

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDE BULUNAN ÇEŞİTLİ KAYAÇLARIN VE  
CEVHERLERİN KAZILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Mühendisi Serdar YAŞAR**

**HAZİRAN 2013**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDE BULUNAN ÇEŞİTLİ KAYAÇLARIN VE**  
**CEVHERLERİN KAZILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Maden Mühendisi Serdar YAŞAR**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2013**  
**Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2013**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Trabzon 2013**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Maden Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**Serdar YAŞAR tarafından hazırlanan**

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDE BULUNAN ÇEŞİTLİ KAYAÇLARIN VE  
CEVHERLERİN KAZILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2013 gün ve 1506 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Üye : Doç. Dr. Kerim AYDINER**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Çeşitli Kayaçların ve Cevherlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle yüksek lisans öğrenimim süresince, bilgisini, tecrübesini ve yardımseverliğini hiçbir zaman esirgemeyen, gerek konu seçimimde gerekse de deneysel çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen danışmanım sevgili hocam Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerini paylaşmaktan hiçbir zaman çekinmeyen Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAVUŞOĞLU’na yardımlarından ötürü teşekkür ederim. Mikroskop incelemeleri sırasında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Fatih ERDERMİR’e şükranlarımı sunarım. Bu zamana kadar bilgi, tecrübe ve manevi desteklerini sunmaktan çekinmeyen değerli mesai arkadaşlarım Arş. Gör. Mehmet ÇAPİK’e, Arş. Gör. Orkun KANTARCI’ya, Arş. Gör. Arman EHSANİ’ye, Arş. Gör. Tekin YILMAZ’a, Arş. Gör. Özüm ÖZPOLAT’a ve Arş. Gör. Ercüment KOÇ’a en içten teşekkürlerimi bildiririm.

Engin bilgi ve tecrübelerini paylaşmaktan hiçbir zaman kaçınmayan, gerek lisans eğitimim gerekse de yüksek lisans eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen ve laboratuvar imkânlarını koşulsuz olarak kullanımımıza sunan İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi öğretim üyeleri, saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Nuh BİLGİN’e, Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR’a, Doç. Dr. Cemal BALCI’ya ve Yrd. Doç. Dr. Deniz TÜMAÇ’a sonsuz şükranlarımı sunarım. Laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Emre AVUNDUK’a ve Arş. Gör. Ramazan ÇOMAKLI’ya yardımları için teşekkür ederim.

Son olarak ta bugüne kadar benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, her konuda bana destek olan sevgili aileme teşekkürlerimi bildiririm.

Serdar YAŞAR

Trabzon 2013

## TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Çeşitli Kayaçların ve Cevherlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi” 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. 24.05.2013.

Serdar YAŞAR

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Mekanize Kazının Gelişimi ve Önemi .....	1
1.3. Laboratuarda Kazılabilirlik Tayini .....	7
1.3.1. Tam Boyutlu Kazı Deneyi .....	9
1.3.2. Küçük Boyutlu Kazı Deneyi .....	11
1.3.3. Ampirik Yöntemler .....	14
1.3.4. Aşındırıcılık Tayini .....	15
1.4. Kesme Teorileri ve Keski ile Kazı .....	16
1.4.1. Kama ve Kalem Uçlu Keski .....	17
1.4.2. Kama ve Kalem Uçlu Keski Aşınmaları .....	20
1.4.3. Kesme Teorileri .....	22
1.4.3.1. Evans Yaklaşımı .....	22
1.4.3.2. Merchand-Potts-Shuttleworth Yaklaşımı .....	23
1.4.3.3. Nishimatsu Yaklaşımı .....	24
1.5. Yapılan Çalışmalar .....	24
1.6. Tezin Amacı .....	32
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	34
2.1. Kayaç ve Cevher Numunelerinin Temin Edilmesi .....	34
2.2. Örnek Hazırlama .....	36

