çok az sızıntı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.23. Tünel aynasında su durumunun görünümü, a) Cihala Çayı altındaki aynadan su durumu, b) Tünel aynasında genel bir görünüm (nemli ve ıslak ayna)

Tablo 2.9. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM 1981).

Sızıntı Sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış, sürekli akışın gözlendiği süreksizlikler belirlenmeli
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmeli
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözleniyor

2.4. Tünel Kazı Aynalarında Gerçekleştirilen Schmidt Çekiç Ölçüm Metotları

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinin jeoteknik birimi temsil edecek şekilde farklı zamanlarda tünellerin kazı aynalarında ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlerin nasıl alınacağı ve nasıl hesaplanacağı ile ilgili olarak standartlardan yararlanılmıştır. Tablo 2.10'da verilen Schmidt çekici test metotlarından olan ISRM (1981), ASTM (2005) kriterine göre değerlendirme yapılmıştır. Ölçümler kazı aynasına paralel olacak şekilde Şekil 2.24'de verilen hat boyunca ölçümler alınmıştır.

Tablo 2.10. Arazide uygulanan Schmidt çekici test metotları

Yazar	Test Yöntemi
ISRM (1981)	Farklı noktalardan toplam 20 adet ölçüm alınır ve bu değerler içerisindeki en büyük 10 değerlerin ortalaması alınır.
ASTM (2005)	Farklı noktalardan 10 ölçüm alınır ve ortalama değerden 7 birim sapan değerler çıkarılarak geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.

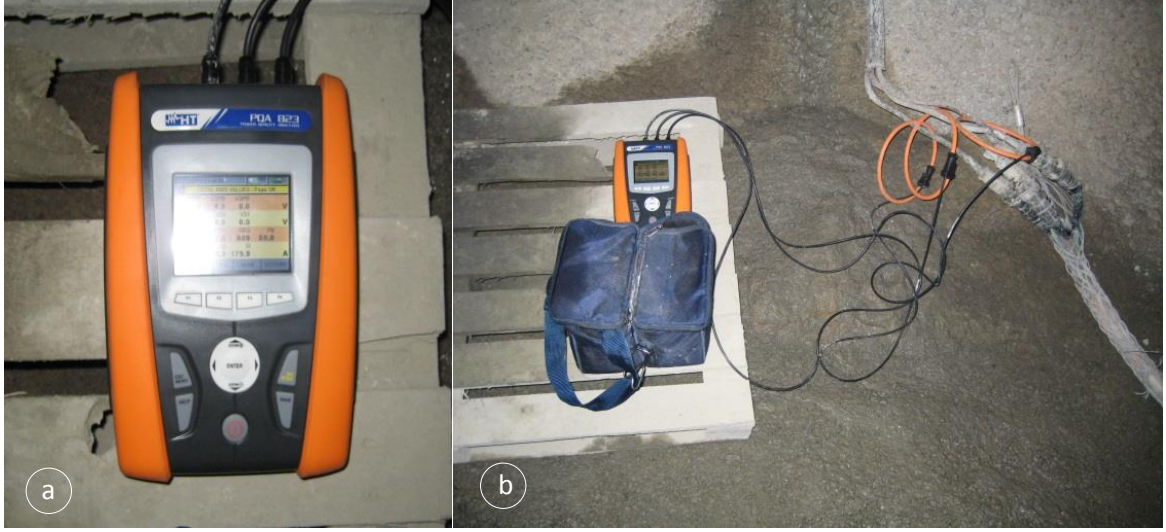


Şekil 2.24. Cankurtaran ve Salmankas Tünel kazı aynalarında kullanılan, a) L ve N tipi Schmidt çekiçleri ile (Proceq) kalibrasyon örsü, b) ölçümlerin yapıldığı hat aralığı, c) kazı aynasındaki Schmidt çekiçleri ve d) aynada ölçüm yapılması

2.5. Makine Performansı ve Spesifik Enerji

Cankurtaran ve Salmankas tünellerinde kullanılan çift bomlu, Jumbo makinaları için her bir bomun ayrı ayrı ve birlikte delgi işlemini gerçekleştirirken harcadığı enerji değerleri hesaplanmıştır. Bir başka deyişle birim hacmindeki kayacı delmek için gerekli olan enerji değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca makinaların delgi işlemindeki performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

Ancak bu makinaların sahip olduğu anlık verileri kaydedecek bir veri toplama ünitesi bulunmadığında makinaların anlık çektiği akım değerlerinin okunabilmesi için bir pens ampermetreden yararlanılmıştır. Akım değerlerinin kayıt edildiği pensampermetre Şekil 2.25’de verilmiştir. Makinanın kazı sırasında akım (Amper) değerlerini makinanın güç iletim kablosu üzerinden pens ampermetre yardımıyla anlık akım tüketimi değerleri kaydedilmiştir. Bu veriler yardımıyla Jumbo makineleri için spesifik enerji değerleri ve net kazı hızları hesaplanmıştır. Veriler tünellerin üst kazı alanı delgisi yapılırken alınmıştır.



Şekil 2.25. Jumbo makinaların spesifik enerji hesaplanması için akım ölçümleri a) pensampermetre, b) ölçüm esnasında veri alınımı

Farmer ve Garrity (1987); Poole (1987); Özdoğan (2003); Bilim (2007), tarafından kazıcı makinanın harcadığı güç, net kazı hızı (NKH) ve spesifik enerji (SE) değerlerin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikler önermiştir. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde pensampermetre yardımıyla alınan ölçümler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak spesifik enerji ve net kazı hızı değerleri hesaplanmıştır.

$$P = \frac{V \cdot I}{1000} \quad (2.6)$$

$$NKH = \frac{v}{t} \quad (2.7)$$

$$SE = \frac{P}{NKH} \quad (2.8)$$

Burada;

P : Güç, kW

V : Volt, V

I : Amper, A

NKH : Net kazı hızı, m³/h

v : Kazılan malzeme, m³,

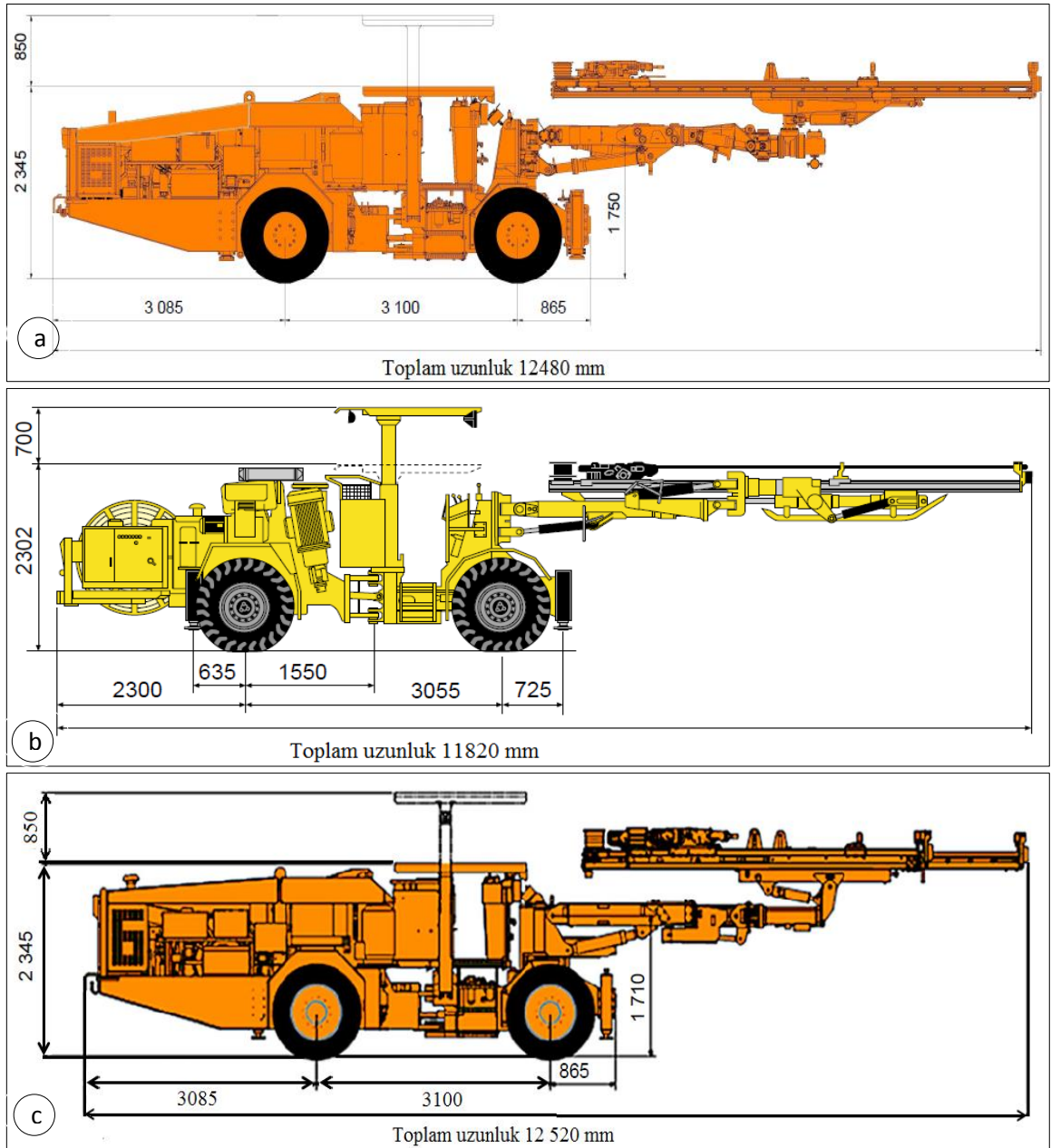
t : Kazı süresi, h,

SE : Spesifik enerji, kWh/m³,

P : Güç, kW, 'tır.

2.6. Tünelde Delme İşleminde Kullanılan Delici Jumbo Makinaları

Delici Jumbo makinaları yeraltı ve yerüstü delme patlatmalı kazılarda delik delme işleminde kullanılmaktadır. Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde kullanılan delici makinalar; a) Sandvik DD320 Jumbo makinası, b) Atlas Copco Rocket Boomer 282 ve c) Tamrock AXERA 6 Jumbo makinalardır. Jumbo makinaların genel görünümü ve boyut ölçüleri Şekil 2.26'da verilmiştir. Makinaların teknik özellikleri Tablo 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.26. Tünelde ayna delmede kullanılan makinalar a) Sandvik DD320, b) Atlas Copco Rocket Boomer 282, c) Tamrock AXERA 6 (URL 1; URL 2; URL 3).

Tablo 2.11. Tüneller de delgi işleminde kullanılan delici Jumbo makinaların teknik özellikleri, (URL 1; URL 2; URL 3).

Delik delme makinaları			
Makine özellikleri	Atlas Copco Rocket Boomer 282	Sandvik DD320	Tamrock AXERA 6
Bom sayısı	2	2	2
Bom tipi	-Teleskobik bom BMHT 2800 serisi, -Hidrolik uzatmalı matlap BSH 110 serisi	Teleskobik tipi TFX serisi Rod tipi TRR1 serisi	Teleskobik tipi TFX-serisi –Rod tipi TRR1 serisi
Delici tabanca	COP 1638HD+ (16kW) COP 1838HD+ (18kW)	-	-
Bom ağırlığı	1750 kg	1850 kg	1900 kg
Bom çevirme açısı	360°	358°	360°
Bom uzantısı max.	1250 mm	1050 mm	1200 mm
Besleme uzantısı max.	1250 mm	1350 mm	1600 mm
Makine ağırlığı	17500 kg	19800 kg	-
Uzunluk	11820 mm	12480 mm	12520 mm
Genişlik	1980 mm	1900 mm	1900 mm
Kaplama alanı	8-45 m ²	8-49 m ²	6-40 m ²
Toplam yükseklik	3000 mm (makine 2300 mm)	3195 mm	3195 mm (makine 2345 mm)
Güç değeri	58 kW, 2300dev/dak.	-	-
Tork	270 Nm, 1500dev/dak.	-	-
Kaldırma açısı max.	+65°/-35°	-	-
Salınım açısı	+45°/-25°	-	-
Toplam kurulu güç	125 kW	135kW	135 kW
Deldiği delik çapı	-	43-64 mm	43-64 m

2.7. Matkap Aşınma Ömürleri

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinden delgi işlemini gerçekleştirmek için kullanılan matkapların delme hızları ve aşınma ömürleri için aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır (Thuro, 1997a).

Delik delme hızı;

$$V = \frac{\ell}{t_{\text{net}}}, \text{ m / dak} \quad (2.9)$$

Bit ömrü;

$$n = \frac{\ell_t}{b_t}, \text{ m/bit} \quad (2.10)$$

Burada,

V : Delik delme hızı, m/dk

ℓ : Bir delik uzunluğu, m

t_{net} : Bir deliğin net delme zamanı dak.

n : Bit ömrü (bir bitin deldiği toplam delik uzunluğu), m/bit

ℓ_t : Delinen toplam delik uzunluğu, m

b_t : Toplam delik delme işleminde kullanılan bit sayısı, adet'tir.

Kaya kütle yapısının belirlenmesi delme sürecinde önemli bir role sahiptir. Çünkü delinebilirlik direkt kaya yapısıyla ilişkilidir. Eklemlili kaya yapılarında delik delmek, sağlam yapılara oranla daha zordur. Aşırı eklemlili, süreksizlik aralıkları açık ve küçük bloklulu bölgelerde delik delme beraberinde birçok sorunu da getirir. Bu tür formasyonlar da delik delme işlemi sırasında delici ucun sıkışması-kilitlenmesi delik delme hızını önemli derecede düşürmektedir. Aynı zamanda kayanın delinebilirliği süreksizlikler arası açıklığa bağlıdır. Delinebilirliği etkileyen diğer önemli özellik ise eklem dolgusudur. Bu açıklıkların dolgulu olması yani kapalı olması delinebilirlik üzerinde çok fazla olumsuz etki meydana getirmez. Ancak eklemlilerin açık olması durumunda yukarıda da belirtildiği gibi delici uçların eksenden sapmasına, basınçlı hava ve suyun bu açıklıklara kaçmasına ve delici uçların kilitlenmesine neden olmaktadır. Dolgu malzemesinin ana kayaktan daha yumuşak olması durumunda ise delici uçlar bu açıklığa doğru sapma göstereceğinden delme verimi düşecektir (Hoseinie vd, 2008).

2.8. Laboratuvar Çalışmaları

2.8.1. Tünellerde Örnek Alım Noktaları

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinden yürütülen arazi çalışmalarına, paralel olarak laboratuvar çalışmalarının yürütülmesi planlanmış ve çalışmalar bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneylerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Cankurtaran ve

Salmankaş tünellerinden tünel hatları boyunca belli zaman aralıklarında ve değişen kayac formasyonlarından uygun kaya bloklarından örnekler alınmıştır. Cankurtaran Sağ Tüp, Sol Tüp ve Salmankaş tüneli numune alım noktaları Tablo 2.12’de verilmiştir.

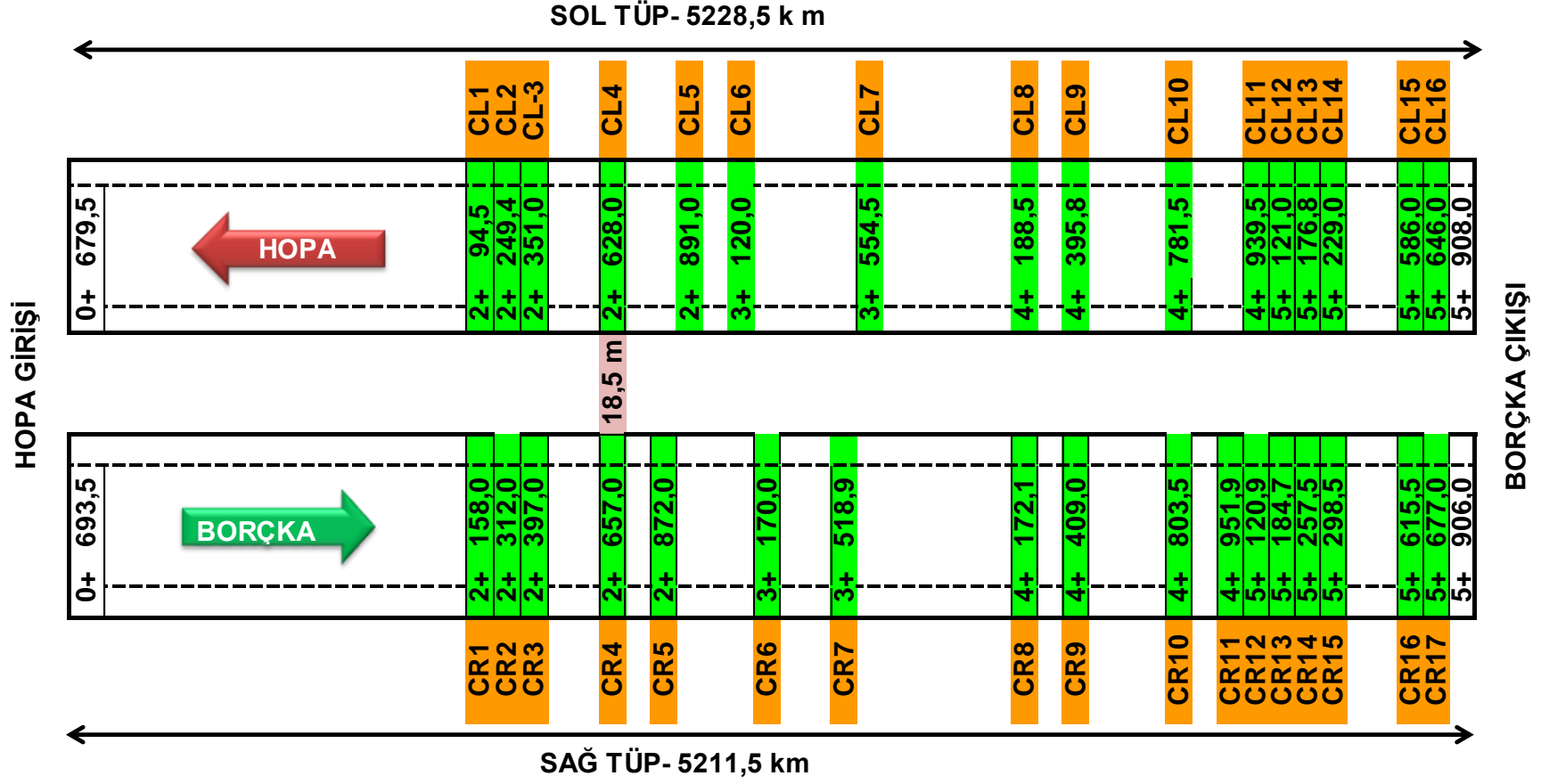
Tablo 2.12. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde numune alım noktaları

Tünel	Seri No	Tarih	Km
SAĞ GİRİŞ	CR1	16.06.2012	2.158,00
	CR2	29.07.2012	2.312,00
	CR3	27.08.2012	2.397,00
	CR4	07.11.2012	2.657,00
	CR5	23.12.2012	2.872,00
	CR6	16.05.2013	3.170,00
	CR7	10.11.2013	3.554,50
	CR8	10.11.2013	4.172,08
SAĞ ÇIKIŞ	CR9	17.05.2013	4.409,00
	CR10	20.12.2012	4.803,50
	CR11a	05.11.2012	4.948,90
	CR11	04.11.2012	4.951,90
	CR12	29.08.2012	5.120,90
	CR13	26.07.2012	5.184,70
	CR14	14.06.2012	5.257,50
	CR15	19.05.2012	5.298,50
	CR16	01.02.2012	5.615,50
SOL GİRİŞ	CL1	18.06.2012	2.094,50
	CL2	29.07.2012	2.249,40
	CL3	27.08.2012	2.351,00
	CL4	07.11.2012	2.628,00
	CL5	23.12.2012	2.819,0
	CL6	16.05.2013	3.120,00
	CL7	10.11.2013	3.518,90
SOL ÇIKIŞ	CL8	08.11.2013	4.188,53
	CL9	17.05.2013	4.395,75
	CL10	20.12.2012	4.781,50
	CL11	05.11.2012	4.939,50
	CL12	28.08.2012	5.121,00
	CL13	29.07.2012	5.176,80
	CL14	14.06.2012	5.229,00
	CL15	01.02.2012	5.586,00
	CL16	06.01.2012	5.646,00

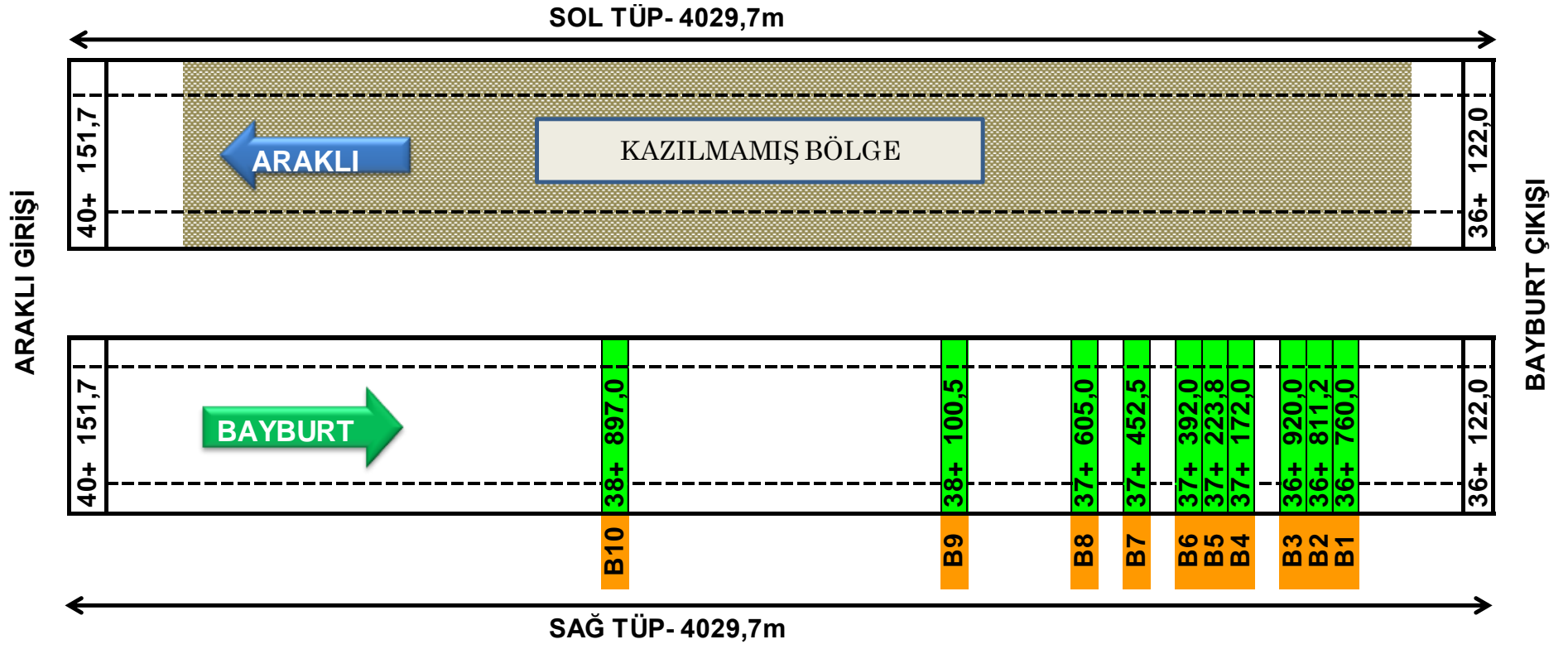
Tablo 2.12'in devamı

Tünel	Seri No	Tarih	Km
Bayburt Salmankaş	B1	18.07.2012	36.760,00
	B2	18.07.2012	36.811,20
	B3	11.08.2012	36.920,00
	B4	20.10.2012	37.172,00
	B5	20.10.2012	37.223,80
	B6	18.12.2012	37.392,00
	B7	18.12.2012	37.452,50
	B8	11.05.2013	37.605,00
	B9	11.05.2013	38.100,50
	B10	02.11.2013	38.897,00

Tünel güzergâhı boyunca, Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde numune alım noktaları, tünel şemaları üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.27'de Cankurtaran Tüneli Sağ ve Sol Tüplerine ait numune alım noktalarının şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 2.28'da Salmankaş Tüneline ait numune alım noktalarının tünel hattı üzerindeki gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.27. Cankurtaran Tüneli Sağ ve Sol tüplerine ait numune alım noktaları

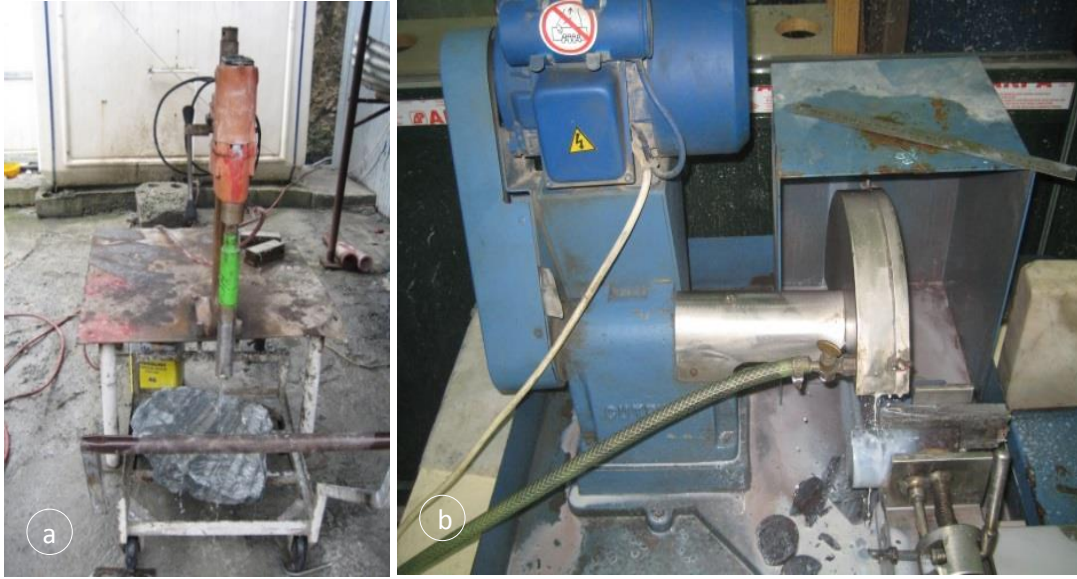


Şekil 2.28. Salmankaş Tüneli numune alım noktaları

2.8.2. Örnek Hazırlama İşlemi

Alınan kaya blokları Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'na getirilmiş ve karot alma makinesi ile NX karot boyutunda (54 mm) çapında karot örnekleri alınmıştır. Ayrıca Salmankaş ve Cankurtaran çıkış tüplerinden alınan kaya bloklardan, tünel laboratuvarlarında bulunan karot makinaları kullanılarak karot numuneleri alınmıştır. Karot alma işleminden sonra laboratuvar deneylerinin yapılmasında Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (International Society of Rock Mechanics, ISRM) standartlarına göre numune boyutları hazırlanmıştır.

Boyutlandırma işlemi için örnekler karot kesme makinesiyle gerekli olan boy/çap oranlarında boyutlandırılmış ve örneklerin alt ve üst yüzey düzeltilmiştir. Şekil 2.29 karot alma işlemi ve karot düzeltme makinası verilmiştir. Şekil 2.30'da farklı zamanlarda alınan ve standartlara göre hazırlanmış numuneler gösterilmiştir.



Şekil 2.29. Numune hazırlama aşamaları a) karot alma b) karot düzeltme



Şekil 2.30. Hazırlanan numuneler a) I. grup b) II. grup c) III. grup d) IV grup

2.9. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Deneyler

2.9.1. Fiziksel Özellikler

Deneyel çalışmalarda gerçekleştirilen fiziksel özellikler aşağıda verilmiştir;

1. Birim hacim ağırlık (doğal, doymun, kuru),
2. Su emme oranı (ağırlıkça, hacim),
3. Görünür porozite ,
4. Boşluk oranı,

2.9.1.1. Birim Hacim Ağırlık

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinden alınan kaya bloklarından laboratuvarda düzgün şekilli örnekler hazırlanmış ve kaya malzemelerine ait birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Deneyler yapılırken, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır. Tünel hattı boyunca her bir aynadan alınan kayaçtan en az üçer adet (silindirik) örnek kullanılmıştır. Örneklerin çap (D) ve boy (L) ölçüleri dijital bir kumpasla birbirine dik iki ayrı yönde 0,1 mm duyarlılıkla ölçülüp her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

Doğal birim hacim ağırlık tayini için örnekler 0,01 g hassasiyetinde bir terazide tartılmıştır. Daha sonra kuru birim hacim ağırlık tayini için örnekler $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ayarlanmış fırında değişmez kütleyle gelinceye kadar en az 24 saat etüvde kurutulduktan sonra soğumaları için bekletilmiş daha sonra örneklerin kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Doymun birim hacim ağırlıklarını belirlemek için örnekler $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisine su ile örtülecek şekilde, en az 24 saat süre ile su içerisinde bırakılmıştır. Suya doymun hale getirilmiş örnekler kağıt havlu ile yüzeyi kurutulup hassas terazide tartılmış ve doymun ağırlıkları belirlenmiştir. Bu aşama, gözeneklere giren su buharlaşmasına engel olmak için mümkün olduğunca hızlı tamamlanmıştır. Daha sonra, Arşimet terazisi ile su içinde yapılacak tartım sırasında su emerek sonuçları etkilemeyecek derecede doymun hale getirilmiş bulunan deney numuneleri su içinde 0,01 g hassasiyetle tartılmıştır (Şekil 2.31). Bu aşamalarda örnekler üzerinden parçacıkların kırılıp kaybolmamasına özen gösterilmiştir. Aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla birim hacim ağırlıkları bulunmuştur.

$$\rho = \frac{G}{V}, \text{ g/cm}^3 \quad (2.11)$$

$$\gamma_n = \rho \times 9,81, \text{ kNm}^3 \quad (2.12)$$

$$D_d = \frac{G_d}{G_d - G_{ds}}, \text{ g/cm}^3 \quad (2.13)$$

$$D_k = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}}, \text{ g/cm}^3 \quad (2.14)$$

Burada;

ρ : Yoğunluk, g/cm^3 ,

G : Örneğin ağırlığı, g,

V : Örneğin hacmi, cm^3 ,

γ_n : Doğal birim hacim ağırlık, kN/m^3 ,

D_d : Doygun birim hacim ağırlığı, g/cm^3 ,

G_d : Doygun haldeki deney numunesinin kütlesi, g,

G_{ds} : Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi, g,

D_k : Kuru birim hacim ağırlığı, g/cm^3 ,

G_k : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi, g,

G_{dh} : Doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi g,

G_{ds} : Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi, g, 'dır.

2.9.1.2. Su Emme Oranı

Kayaçların su içerikleri, yüzde cinsinden kayaç malzemesindeki boşlukların ne oranda su ile dolu olduğunu belirten bir parametredir. Özellikle tünel ve yeraltı kazılarında kayaç malzemelerinin sahip oldukları su içeriklerinin belirli bir oranın altında olması istenir. Çünkü artan su içeriği değerleri kayaç malzemelerinin taşıyabilecekleri efektif gerilmeler, malzeme içerisindeki su basıncının artmasından dolayı, azalmaktadır. Su emme oranı için tünel kazı aynalarından alınan, hazırlanmış her bir kaya örneğinden en az üçer adet (silindirik) örnek kullanılmıştır. Atmosfer basıncında ağırlıkça ve hacimce su emme oranları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S_k = \frac{(G_d - G_k)}{G_k} \times 100 \quad (2.15)$$

$$S_h = \frac{(G_d - G_{ds})}{(G_d - G_{ds})} \times 100 \quad (2.16)$$

Buradan;

S_k : Örneğin kütlece su emme oranı, %,

S_h : Örneğin hacimce su emme oranı, %,

G_d : Örneğin doygun haldeki kütlesi, g,

G_k : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş örneğin kütlesi, g,

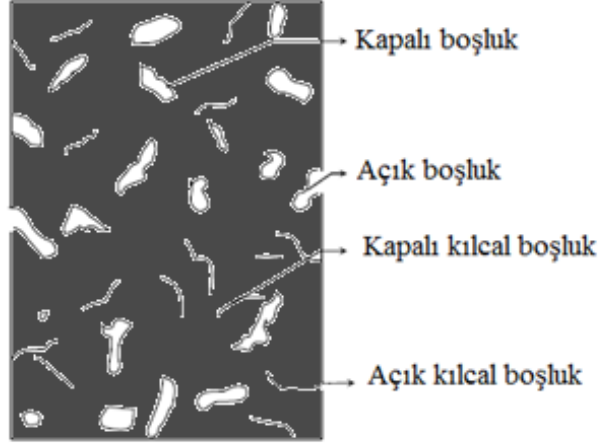
G_{ds} : Doygun haldeki örneğin su içindeki kütlesi, g,



Şekil 2.31. Kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilen aşamalar, a) numune tartımı, b) suya doygun numuneler, c) suya doyurma, d) Arşimet terazisiyle numune tartımı, e) fırında kurutma

2.9.1.3. Görünür Porozite Tayini

Tünellerde alınan ve hazırlanmış (silindirik) kaya numunelerinden en az üçer örnek görünür porozite tayininde kullanılmıştır. Görünür porozite ve boşluk oranı deneyleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. Kayaçlarda değişik tür ve büyüklükte boşluklar bulunur. Bunlar; gözle görülen ve görülmeyen boşluklar vardır. Örnek bir kayaç cinsinde bulunan boşluk türleri şekilde şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 2.32). Bu boşlukların bazıları dışa açık bazıları ise kapalı boşluklardır.



Şekil 2.32. Kayaçta bulunan boşluk türlerinin şematik görünümü

Porozite görünen porozite ve gerçek porozite olmak üzere iki ayrılır.

1) Görünen Porozite: Değişmez kütle kadar kurutulmuş kayaç numunesinin absorbe edebildiği su miktarına karşılık gelen hacminin boşlukları dâhil hacmine (tüm hacim) oranı olarak tanımlanır. Numunenin hacimce su emme oranı, aynı zamanda numunenin görünen porozite olup, aşağıdaki formüle hesaplanır.

$$P_g = \frac{(G_d - G_k)}{(G_d - G_{ds})} \times 100 \quad (2.17)$$

P_g : Görünen porozite, %,

G_d : Doygun haldeki kütle, g,

G_k : Değişmez kütle kadar kurutulmuş taşın kütlesi, g,

G_{ds} : Doygun haldeki kayacın su içindeki kütlesi, g,

a) Gerçek Porozite (Gözeneklilik): Porozite, değişmez kütle kadar kurutulmuş numunenin, boşluk hacminin boşlukları dâhil hacmine (tüm hacim) oranıdır. Diğer bir deyişle porozite taşı oluşturan tanelerin arasındaki ve içindeki boşlukların toplam hacmidir. Aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$P = \left(1 - \frac{d_h}{d_o}\right) \times 100 \quad (2.18)$$

P : Numunenin porozitesi, %,

d_h : Numunenin hacim kütlesi, g/cm^3 ,

d_o : Numunenin özgül kütlesi, g/cm^3 , tür.

2.9.2. Mekanik Özellikler

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden alınan kayaç örnekleri üzerinde aşağıda verilen mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir.

1. Tek eksenli basınç dayanımı,
2. Nokta yük dayanımı,
3. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı.

2.9.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı; belirli boyutlardaki kayaçların farklı doğrultularda etkiyen gerilmeler karşısında davranışlarına karşı gösterdiği dirençtir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde düşey eksen doğrultusunda etkileyen yükler karşısında kayaç dayanımları belirlenmektedir.

Tek eksenli basınç dayanımı, üzerine uygulanan basma yüklerine karşı kaya numunelerinin, kırılmadan önce dayanma yeteneği olarak tanımlanır. Deneydeki amaç kırılmadan önceki silindir şeklinde hazırlanan numunelerin, tek eksenli ve düşey olarak uygulanan yükler altında dayanım sınırının bulunmasıdır (Karpuz vd., 2006).

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için, Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinden alınan kayaçlardan standartlara uygun karot örnekleri hazırlanmış ve deney ASTM (2010a) standardına göre yapılmıştır. Deneylerde kullanılan örnek çapları 54 mm (NX tipi) ve boy/çap oranı 2/1 olacak şekilde numuneler hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel ve düz örnekler kullanılmıştır. Yükleme hızı 1,3 kN/sn alınmış ve deney için her bir kayaç örneğinden en az 4 adet numune hazırlanmıştır.

Tek eksenli basınç dayanım deneyi için hazırlanan numuneler Şekil 2.33'de gösterilen 200 ton'luk BESMAK marka pres makinasında gerçekleştirilmiştir. Numuneleri basınç yükleme plakası arasında işaretli yüzeyleri yani boyutları ölçülmüş, üstü temizlenmiş numuneler basınç etkisinde kalacak şekilde ortalanarak yerleştirmiştir. Yerleştirme işlemi yapılırken numunenin basınç yükleme plakası arasında her tarafına eşit ve düz şekilde basınç yüklenmesi olacak şekilde numune yükleme tablalarına yerleştirilmiştir.

Numuneleri basınç yükleme plakası yerleştirmeden önce numunenin yükleme plakalarına degecek kısımları iyice silinerek temizlenmiştir. Basınç gerilmesi altında numuneler kırılıncaya kadar yükleme yapılmış ve yenilme yük değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2.33. Tek eksenli basma dayanımı deneyin yapılışı, a) deney aleti, b) hazırlanan numunenin plakalar arasında yerleştirilmesi, c) ve d) kırılan numuneler

Tek eksenli basınç dayanımı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.19)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa,

F : Kırılma anındaki yük değeri, N,

A : Numune yüzey alanı, cm^2 , 'dir.

2.9.2.2. Nokta Yük Dayanımı

Nokta yük deneyi, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılır. Nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli basınç ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütle sınıflama sistemlerinde

kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır. Deney sonucu esas alınarak kayacın “Nokta yük dayanım indeksi” belirlenir (Ulusay vd., 2001).

Bu çalışmada, nokta yükleme deneyi ISRM (1985) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır. Deneyler, karot örneklerinden alınan düzenli şekilli örnekler üzerinde uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan örnek çapları 54 mm (NX tipi), boy/çap oranı ise 1/2 olarak alınmıştır. Her numune için 10 tekrar yapılmıştır. Örnekler deney aletinde ki konik uçların arasına eksenine dik yönde yerleştirilmiş ve 10-60 sn içinde kırılacak şekilde yükleme yapılmıştır. Nokta yük dayanımı deneyinde hazırlanan numuneler nokta yük deney düzeneğindeki konik uçlar arasına yerleştirilmesi Şekil 2.34’de verilmiştir.



Şekil 2.34. Nokta yük deneyi, a) deney düzeneği, b) numunenin kırılması

Yenilme anındaki yükün değeri (F) yük göstergesinden okunarak kayacın nokta yük dayanım indeksi yöntemi kullanılarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$I_s = \frac{F}{D_e^2} \quad (2.20)$$

$$D_e^2 = \frac{4.A}{\pi} \quad (2.21)$$

$$I_{50} = F_1 \cdot I_s \quad (2.22)$$

$$F_1 = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \quad (2.23)$$

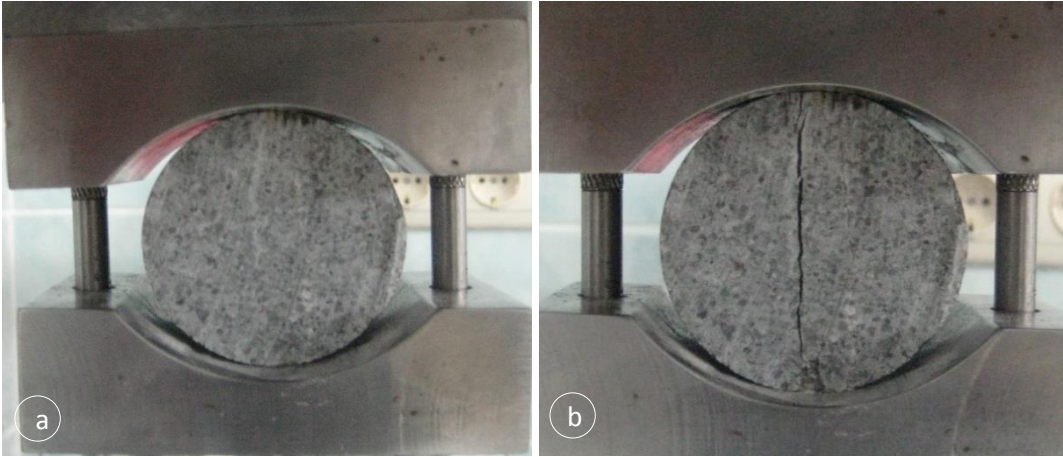
Burada;

F : Yenilme yükü, kN,

- A : Konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı, mm^2 ,
 I_s : Düzeltilmemiş nokta-yükü indeksi, MPa,
 F_1 : Düzeltme faktörü, (0-1),
 D_e : Eşdeğer çap, mm,
 I_{50} : Düzeltilmiş nokta yükü dayanımı, MPa'dır.

2.9.2.3. Dolaylı Çekme (Brazilian) Dayanımı

Dolaylı çekme dayanımı deneyinin yapılmasındaki amaç kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayinidir. Bu yöntemle, silindirik kayaç örneklerinin uçlarından sabitlenerek çekilmesi şeklinde uygulanan doğrudan çekme deneylerindeki gibi, genellikle biraz daha yüksek çekilme dayanımları elde edilmektedir. Bununla birlikte, örneklerin deneye hazırlanması ve deneyin yapılması açısından daha pratik olması nedeniyle, dolaylı çekme yöntemi daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Deney yöntemi olarak, ISRM (1981)'nin önerdiği yöntem esas alınmıştır (Ulusay vd., 2001).



Şekil 2.35. Brazilian dolaylı çekme deneyi, a) numunenin yerleştirilmesi, b) kırılan numune

Dolaylı çekme dayanımı için, hazırlanan silindirik şekilde boy/çap oranı 0,5 olan NX tipi kayaç örneklerinin her biri için 10 adet numune hazırlanmıştır. Yükleme hızı 0,2 kN/sn olacak şekilde, 200 ton'luk BESMAK marka pres cihazı kullanılmıştır. Numunenin yerleştirilmesi ve kırılma işlemi Şekil 2.35'de gösterilmiştir.

Silindir plakalar arasına yerleştirilen örnekler 10-30 saniye arasında yenilmeleri gerçekleşecek şekilde sabit bir yükleme yapılmıştır. Örneğin yenildiği andaki (F) yük değeri kaydedilir. Aşağıda verilen eşitlik yardımıyla dolaylı çekme dayanımı hesaplanır.

$$\sigma_t = \frac{0,636F}{D.t} \quad (2.24)$$

Burada;

σ_t : Dolaylı çekme dayanımı, MPa,

F : Yenilme yükü, kN,

D : Örnek çapı, mm,

T : Örnek kalınlığı, mm'dir.

2.9.3. Aşınma Deneyleri

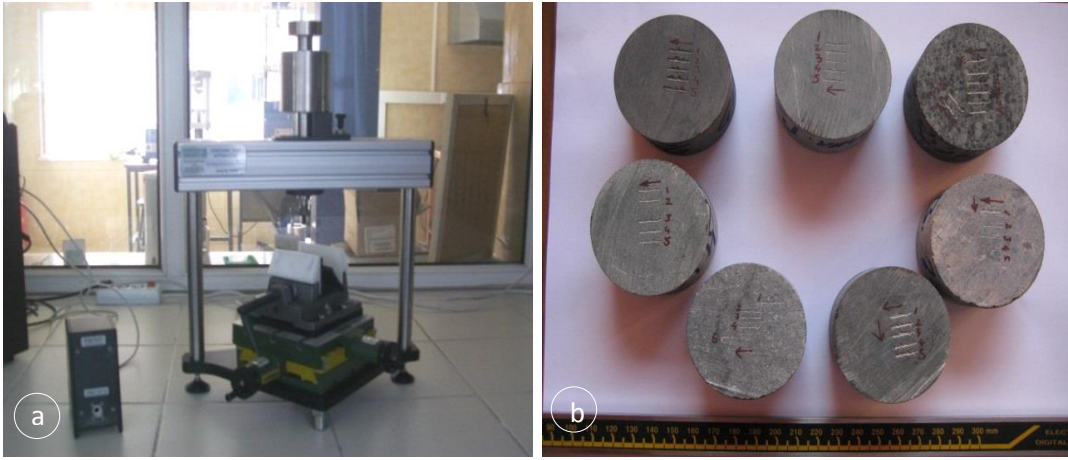
Kayaçların aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilecek deneyler aşağıda verilmiştir. Bu deneylerden Cerchar aşınma indeksi ile Norveç aşınma deneyi Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Mikro Deval aşınma deneyi ise K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri toplam 3 grup halinde yapılmıştır.

1. Cerchar aşınma indeksi (CAI)
2. Norveç aşınma deneyi (AV- abrasion value)
3. Mikro Deval aşınma dayanımı

2.9.3.1. Cerchar Aşınma İndeksi (CAI)

Cerchar Aşınma indeksi (CAI); Deney ilk olarak Fransa'da Cerchar Araştırma Enstitüsü (Research Institute Cerchar of the Charbonnages de France)'nde 1971 yılında bulunmuş ve Valantin (1973) tarafından genişletilmiştir. Bu deney yöntemi keski aşınması, keski değişim maliyeti ve kayaç dayanımı gibi önemli parametrelerin doğru tahmin edilmesinden ve kayaç aşınımının belirlenmesinde yaygın kullanılan bir deney yöntemidir. Cerchar aşınma indeksi deneyi; 160 kg/mm² çekme dayanımı olan 90° tepe açılı konik bir uç 7 kg bastırma kuvveti ile örnek üzerinde yaklaşık bir saniye içinde 1 cm çekilmekte ve uçta oluşan aşınma kayaç örneğinin aşındırıcılığını vermektedir.

Deneyde Rockwell sertliği 54/56 olan konik uçlar kullanılmıştır. Deney 3 cm boyunda 5,4 cm çapında örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kayaç örnekleri üzerindeki çizme işlemi, her defasında yeni bir uçla farklı yönlerde 5 çizimin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Uçlarda oluşan aşınma Leica marka bioküler mikroskop yardımıyla üstten ve yandan ölçülmüştür. Uçtaki her 1/10 mm'lik körelme 1 Cerchar'a (CAI) eşit olmaktadır. Belirlenen aşınma miktarı kayacın Cerchar aşındırıcılığı olarak kabul edilir (Plinninger, 2003). Kayaçlara ait Cerchar aşınma indeks değeri 5 çizimin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Aşınma sonrası deney düzeneği Şekil 2.36'de verilmiştir.



Şekil 2.36. Cerchar aşınma deneyi, a) deney aleti, b) deney sonrası aşınan kayaç görünümü

2.9.3.2. Norveç Aşınma Deneyi (AV- Abrasion Value)

Norveç aşınma deneyi (AV), 1960 yıllarında Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesinde geliştirilmiştir. Deney özellikle 1980'li yılların ilk yarısından itibaren klasik delme patlatma yöntemiyle ve sert kayaç tipi tam cephe tünel açma makinalarında (TBM) keski tüketiminin ve performanslarının önceden belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu aşınma deneyinden elde edilen veriler yardımıyla uç aşınma indeks (BWI) ile keski ömrü indeks (CLI – Cutter Life Index) değerleri de bulunmaktadır (Johannessen, 1998; Yaralı, 2010).

Deney <1mm boyuttaki taş tozunun, 10 kg ağırlık altındaki tungsten karbür ucundaki aşınım miktarını belirlemektedir. Aşınma disk tablanın 100 dev/dak. sonrasında deney ucunun miligram cinsinden ağırlık kaybı olarak belirlenir (Dahl 2003). Norveç aşınma deney düzeneği, deney aleti, kullanılan tungsten karbür ucu ve deneyin yapılışı Şekil 2.37'de gösterilmiştir.



Şekil 2.37. Norveç aşınma deneyi, a) deney düzeneği, b) deney aleti, c) tungsten karbür ucu, d) deneyin yapılışı

2.9.3.3. Mikro Deval Aşınma Kaybı

1960'da Fransa'da geliştirilen deneyin amacı agrega numunelerinin çelik bilya ve su ile birlikte bir tabur içinde kayacın dayanım ve aşınma direncini belirlemektir. Deney ASTM (2010b)'a göre yapılmıştır. Deneyde 1,18 mm, 4,75 mm, 6,3 mm ve 9,5 mm boyutlarında olmak üzere 4 elek kullanılmıştır. 4,75 mm elek üstü 750 g, 6,3 mm üstü 750 g olmak üzere toplam 1500 g numune hazırlanmıştır. Hazırlanan malzemeye birlikte, 1 cm çapında 5000 g çelik bilye ve 2 litre su tambura konulmuştur. Kapağı kapatılan her bir tambur, mil üzerine yerleştirilir. Tamburlar, (100 ± 5) devir/min hızda (9500 ± 1) devir tamamlanıncaya kadar döndürülür. Deneyden sonra, olabilecek herhangi bir agrega kaybını önlemeye dikkat edilerek, agrega ve çelik bilyalar bir kaptan toplanır. Bir yıkama şişesi kullanılarak tamburun içi ve kapağı dikkatlice yıkanır ve yıkanan malzeme toplanır. Malzemeler 1,18 mm'lik elekten elenir ve elek üstü malzemeler ayrı ayrı tepsi içine konularak fırında (110 ± 5) °C'ta kurutulur ve hassas teraziyile tartılır. Her kayaç serisinden 2 adet yapılmıştır. Her bir deney

numunesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır. Mikro Deval aşınma aleti Şekil 2.38'de verilmiştir.

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5} \quad \text{veya} \quad M_{DE} = \frac{M - M_s}{M_i} \times 100 \quad (2.25)$$

Burada;

M_{DE} : Mikro-Deval katsayısı

m : 1,18 mm göz açıklıklı elek üzerinde tutulan fraksiyonun kütlesi, gr,

M_i : Numunenin ilk ağırlığı, gr,

M_s : Numunenin son ağırlığı, gr,



Şekil 2.38. Mikro-Deval aşınma kaybı aşamaları, a) numune hazırlama, b) numunelerin tamburlara yerleştirilmesi, c) ve d) deneyin yapılışı

2.9.4. Delinebilirlik Deneyleri

Gerek madencilikte gerekse inşaat alanında yapılan kazı çalışmalarında kayaç delinebilirliğin belirlenmesine yönelik kabul görmüş deney yöntemleri sınırlı sayıdadır.

Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (International Society for Rock Mechanics), 3 Eylül 1987 yılında Montreal’de yaptığı toplantıda kaya mekaniğinde kayaçların delinebilirlik yöntemlerini inceleyerek dayanım, kırılma ve aşındırıcılık gibi yöntemlerinden en az birkaç yöntemin bir arada yorumlanması tavsiye edilmektedir. Ancak ISRM (1987)’de belirtildiği gibi birkaç yöntemin birlikte değerlendirilmesi bazen pahalıya mal olabilmektedir. Bunun için güvenilir ve başarılı sonuçlar elde etmek için, laboratuvar ve yerinde yapılan pek çok deneyin yanında özel olarak tasarlanan ve delinebilirliğe etki eden çeşitli özellikleri birlikte irdeleyen kırılma (S_{20}), Sievers minyatür (SJ) ve Norveç aşınma gibi delinebilirlik tayini deney yöntemleri geliştirilmiştir (Yaralı, 2007). Delinebilirlik kayaçların dayanımı, kırılma, aşındırıcılığı ve süreksizlik özelliklerinden etkilenmektedir. Delinebilirlik tayininde bu özelliklerden bir kaçını bir arada değerlendirilmektedir. Delinebilirlik tayininde kullanılan bu özelliklere göre bir sınıflama yapılmıştır (Yazıcı, 1984; Puhakka, 1997; Yaralı, 2008; Soyer, 2009).

2.9.4.1. Kırılma Testi(S_{20}), (Brittleness)

Kayaçların kırılma oranının belirlenmesinde pek çok farklı metot kullanılmaktadır (Yaralı ve Kahraman, 2011). Matern ve Hjelmer tarafından 1943 yılında Norveç’te geliştirilen orijinal kırılma test (S_{20}) metodu, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (Norwegian University of Science and Technology, NTNU) ve Norveç Teknoloji Enstitüsü (Norwegian Institute of Technology SINTEF) (NTNU/SINTEF) laboratuvarlarında kullanılmaktadır. Agregasyon özelliğini belirlemek için geliştirilen alet daha sonra farklı amaçlar için farklı şekillerde modifiye edilmiştir (Dahl vd, 2012).

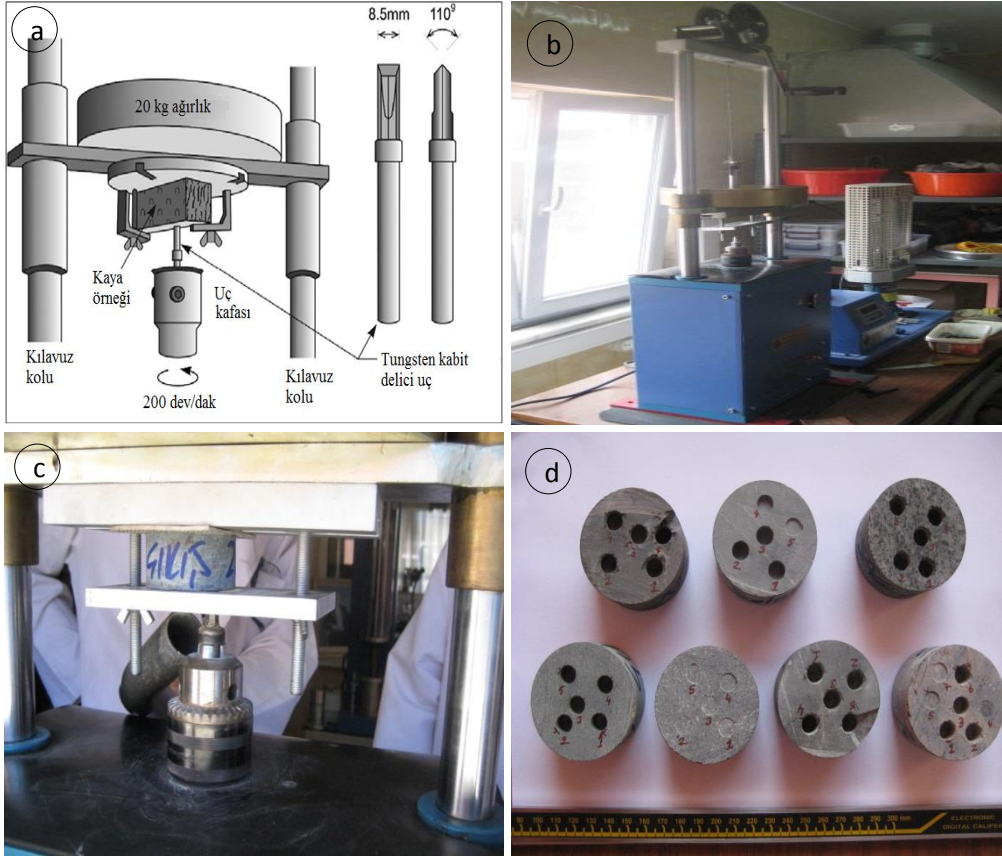
Kırılma deneyi (S_{20}), kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direncin dolaylı olarak ölçümüdür. Kırılma deneyi için Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde alınan kayaç örnekleri, öncelikle çeneli kırıcıdan 13.6 mm açıklığında geçirilerek kırılıp ve daha sonra 16 mm’lik elekten elenmiştir. -16mm ve +11.2 mm elekten 2.65 g/cm^3 yoğunluktaki malzeme için 500 g’a karşılık gelen malzeme bir havan içine konulur. Ortalama 25 cm yükseklikten 14 kg ağırlığındaki çekiç havan içindeki malzemeye 20 defa düşürülür ve kırılan malzeme 11.2 mm’lik elekten elenmiştir. -11.2 mm’lik malzeme miktarı deneyin başında havan içine konulan malzemeye ağırlıkça oranlanır. Yüzde olarak bulunan değer kayacın kırılma değeri eşittir (Dahl, 2003). Şekil 2.39’ da kırılma deney düzeneği ve numune hazırlama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.39. Kırılgenlik deneyinin yapılışı, a) deney düzeneği, b) numune hazırlama, c) deney aleti

2.9.4.2. Sievers Minyatür Delme Testi

1950 yılında Sievers tarafından geliştirilen Sievers Minyatür delme deneyi kayacın yüzey sertliğinin veya delmeye karşı direncinin ölçülmesini gösterir. Sievers minyatür delme deneyi (SJ), 200 dev/dak içinde kayaç da açılan delik boyunun mm cinsinden ölçüsünü vermektedir. Bu deney için Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde alınan kayaç örnekleri uygun boyutlarda numune hazırlandıktan sonra örnekler delme aletinde yerine yerleştirilerek 20 kg'lık ağırlık altına sıkıştırılır. Bu işlem sırasında matkabın ucu ile kayacın yüzey teması dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Deney bittiği zaman açılan delik boyları bir elektronik mikrometre veya kumpas ile ölçülerek elde edilen değerlerin ortalaması hesaplanır. Ortalama delik boyları 10 ile çarpılarak Sievers minyatür delme deney sonucu bulunur (Dahl 2003). Sievers minyatür deney düzeneği ve deneyde kullanılan örnekler Şekil 2.40'de gösterilmektedir.

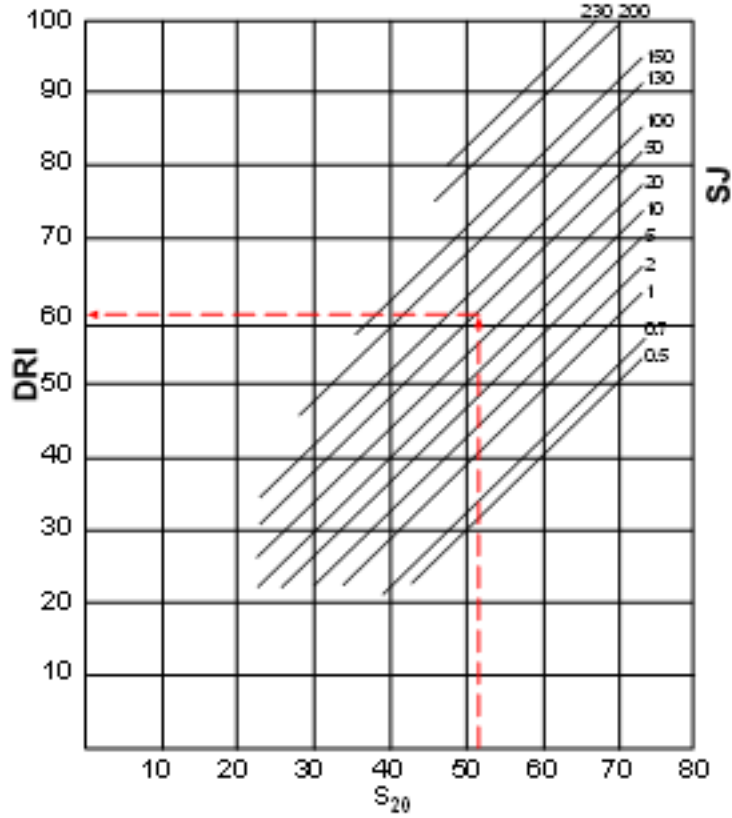


Şekil 2.40. Sievers minyatür delme deneyi, a) deney düzeneği, b) deney aleti, c) deneyin yapılışı, d) kullanılan örnekler

2.9.4.3. Delme Oranı İndeksi(DRI) Tayini

Delme oranı indeksi (DRI), darbeli delicilerin delme oranını tahmin etmek için geliştirilmiştir. 1950'lerde geliştirilen DRI 1972'den günümüze kadar tünel açmada uygulanmıştır. DRI yerinde yapılan ölçümlerle doğrudan delme oranını belirleyen bir gösterge değildir. Göreceli bir ölçü olmasının yanında aynı zamanda maksimum kaya dayanımı belirlemede kullanılan bir parametredir (Yaralı ve Kahraman 2011; Dahl vd, 2012).

Delme oranı indeksi Şekil 2.41'da verilen grafik yardımıyla bulunur. Grafğin altındaki kırılgenlik (S_{20}) değeri ile Sievers minyatür delme (SJ) deneyinden elde edilen sonuçlarla DRI değeri bulunur.



Şekil 2.41. Delme oranı indeksi (DRI)'nin değerlendirilmesi için kullanılan diyagram (Dahl, 2003).

2.10. Korelasyon Katsayısının Testi

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden laboratuvar ve arazide gerçekleşen çalışma sonucundan verilerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını incelemek için SPSS 20 programı kullanılmıştır. SPSS 20 programı yardımıyla (r) korelasyon katsayıları hesaplanmış ve korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadığı SPSS 20 programı içerisinde yer alan t-test ve r- kritik değerleri ile test edilmiştir (Tüysüz ve Yaylalı-Abanuz, 2012).

Korelasyon katsayısı, %95 güven aralığı ($\alpha=0,05$) seçilerek hipotezler kurulmuş ve n -2 serbestlik derecesinde Ek 6A'da verilen t- testi kullanılarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla test edilmiştir. Delme oranı indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki korelasyon anlamlılık testi için bir örnek gösterilmiştir.

$$t_h = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2.26)$$

Burada:

t_h : t hesaplanan t testi değeri

n : Örnek sayısı

r : Korelasyon katsayısı

Yukarıdaki formül yardımı ile hesaplanan t_{hesap} , t_{tablo} değerinden büyük ise ($|t_{hesap}| > t_{tablo}$)

“korelasyon anlamlıdır” sonucuna varılır. Bir başka deyişle H_0 red edilir, H_1 kabul edilir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n} \right)}} \quad (2.27)$$

$$r = \frac{134080 - \frac{3122 \times 2154}{43}}{\sqrt{\left(298776 - \frac{(3122)^2}{43} \right) \left(116236 - \frac{(2154)^2}{43} \right)}} = \frac{-22289,4}{\sqrt{72165 * 8336}} = -0,91$$

$r = -0.91$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu korelasyon katsayısının testinin yapılması için önce t_h değeri hesaplanır.

$$t_h = -0.91 \sqrt{\frac{43-2}{1-(-0.91)^2}}, t_h = -14,05 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Çift yönlü test yapılması durumunda t_{tablo} değeri (Ek 6A), $\alpha = 0.05$ (% 95 güven aralığı), $s_d = n-2 = 43-2 = 41$ serbestlik derecesi için tablodan t_{n-2} , α değeri -14,05 olarak bulunur. $|t_{hesap}| > t_{tablo}$, $-14,5 > \pm 2,02$ olduğundan H_0 reddedilir. Yani her iki değişken arasında anlamlı bir ilişki vardır. Eğer $|t_h| < t_{tablo}$, ise bu durumda her iki değişken arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı sonucuna varılır.

Ayrıca korelasyon katsayısı Ek 6B’de verilen pearson korelasyon katsayısına (r) kritik değeri ile karşılaştırılmış bir başka şekilde de test edilmiştir. Hesaplanan r_{hesap} değeri ($r_h = -0,91$), ve $n=43$ için tablodaki r_{tablo} ($r_t = \pm 0,301$) olarak bulunmuştur. $|r_{hesap}| > r_{tablo}$, $-0,91 > \pm 0,301$ olduğundan H_0 reddedilir. Yani her iki değişken arasında anlamlı bir ilişki vardır.

3. BULGULAR

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde gerçekleşen çalışma, arazi ve laboratuvar çalışması olmak üzere 2 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

a. Arazide yapılan çalışmalar;

Arazide yapılan çalışmalarda, Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde, kazı aynalarına ait jeoteknik birimlerde aşağıdaki parametreler hesaplanmıştır.

1. RMR kaya kütle kalitesi
2. Schmidt çekici L ve N tipi
3. Spesifik enerji
4. Net kazı hızı
5. Matkap aşınım şekilleri
6. Matkap ömürleri
7. Makine performansları

b. Laboratuvar çalışması;

Laboratuvar çalışmalarında kayaçların fiziko-mekanik özellikleri, delinebilirlik deneyleri ve aşındırıcılık deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Kayaçların fiziko-mekanik özellikleri için aşağıdaki deneyler gerçekleştirilmiştir.

1. Tek eksenli basınç dayanımı,
2. Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian deneyi),
3. Nokta yük dayanımı,
4. Birim hacim ağırlık (doğal, kuru ve doygun),
5. Su emme oranı (ağırlık ve hacimce),
6. Porozite, (gözeneklilik) ve boşluk oranı,

Delinebilirlik deneyinde, Delme Oranı İndeksi (DRI) için iki temel deney gerçekleştirilmiştir.

1. Kırılma deneyi (brittleness test), S_{20} ,
2. Sievers minyatür delme deneyi (Sievers miniature drill-test value), SJ' dir.

Kayaçların aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi için yapılacak olan deneyler

1. Cerchar Aşındırıcılık İndeksi,
2. Norveç aşınma deneyi,
3. Mikro Deval aşınma deneyi,

Petrografik incelemeler aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

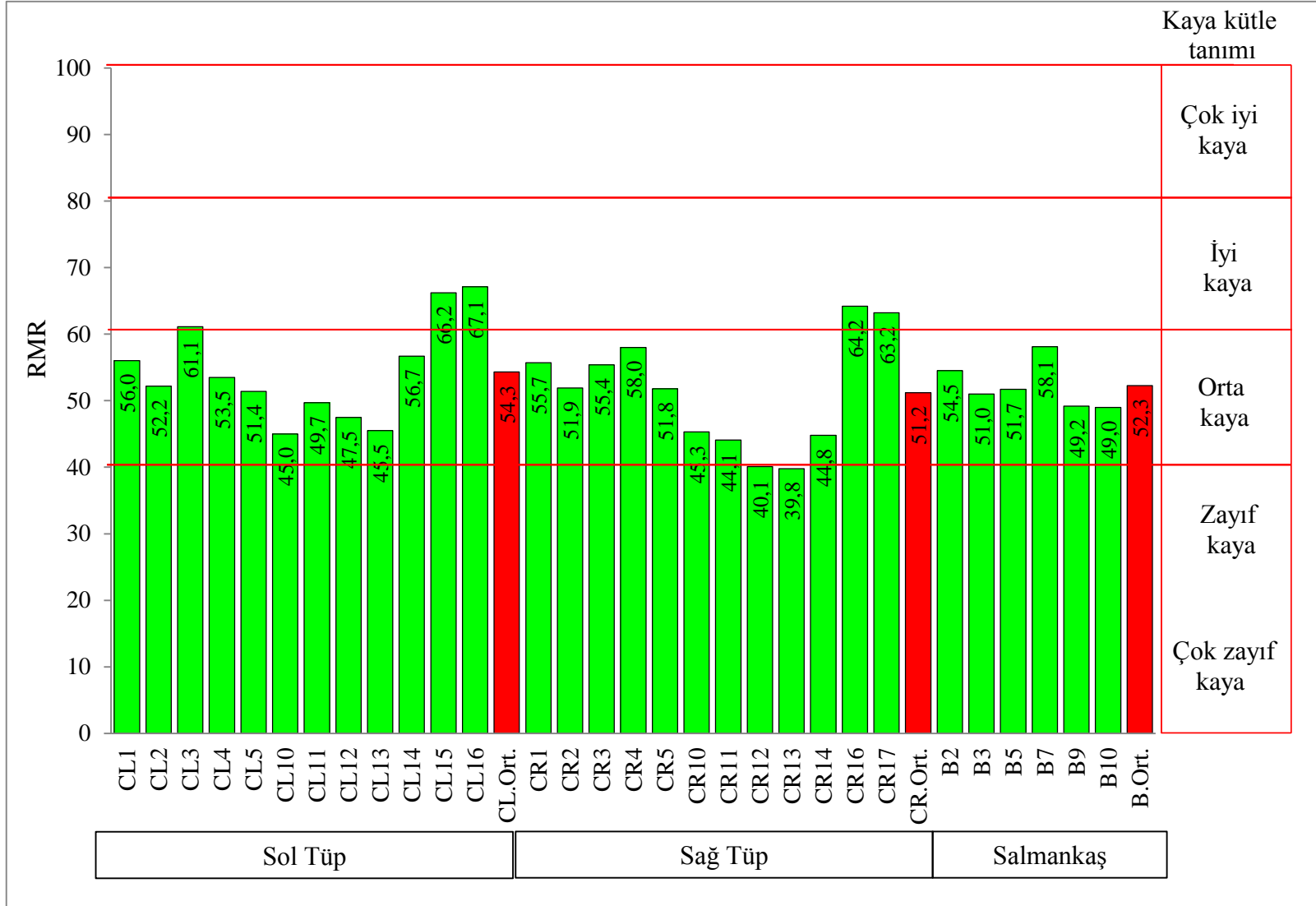
1. Mikroskobik incelemeler,
2. Eş değer kuvars içeriği,
3. Kaya aşındırıcılık indeksi

3.1. Yerinde Yapılan Çalışmalar

3.1.1. RMR Sınıflama Sistemi

Arazi çalışmalarında Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde farklı aralıklarda ve zamanlarda tünel hatları boyunca kazı aynalarına ait jeoteknik birimlerde, RMR sınıflaması için gerekli olan parametreler değerlendirilerek kaya kütle kaliteleri hesaplanmış ve sonuçlar Bieniawski (1989) kaya sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Her bir kazı aynasında bulunan kayaç birimler için hesap edilen temel RMR değerleri aşağıdaki verilmiştir (Ek 3).

Cankurtaran ve Salmankaş tünel kazı aynalarına ait temel RMR değerleri ve Bieniawski (1989) kaya sınıflamasına göre tanımlamaları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bieniawski’ye (1989) kaya sınıflamasına göre Cankurtaran tüneline genel kaya sınıflaması “iyi kaya”, “orta kaya” ve “zayıf kaya” olarak değerlendirilmiştir. Cankurtaran tüneline iyi kaya genellikle tünel çıkış tarafındaki andezit ve bazalt formasyonun olduğu birimler görülmüştür. Orta ve zayıf kaya ise kireçtaşı, marn gibi birimlerde elde edilmiştir. Cankurtaran tüneline sol tüp ve sağ tüp için ortalama temel RMR değerleri sırasıyla 54,3 ve 50,7 olarak hesaplanmış ve kaya sınıflamasına göre orta kaya olarak değerlendirilmiştir. Salmankaş tüneline genel kaya sınıflaması “orta kaya” olarak değerlendirilmiştir. Ancak, RMR değeri iyi kaya değerine çok yakın değerlerde olduğu ve ortalama temel RMR değeri 52,8 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Tünellerdeki kazı aynalarına ait temel RMR değerleri ve Bieniawski (1989) kaya sınıflamasına göre tanımı

3.1.2. Schmidt Çekici

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde 28 farklı kazı aynasında, kayaçların yerindeki sertlik değerlerini belirlemek amacıyla kazı aynalarında N ve L tipi Schmidt çekiciyle ölçümler yapılmıştır. Ölçümler kazı aynasına paralel olacak şekilde hat boyunca alınmıştır. Alınan ölçümler ISRM (1981) ve ASTM (2005) yöntemlerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda Schmidt çekici ölçüm sonuçları aşağıdaki Tablo 3.1- 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Cankurtaran tüneline L tipi Schmidt çekici sertlik değerlerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi

Tünel	Seri No	Schmidt çekici tipi	Schmidt sayısı	ISRM (1981)	ASTM (2005)	
Cankurtaran Sol Tüp	CL2	L	22	55	49	
	CL3	L	31	61	53	
	CL4	L	33	64	57	
	CL6	L	30	69	64	
	CL8	L	35	52	38	
	CL9	L	29	45	41	
	CL11	L	33	62	50	
	CL12	L	30	67	48	
	CL13	L	22	53	47	
	CL14	L	23	53	41	
	CL15	L	25	71	64	
	CL16	L	28	66	50	
	Cankurtaran Sağ Tüp	CR2	L	22	40	36
		CR3	L	28	60	45
		CR4	L	34	63	56
		CR8	L	32	54	51
CR11		L	33	59	46	
CR13		L	24	54	43	
CR14		L	24	45	35	
CR16		L	40	70	65	
CR17		L	40	68	64	

Tablo 3.2. Cankurtaran Tüneline ait N tipi Schmidt çekici sertlik değerlerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi

Tünel	Seri No	Schmidt çekici tipi	Schmidt sayısı	ISRM (1981)	ASTM (2005)
Cankurtaran Sol Tüp	CL2	N	20	58	52
	CL3	N	28	65	52
	CL4	N	30	63	56
	CL6	N	30	68	63
	CL8	N	32	50	39
	CL9	N	29	44	40
	CL11	N	32	60	49
	CL12	N	30	54	50
	CL13	N	22	52	39
	CL14	N	22	57	48
	CL15	N	24	65	52
CL16	N	28	68	59	
Cankurtaran Sağ Tüp	CR2	N	25	48	37
	CR3	N	26	59	43
	CR4	N	30	53	49
	CR8	N	26	52	46
	CR11	N	32	62	48
	CR13	N	25	55	40
	CR14	N	24	46	37
	CR16	N	30	69	69
CR17	N	40	69	57	

Tablo 3.3. Salmankaş tüneline ait N ve L tipi Schmidt çekici sertlik değerlerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi

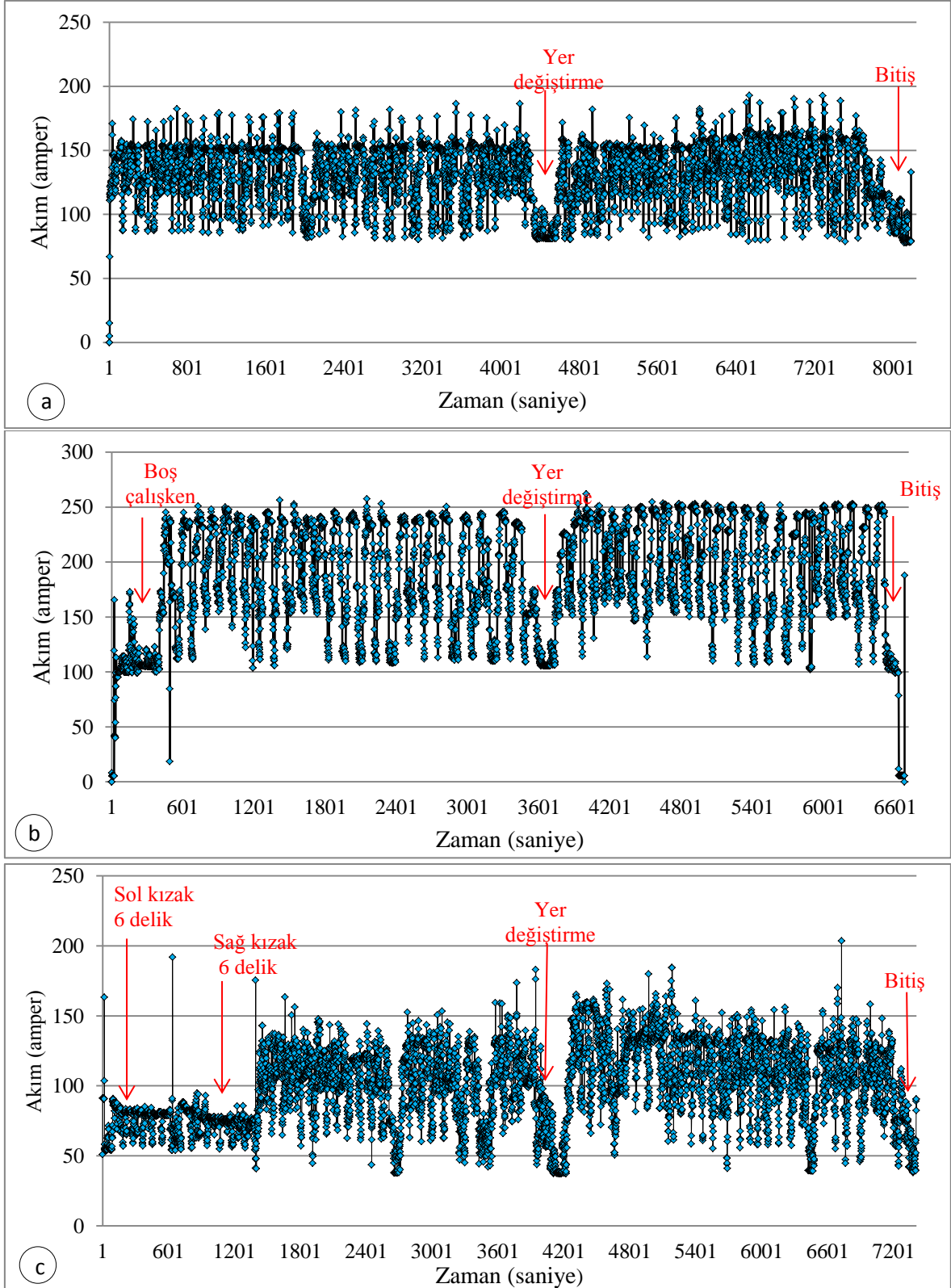
Tünel	Seri No	Schmidt çekici tipi	Schmidt sayısı	ISRM (1981)	ASTM (2005)
Salmankaş N tipi	B1	N	25	69	71
	B2	N	31	48	46
	B3	N	23	62	55
	B5	N	30	69	61
	B6	N	31	65	55
	B9	N	26	55	47
	B10	N	24	57	50
Salmankaş L tipi	B1	L	25	70	68
	B2	L	33	52	37
	B3	L	20	54	46
	B5	L	30	63	64
	B6	L	36	60	53
	B9	L	24	50	48
	B10	L	24	58	44

3.1.3. Delici Jumbo Makinalarda Spesifik Enerji ve Net Kazı Hızı

Mekanik kazı makinalarında, değişen kazı formasyonları sırasında sert bir formasyonla karşılaştığında kazı hızı yavaşlarken kazıyı gerçekleştirmek için harcanması gereken kuvvet artmaktadır. Başka bir deyişle makina kazarken zorlandığı için kazı hızı azalırken, kazıyı gerçekleştirmek için uygulanması gereken kuvveti artar. Doğru akım motorlarının bu özelliği sayesinde, kazıcı makinaların çektiği akım ve voltaj değerleri kullanarak elektrikli makinaların kazı esnasında gösterdikleri performansın miktarları dolaylı olarak saptanabilmektedir (Ceylanoğlu,1991; Özdoğan, 2003).

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde farklı modellerdeki delici Jumbo makinalarının delme performanslarını değerlendirmek ve spesifik enerji değerlerini hesaplamak için makinaların delme esnasındaki akım zaman değişim grafikleri incelenmiştir. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Jumbo delici makinaların delgi sırasında akım zaman değişim grafikleri Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.2’de a) Cankurtaran tüneli sağ giriş (CR5) tüpündeki Tamrock AXERA 6 tipi makinenin delme sırasındaki akım zaman değişimlerinin çok fazla değişiklik göstermediği görülmektedir. Bu durum delme sırasında sağ ve sol kızaklarına verilen darbe ve baskı oranlarının delgi süresi boyunca sabit kalmasından kaynaklanabilir. Ayrıca delgi yapılan formasyonun ağırlıklı olarak kumtaşı ve kireçtaşından oluşması, içerdiği süreksizlik ve çatlakların sayısının az almasından da kaynaklanabilir (Çapık, vd., 2013a).

Şekil 3.2’de b) Cankurtaran sağ çıkış (CR8) tüpündeki Atlas Copco Roket Bommer 282 tipi delici Jumbo makinesinin delme esnasında çektiği akım zaman değişimlerinde piklerin Sandvik DD32 ve Tamrock AXERA6 Jumbo makinalarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Atlas Copco makinasındaki akım zaman pikleri 250 ampere kadar yükselirken Sandvik ve Tamrock Jumbo makinalarında pikler 140-150 ampere kadar çıkabilmektedir. Bu durum kızaklara verilen darbe ve baskı oranlarının değişmesinden kaynaklı bir durum olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca makinaların çektiği güç değerlerinin farklılıklarından kaynaklı olabilmektedir.



Şekil 3.2. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Jumbo delici makinaların delgi sırasında akım zaman değişim grafikleri, a) CR5 kodundaki Tamrock AXERA 6 tipi makinenin, b) CR8 kodundaki Atlas Copco Rocket Boomer 282 tipi makinenin, c) B10 kodundaki Sandvik DD320 tipi makinenin delme sırasındaki akım zaman değişim grafiği

Salmankaş tüneline B10 kodundaki, Sandvik DD320 delici Jumbo makinesi ile delme sırasındaki akım zaman değişimleri Şekil 3.2 c)'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ilk 6 delik sol kızakla, ikinci 6 delik sağ kızakla delinmiştir. 12 deliğin delinmesinde akım zaman değişimleri çok fazla değişiklik göstermemiştir. Bu durum delme sırasında bomlara verilen darbe ve baskı oranlarının delgi süresi boyunca sabit kalmasından kaynaklanabilir. Ayrıca delgi yapılan formasyonun içerdiği süreksizlik ve çatlakların sayısının az olmasından da kaynaklanabilir. İlk 6 delik delinmesinden sonra yaklaşık 190 ampere kadar çıkan pik değeri, makinanın kapatılıp tekrar açılmasından kaynaklıdır. İki bomun birlikte çalıştığı durumda delme işlemi sırasında akım değişimlerinde ani yükselme ve düşmelerin olduğu görülmektedir. Bu durum kayacın formasyon özelliğinden kaynaklı bir durumda olabilmektedir. Çünkü çatlaklı bölgelerde makinanın zorlanması, bitlerin tıkanması ve darbe ve baskının sabit tutulmaması yani, sürekli değişmesi sıkça görülen sorunlardır. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Jumbo makinaların delme sırasında harcadığı spesifik enerji miktarı, net kazı hızı ve diğer özellikler Tablo 3.4 ve Ek2'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Jumbo makinaların delme sırasında harcadığı spesifik enerji miktarı

Seri No	Parametreler	Sol bom	Sağ bom	İki bom	Makine
CR5	Aktif delme süresi (dak.)	100	83	91	Tamrock AXERA 6
	Delme miktarı (m)	172	180	352,00	
	Ort. Akım (Amper)	102,84	105,20	139,38	
	Güç= (kW)	39,08	39,98	52,96	
	Kazılan malzeme, m ³	0,273	0,286	0,560	
	NKH (m³/h)	0,165	0,206	0,367	
	Spesifik enerji (kWh/m³)	237,18	193,97	143,21	
CR8	Aktif delme süresi (dak)	72	72	72	Atlas Copco Roket Boomer 282
	Delme miktarı (m)	196,00	192,00	388,00	
	Ort. Akım (Amper)	159,33	157,86	192,56	
	Güç (kW)	60,55	59,99	73,17	
	Kazılan malzeme, (m ³)	0,312	0,305	0,617	
	NKH (m³/h)	0,259	0,252	0,511	
	Spesifik enerji (kWh/m³)	234,22	237,71	143,26	
B10	Aktif delme süresi (dak)	74	78	66	Sandvik DD320
	Delme miktarı (m)	184	192	376	
	Ort. Akım (Amper)	77,69	73,78	109,55	
	Güç (kW)	29,52	28,04	41,63	
	Kazılan malzeme, m ³	0,292	0,305	0,598	
	NKH (m³/h)	0,238	0,235	0,474	
	Spesifik enerji (kWh/m³)	123,8	119,1	87,8	

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde Jumbo delici makinalarının farklı formasyonlar üzerinde alınan akım zaman değerlerinden elde edilen spesifik enerji ve net kazı hızları değerleri Tablo 3.5’de verilmiştir. Ayrıca Jumbo makinaların spesifik enerjileri hesaplanırken her bir kızığa ait net delik delme hızları Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.5. Jumbo makinalarına ait net kazı hızları ve spesifik enerji değerleri

Seri No	Makina	NKH (m ³ /h)				Spesifik enerji			
		Sol	Sağ	Top. Süre	ort. Süre	Sol	Sağ	Top. Süre	ort. Süre
CR5	AXERA 6	0,27	0,28	0,28	0,56	237,2	193,9	286,4	143,2
CR8	Atlas Copco	0,26	0,25	0,26	0,51	234,2	237,7	286,5	143,3
CR10	Sandvik	0,13	0,12	0,13	0,25	244,3	250,5	368,9	184,4
CR11	DD 320	0,25	0,30	0,28	0,55	111,5	111,3	183,7	91,8
CR11a		0,24	0,27	0,25	0,51	159,5	153,7	221,7	110,7
CR14	AXERA 6	0,16	0,13	0,15	0,30	208,7	250,1	300,6	150,3
CL4	Sandvik	0,21	0,19	0,20	0,40	164,6	183,4	244,5	122,2
CL5	DD 320	0,21	0,19	0,20	0,40	181,0	187,2	237,1	118,5
CL8	Atlas Copco	0,27	0,28	0,28	0,55	195,8	151,3	296,5	148,3
CL10		0,18	0,20	0,20	0,41	172,2	161,7	260,7	130,4
CL11		0,23	0,29	0,26	0,51	158,5	119,5	196,7	98,4
B5	Sandvik	0,19	0,23	0,21	0,41	195,3	172,9	281,0	140,5
B7	DD 320	0,19	0,19	0,19	0,38	153,7	175,5	283,9	141,9
B9		0,24	0,27	0,26	0,51	171,8	152,6	211,7	105,8
B10		0,24	0,24	0,24	0,47	123,8	119,1	175,7	87,8

Tablo 3.6. Jumbo makinalarına ait net delme hızları

Tünel	Seri No	Makina	Net delme hızları (m/dk)		
			Sol bom	Sağ bom	Top. Süre
Bayburt	B5		2,00	2,40	2,14
Salmankaş	B7	Sandvik	2,00	2,40	2,14
Dağbaşı	B9	DD320	2,50	2,86	2,61
Tüneli	B10		2,50	2,50	2,50
Cankurtaran Sağ Tüp	CR4	Tamrock	1,67	1,43	1,58
	CR5	AXERA 6	1,71	2,14	1,94
	CR11	Sandvik DD	2,61	3,16	2,86
	CR10	320	1,36	1,28	1,33
	CR8	Atlas 282	2,73	2,61	2,73
Cankurtaran Sol Tüp	CL4		2,22	2,00	2,07
	CL5	Sandvik	2,14	2,00	2,07
	CL10	DD320	1,88	2,40	2,14
	CL11		2,40	3,00	2,73
	C.L-8	Atlas 282	2,86	2,86	2,86

3.1.4. Matkap Aşınım Şekilleri

Delme sürecinde kayalar belli yük (baskı ve darbe) altında, belirli bir dönme hızıyla, belli bir sıcaklık altında ve bir miktar suyla etkileşim içindedir. Aşınma işlemi olarak aşınma tipi (wear type) ve aşınma oranı (wear ratio) kullanılabilir. Aşınma tipi keski üzerinde gözlenen özel bir aşınma şeklini açıklar. Ayrıca bir aşınma sınıflandırma sistemi kullanılarak, niteliksel olarak tarif edilebilir. Aşınma hızı, keski üzerindeki malzemenin uzaklaşma oranı olarak açıklanır. Bu terim bir bitin gerçekleştirdiği delme miktarı (m / bit), başka bir deyişle "matkap ömrü" olarak ifade edilir. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde takip edilen bitlerin genel aşınma tipi ve aşınma şekilleri Tablo 3.7'de verilmiştir (Plinninger, vd 2002a; Plinninger, vd 2002b; Thuro ve Plinninger, 2002; Çapık, vd., 2013b). Tünellerde takip edilen bitler üzerinde gözlenen aşınma tipleri Plinninger, vd (2002a); Plinninger, vd (2002b); Thuro ve Plinninger, (2002) tarafında elde edilen aşınma tiplerine paralellik göstermiştir. Ayrıca literatürde görülen aşınma tiplerine ilaveten iki yeni aşınma tipi daha belirlenmiştir.

Bunlar;

- Bit gövdesinin ortadan yarılması,
- Bitin matkaptan kırılması,

Bit gövdesinin ortadan yarılması, çoğunlukla üretim hatası veya malzeme kalitesinden dolayı görülen aşınma tipidir. Ayrıca yanlış kullanım sonucu meydana gelmiş olabilir.

Bu tip aşınmalardan bitin gövdeden kırılması, keski aşınma şekillerinden olan ucun şafttan kırılmasına benzemektedir. Ayrıca bitin matkaptan kırılması, yanlış kullanım sonucu meydana gelen bir aşınma tipi olsa da operatör tarafından delici takımlara uygulanan aşırı darbe ve baskı sonucu meydana gelen bir aşınma tipi olabilir.

Tablo 3.7. Tünellerinde kullanılan bitlerdeki aşınma sınıflandırılması .

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kullanılan bitler	Aşınma No	Açıklama
	A1	<u>Normal aşınma:</u> Matkap gövdesinin ve gövde üzerinde gömülen butonların zamanla düzgün bir şekilde aşındırıcı tarafında aşınmasıdır. Bu aşınma tipi, yüksek dayanım ve aşındırıcı özelliğe sahip kayaların delinmesinde görülen tipik bir aşınma çeşididir. • Salmankaş tüneline görülen bu aşınma tipi, balistik buton ve küresel buton tipi bitlerden elde edilmiştir.
	A2	<u>Matkap gövdesinin butonlarda önce belirgin şekilde aşınması:</u> delgi boyunca butonun dışarıda kalan kısmı zamanla artar, Bu aşınma tipi, zayıf kaya türlerinde delgi yaparken karşılaşılan tipik bir aşınma tipidir. Bitler kaya kütlesi içine derin şekilde nüfuz eder ve çok kırıntılı malzeme çıkartır. Böylece hem çelik gövde hemde butonlar kaya kırıntısına maruz kalmaktadır. Dolayısıyla keski gövdesi butonlardan daha hızlı aşınır. • Bu aşınma tipi, Cankurtaran çıkış tüplerindeki kazılarda takip edilen bitlerde görülen aşınma tipleridir.
	A3	<u>Butonların altındaki bağlayıcı kısmın eksikliği ve kalitesizliği:</u> yetersiz gömmeden dolayı butonlar zamanla yerinden kopabilmekte veya düşebilmektedir. Eğer bir buton kırılmaya başlarsa bu diğer butonları da etkileyebilir. Çünkü kırılan sert buton delikten çok zor dışarı çıkarılmaktadır ve diğer butonlar üzerinde çok yüksek dinamik darbe kuvvetlerine neden olabilmektedir. • Bu aşınma tipi, Cankurtaran çıkış tüplerindeki kazılarda takip edilen bitlerde görülmüştür.
	A4	<u>Çapın aşınması:</u> Buton ve matkap gövdesinin yan duvarlarında fazla aşınmanın olması. Çapın aşınması yüksek gerilimli veya değişken kayaç delgisinde karşılaşılan tipik bir aşınma çeşididir. Aşındırıcı kayaç malzemesi duvarlardan bite kuvvet uygular. Bitin delik çapı azalır ve çevresel butonlar kopmaya başlar. • Bu aşınma tipi, a) Cankurtaran çıkış tüplerinde, b) Salmankaş tüneline kazılardan takip edilen bitlerden görülmüştür.
	A5	<u>Çapın aşınmasının devamı:</u> Aşındırıcı kayaç malzemesi duvarlardan bite kuvvet uygular. İlk olarak, çevresel butonları dış kısım üzerinde aşınma göstermeye başlar, daha sonra keski gövdesi etkilenir, bitin delik çapı azalır ve çevredeki butonlar tamamen kopmaya başlar. • Salmankaş tüneline kazılardan elde edilen bir aşınma şeklidir.

Tablo 3.7'in devamı

	A6	<p><u>Butonların yapıldığı malzeme kusuru;</u> malzeme kusurundan dolayı butonlarda kırılmalar olmaktadır. Butonların mikroskobik hatası birçok parametreden etkilenebilir. Bazen dinamik darbe malzeme yenilmesinin temel nedeni olmaktadır.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bu aşınma tipi, Cankurtaran giriş ve çıkış tüplerindeki kazılarda takip edilen bitlerde görülmüştür.
	A7	<p><u>Eksik bağlayıcı;</u> Butonların altındaki bağlayıcı kısmın eksikliğinde veya kalitesizliğinden dolayı butonlar kopabilmekte /düşebilmektedir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bu aşınma tipi, Cankurtaran çıkış tüplerindeki kazılarda takip edilen bitlerde görülmüştür. Eksik bağlayıcıdan kaynaklı bir aşınma tipi. Çok az kullanılmış olmasına rağmen buton kopmuştur.
	A8	<p><u>Bit gövdesinin kırılması</u> Bit gövdesinin kırılması çoğunlukla üretim hatası ya da yanlış kullanımın sonucudur. Bu durum, herhangi bir kayaç özelliği ile ilişkili olmayabilir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cankurtaran tüneline kazılarında elde edilen bir aşınma şeklidir.
	A9	<p><u>Yüzeyin tamamen aşınması.</u> Bitin butonların tamamının aşınması, bu tür aşınmalar çoğunlukla jeolojik koşullardan bağımsızdır. Ayrıca matkabın geç değiştirilmesinde ve kopan butonun diğer butonlara zarar vermesinden kaynaklı olabilmektedir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aşınma tipi Salmankaş tüneline kazılarında görülen bir aşınma şeklidir.
	A10	<p>Bitin matkapdan kırılması, bu durum yanlış kullanım sonucu meydana gelir. Delici takımları uygulanan aşırı darbe ve baskı sonucu meydana gelen bir aşınma tipidir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aşınma tipi Cankurtaran tüneline kazılarında görülen bir aşınma şeklidir.
	A11	<p>Gövdenin ortadan yarılması, çoğunlukla üretim hatası ya da yanlış kullanımın sonucudur.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aşınma tipi Salmankaş tüneline kazılarında görülen bir aşınma şeklidir.

Tablo 3.7’de bit aşınma sınıflandırılması incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır;

- Normal aşınma, (A1) keski gövdesi ve bit üzerindeki butonların zamanla düzgün bir şekilde bir aşındırıcı altında aşınması durumunda normal aşınma gözlenir. Bu aşınma tipi, yüksek dayanıma ve aşındırıcı özelliğe sahip kayaların delinmesinde görülen tipik bir aşınma çeşididir. Normal aşınma daha çok kuvarsit, gnays, granit veya kuvarslı kumtaşı gibi kayalarda görünmektedir. Bu tür kayalarda görülen düzgün aşınma dağılımı bitin düşük penetrasyonu ile açıklanabilir (Şekil 3.3). Bu tip aşınmalarda özellikle kaya ile temasta olan sert metal uçlar düşük aşınma oranıyla ve minarelerle birlikte aşınırlar. Butonların aşınmasından dolayı çelik gövde doğrudan kayaya maruz kaldığı zaman yüksek aşınma oranında aşınır.



Şekil 3.3. Bitlerin penetrasyon oranları (Atlas Copco 2014)

- Buton boyu 3/4 oranına kadar aşınırsa, penetrasyon oranı, orijinal penetrasyon oranına göre 1/3 oranında azalır. Bu durumda delici takım ve bitin üzerindeki baskı artacaktır. Böylece Jumbo makinasının delici takımlarının ömrünü %30 oranında azaltacaktır.

- Keski gövdesinin belirgin bir şekilde aşınması (A2) ile muhtemel butonların kopması (A3) türü bit aşınımları zayıf kaya türlerinde delgi yaparken karşılaşılan tipik bir aşınma tipidir. Genellikle zayıf çimentolu veya ayrılmış kumtaşı, kumlu marntaşı, ayrılmış ve hidrotermal alterasyona uğramış granit ve gnays kayalarda görülebilir. Bu kayalarda bit kaya kütlesi içine derin şekilde nüfuz eder ve çok kırıntılı malzeme çıkarır. Böylece hem çelik gövde hem de butonlar az ya da çok eşit şekilde kaya ve kaya kırıntısına maruz kalmaktadır. Çünkü aynı mineral sertliğinde çelik ve sinterlenmiş karbür farklı

aşınma hızına sahiptir ve keski gövdesi butonlardan daha hızlı aşınır. Kendi çelik yatakları dışında hazırlanan butonlar, gömme yetersiz olduğunda bit kopmaya veya kırılmaya başlar. Eğer bir buton kırılmaya başlarsa bu diğer butonları da etkileyebilir. Çünkü kırılan sert buton delikten çok zor dışarı çıkarılmaktadır ve diğer butonlar üzerinde çok yüksek dinamik darbe kuvvetlerine neden olabilir.

- Çapın aşınması (A4 ve A5) delinecek delik deforme olduğu zaman yüksek gerilimli veya değişken kayaç delgisinde karşılaşılan tipik bir aşınma çeşididir. Aşındırıcı kayaç malzemesi duvarlardan bite kuvvet uygular. İlk olarak, çevresel butonları dış kısım üzerinde aşınma göstermeye başlar (A4), daha sonra keski gövdesi etkilenir, bitin delik çapı azalır ve çevresel butonlar kopmaya başlar (A5).

- Butonların mikroskobik hatası (A6, A7) çoğunlukla kayanın aşındırıcılık ve mineral içeriğinden bağımsızdır. Çoğunlukla kayanın dayanımı, dokusu, kaya kütlelerinin özellikleri, makinanın tipi ve özelliği, keski tipi, operatör tecrübesi ve diğer birçok parametreden etkilenir. Dinamik darbe malzeme yenilmesinin temel nedeni olmaktadır. A7 tipi aşınmanın (butonun gövdeden kopması) çelik gövde üzerindeki butonların kötü lehimlemesinden kaynaklandığı kolaylıkla anlaşılabilir. Bit gövdesinin kırılması (A8) çoğunlukla üretim hatası ya da yanlış kullanımın sonucudur.

- Yüzeydeki butonların tamamen aşınması (A9) bu aşınma durumunda pek çok sebebin etkisi vardır. Bunlardan biri matkabın geç değiştirilmesinde ve kopan butonun diğer butonlara zarar vermesinden kaynaklı olabilmektedir. Ayrıca butonları tamamen körelmiş bir bit ile delik delmeye çalıştığınızda, tabancadan gönderilen darbe enerjisi, tekrar tabancaya geri dönecek ve tabancanın ömrünü azaltacaktır.

Aşağıda verilen temel jeolojik faktörler butonların hatası/kusuru için kabul edilebilen geçerli nedenlerdir. Bunlar;

- Yüksek dayanımlı homojen olmayan kaya kütleleri, dolgulu ve dolgusuz süreksizlikler ve yumuşak kayalar ile kombinasyon halleri.

- Konglomera ve fanglomera veya breş gibi, yaklaşık 2 cm çapını aşan homojen olmayan sert bileşimli (> yakl. 80 MPa) kaya türleri.

- Çelik tahkimat sistemi kurulduğundan (çelik hasır, püskürtme beton, bulon) açılan deliklerde, bitlerin çevre butonlarının kırılması artmaktadır.

3.1.5. Matkap Aşınım Ömürleri

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde delgi işlemini gerçekleştirmek için kullanılan çift boumlu Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA 6 Jumbo makinalarında ölçümler alınmış, makinaların performans değerlendirmeleri ve matkap aşınma ömürleri hesaplanmıştır. Delme işleminde kübik, yarı balistik ve balistik tipten farklı matkaplar kullanılmıştır. Kullanılan matkapların delik delme hızları (m/dk), matkap ömürleri (bir bitin deldiği toplam delik uzunluğu), (m/bit), her bir bitin kazdığı malzeme miktarı (m³/bit) ve delinen toplam delik uzunlukları (m) hesaplanmıştır. 7 farklı markadan oluşan 25 balistik, 2 yarı balistik ve 6 kübik matkap (bit) olmak üzere toplam 33 bit kullanılmıştır. Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde delgi işleminde takip edilen bitler Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde delgi işleminde takip edilen bitler

Tünel	Delici Jumbo makinası	Ayna sayısı	Bit sayısı	Delme mesafesi (m)	Kazılan malzeme mik. (m ³)	Net delme hızı (m/dak)	Aktif delme süresi (saat)	Toplam delme süresi (saat)	Arızalar/bekleme toplam süre (saat)
Can K. çıkış	Atlas Copco 282	12	8	3367	1316	2,20	26	47	4
	Sandvik DD320	25	7	5220	3142	2,59	35	63	11
Toplam		37	15	8587	4458	2,39	61	110	15
Can K. giriş	Tamrock AXERA 6	6	2	1832	1100	2,04	15	13	1
	Sandvik DD320	13	4	3711	3750	2,19	29	30	4
Toplam		19	6	5543	4850	2,11	44	43	5
B.Sal.	Sandvik DD320	28	12	8502	3694	2,15	66	76	3
Toplam		28	12	8502	3694	2,15	66	76	3
GENEL TOPLAM		84	33	22630	13002	2,23	171	229	23

Tablo 3.8'de incelendiğinde Cankurtaran tüneline 21, Salmankaş tüneline 12 bit kullanılmıştır. Kullanılan bitlerin marka isimleri belirtilmemiş olup numaralandırılmıştır. Kullanılan bitler için Cankurtaran tüneline 56, Salmankaş tüneline ise 28 olmak üzere toplam 84 kazı aynası takip edilmiştir. Kazı aynalarından Cankurtaran tüneline 14.128 m delgi yaparak, 9308 m³ malzeme kazısı gerçekleştirmiştir. Salmankaş tüneline ise 8502 m

delgi yaparak, 3694 m³ malzeme kazısı gerçekleştirilmiştir. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kazı işlemi için toplam 171 saat aktif olarak Jumbo makinası kazı işlemini gerçekleştirmiştir. Jumbo makinaları toplam 229 saat delgi işlemi için kazı aynasında beklemiştir. Bu süreye ön hazırlık işlemleri dâhil değildir. Delgi süresince arıza ve istenmeyen diğer beklentiler olarak toplam 23 saat ölçüm alınmıştır. Cankurtaran Sağ ve Sol giriş tüplerinde ve Salmankaş tüneline takip edilen matkaplar ve matkap ömürleri aşağıda verilmiştir.

Cankurtaran giriş tüplerinde Tamrock AXERA 6 ve Sandvik DD 320 Jumbo makinalarıyla kireçtaşı, kumtaşı ve marn birimlerinden 6 bit ömrü takip edilmiştir. En fazla delgi işlemi 3 ve 4 nolu balistik bitlerden elde edilmiştir. Bu bitlerle sırasıyla 1361m ve 1123 m delgi işlemi gerçekleştirmişlerdir. Her iki bit için tünel kazı aynasından makinanın delgi işlemine hazırlama süreci hariç toplam 1215 dakika boyunca Jumbo makinası delgi işlemi için aynada kalmıştır. Jumbo makinası aynada kaldığı bu sürenin ancak yarısı kadarı ile aktif delgi işlemi gerçekleştirmiştir. Ayrıca burada iki farklı kalitedeki bitin karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki bit aynı formasyonda, aynı operatör ve aynı makinada delgi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Delgi işlemi sonunda 3 nolu bit üzerinde bir buton kopmuş, 4 nolu bit üzerinde üç buton kopmuştur. 1 ve 2 nolu kübik butonlu bitler ile sırasıyla 892 m ve 940 m delgi işlemi gerçekleştirilmiştir. Delgi sonunda bitler üzerinde bulunan butonların penetrasyon oranlarının azalmasından dolayı delgi işlemi yavaşlamıştır. Delgi işleminin yavaşlaması sonucunda bitler üzerinde herhangi bir buton kaybı olmadığı halde bitler değiştirilmiştir. 5 ve 6 nolu bitler ile sırasıyla 624m ve 604m delgi işlemi gerçekleştirmelerine rağmen, bitler de herhangi aşınma veya buton kaybı gerçekleşmemiştir. Cankurtaran giriş tüplerindeki bit ömürleri Tablo 3.9 ve Ek1'de verilmiştir.

Tablo 3.9. Cankurtaran giriş tüplerinde takip edilen bitler ve bit ömürleri

Bit no	Buton tipi	Bit türü	Makina	Delme mesafesi (m)	Kazılan mal. mik. (m ³ /bit)	Aktif delme (dak.)	Toplam delme (dak.)	Bekleme süresi (dak.)	Bit aşınma şekli
1	Kübik	Aynı marka	Tamrock	892	535,8	449	765	68	Normal aşınma
2	Kübik	marka	AXERA 6	940	564,7	458			Normal aşınma
3	Balistik	Farklı marka	Sandvik	1361	840,3	620	1215	161	1 buton koptu
4	Balistik	marka	DD320	1123	686,6	621			3 buton koptu
5	Balistik	Aynı marka	Sandvik	624	352,1	248	535	90	Aşınmadı
6	Balistik	marka	DD320	604	344,4	254			Aşınmadı

Cankurtaran çıkış tüplerindeki ayna delgisinde Atlas Copco Rocket-Boomer-282 ve Sandvik DD 320 Jumbo makinaları ile takip edilen bitler ve bit ömürleri Tablo 3.11’de verilmiştir. Atlas Copco Rocket-Boomer-282 Jumbo makinasıyla andezit ve bazalt birimlerinden toplam 8 adet bit ömrü takip edilmiştir. Bitler ortalama 450-500 metre delme işlemi gerçekleştirmiştir. 6 nolu bit ile sadece 23 metre delgi işleminden sonra bit delik içinde matkaptan kesilmiştir. Bu durum matkap imalat kusurundan meydana gelmiş olabilir veya operatör hatasından kaynaklanmış olabilir.

Tablo 3.11. Cankurtaran çıkış tüplerinde takip edilen bitler ve bit ömürleri

Bit no	Buton tipi	Bit türü	Makina	Delme mesafesi (m)	Kazılan mal. mik. (m ³ /bit)	Aktif delme süresi (dak)	Toplam delme (dak)	Bekleme süresi (dak.)	Bit aşınma şekli	
1	Kübik	Farklı		418	161	229	600	110	3 buton koptu	
2	Balistik	Farklı marka		623	244	271	630		Butonlar koptu	
3	Balistik	Aynı	Atlas Copco Rocket-Boomer-282	475	189	234	365	70	Butonlar koptu	
4	Balistik	Aynı marka		350	133	136	260		Matkap delik içinde kesildi	
5	Balistik			547	231	248	440		50	2 buton koptu
6	Kübik	Farklı		23	-	10	-		-	Matkap delik içinde kesildi
7	Kübik	Farklı marka		471	176	225	255	55	1 buton koptu	
8	Balistik			460	172	197	255	55	1 buton koptu	
1	Balistik	Aynı	Sandvik DD 320	408	218	150	350	30	Butonlar koptu	
2	Balistik	Aynı marka		491	260	146			Butonlar koptu	
3	Balistik	Aynı		521	283	227	420	25	Butonlar koptu	
4	Balistik	Aynı marka		407	221	146			Butonlar koptu	
5	Balistik	Farklı		886	558	351	940	214	5 buton koptu	
6	Balistik	Farklı marka		1624	1021	645	1585	304	1 buton koptu	
7	Kübik			883	581	440	755	90	Normal aşınma	

Sandvik DD 320 Jumbo makinası ile çoğunluğu marn olan, kireçtaşı, kumtaşı ve andezit ve bazalt birimlerinden 7 bit ömrü takip edilmiştir. En fazla delgi işlemi 5 ve 6 nolu balistik bitlerden kireçtaşı ve marn formasyonlarından elde edilmiştir. Bu bitler bitlikte Jumbo makinasına takılmış ve sırasıyla 886 m ve 1624 m delgi işlemi gerçekleştirmişlerdir. Delgi işlemi sonrasında 5 nolu bit ile 351 dakika delgi yapılmış ve matkapta 5 buton kopmuştur. Daha sonra aynı kızığa 7 nolu kübik bit takılmıştır. 7 nolu bit ile 440 dakika boyunca 883m delgi yapılmıştır. Delgi sonrası bit üzerinde normal aşınma görülmüştür. 6 nolu bit ise toplam 1585 dakikada boyunca, 645 dakika (1624m)

delgi işlemini gerçekleştirilmiştir. Delgi işlemi sonucunda bit üzerinde bir buton kopmuştur.

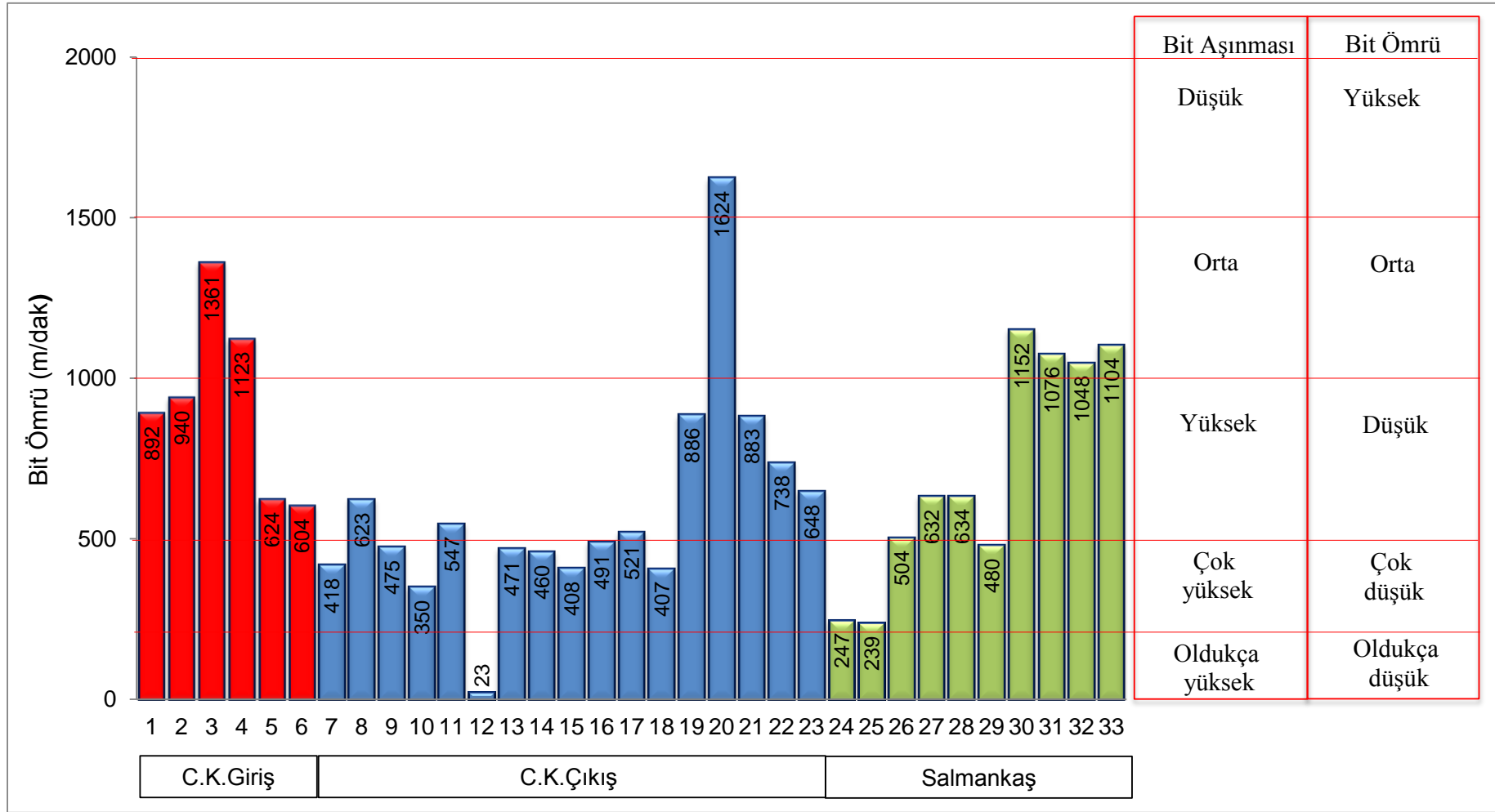
Salmankaş tüneline ayna delgisinde takip edilen bitler ve bit ömürleri Tablo 3.12’de verilmiştir. Sandvik DD 320 Jumbo makinası ile andezit, bazalt, marn, çakıl taşı ve aglomera gibi birimlerinden toplam 12 adet bit ömrü takip edilmiştir. 3 ve 4 nolu bitler ile andezitik kristal tuf formasyonunda sadece bir ayna delgisi yapılmış ve bit üzerinde sırasıyla 4 ve 2 buton kopmuştur. Bu bitlerdeki delgi ömürlerinin düşük çıkması butonların yapıldığı tungsten karbür kalitesinden kaynaklı bir sorundur. En fazla delgi işlemi son 4 bit ömürlerinde kayıt edilmiştir. Bu bitlerin deldiği formasyon dayanımı 40-60 MPa olan marn, çakıltaşı ve aglomera formasyonlardan elde edilmiştir.

Cankurtaran ve Salmankaş tüneline makinaların bekleme süresi (istenmeyen zaman) toplam 23 saattir. Bu bekleme süresi makine delici takımlarında yaşanan sorunlar, iş ve çevre kaynaklı bir takım sorunlar olmaktadır. Tünellerde yaşanan beklemeler, shank kesilmeleri, yağ hortumu patlaması, matkabın delikte sıkışması, bom arızası, su sorunu, elektrik kesintisi, vardiya değişimi ve yemek molası gibi beklemeler almaktadır.

Plinninger, (2002a) Ø 43 - 48 mm çaplarındaki bitler için geliştirilen bit aşınma oranı ve bit ömürleri sınıflandırılmasına göre Cankurtaran ve Salmankaş tüneline delgi işleminde takip edilen bitlerin, bit aşınması ve bit ömrüne göre sınıflandırılması Şekil 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Salmankaş tüneline takip edilen bitler ve bit ömürleri

Bit no	Buton tipi	Bit türü	Makina	Delme mesafesi (m)	Kazılan mal. mik. (m ³ /bit)	Aktif delme süresi (dak.)	Toplam delme süresi (dak.)	Bekleme süresi (dak.)	Bit aşınma şekli
1	Balistik	Aynı marka	Sandvik DD 320	738	275	339	530	40	3 buton koptu 1 buton kırıldı
2				648	248	311	600		2 buton koptu
3	Balistik	Aynı marka		247	165	130	232	-	4 buton kırıldı
4				239	152	116			2 buton kırıldı
5	Kübik	Aynı marka		504	141	258	490	17	Normal aşınma
6	Balistik	Aynı marka		632	176	276	276		Normal aşınma
7	Balistik	Aynı marka		634	357	413	625	25	2 buton koptu
8	Balistik	Aynı marka		480	277	260	525		1 buton koptu
9	Balistik	Aynı marka		1152	492	514	870	80	2 buton koptu
10	Balistik	Aynı marka		1076	459	484			2 buton koptu
11	Balistik	Aynı marka		1048	463	443	635	20	3 buton koptu
12	Balistik	Aynı marka		1104	488	480			3 buton koptu



Şekil 3.4. Bit takip edilmesinde elde edilen sonuçların bit aşınması ve bit ömrüne göre sınıflandırılması

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

3.2.1. Kayaçların Fiziko- Mekanik Özellikleri

Kayaçların fiziko-mekanik özellikleri için aşağıdaki deneyler yapılacaktır.

- Tek eksenli basınç dayanımı,
- Nokta yük dayanımı,
- Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian deneyi),
- Birim hacim ağırlık (doğal ve kuru birim ağırlık),
- Su emme oranı (ağırlıkça ve hacimce),
- Görünür porozite ve boşluk oranı,

Kayaçların fiziksel özellikleri, kayanın yapısına bağlı olarak değişen özelliklerdir. Bu özellikler kayanın oluşum, doku ve bileşen kompozisyonuna bağlı olarak farklılık göstermekte olup, kayaç malzemesinin tanımlanmasında önemli roller üstlenmektedir. Mekanik özellikler ise, kaya malzemesinin bir takım dinamik ve statik yükler altındaki davranışını belirlemek için temsil eden özellikler olarak sınıflandırılabilir. Mekanik özelliklerin tayini gerek laboratuvar gerekse arazide gerçekleştirilen deneyler ile elde edilir ve kaya mühendisliği projelerinde, yapı malzemesi olarak kullanılacak kayanın dayanım özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen önemli bir parametredir.

3.2.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

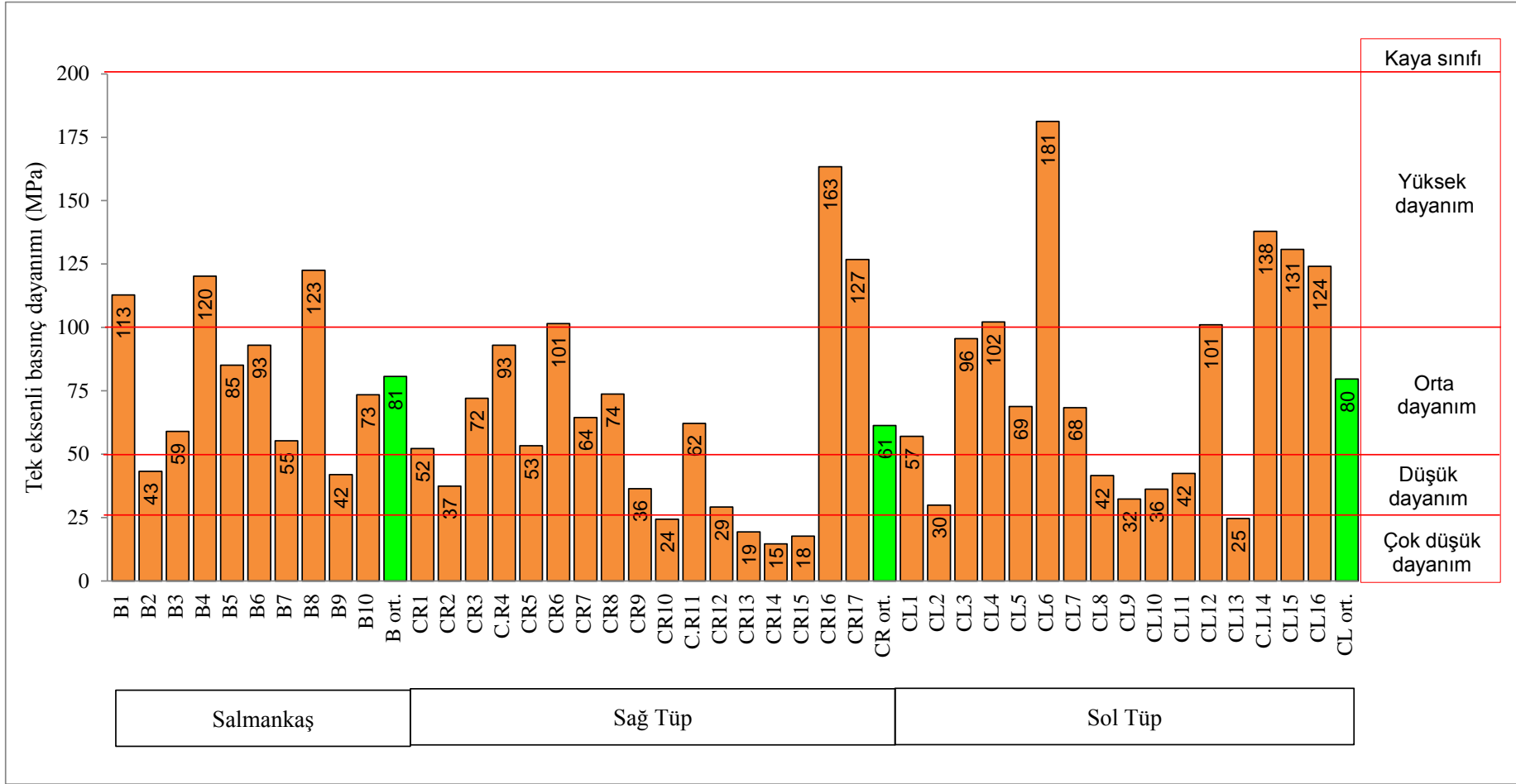
Tek eksenli basınç dayanımı, kayacın dayanımının delinebilirlik, uç tüketimi ve aşındırıcılık deneyleri ile arasındaki ilişkilerinin araştırılmasında kullanılmaktadır (Plinninger, ve Thuro 2004). Deere ve Miller (1966), tarafından gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanım sınıflandırması Tablo 3.13'de gösterilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı sonucunda kırılan deney numunesi Şekil 3.5'de verilmiştir. Tünelden alınan bloklar üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanım deney sonuçları ve kaya dayanımının sınıflandırması Şekil 3.6'de verilmiştir.