2.2.1.	Karot Alma .....	36
2.2.2.	Karot Kesme ve Düzeltme .....	36
2.3.	Fiziksel Deneyler .....	38
2.3.1.	Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Tayini .....	38
2.3.2.	Görünür Porozite ve Boşluk Oranı Tayini .....	38
2.4.	Mekanik Deneyler .....	40
2.4.1.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi .....	40
2.4.2.	Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi (Brazilian Yöntemi) .....	41
2.4.3.	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi .....	43
2.4.4.	Laboratuarda Schmidt Çekici Deneyi ( Klasik ve Dijital) .....	45
2.4.5.	Mikro-Deval Aşındırma Deneyi .....	49
2.4.6.	Kırılgnlık ( $S_{20}$ ) Deneyi .....	50
2.5.	Kazılabilirlik Deneyleri .....	51
2.5.1.	Küçük Boyutlu Kazı Deneyi .....	51
2.5.2.	Cerchar Aşındırıcılık Deneyi .....	55
3.	BULGULAR VE İRDELEME .....	58
3.1.	Mekanik Deneylerin İrdelenmesi .....	58
3.2.	Kazılabilirlik Deneylerinin İrdelenmesi .....	69
3.3.	Kazılabilirlik Deneylerinin Yorumlanması .....	93
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	98
5.	KAYNAKLAR .....	100
6.	EKLER .....	106

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDE BULUNAN ÇEŞİTLİ KAYAÇLARIN VE  
CEVHERLERİN KAZILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Serdar YAŞAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ  
2013, 105 Sayfa, 26 Sayfa Ek

Laboratuarda kazılabilirlik tayini mekanizasyonun ana konularındandır ve esas olarak spesifik enerjinin (SE) tahmin edilmesine dayanmaktadır. Laboratuarda spesifik enerji tayini yapılırken farklı metotlar kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları tam boyutlu kazı deneyi ve küçük boyutlu kazı deneyidir. Bu deney setlerinin bulunmadığı durumlarda alternatif yöntemlere başvurulmaktadır. Bu çalışmanın amacı Doğu Karadeniz Bölgesi'nin çeşitli bölgelerinden temin edilen 11 adet farklı kayaç ve cevher numunesinin kazılabilirlik özellikleriyle mekanik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmaktır. Ayrıca kazılabilirlik parametrelerinin dolaylı yollardan tahmin edilmesine yönelik çözümler üretmeye çalışılmaktadır. Kayaç ve cevher numunelerinin fiziksel ve mekanik deneylerinin ardından kazılabilirlik deneyleri (küçük boyutlu kazı deneyi ve Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyi) gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) ile geri sıçrama katsayısı (Q) arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Kazılabilirlik parametrelerinin tayininde en hassas tahminin Q ve R değerleri ile yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Kazılabilirlik parametreleri kendi içinde değerlendirilerek aralarında kuvvetli ilişkiler elde edilmiştir. Mekanik, fiziksel ve kazılabilirlik deney sonuçları değerlendirilerek çok katlı lineer regresyon yöntemiyle spesifik enerji, kesme kuvveti, normal kuvvet ve Cerchar aşındırıcılık indeksi hesaplanmıştır. Ayrıca birden fazla parametrenin elde edilemediği durumlarda kullanılmak üzere tek değişkenli 15 adet denklem önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kazılabilirlik, Spesifik enerji, Küçük boyutlu kazı deneyi, Cerchar aşındırıcılık indeksi, Schmidt çekici.



Master Thesis

SUMMARY

AN INVESTIGATION ON CUTTABILITY CHARACTERISTICS OF SOME ROCKS  
AND ORES FROM EASTERN BLACK SEA REGION

Serdar YAŞAR

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mining Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ  
2013, 105 Pages, 26 Pages Appendix

Cuttability prediction of characteristics of rocks to be excavated in laboratory is the main scope of mechanization field and it depends on mainly predicting the specific energy. There are some different methods for predicting cuttability in laboratory. Some of them are; full scale linear cutting rig and small scale linear cutting rig. With the lack of these rigs, researchers try to find alternative methods. Main scope of this experimental work is to investigate onto physical, mechanical and cuttability characteristics of some rocks and ore obtained from Eastern Black Sea Region and to make a comparative study of physical, mechanical and cuttability characteristics of this rock and ore samples. Also another objective of this work is to find alternative ways of assigning cuttability characteristics. Thereafter physical and mechanical experiments, cuttability experiments (small scale linear cutting test and Cerchar abrasivity index) have been conducted. As a result of this experimental work there have been found significant relationship between Schmidt hammer rebound value (R) and rebound coefficient (Q). Q and R value has been found as the most sensitive method for assignment of cuttability characteristics. With the multilayer linear regression method and by using of physical, mechanical and cuttability experimental results, specific energy, cutting force, normal force and Cerchar abrasivity index has been calculated. For the occasions when there is only one parameter, here is offered 15 equations for cuttability prediction.

**Key Words:** Cuttability, Specific energy, Small scale linear cutting rig, Cerchar abrasivity index, Schmidt hammer.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Belarus'ta bulunan çakmaktaşı madeni.....	2
Şekil 1.2. Thames Tüneli'nde kullanılan tünel şildinin maketi.....	2
Şekil 1.3. Mont Cenis Tüneli için imal edilen pnömomatik delgi makinesi .....	3
Şekil 1.4. Manş Tüneli'nin kazısı için imal edilen kazı makinesi.....	3
Şekil 1.5. Kazı esnasında bir kollu galeri açma makinesi .....	4
Şekil 1.6. Kömür kazısı yapan bir sürekli kazıcı.....	5
Şekil 1.7. Melen Boğaziçi Tüneli'nde çalışan tünel açma makinesi (TAM) .....	5
Şekil 1.8. Keskiye etkiyen üç boyuttaki kuvvetler .....	9
Şekil 1.9. Tam boyutlu kazı setinin şematik görünümü .....	10
Şekil 1.10. İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan tam boyutlu kazı seti.....	11
Şekil 1.11. Roxborough tarafından geliştirilen küçük boyutlu kazı seti .....	12
Şekil 1.12. Kesme deneyi şartları ve kuvvet oluşumu.....	12
Şekil 1.13. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde bulunan küçük boyutlu kazı seti .....	13
Şekil 1.14. Sahadaki kesme hızlarının laboratuvar kesme deneylerinden tahmin edilmesi için oluşturulan grafik .....	14
Şekil 1.15. Cerhar aşındırıcılık cihazı .....	15
Şekil 1.16. Keski türleri.....	17
Şekil 1.17. Kama (a) ve kalem uçlu (b) keski.....	18
Şekil 1.18. Kama ve kalem uçlu keski tasarımlarının tasarım değişkenleri.....	18
Şekil 1.19. Keskiye gelen normal ve kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi .....	19
Şekil 1.20. $W_1$ körelme yüzeyi .....	20
Şekil 1.21. Kazı makinelerinde keski aşınmasını etkileyen faktörler .....	21
Şekil 1.22. Kalem uçlu keski tasarımlarında sürtünme ile aşınmaya bir örnek .....	22
Şekil 1.23. ISRM tarafından önerilen yöntemler.....	28
Şekil 1.24. Spesifik enerji değerinin aşınma yüzeyi ile değişimi.....	28
Şekil 1.25. Spesifik enerji değerinin Shore sertlik değeri ile değişimi .....	31
Şekil 1.26. Spesifik enerji değerinin paslanma katsayısı ile değişimi.....	31