Tablo 3.13. Kayaçların basınç dayanım değerlerine göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, MPa.
Çok düşük dayanımlı	< 25
Düşük dayanımlı	25-50
Orta dayanımlı	50-100
Yüksek dayanımlı	100-200
Çok yüksek dayanımlı	> 200



Şekil 3.5. Tek eksenli basınç dayanımı sonucunda kırılan numuneler



Şekil 3.6. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları ve kaya sınıflandırılması

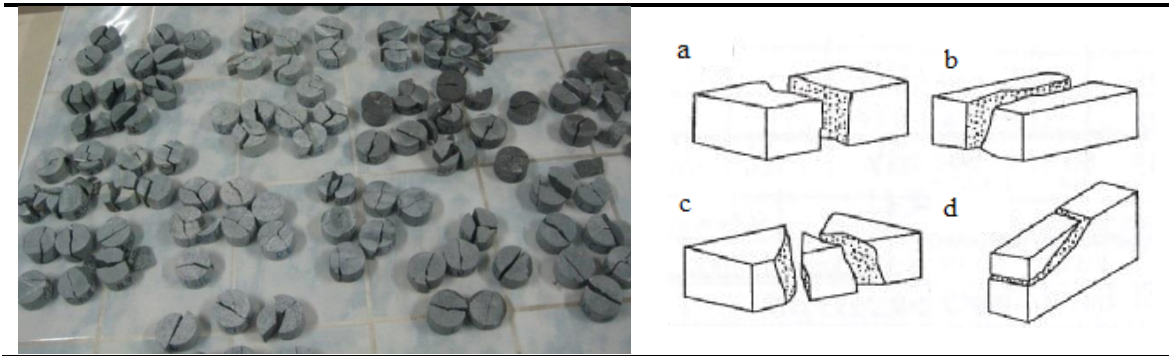
3.2.1.2. Nokta Yük Dayanımı

Nokta yük deneyi, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılır. Nokta yük dayanım indeksi tek eksenli basma ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılır. Deney sonucu esas alınarak kayacın “Nokta yük dayanım indeksi” ve ayrıca “Dayanım anizotropi indeksi” de belirlenir (Topal, 2000).

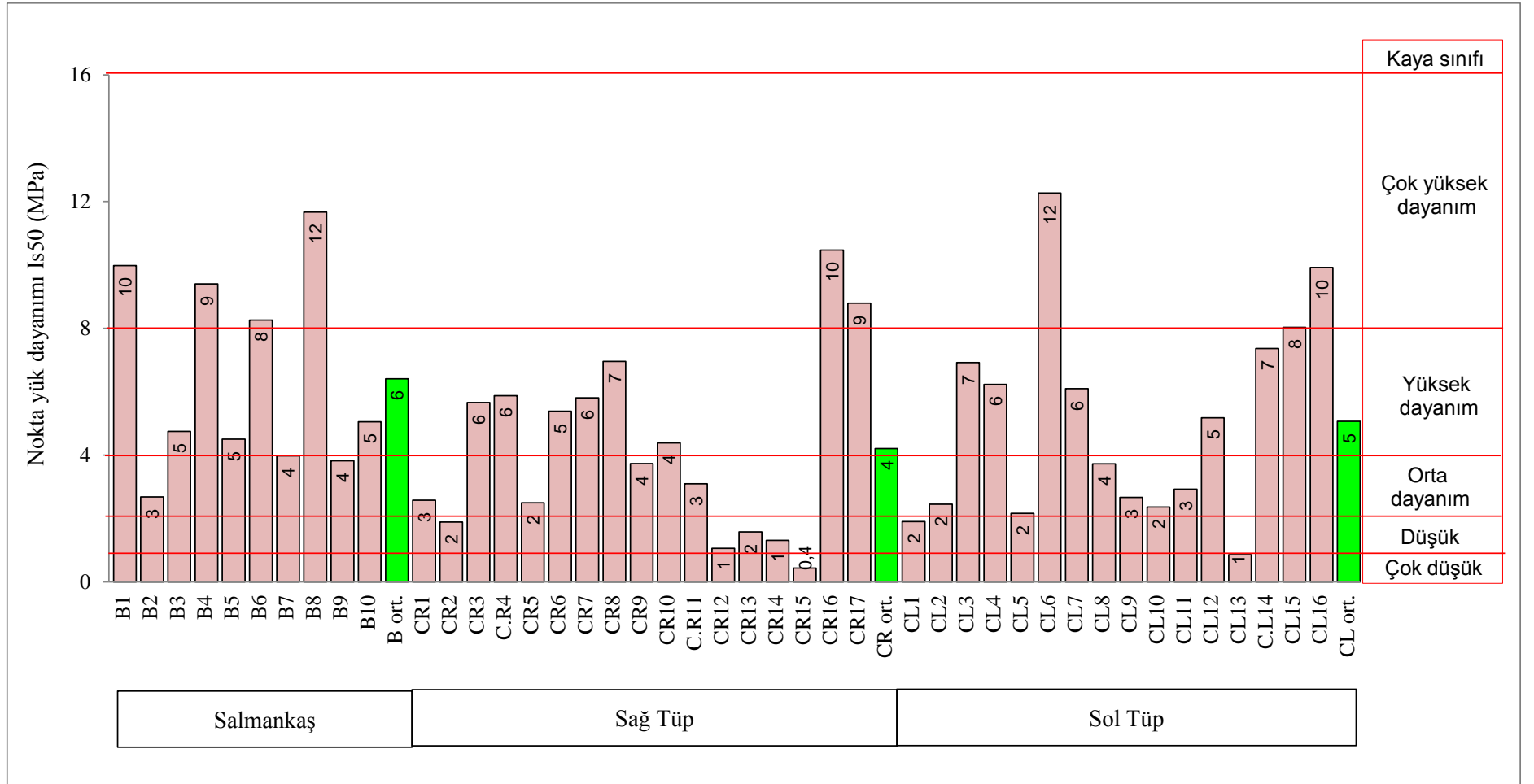
Nokta yükleme dayanımı sonucu örneklerin kırılma şekilleri ve kırılan şekillerin ISRM, 1985’e göre uygunluğu Şekil 3.7’de verilmiştir. Deney sonucunda elde edilen verileri ve Bieniawski (1975) tarafından nokta yük dayanımına göre yapılan kaya sınıflandırmaları Şekil 3.8’de verilmiştir. Bieniawski (1975) tarafında gerçekleştirilen kaya sınıflamaları Tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.14. Kayaçların nokta yük dayanımlarına göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1975).

Kaya Sınıfı	Nokta Yük Dayanımı, MPa.
Çok düşük dayanımlı	<1
Düşük dayanımlı	1-2
Orta dayanımlı	2-4
Yüksek dayanımlı	4-8
Çok yüksek dayanımlı	>8



Şekil 3.7. Nokta yük dayanımı sonucu örneklerin kırılma şekilleri ve ISRM, 1985’e göre geçerli geçersiz yenilme şekilleri, a, b, c geçerli kırılma, d geçersiz kırılma



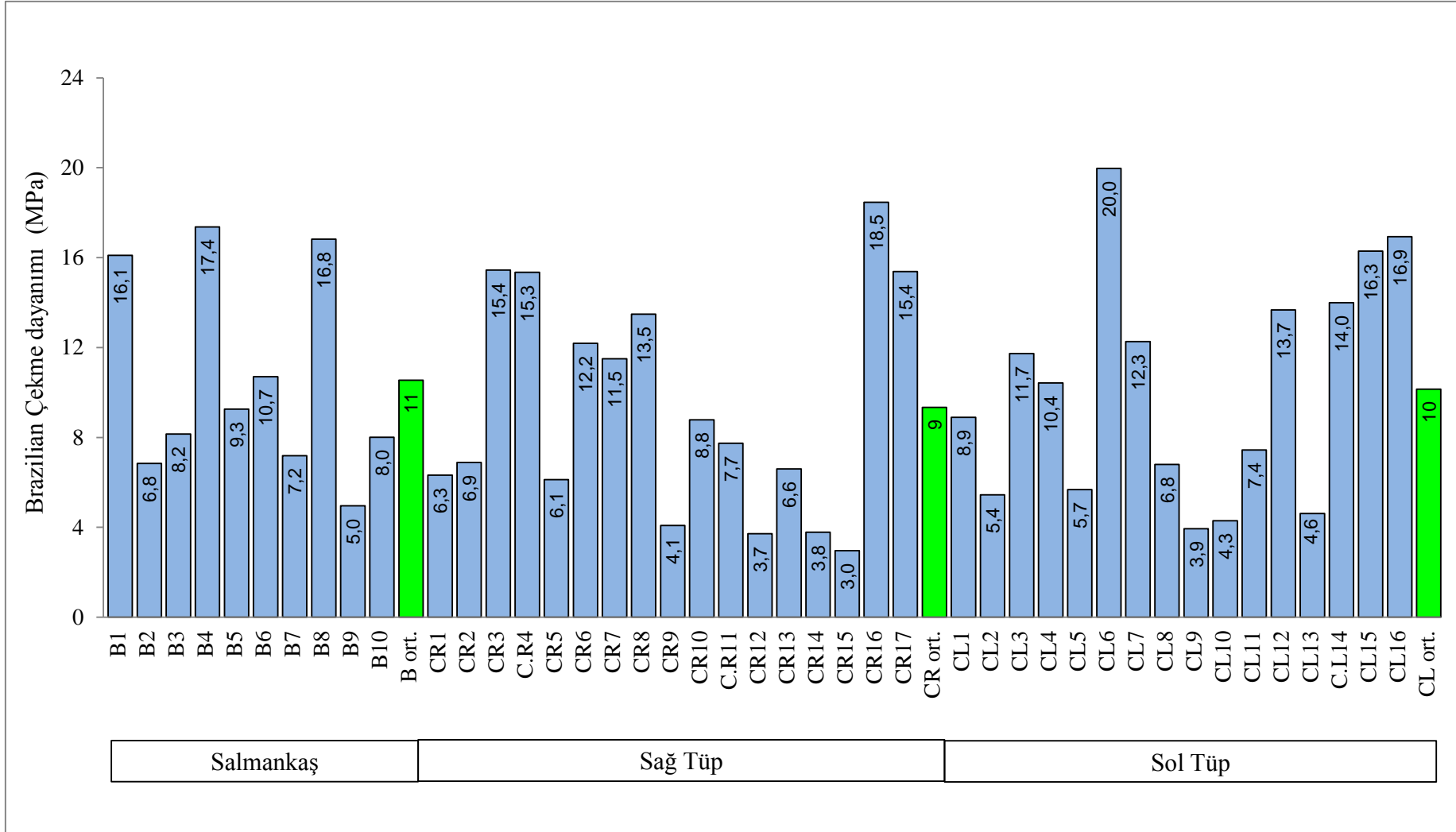
Şekil 3.8. Nokta yük dayanım deney sonuçları ve kaya sınıflaması

3.2.1.3. Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian deneyi)

Dolaylı çekme dayanımı disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme gerilmesine karşı gösterdikleri dirençtir. Deney sonucunda kırılan numune şekilleri Şekil 3.9'de görülmektedir. Dolaylı çekme dayanımı deney sonuçları Şekil 3. 10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Brazilian dolaylı çekme dayanımı, a)hazırlanmış numune b) numunenin kırılması, c) hazırlanan numuneler, d) kırılmış numuneler



Şekil 3.10. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney sonuçları

3.2.1.4. Birim Hacim Ağırlık

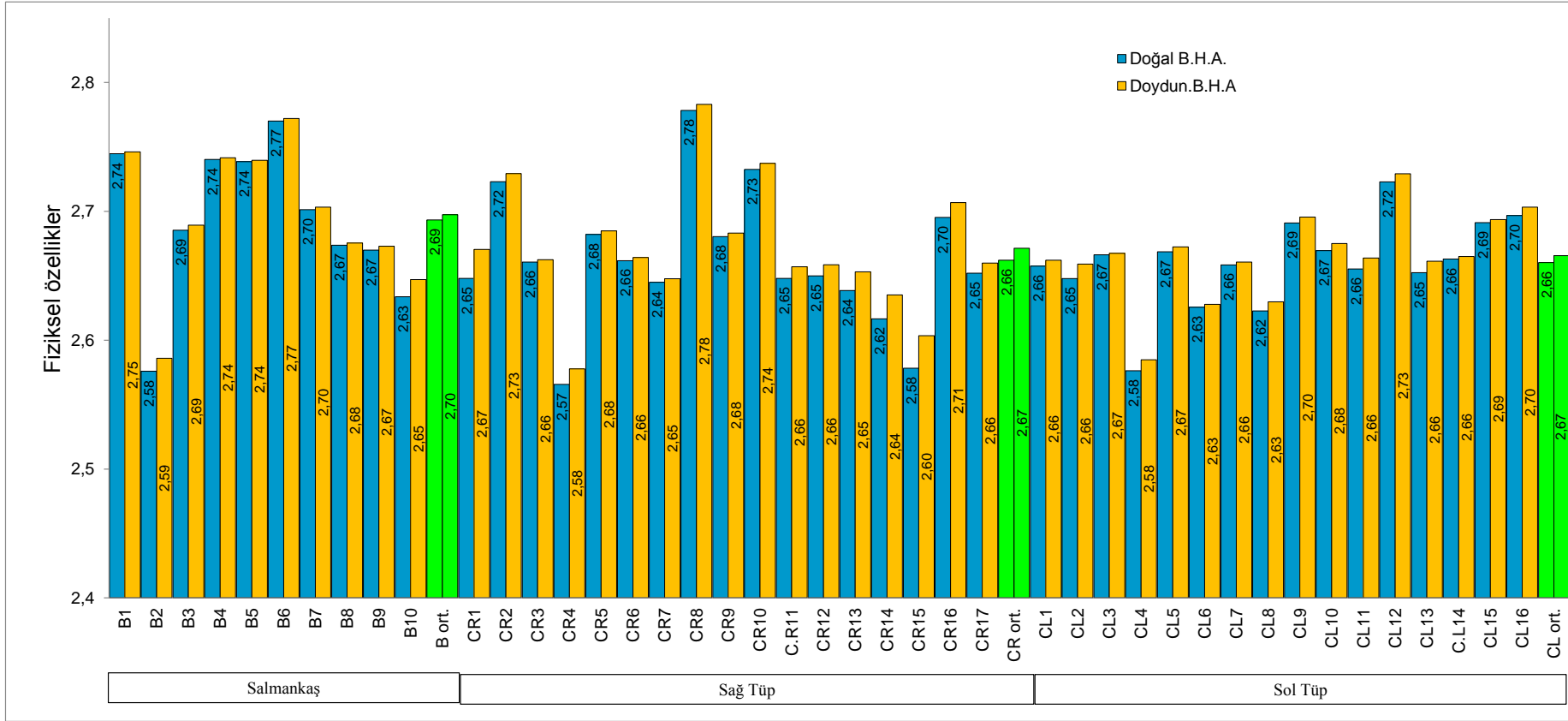
Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden alınan bloklardan NX boyutunda (54 mm çapında) karot örnekleri alınmıştır. Hazırlanan karot örnekler üzerinde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Deney için düzenli bir geometriye sahip karot örneklerinden birim hacim ağırlık tayini yapılmıştır. Deney yöntemi kuru birim hacim ağırlığı, doymun birim hacim ağırlığı ve doğal birim hacim ağırlığı olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirmiştir. Şekil 3.11’de doğal birim ve doymun birim hacim ağırlık deney sonuçları verilmiştir. Kuru birim hacim ağırlık sonuçları Ek 4’de verilmiştir.

3.2.1.5. Su emme oranı

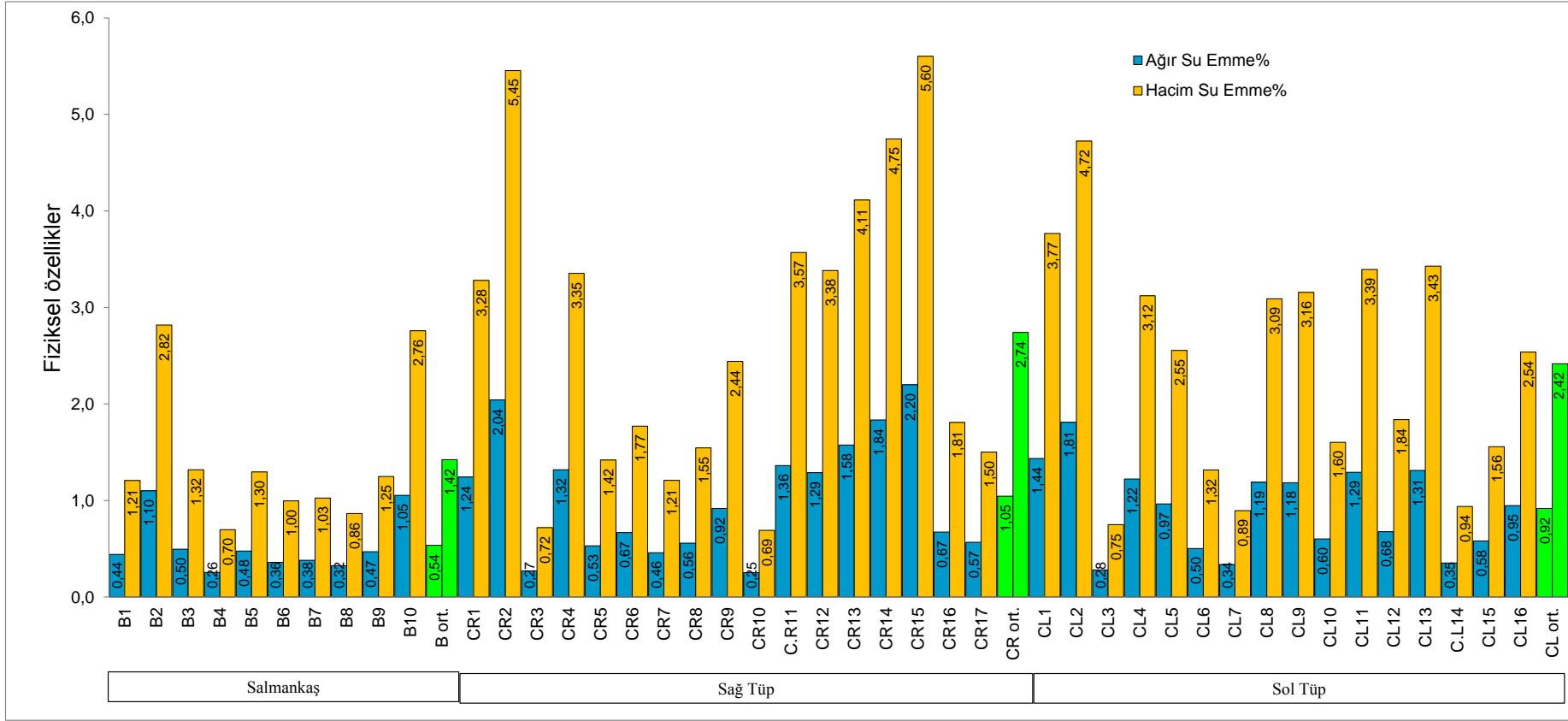
Kayaçlardaki su emmenin az veya çok oluşu diğer fiziksel özellikleri etkilemektedir. Kayaçlarda su emme miktarının hesabı, kütlece ve hacimce yapılmıştır. Kayaçların atmosfer basıncı altında ağırlıkça ve hacimce su emme oranı tayini için, yapılan deneyler Şekil 3.12’de verilmiştir.

3.2.1.6. Görünür Porozite ve Boşluk Oranı Tayini

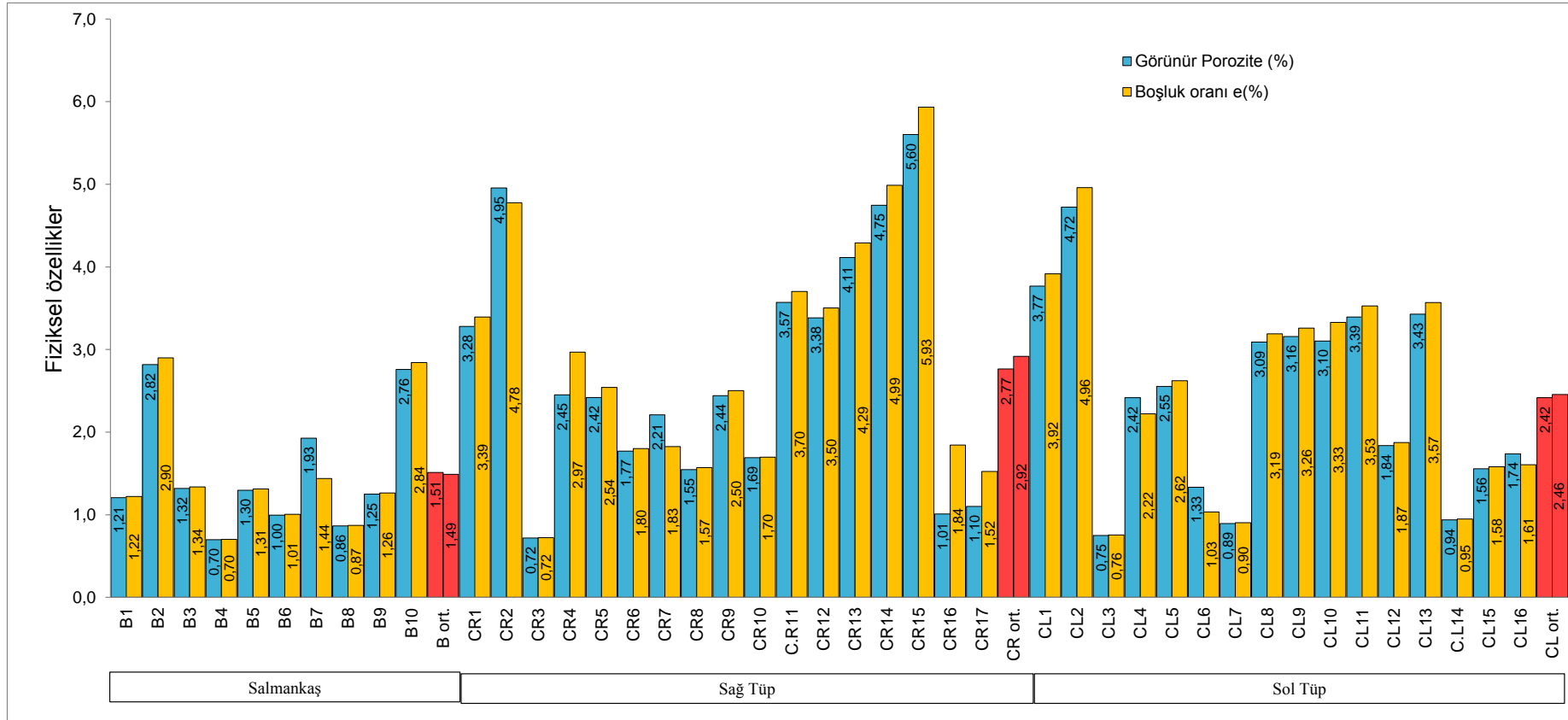
Görünür porozite, değişmez kütleyle kadar kurutulmuş kayaç numunesinin absorbe edebildiği su miktarına karşılık gelen hacminin boşlukları dâhil hacmine (tüm hacim) oranı olarak tanımlanır (TSE 8615). Görünür porozite ve boşluk oranı tayini deney sonuçları Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Deney sonrası kayaçların birim hacim ağırlık sonuçları



Şekil 3.12. Ağır su emme ve hacimce su emme deney sonuçları



Şekil 3.13. Görünür porozite ve boşluk oranı deney sonuçları

3.2.2. Delme Oranı İndeksi (DRI)

Delme oranı indeksi deneyi için iki temel deney gerçekleştirilmiştir. Kırılmalık deneyi (brittleness test), S_{20} ve Sievers minyatür delme deneyi (Sievers miniature drill-test value), SJ'dir. Delme oranı indeksi kayaç yüzey sertliği için düzeltilmiş kırılmalık değeri olarak tanımlanabilir (Dahl 2003).

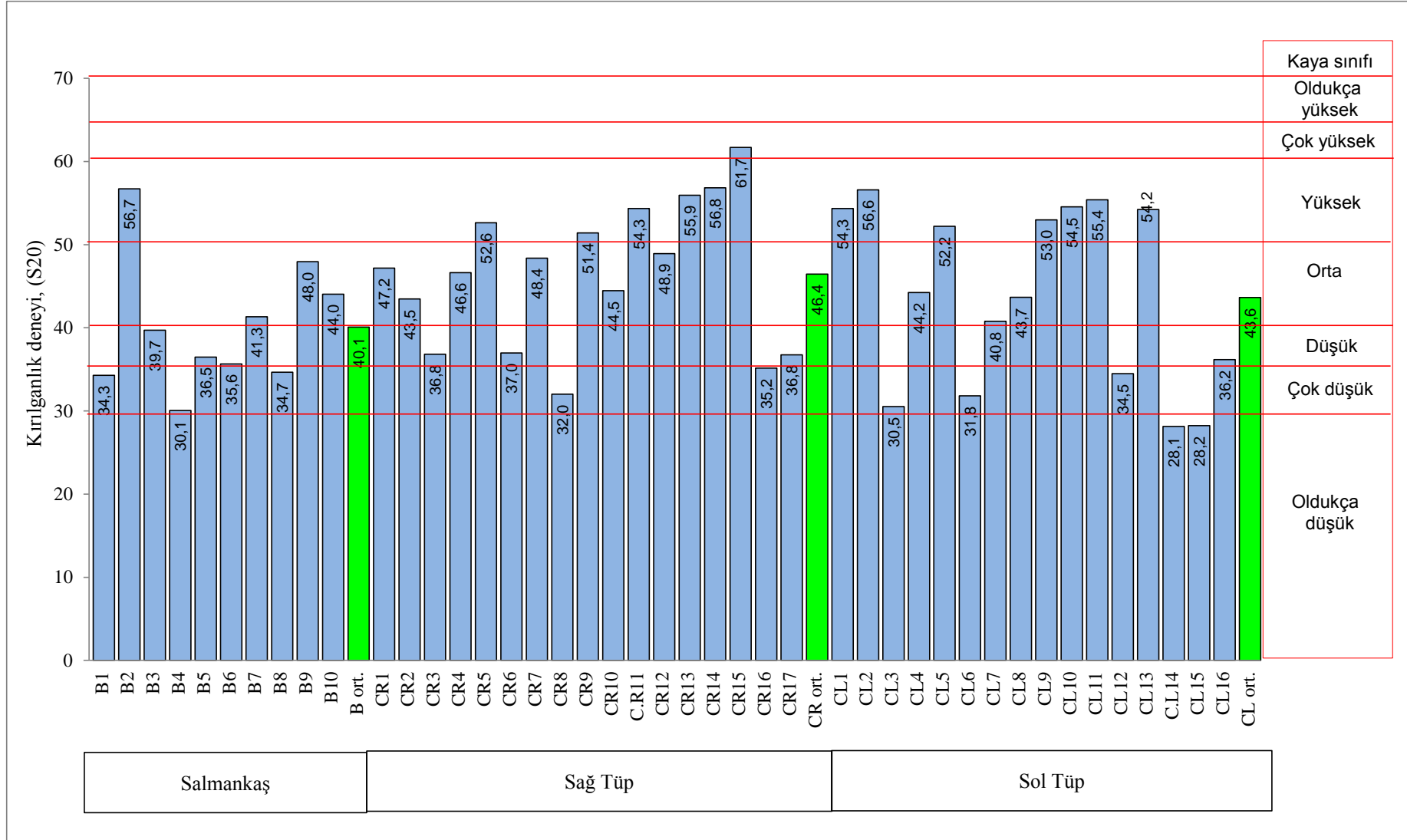
3.2.2.1. Kırılmalık Deneyi (S_{20})

Kırılmalık deneyi uygun boyuta getirilmiş kayaç parçaları üzerine belli sayıdaki darbe sonucu kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direncinin dolaylı ölçülmesini belirleyen bir deney yöntemidir. Kırılmalık deneyinde kayaçların sıkışabilirlik indeksine de bakılmıştır (Dahl, 2003). Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinin genel sıkışabilirlik indeksleri 1 "çok az sıkışma" olan havadaki malzemenin parmakla kolayca döküldüğü, azda olsa sıkışabilirlik indeksi 0 olan yani kayacın kendiliğinden döküldüğü görülmüştür.

- Sıkışabilirlik indeksi 0: Sıkışma yok. Havadaki bütün malzeme kendiliğinden dökülmekte.
- Sıkışabilirlik indeksi 1: Çok az sıkışma, havadaki malzemenin bir kısmı dökülmez. Kalan malzeme parmakla kolayca dökülmekte.
- Sıkışabilirlik indeksi 2: Sıkışmış malzeme, havadaki malzemenin çok az miktarı dökülmekte. Kalan malzeme ise bir ağaç veya metal bir çubukla boşaltılabilir.
- Sıkışabilirlik indeksi 3: Çok fazla sıkışmış malzeme, havadaki malzemenin tamamı boşalmamakta, malzeme ucu bilenmiş bir demir çubuk yardımıyla alınabilir. Dahl vd, (2012) tarafından geliştirilen kırılmalık deneyi (S_{20}) sınıflaması Tablo 3.15'de verilmiştir. Kırılmalık deney sonucundan elde edilen veriler Şekil 3.14'de göstermiştir.

Tablo 3.15. Kırılmalık sınıflandırılması (Dahl vd, 2012).

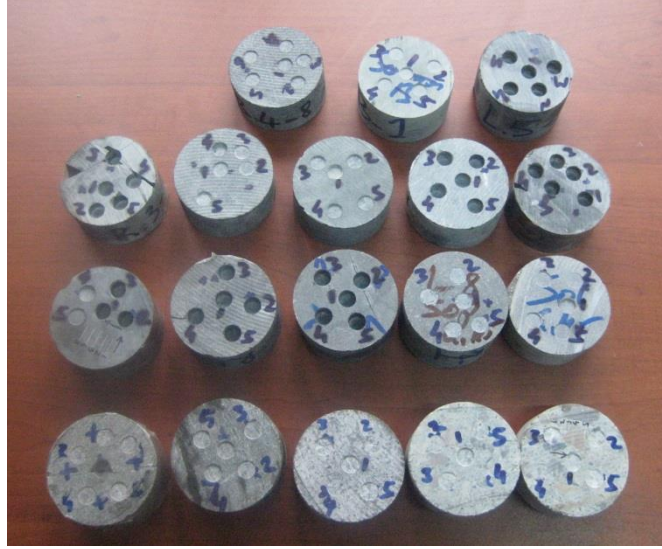
Sınıf	S_{20} (%) değeri	Kümülatif (%)
Oldukça yüksek	$\geq 66,0$	95-100
Çok yüksek	60,0-65,9	85-95
Yüksek	51,0-59,9	65-85
Orta	41,0-50,9	35-65
Düşük	35,0-40,9	15-35
Çok düşük	29,1-34,9	5-15
Oldukça düşük	$\leq 29,0$	0-5



Şekil 3.14. Kırılmalık deney (S₂₀) sonuçları ve sınıflaması

3.2.2.2. Sievers Minyatür Delme Deneyi

Sievers Minyatür delme testi; kayacın yüzey sertliğinin veya delmeye karşı direncinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Sievers minyatür deneyinde kullanılan örnekler Şekil 3.15’de gösterilmiştir

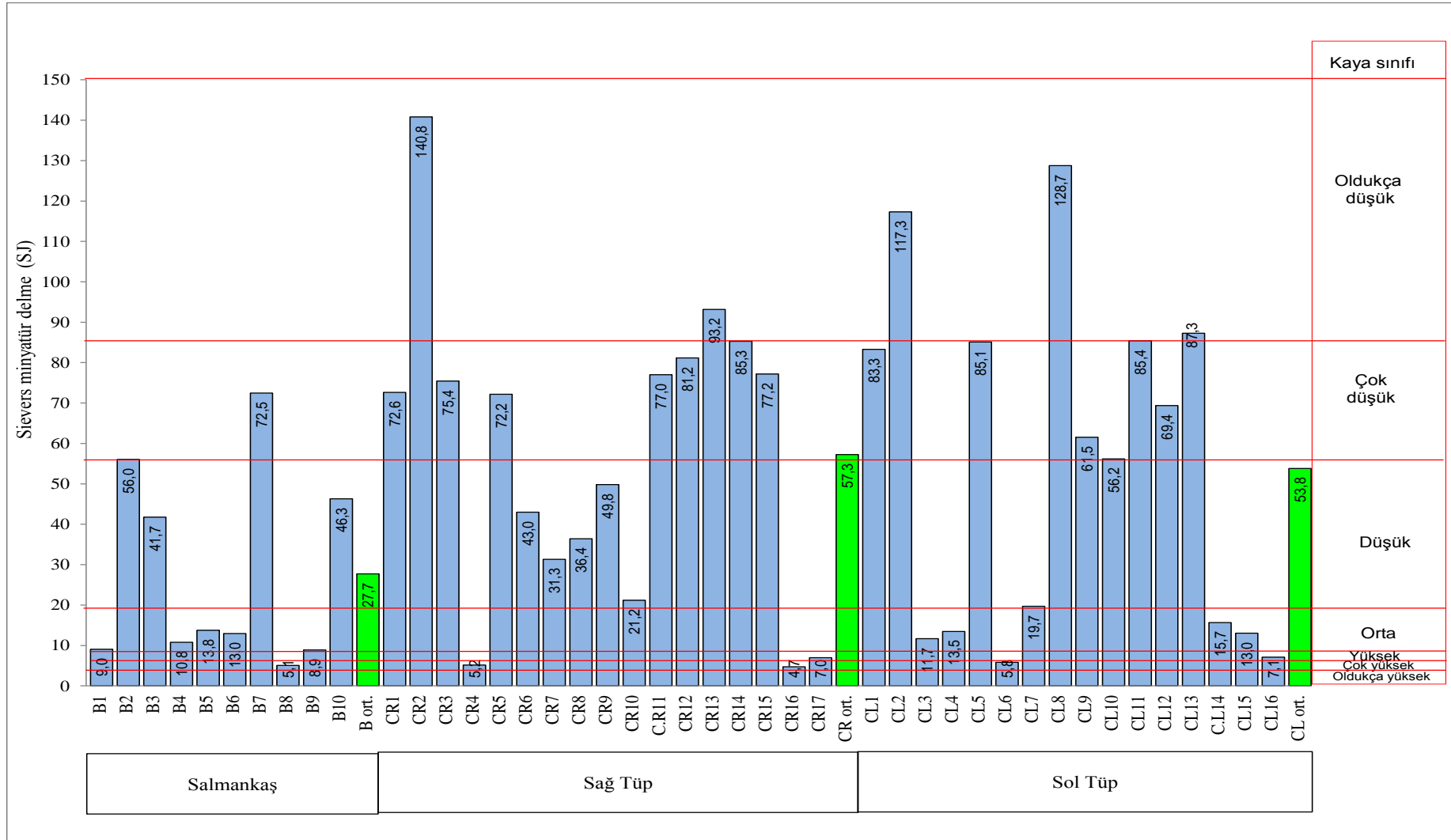


Şekil 3.15. Sievers minyatür delme deneyinde kullanılan deney örnekleri

Dahl vd, (2012) tarafından geliştirilen kayaç yüzey sertlik sınıflandırılması Tablo 3.16’de verilmiştir. Sievers minyatür delme deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 3.16’da verilmiştir.

Tablo 3.16. Kayaç yüzey sertlik sınıflandırılması (Dahl, vd., 2012).

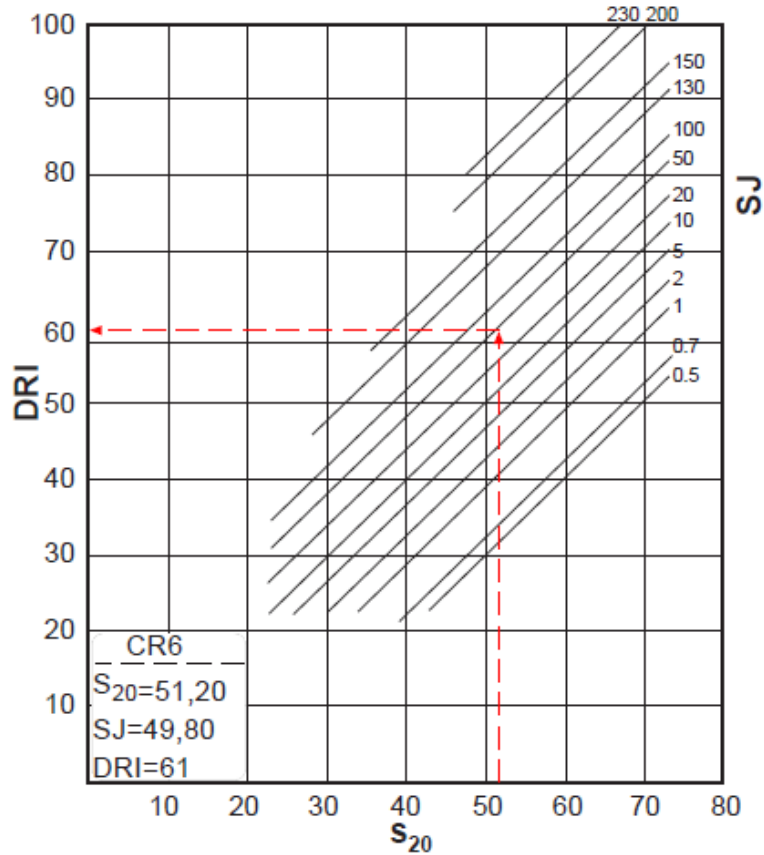
Yüzey sertlik sınıflandırılması	SJ (mm/10) değeri	Kümülatif (%)
Oldukça yüksek	$\leq 2,0$	0-5
Çok yüksek	2,1-3,9	5-15
Yüksek	4,0-6,9	15-35
Orta	7,0-18,9	35-65
Düşük	19,0-55,9	65-85
Çok düşük	56,0-85,9	85-95
Oldukça düşük	≥ 86	95-100



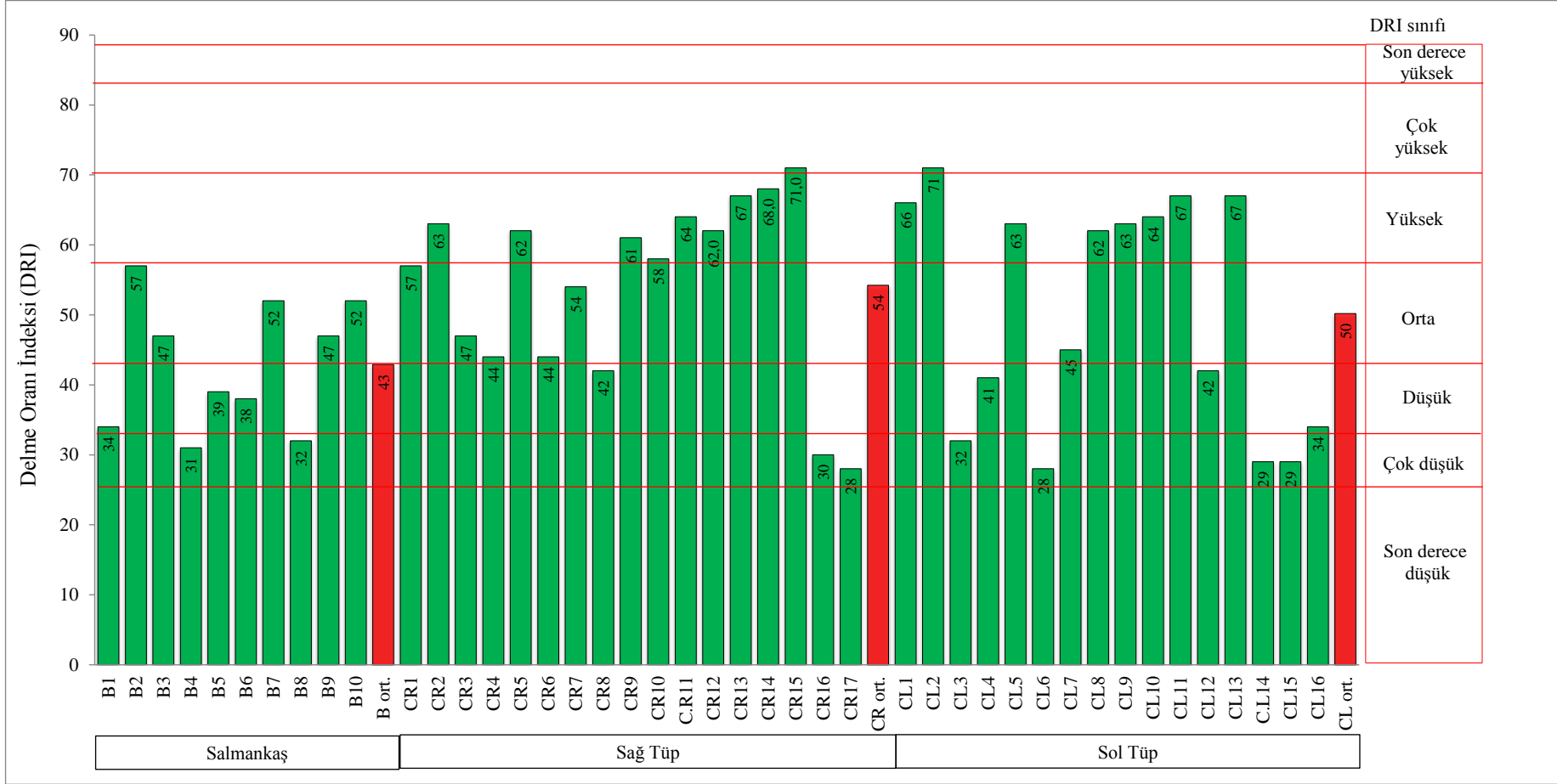
Şekil 3.16. Sievers minyatür delme (SJ) deney sonuçları ve sınıflaması

3.2.2.3. Delme Oranı İndeksinin (DRI) Değerlendirilmesi

Delme oranı indeksi (DRI), darbeli delicilerin delme oranının tahmin edilmesi için geliştirilmiştir. 1950'lerde geliştirilen DRI 1972'den günümüze kadar tünel açmada uygulanmıştır. DRI yerinde yapılan ölçümlerle doğrudan delme oranını belirleyen bir gösterge değildir. Göreceli bir ölçü olmasının yanında aynı zamanda maksimum kaya dayanımı belirlemede kullanılan bir parametredir (Yaralı ve Kahraman, 2011; Dahl, vd, 2012). Delme oranı indeksi Şekil 3.17'de verilen grafik yardımıyla bulunmuştur. Grafiğin altındaki kırılglılık (S_{20}) değeri ile Sievers minyatür delme (SJ) deneyinden elde edilen sonuçlarla DRI değeri bulunmuş ve bulunan sonuçlar Tablo 3.17'de verilen delinebilirlik sınıfına göre değerlendirilmiştir. DRI'nın sınıflaması deney sonrası elde edilen DRI değerleri ve sınıflaması Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Kırılglılık (S_{20}) ve delinebilirlik (SJ) değerlerine bağlı DRI belirleme grafiği (Dahl, 2003).



Şekil 3.18. Kayaçların delme oranı indeks deney sonuçları ve sınıflandırılması

Tablo 3.17. DRI'nın sınıflaması (Dahl, 2003).

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

3.2.3. Kayaçların Aşındırıcılık Özelliklerinin Belirlenmesi

Kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesi için gerçekleştirilen deneyler

- Cerchar Aşınma indeksi (CAI)
- Norveç aşınma deneyi
- Mikro Deval aşınma deneyi

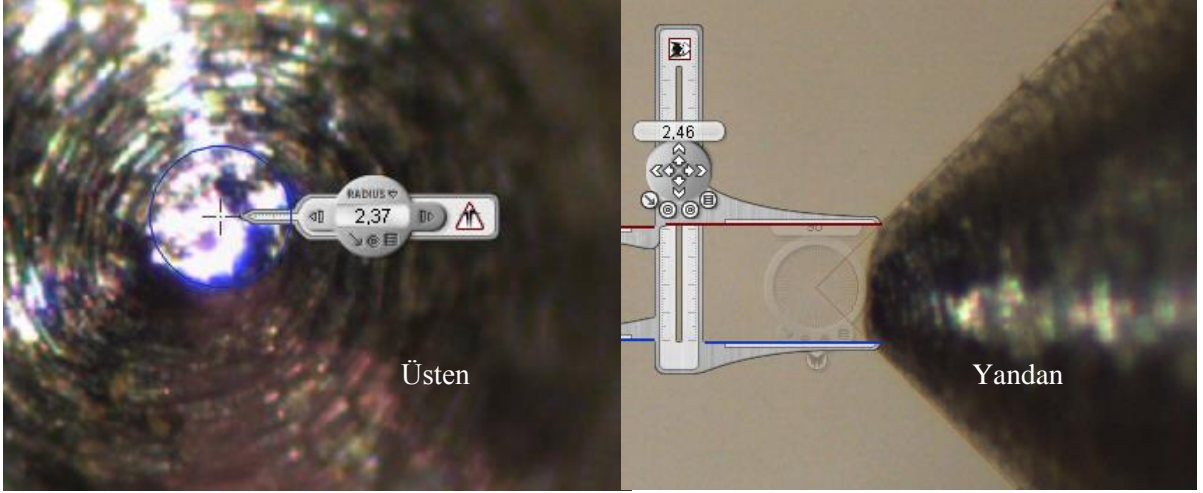
3.2.3.1. Cerchar Aşınma İndeksi (CAI)

Aşındırma deneyleri özellikle 1980'li yılların ilk yarısından itibaren klasik delme patlatma yöntemiyle ve sert kayaç tipi tam cephe tünel açma makinalarında (TBM) keski tüketiminin ve performanslarının önceden belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu deneyden yararlanarak keski aşınması ve keski sarfiyatı tahmin edilebilmektedir (Yaralı, 2010). Bu indeks kollu galeri açma makinaları ve TBM'ler için uç tüketim tahmininde de kullanılmaktadır (Rostami, vd., 2005). Tablo 3.18 ASTM (2010c)'a göre kayaçların Cerchar aşındırıcılık sınıflandırması verilmiştir.

Tablo 3.18. Cerchar aşındırıcılık sınıflandırması (ASTM, 2010c)

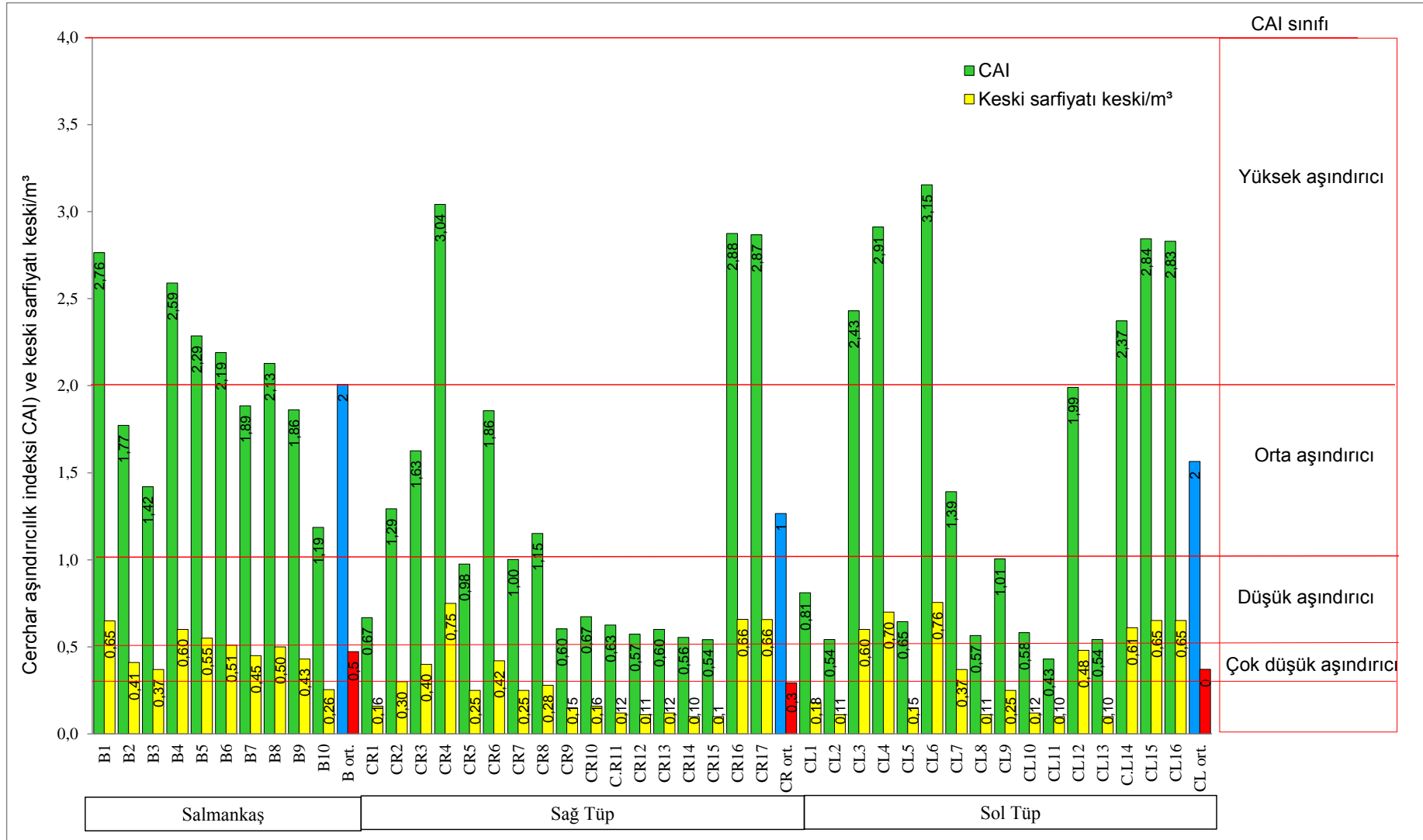
Sınıflandırma	Cerchar Aşındırıcılık İndeks Değeri
Çok düşük aşındırıcı	0,3 - 0,5
Düşük aşındırıcı	0,5 - 1,0
Orta aşındırıcı	1,0 - 2,0
Yüksek aşındırıcı	2,0 - 4,0
Aşırı aşındırıcı	4,0 - 6,0
Kuvars	6,0 -7,0

Cerchar Aşınma indeksi keski aşınımı, keski değişim maliyeti ve kayaç dayanımı gibi önemli parametreleri doğru tahmin edilmesinden ve kayaç aşınımının belirlenmesinde yaygın kullanılan bir deney yöntemidir. Şekil 3.19’da andezit örneğine ait Cerchar aşınma uçlarının üstten ve yandan ölçülmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Andezit örneğine ait Cerchar aşınma uçlarının üstten ve yandan ölçülmesi

Johnson ve Fowell (1986) yerinde yaptıkları ölçmelerle keski sarfiyatının, kayaçların Cerchar aşınma indeksleriyle (CAI) doğrudan ilişki içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Bu ilişki Bölüm 1 Şekil 1.43’de verilmiştir. Cerchar aşındırıcılık indeksi deney sonuçları ve keski sarfiyatı Şekil 3.20 ‘da verilmiştir



Şekil 3.20. Cerchar aşınma indeksi sonuçları, kayaç aşındırıcılık sınıflaması ve keski sarfiyatı

3.2.3.3. Mikro Deval Aşınma Kaybı

Kayacın aşınmaya ve çarpmaya karşı olan mukavemetini belirlemek için Mikro Deval aşınma deney sonuçları Şekil 3.22’de verilmiştir.

3.3. Kayaçların Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi

Hopa-Borçka Cankurtaran tüneline jeolojik formasyonları belirlemek için belli aralıklarla değişen kayaç formasyonlarında kaya blokları alınarak kayaç örnekleri üzerinde makroskopik incelemeler yapılmış ve daha sonra kayacın mikroskobik tanımlamaları yapılmıştır.

Makroskopik olarak; kayaç örneklerine ait kaba mineral bileşim, renk, doku ve yapısal özellikleri, alterasyon ve ayrışım-bozuşum, sertlik, dayanıklılık, çatlak ve kırıklık gibi özellikleri dikkate alınarak incelenmiştir.

Mikroskobik incelemeler için ince kesitler hazırlanmış olup petrografi mikroskobu altında incelemeleri yapılmıştır. İnce kesit örneklerin incelenmesi İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde kayaca ait yüzde mineralojik bileşim oranları, ikincil mineraller, doku türü, tane boyu ve şekli ve çimento türü gibi özellikleri incelenecek ve detay petrografik tanımlamaları yapılmıştır.

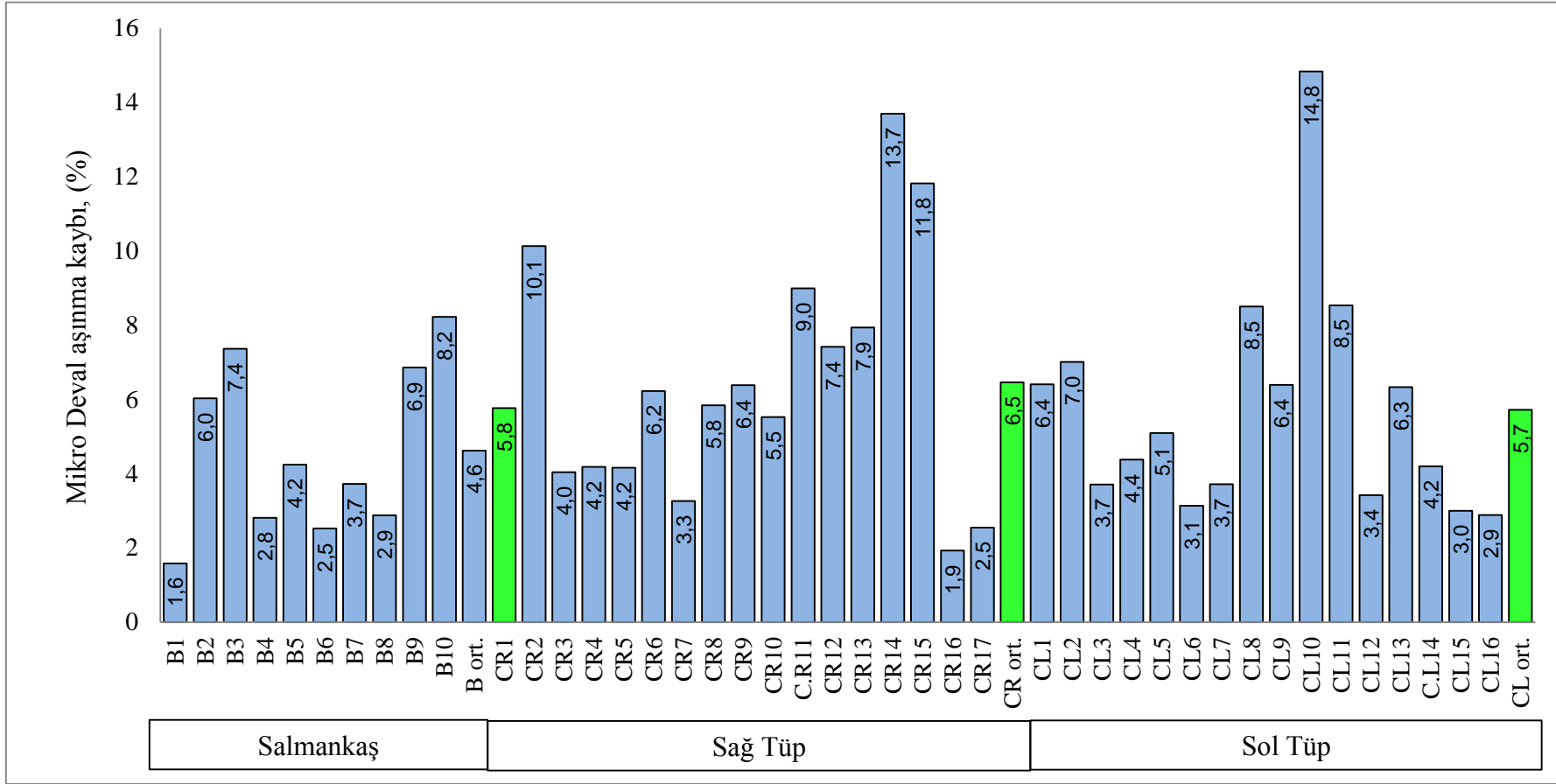
Salmankaş tüneline ait ince kesit sonuçları aşağıda verilmiştir. Ayrıca, kayaçlara ait yüzde mineralojik bileşim oranları, ikincil mineraller, doku türü, tane boyu ve şekli gibi özellikleri Tablo 3. 20’de özetlenmiştir. Kayaçlara ait ince kesit fotoğrafları Şekil 3.23’de gösterilmiştir.

B1: Andezitik litik kristal tuf ,

Kayaç başlıca plajiyoklas (%60), mafik (koyu renkli) mineral parçaları (şimdi kalsit ve epidot tarafından ornatılmış) (%20) ve andezitik kayaç parçalarından (%20) oluşmaktadır. İkincil mineraller (kalsit ve epidot) daha sonradan oluşmuşlardır.

B2: Andezitik lapilli tuf:

Kayaç bütünüyle iri andezit parçalarından oluşmaktadır. Kırıntı boyutları yersel olarak yarım cm'ye kadar ulaşmaktadır. Kayaç içinde çatlaklar boyunca iri taneli feldispat ve kuvars ve en geç aşamada gelişmiş kalsit damarları mevcuttur. Kayaç parçaları yersel olarak mikrolitik porfirik dokulu olup, bazı taneler ise mikro taneli afanitik (ince taneli) dokuludur.