Şekil 2.1.	Numunelerin temin edildikleri yerler .....	35
Şekil 2.2.	Tez çalışmasının akım şeması .....	35
Şekil 2.3.	Karot alma işlemi .....	36
Şekil 2.4.	Karot kesme ve düzeltme işlemi .....	37
Şekil 2.5.	Örnek hazırlama işlemi sonrası hazırlanan örneklerin toplu görünümü .....	37
Şekil 2.6.	Örnek boyutlarının ölçülmesi.....	39
Şekil 2.7.	Tek eksenli basınç dayanımı sonrası kırılan örnek numune .....	41
Şekil 2.8.	Deneyde kullanılan çene ve kırılmış olan kireçtaşı numunesi .....	42
Şekil 2.9.	Nokta yük deneyi aleti.....	43
Şekil 2.10.	Nokta-yük dayanımı deneyinde kırılan numuneler .....	45
Şekil 2.11.	Schmidt çekicinin genel çalışma prensibi .....	46
Şekil 2.12.	Schmidt çekicinin kalibre edilmesi .....	47
Şekil 2.13	Proceq marka L tipi Silver Schmidt çekici.....	47
Şekil 2.14.	Mikro-Deval aşındırma cihazı.....	49
Şekil 2.15.	Kırılgenlik ( $S_{20}$ ) deneyinin yapılış şeması .....	50
Şekil 2.16.	Küçük boyutlu kazı seti.....	52
Şekil 2.17.	Kazı sonrası pası toplanması .....	53
Şekil 2.18.	Deney sonrası oluşan kazı hattı.....	53
Şekil 2.19.	Bakır II örneğinin keski kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi .....	54
Şekil 2.20.	Cerchar aşındırıcılık deney aleti.....	55
Şekil 2.21.	Bakır II örneğinde kullanılan uç görülmektedir .....	56
Şekil 3.1.	Düzeltilmiş nokta yük ve dolaylı çekme dayanımı parametreleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki .....	60
Şekil 3.2.	Ölçülen ve hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 1:1 çizgisi üzerindeki dağılımı.....	61
Şekil 3.3.	Schmidt çekici geri sıçrama değeri ve katsayısı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	62
Şekil 3.4.	Farklı bağıntılar yardımı ile Schmidt çekici geri sıçrama değerinden hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı değerleri.....	63
Şekil 3.5.	Kırılgenlik değerinin tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı ile ilişkisi .....	64
Şekil 3.6.	Kırılgenlik değerinin kırılgenlik indeksleriyle ilişkisi .....	66
Şekil 3.7.	Kırılgenlik değerinin kırılgenlik indeksiyle ilişkisi .....	66
Şekil 3.8.	Dolaylı çekme dayanımı ve düzeltilmiş nokta yük dayanımının Mikro-Deval aşınma değeri üzerindeki etkisi .....	67

Şekil 3.9.	Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı ve geri sıçrama değerinin Mikro-Deval aşınma değeri üzerindeki etkisi .....	67
Şekil 3.10.	Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı ve geri sıçrama değeri arasındaki ilişki.....	67
Şekil 3.11.	Teorik olarak spesifik enerjinin kesme derinliği ile değişimi .....	70
Şekil 3.12.	Kesme kuvveti ile kayacın birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki.....	71
Şekil 3.13	Normal kuvvet ile kayacın birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki.....	72
Şekil 3.14.	Spesifik enerji ile kayacın birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki.....	72
Şekil 3.15.	Normal kuvvet ile kayacın görünür porozitesi arasındaki ilişki .....	73
Şekil 3.16.	Spesifik enerji ile kayacın görünür porozitesi arasındaki ilişki .....	73
Şekil 3.17.	Kesme katsayısı ile kayacın görünür porozitesi arasındaki ilişki .....	74
Şekil 3.18.	Kesme kuvveti ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	74
Şekil 3.19	Normal kuvvet ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	75
Şekil 3.20.	Spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	75
Şekil 3.21.	Cerchar aşındırıcılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	76
Şekil 3.22.	Kesme katsayısı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	76
Şekil 3.23.	Kesme kuvveti ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	77
Şekil 3.24.	Normal kuvvet ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	77
Şekil 3.25.	Kesme kuvveti ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki.....	78
Şekil 3.26.	Normal kuvvet ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki.....	78
Şekil 3.27.	Spesifik enerji ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki.....	79
Şekil 3.28.	Cerchar aşındırıcılık indeksi ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki .....	79
Şekil 3.29.	Kesme katsayısı ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki.....	80
Şekil 3.30.	Kesme kuvveti ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki....	80
Şekil 3.31.	Normal kuvvet ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki....	81
Şekil 3.32.	Spesifik enerji ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki.....	81
Şekil 3.33.	Cerchar aşındırıcılık indeksi ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki .....	82
Şekil 3.34.	Kesme katsayısı ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki..	82
Şekil 3.35.	Kesme kuvveti ile normal kuvvet arasındaki ilişki .....	85
Şekil 3.36.	Kesme kuvvet ile spesifik enerji arasındaki ilişki.....	86
Şekil 3.37.	Kesme kuvveti ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki .....	86
Şekil 3.38.	Normal kuvvet ile spesifik enerji arasındaki ilişki.....	87