Şekil 3.22. Mikro Deval aşınma deney sonuçları

B3: Andezitik kristal tuf

Kayaç ince taneli olup, başlıca plajiyoklas (%55), bozuşmuş cam (%45) dan oluşmaktadır. Kayaç içinde kalsit tarafından dolu kılcal damarlar mevcuttur.

B4: Bazaltik kristal litik tuf

Kayaç baskın olarak bazaltik bileşimli parçalarından oluşmaktadır. Kayaç parçaları çoğunlukla mikro taneli porfirik doku sunmaktadır. Mineralojik bileşimde ise, başlıca plajiyoklas (%40), klinopiroksen (çoğunlukla klorite dönüşmüş, %25) ve %5 opak mineral (magnetit, ilmenit) ve arta kalan kesimi (%30) matriks hamurundan oluşmaktadır. Plajiyoklaslar çoğunlukla öz şekilli olup, tane boyutları 2,5 ile 0,5 mm arası değişmektedir. İkincil mineraller olarak kalsit, klorit ve kuvars içermektedir. Örnek kalınlığı 0,1 ile 2 mm arasında değişen, kalsit + kuvars ile doldurulmuş damarlar tarafından kesilmektedir.

B5: Dolerit

Kayaç örneği ofitik dokulu olup, başlıca plajiyoklas (%70), klinopiroksen (%20) ve opak minerallerinden (%10) oluşmaktadır. İkincil mineraller olarak klorit, kalsit ve epidota sıkça rastlanmaktadır. Klinopiroksen mineralleri çoğunlukla plajiyoklas minerallerinin arasını doldurmakta ve yaygın bir şekilde kloritleşmişlerdir. Kayaçın esas bileşenini oluşturan plajiyoklas mineralleri öz şekilli olup köşelidirler.

B6: Bazaltik tuf

Kayaç plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx) ve az miktarda olivinden (Ol) oluşmaktadır. Kayaç içerisinde yersel olarak bazaltik bileşimli volkanik kayaç parçaları tanınabilmektedir. Matriks çoğunlukla kısmen bozuşmuş volkanik camdan oluşmaktadır. Mineraller/taneler çoğunlukla eş boyutludur (0.2-0,8 mm). Kayaç örneğinde yaklaşık 100 mikron kalınlığındaki kuvars damarları tarafından kesilmektedir.

B7: Marn

Kayaçta marn olup, %80-90 kalsit ve kil karışımından %10 ise opak fazlardan oluşmaktadır. Kayaçın % 30'u ise onu kesen volkanik kayaç kısmı oluşturmaktadır. Volkanik kayaç parçacıkları andezitik bileşimlidir. Volkanik kayaç kısmı plajiyoklas (%60, bazıları bütünüyle kalsitleşmiş) ve %10 opak faz arta kalan kısmı ise (%30) klorit, kalsit vb. gibi ikincil minerallerden oluşmaktadır. Plajiyoklas minerallerinde karbonatlaşma mevcuttur. Kayaçta sıkça <1 mm kalınlığındaki kalsit damarcıkları tarafından kesilmektedir.

B8: Aglomera

Kayaç birimi Volkanoklastik (Lapilli tuf - Aglomera) olarak tanımlanmıştır.

Kayaç yaklaşık olarak %85 civarında volkanik kayaç parçalarından ve %10 karbonat (kalsit) ve %5 plajiyoklas mineralinden oluşmaktadır. Volkanik kayaç parçaları çoğunlukla andezitik bileşimli olup, oldukça ayrılmıştır. Volkanik kayaç parçaları içinde yalnızca karbonatlaşmış plajiyoklas ve opak mineralleri tanınabilmektedir. Volkanik kayaç parçalarının boyutları 0,5 mm ile 5 mm arasında değişmektedir. Bu parçalar çoğunlukla köşeli ve kısmen yuvarlaklaşmıştır.

B9: Çakıltaşı

Kayaç ince taneli köşeli matriks destekli çakıltaşı olup mineral bileşim, %70 volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), %15 plajiyoklas, %5 kuvars, %5 kalsit ve %1'in altında makro fosil kavkılarında meydana gelmektedir. Karbonat çimentolu kayaçta volkanik kayaç kırıntılarının çapları 2 cm ile 0,5 mm arasında değişmekte olup tane şekil özelliğine göre yarı yuvarlak niteliktedirler. Feldspat ve volkanik kayaç tanelerinin büyük çoğunluğunda killeşmeler olarak görünmektedir. Ayrıca feldspatlarda karbonatlaşma mevcuttur.

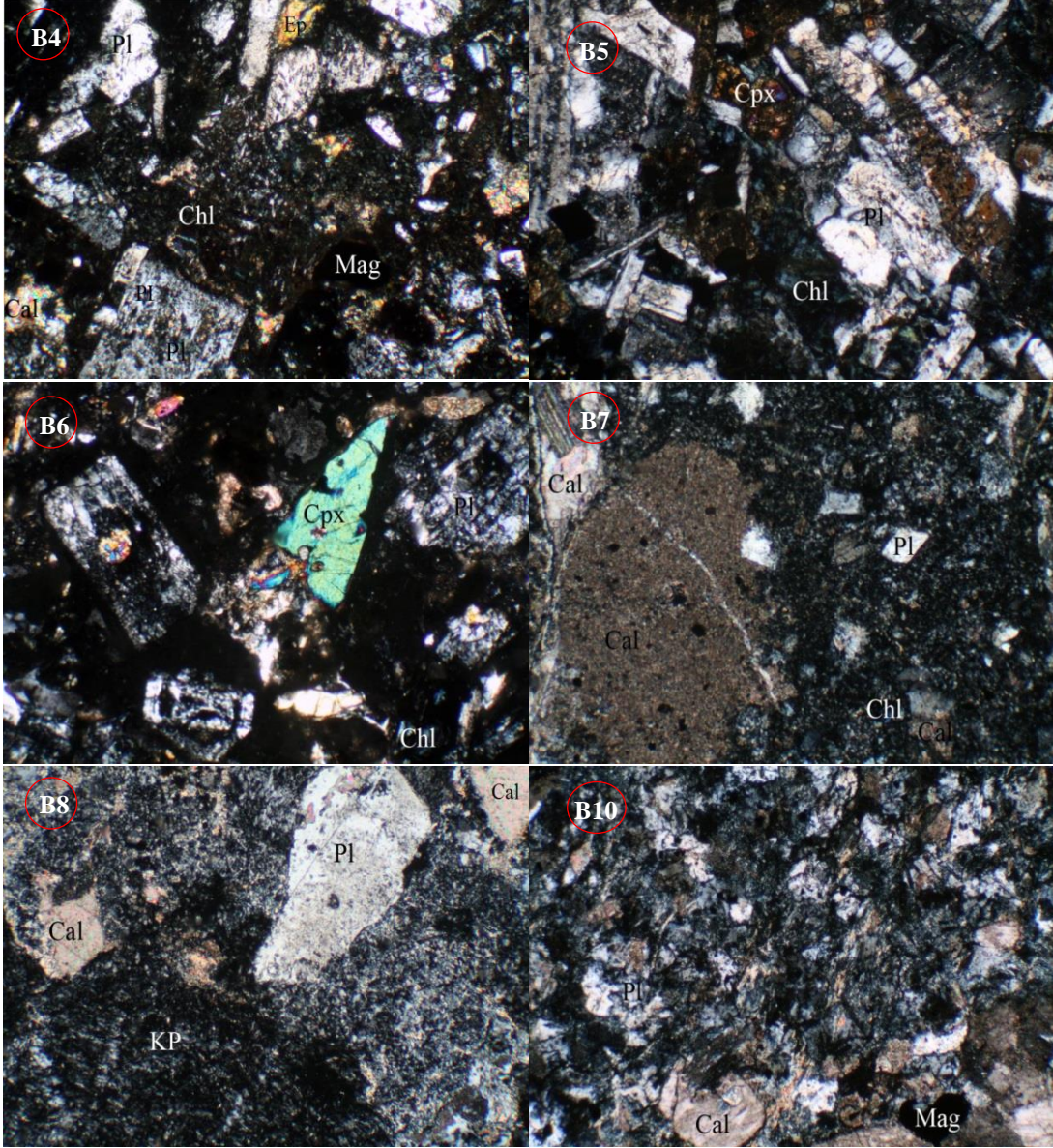
B10: Andezit

Kayaç mikrotaneli porfirik doku sunmaktadır. Başlıca mineral plajiyoklast, opak mineral ve ikincil kalsit (Cal), klorit (Chl) ve serisitten (Ms) oluşmaktadır. Mineral bileşim oranları %60Pl, %5 Opak ve %35 ikincil minerallerden meydana gelmektedir. Plajiyoklaslar hem ince taneli hem de iri taneler halinde (fenokristal) oluşmaktadır. İri plajiyoklastlar yaygın bir şekilde kalsit tarafından ornatılmıştır.

Tablo 3.20. Salmankaş Tüneline ait ince kesit analiz sonuçları

No	Kayaç türü	İkincil Mineral	Mineralojik bileşimi (%)	Aşındırıcı min. ort. boyutu (mm)	Şekil/ Küresellik	Doku
B1	Andezitik litik kristal tuf	kalsit ve epidot	PI:60, Cal: 20 VKP: 20			
B2	Andezitik lapilli tuf					mikrolitik porfirik ve mikro taneli afanitik
B3	Andezitik kristal tuf		PI: 55, cam: 45			
B4	Bazaltik kristal litik tuf	Kalsit, Klorit Kuvars	PI:40, Cpx: 25 OP:0, MH:30	PI: 2,5-0,5 Qtz+Cal: 0,1-2 mm	Öz şekilli	Mikro taneli porfirik doku
B5	Dolerit	Klorit, Kalsit Epidot	PI:70 Cpx:20 OP:10		Öz şekilli köşeli	
B6	Bazaltik tuf		PI Cpx OI	PI:0.2-0,8 Cpx:0.2-0,8 OI: 0.2-0,8 Qtz: 0,1		
B7	Marn		VKP:30, Qtz, Cal+kil:90 PI, Op:10	Cal<1		Kırıntılar karbonat çimentosu
B8	Aglomera		VKP:85 Cal:10 PI:5	VKP:0,5-5	Köşeli	
B9	Çakıltaşı		VKP:70, PI:15 Qtz:5, Cal:5 Fo:1	VKP:20-0,5	Köşeli/yarı yuvarlak	Karbonat çimentolu
B10	Andezit	Klorit Kalsit serist	PI 60, Op5 Cal, Kl,Sert); 35,00			

VKP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Matriks hamuru (MH), Kuvars, Qtz,



Şekil 3. 23. Salmankaş tüneline ait ince kesitler (B4 Bazaltik kristal litik tuf, B5 Dolerit, B6 Bazaltik tuf, B7 Marn, B8 Aglomera, B10 Andezit) KP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Kuvars, (Qtz), Magnetit (Mag).

Cankurtaran Tüneli Sol Tüpüne ait ince sonuçları aşağıda verilmiştir. Kayaçlara ait yüzde mineralojik bileşim oranları, ikincil mineraller, doku türü, tane boyu ve şekli gibi özellikleri Tablo 3. 21’de özetlenmiştir. Kayaçlara ait ince kesit fotoğrafları Şekil 3.24’de gösterilmiştir.

CL1 Marn,

Örnek plajiyoklas (%10), kuvars (%10), kalsit (%40), opak mineral ve kilden (%40) oluşmaktadır. Kuvars, plajiyoklas göreceli olarak iri taneleri oluşturmaktadır.

CL2 Kırıntılı kumtaşı,

Kayaç kırıntısı (kireçtaşı, volkanit), kuvars, plajiyoklas, glaukoni ve opak mineralden oluşmaktadır. Kayaç kırıntıları örneğin takriben %70'ini oluşturmaktadır. Kayaç kırıntıları çoğunlukla kireçtaşı parçalarından oluşmaktadır. Kuvars, %10, plajiyoklas %5, glaukoni ve opak mineral kayacın %15'nu oluşturmaktadır. Kırıntılar çoğunlukla köşelidir. Volkanit kayaç kırıntıları çoğunlukla, andezitik nitelikte olup, yersel olarak sferolitik dokusu tanınabilen riyolit parçaları tarafından temsil edilmektedir.

CL3: Fosilli Kumtaşı,

Kayaç iri taneli olup, karbonat matriksi içinde plajiyoklas, kuvars, kalsit, volkanik kayaç ve fosil tanelerinden meydana gelmektedir. Kayaçı meydana getiren kırıntıların bollukları sırasıyla %40 kalsit, %25 kaya kırıntısı (volkanik kayaçlar), %20 plajiyoklas, %5 kuvars ve %10 fosil kırıntılarından meydana gelmektedir. Ortalama kayaç kırıntısı boyutu 1-2 mm arasında değişir. Buna karşılık, plajiyoklas ve kuvars minerallerinin tane boyutları 1 mm ile 0,1 mm arasındadır. Kayaç kırıntıları yarı yuvarlak tane şekline sahip olup plajiyoklas ve kuvars mineralleri ise köşelidir. Kayaç kırıntıları (parçaları, KP) andezitik, dasitik ve az miktar da riyolitik bileşimlidir. Riyolitik bileşimli olanlarda bol miktarda sferolit varlığı gözlenmektedir. Bazı volkanik kayaç parçalarında trakitik akma dokusu görülmektedir.

CL4: Volkanoklastik kumtaşı,

Kayaç kaba taneli ve köşeli tanelerden oluşan matriks destekli kumtaşından oluşmuştur. Kayacı %15 kuvars, %20 plajiyoklas mineralleri ve %65 volkanik kayaç parçalarından meydana gelmektedir. %1'in altında biyotit ve epidot minerali gözlemlenmektedir. Plajiyoklas minerallerinin bir kısmında ayrışma sonucu serisit oluşumu gözlenmektedir. Kayacı oluşturan kırıntıların tane boyutları 2,5 mm ile 0,1 mm arasında değişmektedir.

CL5: Fosilli mikritik kireçtaşı/marn,

Kayaç çok ince taneli bir yapıya sahiptir. İnce taneli karbonat (mikritik kalsit) matriksi içinde ince taneli, köşeli kuvars %2, plajiyoklas %2, opak mineral %3 ve mikrofosiller %3 bulunmaktadır. Fosil tanelerinin içi kalsit mineralleri ile doludur. Ayrıca kayaç ince (yaklaşık 0,5 mm kalınlığında) kalsit damarları tarafından kesilmektedir.

CL6: İnce taneli kumtaşı,

Kayaç çamur matrisi içerisinde plajiyoklas, kuvars, glokoni ve kayaç parçalarından oluşmaktadır. Taneler çoğunlukla köşelidir. Örnek, %60 plajiyoklas, %38 kuvars, %1glokoni/veya klorit ve %1 mikrofosil parçalarından oluşmaktadır. Plajiyoklasların tane boyutları 1 mm ile 0,1 mm arasındadır. Plajiyoklaslar çoğunlukla kısmen köşeli iken, kuvarslar yarı-yuvarlak niteliktedirler.

CL7: Mikritik kireçtaşı,

Kayaç çok ince taneli taneli kalsitten (Cal) ten oluşmaktadır. Kalsit dışında az miktarda kuvars (Qtz) ve plajiyoklas (Pl) ve opak mineralden (Op) oluşmaktadır. Kayaç mm-cm ölçeğinde katmanlaşma arz etmektedir. Katmanlaşma düzlemlerinde kalsitler kısmen tane boyutu irileşmesi sunmaktadır.

CL8: Diyabaz,

İnce taneli, subofitik dokulu olup, plajiyoklas %30, klinopiroksen, %20 ve opak %10 minerallerinden oluşmaktadır. Bozuşma mineralleri klorit (Chl%20), (%10) kalsit (Cal) ve titanit (tn) içermektedir.

CL8: (2): Diyabaz,

Kayaç ince taneli olup, subofitik doku sunmaktadır. Başlıca birincil olarak plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (bütünüyle bozuşmuş) ve tali miktarda opak mineralden (Mag) oluşmaktadır. İkincil olarak titanit, klorit (Chl) ve kalsit (Cal) içermektedir. Alterasyon mineralleri yaygındır.

CL9: Marn,

Kayaç çok ince taneli olup, zayıf bir tabakalanma sunmaktadır. Örnek çok sık aralıklarla kalınlığı 0.1 mm ile 3 mm arasında değişen iri taneli kalsitlerle doldurulmuş damarlar tarafından kesilmektedir. Marn başlıca kalsit, kil (kil ve kalsit kayacın %80'nini oluşturmakta) ve tali oranda kuvars %5, plajiyoklas %5 ve opak mineralden %5 oluşmaktadır. Örnek içerisinde, ayrıca %5 civarında intraklastik parçalar mevcuttur. İtraklast malzeme kayacın ana bileşimi ile aynı olup tane boyutunun kısmen iri olması ile farklılık sunmaktadır.

CL10: Biomikritik kireçtaşı,

Kayaç mikritik dokulu olup çok ince taneli karbonat matrisi (Cal) içerisinde yer alan fosil (Fo) tanelerinden meydana gelmektedir. Fosil tanelerinin ortalama tane çapları 0,4 mm ile 0,05 mm arasında değişmektedir. Bu fosiller iri taneli kalsit kristalleri tarafından

doldurulmuştur. Kayacın içerisinde kalınlığı 0,5 mm ile 0,1 mm arası değişen birçok kalsit damarı tarafından kesilmektedir.

CL11: Silttaşı-Marn,

Kayaç laminalı olup, marn ve silttaşı ara seviyeleri içermektedir. Silttaşı seviyelerinde kuvars, plajiyoklas ve opak mineraller tanınabilmektedir. Marn seviyeleri daha ince taneli olup, yukarıdaki minerallere ek olarak bol miktarda kalsit gözlenmektedir. Kayaç çok ince taneli minerallerden oluşmaktadır.

CL12: Kayaç kırıntılı kumtaşı,

Kırıntılar kuvars, plajiyoklas, opak mineral ve kayaç kırıntılarında (volkanit ve kireçtaşı) oluşmaktadır. Tane boyutu 80 ile 400 mikron arasında değişmektedir. Bolluk oranları %50 kayaç parçası, %25 plajiyoklas ve %20 kuvars ve %5 opak mineralden oluşmaktadır. Yersel olarak kalınlığı 1 mm ye varan kalsit ile dolu damarcıklar tarafından kesilmektedir.

CL14: Diyabaz,

Kayaç subofitik dokulu olup, başlıca plajiyoklas %60, çoğunlukla bozmuş klinopiroksen %30, opak mineral %7 ve %3 biyotitten oluşmaktadır. İkincil mineraller klorit, kalsit ve epidottur.

CL15: Porfirik Bazalt,

Kayacın mikrogranüler porfirik dokulu olup, % 70 plajiyoklas (Pl), % 20 çok ince taneli minerallerden oluşan matris, % 7 klinopiroksen (Cpx) ve % 3 opak minerallerden oluşmaktadır. Plajiyoklas ve klinopiroksen minerallerinin tane boyutu yaklaşık 1,5 mm ile 0,5 mm arasında değişmektedir. Mineraller yarı öz şekilli- öz şekilliye varan dış hatlara sahiptirler. 0,5 mm'den daha ince kalsit ve albit damarları tarafından kesilmektedir.

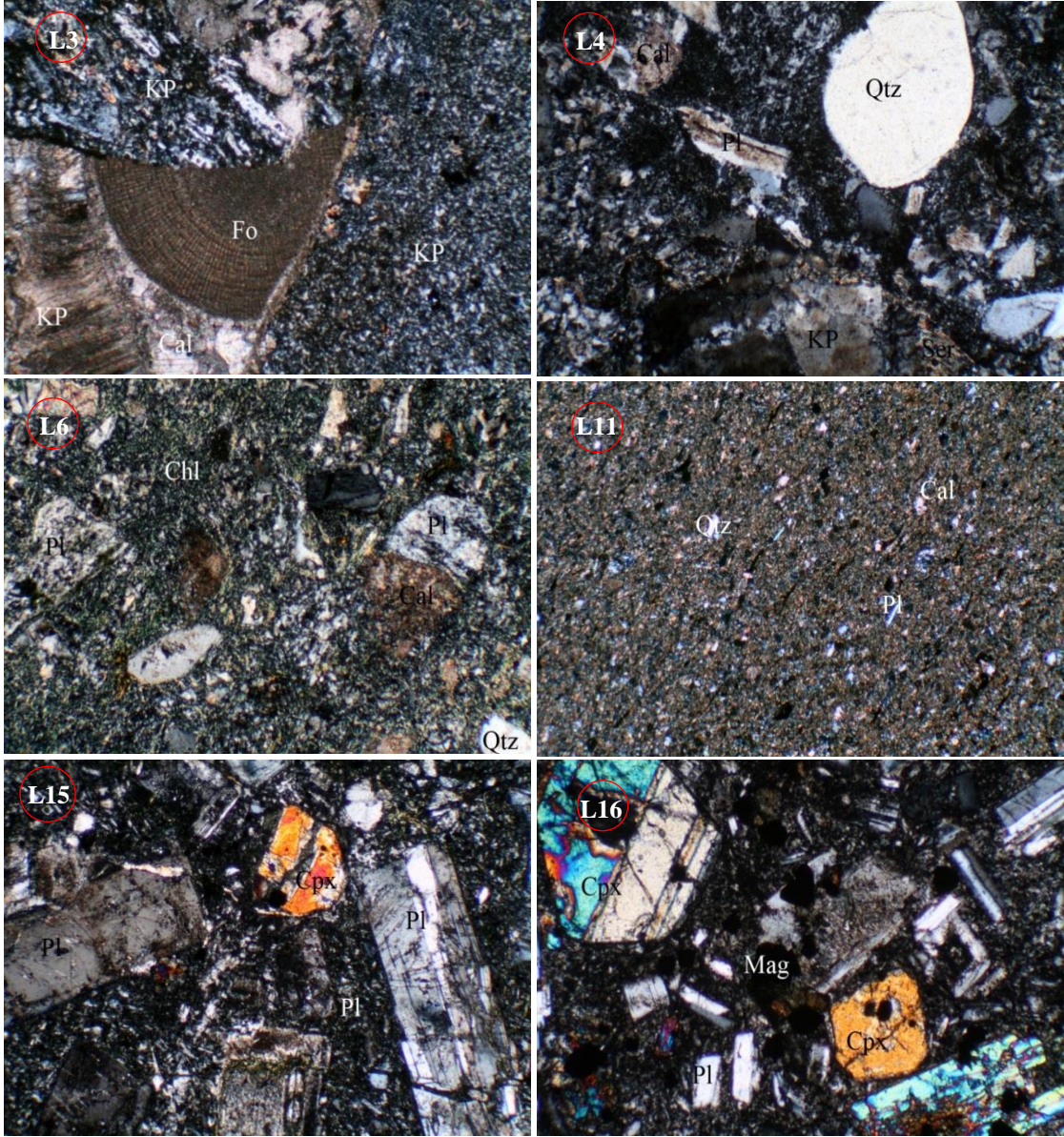
CL16: Bazaltik litik kristal tuf,

Kayaç mikrogranü porfirik dokulu bazaltdan oluşmaktadır. Kayacın % 70'si kaba taneli plajiyoklas, % 20'si ince plajiyoklas, % 7'si da klinopiroksen ve % 3'ü opak minerallerinden (Mag, magnetit) oluşmaktadır. Kayaç içerisinde yersel olarak volkanik kayaç parçaları tanınabilmektedir. Bu volkanik kayaç parçaları da plajiyoklas ve klinopiroksen'den oluşmaktadır. Minerallerin büyük çoğunluğu köşeli, öz şekilli olup tane boyutları 2 mm ile 0,1 mm arasında değişmektedir. Kayacı meydana getiren mineraller oldukça taze olup belirgin bir alterasyon görülmemektedir.

Tablo 3.21. Cankurtaran Tüneli Sol Tüpüne ne ait ince kesit analiz sonuçları

Seri No	Kayaç türü	İkincil Mineral	Mineralojik bileşimi (%)	Aşındırıcı min. ort. boyutu (mm)	Şekil/ Küresellik	Doku
CL1	Marn		PI:10,Qtz: 10 Cal:40, OP- kil :40			
CL2	Kırıntılı kumtaşı		VKP:70, Qtz:10 PI:5, OP:15		çoğunlukla köşeli	sferolitik doku
CL3	Fosilli Kumtaşı		Cal:40, PI:20 Qtz:5 KK:25, Fo:10	Qtz:1-0,1 PI:1-0,1	Yarı yuvarlak /köşeli	Karbonat doku
CL4	Volkanoklastik kumtaşı		Qtz:15, PI:20 VKP:65 Edp+Biot<1	VKP:2,5-0,1		
CL5	Fosilli mikritik kireçtaşı/marn		Qtz:2, PI:2 Op:34,Fo:3	Cal:0,5		karbonat (mikritik kalsit) doku
CL6	İnce taneli kumtaşı		PI:60, Qtz:38 Fo:1	PI:1-0,1	Köşeli/ yarı yuvarlak	Çamur matriksi
CL7	Mikritik kireçtaşı		Cal, Qtz: PI; Op			
CL8	Diyabaz	Titanit Klorit, Kalsit	PI:30, Cpx:20 Cal:10, Op:10			İnce taneli, subofitik doku
CL9	Marn		Cal:80, Qtz:5 PI:5, Op5, KK:5	Cal: 0,1-3		
CL10	Biomikritik kireçtaşı		Cal: Fo:	Cal: 0,5-0,1 Fo:		Mikritik doku
CL11	Silttaşı-Marn		Qtz, PI, Op			
CL12	Kırıntılı kumtaşı		VKP:50, PI:25 Qtz: 20, OP:5	Cal:1 mm		
CL13	Marn/kireçtaşı					
CL14	Diyabaz	klorit, kalsit, epidot	PI:55 , Cpx:35 OP:7, Biot:3			subofitik dokulu
CL15	Porfirik Bazalt		PI:70, Cpx:7 MH:20, Op:3	PI:1,5-0,5 Cpx:1,5-0,5 Cal+al:0,1	Yarı öz şekilli	Mikrogranüler porfirik doku
CL16	Bazaltik litik kristal tüf		PI:70(kaba) PI:20(ince) Cpx:7	2-0,1	Öz şekilli/ köşeli	Mikrogranü porfirik doku

VKP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Matriks hamuru (MH), epidot (Epd), Biotit, (Biot).



Şekil 3.24. Cankurtaran Sol Tüpüne ait ince kesitler CL3 Fosilli Kumtaşı, CL4 Volkanoklastik kumtaşı, CL6 İnce taneli kumtaşı, CL11 Silttaşı-Marn, CL15 Porfirik Bazalt, CL16 Bazaltik litik kristal tuf.) KP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Matriks hamuru (MH), epidot (Epd), Biotit, (Biot).

Cankurtaran Tüneli Sağ Tüpüne ait ince kesit sonuçları aşağıda verilmiştir. Kayaçlara ait yüzde mineralojik bileşim oranları, ikincil mineraller, doku türü, tane boyu ve şekli gibi özellikleri Tablo 3. 22’de özetlenmiştir. Kayaçlara ait ince kesit fotoğrafları Şekil 3.25’de gösterilmiştir.

CR1: Kumtaşı,

Kayaç ince taneli kumtaşı. Kırıntılar kayaç kırıntısı %75, kuvars %10, plajiyoklas %5 ve opak mineralden %10 oluşmaktadır. Kayaç kırıntıları çoğunlukla kireçtaşıdan, az miktarda volkanit parçalarından oluşmaktadır. Opak mineraller bol olarak dizilmiş oldukları düzeylerde katmanlaşmayı tanımlamaktadırlar.

CR2: Porfirik gabro; Gabro porfir,

Kayaç başlıca bozmuş olivin %30, piroksen (orto ve klino, %10, plajiyoklas %25, kalsit %15 ve opak mineralden %20 oluşmaktadır. İkincil mineraller klorit, serpantin, talk ve kalsittir. Örneğin tane boyutu, 500 mikron ile 3 mm arasında değişmektedir.

CR3: Fosilli Kumtaşı,

Kayaç kaba taneli, karbonat matriksi destekli kayaç ve köşeli taneli kuvars, plajiyoklas ve volkanik kayaç (andezitik volkanik kayaç parçaları) ve mikritik kireçtaşı parçalarından meydana gelmektedir.

CR4: Volkanojenik kumtaşı,

Kayaç örneği volkanikjenik kumtaşından oluşmaktadır. Kayaç ve (plajiyoklas Pl ve kuvars Qtz) mineral parçalarından oluşmaktadır. Volkanik kayaç kırıntıları kayacın %80'ni oluşturmakta olup, çoğunlukla plajiyoklas, kuvars ve opak minerallerinden meydana gelmektedir (andezit ve dasitik bileşimli). Bazı kayaç parçaları siferolitler içermektedir. Ayrıca kayaç yersel olarak kireçtaşı parçaları içermektedir. Kırıntı boyutları 0,5 mm ile 10 mm arasında değişmektedir. Kırıntılar kısmen yuvarlak ve köşelidirler. Kayacı oluşturan tanelerin boyutları 0,1 mm ile 2 mm arasındadır. Kayaç içinde ikincil olarak kalsit oluşumu yaygındır.

CR5: Biyomikritik kireçtaşı,

Mikritik dokulu karbonatlı kayaç, karbonat hamuru içerisinde yaklaşık %30 oranında ince-çok ince fosil tanelerinden oluşmaktadır. Fosil tanelerinin iç kısımlarında yeniden kristallenmiş kalsit mineralleri görülmektedir. Fosillerin tane boyutları 0,5 mm ile 0,01 mm arasında değişmektedir.

CR6: Fosilli Kumtaşı,

Kayaç fosilli kumtaşından meydana gelmektedir. Mineral bileşimi; %50 kayaç kırıntısı, %20 kuvars, %20 plajiyoklas, %5 fosil (numulites) ve %5 opak mineralden ve glokoniden oluşmaktadır. Kayacı oluşturan tanelerin boyutları 0,1 mm ile 1 mm arasında değişmektedir. Bireysel mineraller genel itibarıyla köşelidir. Kayaç kırıntıları ise kısmen

yuvarlaklaşmıştır. Kayaç kırıntıları, başlıca andezitik bileşimli kayalardan veya kireçtaşlarından türemiştir.

CR7: Marn/Mikritik kireçtaşı,

Kayaç çok ince taneli kalsitten (Cal) ve tali oranda kuvars (Qtz), plajiyoklast (Pl) ve opak (Op) minerallerden oluşmaktadır.

CR8: Diyabaz,

Kayaç oldukça ince taneli, plajiyoklas %40, klinopiroksen %20, kayaç kırıntısı %20 ve opak minerallerinden %10 oluşmaktadır. Hidrotermal bozuşma kayacın %25'ini oluşturmaktadır. İkincil mineraller klorit, prehnit ve kalsittir.

CR9: Marn,

Kayaçta belirgin bir tabakalanma gözlemlenmektedir. içerisinde bol mikrofosilli kireçtaşı düzeyi ve tane boyutu 0,02 mm'yi geçmeyen kalsit ve kuvars minerallerinden oluşan çamurtaşı düzeylerinden meydana gelmektedir. Kayaç örneği marna geçiş gösteren karbonatlı kayaç olarak da tanımlanabilir.

CR10: Biyomikritik kireçtaşı,

Kayaç örneği mikritik dokulu olup, %10 civarında mikrofosil içermektedir. Fosillerin tane boyutları 0,4 mm ile 0,05 mm arasında değişmektedir. Ayrıca kayaç düzensiz olarak kalınlığı 0,1 mm ile 0,5 mm arası değişen kalsit damarları tarafından kesilmektedir.

CR13: Marn,

Kayaç çok ince taneli olup, %50 kalsit, %10 plajiyoklas, %3 kuvars, %15 opak minerallerden ve %22 kilden oluşmaktadır.

CR16: Porfirik bazalt,

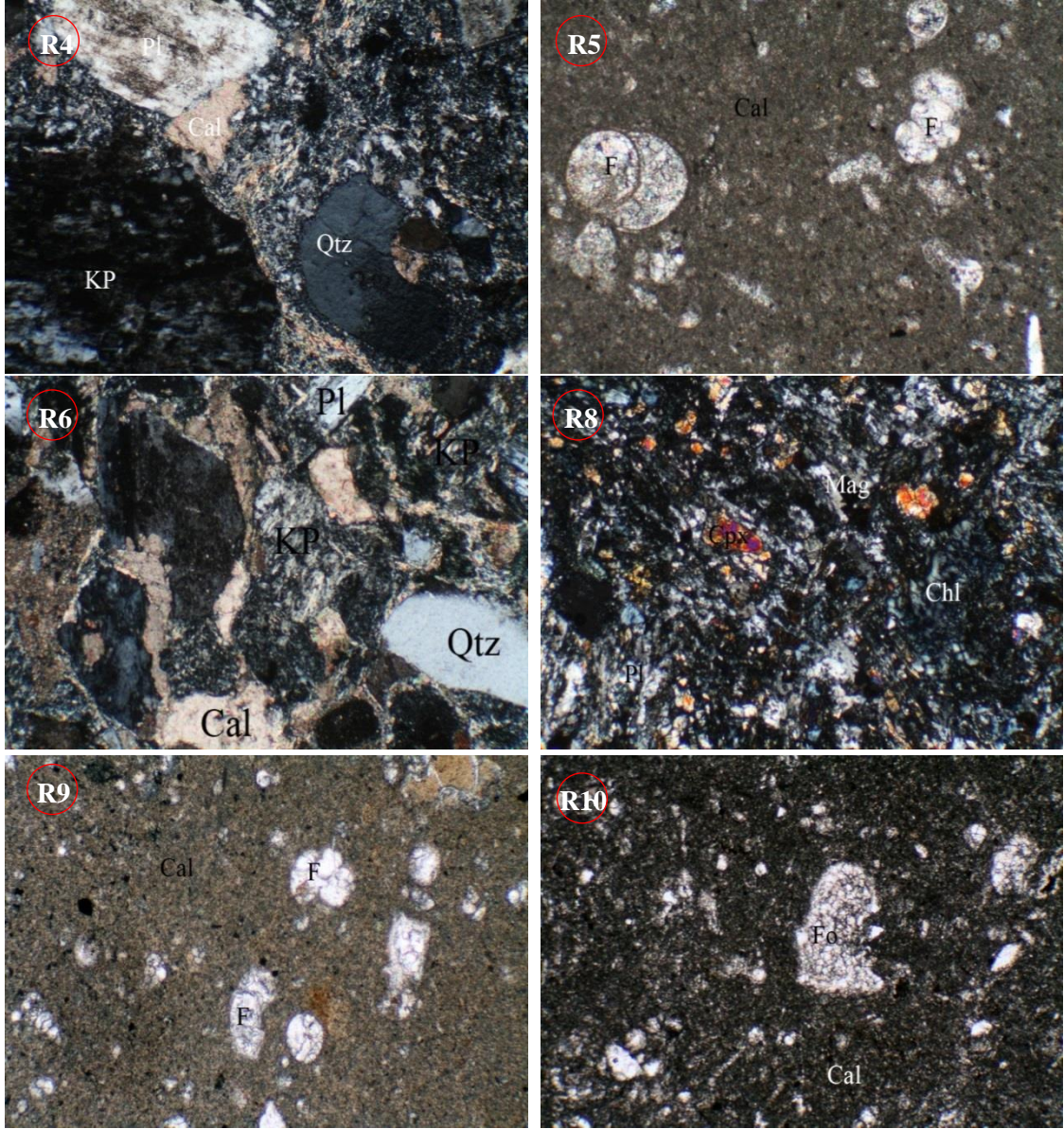
Kayaç mikrolitik porfirik dokulu olup, %65 plajiyoklas, %25 klinopiroksen ve %5 opak mineral ve %5 kalsitten oluşmaktadır. Plajiyoklastlar bileşim zonlanması sunmaktadır. Hem plajiyoklas hem de klinopiroksen çoğunlukla öz şekillidir. Plajiyoklastların tane boyutu 100 mikron ile 1.5 mm arasında değişmektedir. İkincil mineraller kalsit, albit ve klorittir. Yersel olarak örnek kalınlığı 1 mm ye varan albitlerle dolu damarcıklar tarafından kesilmektedir.

CR17: Porfirik bazalt,

Kayaç mikrolitik porfirik dokuludur. Başlıca %60 plajiyoklas, çoğunlukla %20 kasitleşmiş klinopiroksen, %10 opak mineral ve %10 yersel kalsitten oluşmaktadır. Plajiyoklas ve klinopiroksenler öz şekillidir. Kalsit ve klorit yaygın ikincil minerallerdir.

Tablo 3.22. Cankurtaran Tüneli Sağ Tüp ince kesit analiz sonuçları

Seri No	Kayaç türü	İkincil Mineral	Mineralojik bileşimi (%)	Min. ort. tane boyutu (mm)	Şekil/ Küresellik	Doku
CR1	Kumtaşı		VKP:75, Qtz:10 Pl:5, OP:10			
CR2	Porfirik gabro; Gabro porfir	klorit, serpantin, talk ve kalsittir	Ol:30, Cpx: 10 Cal:15, Pl: 25 OP:20			
CR3	Fosilli Kumtaşı				Köşeli	karbonat matriksi
CR4	Volkanojinik Kumtaşı	Kalsit	VKK: 80 Pl:, Qtz:	VKK:0,5-10	Köşeli /yuvarlak	
CR5	Biyomikritik kireçtaşı		Fo: 30	Fo: 0,5-0,01		Miktirik doku
CR6	Fosilli Kumtaşı		KK:50, Qtz:20 Pl:20, Fo:5 Op: 5	0,1-1	Köşeli	
CR7	Marn/Mikritik kireçtaşı		Cal:80, Pl:5 Qtz:5, Op: 10			
CR8	Diyabaz	klorit, kalsit, prehnit	Pl:40, Cpx:20 KK:30, OP:10			
CR9	Marn		Cal:, Qtz:			
CR10	Biyomikritik kireçtaşı	Kalsit, Klorit, Kuvars	Fo:10	Fo:0,4-0,05 Cal:0,4-0,5	Öz şekilli	mikritik doku
CR11	Marn/kireçtaşı					
CR12	Marn					
CR13	Marn		Cal: 50, Pl: 10 Qtz: 3, OP:15 Kil:22,			
CR14	Marn/kireçtaşı					
CR15	Marn/kireçtaşı					
CR16	Porfirik bazalt	kalsit, albit ve klorit	Pl, 65, Cpx,25 OP:5, Cal:5	Pl: 100mikron-1,5 mm	Öz şekilli	mikrolitik porfirik dokulu
CR17	Porfirik bazalt	Kalsit ve klorit	Pl, 60, Cpx,20 OP:10, Cal:10		Öz şekilli	mikrolitik porfirik doku



Şekil 3. 25. Cankurtaran Sağ Tüpüne ait ince kesitler, CR10 Biyomikritik kireçtaşı, CR4 Volkanojinik Kumtaşı, CR5 Biyomikritik kireçtaşı, CR6 Fosilli Kumtaşı, C.R.9 Marn, CR8 Diyabaz) KP: volkanik kayaç kırıntısı (bazaltik ve andezitik volkanik kayaç), kalsit (Cal), klorit (Chl), serisit (Ms), plajiyoklas (Pl), klinopiroksen (Cpx), olivin (Ol), Matriks hamuru (MH), epidot (Epd), Biotit, (Biot).

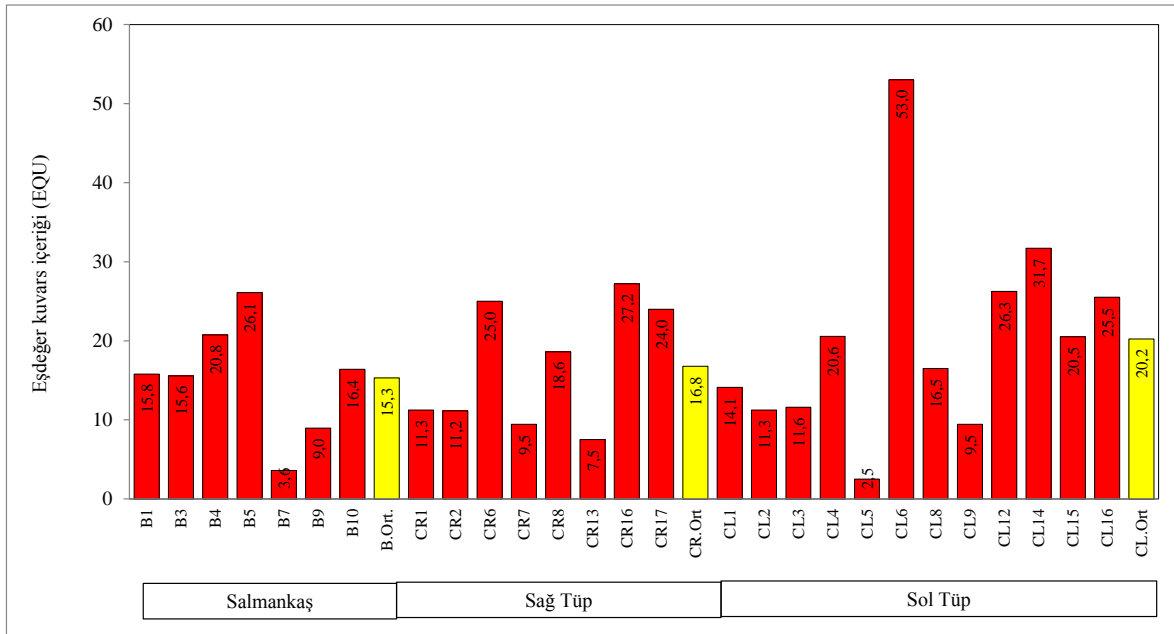
3.3.1. Kayaçların Petrografik Özelliklerinden Eşdeğer Kuvars İçeriğinin Değerlendirilmesi

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde alınan kayaçlara ait petrografik analizleri yukarıda verilmiştir. Analizler yapılırken kayaçlar içerisinde bulunan aşındırıcı mineraller oranları belirlenmiştir. Bu oranlardan faydalanarak kayaçların eşdeğer kuvars içerikleri

belirlenmiştir. Kayaçların eşdeğer kuvars içerikleri (Qeqv) belirlenirken Rosiwal aşındırıcılık katsayısından faydalanılmıştır. Kayaç içerisinde bulunan aşındırıcı mineral yüzdesi ile Rosiwal aşındırıcılık katsayısını çarparak eş değer kuvars içeriği % olarak saptanmıştır. Rosiwal aşındırıcılık indeksi mineral değerleri Tablo 3.23’de verilmiştir. Kayaçlara ait eşdeğer kuvars içerikleri Şekil 3.26’de verilmiştir.

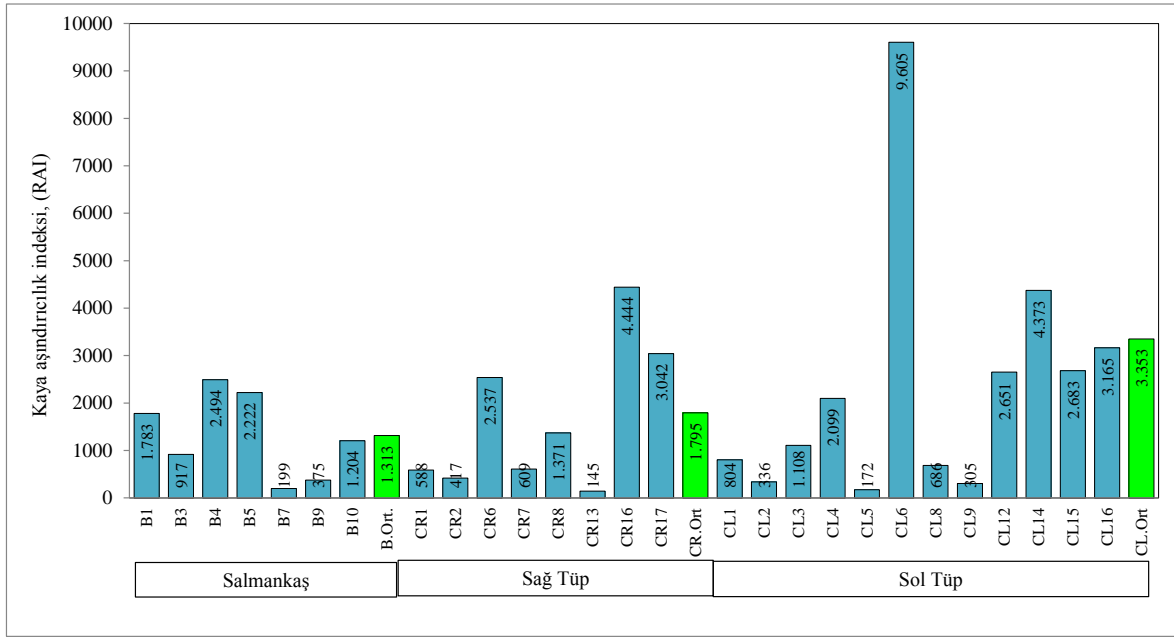
Tablo 3.23. Rosiwal aşındırıcılık indeksi mineral değerleri (Schormair vd., 2006).

Mineral	Rosiwal aşındırıcılık değeri (%)
Feldspat	32
Piroksen	43
Kuvars	100
Pirit ve biotit	55
Kalsit, kil	4
Mika	4
Plajiyoklas	25
Potasyum feldspat	25



Şekil 3.26. Kayaçlara ait eşdeğer kuvars içerikleri

Kaya aşındırıcılık indeksi (Rock Abrasivity Index, RAI) bit aşınma indeksini tahmininde kullanılan yeni bir aşınma indeksi hem kayacın içerdiği aşındırıcı mineral içeriğini hem de kayacın dayanımını birlikte göstermektedir. Kaya aşındırıcılık indeksi eşdeğer kuvars içeriği ile tek eksenli basınç dayanımı ile çarpımı sonucundan elde edilmiştir. (Plinninger vd, 2002; Plinninger vd, 2003). Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait kay aşındırıcılık indeksi sonuçları Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Kayaçlara ait kaya aşındırıcılık indeksi (RAI)

4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden alınan kayaç örnekleri üzerinde laboratuvarında delinebilirlik, aşındırıcılık ve fiziko-mekanik deneyleri gerçekleştirilmiş. Yerinde yapılan çalışmalarda kazı aynasında delici Jumbo makinasının delme sırasındaki spesifik enerji değerleri, net kazı hızı, matkap ömürleri, matkap aşınma şekilleri, RMR değerleri ve L ve N tipi Schmidt çekiçleriyle ölçümler alınıp hesaplanmıştır. Elde edilen verileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Laboratuvar ve arazi olmak üzere iki aşamada gerçekleşen çalışmada, alınan veriler aşağıdaki başlıklar altında değerlendirilmiştir.

- Delinebilirlik deneyi (DRI) ile indeks deneyler arasındaki ilişkisi,
- Kayaçların aşındırıcılık özellikleri ile indeks deneyler arasındaki ilişkisi
 - Cerchar aşındırıcılık İndeksi,
 - Mikro Deval aşınma kaybı,
- Yerinde gerçekleştirilen spesifik enerji verilerinin değerlendirilmesi
- Delgi işleminde takip edilen bit ömürlerinin deney sonuçlarıyla değerlendirilmesi,
- RMR sınıflama sistemi,
- Kayaçların Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi,
 - Eş değer kuvars içeriği (EQU)
 - Kaya aşındırıcılık indeksi (RAI)
- Yerinde yapılan Schmidt çekiçi ile diğer deneyler arasındaki ilişkisi
 - N tipi Schmidt çekiçi,
 - L tipi Schmidt çekiçi,

4.1. Delme Oranı İndeksi (DRI) İle Diğer İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi

Kayacın delinebilirliğini gösteren delme oranı indeksi için elde edilen aşındırıcılık ve mekanik deney sonuçları ile basit regresyon analizleri kurularak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Delme oranı indeksi kayaçların fiziko mekanik özelliklerinden olan tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı, Brazilian çekme dayanımı, görünür porozite ve boşluk oranı arasında yapılan regresyon analizlerinde anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile güçlü korelasyon ilişkisi elde edilmiştir. Bu korelasyon

ilişkileri sırasıyla Şekil 4.1-4.10'de gösterilmiştir. Elde edilen eşitlikler 4-1 ile 4-10'da verilmiştir.

$$\text{DRI} = 78,467e^{-0,007\sigma_c} \quad R^2 = 0,85 \quad (4.1)$$

$$\text{DRI} = 75,522e^{-0,09I_{s50}} \quad R^2 = 0,85 \quad (4.2)$$

$$\text{DRI} = 83,242e^{-0,055\sigma_t} \quad R^2 = 0,77 \quad (4.3)$$

$$\text{DRI} = 1,3664S_{20} - 9,9269 \quad R^2 = 0,84 \quad (4.4)$$

$$\text{DRI} = 20,255SJ^{0,2488} \quad R^2 = 0,74 \quad (4.5)$$

$$\text{DRI} = 22,647\ln(\text{MD}) + 13,619 \quad R^2 = 0,62 \quad (4.6)$$

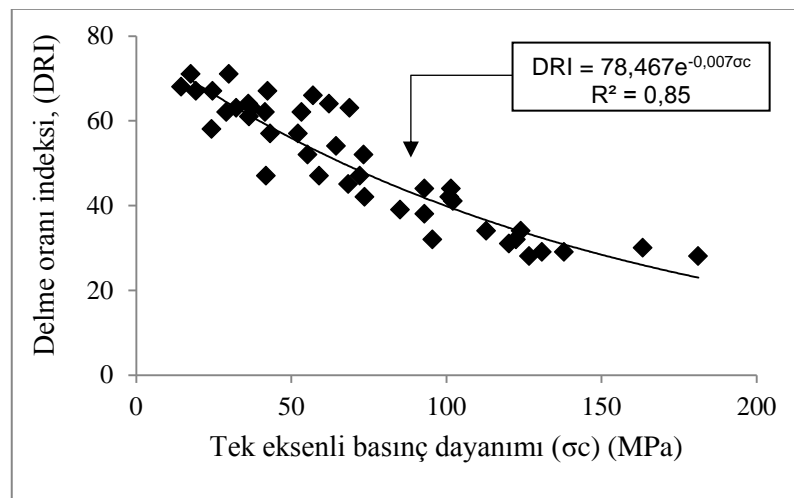
$$\text{DRI} = -19,77\ln(\text{CAI}) + 54,964 \quad R^2 = 0,84 \quad (4.7)$$

$$\text{DRI} = -55,669x + 69,749 \quad R^2 = 0,78 \quad (4.8)$$

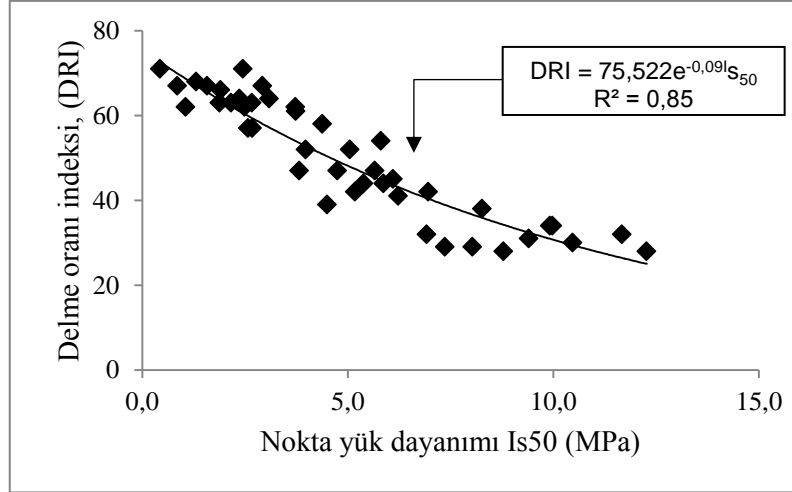
$$\text{DRI} = 9,2942n + 28,302 \quad R^2 = 0,72 \quad (4.9)$$

$$\text{DRI} = 8,6937e + 29,111 \quad R^2 = 0,69 \quad (4.10)$$

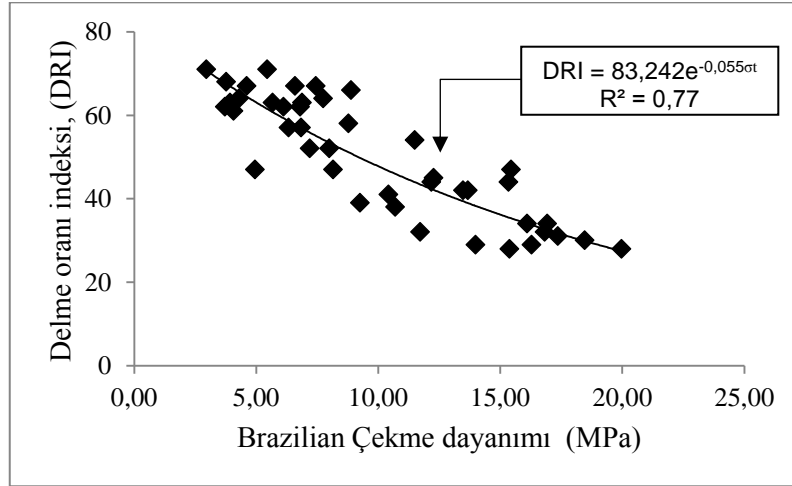
Kayaçların delinebilirliğini ve aşındırıcılığını etkileyen pek çok faktör vardır, bunlar makine özelliği, formasyon birimi, kaya dokusu (şekli ve tane boyutu), porozite, yoğunluk, sertlik, dayanım, çekme gücü, kaya kütlesi, yapısal parametreler (eklemler, çatlaklar ve dolgu, açıklıklar) ve kaya dayanım katsayısı olarak sayılabilir (Wilbur, 1982; Jimeno vd, 1995; Ersoy ve Waller, 1995; Osanloo, 1998; Kahraman vd., 2000; Li vd., 2000; Kahraman vd., 2003; Drake, 2004; Alber 2008; Hoseinie vd., 2008; Dahl vd., 2012).



Şekil 4.1. Tek eksenli basınç dayanımı ve delme oranı indeksi ilişkisi



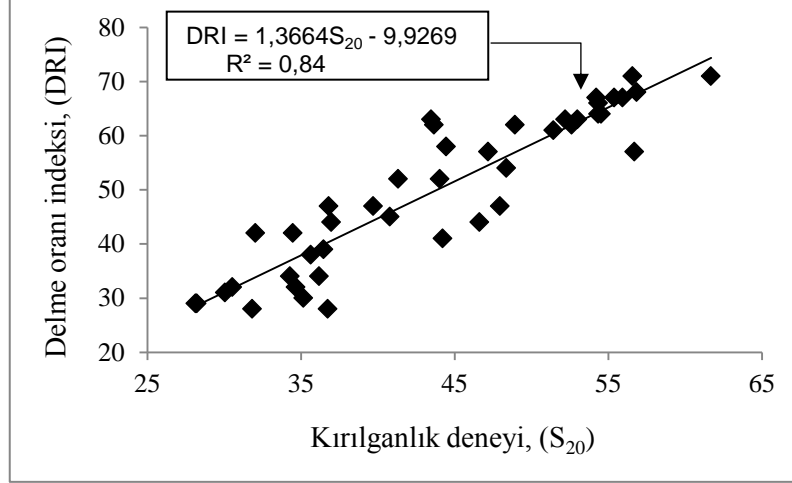
Şekil 4.2. Nokta yük dayanımı ve delme oranı indeksi ilişkisi



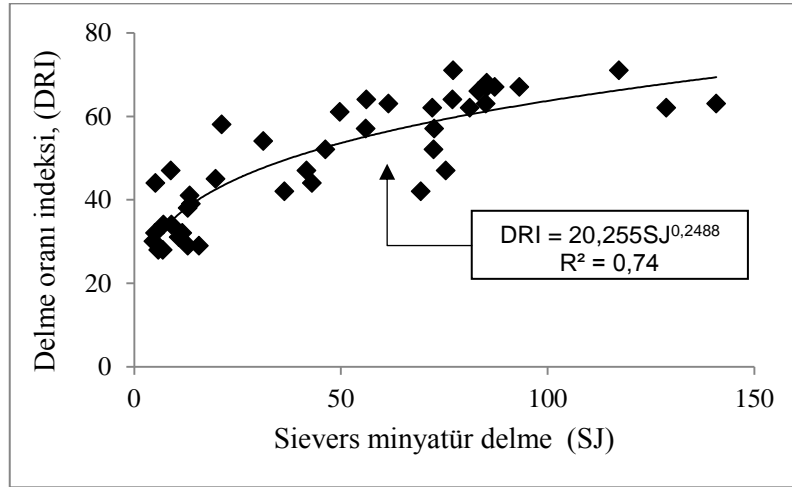
Şekil 4.3. Brazilian çekme dayanımı ve delme oranı indeksi ilişkisi

Delme oranı indeksi ile mekanik deneylerinden tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı arasında ilişkiler elde edilmiştir. Delme oranı indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük dayanımı arasında $R^2 = 0,85$ gibi güçlü bir ilişkiler elde edilmiştir. DRI ile Brazilian çekme dayanımı arasında sırasıyla $R^2 = 0,77$ yüksek bir ilişki elde edilmiştir. Kayaçların dayanımı arttıkça delinmeye karşı olan dirençleri de artmaktadır. Diğer bir ifadeyle kayacın dayanım değerlerinin artmasıyla delme oranı indeksinin azaldığı görülmektedir. NTNU (1998a), diyorit, bazalt ve granit gibi kayaçların delme oranı indeksi değeri düşük iken, bir diğer taraftan kireçtaşı ve marn gibi kayaçlarda delme oranı indeksi değeri yüksektir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Cerchar aşınma indeksi

değerlerinin DRI ile aralarında yüksek korelasyon ilişkileri olduğu belirlenmiştir (Çapık, vd., 2013c).