Şekil 3.39.	Normal kuvvet ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki .....	87
Şekil 3.40.	Spesifik enerji değeri ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki .....	88
Şekil 3.41.	Spesifik enerji değeri ile 5 mm için düzeltilmiş spesifik enerji arasındaki ilişki .....	88
Şekil 3.42.	Hesaplanan Spesifik enerji ile ölçülen spesifik enerji değeri arasındaki ilişki .....	91
Şekil 3.43.	Hesaplanan kesme kuvveti ile ölçülen kesme kuvveti değeri arasındaki ilişki .....	91
Şekil 3.44.	Hesaplanan normal kuvvet ile ölçülen normal kuvvet değeri arasındaki ilişki .....	92
Şekil 3.45.	Hesaplanan Cerchar aşındırıcılık indeksi ile ölçülen Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki .....	92
Şekil 3.46.	Cerchar aşındırıcılık indeksi ile keski sarfiyatı ilişkisi .....	95
Şekil 3.47.	Evans (1962) bağıntısına göre hesaplanan kesme kuvvetiyle ölçülen kesme kuvvetinin dağılımı .....	97

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Üç ayrı kazı yönteminin 3-4 m. çaplı galeri kazısında karşılaştırılması .....	8
Tablo 1.2. Tasarım parametrelerinin etki ettiği değişkenler .....	19
Tablo 1.3. Ağır kısmi cepheli galeri açma makinelerinin spesifik enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi .....	27
Tablo 1.4. Orta ağırlıktaki kısmi cepheli galeri açma makinelerinin spesifik Enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi .....	27
Tablo 2.1. Kayaç ve cevherlerin alındıkları yerler .....	34
Tablo 2.2. Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneylerinin sonuçları .....	38
Tablo 2.3. Görünür porozite ve boşluk oranı deneylerinin sonuçları .....	40
Tablo 2.4. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması .....	40
Tablo 2.5 Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin sonuçları ve dayanım sınıfları .....	41
Tablo 2.6. Dolaylı çekme (yarmada çekme) dayanımı deneyinin sonuçları .....	43
Tablo 2.7. Kayaçların nokta-yükü indeksine göre sınıflandırılması .....	44
Tablo 2.8. Deneyin toplu sonuçları .....	45
Tablo 2.9. Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) deneylerinin sonuçları .....	48
Tablo 2.10. Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı (Q) deneylerinin sonuçları .....	48
Tablo 2.11. Mikro-Deval deneyinin sonuçları .....	49
Tablo 2.12. Kırılmalık ( $S_{20}$ ) deneyinin sonuçları .....	51
Tablo 2.13 Kazı deneyi sonrası elde edilen spesifik enerji değerleri .....	55
Tablo 2.14. Cerchar aşındırıcılık sınıflandırması .....	56
Tablo 2.15. Cerchar aşındırıcılık deneyinin sonuçları .....	57
Tablo 3.1. Fiziksel deneylerin toplu sonuçları .....	59
Tablo 3.2. Mekanik deneylerin toplu sonuçları .....	59
Tablo 3.3. Mekanik deneylerin toplu sonuçları .....	60
Tablo 3.4. Farklı bağıntılar yardımıyla Schmidt çekici geri sıçrama değerinden tek eksenli basınç dayanımı tahminleri .....	63
Tablo 3.5. Farklı kırılmalık değerlerinin toplu sonuçları .....	65
Tablo 3.6. Farklı değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin korelasyon katsayıları ve güven aralıkları matrisi .....	68