Şekil 4.4. Delme oranı indeksi ile kırılgenlik (S_{20}) ilişkisi

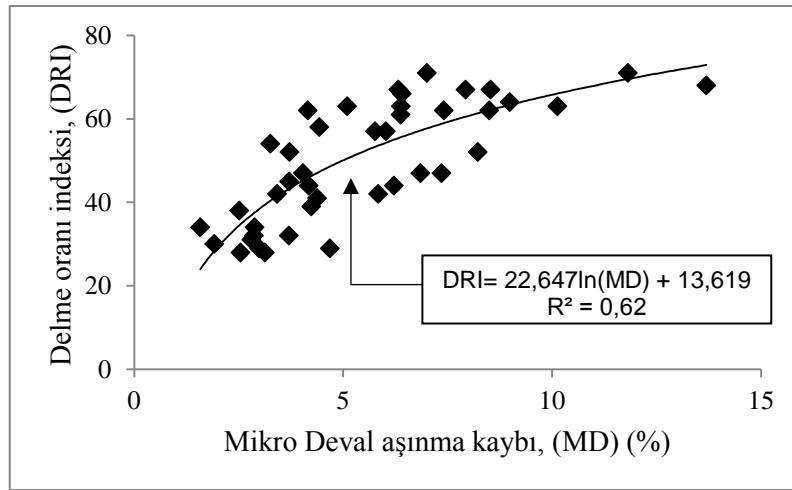


Şekil 4.5. Delme oranı indeksi ile Sievers minyatür delme ilişkisi

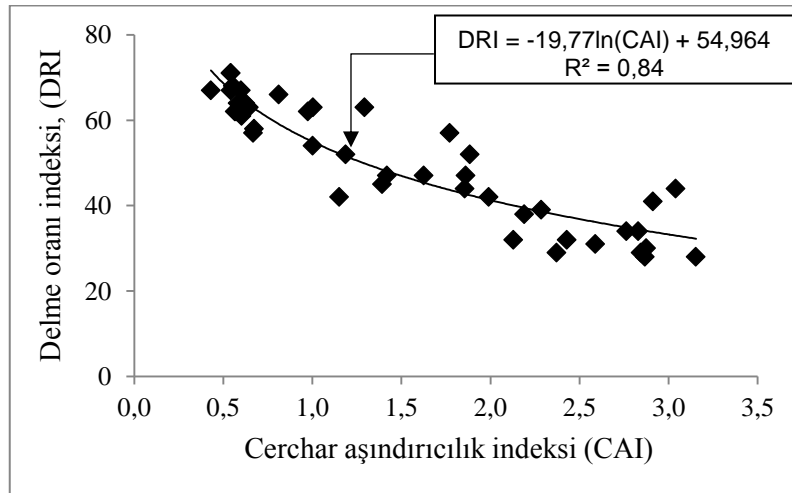
Delme oranı indeksi, kırılgenlik deneyi ve Sievers minyatür delme deneyi değerleri ile aralarında ilişkiler mevcuttur. Kayaçların kırılgenlik değerleri ile DRI, arasında $R^2 = 0,84$ lineer güçlü bir ilişki mevcuttur. Elde edilen ilişki Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi kayacın kırılgenliği arttıkça delme oranı indeksi değerinin arttığı bir başka değişle kayacın delinmeye karşı olan direncinin azaldığı görülmektedir. NTNU (1998b), yaptıkları çalışmalarında delme oranı indeksi ile kırılgenlik değeri arasında çok

güçlü bir ilişki elde etmişlerdir. Yaralı ve Kahraman, (2011), kırılmalık deneyi ile delme oranı indeksi arasında güçlü ilişkiler elde etmişlerdir.

DRI ile Sievers minyatür delme aralarından $R^2 = 0,74$ ilişkisi elde edilmiştir (Şekil 4.5). Kayaçların DRI ile Sievers delme ilişkisi belli bir değerden sonra grafiğin sabit bir değerden arttığı görülmektedir. NTNU (1998b), delme oranı indeksi kırılmalık ve Sievers minyatür delme deneylerine bağlıdır. Ancak Sievers minyatür delme deneyi delme oranı indeksi üzerinde kırılmalık deneyi kadar etkili değildir.



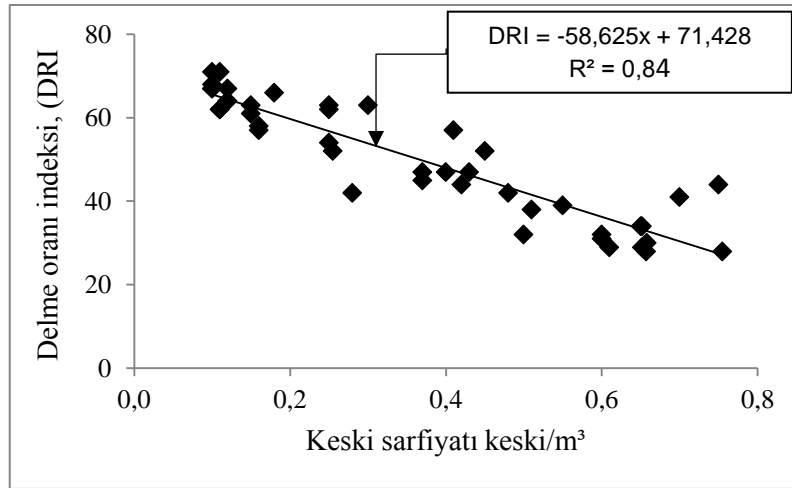
Şekil 4.6. Delme oranı indeksi ile Mikro Deval aşınma kaybı ilişkisi



Şekil 4.7. Cerchar aşındırıcılık indeksi ve delme oranı indeksi ilişkisi

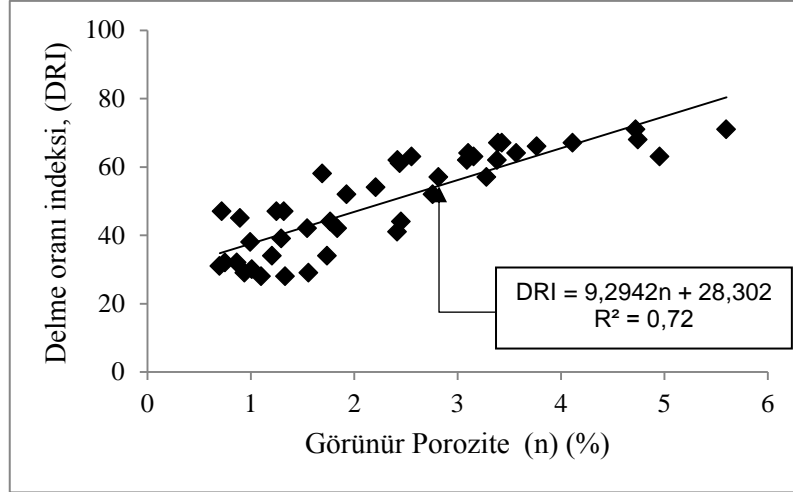
Kayaçların aşındırıcılık özelliklerinden olan Cerchar aşındırıcılık indeksi değerlerinin delme oranı indeksi ile arasında $R^2 = 0,84$ gibi güçlü bir regresyon ilişkisi olduğu görülmüştür (Şekil 4.8). CAI değeri arttıkça kayacın delmeye karşı olan direnci artmaktadır. Bir başka deyişle CAI ile DRI arasında ters orantılı bir lineer ilişki olduğu mevcuttur. Çapık, vd., (2013c), Cerchar aşınma indeksi değerleri ile DRI arasından yüksek korelasyon ilişkisi olduğunu belirlemişlerdir. Bilgin, (1989); West, (1986) yaptıkları çalışmalarda kayaların Cerchar aşınma indeksi ile delme hızı arasında ters bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kayaçların diğer aşındırıcılık özelliklerinden Mikro Deval ile DRI değerleri arasında $R^2 = 0,62$ anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

Cerchar aşınma indeks keski değişim maliyetinin doğru tahmin edilmesinde dolayı ekonomiklik bakımında önem kazanmıştır (Yaralı, 2008). Johnson ve Fowell (1986) tarafından Cerchar aşındırıcılık indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki grafikten (Bölüm 1 Şekil 1.43) elde edilen keski sarfiyatı ile delme oranı arasında azalan bir ilişki olduğu tespit edilmiş ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Johnson ve Fowell (1986), kayaçların aşındırıcılığı delinebilirliği etkilemektedir. Kayacın delinebilirliği azaldıkça m^3 kayaç başına, keski tüketimi artmaktadır.

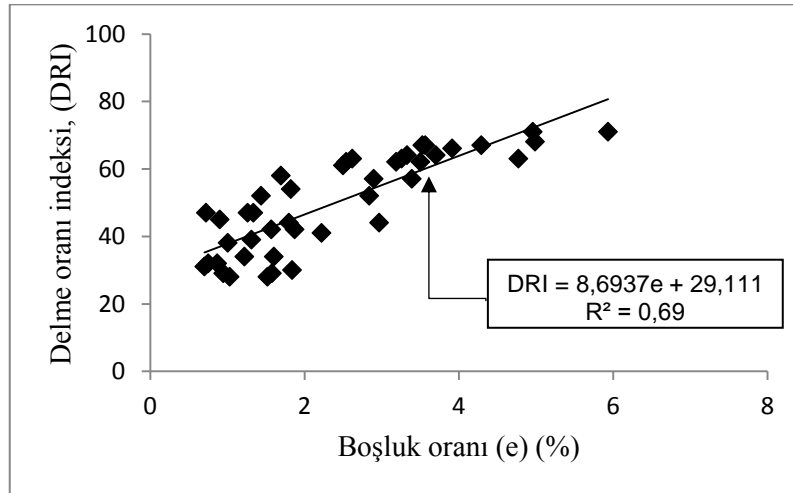


Şekil 4.8. Keski sarfiyatı ile ve delme oranı indeksi ilişkisi

Delme oranı indeksinin kayacın fiziksel özelliklerinden görünür porozite ve boşluk oranı ile sırasıyla $R^2 = 0,72$ ve $R^2 = 0,69$ 'un üzerinde ilişkiler olduğu görülmüş ve Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Kayaçlardaki DRI değerleri arttıkça porozite oranları lineer olarak artmaktadır. Kayaçlardaki boşluk oranı arttıkça delme oranı artmaktadır.



Şekil 4.9. Görünür porozite ve delme oranı indeksi ilişkisi



Şekil 4.10. Boşluk oranı ve delme oranı indeksi ilişkisi

Demirdağ vd., (2014), farklı mermer çeşitleri üzerinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarından porozite oranı ile delme hızı arasında güçlü ilişkiler elde etmişlerdir. Ayrıca kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile delme hızı arasında kuvvetli ilişkiler olduğunu belirtmişlerdir.

Kayaç dokusu ve tane boyutu delme oranını etkileyen kayaç özelliklerindedir. Kayaçlarda tane boyu inceldikçe ve kayaç dokusu sıklaştıkça (yoğunlaştıkça) kayacın delinebilirlik oranı azalmaktadır (Hoseinie, vd., 2008).

4.2. Kayaçların Aşındırıcılık Özellikleri ile İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi

4.2.1. Cerchar Aşındırıcılık İndeksi ile İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinden alınan numuneler üzerinde kayaçların aşındırıcılık özelliklerinden Cerchar aşındırıcılık indeksi ile diğer deney sonuçları ile basit regresyon analizleri kurarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Cerchar aşındırıcılık indeksi ile diğer deneyler arasında gerçekleştirilen ilişkiler sırasıyla Şekil 4.11-4.16'de gösterilmiştir. Elde edilen eşitlikler 4-11 ile 4-16'de verilmiştir

$$CAI = 0,0189\sigma_c + 0,177 \quad R^2 = 0,75 \quad (4.11)$$

$$CAI = 0,2393I_{S_{50}} + 0,3446 \quad R^2 = 0,68 \quad (4.12)$$

$$CAI = 0,1538\sigma_t + 0,0247 \quad R^2 = 0,67 \quad (4.13)$$

$$CAI = -0,0725S_{20} + 4,7343 \quad R^2 = 0,57 \quad (4.14)$$

$$CAI = -0,729\ln(SJ) + 4,0768 \quad R^2 = 0,72 \quad (4.15)$$

$$CAI = -1,378\ln(MD) + 3,7729 \quad R^2 = 0,56 \quad (4.16)$$

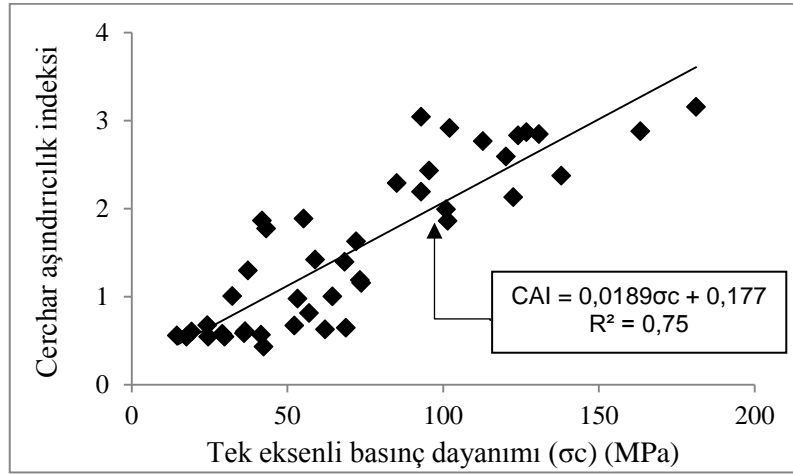
Kayaçlardaki kuvars ve diğer aşındırıcı mineral içerikleri, tane boyu, doku türü, çimentolama derecesi aşındırıcılığı etkileyen önemli parametrelerdir. Barbour vd. (1979), kesici uç tüketiminin kuvars içeriğinden çok çimentolama derecesi ile ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Yaralı vd. (2008), kayaç aşındırıcılığının özellikle ortalama kuvars tane boyutu, aşındırıcı mineral miktarı, çimento türü, çimentolama derecesi ve mineral bilişimi ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. 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.

Kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeksi ile mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile anlamlı ilişkileri elde edilmiştir. Kayaçların dayanım özellikleri ile CAI arasında en iyi ilişki tek eksenli basınç dayanımı ile $R^2 = 0,75$ olan ilişkide elde edilmiştir (Şekil 4.11). Kayaçlarda dayanımın artmasıyla aşındırıcılık indeksi artmaktadır. Çapik, vd., (2014), tek eksenli basınç dayanımının Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Dipova, (2012), zayıf kireçtaşları üzerinde gerçekleştirmiş olduğu

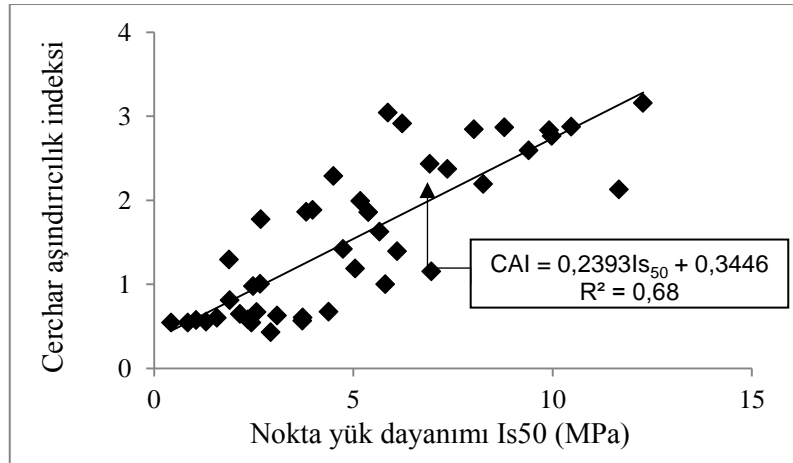
çalışmada Cerchar aşındırıcılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı ve Brezilya dolaylı çekme dayanımı değerleri arasında ilişkiler olduğunu göstermişlerdir.

Tamrock, (1999) kaya kütlelerinin aşındırıcılığı kayacın dayanımı, sertliği, mineral bileşimi ve mineral tanelerinin boyutuna bağlıdır. Al-Ameen ve Waller (1994), kayaçların içerdiği aşındırıcı mineral içeriğine ek olarak çimentolaşma durumu ve kayacın dayanım özellikleri Cerchar aşındırıcılık indeksi üzerinde etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

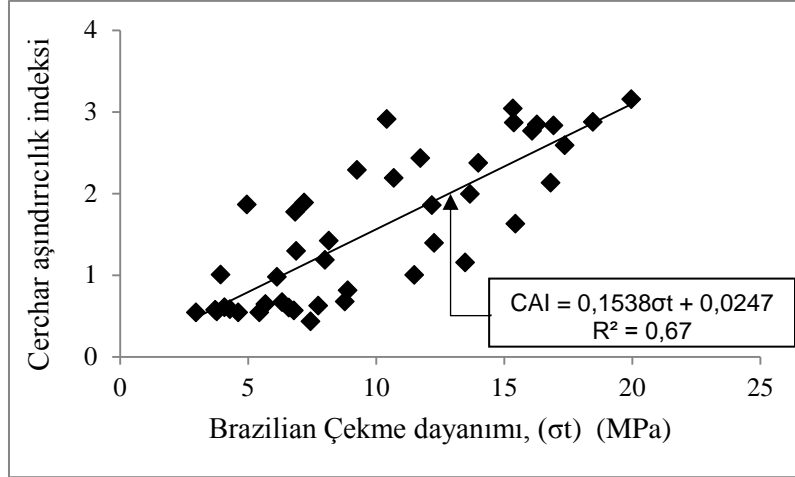
Aşındırıcı mineral miktarı düşük olan kil, silt, marn, kireçtaşı ve bazı kumtaşlarının Cerchar aşındırıcılık indeksi değerleri düşüktür. Kuvarsit, gnays granit ve amfibolit gibi kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeksi değerleri yüksektir. Andezit, bazalt ve riolit gibi kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeksi değeri orta 1,5-3 arasında yer almaktadır (Plinninger vd., 2003).



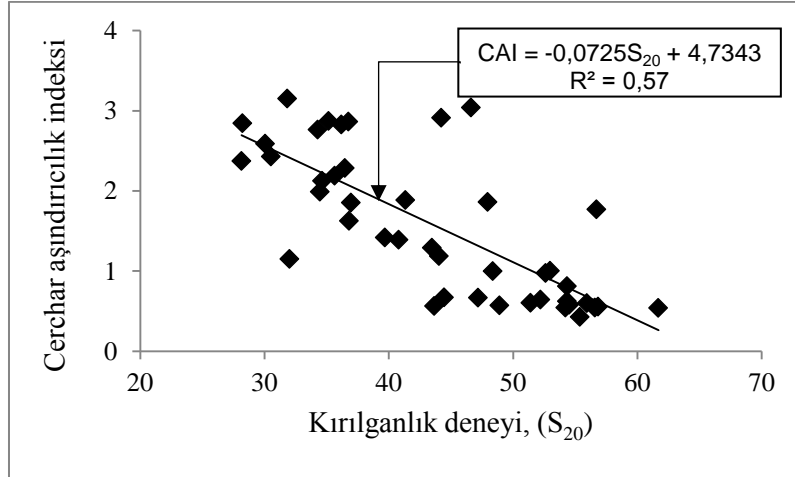
Şekil 4.11. Tek eksenli basınç dayanımı ve CAI ilişkisi



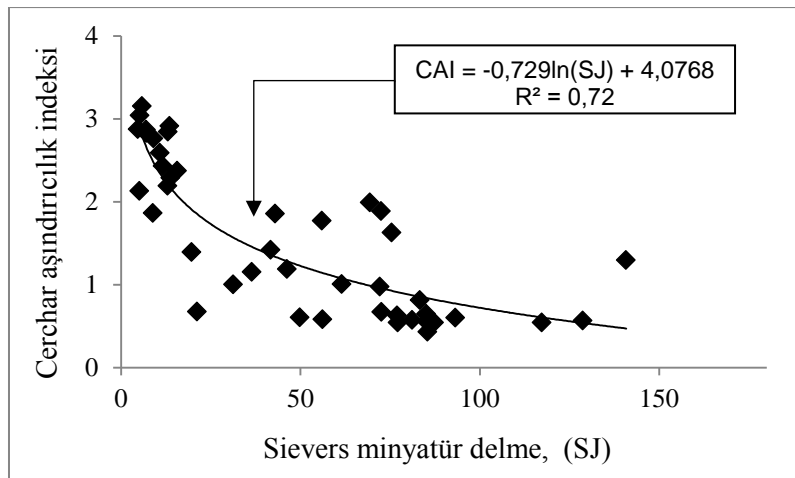
Şekil 4.12. Nokta yük dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi



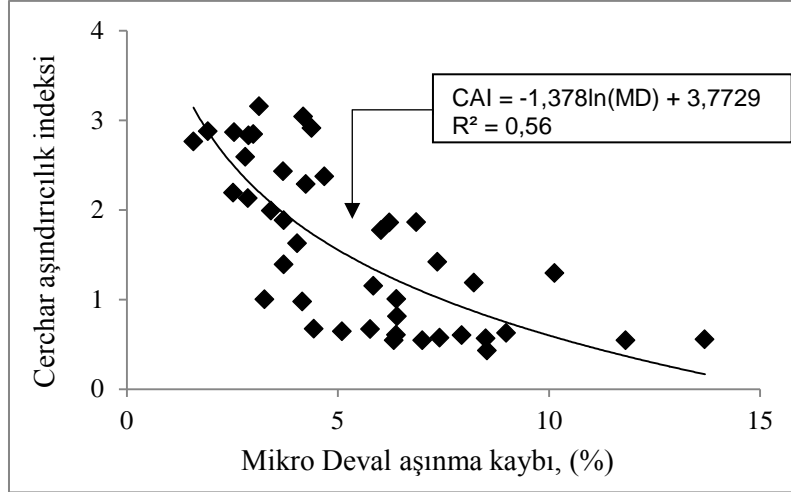
Şekil 4.13. Brazilian çekme dayanımı ile Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi



Şekil 4.14. Kayaçlarının kırılma ve Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi



Şekil 4.15. Sievers Minyatür delme ve Cerchar aşındırıcılık indeksi ilişkisi



Şekil 4.16. Kayaçların mikro deval aşınma kaybı ve CAI indeksi ilişkisi

Cerchar aşındırıcılık indeksi ile kırılma deneyi arasında $R^2 = 0,57$ anlamlı ilişkileri elde edilmiştir (Şekil 4.14). Kırılmaya karşı dayanımı yüksek olan kayaçların aşındırıcılık değerlerinin de yüksek olduğu görülmüştür. Altındağ vd., (2009) kayacın kırılma dayanımı-gevrekliği arttıkça CAI değerinin de arttığını ifade etmişlerdir.

Cerchar aşındırıcılık indeksi ile Sievers Minyatür delme arasında $R^2 = 0,72$ negatif katsayılı logaritmik güçlü ilişki elde edilmiştir (Şekil 4.15). Dahl vd, (2012), yaptıkları çalışmalarından Sievers minyatür delme deneyi ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Sievers Minyatür delme deneyi ve Cerchar aşındırıcılık deneyi sırasıyla kayaç yüzey sertliği ve kayaç aşındırıcılığını belirlemeden kullanılmaktadır. Sievers Minyatür delme deneyi kayaç aşındırıcılığını belirlemede de kullanılabilir. Sievers Minyatür delme deneyi kayaç aşındırıcılığını belirlemede de kullanılabilir.

Mikro Deval aşınma kaybı ile CAI indeksi ilişkisi arasında $R^2 = 0,56$ anlamlı ilişkiler elde edilmiş ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Delinebilirliği zor olan kayaçların aşındırıcılık değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Mikro Deval aşınma kaybı ile CAI arasında ilişki mevcuttur. Çapık, vd., (2014) CAI değeri düşük olan kayaçların Mikro deval aşınma kayıplarının düşük olduğu göstermişlerdir.

4.2.2. Mikro Deval Aşınma Kaybı ile İndeks Deneyler Arasındaki İlişkisi

Kayaçların aşınma özelliklerinden Mikro Deval aşınma kaybı ile diğer deney sonuçları ile basit regresyon analizleri kurularak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Mikro

Deval aşınma kaybı ile diğer deneyler arasında gerçekleştirilen ilişkiler sırasıyla Şekil 4.17-4.21’de gösterilmiştir. Elde edilen eşitlikler 4-17 ile 4-21’de verilmiştir.

$$MD = -3,535\ln(\sigma_c) + 20,185 \quad R^2 = 0,66 \quad (4.17)$$

$$MD = 9,5453e^{-0,129}I_{s50} \quad R^2 = 0,67 \quad (4.18)$$

$$MD = 11,188e^{-0,081\sigma} \quad R^2 = 0,62 \quad (4.19)$$

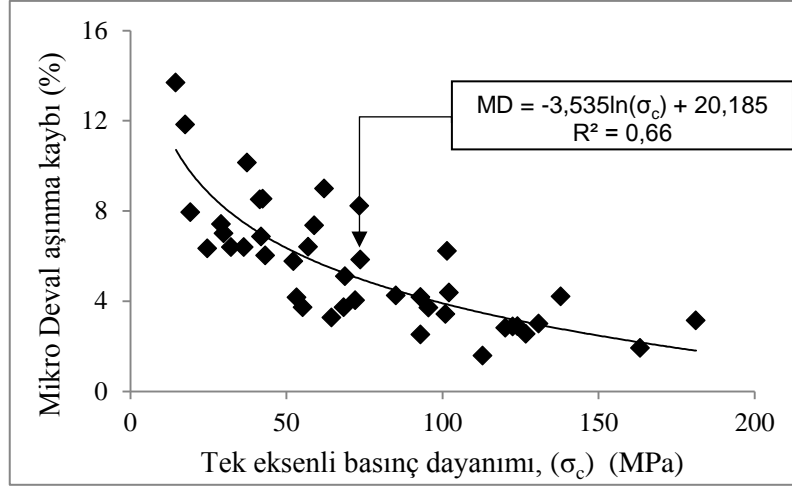
$$MD = 1,0101e^{0,0363S_{20}} \quad R^2 = 0,49 \quad (4.20)$$

$$MD = 1,5011SJ^{0,3434} \quad R^2 = 0,55 \quad (4.21)$$

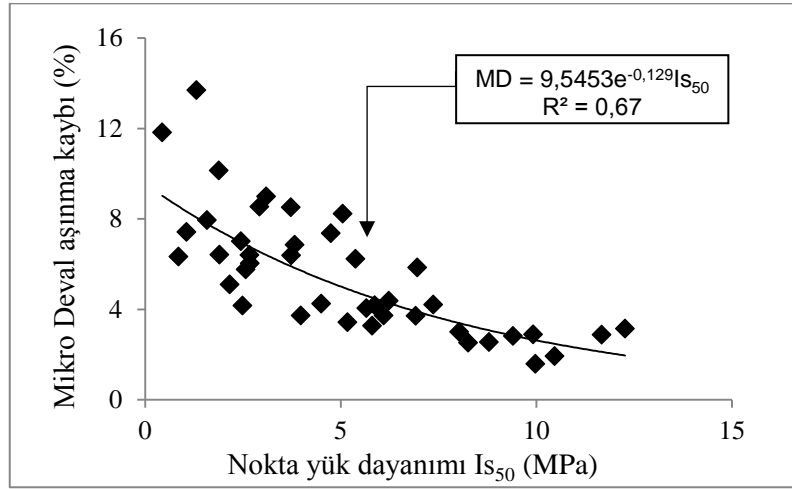
Pomonis, vd., (2007) tarafında gerçekleştirilen çalışmada mikro deval aşınma kaybı ile kayaçlardaki kuvars içeriği arasında güçlü ilişkiler elde etmişlerdir. Mikro deval aşınma kaybı değerlerinin artmasıyla kuvars içeriğinin düştüğü tespit etmişlerdir. Ayrıca kayaçtaki plajiyoklaz miktarının artması mikro deval aşınma kaybı değerini artırmaktadır.

Mikro deval aşınma kaybı, kayacın aşınmaya ve darbeye karşı olan özelliğini, diğer aşınma ve darbe deneylerinden daha iyi bir şekilde göstermektedir (Richard ve Scarlett, 1997). Mikro deval aşınma kaybı ile diğer aşınma ve darbe deneylerin olan Los Angeles aşınma, Fransa deval testi, Alman darbe testi, İngiliz darbe testi ve Marshall testi ile aralarında iyi ilişkiler elde edilmiştir (Kohler ve Nagel, 1972).

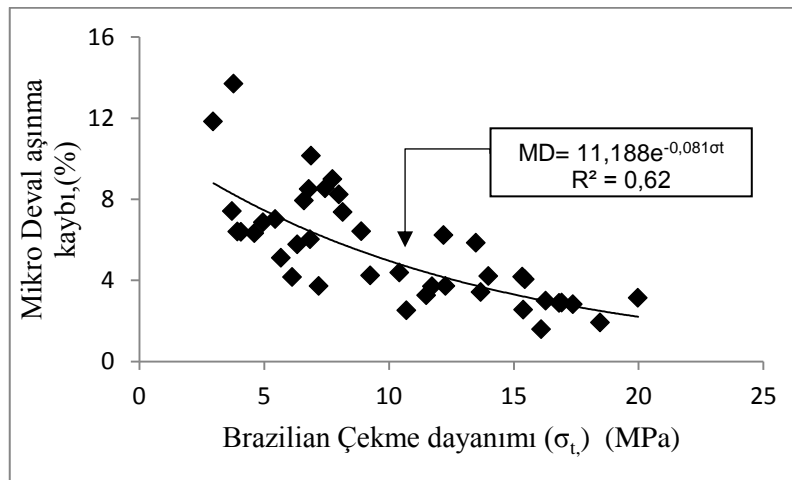
Mikro deval aşınma kaybı deneyi kayacın arazideki özelliğini iyi bir şekilde göstermektedir (Rogers vd., 1991; Cooper vd., 2003). Bu durum deneyin yaş bir şekilde (su içinde) yapılmasından kaynaklanmaktadır. Düşük kalitedeki kayaç tipleri suyla temaslarından dayanımlarından azalmalar görülmektedir. Çünkü arazideki kayaçların genelinde yeraltı suyun etkisi görülmektedir (Rogers ve Senior, 1994). Farklı kırılma dayanımına sahip kayaçları su ile birlikte gerçekleştirilen deneylerinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Fowder, vd., 2006).



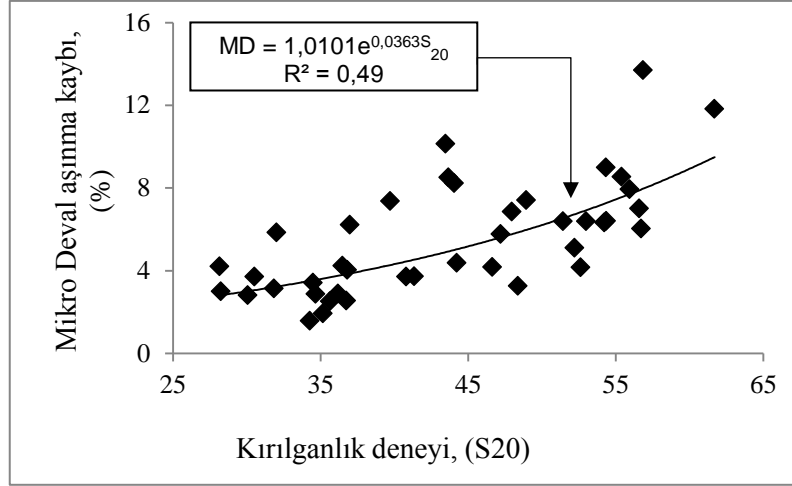
Şekil 4.17. Tek eksenli basınç dayanımı ve MD aşınma kaybı ilişkisi



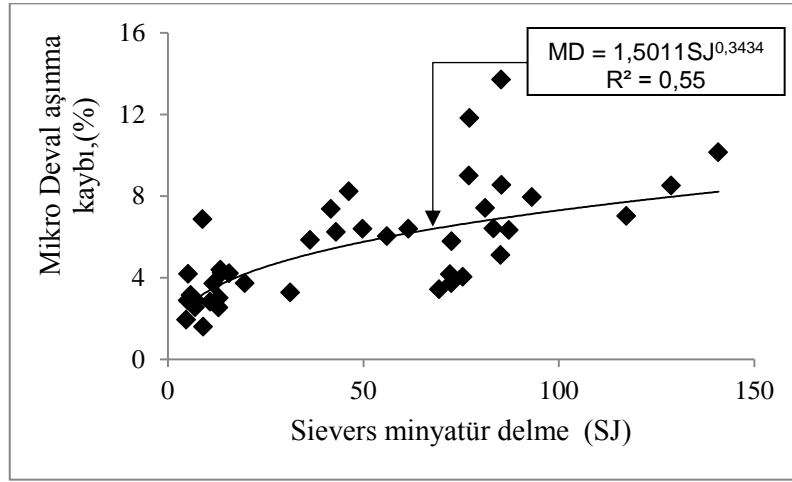
Şekil 4.18. Kayaçların nokta yük dayanımı ve Mikro Deval ilişkisi



Şekil 4.19. Brazilian çekme dayanımı ve Mikro Deval ilişkisi



Şekil 4.20. Kırılgenlik ve Mikro Deval ilişkisi



Şekil 4.21. Mikro Deval aşınma ve Sievers delme ilişkisi

Mikro deval aşınma kaybı ile kayaçların mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı arasında sırasıyla $R^2 = 0,66$, $R^2 = 0,67$ ve $R^2 = 0,62$ olarak anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Dayanımı yüksek olan kayaçların aşınma kayıplarının düşük olduğu görülmektedir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanım değerlerinin Mikro Deval aşınma kaybı arasında yüksek korelasyon ilişkisi olduğu elde edilmiştir. Çapık, vd., (2014) dayanımı yüksek olan kayaçların çarpmaya ve sürtünmeye karşı olan dirençleri yüksektir.

Mikro deval aşınma kaybı ile kırılgenlik ve Sievers minyatür delme deneyi ile aralarında sırasıyla $R^2 = 0,49$ ve $R^2 = 0,55$ anlamlı ilişki olduğu görülmüştür. Kırılgenlik değeri yüksek olan kayaçlarda mikro deval aşınma kaybının yüksek olduğu Şekil 4.20'de

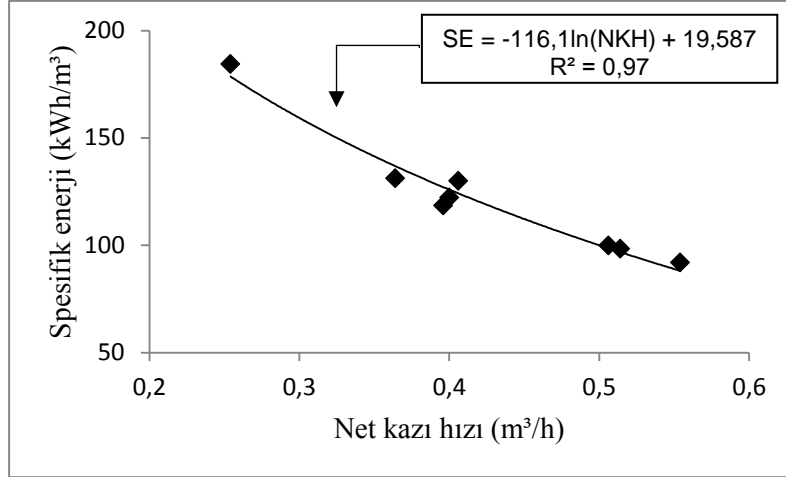
gösterilmiştir. Sievers minyatür delme oranı artıkça kayacın mikro deval aşınma kaybının da yükseldiği Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

4.3. Spesifik Enerji Verilerinin Değerlendirilmesi

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde kazı hattı boyunca belli noktalarda ve farklı formasyonlar üzerinde makinaların çalışma performans değerlendirmelerini incelemek ve harcadıkları enerji miktarlarını hesaplamak için delme işleminde kullanılan çift bomlu Jumbo makinaların her bir bomun ayrı ayrı ve birlikte delgi yapmaları durumlarında değişen spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. Bir başka deyişle birim hacimdeki malzemeyi delmek için gerekli olan spesifik enerji değerleri ve net kazı değerleri hesaplanmıştır.

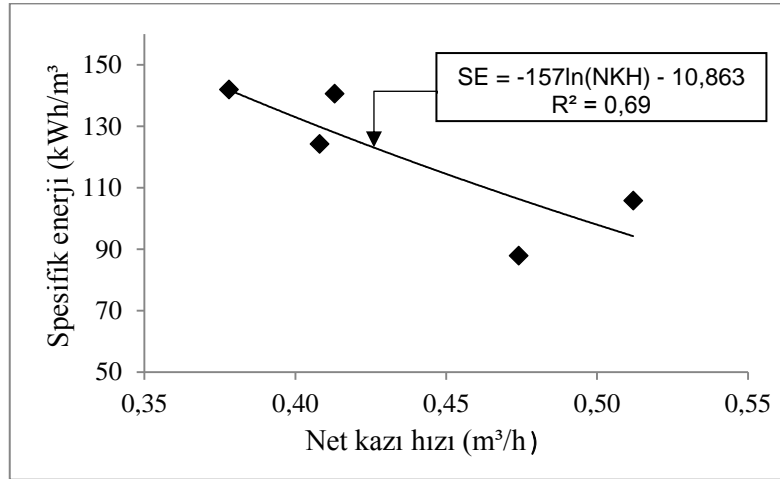
Cankurtaran tünelindeki delme işleminde kullanılan Sandvik DD320 Jumbo makinasına ait spesifik enerji ve net kazı hızı ilişkisi Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22’de verilen Sandvik DD320 Jumbo makinası için spesifik enerji değerleri ile net kazı hızı arasında $R^2 = 0,97$ gibi güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi kayaç delgisi için harcanan enerji miktarı azaldıkça birim zamanda kazı miktarının arttığı görülmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kayaçların kesilebilirlik ve delinebilirlik tahmini için en etkin parametrenin spesifik enerjisinin hesaba katıldığı yöntem olduğu görünmektedir. Ayrıca spesifik enerji değeri ile net kazı hızı (makina kesme hızı) arasında güçlü bir bağıntılar olduğu görülmüştür (Fowell ve Johnson, 1982). Spesifik enerji ile net kazı hızı arasındaki ilişki benzer çalışmalar tarafında doğrulamaktadır. Kayacı delmek için harcanan spesifik enerji dayanımına, süreksizliklerin varlığına, aşındırıcı ve sert minerallerin bileşimine, kayacın matrisine ve mineral dokusundan etkilenmektedir (Reddish ve Yaşar, 1996).



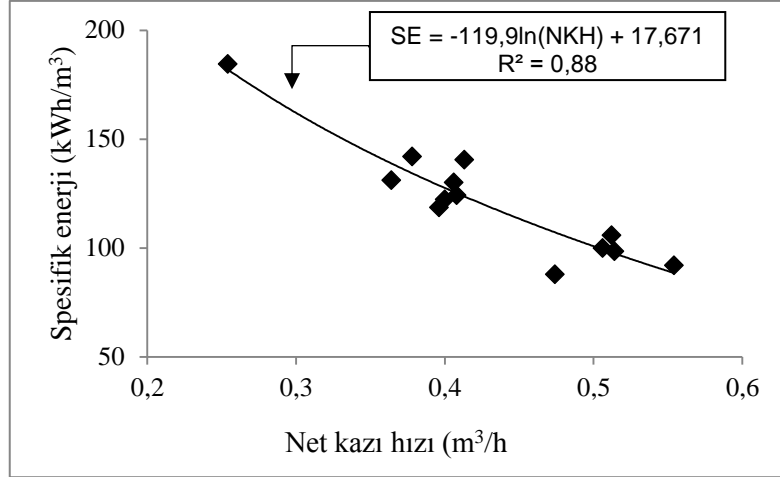
Şekil 4.22. Cankurtaran tüneli Sandvik DD320 Jumbo makinasına ait spesifik enerji değerleri ve net kazı hızı ilişkisi

Salmankaş Tüneli için Sandvik DD320 Jumbo makinasına ait spesifik enerji ve net kazı hızı arasındaki ilişki Şekil 4.23’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde spesifik enerji ile net kazı hızı arasında $R^2 = 0,69$ gibi lineer azalan bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 4.23. Salmankaş tüneli Sandvik DD320 Jumbo makinasına ait spesifik enerji değerleri ve net kazı hızı ilişkisi

Salmankaş ve Cankurtaran tünelleri için delici Jumbo makinalarına ait tüm spesifik enerji ve net kazı hızı değerleri ilişkisi Şekil 4.24’de verilmiştir. Sandvik DD320 ile Jumbo makinasıyla yapılan delgi işleminde $R^2 = 0,88$ gibi güçlü bir ilişki elde edilmiştir.



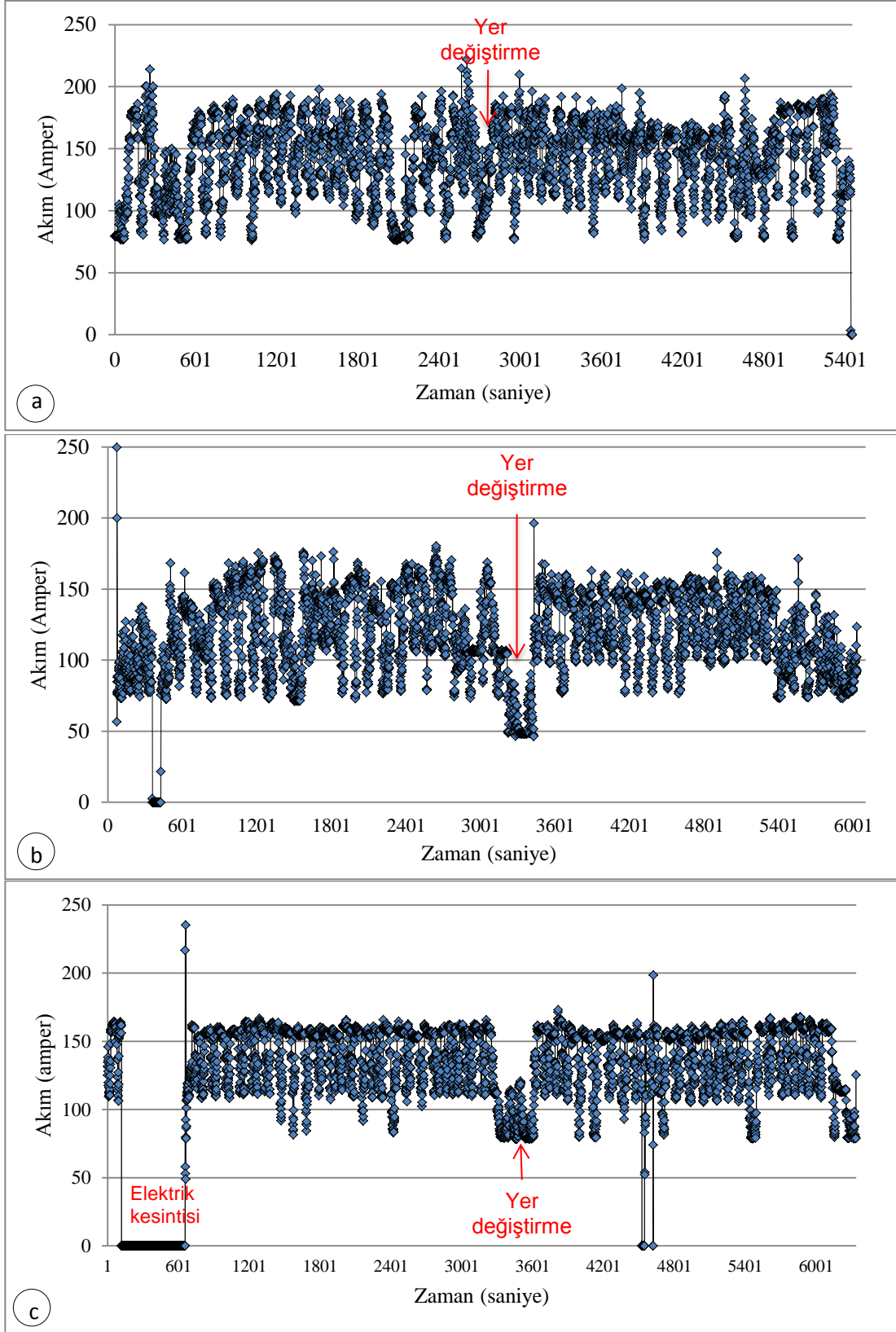
Şekil 4.24. Salmankaş ve Cankurtaran tünelleri için spesifik enerji değerleri ve net kazı hızı ilişkisi

4.4. Delici Makine Performansı ve Spesifik Enerji

Tünellerde delme işleminde kullanılan delici Jumbo makinaların spesifik enerji değerlerine bağlı olarak makine performanslarını göstermek için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

- Operatör tecrübesi,
- Delinen kayaç formasyonu,

Operatör ve kayaç formasyon parametrelerinin makine performansı üzerindeki etkisini göstermek için Şekil 4.25'de Sandvik DD320 Jumbo makinası ile delme sırasında zamana bağlı olarak akım değeri değişim grafikleri verilmiştir.



şekil 4.25. DD320 Jumbo makinasına ait akım zaman grafikleri a) CR11a, b) CL11 ve c) B9 kodu

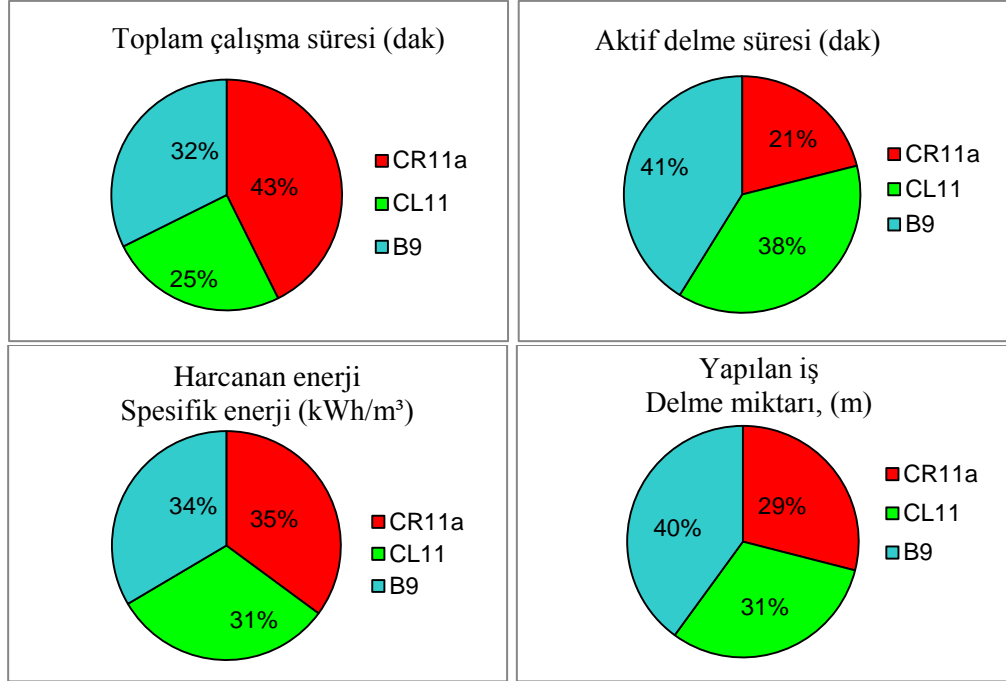
Makinaların çalışma performanslarını incelemek için Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde eşit jeolojik şartlarda ve aynı delici Jumbo makinasıyla delgi işlemi gerçekleştirilmiştir. Cankurtaran tüneli Şekil 4.25 a) grafiğinde Sandvik DD 320 makinasının CR11a kodunda gerçekleştirilen delik delme işleminde toplam 145 dakika kazı aynasında kalarak, 270 metrelik delme işlemi gerçekleştirmiştir. Bu iş için 110 kWh/m³ spesifik enerji harcanmıştır. Şekil 4.25 b) grafiğinde başka operatör tarafından CL11 kodunda gerçekleştirilen delik delme işleminde toplam 85 dakika kazı aynasında kalarak, 269 metrelik delgi işlemi gerçekleşmiş ve bu iş için 98 kWh/m³ spesifik enerji harcanmıştır. Salmankaş tüneli Şekil 4.25 c) grafiğinde Sandvik DD 320 Jumbo makinası ile gerçekleştirilen delik delme işleminde toplam 110 dakika kazı aynasında kalarak, 372 metrelik delgi işlemi gerçekleşmiş ve bu iş için 105 kWh/m³ spesifik enerji harcanmıştır. Ayrıca CR11a kodundaki makinanın toplam delgide bekleme sürelerinin toplam aktif delmeden daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı iş için daha fazla enerji harcandığı ve makinanın delgi yaparken gereksiz bekleme sürelerinin fazla olduğu gözlenmiştir (Çapik, vd., 2013a).

Şekil 4.25 a) ve b) grafiği incelendiğinde Sandvik DD320 tipi makinenin delme sırasındaki akım zaman değişimleri incelendiğinde delme esnasında akım zaman değişimlerinde ani piklerin olduğu görülmektedir. Bu durum delme sırasında operatör tarafından darbe ve baskı oranlarının değiştirmesinden kaynaklanabilir. Ancak baskı ve darbenin sürekli olarak değişmesi delgi yapılan formasyonun marndan oluşması, içerdiği süreksizlik ve çatlak sayısının çok olmasından kaynaklanabilir. Süreksizlikler ve çatlaklardan dolayı delgilerde dönüş, darbe ve baskı hızları sabit tutulamadığında çatlaklı bölgelerde makine tıkanmaları yaşanmıştır. Şekil 4.25 c) grafiğinde delgi işlemi boyunca makinaya uygulanan darbe, baskı ve dönüş hızları sabit kalmış ve akım değişimleri fazla değişiklik göstermemiştir. Çünkü delgi boyunca 170 bar darbe, 100 bar baskı ve 60 bar'lık dönüş hızı ise sabit kuvveti uygulanmıştır. Ayrıca Sandvik DD320 tipi makinenin delme sırasındaki harcadığı spesifik enerji değerleri, net kazı hızı, net delme hızı ve delme miktarları Tablo 4.1'de verilmiştir (Çapik, vd., 2013a).

Tablo 4.1. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki Sandvik DD320 Jumbo makinasının delme sırasında harcadığı spesifik enerji miktarı

Kod No	Parametreler	Sol bom	Sağ bom	İki bom	Makina
CR11a	Toplam delme süresi (dak.)		145		Sandvik DD320
	Aktif delme süresi (dak)	46	56	51	
	Delme miktarı (m)	114	155,8	269,8	
	Net delme hızı (m/dk)	2,5	2,8	2,6	
	Ort. Akım (Amper)	99,37	107,71	147,32	
	Güç (kW)	37,76	40,93	55,98	
	Kazılan malzeme, m ³	0,181	0,248	0,429	
	NKH (m ³ /h)	0,237	0,266	0,506	
	Spesifik enerji (kWh/m³)	159,5	153,7	110,8	
CL11	Toplam delme süresi (dak.)		85		Sandvik DD320
	Aktif delme süresi (dak)	59	48	54	
	Delme miktarı (m)	144,4	144,4	288,8	
	Net delme hızı (m/dk)	2,4	3,0	2,6	
	Ort. Akım (Amper)	96,59	90,75	133,03	
	Güç (kW)	36,7	34,5	50,6	
	Kazılan malzeme, m ³	0,230	0,230	0,459	
	NKH (m ³ /h)	0,232	0,289	0,514	
	Spesifik enerji (kWh/m³)	158,5	119,5	98,37	
B9	Toplam delme süresi (dak.)		110		Sandvik DD320
	Aktif delme süresi (dak)	69	70	70	
	Delme miktarı (m)	172	200	372	
	Net delme hızı (m/dk)	2,5	2,8	2,6	
	Ort. Akım (Amper)	107,69	109,61	142,46	
	Güç (kW)	40,92	41,65	54,13	
	Kazılan malzeme, m ³	0,273	0,318	0,591	
	NKH (m ³ /h)	0,238	0,273	0,512	
	Spesifik enerji (kWh/m³)	171,83	152,56	105,8	

Makinaların çalışma performansları ve operatör etkisini belirtmek için Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinin kazı aynalarından alınan veriler değerlendirilerek Şekil 4.26'da verilmiştir. Her iki tünel için Sandvik DD 320 delici Jumbo makinası ile gerçekleştirilen delgi işleminde üç farklı kazı aynasına ait kazı performansı karşılaştırılmıştır. Üç farklı kazı aynasında gerçekleştirilen kazı işlemlerinde operatörlerin çalışma süresilerinin, yapılan iş miktarlarının, kazılan malzeme miktarlarının ve harcanan spesifik enerji miktarlarının birbirinden farklı olduğu görülmüştür (Çapik 2013a).



Şekil 4. 26. Farklı operatörlerin makine performansı üzerindeki etkisi

4.5. Bit Ömürlerinin Değerlendirilmesi

Tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı değerleri kaya malzemesinin kırılma ve dayanım gibi özelliklerini belirlemektedir. Çoğu araştırmacı delinebilirliğin ana parametresi olarak bu özelliklerden faydalanırlar (Thuro, 1996; Thuro ve Spaun, 1996b).

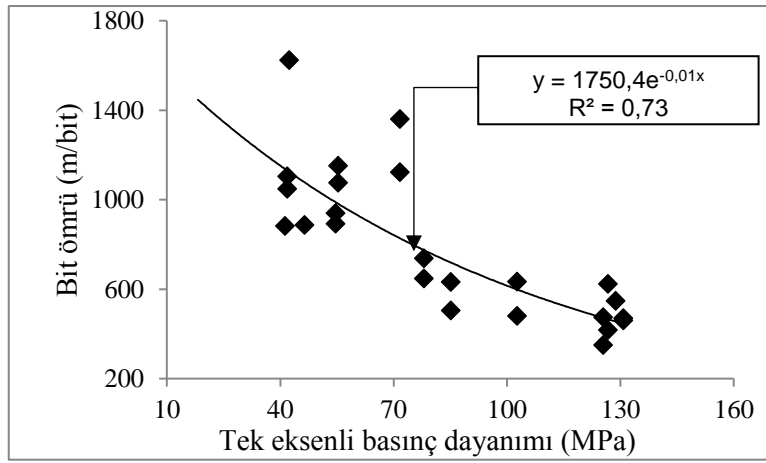
Bit ömrü değerlendirilmesi için arazide alınan sonuçlar ile laboratuvar sonuçlarının ortalaması alınarak grafikler çizilmiştir. laboratuvar sonuçların bitlerin delgi yaptıkları kazı aynalarındaki dönemlere ait mekanik, aşındırıcılık ve delinebilirlik sonuçlarının ortalamasıdır.

Laboratuvar çalışması sonucundan mekanik deneylerden tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı, aşındırıcılık deneylerinde mikro deval aşınma kaybı ve Cerchar aşındırıcılık indeksi, delinebilirlik deneylerden kırılma deneyi ve Sievers minyatür delme deneyi tünellerin delgi işleminde takip edilen bit ömürleri ile aralarındaki ilişkiler incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

Cankurtaran ve Salmankaş Tüneller 'inde kullanılan bit ömürleri ve tek eksenli basınç dayanım ilişkisi Şekil 4.27'de verilmiştir. Bit ömürleri ile tek eksenli basınç dayanımıyla $R^2 = 0,73$ üzerinde üstel bir ilişki elde edilmiştir. Dayanımın bit ömrü üzerinde

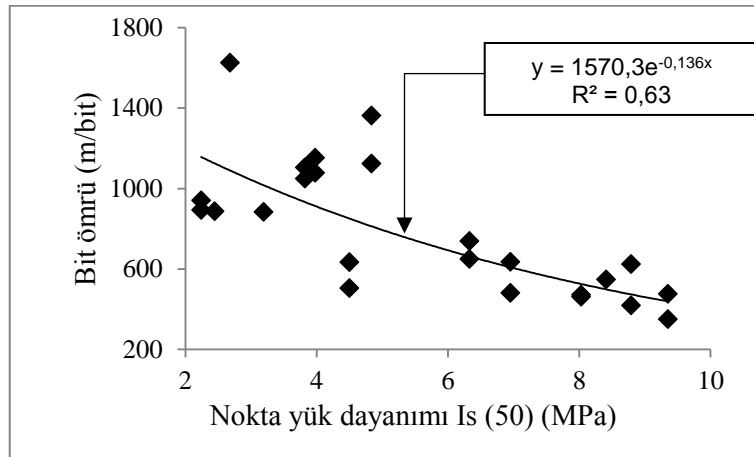
önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Dayanımı yüksek olan andezit, bazalt, dolerit, ince taneli kumtaşı ve kireçtaşlarında bit ömürlerinin düştüğü görülmektedir.

Tek eksenli basınç dayanımı makine seçimi ve kayaçların delinebilirlik ölçütlerinin belirlenmesinde kullanılan bir deney yöntemidir. Sadece tek eksenli basınç dayanımı kullanarak kayacın aşındırıcılık, kırılgenlik, süreksizlik gibi özellikleri hakkında her zaman doğru ve güvenilir bir sonuç vermeyebilir (Shariar,1988). Bit tüketimi kayacın basınç dayanımına ve içerdiği SiO_2 miktarına göre değişmiştir (Thuro, ve Plinninger, 1999).

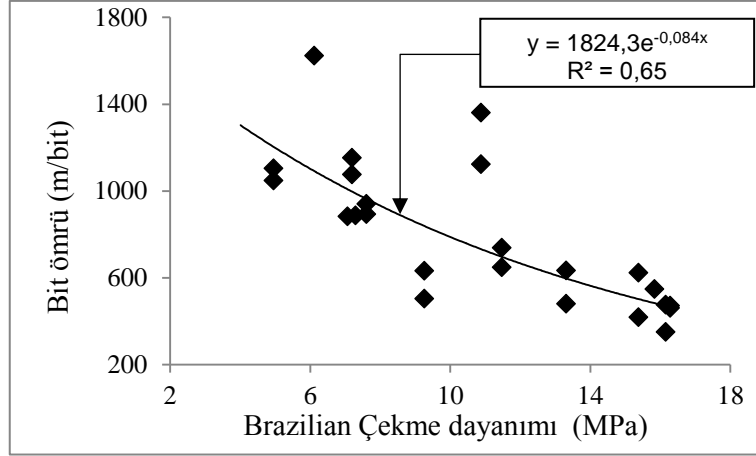


Şekil 4.27. Tek eksenli basınç dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi

Diğer mekanik özelliklerinden nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile bit ömrü arasında sırasıyla $R^2 = 0,63$ ve $R^2 = 0,62$ üzeri anlamlı ilişki elde edilmiştir. İlişki grafikleri Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir.

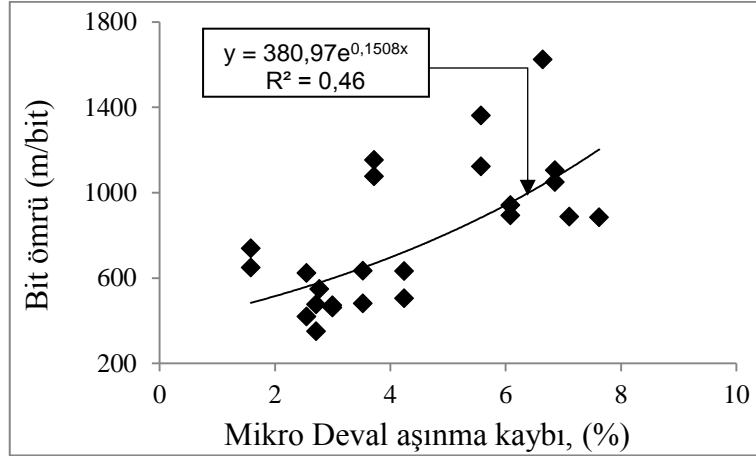


Şekil 4.28. Nokta yük dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi



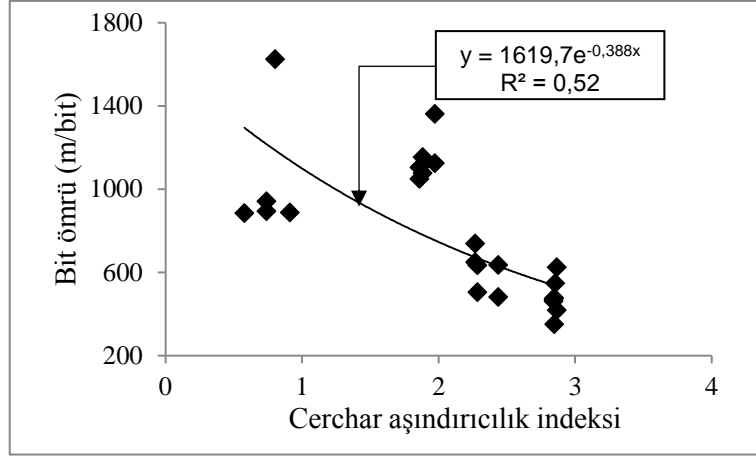
Şekil 4.29. Brazilian çekme dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi

Laboratuvarda gerçekleştirilen aşındırıcılık deneylerinden olan mikro deval aşınma kaybı ile tünellerde kullanılan bit ömürleri arasındaki ilişki Şekil 4.30'de verilmiştir. Şekil 4.30'da görüldüğü gibi kayaçların aşınmaya karşı olan direnci azaldıkça bit ömrünün arttığı görülmektedir.