Tablo 3.7.	Kazılabilirlik deneylerinin toplu sonuçları.....	71
Tablo 3.8.	Farklı değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin korelasyon katsayıları (r) ve güvenilirlik aralıkları matrisi.....	83
Tablo 3.9.	Farklı değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin korelasyon katsayıları ve güven aralıkları matrisi.....	89
Tablo 3.10.	Kazılabilirlik parametrelerinin hesaplanabilmesi için önerilen bağıntılar .....	93
Tablo 3.11.	Teorik ve ölçülen kesme kuvvetleri .....	96

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Konik Başlıkların Temas Noktalarından Geçen Örneğin En Küçük Kesit Alanı
ASTM	: American Standarts for Testing and Materials
BHA	: Birim Hacim Ağırlık
BI	: Kırılgenlık İndeksi
BI2	: Kırılgenlık İndeksi 2
BI3	: Kırılgenlık İndeksi 3
C	: Malzeme Sabiti
CAI	: Cerchar Aşındırıcılık İndeksi
CC	: Çimentolanma Katsayısı
CI	: Koni Delici Değeri
d	: Kesme Derinliğı
d <sub>1</sub>	: Aşındırıcı Minerallerin Ortalama Tane Çapı
D	: Örnek Çapı
D <sub>e</sub>	: Eşdeğer Çap
e	: Boşluk Oranı
F'C	: Ortalama Pik Kesme Kuvveti
FC	: Ortalama Kesme Kuvveti
F'N	: Ortalama Pik Normal Kuvveti
FN	: Ortalama Normal Kuvvet
F	: Yenilme Yüğü
F <sub>1</sub>	: Düzeltme Faktörü
GAM	: Kollu Galeri Açma Makinesi
HRC	: Rockwell Sertliğı
I <sub>s</sub>	: Düzeltilmemiş Nokta-Yüğü İndeksi
I <sub>50</sub>	: Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanımı
ISRM	: Uluslar arası Kaya Mekaniğı Cemiyeti
k	: Plastisite Değeri
LAD	: Laboratuvar Aşınma Değeri
MDA	: Mikro-Deval Aşınma Değeri



N.C.B.	: İngiliz Kömür İdaresi
NX	: 54 mm Çaplı Karotiyer
n	: Görünür Porozite
PIK	: Pasa İrilik Katsayısı
Q	: Schmidt Çekici Geri Sıçrama Katsayısı
Q <sub>1</sub>	: Aşındırıcı Minerallerin Eşdeğer Kuvars Yüzdesi
Q <sub>2</sub>	: 1 km Kazıda Oluşacak Pasa Hacmi
QC	: Kuvars İçeriği
r	: Korelasyon Katsayısı
R	: Schmidt Çekici Geri Sıçrama Değeri
R <sub>1</sub>	: Maksimum Kesme Kuvvetlerinin Ortalamasıyla Kesme Kuvvetlerinin Ortalamasının Oranı
R <sup>2</sup>	: Determinasyon Katsayısı
S	: Kesmeler Arası Mesafe
SE	: Spesifik Enerji
SE <sub>5mm</sub>	: 5 mm Kesme Derinliği İçin Spesifik Enerji Değeri
SE1	: Küçük boyutlu kazı setinden elde edilen 5 mm kesme derinliğindeki spesifik enerji değeri
SE3	: Tam boyutlu kazı setinden elde edilen 9 mm kesme derinliğindeki spesifik enerji değeri
SH	: Shore Sertliği
S <sub>20</sub>	: Kırılmalık
t	: Örnek Kalınlığı
TAM	: Tünel Açma Makinesi
V	: Örnek Hacmi
V <sub>v</sub>	: Boşlukların Hacmi
W	: Keski Genişliği
W <sub>s</sub>	: Doygun Ağırlık
W <sub>d</sub>	: Kuru Ağırlık
σ <sub>t</sub>	: Çekme Dayanımı
α	: Kesme Açısı
β	: Temizleme Açısı
Φ	: Uç Açısı

$\theta$	: Kayaç Sökülme Açısı
$\sigma_c$	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
$\sigma_s$	: Kayacın Kesme Dayanımı
$\gamma$	: Kayaç ile Keski Arasındaki Sürtünme Açısı
$\phi$	: Kayacın İçsel Sürtünme Açısı
$\rho$	: Kayaç Yoğunluğu

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

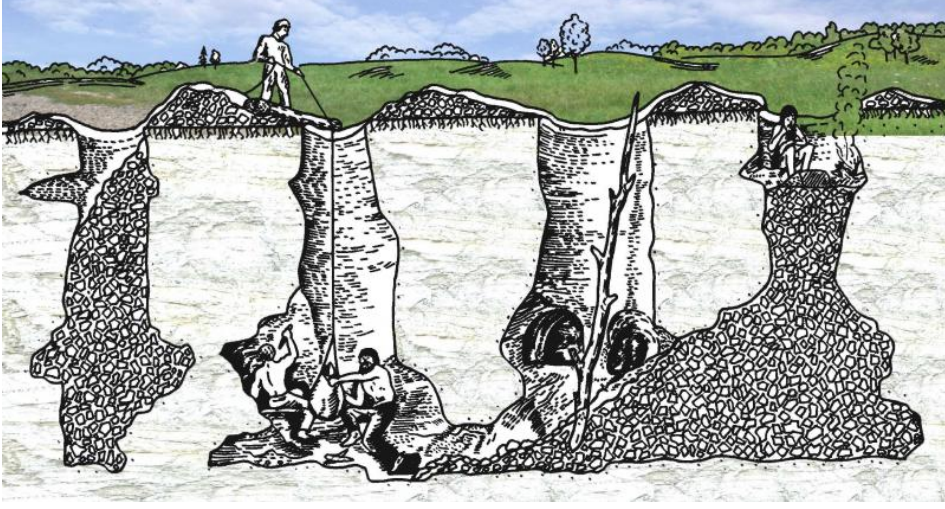
Gelişen ve büyümeye hızlı bir şekilde devam eden sanayinin hammadde ihtiyacı artarak devam etmektedir. Artmakta olan bu ihtiyacın karşılanması için bütün hammaddelerin asıl kaynağı olan madencilikte üretim hızı da büyük önem kazanmaktadır. Madencilik sektörü üretim hızının artmasının yollarından biri mekanize kazıdır. Mekanize kazı uygun formasyonlarda delme patlatma yöntemine nazaran daha hızlı ve güvenli bir üretim sağlamaktadır. Delme patlatmanın delik delme aşaması da her ne kadar mekanize kazı sınıfına da girse, işin patlatma kısmı hem güvenlik açısından hem de yerüstü yapıları açısından sorun teşkil etmektedir.

Makine ile kazı keski şeklindeki uçların kayacı parçalaması esasına dayanmaktadır (Bilgin, 1989). Mekanize kazı madencilik sektörünün yanında inşaat sektöründe de kullanılan önemli bir yöntemdir. Ülkemizde maden ve inşaat alanında yapılan yer altı kazıları önemli bir yer tutmaktadır. Buna istatistiksel bir örnek vermek gerekirse Türkiye de yaklaşık olarak senede farklı türlerde 140 km tünel açılmaktadır. Bunlar; maden galerileri, başyukarılar, kuyular, hidroelektrik projeleri, yeraltı depoları, karayolu, metro, kanalizasyon ve sulama tünelleri örnek olarak verilebilir (Bilgin vd., 2000). Bundan dolayı Türkiye'deki bu üretim ve kazı ihtiyacının güvenli, hızlı ve düşük maliyetli olarak sağlanabilmesi için mekanize kazının klasik yöntemlerinin yerini alması gerekmektedir.