Şekil 4.30. Mikro Deval aşınma kaybı ile matkap ömürleri ilişkisi

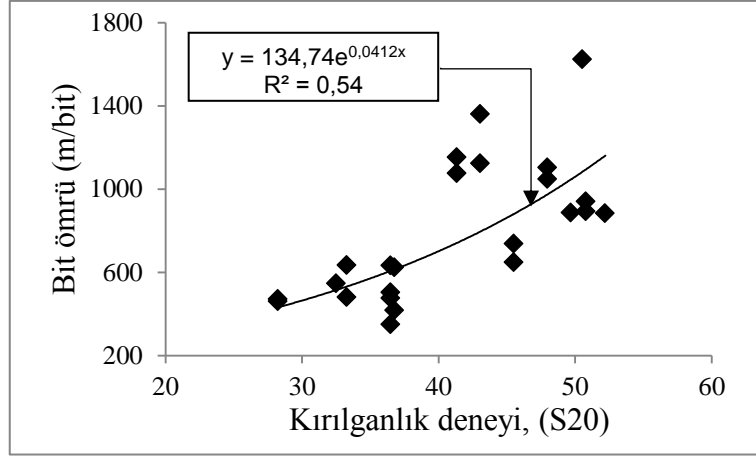
Kayaçlardaki kazıcı ömrü tahmininde kullanılan Cerchar aşındırıcılık indeksi ile bit ömrü arasından $R^2 = 0,52$ gibi üstel bir ilişki belirlenmiştir. Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde kullanılan matkap ömürleri ve Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki Şekil 4.31'de verilmiştir. Altınoluk, (1989), sert ve aşındırıcı kayaçlarda uç aşınmaları çok yüksek oranlara erişmektedir.



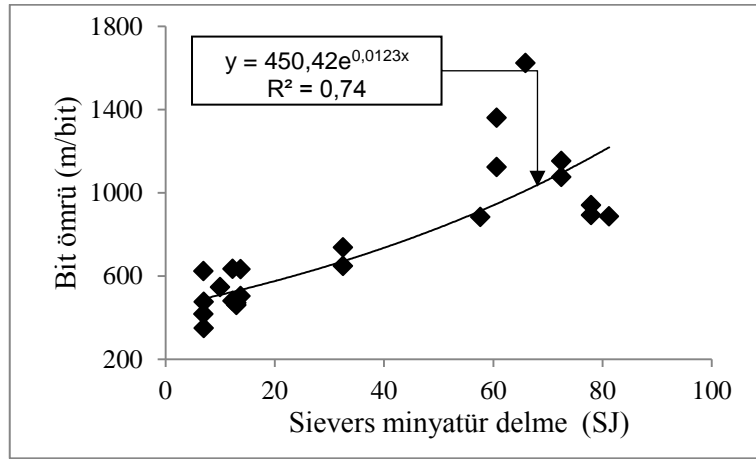
Şekil 4.31. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile bit ömürleri ilişkisi

Delinebilirlik tayininde kullanılan kırılgenlik deneyi ile Sievers minyatür delme deneyinin bit ömrü ile ilişkileri elde edilmiştir. Cankurtaran ve Salmankaş Tüneller 'inde kullanılan matkap ömürleri ile kırılgenlik deneyi ve Sievers minyatür delme ilişkisi sırasıyla Şekil 4.32 ve 4.33'de verilmiştir. Şekil 4.32'de kırılgenlik deneyi ile bit ömrü arasında $R^2 = 0,54$ gibi anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Kırılgenlik deneyi (S_{20}), kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direncin dolaylı olarak ölçüsü olduğundan, kırılgenliği daha düşük olan kayaların dayanımları ve setlikleri daha yüksek olduğundan bit ömürleri de daha kısadır. Şekil 4.33'de Sievers minyatür delme ilişkisi ile $R^2 = 0,74$ güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Sievers Minyatür delme deneyi kayacın yüzey sertliği veya delmeye karşı direncin ölçüsü olduğundan, kolay delinebilen kayaların bit ömürleri de yüksektir.

Plinninger, vd., (2002a-2002b), Plinninger, (2008), tarafında yapılan çalışmalarda bit ömrü ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki benzer ilişki elde etmişlerdir. CAI ile kayacın aşındırıcılığı hakkında tahmin yapılabilir. Ancak bit ömrü hesaplamasında kesin tahminler yapılamayabilir.

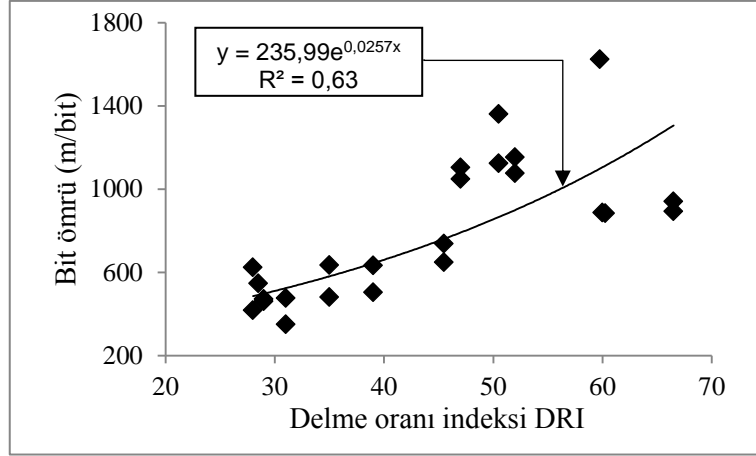


Şekil 4.32. Kırılgenlık deneyi ile matkap ömürleri ilişkisi



Şekil 4.33. Sievers minyatür delme ile matkap ömürleri ilişkisi

Delinebilirlik kayaçların dayanım, kırılgenlık, aşındırıcılık ve süreksizlik özelliklerinden etkilenmektedir. Delinebilirlik tayininde bu özelliklerden bir kaç bir arada değerlendirilmektedir (Yazıcı 1984; Puhakka, 1997; Yaralı 2008; Soyer 2009). Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde kullanılan bit ömürleri ve delme oranı ilişkisi Şekil 4.34'da verilmiştir. Kayaçların delinebilirliği arttıkça bit ömrü de artmaktadır.



Şekil 4.34. Delme oranı indeksi ile matkap ömürleri ilişkisi

Bit ömürlerindeki bu farklılığın kayaç formasyonunun özelliğinden çok delmede kullanılan bitlerin tipi, dizaynı, markası, yapıldığı malzemenin kalitesi, kobalt bağlayıcı ve tungsten karbür ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Butonların ve gövdenin yapıldığı çelik kalitesinin düşük olması bit'in erken aşınmasına sebep olmaktadır.

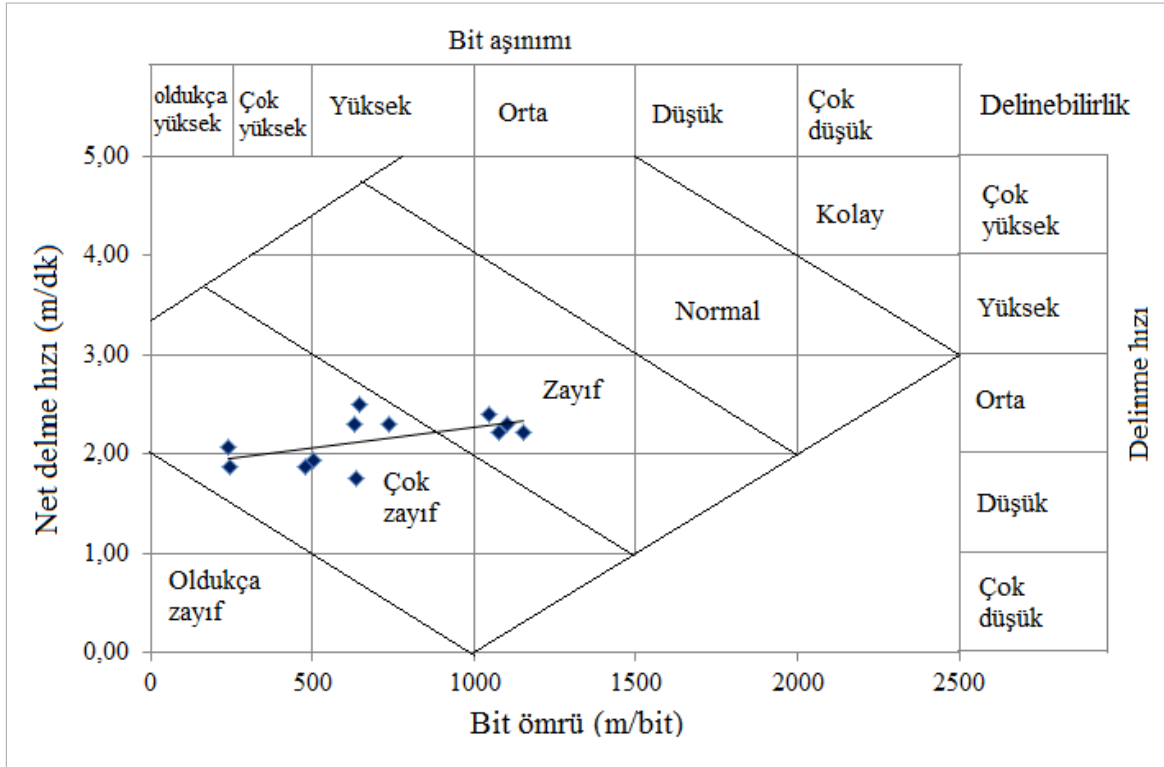
Kazıcı uçların kullanımında belirleyici faktör uçların aşınmadır. Uç sarfiyatının artması kazı ilerleme hızının düşmesine neden olur. Uçlar aşınmaya dayanıklı sinterlenmiş tungsten karbürden imal edilirler. Bu metaryel tungsten karbür ve kobalt kompozisyonudur. Bunların fiziksel ve mekanik özellikleri ve alaşım kompozisyonu değiştirilerek ayarlanabilir. Bu şekilde farklı kazı şartlarında değişik uç ömürleri görülebilmektedir (Altınoluk, 1989).

4.6. Delinebilirliğin Sınıflandırılması

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki kayaçların delinebilirlik sınıflaması ve bit aşınım derecesini belirlemek için kullanılan Atlas Copco Roket Bommer 282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA6 tipi Jumbo makinalarında kazı sırasında bir dizi incelemeler gerçekleştirmiştir. Kayaçların delinebilirlik sınıflandırması için bit ömrü, net delme hızı, bit aşınım derecesi ve delinebilirlik oranı gibi parametreler temel alınmıştır.

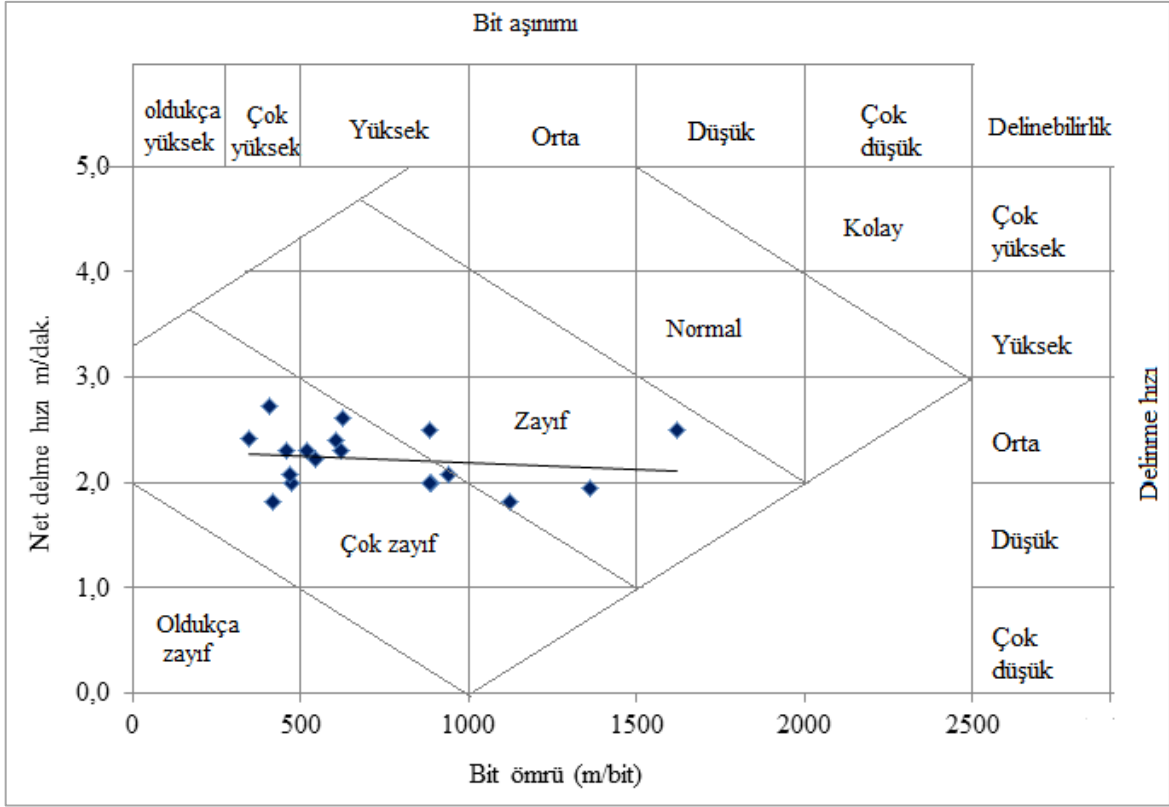
Bu incelemeler sonucunda Şekil 4.35'de Salmankaş Tünel'inde kullanılan matkap ömürleri, bit aşınımı, delme hızı ve delme oranı parametrelerine göre grafik çizilmiştir. Şekil 4.35'de görüldüğü gibi, delinme hızı düşük olan yani net delme hızı 2 m/dak. altında olan kayaçlarda bit aşınması yüksek delinebilirlik oranı ise zayıftır. Ayrıca Salmankaş

tünelinde bit ömrünün 500 m'den az, bit aşınımı oldukça yüksek, delinme hızı ise düşük olan kayaların olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, Salmankaş tüneline kullanılan matkaplarda, matkap ömrü arttıkça, delme hızının arttığı bit aşınımının düştüğü, delinebilirlik oranının kolaylaştığı görülmektedir.



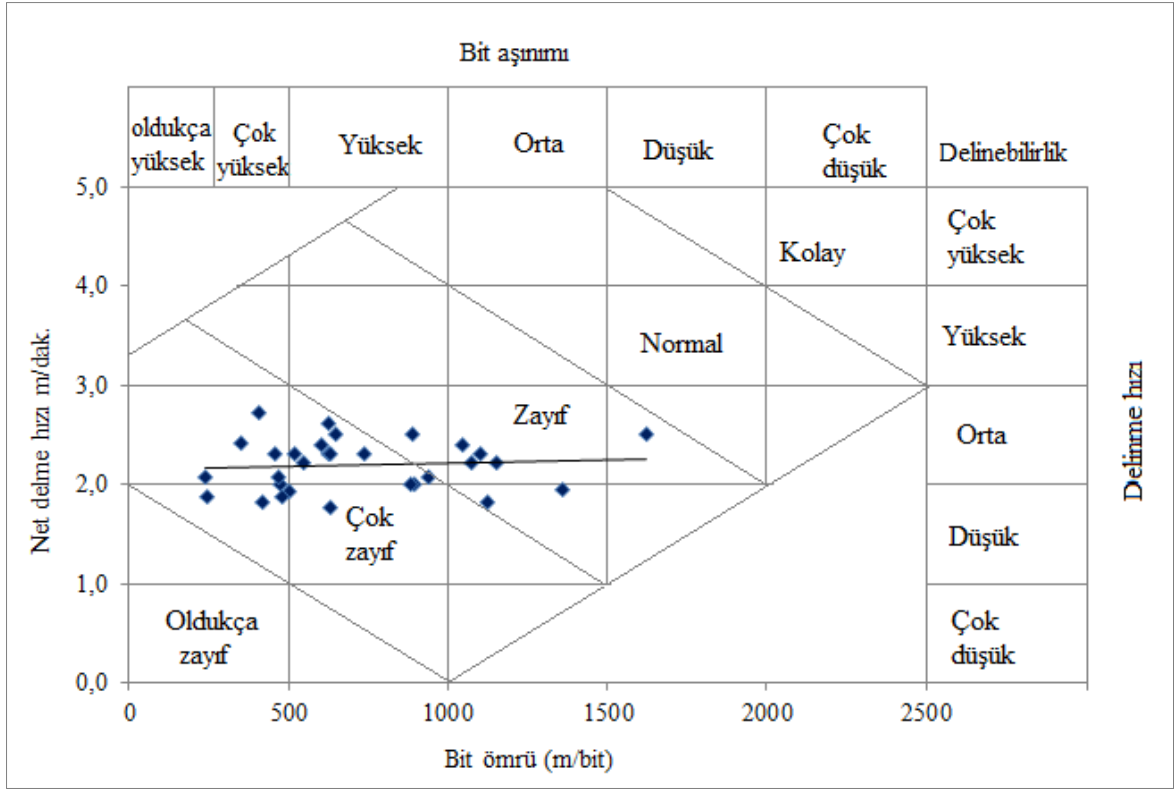
Şekil 4.35. Salmankaş Tünel'inde kullanılan matkap ömürleri ve net delme hızı diyagramı

Cankurtaran Tünel'inde kullanılan matkap ömürleri ve net delme hızı diyagramı Şekil 4.36'de verilmiştir. Şekil 4.36'da görüldüğü gibi, delinebilirliği zayıf olan kayalarda, bit aşınımı orta, delinme hızının orta olduğu görülmektedir. Cankurtaran tünelineki kayaç formasyonunun da süreksizlik ve çatlaklar çok olduğu için bit ömrü arttıkça net delme miktarının azaldığı görülmektedir. Çünkü süreksizliklerin olduğu kırıklı bölgelerde makinanın zorlanması olduğu, bitlerin sürekli tıkanıdığı ve makinadaki darbe ve baskının sürekli değiştiği bu durumun sebeplerindedir. Ayrıca Cankurtaran tüneline genel kayaç yapısında delinme hızının orta ve düşük olduğu, delinebilirlik oranının ise zayıf ve çok zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 4.36. Cankurtaran Tünel’inde kullanılan matkap ömürleri ve net delme hızı diyagramı

Cankurtaran ve Salmankaş Tünelleri ’inde kullanılan bit ömürleri ve net delme hızlarına ait veriler birlikte Şekil 4.37’de verilmiştir. Tünellerin genel kayaç yapısında delinme hızının orta ve düşük olduğu, delinebilirlik oranının ise zayıf ve çok zayıf olduğu, bit aşınmasının orta, yüksek ve çok yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.37’deki bit aşınması düşük yani bit ömrünün 1500 m’den daha fazla ve formasyonun marn - kireçtaşı olduğu Cankurtaran tünelineki balistik butonlu bit delgisine aittir.



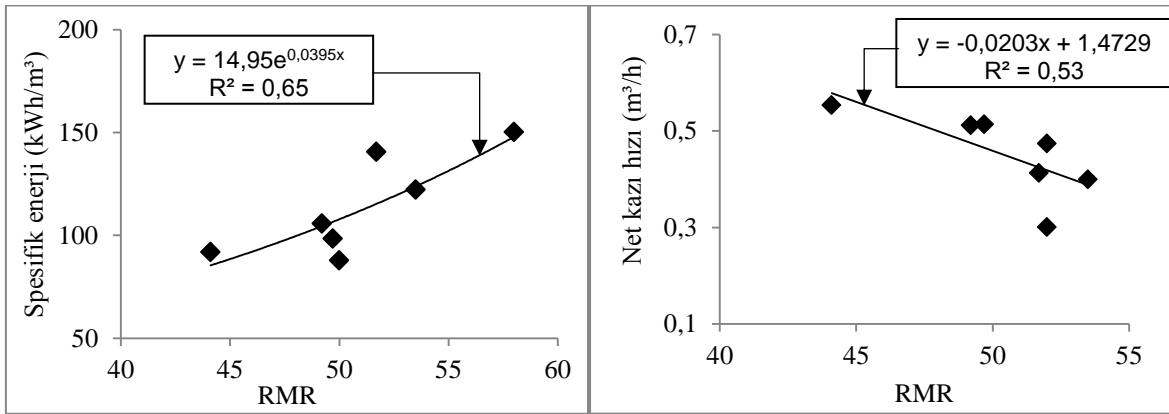
Şekil 4.37. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde kullanılan matkap ömürleri ve net delme hızı diyagramı

Thuro ve Spaun, (1996a), Thuro, (1971a- 1997b), Atlas Copco COP 1440, ve Atlas Copco COP 1238 delici makinaları üzerinde farklı kayalarda çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarından bit ömrünün artmasına bağlı olarak bit aşınma oranının arttığı benzer şekilde bit ömrünün artmasıyla delme hızının değiştiği görülmüştür. Ayrıca bit ömrünün artmasıyla kayalardaki delinebilirliğin kolaylaştığı çalışmalarından görülmüştür.

4.7. Kaya Sınıflama Sistemi

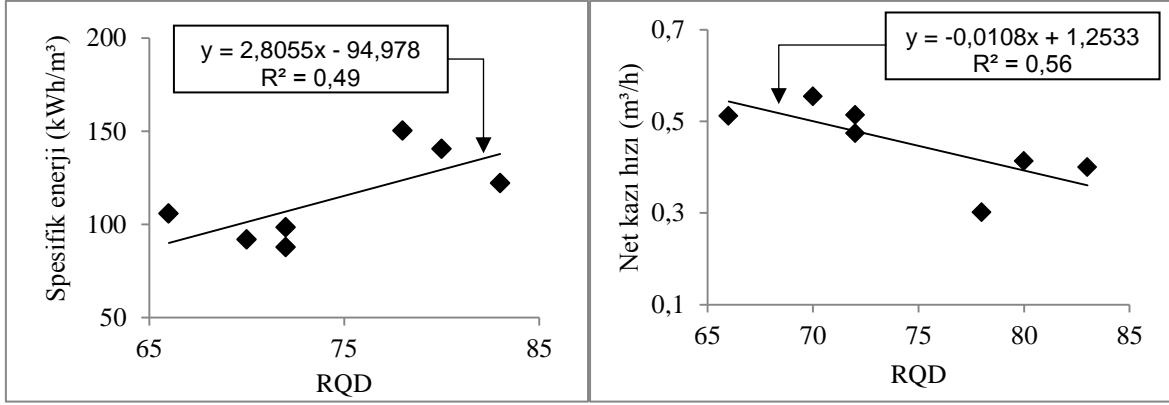
Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde, tünel hatları boyunca farklı kazı aynalarına ait kaya sınıflama sistemi hesaplanmış ve sonuçlar Bieniawski'ye (1989) kaya sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Cankurtaran tüneline ait hesaplanan kaya sınıflama değerleri 3. Bölümü'nde verilmiştir. Cankurtaran tünelinin RMR kaya sınıfına göre genelde "iyi kaya", "orta kaya" ve "zayıf kaya" olduğu Salmankaş tünelinin ise "orta kaya" sınıfında olduğu görülmüştür. RMR ve RQD değerleri ile spesifik enerji ve net kazı

arasındaki ilişkiler aşağıda gösterilmiştir. Spesifik enerji ve net kazı hızının RMR ilişkisi Şekil 4.38’de RQD ilişkisi Şekil 4.39’de gösterilmiştir. RMR ve RQD değerlerinin spesifik enerji ile arasında sırasıyla $R^2 = 0,65$ ve $R^2 = 0,49$ ilişkiler elde edilmiştir. RMR ve RQD değerlerinin net kazı hızı ile arasında sırasıyla $R^2 = 0,53$ ve $R^2 = 0,56$ ilişkiler elde edilmiştir. RMR ve RQD değerleri arttıkça spesifik enerji değerlerinin de arttığı net kazı hızı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bilgin vd., (1996) tarafından kollu galeri açma makinası üzerinden gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarından RQD değeri ile net kazı hızı arasında benzer ilişkiler elde edilmiştir. Ocak vd., (2007), Ocak ve Bilgin (2010) RQD değerinin artmasıyla net kazı hızı değerinin düştüğü ilişkisi çalışmalarından mevcuttur.



Şekil 4.38. Spesifik enerji ve net kazı hızının RMR ilişkisi

Bilgin vd., (2005) tarafından RQD değeri ≥ 80 olan kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, andezit ve diyabaz gibi kayalarda basınç dayanımı ile ilerleme hızı arasında ilişki olduğunu göstermişlerdir. Farklı çalışmalar tarafında yayınlanan sonuçlar ilerleme miktarı ve net kazı hızı ilişkisi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi doğrulamaktadır (Bilgin, 1996; Gehring 1997). Net kazı hızı ile RQD arasında anlamlı ilişkiler söz konusudur. Net kazı hızı ile RQD arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Ocak ve Akçakoca, 2005). Eskikaya vd.,1998 tarafında gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında RQD değerinin artmasıyla optimum spesifik enerji değerinin de arttığı göstermişlerdir.

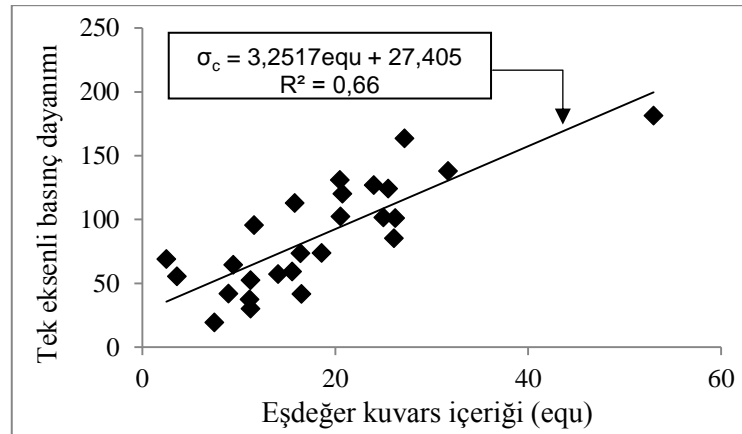


Şekil 4.39. Spesifik enerji ve net kazı hızının RQD ilişkisi

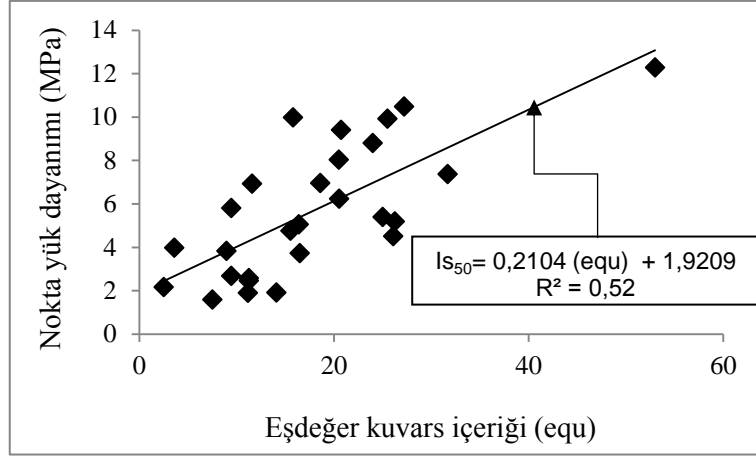
4.8. Kayaçların Petrografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden alınan kayaçlara ait petrografik analizleri yapılmış ve kayaçların içerisinde bulunan aşındırıcı mineraller oranlarından faydalanarak kayaçların eşdeğer kuvars içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen eşdeğer kuvars değerleri ile mekanik, delinebilirlik, aşındırıcılık ve matkap ömürleri ile ilişkileri incelenmiştir.

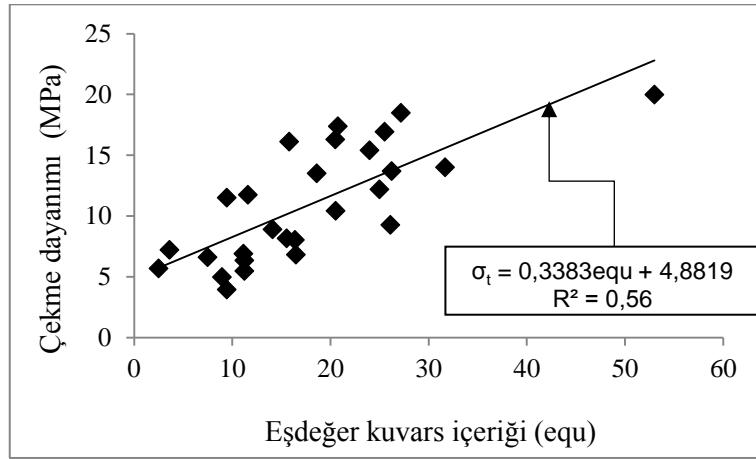
Eşdeğer kuvars içeriği ile Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarının tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi Şekil 4.40 ve Ek 5A'da verilmiştir. Kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile eşdeğer kuvars içeriği arasında $R^2 = 0,66$ gibi bir ilişki elde edilmiştir. Kayacın basınç dayanımı arttıkça Rosiwal aşındırıcılık katsayısı değerleriyle elde edilen eşdeğer kuvars indeksi değeri de artmaktadır. Diğer mekanik deneylerden nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanım ile eşdeğer kuvars içeriği arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir sırasıyla Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.40. Tek eksenli basınç dayanımı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi

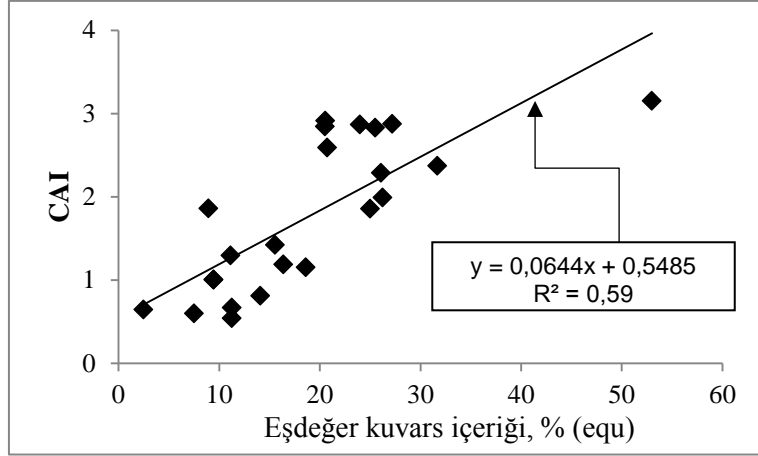


Şekil 4.41. Nokta yük dayanımı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi

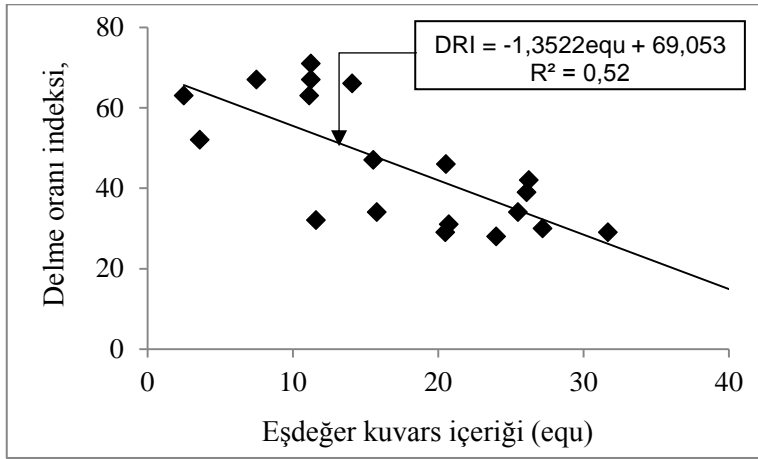


Şekil 4.42. Brazilian çekme dayanımı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi

Eşdeğer kuvars içeriği, Cerchar aşınma ve delme oranı indeksleri ile aralarında sırasıyla $R^2 = 0,59$ ve $R^2 = 0,52$ gibi ilişkiler elde edilmiş ve ilişki grafikleri Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'de gösterilmiştir. Kayacın eşdeğer kuvars içeriği arttıkça Cerchar aşındırıcılık indeksi değerinin de arttığı grafikte görülmektedir. Delme oranı indeksi ile azalan bir ilişki elde edilmiştir. Kayacın delinebilirliği ne kadar yüksekse eş değer kuvars içeriği değeri de o kadar düşük olduğu grafikten görülmektedir.



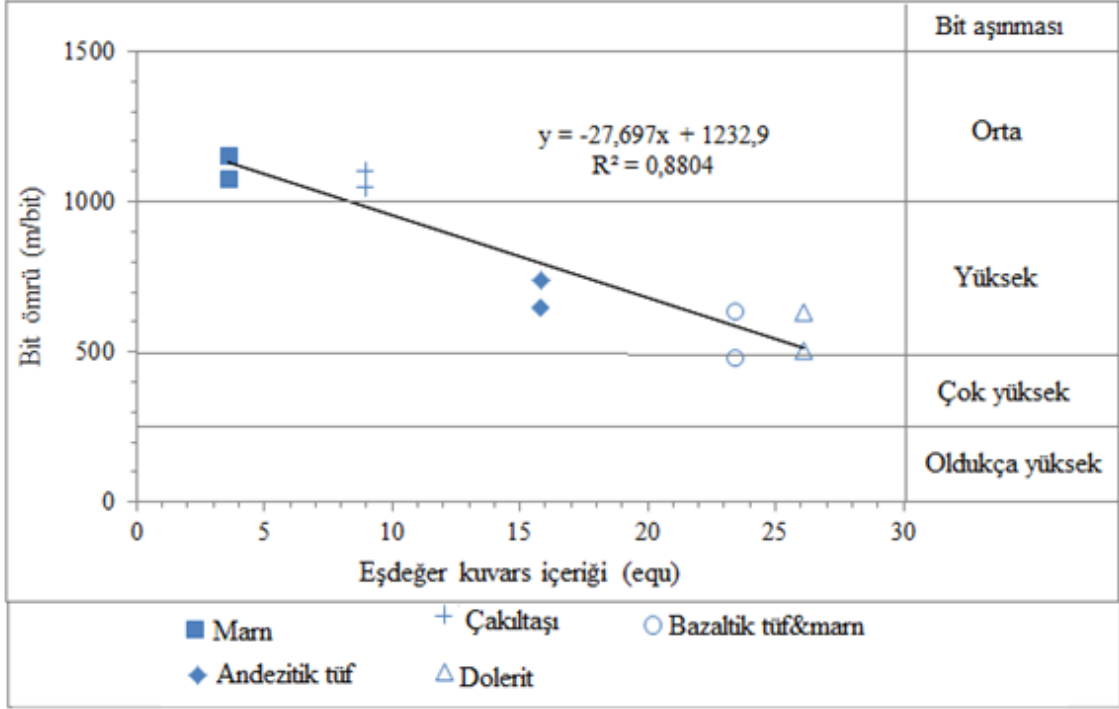
Şekil 4.43. Cerchar aşındırıcılık indeksi ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi



Şekil 4.44. Delme oranı indeksi ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi

Eşdeğer kuvars içeriğinin belirlenmesi bit üreticisi ve kullanıcısı açısından önemlidir. Çünkü kayacın özelliklerine göre makine ve bit seçimi yapılmaktadır. Salmankaş tüneli hattı boyunca karşılaşılan farklı birimler üzerinde toplanan bit ömürleri ile eşdeğer kuvars içeriği ile ilişkisi Şekil 4.45 ve Ek 5B'de gösterilmiştir. Bit ömrü ile eşdeğer kuvars içeriği arasında $R^2 = 0,88$ gibi güçlü azalan bir ilişki elde edilmiştir. Şekil 4.45'de görüldüğü gibi eşdeğer kuvars içeriğinin artmasıyla bit aşınma oranı artmakta ve bit ömrü azalmaktadır. Eş değer içeriğinin en düşük olduğu marn formasyonunda bit ömrü en fazla, bit aşınması ise orta derecedir. Bit ömrünün en düşük olduğu formasyon ise bazaltik tuf ile dolerit birimlerinin geçtiği tünel hattında elde edilmiştir. Bit aşınması kullanılan çelik ve çeliğin kalitesinden ziyade kazılan formasyondaki aşındırıcı mineral içeriğinin miktarından da kaynaklanmaktadır. Ayrıca kayaç da bulunan eşdeğer kuvars

oranının artmasıyla uç aşınımı artmaktadır. Keski aşınması çeliğin (Mohs sertliği 5.5) yapısından çok, kuvarz (Mohs sertliği 7) gibi aşındırıcı minerallerin içeriğinden daha çok etkilenir.

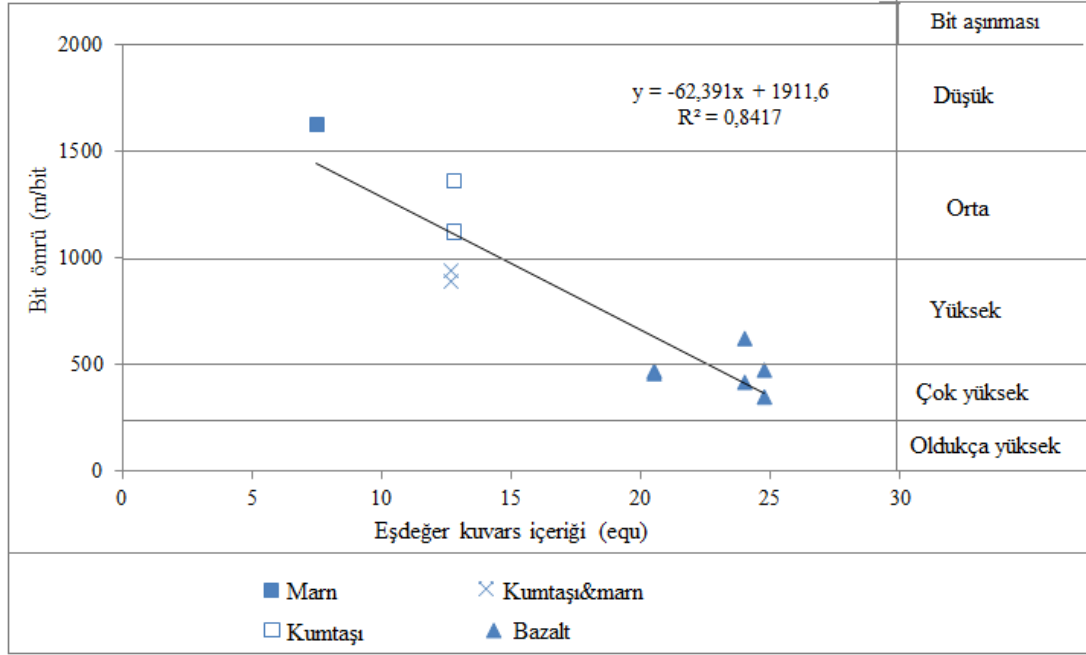


Şekil 4.45. Salmankaş tüneli kayaçlarının bit ömrü ve eşdeğer kuvarz içeriği ilişkisi

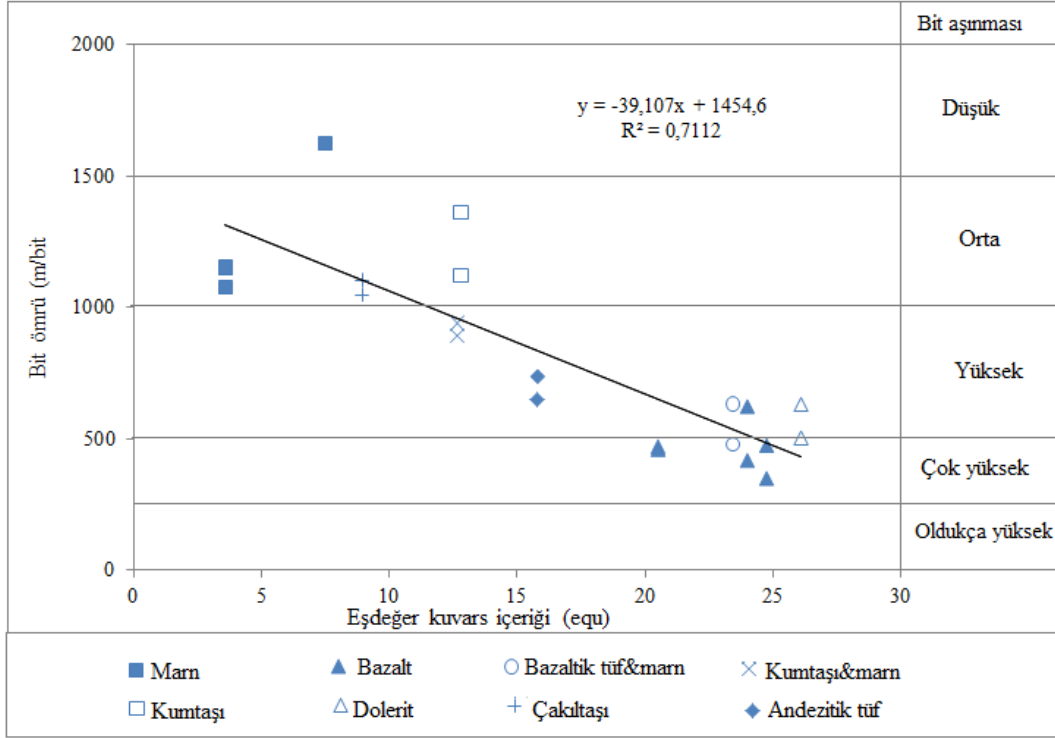
Cankurtaran tüneli kayaçları için bit ömürleri ve eşdeğer kuvarz içeriği arasındaki ilişki Şekil 4.46'de verilmiştir. Salmankaş tüneline olduğu gibi Cankurtaran tüneline de bit ömrünün en fazla ve bit aşınmasının düşük olduğu formasyon marn formasyonudur. Bu formasyonda delgi yapılan bit ile 1623 m delgi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bit ömrünün az olduğu ve bit aşınmasının yüksek ve çok yüksek olduğu birim ise tünel çıkış tüplerinden bazalt formasyonlarının olduğu birimden elde edilmiştir. Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarının bit ömrü ve eşdeğer kuvarz içeriği ilişkisi Şekil 4.47'de verilmiştir. Eşdeğer kuvarz içeriği ile bit ömür arasındaki ilişki Thuro ve Spaun (1996a), Thuro (1997a-1997b) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir.

Thuro ve Spaun, (1996a), Thuro, (1997a-1997b), Thuro ve Plinninger, (2003), farklı kayaçlar üzerinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarından eşdeğer kuvarz içeriği ile bit ömrü ve bit aşınma miktarı arasında güçlü ilişkiler olduğunu göstermişlerdir. Eşdeğer kuvarz içeriğinin artmasına bağlı olarak bit aşınma oranının arttığı bit ömrünün ise azaldığı

görülmüştür. Kireçtaşı, marn, konglomera ve fillit-mermer gibi kayalar üzerinde gerçekleştirilen çalışmada kayaların eşdeğer kuvars içeriği miktarından faydalanarak bit aşınma miktarı ve bit ömrü tahmini yapılabilmektedir. Genelde yüksek porozite değerine sahip bazı farklı kumtaşıları çeşitlerinde bit aşınma miktarı ve bit ömrü kayacın içerdiği silisli çimentolama derecesiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir.

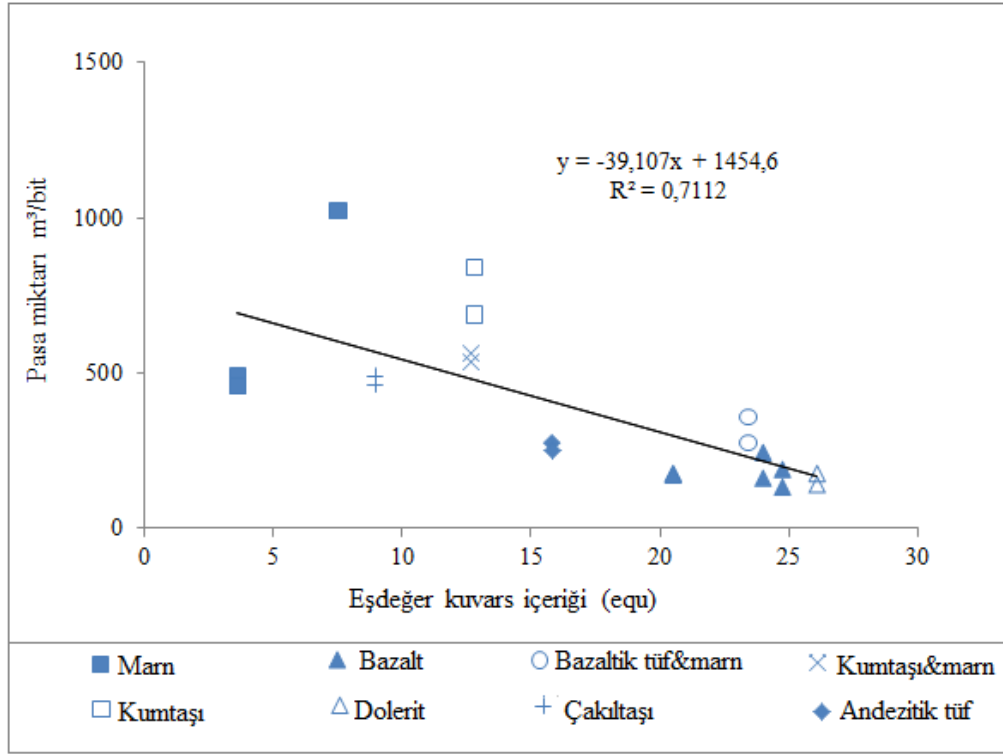


Şekil 4.46. Cankurtaran tünelleri kayalarının bit ömrü ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi



Şekil 4.47. Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarının bit ömrü ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi

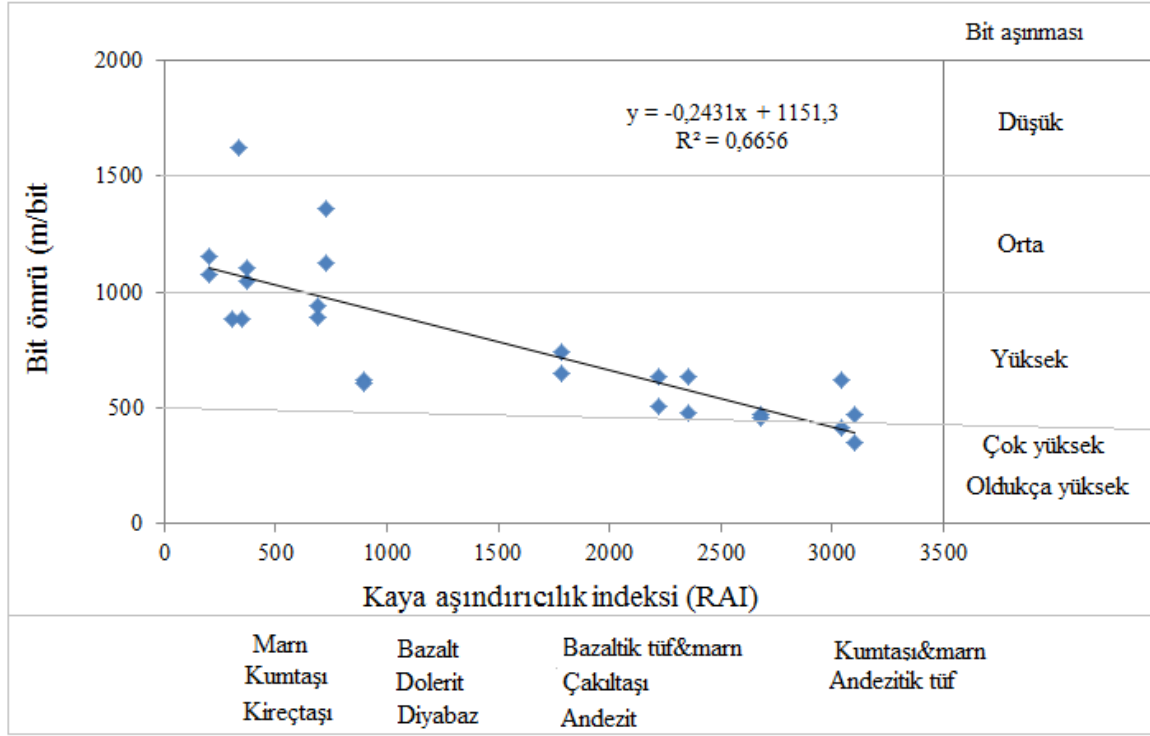
Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarının bit başına düşen pasa miktarı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi Şekil 4.48'de verilmiştir. Eşdeğer kuvars içeriği arttıkça bir bitle kazılan pasa miktarı da azalmaktadır.



Şekil 4.48. Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarının bit başına düşen pasa miktarı ve eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi

Kaya aşındırıcılık indeksi (Rock Abrasivity Index, RAI) bit aşınma indeksini tahmininde kullanılan yeni bir jeoteknik aşınma indeksidir. İndeks tek eksenli basınç dayanımı ile eşdeğer kuvars içeriğinin çarpımı sonucundan elde edilmiştir (Plinninger vd, 2002; Plinninger vd, 2003). Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinin kayaçlarına ait kaya aşındırıcılık indeksi (RAI) ile bit ömrü ilişkileri Şekil 4.49’da verilmiştir. Kaya aşındırıcılık indeksi, kayacın dayanım değeri ile içerdiği aşındırıcı mineral oranı değerlerinin birleşimi olduğundan bit ömrü ile arasında $R^2 = 0,66$ üzeri bir ilişki elde edilmiştir. Bit ömrü azaldıkça kaya aşındırıcılık indeksi değerleri ile bit aşınma oranı artmaktadır.

Thuro ve Plinninger , (2003), farklı sedimanter, metamorfik ve volkanik kayaçlar üzerinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında kaya aşındırıcılık indeksi ile bit ömrü arasında benzer ilişkiler elde etmişlerdir. RAI değerinin artmasıyla kayacın aşındırıcılık özelliğinin ve bit’in aşınma miktarının arttığı çalışmalarında göstermişlerdir. Plinninger, vd., (2002), kayanın mekanik özelliği ve içerdiği mineral miktarının belirlenmesiyle bit aşınım oranı belirlenebilmektedir.



Şekil 4.49. Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri kayaçlarına ait kaya aşındırıcılık indeksi ile bit ömrü ilişkisi

Keski tüketimi, tek eksenli basınç dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık değerine bağlı olarak değişmektedir. CAI değerinin artması keski tüketimi üzerinde daha etkilidir. Çünkü basınç dayanımı aynı olan kayaçların CAI değerinin artmasıyla keski tüketimi birkaç kat artmaktadır (Plinninger ve Thuro 2004, Restner ve Pichler 2007).

Uç ömrünü etkileyen faktörler uçların yapıldığı malzemeden kazılan kayacın özelliklerine kadar pek çok parametreyi kapsamaktadır. Kazıcı uçların aşınması sonucunda makinanın kazı performansı düşer, kesme kuvvetlerinde birkaç misli artış olur. Kazı için ihtiyaç duyulan makine gücü de o oranda artar. Uçların kayaya girmeleri zorlaştığından kesme derinliği düşer, makinada vibrasyonları artar ve en sonunda kurulu güç kazı yapmaya yetersiz hale gelebilir (Altınoluk, 1989).

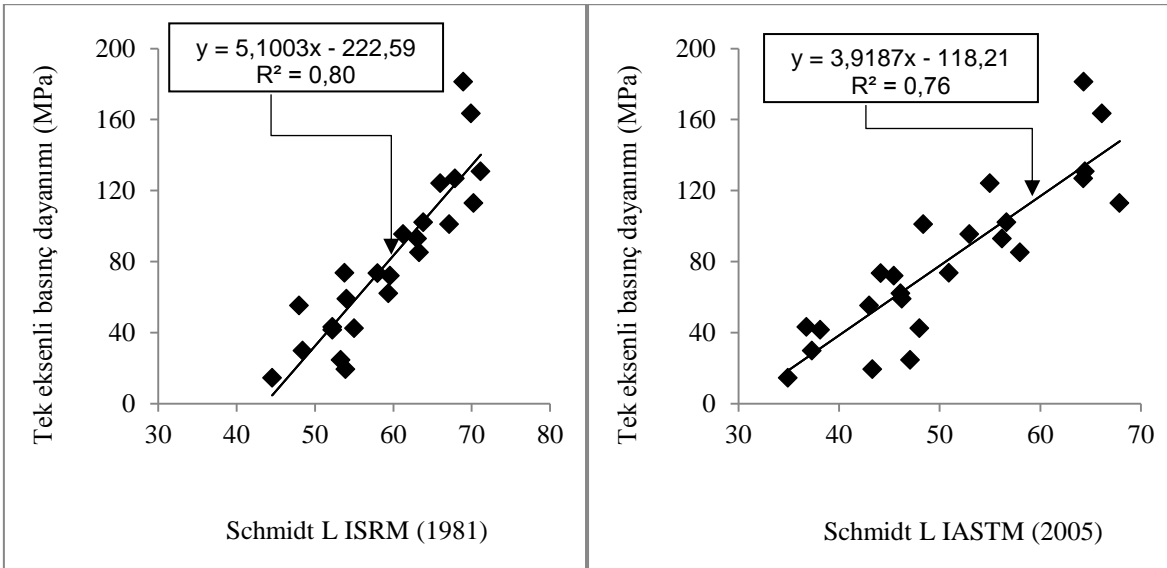
4.9. Schmidt Çekici Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kayaçların yerindeki sertliklerini belirlemek amacıyla Cankurtaran ve Salmankaş tünellerin kazı aynalarında N ve L tipi Schmidt çekiciyle ölçümler yapılmıştır. Alınan ölçümler ISRM (1981) ve ASTM (2005) yöntemlerine göre değerlendirilmiştir.

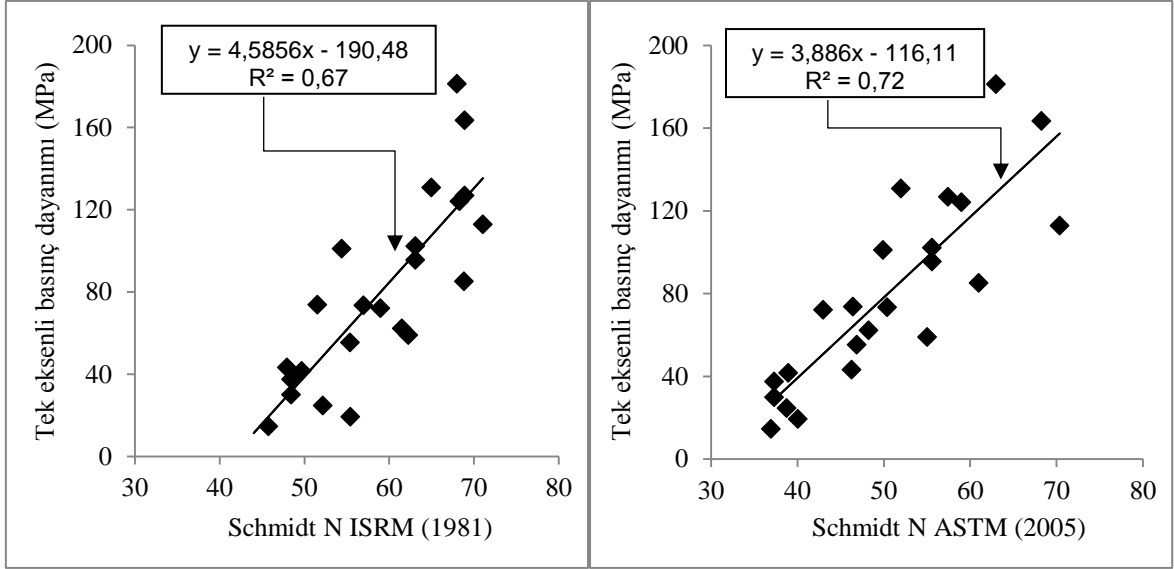
Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerin de yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak irdelenmiş ve en iyi sonuçlar sırasıyla, tek eksenli basınç dayanımı, mikro deval aşınma kaybı, delme oranı indeksi (DRI), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ve net kazı hızı ilişkilerinden elde edilmiştir. Elde edilen ilişkiler aşağıda verilmiştir.

ISRM (1981) ve ASTM (2005) yöntemleri ile hesaplanan L ve N tipi Schmidt çekiçleri ölçümleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasında en iyi regresyon ilişkisi $R^2=0,80$ L tipi Schmidt çekici ile ISRM (1981) yöntemiyle elde edilmiş ve Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de gösterilmiştir.

Kahraman ve Kesimal (2014), tarafında metamorfik, sedimanter ve volkanik kayalar üzerinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında L tipi Schmidt çekici ile tek eksenli basınç dayanımı arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır. L tipi Schmidt çekici ile tek eksenli basınç dayanımı arasında benzer çalışmalar Shalabi vd., (2007), Aydın ve Basu (2005), Yaşar ve Erdoğan, (2004) ve Singh vd., (1983) tarafında gerçekleştirmiştir. N tipi Schmidt çekici ile tek eksenli basınç dayanımı arasında Kılıç ve Teymen (2008), Fener vd., (2005) ve Katz vd., (2000) tarafında kireçtaşı, kumtaşı, granit, mermer ve talk gibi pek çok farklı kayaç üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiş ve N tipi Schmidt çekici ile tek eksenli basınç dayanımı arasında güçlü ilişkiler elde edilmiştir.

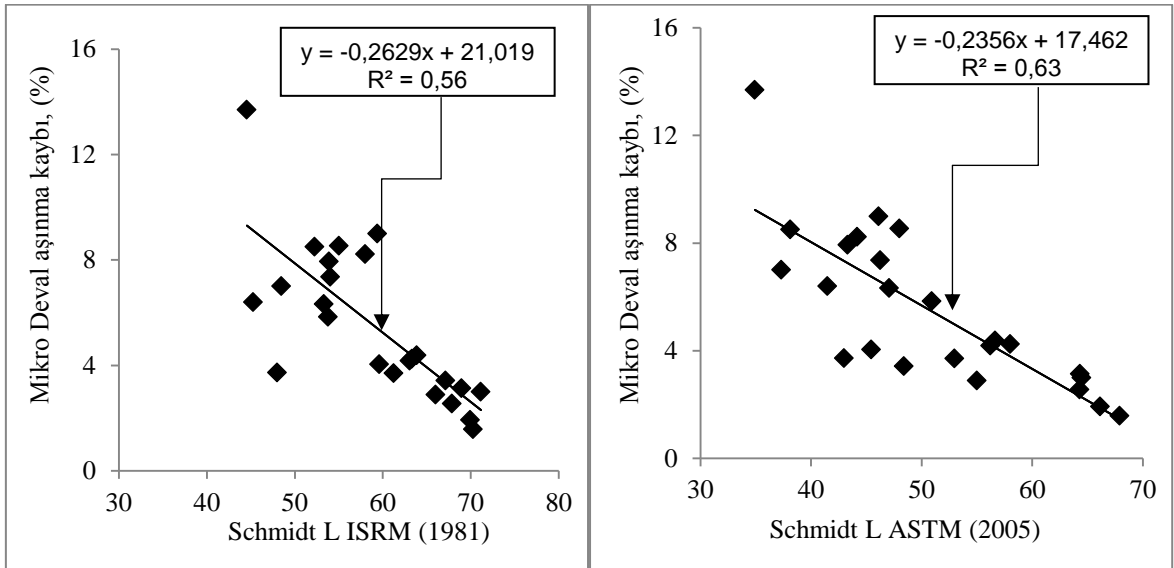


Şekil 4.50. Tek eksenli basınç dayanımı ile Schmidt Çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi

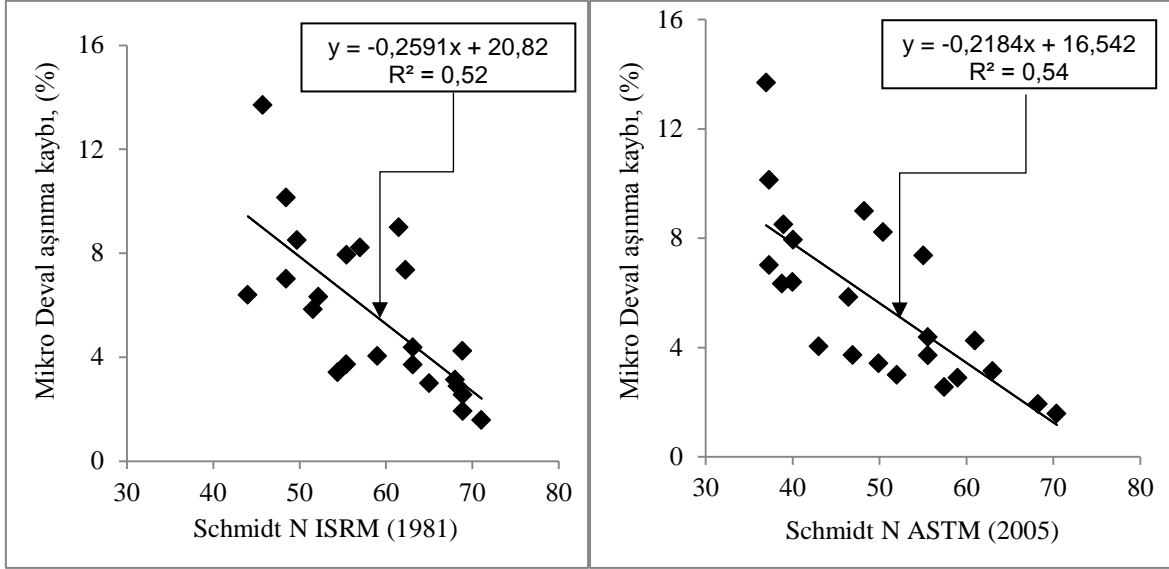


Şekil 4.51. Tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt Çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi

Schmidt çekiçleri ile mikro deval aşınma kaybı arasına gerçekleştirilen en iyi ilişki $R^2 = 0,63$ ASTM (2005) yöntemi ve L tipi Schmidt çekici ile elde edilmiştir. Aşınma kaybı yüksek olan kayalarda dayanımın düştüğü Şekil 4.52 ve Şekil 4.53’de verilmiştir.

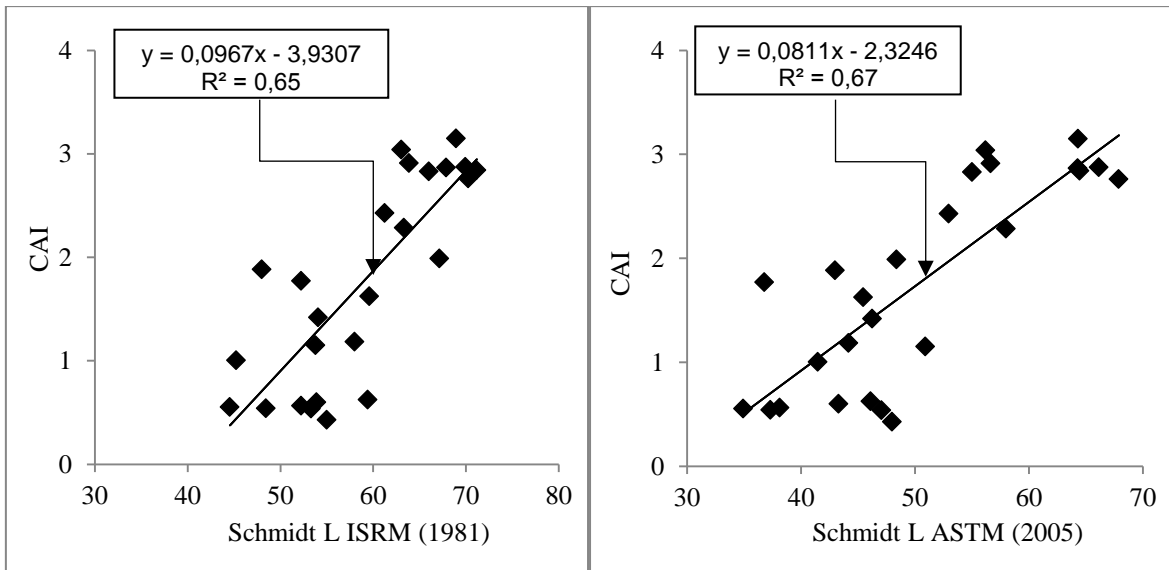


Şekil 4.52. Mikro Deval Aşınma kaybı ve Schmidt Çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi

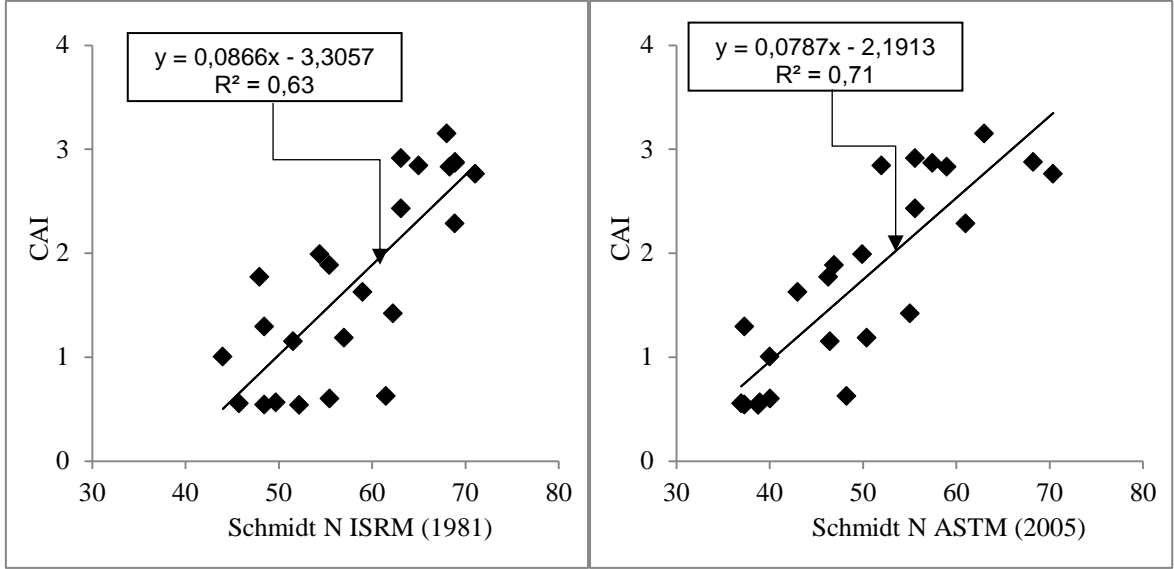


Şekil 4.53. Mikro Deval Aşınma kaybı ve Schmidt Çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi

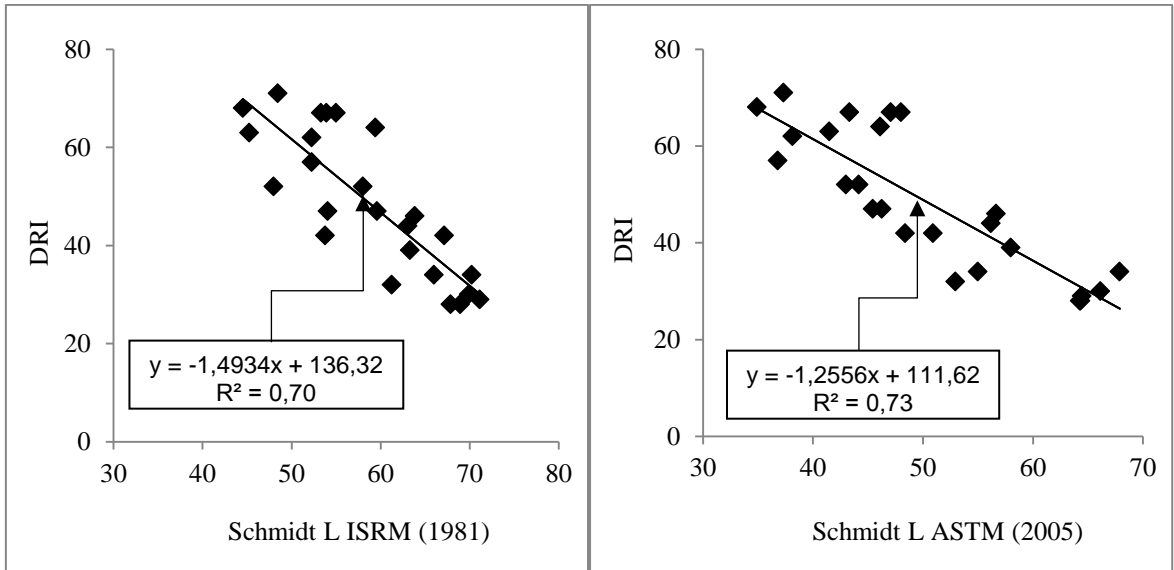
L ve N tipi Schmidt çekişleri ile Cerchar aşındırıcılık indeksi ve delme oranı indeksi arasında regresyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. CAI ile Schmidt çekişleri arasındaki en iyi ilişki N tipi Schmidt çekici ve ASTM (2005) yöntemi ile $R^2 = 0,71$ lineer artan bir ilişki elde edilmiş Şekil 4.54 ve Şekil 4.55’de gösterilmiştir. DRI ile L ve N tipi Schmidt çekişleri ile ASTM (2005) ile $R^2 = 0,73$ azalan lineer ilişkiler elde edilmiş Şekil 4.56 ve Şekil 4.57’de gösterilmiştir.



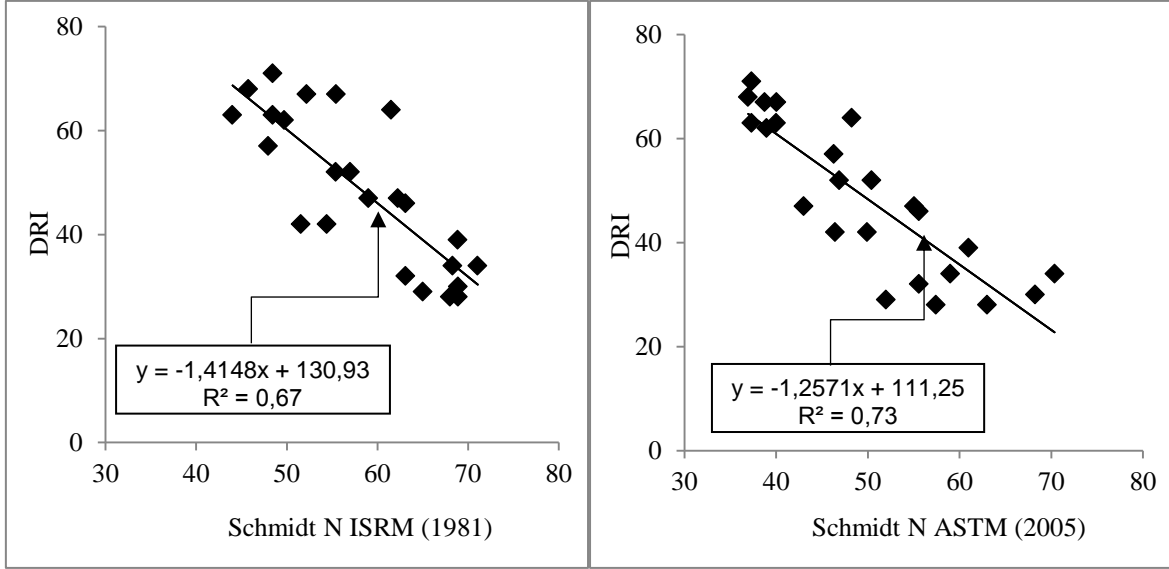
Şekil 4.54. Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ve Schmidt Çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi



Şekil 4.55. Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ve Schmidt Çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi



Şekil 4.56. Delme oranı indeksi (DRI) ve Schmidt Çekici L tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi



Şekil 4.57. Delme oranı indeksi (DRI) ve Schmidt Çekici N tipi ISRM (1981) ve ASTM (2005) ilişkisi

4.10. Korelasyon Katsayısı Testinin Değerlendirmesi

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden laboratuvar ve arazide gerçekleşen çalışma sonucundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını incelemek için SPSS 20 programı kullanılmıştır. SPSS 20 programı yardımıyla (r) korelasyon katsayıları hesaplanmış ve korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadığı belirlenmiştir.

Korelasyon katsayısı, %95 güven aralığı ($\alpha=0,05$) seçilerek hipotezler kurulmuş ve test sonucundan elde edilen korelasyon katsayıları (r) ve değerlendirme değerleri aşağıdaki Tablo 4.58- Tablo 4.60'da verilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayılarının (r) anlamlı olup olmadığını belirlemek için t değerlerinin t_{tablo} , (r) değerlerinin r_{tablo} ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan bütün testlerde kurulan hipotezlere göre hesaplanan t - değeri (t_{hesap}) tabloda yer alan t değerinden daha büyük ($t_{\text{hesap}} > t_{\text{tablo}}$) olduğu için sıfır hipotezi (H_0) reddedilmiş ve alternatif hipotez (H_1) kabul edilmiştir.

Ayrıca, hesaplanan r_{hesap} değeri (r_{hesap}), tablodaki r_{tablo} değerinden daha büyük $|r_{\text{hesap}}| > r_{\text{tablo}}$, oldu için (H_0) reddedilmiş ve alternatif hipotez (H_1) kabul edilmiştir. Yani her iki değişken arasında anlamlı bir ilişki vardır. Sonuç olarak tüm eşitliklerin korelasyon katsayılarının anlamlı olduğunu görülmüştür.

Tablo 4. 58. DRI ve CAI ve Mikro Deval sonuçlarının korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Bağımlı	Bağımsız	Korelasyon katsayısı (r)	n	r _{tablo}	t _{hesap}	t _{tablo}
DRI	TEBD	-0,91	43	±0,301	-14,05	±2,02
	Nokta yük. Day.	-0,92	43	±0,301	-15,30	±2,02
	Brazilian çekme day.	-0,87	43	±0,301	-11,30	±2,02
	Kırılgenlik deneyi	0,92	43	±0,301	14,87	±2,02
	Mikro Deval	0,74	43	±0,301	7,05	±2,02
	Sievers minyatür	0,83	43	±0,301	9,53	±2,02
	CAI	-0,91	43	±0,301	-14,05	±2,02
	Keski sarfiyatı	-0,92	43	±0,301	-15,30	±2,02
	Porozite	0,85	43	±0,301	10,33	±2,02
	Boşluk oranı	0,83	43	±0,301	9,53	±2,02
CAI	TEBD	0,87	43	±0,301	11,30	±2,02
	Nokta yük.day.	0,82	43	±0,301	9,17	±2,02
	Brazilian çekme day.	0,82	43	±0,301	9,17	±2,02
	Kırılgenlik deneyi	-0,76	43	±0,301	-7,49	±2,02
	Mikro Deval	-0,70	43	±0,301	-6,28	±2,02
	Sievers minyatür	-0,76	43	±0,301	-7,49	±2,02
	Porozite	-0,68	43	±0,301	-5,84	±2,02
	Boşluk oranı	-0,66	43	±0,301	-5,63	±2,02
Mikro Deval	TEBD	-0,70	43	±0,301	-6,28	±2,02
	Nokta yük. day.	-0,73	43	±0,301	-6,84	±2,02
	Brazilian çekme day.	-0,73	43	±0,301	-6,84	±2,02
	Kırılgenlik deneyi	0,67	43	±0,301	5,78	±2,02
	Sievers minyatür	0,62	43	±0,301	5,06	±2,02
	Porozite	0,76	43	±0,301	7,48	±2,02
	Boşluk oranı	0,76	43	±0,301	7,48	±2,02
	Keski sarfiyatı	-0,72	43	±0,301	-6,64	±2,02

Tablo 4. 59. Bit ömrü ve eş değer kuvars içeriğinin korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Bağımlı	Bağımsız	Korelasyon katsayısı (r)	n	r _{tablo}	t _{hesap}	t _{tablo}
Bit Ömrü	TEBD	-0,80	24	±0,406	-6,25	±2,07
	Nokta yük day.	-0,73	24	±0,406	-5,01	±2,07
	Brazilian çek. Day.	-0,75	24	±0,406	-5,32	±2,07
	Kırılmalık deneyi	0,69	24	±0,406	4,47	±2,07
	Mikro Deval	0,66	24	±0,406	4,12	±2,07
	Sievers Minyatür	0,82	22	±0,425	6,41	±2,09
	DRI	0,74	24	±0,406	5,16	±2,07
	CAI	-0,68	24	±0,406	-4,35	±2,07
Eş değer kuvars indeksi	TEBD	0,81	27	±0,382	6,91	±2,06
	Nokta yük	0,72	27	±0,382	5,19	±2,06
	Brazilian	0,75	27	±0,382	5,67	±2,06
	CAI	0,77	23	±0,415	5,53	±2,08
	DRI	-0,46	27	±0,382	-2,59	±2,06
	Mikro	-0,40	27	±0,382	-2,18	±2,06
	Sievers Minyatür	-0,53	27	±0,382	-3,13	±2,06
	Kırılmalık deneyi	-0,63	27	±0,382	-4,06	±2,06
RAI	0,95	27	±0,382	-15,21	±2,06	

Tablo 4. 60. L ve N tipi Schmidt çekiçlerinin korelasyon katsayılarının değerlendirilmesi

Bağımsız	Bağımlı	Korelasyon katsayısı (r)	n	r _{tablo}	t _{hesap}	t _{tablo}
TEBD	ISRM (1981) L	0,90	24	±0,406	9,68	±2,07
	ASTM(2005) L	0,87	24	±0,406	8,28	±2,07
	ISMR(1981)N	0,82	23	±0,415	6,26	±2,08
	ASTM (2005) N	0,85	23	±0,415	7,39	±2,08
Mikro Deval	ISRM (1981) L	-0,75	24	±0,406	-5,32	±2,07
	ASTM (2005) L	-0,79	24	±0,406	-6,04	±2,07
	ISMR(1981) N	-0,71	23	±0,415	-4,62	±2,08
	ASTM (2005)N	-0,74	23	±0,415	-5,04	±2,08
DRI	ISRM (1981) L	-0,84	25	±0,396	-7,42	±2,07
	ASTM (2005) L	-0,85	25	±0,396	-7,74	±2,07
	ISMR (1981) N	-0,82	24	±0,406	-6,72	±2,07
	ASTM (2005) N	-0,86	24	±0,406	-7,90	±2,07
CAI	ISRM (1981) L	0,81	25	±0,396	7,37	±2,07
	ASTM (2005) L	0,82	25	±0,396	6,87	±2,07
	ISMR (1981) N	0,79	24	±0,406	6,04	±2,07
	ASTM (2005) N	0,85	24	±0,406	7,57	±2,07

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doktora tez çalışması Cankurtaran ve Salmankaş Karayolu Tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Cankurtaran Tüneli Hopa-Borçka (Artvin) arasında çift tüp olarak inşa edilmektedir. Yapımı tamamlamasıyla birlikte 5.288 m uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun tüneli olma özelliğini taşıyacaktır. Salmankaş Tüneli ise, Trabzon Araklı ilçesinde Dağbaşı- Uğrak yolu üzerinde Araklı ile Bayburt arasında inşa edilen tünel 4.030 m uzunluğunda çift tüp olarak kazısı devam eden bir karayolu tünelidir.

Arazi ve laboratuvar çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleşen çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Arazi çalışmalarında L ve N tipi Schmidt çekici ile kazı aynalarında ölçümler alınmıştır. Cankurtaran tüneline L tipi Schmidt çekici ile 21 aynada 618 ve N tipi ile 21 aynada 585 ölçüm alınmıştır. Salmankaş tüneline ise 7 kazı aynasında Schmidt çekici L tipi ile 192 ölçüm, N tipi ile 109 ölçüm alınmıştır.
- Tünel hatları boyunca kaya kütle sınıflaması için Cankurtaran tüneline 32, Salmankaş tüneline ise 11 kazı aynasında RMR kaya kütle kaliteleri hesaplanmış sonuçlar değerlendirilmiştir.
- Delgi işleminde kullanılan Jumbo delici makinalar üzerinde ilk defa spesifik enerji (kWh/m^3), net kazı hızı (m^3/h) ve net delme hızı (m/dak) ölçümleri alınmıştır. Ölçümler Cankurtaran tüneline 8, Salmankaş tüneline ise 5 adet olmak üzere toplam 13 farklı kazı aynasında spesifik enerji hesaplanması gerçekleştirilmiştir.
- Bit ömrü takibi için Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde delgi işlemini gerçekleştirmek için kullanılan Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA 6 Jumbo makinalarında ölçümler alınmıştır. Delme işleminde 7 farklı markadan oluşan 25 balistik, 2 yarı balistik ve 6 kübik bit takibi yapılmıştır. Bu bitlerden Salmankaş tüneline 12, Cankurtaran tüneline 21 bit olmak üzere toplam 33 bit kullanılmıştır.
- Bit ömrü hesaplamasında tünellerdeki 84 farklı ayna kazısında ön hazırlık işlemleri hariç toplam 229 saat (yaklaşık 9,5 gün) boyunca ölçüm alınmıştır. Delgi süresince arıza ve istenmeyen diğer beklemeler olarak toplam 23 saat ölçüm

alınmıştır Ölçüm yapılan bitlerle toplam 22.630 m ayna delgisi gerçekleştirilmiş ve bu aynalarda toplam 13.002 m³ pasa malzemesi çıkarılmıştır.

- Farklı kaliteleredeki bit ömrü takibinde göz önünde bulundurulan en önemli parametre, bütün çalışma şartlarının eşit olmasına özen gösterilmesidir. Bir başka deyişle, delgi yapılan kayaç formasyonu, kullanılan makine ve makineyi kullanan operatörün aynı olmasıdır. Eşit şartlar altında kullanılan farklı kaliteleredeki bit ömürlerinin farklı olduğu görülmüştür.
- Cankurtaran giriş tüplerinde kireçtaşı, kumtaşı ve marn birimlerinden iki farklı kalitedeki bit ömrü karşılaştırılması yapılmıştır. En fazla delgi işlemi 3 ve 4 nolu balistik bitlerden elde edilmiştir. Bu bitlerle sırasıyla 1361 m ve 1123 m delgi işlemi gerçekleştirilmiştir. Delgi işlemi sonunda 3 nolu bit üzerinde bir buton kopmuş, 4 nolu bit üzerinde üç buton kopmuştur.
- Cankurtaran çıkış tüplerinde en fazla delgi işlemi 5, 6 ve 7 nolu balistik bitlerden kireçtaşı ve marn formasyonlarından elde edilmiştir. Bu bitler ile sırasıyla 886 m (5 nolu) ve 1624 m (6 nolu) delgi işlemi gerçekleştirmişlerdir. Delgi işlemi sonrasında 5 nolu bit üzerinde 5 buton kopmuştur. Daha sonra aynı kızağa 7 nolu kübik bit takılmıştır. 7 nolu bit ile 883m delgi yapılmıştır. Delgi sonrası bit üzerinde normal aşınma görülmüştür. 6 nolu bit ise delgi işlemi sonucunda bit üzerinde 1 buton kopmuştur.
- Bit ömürlerindeki bu farklılığın kayaç formasyonunun özelliğinden çok delmede kullanılan bitlerin tipi, dizaynı, markası, yapıldığı malzemenin kalitesi, kobalt bağlayıcı ve tungsten karbür ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Butonların ve gövdenin yapıldığı çelik kalitesinin düşük olması bit'in erken aşınmasına sebep olmaktadır. Ayrıca kusurlu bir gömme veya eksik bağlayıcıdan dolayı butonlar daha kolay kopabilmekte ve düşebilmektedir.
- Dayanımı ve sertliği yüksek olan andezit ve bazalt gibi kayaçlarda bit aşınması yüksek olmaktadır ve bit ömürleri de kısalmaktadır. Ancak marn gibi yumuşak formasyonlarda bit ömürleri oldukça yüksektir. Ayrıca matkap aşınmasını ve matkap ömrünü etkileyen en önemli parametre, kayaçtaki kuvars ve diğer aşındırıcı minerallerin miktarı, kuvarsin ortalama tane boyutu, kayacın çimentolanma derecesi ve çimento türüdür.
- Delme işleminde bit tipleri üzerinde farklı aşınma şekilleri gözlenmiştir. Aşınma şekilleri içinde arzu edilen genel aşınma şekli normal aşınma tipidir. Çünkü

normal aşınmada bit üzerinde hiçbir buton kopmadan, kırılmadan gövde ile birlikte zamanla aşınır. Bu aşınma tipi, yüksek dayanımlı ve aşındırıcı özelliğine sahip kayalarda görülen bir aşınma tipidir.

- Butonların gövdeye hatalı bir şekilde gömülmesi veya eksik bağlayıcı kullanılması butonların kopmasına ve düşmesine sebep olmaktadır. Eğer bir buton kırılmaya başlarsa bu diğer butonları da etkileyebilir. Çünkü kırılan sert buton delikten çok zor dışarı çıkarılmaktadır ve diğer butonlar üzerinde çok yüksek dinamik darbe kuvvetlerine neden olabilmektedir. Bu aşınma tipine örnek olarak Tablo 3.7'da verilen bit aşınma sınıflandırılmasında (A3) ve (A7) tip aşınma çeşidi verilebilir.
- Literatürde, görülen bit aşınma tiplerine iki farklı aşınma tipi daha eklenmiştir. Bunlar; birincisi (C2) aşınma tipi, bitin matkaptan kırılması, bu durum yanlış kullanımın sonucu meydana gelen aşınma tipi, ikincisi (C3) aşınma tipi, gövdenin ortadan yarılması bu durum çoğunlukla üretim hatası ya da malzemenin kusurundan dolayı meydana gelen aşınma tipidir.

Delici Jumbo makinası üzerinde ilk defa pensampermetre ile akım zaman değişimleri incelenmiş spesifik enerji ve net kazı hızları değerleri hesaplanmış aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Kazı formasyonlarında delme esnasında akım zaman değişimlerinde ani piklerin olduğu görülmüştür. Bu durum delme sırasında Jumbo makinasına verilen darbe ve baskı oranlarının sürekli değiştirmesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca delgi yapılan formasyonun içerdiği süreksizlik ve çatlak sayısının fazla olmasından da kaynaklı bir sorun olabileceği düşünülmektedir.
- Jumbo makinalarına ait spesifik enerji ve net kazı hızı için en yüksek ve en düşük değerler belirlenmiştir. Salmankaş tünelineki DD320 Jumbo makinasının (B7) kodundaki spesifik enerji ve net kazı hızı sırasıyla 141,9 kWh/m³ ve 0,41 m³/h olarak en yüksek değerler olarak elde edilmiştir. En düşük değerler ise (B10) kodundaki yapılan ölçümde sırasıyla 87 kWh/m³ ve 0,47 m³/h olarak tespit edilmiştir.
- Cankurtaran tünelineki Sandvik DD320 tipi Jumbo makinasıyla (CR11) kodundaki yapılan ölçümde spesifik enerji ve net kazı hızı değerleri sırasıyla 91,8 kWh/m³ ve 0,55 m³/h ile en düşük değerler olarak elde edilmiştir. En yüksek

değerler ise (CR10) kodundaki yapılan ölçümde spesifik enerji ve net kazı hızı değerleri sırasıyla 184 kWh/m³ ve 0,25m³/h olduğu görülmüştür.

- Cankurtaran tüneli Sandvik DD320 Jumbo makinasına ait spesifik enerji değerleri ve net kazı hızı arasındaki ilişki incelenmiştir. Spesifik enerji ile net kazı hızı arasından $R^2 = 0,97$ ters yönlü logaritmik bir ilişki elde edilmiştir.
- Salmankaş Tüneli Sandvik DD320 Jumbo makinasından elde edilen spesifik enerji ile net kazı hızı arasında $R^2 = 0,69$ gibi bir ilişki elde edilmiştir.
- Cankurtaran ve Salmankaş tünelleri için delici Jumbo makinasına ait tüm spesifik enerji ve net kazı hızı değerleri arasında $R^2 = 0,88$ gibi güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Kayaç delgisi için harcanan spesifik enerji miktarı azaldıkça net kazı hızı miktarının arttığı görülmektedir.
- Makinaların çalışma performanslarında operatör tecrübesinin etkisini belirlemek için tünellerde eşit jeolojik şartlarda ve aynı delici Jumbo makinasıyla delgi işlemi gerçekleştirilmiştir. Kazı işlemlerinde operatörlerin toplam çalışma süresileri, aktif delme süreleri, yapılan iş miktarlarının, kazılan malzeme miktarları için harcanan spesifik enerji miktarlarının birbirinden farklı olduğu görülmüş ve operatörün makine performansı üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmıştır.

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde, kazı hatları boyunca farklı kazı aynalarına ait RMR kaya kütle sınıflama sistemleri ve süreksizliklerin özellikleri incelenmiş aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Cankurtaran sağ tüp tüneline kazı aynalarına ait temel RMR değerleri 65,2-39,8 arasında değişmekte olup RMR_{89} kaya sınıfına göre “iyi kaya” ve “zayıf kaya” sınıfında olduğu görülmüştür.
- Cankurtaran sol tüp tüneline kazı aynalarına ait temel RMR değerleri 67,1-45 arasında değişmekte olup RMR_{89} kaya sınıfına göre “iyi kaya” ve “orta kaya” sınıfı arasındadır.
- Salmankaş tüneli kazı aynalarına ait temel RMR değerleri 58,4-49,2 arasında değişmekte olup RMR_{89} kaya sınıfına göre “orta kaya” sınıfında yer almaktadır.
- Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait süreksizliklerin genelde 0,1-1 ile 1-5 mm kalınlığında kil ve sert kalsit dolgulu olduğu gözlenmiştir.
- Tünellerin kazı aynalarından alınan süreksizlik devamlılık ölçümlerinde süreksizliklerin 1-3, 3-10 ve 10-20 m arasında değiştiği ve ISRM (1981)

tanımlama ölçütlerine göre sırasıyla “düşük devamlılık”, “orta derece devamlılık” ve “yüksek devamlılık” türünde olduğu gözlenmiştir

- Cankurtaran tüneli Cihala Çayı'nın tünel güzergâhını kestiği hat haricinde tünel genelinde bir su sorunun yaşanmadığı gözlenmiştir. Salmankaş tüneline de portal kısımlar hariç tünel hattı boyunca su sorunun olmadığı görülmüştür.

Laboratuvar çalışmalarını gerçekleştirmek için Cankurtaran sağ tüpünde 17, sol tüpünde 16 ve Salmankaş tüneline 10 olmak üzere toplam 43 farklı kazı aynasında blok kayaç numunesi alınmıştır. Tünellerden alınan kayaç numuneleri üzerinde delinebilirlik, aşındırıcılık, fiziko- mekanik ve petrografik özellikleri incelenmiştir. Kayaçlara ait petrografik analizlerden eşdeğer kuvars içerikleri ve kaya aşındırıcılık indeksi (RAI) belirlenmiştir. Arazi çalışmalarında ise spesifik enerji değerleri, net kazı hızı, bit ömürleri, RMR, RQD ve Schmidt çekici ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca kayaçların delinebilirlik sınıflandırması için bit ömrü, net delme hızı, bit aşınma derecesi ve delinebilirlik oranı gibi parametreler temel alınmıştır. Laboratuvar ve arazi çalışmalarında elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Delme oranı indeksi (DRI) ile kayacın mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı arasındaki ilişkileri incelenmiş, sırasıyla $R^2 = 0,85$, $R^2 = 0,85$ ve $R^2 = 0,77$ ters orantılı lineer ilişkiler elde edilmiştir. Dayanım değerleri yüksek olan kayaçların delmeye karşı gösterdikleri direncin de yüksek olduğu görülmüştür. Bir başka değişle kayaçların dayanımları arttıkça DRI değerlerinin azaldığı ve delinebilirlik özelliği ile mekanik özellikleri arasında ters yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir.
- DRI değerleri ile kayaçların fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiş, görünür porozite ve boşluk oranı haricinde diğer fiziksel özelliklerden birim hacim ağırlık (doğal, kuru, doygun), ve su emme (hacimce ve ağırlıkça) oranı değerleri arasında gerçekleştirilen ilişki modelleri iyi sonuçlar vermemiştir. Porozite ve boşluk oranı ile sırasıyla $R^2 = 0,72$ ve $R^2 = 0,69$ üzeri pozitif katsayılı lineer ilişki elde edilmiştir. Porozite ve boşluk oranı değerlerinin yüksek olması kayacın DRI değeri artmaktadır.
- DRI değerlerinin kayaçların aşındırıcılık özelliklerinden olan Mikro Deval aşınma kaybı ile Cerchar aşındırıcılık indeksi değerlerinin arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Mikro Deval ile DRI parametreler arasında $R^2 = 0,62$ pozitif logaritmik ilişki elde

edilmiştir. CAI ile DRI arasında $R^2 = 0,84$ negatif lineer ilişki olduğu belirlenmiştir. Kayaçların aşınmaya karşı olan direnci arttıkça delinebilirlik değeri azalmaktadır. Başka bir deyişle kayaçların aşınma kaybı değerleri arttıkça DRI'nın artışı belirlenmiştir.

- Kayaçların aşınma değerinin belirlenmesine ve kazı makinalarda keski aşınması, keski sarfiyatı ve keski değişim maliyetlerinin doğru tahmin edilmesinin kullanılan Cerchar aşındırıcılık indeksi ile kayaçların mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkileri elde edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ile $R^2 = 0,75$ iyi bir ilişki ele edilmiştir. Dayanımı yüksek olan kayaçların aşındırıcılık özelliklerinin de yüksek olduğu görülmüştür. Ancak kayacın aşındırıcılık özellikleri, kayaçlardaki kuvars ve diğer aşındırıcı mineral içerikleri, tane boyu, doku türü, çimentolama derecesi ve çimento türü gibi parametrelerden etkilenmektedir.
- Cerchar aşındırıcılık indeksi ile Sievers Minyatür delme değerleri arasında $R^2 = 0,72$ azalan logaritmik bir ilişki elde edilmiştir. Delmeye karşı olan direnci yüksek olan kayaçların aşındırıcılık değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.
- Mikro Deval aşınma kaybı değerleri ile kayaçların mekanik özellikleri, kırılma ve Sievers minyatür delme indeksi arasındaki ilişkisi incelenmiş, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük ve Brazilian çekme dayanımı değerlerinin arasında azalan bir ilişki olduğu, dayanım değerlerinin artmasıyla kayaçlardaki aşınma kaybının azaldığı görülmüştür. Ayrıca kayacın kırılma değeri (S_{20}) ile Sievers minyatür delme (SJ) değerleri arasında ki ilişkiler incelenmiş, kırılma ve delme hızı yüksek olan kayaçların aşınma kaybı değerlerinin de yüksek olduğu görülmüştür.
- Tünellerde kullanılan bit ömürleri ile kayaçların mekanik, delinebilirlik ve aşındırıcılık özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve nokta yük dayanım özellikleri ile bit ömrü arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımıyla $R^2 = 0,73$ nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile bit ömrü ilişkisi sırasıyla $R^2 = 0,65$ ve $R^2 = 0,63$ üzeri ilişkiler elde edilmiştir.
- Cerchar aşındırıcılık indeksi bit ömrü arasındaki ilişki incelenmiş, bit ömrü ile CAI arasından $R^2 = 0,52$ ilişkisi elde edilmiştir. Elde edilen ilişki düşük olsa da kayaçlarda kuvars gibi aşındırıcı mineral yüzdesinin artmasıyla bit ömrünün

azaldığı belirlenmiştir. Bit ömrü ile DRI arasında $R^2 = 0,63$ üstel ilişkiler elde edilmiştir. Delinebilirlik kayaçların dayanımı, kırılganlığı, aşındırıcılığı ve süreksizlik özelliklerinden etkilendiğinden bit ömürleri ile doğrudan ilişkilidir. Mikro deval değeri ile bit ömrü arasında pozitif katsayılı bir ilişki elde edilmiştir.

- Bit ömürleri ile kırılganlık deneyi ve Sievers minyatür delme arasındaki ilişkiler incelenmiş ve sırasıyla $R^2 = 0,53$ ve $R^2 = 0,74$ üzerinden bir ilişki elde edilmiştir. Sievers Minyatür delme deneyi kayacın yüzey sertliğinin veya delmeye karşı direncinin ölçüsü olduğundan, kolay delinebilen kayaçlarda bit ömürlerinin de yüksek olduğu görülmüştür. Kırılganlığı düşük olan kayaçların dayanımları ve setlik değerleri yüksek olduğundan bu formasyonlardan kullanılan bitlerin bit ömürlerinin kısa olduğu görülmüştür.
- Salmankaş Tünel’inde kullanılan bit ömürleri, bit aşınmaları, delme hızları ve delme oranları incelenmiş, delinebilirliği oldukça zayıf olan kayaçlarda bit ömrü az, bit aşınımı oldukça yüksek, delme hızı ise düşük olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle, kullanılan bitlerde, bit ömrü artıkça, delme hızının arttığı, bit aşınımının düştüğü ve delinebilirlik oranının kolaylaştığı görülmüştür.
- Salmankaş Tünel’inde delinme hızı düşük olan yani net delme hızı 2 m/dak’ın altında olan kayaçlarda bit aşınması “yüksek” delinebilirlik oranı ise “zayıf” olduğu görülmüştür. Ayrıca Salmankaş tüneline bit ömrünün 500 m’den az, bit aşınımı oldukça yüksek, delinme hızı ise düşük olduğu mikro dokulu andezitik ve bazaltik birimlerde görülmüştür.
- Cankurtaran Tünel’inde kullanılan bit ömürleri ve net delme hızı ilişkisi incelenmiş, delinebilirliği normal olan kayaçlarda, bit aşınımı düşük delinme hızının yüksek olduğu görülmüştür. Tüneldeki kayaç kütlelerinde süreksizlik ve çatlaklar çok olduğu için bit ömrü artıkça net delme miktarının azaldığı görülmektedir. Çünkü süreksizliklerin olduğu kırıklı çatlaklı bölgelerde artan darbe baskı kuvvetlerinde bomlarda titreşimlerin olduğu ve makinada zorlanmaların olduğu, bitlerdeki püskürtme deliklerin sürekli tıkanıdığı ve makinadaki darbe ve baskının sürekli değiştiği görülmüştür.
- Cankurtaran Tünel’inde delinebilirliği “zayıf” olan kayaçlarda bit aşınması “orta”, delinme hızının “orta” olduğu görülmüştür. Tüneldeki genel kayaç yapısında ise

delinme hızının “orta” ve “düşük” olduğu, delinebilirlik oranının ise “zayıf” ve “çok zayıf” olduğu tespit edilmiştir.

- Kaya sınıflama sistemlerinde RMR ve RQD değerleri ile spesifik enerji ve net kazı arasındaki ilişki olduğu tespit edilmiştir. RMR ve RQD değerleri arttıkça spesifik enerji değerlerinin de arttığı net kazı hızı değerlerinin azaldığı görülmüştür.
- Tünellerden alınan kayaçların petrografik analizleri yapılmış ve kayaçların içerisinde bulunan aşındırıcı mineral oranlarından faydalanarak eşdeğer kuvars içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerle delinebilirlik, aşındırıcılık, dayanım ve matkap ömürleri ile ilişkileri incelenmiştir. Eşdeğer kuvars içeriği ile tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanım arasında sırasıyla $R^2 = 0,65$ $R^2 = 0,52$ ve $R^2 = 0,56$ pozitif katsayılı ilişkiler elde edilmiştir. Kayacın dayanımı arttıkça eşdeğer kuvars indeksi değerleri de lineer olarak artmaktadır.
- Eşdeğer kuvars içeriği, Cerchar aşınma indeksi ve delme oranı indeksi değerleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Kayacın eşdeğer kuvars içeriği ile Cerchar aşındırıcılık indeksi değeri arasında $R^2 = 0,59$ lineer artan bir ilişki ve delme oranı indeksi ile $R^2 = 0,52$ lineer azalan bir ilişki elde edilmiştir. Kayacın delinebilirliği ne kadar yüksekse eş değer kuvars içeriği değeri de o kadar düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Bit ömürleri ile eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi araştırılmıştır. Salmankaş tüneli için bit ömrü ile eşdeğer kuvars içeriği arasında $R^2 = 0,88$ azalan güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Cankurtaran tüneli için bit ömrü ile eşdeğer kuvars içeriği arasında $R^2 = 0,84$ azalan güçlü bir ilişki mevcuttur. Her iki tünel için bit ömrü ile eşdeğer kuvars içeriği arasında $R^2 = 0,74$ azalan bir ilişki elde edilmiştir.
- Eşdeğer kuvars içeriğinin artmasıyla bit aşınımı arttığı ve bit ömrü azaldığı tespit edilmiştir. Cankurtaran Salmankaş tüneline bit ömrünün en fazla ve bit aşınmasının düşük olduğu formasyonun marn olduğu tespit edilmiştir. Bu formasyonda balistik butonlu bit ile 1623 m delgi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bit ömrünün az olduğu ve bit aşınmasının yüksek ve çok yüksek olduğu birim ise tünel çıkış tüplerinden andezit ve bazalt gibi dayanımı yüksek olan formasyonlarının olduğu birimden elde edilmiştir.

- Tünellerdeki bit başına çıkarılan pasa miktarı (m^3/bit) ile eşdeğer kuvars içeriği ilişkileri araştırılmış, eşdeğer kuvars içeriği artıkça bit başına kazılan pasa miktarının da azaldığı tespit edilmiştir. Kayaçtaki aşındırıcı mineral miktarı ve tane boyu artıkça, bit aşınması artmak bit ömrü azalmakta ve bit başına çıkarılan pasa miktarı azalmaktadır.
- Bit aşınma indeksinin tahmininde kullanılan kaya aşındırıcılık indeksi (RAI) ile bit ömrü arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Cankurtaran ve Salmankaş tünel kayaçlarına ait RAI ile bit ömrü arasında $R^2 = 0,66$ lineer azalan bir ilişki elde edilmiştir. Kaya aşındırıcılık indeksinde kayacın dayanımı ve içerdiği aşındırıcı mineral oranının artmasıyla bit ömrü azalmakta ve bit aşınması artmaktadır.
- Kayaçların yerindeki sertliklerini belirlemek amacıyla tünellerin kazı aynalarında N ve L tipi Schmidt çekiciyle alınan ölçümler ISRM (1981) ve ASTM (2005) yöntemlerine göre değerlendirilmiştir. Arazide elde edilen Schmidt çekici sonuçlar ile laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalarda alınan değerler arasında ilişkiler incelenmiş ve en iyi ilişkiler sırasıyla tek eksenli basınç dayanımı, mikro deval aşınma kaybı, DRI ve CAI arasında tespit edilmiştir.
- Schmidt çekici değerleriyle mekanik deneylerden, tek eksenli basınç dayanımı arasında en iyi ilişki L tipi Schmidt çekiciyle ISRM (1981) yöntemiyle $R^2 = 0,80$ lineer artan bir ilişki tespit edilmiştir. Aşınma deneyleri arasında L tipi ASTM (2005) yöntemi ile mikro deval arasında $R^2 = 0,63$ lineer azalan bir ilişki ve CAI ile N tipi ASTM (2005) yöntemi ile $R^2 = 0,71$ lineer artan bir ilişki tespit edilmiştir.
- Delme oranı indeksi ile Schmidt çekiçleri arasındaki en iyi ilişki L ve N tipi Schmidt çekici ile ASTM (2005) yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen ilişkiler sırasıyla $R^2 = 0,73$ ve $R^2 = 0,73$) gibi lineer azalan doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Bu sonuçlara göre; kayacın yerindeki Schmidt sertlik değeri artarsa kayacın delinebilirliği ve kazılabilirliği zorlaşır.
- Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden gerçekleşen çalışmalarda elde edilen verilerin korelasyon katsayılarının (r) anlamlı olup olmadığını incelenmiş ve t-testi sonucunda tüm eşitliklerin anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, araştırmalar, analizler, yapılan gözlemler ve deneyimler sonucunda kayaçların delinebilirlik, aşındırıcılık ve dayanım özellikleri, bit ömürleri, bit aşınma şekilleri ve delici makinaların spesifik enerji değerleri ile kayaç özelliklerini tek başına tanımlamak ve belirtmek zor olabilir. Çünkü jeolojik parametreler özellikle kaya malzemesinin karakteristik özelliği, kaya kütesinin durumu, süreksizlik yapısı, jeolojik süreci, hidrotermal ayrışması, bozunması ve kayacın mineralojik petrografik özelliği bütün parametreleri etkilemektedir.

Çalışmada yapılacak öneriler aşağıda verilmiştir.

- Kırıklı ve formasyonlarda delik delme işlemi sırasında delici takımlardaki titreşimleri ve matkaplardaki tıkanmaları engellemek için kızaklara 120-140 bar darbe ve 60-70 bar baskı kuvveti uygulanmalıdır.
- Delik delme işlemi sırasında kızaklara uygulanan ani darbe ve baskı kuvvetlerine dikkat edilmelidir. Çünkü ani darbe ve baskı kuvvetinden butonlar yuvalarında kopabilmekte, manşon ve şank gibi önemli delici takımlar kırılabilmektedir.
- Formasyona göre bit seçimi için sert ve aşındırıcı kayaçlarda küresel butonlu bitler, aşındırıcı olmayan yumuşak ve orta sertlikteki kayaçlarda balistik butonlu bitler tercih edilmez.
- Jumbo makinalarının delgi işlemi için spesifik enerji değeri ve net kazı hızı ölçümleri ilk defa Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir.
- Spesifik enerji ölçümleri farklı kayaç formasyonlarında ve farklı makine modeller üzerinde de uygulanmalıdır.
- Farklı dizayn ve kalitedeki bitlerdeki aşınma şekillerinde ve bit ömürlerinde aşındırıcı mineral etkisini belirlemek için, eşdeğer kuvars içeriği ve kayaç aşındırıcılık indeksi değerleri yüksek olan kayaç ve maden ocaklarında uygulanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Akun, M.E. and Karpuz C., 2005. Drillability studies of surface-set diamond drilling in Zonguldak region sandstones from Turkey, Int J Rock Mech Min Sci, 42, pp. 473–479.
- 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.
- Alber, M., 2000. Advance rates for hard rock TBMs and their effects on Project Economist. Tunneling & Underground Space Technology, Vol. 15 (1), pp. 55–60.
- Alber, M., 2008. Stress dependency of the Cerchar abrasivity index (CAI) and its effects on wear of selected rock cutting tools, Tunnelling and Underground Space Technology, 23, 351–359.
- Altınoluk, S., 1989. Tünel Açma Makinelerinde Kazıcı Uçların Aşınmalarına Etki Eden Faktörler ve Etkileri, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, Nisan, Ankara, Bildiriler Kitabı, 285-303.
- Altındağ, R., Şengün, N., Saraç, S., Mutlutürk, M. Ve Güney, A., 2009. Evaluating the relations between brittleness and cerchar abrasion index of rocks. Eurock ISRM Regional Symposium, Croatia, 195-200.
- Alvarez, J.T., Alvarez, M.M., and Diez, R.R. 2003. Experimental results a low-power roadheader driving a gallery with different types of rock at the face. Tunneling and Underground Space Technology, Vol.18, 395-404.
- Arı, H., 1990. Kazılabilirlik tayininde aşınma ve aşınma indeksleri, Madencilik Dergisi: 29/4, 11-16.
- ASTM, 2005. Standard D 5873-05: Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method, Vol. 04.09, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2010a, Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures, American Standarts for Testing and Materials, D7012-10, United States, 9 s.
- ASTM, 2010b, Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus, American Standarts for Testing and Materials, D 6928-10, United States, 5 s.
- ASTM, 2010c, Standard Test Method for Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Method, American Standarts for Testing and Materials, D 7625-10, United States, 6 s.

- Atkinson, H., 1993. Hardness tests for rock characterization.- in: Hudson, J (ed.-in-chief): Comprehensive rock engineering. Principles, practise & projects. Vol. 3: Rock testing and site characterization.- 982 p., Oxford, New York: Pergamon.
- Atlas Copco, 2014. Kaya Delme ve Sondaj Teknolojileri, Seminer, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Müh. Böl. 28 Nisan, Trabzon.
- Aydınçakır, E. ve Kaygusuz, A., 2012. Geç Kretase Yaşlı Dağbaşı (Araklı, Trabzon) Volkanitlerinin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, KD Türkiye, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 2, 123-142.
- Aydınçakır, E., 2006. Dağbaşı (Araklı-Trabzon) Granitoyidi ve Çevre Kayaçların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydin., A. and Basu, A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. Eng Geol 81:1-14
- 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.
- Bamford, W.E., 1987. Cuttability and drillabilityof rock, International Journal of Rock Mechanicsand Mining Science & Geomechanics Abstracts,24, 1: 22-25.
- 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, p. 189-198.
- Barton, N., TBM tunneling in jointed and faulted rock, A.A. 2000, Balkema Publishers, Rotterdam.
- Bieniawski ZT. 1975. The Point Load Test in Geotechnical Practice. Eng. Geol., Sept., pp. 1-11.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications, Wiley, New York, 251 s.
- Bieniawski, Z.T., 2007. Predicting TBM Excavability, Tunnels&Tunnelling International, Spain, 1 p. 1-4.
- Bieniawski, Z.T., Tamames, B.C., Fernandez, J.M.G., and Hernandez, M.A., 2006, Rock Mass Excavability (RME) index: a New Way to Selecting the Optimum Tunnel Construction Method,” Proc. ITA World Tunneling Congress, Seoul. p. 1-7.

- Bilgin, N., 1983. Prediction of roadheader performance from penetration rates of percussive drills: some applications to Turkish coalfields. In: Proceedings of Eurotunnel '83 Conference, 22–24 June, Basle, Switzerland, pp. 111–114.
- Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, 139-140, İstanbul.
- Bilgin, N., Çopur, H. and Balci, C., 2013. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries , Taylor & Francis Group.
- Bilgin, N., Dincer, T., Copur, H. and Erdogan, M., 2004. Some geological and geotechnical factors affecting the performance of a roadheader in an inclined tunnel. Tunnelling and Underground Space Technology, 19, 629–636.
- Bilgin, N., Dincer, T. and Copur, H., 2002. The Performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages”, Tunnelling and Underground Space Technology 17, 237-247.
- Bilgin, N., Feridunoglu, C., Tumaç D., Çınar, M., Palakci, Y., Gunduz, O. and Ozyol, L., 2005b. The performance of a full face tunnel boring machine (TBM) in Tarabya (Istanbul). Underground Space Use. In: Proceeding of the 31st ITA-AITES World Tunnel Congress, Istanbul, eds. Erdem and Solak, pp. 821-826.
- Bilgin, N., Feridunoglu, C., Tumaç D., Çınar, M., Palakci, Y., Gunduz, O. and Ozyol, L., 2006. TBM cutting performance in Istanbul, Tunnels & Tunnelling International, pp. 17-19.
- Bilgin, N., Kuzu, C. and Eskikaya, S., 1997. Cutting performance of rock hammers and roadheaders in Istanbul Metro drivages. In: Proceedings, Word Tunnel Congress'97, Tunnels for People, Balkema, pp. 455–460.
- Bilgin, N., Seyrek, T. and Shahriar, K., 1988. Roadheader performance in Istanbul, Golden Horn clean-up contributes valuable data. Tunnels and Tunnelling 41–44.
- Bilgin, N., Seyrek, T., Erdinc, E. and Shahriar, K., 1990. Roadheaders glean valuable tips for Istanbul Metro. Tunnels and Tunnelling, 29–32.
- Bilgin, N., Tumaç, D., Feridunoglu, C., Karakas, A.R. and Akgul, M., 2005a. The performance of a roadheader in high strength rock formations in Küçükusu tunnel, Underground Space Use. In: Proceeding of the 31st ITA-AITES World Tunnel Congress, May, Istanbul, eds. Erdem and Solak, pp. 815–820.
- Bilgin, N., Yazıcı, S. and Eskikaya, S., 1996. A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages. In: Proceedings, Eurock '96, Balkema, pp. 715–720.
- Bilim, N., 2007. Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya, s 298.

- Blindheim, O.T. 2005., A critique of QTBM, Tunnels & Tunneling Int., pp. 32–35.
- Boland, J., and Macrae, C., 2006. Performance of diamond composite tools in rock cutting, Intertech Atlanta Georgia, USA , 23.
- Ceylanoğlu, A. 1991. Performance monitoring of electrical power shovels for diggability assessmnet in surface coal mines. Ph.D Thesis, Middle East Technical University, 228p.
- Ceylanoğlu, A., Gül, Y. and Akın A., 2007. Kazılabilirlik ve riparlenebilirlik sınıflama sistemlerinin incelenmesi ve yeni bir sınıflama sisteminin önerilmesi. Madencilik Dergisi, 46 (2), 13-26.
- Clark, G.B., 1982, Principles of rock drilling and bit wear, Colorado School of mines Quarterly, 77, 2, p 91.
- Cooper, A. J., J. S. Villard, and J. D. Ferguson, "Predicting Aggregate Performance of the Igneous and Metamorphic Rocks in Northern Ontario," International Center for Aggregates Research 11th Annual Symposium, Austin, TX, 2003.
- Çapık., M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., Yaralı, O. ve Çavuşoğlu, İ., 2013a, Jumbo Delici Makinesinin Çalışma Performansı ve Spesifik Enerji Değerleri, Proceedings of the 3rd International Symposium on Underground Excavation for Transportation, İstanbul. p 191-200.
- Çapık., M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., Yaralı, O. ve Çavuşoğlu, İ., 2013b, Matkap Aşınımı ve Ömrü, Proceedings of the 3rd International Symposium on Underground Excavation for Transportation, İstanbul. p. 225-232.
- Çapık., M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., Yaralı, O. ve Çavuşoğlu, İ., 2013c, Kayaçların Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özelliklerinin Karşılaştırılması, 23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey, Aantalya s.659-669.
- Çopur, H., 1999. Theoretical and Experimental Studies of Rock Cutting with Drag Bits Toward the Development of a Performance Prediction Model for Roadheaders, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, U.S.A., pp. 361.
- Çopur, H., Ozdemir, L. and Rostami, J., 1998. Roadheader applications in mining and tunneling. Mining Engineering 50 (3), 38–42.
- Çopur, H., Rostami, J., Ozdemir, L. and Bilgin, N., 1997. Studies on performance prediction of roadheaders. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Mine Mechanization and Automation, Brisbane, Qld., Australia, pp. A4-1–A4-7.
- Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B. and Grøv E., 2012. Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method Tunnelling and Underground Space Technology 28, p 150–158.

- Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B. and Grøv, E., 2012. Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method, Tunnelling and Underground Space Technology 28: 150–158.
- Dahl, F., 2003. DRI, BWI, CLI Standards, NTNU- Angleggsdrift, Trondheim, p 21-24.
- Deere, D., U., 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposed, Rock Mechanics and Rock Engineering, 1, 17-22.
- Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966, Engineering classifications and index properties of intact rock. Technical report no. AFWL-TR 65-116, University of Illinois: p. 300.
- Deketh HJR. Wear of rock cutting tools. Laboratory experiments on the abrasivity of rock. Rotterdam: Balkema, 1995. p. 144.
- Demirdağ, S., Sengün, N., Uğur, İ., Efe, T., Akbay, D. ve Altındağ, R., 2014, Variation of vertical and horizontal drilling rates depending on some rock properties in the marble quarries, International Journal of Mining Science and Technology 24, p. 269–273
- Dipova, N., 2012, Bir tünel güzergâhındaki zayıf kireçtaşlarının aşınma ve dayanım özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması, Araştırma Makalesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 36 1, s. 23-34
- Drake R., 2004, Bench drilling techniques and equipment selection manual. Ingersol-Rand.
- Dun, P.G., Howarth, D.F., Schmidt, S.P.J. and Bryan, I.J., 1997. A review of non-explosive excavation projects for the Australian metalliferous mining industry. In: 4th International Symposium on Mine Mechanization and Automation, Brisbane, Qld., pp. A5-2–A5-13.
- Dursun, A. E. Ve Gökay, M.K., 2013. Nevşehir Bölgesi tüflerinin kazısında kollu galeri açma makinelerinin kullanılabilirliğinin araştırılması, Selçuk Üniversitesi Müh. Bilim ve Tenk. Dergisi., 1, 1, 13-18.
- Ersoy, A., 2003. Automatic drilling control based on minimum drilling specific energy using PDC and WC bits, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology, 112, (2) :86-96. DOI: 10.1179/037178403225001629.
- Ersoy, A. and Waller, M.D., 1995. Textural characterization of rocks J Eng Geol, 39, 3–4 123–136.
- Ersoy, A. and Waller, M.D., 1995. Prediction of drill-bit performance using multivariable linear regression analysis, Trans Inst Mining Metall A, 14, 101-104.
- Eskikaya Ş., Bilgin N., Dinçer T. and Özdemir, L., 1998. A Model to Predict the Cutting Performance of Rapid Excavation Systems. Proc.the Seventh International Symp. on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, Balkema, p. 575.

- Farmer, I.W. and Garrity, P., 1987. Prediction of roadheader cutting performance from fracture toughness considerations. In: Proceedings of the 6th International Congress on Rock Mechanics, Montreal, Canada, 1, 621–624.
- Fener M, Kahraman S, Bilgil A, Gunaydin O (2005) A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mech Rock Eng* 38(4):329–343
- Fowel, R.J. and Johson, T.S. 1982. Rock classification and assessment for rapid excavation, Proc. Strata Mechanics, University of New Castle Upon Tyne Elsevier Publication, pp. 241-244.
- Fowell, R.J. and Johnson, S.T., 1991. Cuttability Assessment Applied to Drag Tool Tunnelling Machines, Proc. 7th ISRM International Congress on Rock Mechanics, Aachen, Vol. 2, Publ. Rotterdam, AA Balkema, 985-990.
- Fowell, R.J. and Mc Feat-Smith, I., 1976. Factors influencing the cutting performance of selective. Tunnelling 76. Symposium, London, March, Proceedings of the international symposium IMM., London: 301–309.
- Fowler, D.W., Allen, J.J., Lange, A. and Range, R., 2006, The Prediction of Coarse Aggregate Performance by Micro-Deval and Other Aggregate Tests, ICAR Report 507-1F Application and Significance of the Micro-Deval Test, The University of Texas at Austin Austin, Texas. p 616.
- Gehring, K.H., 1989, A cutting comparison, Tunnels and Tunnelling, 27-30.
- Gehring, K.H., 1997. Classification of drillability, cuttability, boreability and abrasivity in tunnelling. *Felsbau* 15, 183–191.
- Genis, M., Basarır, H., Özarslan, A., Bilir, E. and Balaban, E., 2007. Engineering geological appraisal of the rock masses and preliminary support design, Dorukhan Tunnel, Zonguldak, Turkey. Engineering Geology, Vol.92, No.1-2, pp.14-26.
- Goktan, R.M. and Ayday, C., 1993. A suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr;30:321–2.
- Goktan, R.M. and Gunes, N., 2005. A comparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction, Int J Rock Mech Min Sci, 42, 466-472.
- Goktan, R.M. and Gunes, N., 2005, A comparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction, Int J Rock Mech Min Sci, 42, p. 466-472.
- Grima, M.A. and Verhoef, P.N.W., 1999. Forecasting rock trencher performance using fuzzy logic, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sci.36, 413-432.

- Hartman, H. L., Breeds, C. D. and Conway, J. J., 1992. Rapid Excavation, SME Mining Engineering Handbook Chapter:22.1, p 1876
- Hoseinie, S.H., Aghababaei, H. and Pourrahimian Y., 2008. Development of a new classification system for assessing of Rock mass Drillability index (RDi) Int J Rock Mech Min Sci, 45 pp. 1–10.
- Hoseinie, S.H., Ateai, M. and Osanloo, M., 2009. A new classification system for evaluating rock penetrability, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 46, 1329-1340.
- Howarth, D.F. and Rowlands, J.C., 1987. Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties, Rock Mechanics and Rock Engineering, 20, 57-85.
- Howarth, D.F., 1986. Experimental study on the relationship between rock texture and mechanical performance, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A, vol. 95, pp. 41–45.
- Howarth, D.F., 1987. Mechanical rock excavation-assessment of cuttability and boreability, In Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceeding, ed. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., New York, Vol.1, 145-164.
- Hurt K.G., Morris C.J. and Mac Andrew K. M., 1982. The Design and Operation of Boom
- Hurt, K.G. 1980. Roadheader cutting heads: a study of the layout of cutting tools and a rational procedure for design. MRDE Report No:90. England.
- Hustrulid, W.A. and Fairhurst, C., 1971. A theoretical and experimental study of the percussive drilling of rock. Part I: theory of percussive drilling Int J Rock Mech Min Sci, 8, pp. 11–33
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974- 2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Ankara. 628pp
- ISRM, 1981. Rock characterization testing and monitoring and suggested methods, suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, Part 3, p. 101-103.
- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And Geomech., 22 2, 51-60.
- Izquierdo, L.E., and Chiang, L.E., 2004. A methodology for estimation of the specific rock energy index using corrected down-the-hole drill monitoring data, Trans Inst Min Metall A, 113, A225-A236
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L. and Carcedo F.J.A., 1995. Drilling and blasting of rocks, Balkema, Rotterdam.

- Johannessen, O., 1998. Hard Rock Tunnel Boring, Advance Rate And Cutter Wear, Project Report, IB-98, NTNU, Trondheim, Norwegian, 54.
- Johnson, S. T. and Fowell, R. J., 1986. Compressive Strength is not Enough (Assessing Pick Wear Rates for Drag Tool Equipped Machines), SME, Chapter 119. p. 840-845.
- Karaman, K. and Kesimal., 2014, A comparative study of Schmidt hammer test methods for estimating the uniaxial compressive strength of rocks, Bull Eng Geol Environ, DOI 10.1007/s10064-014-0617-5
- Kahraman, S., 1999. Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis, Int J Rock Mech Min Sci, 36, pp. 981–989. (Technical note).
- Kahraman, S., 2001. A correlation between P-wave velocity, number of joints and Schmidt hammer rebound number. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 38, 729-733.
- Kahraman, S., 2002. Correlation of TBM and drilling machine performances with rock brittleness, Engineering Geology, 65, 269-283.
- Kahraman, S., Balci, C., Yazici, S. and Bilgin, N., 2000. Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drilling using a new drillability index, Int J Rock Mech Min Sci, 37, pp. 729–743
- Kahraman, S., Bilgin, N. and Feridunoglu C., 2003. Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills Int J Rock Mech Min Sci, 40, pp. 711–723.
- Kahraman, S., Fener, M. and Gunaydin, O., 2004. Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 41, 1123-1131.
- Karpuz, C. ve Hindistan, M.A., 2006. Kaya mekaniği ilkeleri, uygulamaları, TMMOB Maden Mühendisliği Odası, Ankara s. 45-55.
- Katz, O., Reches, Z. and Roegiers, J.C., 2000, Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. Int J Rock Mech Min Sci 37:723–728.
- Kaya, A., 2012. Cankurtaran (Hopa-Artvin) Tünel Güzergahının ve Çevresinin Jeoteknik Açidan İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. s, 35-40.
- Kazi, A. and Al-Mansour, ZR., 1980. Empirical relationship between Los Angeles Abrasion and Schmidt hammer strength tests with application to aggregates around”, Jeddah. Q J Eng Geol London, 13,45–52.
- Kenny, P. and Johnson, S.N., 1976. The Effect of Wear on the Performance of Mineral Cutting Tools, Colliery Guardian, 6, 246-249.
- Kirsten, H.A.D. 1982. A classification system for excavation in natural materials, The Civil Engineering in South Africa, 24, 293–308.

- Kılıç, A. and Teymen, A., 2008, Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bull Eng Geol Environ* 67:237–244.
- Kohler, G. and Nagel, J., 1972, Comparative Investigations of International Test Methods for Small-Sized Coarse Aggregates, Highway Research Board Record, No. 412, 1972, p.51.
- Li, X., Rupert, G., Summers, D.A., Santi, P. and Liu, D., 2000. Analysis of impact hammer rebound to estimate rock drillability, *Rock Mech Rock Eng*, 33 1, p. 1–13.
- Maidl, B., Schid, L., Ritz, W. And Herrenknecht, M., 2001. Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein, Ernst & Sohn, pp 350.
- McFeat-Smith, I. and Fowell R.J., 1977. Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machine, Proceedings of a Conference on Rock Engineering, CORE-UK, Conference organized jointly by the British Geotechnical Society and Department of Mining Engineering, The University of Newcastle upon Tyne, pp: 581-602.
- McFeat-Smith, I. and Fowell R.J., 1979. The Selection and Application of Roadheaders for Rock Tunneling, Proc 4 th Rapid Excavation and Tunneling Conference Atlanta, AIME, Newyork, pp. 261-279.
- McFeat-Smith, I. and Tarkoy, P.J., 1979. Assessment of tunnel boring performance, Tunnels and Tunnelling, 33–37.
- Mishnaevsky L. and Jr., 1998. Rock fragmentation and optimization of drilling tools. In: Fracture of Rock. Chapter 6. Ed. M.H. Aliabadi. Computational Mechanics Publications. 167–203.
- Nelson, P., 1993. TBM Performance Analysis with Reference to Rock Properties, Mechanized Excavation. Comprehensive Rock Engineering Vol 4, 27, JA Hudson (ed).
- Nelson, P.P., Ingraffea, A.R. and Rourke, T.D., 1985. TBM performance prediction using rock fracture paramaters. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr 22, 4, 189–92.
- Nelson, P.P. and O'Rourke, T.D., 1983. Factor affecting TBM penetration rates in sedimentary rocks, 24th U. S. Symp. Rock Mech., 227-237.
- 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, s. 89-96.
- NTNU, 1998a, Report 1B-98, hard rock tunnel boring, Advance rate and cutter wear. Department of Civil and Transport Engineering, Trondheim.
- NTNU, 1998b, Report 13C-98, hard rock tunnel boring, Drillability statistics of drillability test results. Department of Civil and Transport Engineering, Trondheim

- Ocak, İ. and Bilgin, N., 2010. Comparative studies on the performance of a roadheader, impact hammer and drilling and blasting method in the excavation of metro station tunnels in Istanbul", Tunnelling and Underground Space Technology 25, 181–187.
- Ocak, I., Eyigun, Y., Cinar, M., Nahya, T., 2007. Investigation into roadheader excavation performance and pick consumption used in Kadikoy–Kartal Metro Tunnels. Proceeding of the 2nd Symposium on Underground Excavations for Transportation, vol. 138. Publication of Turkish Chamber of Mines, Istanbul, Turkey, pp. 199–206 (ISBN 978-9944-89-400-5).
- Ocak, İ. ve Akçakoca, H., 2005, İstanbul metrosu kazılarında, kazı hızının tahminine yönelik istatistiksel bir yaklaşım, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9, 121-133.
- Osanloo, M., 1998. Drilling methods Sadra Pub, Tehran
- Özdemir, A., 2010. Kayaların Delinebilirliğini Etkileyen Jeolojik Özellikler”, Sondaj Dünyası Dergisi, sayı 5.
- Özdemir, L. 1977. Development of Theoretical Equations for Predicting Tunnel Borability, Thesis, Colorado School of Mines, Golden. Co. USA
- Özdemir, L. and Nilsen, B., 1999. Recommended laboratory rock testing for TBM projects, AUA News 14:2, pp 21-35.
- Özdoğan, M., 2003. Elektrikli yer kazı makinalarında özgül enerji tüketimi ve kazı zorluğu sınıflaması, Madencilik, 42, (2) 3-10.
- Özkan, İ. and Bilim, N. 2008. A new approach for applying the in-situ Schmidt hammer test on a coal face. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 45 p. 888-898.
- Pakes. G., 1991. Selection of Methods, World Tunnelling. p 399-403.
- Palmstrom, A., 1974. Characterization of jointing density and the quality of rock masses. Internal report, A.B. Berdal, Norway, 26 p (in Norwegian)
- Palmström A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, Vol. 20, 2005, pp. 362-377.
- Palmström, A., 1995. RMI (The Rock Mass index) a rock mass characterization system for rock engineering purposes, PhD thesis, University of Oslo, Norway, Department of Geology, p 400.
- Pang, S.S., Goldsmith, W. And Hood, M., 1989. A force-indentation model for brittle rocks. Rock Mech Rock Eng 22:127–148.

- Paone, J., Madson, D. and Bruce, W.E., 1969. Drillability studies—laboratory percussive drilling. USBM Rep Invest 7300,
- Pathinkar, A.G. and Misra, G.B., 1976. A critical appraisal of the Protodyakonov index, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 13:249- 51.
- Plinninger, R.J, Spaun, G. and Thuro K., 2002b. Predicting tool wear in drill and blast. *Tunnels Tunnelling Int Mag*, p. 1-5,
- Plinninger, R. J., Kasling, H., Thuro, K. and Spaun, G., 2003. Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, p. 259-263.
- Plinninger, R.J., 2008. Abrasiveness Assessment for Hard Rock Drilling, *Geomechanik und Tunnelbau 1* Berlin, DOI: 10.1002/geot.200800004, p. 38-46.
- Plinninger, R.J. and Thuro, K., 2004. Wear Prediction in Hardrock Excavation Using the CERCHAR Abrasiveness Index (CAI) Eurorock 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium. pp 599-604.
- Plinninger, R.J., Spaun, G. and Thuro, K., 2002a. Prediction and Classification of tool wear in Drill and blast tunneling . In Van.Roy & Jermy (editors), *Proceedings 9th Int. IAEG Congress, Durban, South Africa 2226-2236*.
- Poole, D., 1987. The effectiveness of tunnelling machines, *Tunnels and Tunnelling*, 66–67.
- Pomonis, P., Rigopoulos I, Tsikouras. B. and Hatzipanagiotou, K., 2007, Relationships between petrographic and physicomechanical the pindos ophiolitic complex NW, Greece., *Bulletin of the Geological Society of Greece*, *Proceedings of the 11th International Congress*. Athens, May.
- Puhakka, T., editör, 1997. *Underground drilling and loading handbook*, Tamrock, Finland.
- Rabia, H. and Brook N., 1981. The effects of apparatus size and surface area of charge on the impact strength of rock *Int J Rock Mech Min Sci*, 18, pp. 211–219.
- Ramezanzadeh, A. and Hood, M., 2010. A state of the art review of mechanical rock excavation Technologies , *International Journal of Mining & environmental Issues*, Vol,1 No. 1, pp 30-39.
- Rao, K.U.M., Bhatnagar, A. and Misra A., 2002. Laboratory investigations on rotary diamond drilling, *Geotech Geol Eng*, 20, pp. 1–16
- Rao, KUM. and Misra, B.,1998. *Principles of rock drilling*”, Rotterdam: Balkema.
- Reddish, D.J. and Yaşar, E., 1996. A New Portable Rock Strength Index Test Based on Specific Energy of Drilling, Technical Note, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol. 33, No. 5, pp. 543-548.

- Restner, U. and Pichler, J., 2007. Mont Cenis Tunnel Modification Project-Lowering of Tunnel Invert with SANDVIK Tunnel Miner MT620. Proceeding of the 2nd Symposium on Underground Excavations for Transportation , İstanbul, Turkey. p 191-197.
- Richard, J. A., and Scarlett, J. R., 1997, Airport Engineering ATR-024: A Review and Evaluation of the Micro-Deval Test, Public Works and Government Services of Canada, Report on Project 914222,
- Rogers, S. and Roberts, B., 1991. Wear Mechanisms Associated with Rock excavation using attack picks, Mining Science and Technology, Vol. 12, 317-323.
- Rogers, C. A., Bailey M. L. and Price, B., 1991, Micro-Deval Test for Evaluating the Quality of Fine Aggregate for Concrete and Asphalt, Transportation Research Record, No. 1301, pp. 68-76.
- Rogers, C. A., and Senior, S.A., 1994, Recent Developments in Physical Testing of Aggregateto Ensure Durable Concrete, Advances in Cement and Concrete, American Society for Testing and Materials, , pp. 338-357.
- Rostami, J., Ozdemir, L, Bruland, A. and Dahl, F., 2005. Review of Issues Related to Cerchar Abrasivity Testing and Their Implications on Geotechnical Investigations and Cutter Cost Estimates, Rapid Excavation and Tunneling Conference, Seattle, WA.
- Rostami, J., Ozdemir, L. and Neil D.M., 1994. Performance prediction: The key issue in mechanical hard rock mining, Mining Engineering, 1263-1267.
- Rostami, J. and Ozdemir, L., 1993. A New Model for Performance Prediction of Hard Rock TBM. In Proceedings of Rapid Excavation and Tunnelling Conference. Chapter 50, Boston, MA. USA, 793-809.
- Rostami, J. and Ozdemir, L., 1996. Modeling for design and performance analysis of mechanical excavators, In: Proceedings of the Conference on Mechanical Excavation's Future Role in Mining, World Rock Boring Association, Sudbury, Ont., Canada, September 17-19.
- Schneider, H., 1988. Criteria for selecting a boom-type roadheader, Mining Magazine, 183-187.
- Schormair, N., Thuro, K. and Plinninger, R., 2006. The influence of anisotropy on hard rock drilling and cutting. In: Proceedings of the IAEG, Geological Society of London.
- Selmer-Olsen, R. and Blendheim, O.T., 1970. On the drillability of rocks by percussive drilling. In: Proceedings of the second congress international society for rock mechanics, vol. 3, Belgrade.

- Serradj, T., 1996. Method of assessment of rock drillability incorporating the Protodyakonov index, Trans Inst Min Metall A, 105, pp. 175–179
- Shahriar, K., 1998. Kayaçların kazılabilirlik ve jeoteknik özelliklerinin kollu galeri açma makinalarının kazı hızları üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 241-260.
- Shalabi, F., Cording, E.J. and Al-Hattamleh, O.H., 2007 Estimation of rock engineering properties using hardness tests. *Eng Geol* 90:138–147.
- Shimada, H. and Matsui, K., 1998. Estimation of applicability of a drilling machine in Japanese open pit limestone quarry Proceedings of the international symposium on mine planning and equipment selection, Balkema, Rotterdam.
- Simon R., 1956. Theory of rock drilling. In: Proceedings of the sixth annual drilling symposium, Minneapolis,
- Singh, B. and Goel, R.K., 1999. Rock mass classification. A practical approach in civil engineering. Oxford, UK: Elsevier. 267 p.
- Singh, T.N., Gupta, A.R. and Sain R., 2006. A comparative analysis of cognitive system for the prediction of drillability of rocks and wear factor, Geo Tech Geol Eng, 24, pp. 299–312.
- Singh, R.N., Hassani, F.P. and Elkington, P.A.S., 1983, The application of strength and deformation index testing to the stability assessment of coal measures excavations. In: Proceedings 24th US symposium on rock mechanics Texas A&M Univ. AEG pp. 599–609
- Soyer, E., 2009. Kayaçların dayanım ve petrografik özelliklerinin delinebilirliğine etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü s. 20-100.
- Suana, M. and Peters, T.J., 1982. The Cerchar abrasivity index and its relation to rock mineralogy and petrography. Rock Mech. 15 (1), 1–8.
- Tamrock., 1987. Handbook of Underground drilling, Tamrock Drills SF-33310 Tampere, Finland, p327
- Tamrock., 1999. Rock Excavation Handbook, Sandvik Tamrock Corp., 305 p. USBR. 1998. Engineering geology field manual. Field index tests. Vol. 1., pp. 111– 112.
- Tanaino, A.S., 2005. Rock classification by drillability. Part 1: analysis of the available classification, J Min Sci, 41 6, pp. 541–549
- Tandanand, S. and Unger, HF., 1975. Drillability determination—a drillability index of percussive drills. USBM Rep Invest 8073.

- Tarkoy, P.J. and Hendron, A.J., 1975. Rock hardness index properties and geotechnical parameters for predicting tunnel boring machine performance. National Science Foundation Report no. NSF-RAT- 75-030.
- Teale, R.,1965. The concept of specific energy in rock drilling,International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2, 57- 73.
- Thuro, K., Plinninger, R.J. and Spaun, G., 2002. Drilling, Blasting and Cutting- is it possible to quantify geological parameters relating to excavatability?, Engineering Geology for Developing Countries - Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment. Durban, South Africa, 2853-2862.
- Thuro, K. and Spaun., G., 1996a. Drillability in hard rock drill and blast Tunnelling, Geomechanics, .1-11.
- Thuro, K., 1997a. Drillability prediction- Geological influences in hard rock drill and blast Tunnelling, Geol Rundsch 86,426-438.
- Thuro, K., 1997b. Prediction of drillability in hard rock tunnelling by drilling and blasting, Balkema, Rotterdam. p.103-108.
- Thuro, K. and Plinninger, R.J., 1998. Geological limits in roadheader excavation - four case studies. Moore, D.P., Hungr, O. (eds.). Proceedings 8th International IAEG Congress, vol. 5, Rotterdam, Brookfield. Balkema, pp 3545-3552.
- Thuro, K. and Plinninger, R.J., 1999. Roadheader excavation performance- geological and geotechnical influences, 9th ISRM Congress, Paris, 1241-1245.
- Thuro, K. and Plinninger, R.J., 2003, Hard rock tunnel boring, cutting, drilling and blasting: rock parameters for excavatability, ISRM, 2003 Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 1227-1234
- Thuro, K. and Spaun, G., 1996b. Introducing the ‘destruction work’ as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill and blast tunnelling. In: Barla M, editor. Proceedings of the Eurock ’96, Prediction and performance in rock mechanics and rock engineering, vol. 2, p. 707–713.
- Topal, T., 2000. Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamalarda karşılaşılan problemler. Jeoloji Mühendisliği 24(1)73-86
- Tuncdemir, H., 2007. Impact hammer applications in Istanbul metro tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology 23, 262–264.
- Tunçdemir, H. ve Bilgin, N., 2002. Kollu galeri açma makinelerinin cevher kazısında kullanımının araştırılması, İTÜ mühendislik dergisi Cilt:1, Sayı:2, 14-26.
- Tüysüz, N ve Yaylalı-Abanuz, G., 2012, Jeostatistik kavramlar ve bilgisayara uygulamaları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, 2. Baskı, s, 382, Trabzon.

- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002. Kaya kütlesinin mühendislik özellikleri, TMMOB Jeoloji Muh. Odası, Ankara.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A. 2001. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, 1.Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, 161 s.
- Ulusoy, R., 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, s. 458. Ankara.
- URL.1.[www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/1281/Internet/MANorway/se03605.nsf/Alldocs/Products*5CDrill*rigs*and*rock*drills*5CUnderground*drill*rigs*5CMining*jumbos*2ADD320/\\$FILE/6-9660-F%20%28DD320-40%29.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/1281/Internet/MANorway/se03605.nsf/Alldocs/Products*5CDrill*rigs*and*rock*drills*5CUnderground*drill*rigs*5CMining*jumbos*2ADD320/$FILE/6-9660-F%20%28DD320-40%29.pdf) (Şubat 2014)
- URL.2.www.atlascopco.com.tr/Images/Technical%20specification%20Boomer%20282_9851%202500%2001_tcm837-1533190.pdf. (Şubat 2014)
- URL.3.[www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/9082/Internet/S002630.nsf/Alldocs/Products*5CDrill*rigs*and*rock*drills*5CUnderground*tophammer*drill*rigs*2AAxera*6/\\$FILE/6-9650-E%20%28Axera%206-226%29.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/9082/Internet/S002630.nsf/Alldocs/Products*5CDrill*rigs*and*rock*drills*5CUnderground*tophammer*drill*rigs*2AAxera*6/$FILE/6-9650-E%20%28Axera%206-226%29.pdf).(Şubat 2014).
- Valantin, A., 1973. An Examination of the Various 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.s. Youngstown.15-99.
- Wilbur L. In: Kuesel TR, King EH, Bickel JO, editors. 1982.Rock tunnel engineering handbook. Melbourne, Krieger; Florida.
- Wilbur, L. D., 1982. Rock Tunnels, Chapter 7 in Tunnel Engineering Handbook, Edited by Bickel, Jon,O. and Kuesel, T.R., 123-207.
- Yağız, S., 2008. Utilizing rock mass properties for predicting TBM performance in hard rock condition. Tunneling and Underground Space Technology, 23, 326-339.
- Yaralı, O., 2010. Zonguldak Bölgesi Kayaçlarının Aşındırıcılık Özelliklerinin Belirlenmesi, Türkiye 17. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak.
- Yaralı, O. and Soyer, E., 2013. Assessment of relationships between drilling rate index and mechanical properties of rocks, Tunneling and Underground Space Technology, 33, 46-53.
- Yaralı, O. and Kahraman, S., 2011. The drillability assessment of rocks using the different brittleness values, Tunnelling and Underground Space Technology, 26 406–414.
- Yaralı, O., Yaşar, E., Bacak, G. and Ranjith, P.G., 2008. A Study of Rock Abrasivity and Tool Wear in Coal Measures Rocks, Coal Geology, 74, (1): 53-66.

- Yaralı, O.,2008. Kayaçların Delinebilirlik ve Aşındırıcılıklarının Belirlenmesi, Türkiye 16. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak s. 65-76.
- Yaralı. O., 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.
- Yasar, E. and Erdogan, Y., 2004, Estimation of rock physiomechanical properties using hardness methods. *Eng Geol* 71:281–288
- Yazıcı, S., 1984. Galeri Açma Makinalarının Seçimi İçin Kazılabilirliğin Saptanması”, Madencilik Delgisi, 23, (1): 23-33.
- Yılmaz, T. ve Gür, A.K., 2006. Aşınma Sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, s. 86-91.
- Yılmaz, I. and Sendir, H., 2002. Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and young’s modulus in gypsum from Sivas (Turkey). Eng Geol 2, 66, 211–219.
- Young, R.P. and Fowell, R.J., 1978. Assessing rock discontinuities, Tunnels Tunnelling. 45-48.

7.EKLER

Ek1A) Cankurtaran Sağ ve Sol giriş tüplerinde takip edilen matkaplar ve matkap ömürleri

it no	Tarih	km/tüp	Bit tipi	Bit türü	Makine	Delme mesafesi (m)	Aktif delme süresi (dak.)	Toplam delme süresi (dak.)	Bekleme süresi (dak.)	Beklemeler	Ort delme hızı (m/dak)	Delik çapı (mm)	Uyguladığı ort. kuvvetler		Bitin aşınma şekli
													Darbe (bar)	Baskı (bar)	
1	16/06/2012	2+158,0(sağ)	Kübik	Aynı marka	Tamrock AXERA	892	449	765	68	bom arızası	2,00	45	130	70	Normal aşınma
	16/06/2012	2+162,0(sağ)				940	458								
2	17/06/2012	2+165,5(sağ)	Kübik	Aynı marka	6	940	458	765	68	bom arızası	2,07	45	130	70	Normal aşınma
	18/06/2012	2+168,6(sağ)													
3	28/07/2012	2+244,0(sol)	Balistik	Farklı marka	Sandvik DD320	1361	620	1215	161	Shank kesilmesi, su sorunu, yağ hortumu patlaması, matkabin delikte sıkışması	1,94	45	130-140	70	1 buton koptu
	29/07/2012	2+249,4(sol)				1361	620								
4	27/08/2012	2+397,0(sağ)	Balistik	Farklı marka	Sandvik DD320	1123	621	1215	161	Shank kesilmesi, su sorunu, yağ hortumu patlaması, matkabin delikte sıkışması	1,82	45	130-140	70	3 buton koptu
	27/08/2012	2+351,1(sol)				1123	621								
5	24/12/2012	2+875,0(sağ)	Balistik	Aynı marka	Sandvik DD320	624	248	535	90	yağ hortumu patlaması	2,61	45	180	100	aşınmadı
	24/12/2012	2+821,0(sol)				624	248								
6	10/11/2013	4+172,1(sağ)	Balistik	Aynı marka	Sandvik DD320	604	254	535	90	yağ hortumu patlaması	2,40	45	180	100	aşınmadı
	10/11/2013	4+172,8 (sağ-geçiş)				604	254								

Ek1B). Cankurtaran Sağ ve Sol çıkış tüplerinde takip edilen matkaplar ve matkap ömürleri Atlas Copco Rocket-Boomer-282

Bit no	Tarih	km/tüp	Bit tipi	Bit türü	Makine	Delme mesafesi (m)	Aktif delme süresi (saat)	Toplam delme süresi (saat)	Bekleme süresi (saat)	Beklemeler	Ort delme hızı (m/dak)	Delik çapı (mm)	Uyguladığı kuvvetler		ort. Bitin aşınma şekli
													Darbe (bar)	Baskı (bar)	
1	04/01/2012	5+678,5(sağ)	Kübik	Farklı marka		418	229	10s.	110	yağ değişimi, sol boom arızalı,yemek molası	1,82	45	180	80	3 buton koptu
	06/01/2012	5+675,5(sağ)													
2	08/01/2012	5+671,0(sağ)	Balistik			623	271	630			2,31	45	200	90	Butonlar koptu
3	06/01/2012	5+649,0(sol)	Balistik	Aynı marka	Atlas Copco Rocket-Boomer-282	475	234	365	70	Vardiya değişimi, yemek molası	2,07	45	200	100	butonlar koptu bit delikte kaldı (matkap delik içinde kesildi)
	07/01/2012	5+674,0(sağ)													
4	08/01/2012	5+671,0(sağ)				350	136	260			2,40	45			
5	07/01/2012	5+674,0(sağ)	Balistik			547	248	440.	50	yemek molası, yağ değişimi	2,22	45	190	100	2 buton koptu
	08/01/2012	5+671,0(sağ)													
	31/01/2012	5+589,5(sol)													
6	01.02.2012	5+586,0 (sol)	Kübik	Farklı marka		23	10	-	-	6. delikten sonra sağ matkabın delik içinde kesildi, su kesintisi	2,40	45	200	100	Matkap delik içinde kesildi
7	01/02/2012	5+589,5 (sol)	Kübik	Farklı marka		471	225	255	55		2,07	45	200	100	1 buton koptu
8	02/02/2012	5+585,5 (sol)	Balistik			460	197	255	55		2,31	45	200	100	1 buton koptu

Ek1C). Cankurtaran Sağ ve Sol çıkış tüplerinde Sandvik DD 320 Jumbo delgi makinasıyla takip edilen matkaplar ve matkap ömürleri

Bit no	Tarih	km/tüp	Bit tipi	Bit türü	Makine	Delme mesafesi (m)	Aktif delme süresi (saat)	Toplam delme süresi (saat)	Bekleme süresi (saat)	Beklemeler	Ort delme hızı (m/dak)	Delik çapı (mm)	Uyguladığı ort. kuvvetler		Bitin aşınma şekli
													Darbe (bar)	Baskı (bar)	
1	27/04/2012	5+346,2(sağ)	Balistik	Aynı marka	Sandvik DD320	408	150	350	30	Tij kesilmesi	2,73	45	180-200	90-100	butonlar koptu
	28/04/2012	5+343,0(sağ)													
2	28/04/2012	5+315,5(sol)	Balistik	Aynı marka	Sandvik DD320	491	146	420	25	Flushing delgilerinin kapanması	3,33	45	170	70	butonlar koptu
	19/05/2012	5+298,0(sağ)													
3	17.05.2012	5+276,5(sol)	Balistik	Aynı marka	Sandvik DD320	521	227	420	25	Flushing delgilerinin kapanması	2,31	45	170	70	butonlar koptu
	17/05/2012	5+286,5 (sol)													
4	24/07/2012	5+187,0(sağ)	Balistik	Farklı marka	Sandvik DD320	886	351	940	214	yağ hortumu patlaması, su kesintisi, yemek molası, bomların arızası	2,50	45	180	100	5 buton koptu
	26/07/2012	5+184,7(sağ)													
5	28/08/2012	5+658,0(sol)	Balistik	Farklı marka	Sandvik DD320	1624	645	1585	304	yağ hortumu patlaması	2,50	45	180	100	1 buton koptu
	30/08/2012	5+121,0(sol)													
6	04/11/2012	4+942,0(sol)	Balistik	Farklı marka	Sandvik DD320	883	440	755	90	yağ hortumu patlaması	2,00	45	200	100	Normal aşınma
	04/11/2012	4+951,9(sağ)													
7	05/11/2012	4+939,0(sol)	Balistik	Farklı marka	Sandvik DD320	883	440	755	90	yağ hortumu patlaması	2,00	45	200	100	Normal aşınma
	05/11/2012	4+948,9(sağ)													
8	06/11/2012	4+935,0(sol)	Balistik	Farklı marka	Sandvik DD320	883	440	755	90	yağ hortumu patlaması	2,00	45	200	100	Normal aşınma
	20/12/2012	4+803,5(sağ)													
9	20/12/2012	4+781,5(sol)	Kübik	Farklı marka	Sandvik DD320	883	440	755	90	yağ hortumu patlaması	2,00	45	200	100	Normal aşınma
	21/12/2012	4+778,0(sol)													
10	21/12/2012	4+800,0(sağ)	Kübik	Farklı marka	Sandvik DD320	883	440	755	90	yağ hortumu patlaması	2,00	45	200	100	Normal aşınma
	23/12/2012	2+871,5(sağ-giriş)													

Ek 1D). Salmankaş tüneline Sandvik DD 320 Jumbo delgi makinasıyla takip edilen matkaplar ve matkap ömürleri

Bit no	Tarih	km	Bit tipi	Bit türü	Makine	Delme mesafesi (m)	Aktif delme süresi (s)	Toplam delme süresi (s)	Bekleme süresi (s)	Beklemeler	Ort delme hızı (m/dak)	Deldiği delik sayısı	Delik çapı (mm)	Uyguladığı ort. kuvvetler		Bitin aşınma şekli
														Darbe (bar)	Baskı (bar)	
1	18/07/2012	36+811,2	Balistik	Aynı marka	Sandvik DD320	738	530	530	40	Elektrik ve su kesintisi	2,31	184	45	170	100	3 buton koptu 1 buton kırıldı
	19/07/2012	36+814,9														
2	19/07/2012	36+760,0	Balistik	Aynı marka		648	311	600	-	-	2,50	162	45	170	100	2 buton koptu
	20/07/2012	36+819,0														
3	11.08.2012	36+920	Balistik	Aynı marka		247	130	232	-	-	1,88	62	45	160	90	4 buton kırıldı
4																
5	19/10/2012	37+219,6	Kübik	Aynı marka		504	258	490	17	sol bom shank kesilmesi	1,94	126	45	170	90	Normal aşınma
	19/10/2012	37+201,9														
6	20/10/2012	37+223,8	Balistik	Aynı marka		632	276	490	17	sol bom shank kesilmesi	2,31	158	45	180	95	Normal aşınma
	20/10/2012	37+227,5														
7	20/10/2012	37+227,5	Balistik	Aynı marka		634	413	625	25	Su kesintisi	1,76	158	45	150	80	2 buton koptu
	21/10/2012	37+205,5														
8	21/10/2012	37+231,3	Balistik	Aynı marka	480	260	525	25	Su kesintisi	1,88	120	45	160	90	1 buton koptu	
	21/10/2012	37+211,5														
9	16/12/2012	37+441,7	Balistik	Aynı marka	1152	514	870	80	Shank kesilmesi - elektrik kesilmesi - yağ hortumu patlaması	2,22	288	45	180	100	2 buton koptu	
	17/12/2012	37+445,8														
10	18/12/2012	37+449,3	Balistik	Aynı marka	1076	484	870	80	Shank kesilmesi - elektrik kesilmesi - yağ hortumu patlaması	2,22	269	45	180	100	2 buton koptu	
	18/12/2012	37+452,0														
11	11/05/2013	38+100,0	Balistik	Aynı marka	1048	443	635	20	Elektrik kesintisi	2,40	262	45	170	100	3 buton koptu	
	12/05/2013	38+104,5														
12	12/05/2013	38+88-100	Balistik	Aynı marka	1104	480	635	20	Elektrik kesintisi	2,31	276	45	165	95	3 buton koptu	
	14/05/2013	38+108,4														
12	14/05/2013	38+112,5	Balistik	Aynı marka	1104	480	635	20	Elektrik kesintisi	2,31	276	45	165	95	3 buton koptu	
	15/05/2013	38+116,4														
	15/05/2013	38+120,5														

EK 2A) Jumbo makinalarına ait net kazı hızları (m³/h) ve Spesifik enerji değerleri

Tünel	Seri No	Tarih	Seri No	Makina	NKH (m ³ /h)				Spesifik enerji (kWh/m ³)			
					Sol	Sağ	Top. Süre	ort. Süre	Sol	Sağ	Top. Süre	ort. Süre
Sağ Tüp	CR11a	05.11.2012	4.948,9	Sandvik DD320	0,24	0,27	0,25	0,51	159,5	153,7	221,7	110,7
	CR11	04.11.2012	4.951,9		0,25	0,30	0,28	0,55	111,5	111,3	183,7	91,8
	CR10	20.12.2012	4.803,5		0,13	0,12	0,13	0,25	244,3	250,5	368,9	184,4
	CR14a	08.11.2012	2.661,0	Tamrock AXERA	0,19	0,14	0,17	0,33	181,2	232,4	271,8	135,5
	CR14	07.11.2012	2.657,0		0,16	0,13	0,15	0,30	208,7	250,1	300,6	150,3
	CR5	23.12.2012	2.871,5	6	0,17	0,21	0,18	0,37	237,2	193,9	288,5	143,2
	CR8	10.11.2013	4.172,1	Atlas Copco	0,26	0,25	0,26	0,51	234,2	237,7	286,5	143,3
	CR8a	10.11.2013	4.190,0		0,29	0,28	0,28	0,57	226,9	218,1	261,1	130,5
Sol Tüp	CL8	08.11.2013	4.188,3		0,27	0,28	0,28	0,55	195,8	151,3	296,5	148,3
Sol Tüp	CL11	05.11.2012	4.939,0	Sandvik DD 320	0,23	0,29	0,26	0,51	158,5	119,5	196,7	98,4
	CL10	20.12.2012	4.781,5		0,18	0,20	0,20	0,41	172,2	161,7	260,7	130,4
	CL4a	08.11.2012	2.632,0		0,18	0,18	0,18	0,36	189,3	187,7	262,2	131,1
	CL4	07.11.2012	2.628,0		0,21	0,19	0,20	0,40	164,6	183,4	244,5	122,2
	CL5	24.12.2012	2.821,0		0,21	0,19	0,20	0,40	181,0	187,2	237,1	118,5
Salmankaş	B10	02.11.2013	38.897,0	Sandvik DD320	0,24	0,24	0,24	0,47	123,8	119,1	175,7	87,8
	B10	02.11.2013	38.897,0		0,30	0,23	-	-	98,8	121,5	-	-
	B9a	14.05.2013	38.108,4		0,21	0,20	0,20	0,41	178,3	195,3	248,4	124,2
	B9	11.05.2013	38.100,5		0,24	0,27	0,26	0,51	171,8	152,6	211,7	105,8
	B7	18.12.2012	37.452,0		0,19	0,23	0,21	0,41	153,7	175,5	281,9	141,9
	B5	20.10.2012	37.223,8		0,19	0,23	0,21	0,41	195,3	172,9	281,0	140,5

EK 3A) Cankurtaran Sağ tüp çıkış birimlerinin RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Tünel		Cankurtaran Sağ Çıkış RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi													
Tarih	06.01.2012			08.01.2012			01.02.2012			14.06.2012		26.07.2012			
Km	5+677,00			5+671,00			5+615,00			5+257,00		5+184,70			
Değerlendirme		Puan	Ayna -A	Puan	Ayna -B	Puan		Puan		Puan		Puan			
σc (MPa)	126,7	12,1	126,7	12,1	126,7	12,1	163,4	13,1	70	7,5	20	3			
RQD (%)	93	18,2	93	18,2	85	16,9	93	18,2	71	14,2	83	16,3			
Süreksizlik sıklığı (cm)	24	7,9	24	7,9	16	6,9	24	7,9	9	6,1	13	6,5			
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	3-10	2	3-10	2	10-20	1	3-10	2	10-20	1	10-20	1		
	Açıklık (mm)	0.1-1	4	1-5	1	1-5	1	0.1-1	4	1-5	1	1-5	1		
	Pürüzlük	Az pürüzlü	3	Pürüzlü	5	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Düz	1	Düz	1		
	Dolgu	<5 mm sert (Kalsit)	4	<5 mm sert kalsit	4	>5 yumuşak kalsit+kil	2	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm yumuşak kalsit+kil	2	<5 mm yumuşak kalsit+kil	2		
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Orta derecede bozunmuş	3	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5		
Yer altı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Islak	7	Nemli	10	Nemli	10	Islak	7	Islak	7	Damlama	4		
RMR	63,2			65,2			55,9			64,2		44,8		39,8	
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)	İyi kaya			İyi kaya			Orta kaya			İyi kaya		Orta kaya		Zayıf kaya	

EK-3 A) (devam)

Tünel		Cankurtaran Sağ Çıkış RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi							
Tarih		29.08.2012		04.11.2012		20.12.2012		21.12.2012	
Km		5+120,90		4+951,50		4+803,50		4+800,00	
Değerlendirme			Puan		Puan		Puan		Puan
σc (MPa)		29,1	4	62,2	7	24,4	3,5	24,4	3,5
RQD (%)		78	15,6	70	14	45	11	71	14,2
Süreksizlik sıklığı (cm)		13	6,5	9,1	6,1	5,5	5,8	9,5	6,2
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	10-20	1	10-20	1	1-3	4	3-10	2
	Açıklık (mm)	1-5	1	1-5	1	0,1-1	4	0,1-1	4
	Pürüzlük	Düz	1	Düz	1	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3
	Dolgu	<5 mm yumuşak kalsit+kil	2	>5 mm yumuşak kalsit+kil	2	<5 mm yumuşak kalsit+kil	2	<5 mm yumuşak kalsit+kil	2
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5
Yer altı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Damlama	4	Islak	7	Islak	7	Islak	7
RMR		40,1		44,1		45,3		46,9	
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya	

EK-3 B). Cankurtaran Sağ tüp giriş birimlerinin RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Cankurtaran Sağ Giriş RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi													
Tarih	16.06.2012		19.06.2012		29.07.2012		27.08.2012		07.11.,2012		23.12.,2012		
Km	2+158		2+171,60		2+312		2+397		2+657		2+872		
Değerlendirme		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan	
σ_c (MPa)	52,2	6	52,2	6	37,4	3,9	72,1	7,3	92,9	9,2	53,3	6	
RQD (%)	81	16	78	15,6	85	16,9	79	15,8	78	15,6	78	15,6	
Süreksizlik sıklığı (cm)	13,7	6,7	11,0	6,2	35	9,1	12	6,3	11	6,2	11	6,2	
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	10-20	1	10-20	1	3-10	2	3-10	2	10-20	1	3-10	2
	Açıklık (mm)	0,1-1	4	0,1-1	4	1-5	1	0,1-1	4	0,1-1	4	0,1-1	4
	Pürüzlük	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Pürüzlü	5	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Pürüzlü	5
	Dolgu	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	>5 mm sert kalsit	2	>5 mm sert kalsit	2	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5
Genel koşullar, Yer altı suyu (lt/dk)	Nemli	10	Nemli	10	Islak	7	10tl/dak	10	Nemli	10	Damlama	4	
RMR	55,7		54,8		51,9		55,4		58		51,8		
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)	Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		

EK-3 C) Cankurtaran Sol t p çıkış birimlerinin RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Tünel	Cankurtaran Sol ıkış RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi										
Tarih	06.01.2012		07.01.2012		31.01.2012		01.02.2012		14.06.2012		
Km	5+646,00		5+643,00		5+589,50		5+586,00		5+229,0		
Değerlendirme		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan	
σ_c (MPa)	124,1	12,1	124,1	12,1	130,8	12,5	130,8	12,5	137,9	12,9	
RQD (%)	96	19	93	18,2	87	17,4	88	17,6	78	15,6	
Süreksizlik sıklığı (cm)	34	9	24	7,9	16	7	17	7,1	11	6,2	
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	3-10	2	3-10	2	1-3	4	1-3	4	3-10	2
	Açıklık (mm)	1-5	1	1-5	1	1-5	1	1-5	1	0,1-1	4
	Pürüzlük	P�r�zli	5	P�r�zli	5	P�r�zli	5	P�r�zli	5	Az p�r�zli	3
	Dolgu	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5
Yer altı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Nemli	10	Nemli	10	Nemli	10	Nemli	10	Damlama	4
RMR		67,1		65,2		65,9		66,2		56,7	
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)	İyi kaya		İyi kaya		İyi kaya		İyi kaya		Orta kaya		

EK-3 C) (devam)

Tünel		Cankurtaran Sol Çıkış RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi									
Tarih		29.07.2012		28.08.2012		05.11.2012		06.11.2012		20.12.2012	
Km		5+176,80		5+121,00		4+939,50		4+935		4+781,50	
Formasyon		Marn		Marn		Kireçtaşı marn		Kireçtaşı marn		Kireçtaşı marn	
Değerlendirme			Puan		Puan		Puan		Puan		Puan
σ_c (MPa)		24,6	3,5	101	9,7	42,4	5,1	42,4	5,1	36,2	4,5
RQD (%)		89	17,8	83	16,3	72	14,4	68	13,9	63	12,6
Süreksizlik sıklığı (cm)		18	7,2	13	6,5	9,5	6,2	11,5	6	7,8	5,9
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	3-10	2	3-10	2	10-20	1	10-20	1	3-10	2
	Açıklık (mm)	1-5	1	1-5	1	0,1-1	4	0,1-1	4	0,1-1	4
	Pürüzlük	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3
	Dolgu	<5 mm yumuşak kalsit-kil	2	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5
Yer altı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Damlama	4	Su akışı	0	Islak	7	Islak	7	Damlama	4
RMR			45,5		47,5		49,7		49		45
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya	

EK-3 D) Cankurtaran Sol t p giriş birimlerinin RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Cankurtaran Sol Giriş RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi															
Tarih	18.06.2012		19.06.2012		29.07.2012		26.08.2012		27.08.2012		07.11.2012		23.12.2012		
Km	2+094,50		2+101,50		2+249,4		2+348,10		2+351,0		2+628		2+819,00		
Değerlendirme		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan	
σ_c (MPa)	57	6,5	57	6,5	29,9	4	95,5	9,2	95,5	9,2	102,1	9,7	68,8	7,2	
RQD (%)	81	16	79	15,8	92	18,3	97	19,3	94	18,7	83	16,3	57	10,3	
Süreksizlik sıklığı (cm)	12,9	6,5	11,9	6,3	24	7,9	36	9,2	27	8,2	13	6,5	6,8	5,9	
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	10-20	1	10-20	1	10-20	1	10-20	1	3-10	2	10-20	1	10-20	1
	Açıklık (mm)	0,1-1	4	0,1-1	4	0,1-1	4	1-5	1	1-5	1	0,1-1	1	<0.1	5
	Pürüzlük	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3
	Dolgu	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm yumuşak kalsit-kil	2	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5
Genel koşullar, Yer altı suyu (lt/dk)	Nemli	10	Nemli	10	Islak	7	Nemli	10	Nemli	10	Islak	7	Islak	10	
RMR	56		55,6		52,2		61,7		61,1		53,5		51,4		
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)	Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		İyi kaya		İyi kaya		Orta kaya		Orta kaya		

EK-3 E) Salmankaş Tüneli birimlerinin RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Tünel		Salmankaş Tüneli RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi														
Tarih	18.07.2012			19.07.2012			11.08.2012			13.08.2012			19.10.2012		20.10.2012	
Km	36+811,20			36+814,90			36+920,20			36+926,70			37+219,60		37+223,80	
Değerlendirme		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan		Puan		
σc (MPa)	43,2	5,3	43,2	5,3	58,9	6,7	58,9	6,7	85,1	8,5	85,1	8,5				
RQD (%)	96	19	94	18,7	91	18	94	18,7	78	15,6	80	15,9				
Süreksizlik sıklığı (cm)	36	9,2	27	8,2	21	7,3	27	8,2	11	6,2	12	6,3				
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	10-20	1	10-20	1	10-20	1	10-20	1	3-10	2	10-20	1			
	Açıklık (mm)	1-5	1	1-5	1	1-5	1	1-5	1	1-5	1	1-5	1			
	Pürüzlük	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5			
	Dolgu	<5 mm yumuşak kalsit +kil	2	<5 mm yumuşak kalsit+kil	2	<5 mm yumuşak kalsit+kil	2	<5 mm yumuşak kalsit	2	>5 mm sert (kalsit dolgu)	2	>5 mm sert kalsit	2			
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Orta derece bozunmuş	3	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5			
Yer altı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Islak	7	Islak	7	Islak	7	Islak	7	Islak	7	Islak	7			
RMR		54,5		53,2		51		54,6		52,3		51,7				
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)	Orta kaya			Orta kaya			Orta kaya			Orta kaya			Orta kaya			

EK-3 E). (Devam)

Tünel		Salmankaş Tüneli RMR Sınıflama Parametreleri ve Puanlama sistemi									
Tarih		21.10.2012		17.12.2012		18.12.2012		11.05.2013		02.11.2013	
Km		37+235,50		37+452,50		37+452,50		38+100,50		38+897	
Değerlendirme			Puan		Puan		Puan		Puan		Puan
σc (MPa)		85,1	8,5	55,3	6,3	55,3	6,3	41,9	5,1	73,4	7,8
RQD (%)		86	17	75	14,4	78	15,6	66	13	72	14
Süreksizlik sıklığı (cm)		15	7	10	6,1	11	6,2	8,5	6,1	9,5	6,2
Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	10-20	1	1-3	4	1-3	4	3-10	2	3-10	2
	Açıklık (mm)	1-5	1	0.1-1	4	0.1-1	4	0.1-1	4	0.1-1	4
	Pürüzlük	Pürüzlü	5	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Pürüzlü	5	Az pürüzlü	3
	Dolgu	>5 mm sert kalsit	2	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4	<5 mm sert kalsit	4
	Bozunma	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Az bozunmuş	5	Orta derece bozunmuş	3	Az bozunmuş	5
Yer altı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Islak	7	Nemli	10	Nemli	10	Islak	7	Damlama	4
RMR			53,5		56,8		58,1		49,2		50
Kaya sınıflaması (Bieniawski, 1989)		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya	

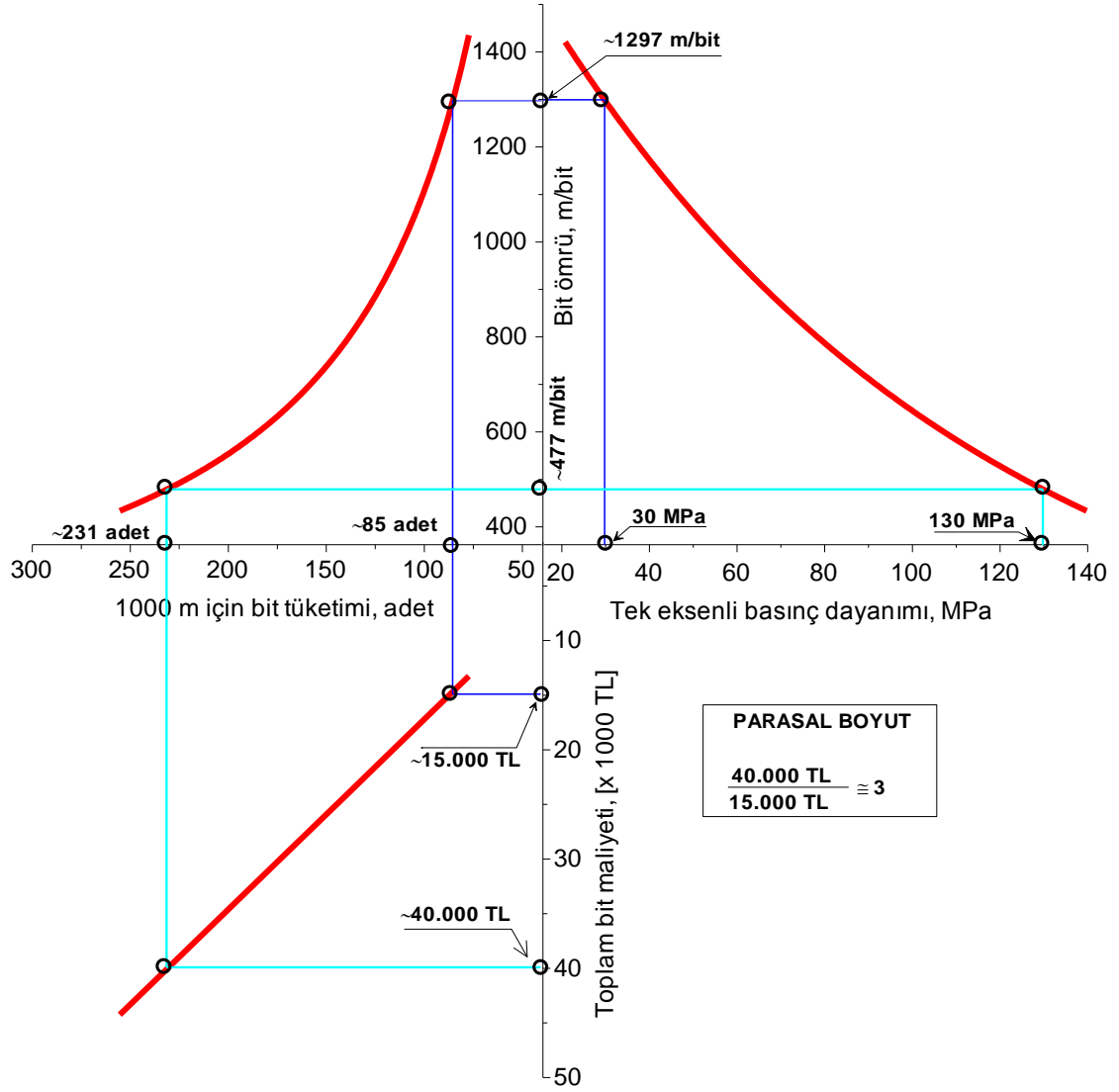
EK. 4A) Cankurtaran tüneline ait birim hacim ağırlık deney sonuçları

Seri No	Doğal B.H.A. (gr/cm ³)	Kuru B.H. A. (gr/cm ³)	Doydun B.H.A. (gr/cm ³)
CR1	2,65	2,64	2,67
CR2	2,72	2,67	2,73
CR3	2,66	2,66	2,66
CR4	2,57	2,54	2,58
CR5	2,68	2,67	2,68
CR6	2,66	2,65	2,66
CR7	2,64	2,64	2,65
CR8	2,78	2,77	2,78
CR9	2,68	2,66	2,68
CR10	2,73	2,73	2,74
C.R11	2,65	2,62	2,66
CR12	2,65	2,62	2,66
CR13	2,64	2,61	2,65
CR14	2,62	2,59	2,64
CR15	2,58	2,55	2,60
CR16	2,70	2,69	2,71
CR17	2,65	2,64	2,66
CR ort.	2,66	2,64	2,67
CL1	2,66	2,62	2,66
CL2	2,65	2,61	2,66
CL3	2,67	2,66	2,67
CL4	2,58	2,55	2,58
CL5	2,67	2,65	2,67
CL6	2,63	2,61	2,63
CL7	2,66	2,65	2,66
CL8	2,62	2,60	2,63
CL9	2,69	2,66	2,70
CL10	2,67	2,66	2,68
CL11	2,66	2,63	2,66
CL12	2,72	2,71	2,73
CL13	2,65	2,63	2,66
C.L14	2,66	2,66	2,66
CL15	2,69	2,68	2,69
CL16	2,70	2,68	2,70
CL ort.	2,66	2,64	2,67

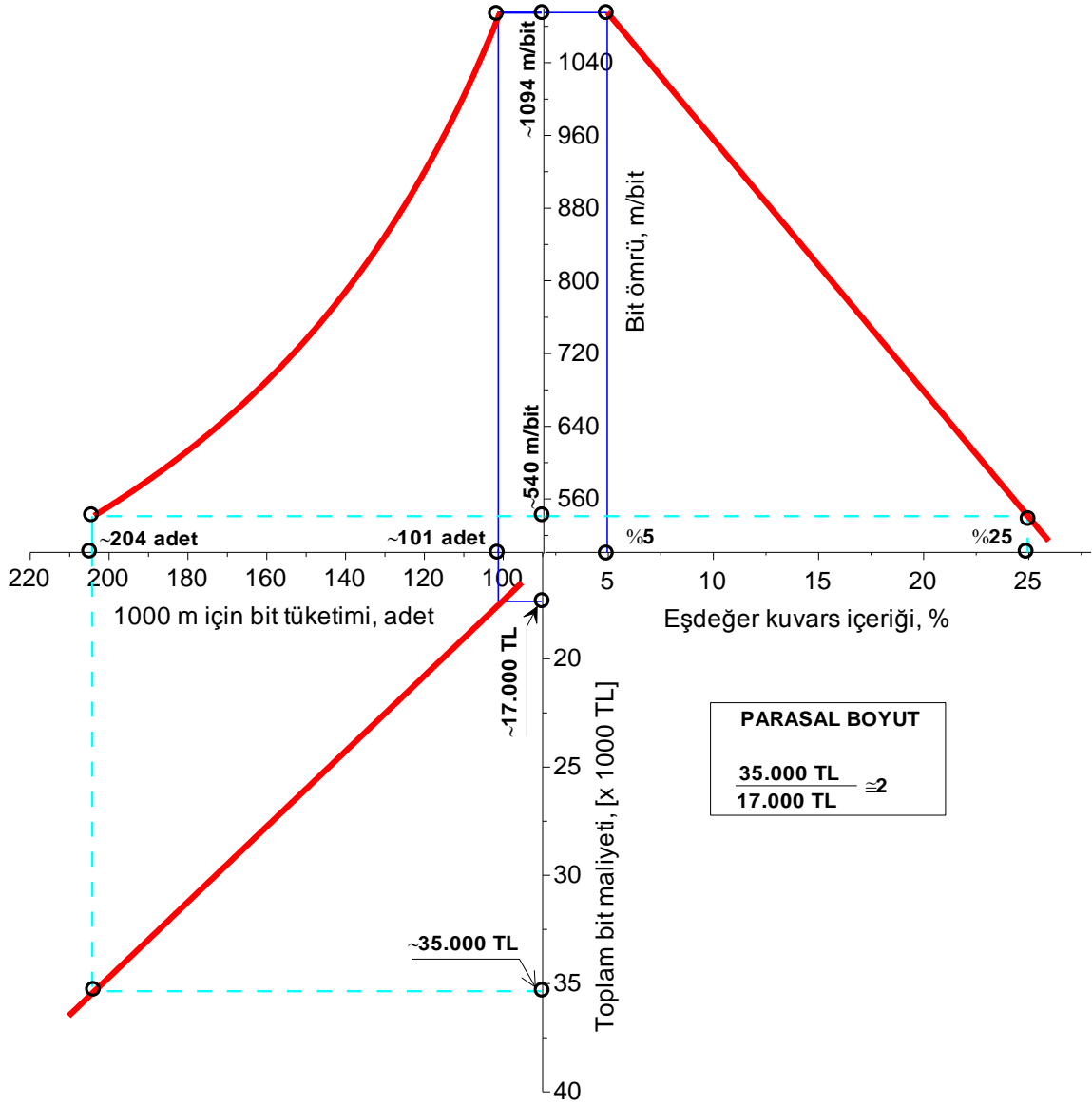
EK. 4B) Salmankaş tüneline ait birim hacim ağırlık deney sonuçları

Seri No	Doğal B.H.A. (gr/cm ³)	Kuru B.H. A. (gr/cm ³)	Doydun B.H.A. (gr/cm ³)
B1	2,74	2,73	2,75
B2	2,58	2,56	2,59
B3	2,69	2,68	2,69
B4	2,74	2,73	2,74
B5	2,74	2,73	2,74
B6	2,77	2,76	2,77
B7	2,70	2,69	2,70
B8	2,67	2,67	2,68
B9	2,67	2,66	2,67
B10	2,63	2,62	2,65
B ort.	2,69	2,68	2,70

Ek 5A Salmankaş tüneli için tek eksenli basınç dayanımının bit ömrü ve bit maliyeti değişim nomogram



Ek 5B Salmankaş tüneli için eşdeğer kuvars içeriğinin bit ömrü ve bit maliyeti değişim nomogram



EK 6A t- dağılımı tablosu

t Tablosu

Sd	Tek yönlü test için önem seviyesi						
	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
	İki yönlü test için önem seviyesi						
	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.010	0.002
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.31
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.214
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307
60	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232
120	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160
∞	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090

EK 6B Pearson korelasyon katsayısı (r) ait kritik değerler

df	α	
	.05	.01
1	.999	.999
2	.950	.999
3	.878	.959
4	.811	.917
5	.754	.875
6	.707	.834
7	.666	.798
8	.632	.765
9	.602	.735
10	.576	.708
11	.553	.684
12	.532	.661
13	.514	.641
14	.497	.623
15	.482	.606
16	.468	.590
17	.456	.575
18	.444	.561
19	.433	.549
20	.423	.537
21	.413	.526
22	.404	.515
23	.396	.505
24	.388	.496
25	.381	.487
26	.374	.479
27	.367	.471
28	.361	.463
29	.355	.456
30	.349	.449
35	.325	.418
40	.304	.393
45	.288	.372
50	.273	.354
60	.250	.325
70	.232	.302
80	.217	.283
90	.205	.267
100	.195	.254

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Kars'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kars'da tamamladı. 2000 yılında K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne kayıt oldu. 2004 yılında aynı fakülteden Maden Mühendisi olarak mezun oldu. 2005 yılında K.T.Ü. Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans Öğrenimine Başladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra, doktora programına başladı. 2009-2010 yılında Üniversitenin Sokrates/Erasmus programı kapsamında Montanuniversitat Leoben, Avusturya'da 9 aylık programda çalışmalarına devam etti. 2007 yılında aynı üniversiteden Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. İyi derece İngilizcede bilmektedir.