Kazı yapacak makinenin performansı ve kazılacak formasyonun kazılabilirliğinin önceden tahmini mekanizasyonun ana konusu olmaktadır. Bu tahminleri yapmanın birtakım metotları vardır. Bu metotlar ileride ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

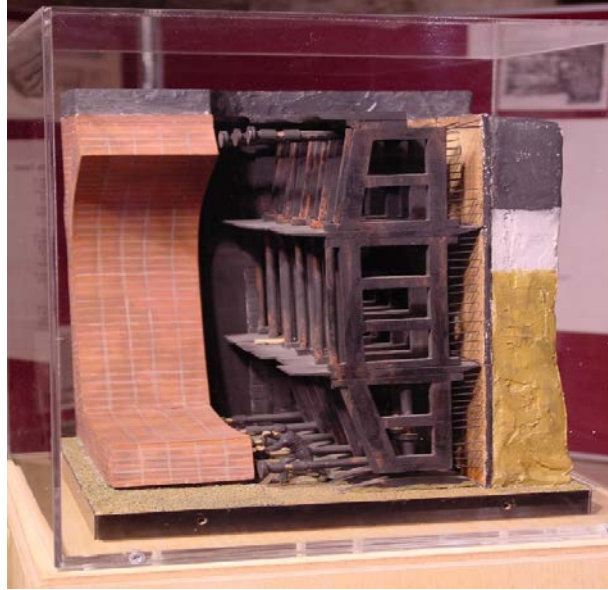
### **1.2. Mekanize Kazının Gelişimi ve Önemi**

Geçmişten günümüze kadar insanoğlu sürekli kazı işleriyle uğraşmıştır. Bilinen ilk madencilik faaliyetinin M.Ö. 300.000-100.000 yılları arasında başladığı ileri sürülmektedir (Lacy ve Lacy, 1992). Bu dönemdeki madencilik faaliyetlerinin çakmaktaşı üretimi üzerine olduğu bilinmektedir. Şekil 1.1'de Belarus'ta bulunan örnek bir çakmaktaşı madeni görülmektedir. Şekilde görülen kuyuların derinliği 2,5-3 m arasında değişmekteydi.



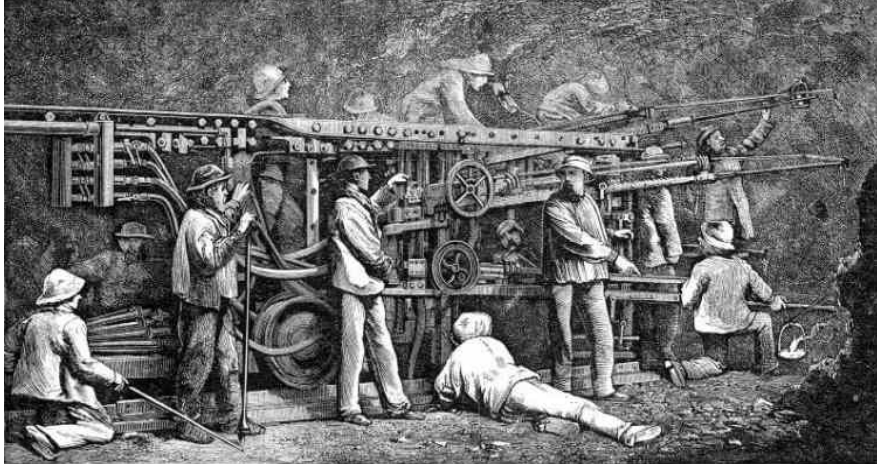
Şekil 1.1. Belarus'ta bulunan çakmaktaşı madeni (URL-1, 2013).

Modern tam cepheli tünel açma makinelerinin ilk örneklerinden biri olan makine Thames tüneli kazısında kullanılan Marc Isambard Brunel tarafından imal edilen tünel şiltidir (Baugust, 2006). Tünel 1825 yılında inşa edilmeye başlanmıştır. Tünel su altına açıldığından dolayı şilt imal edilmiştir. Tünel açma makinelerine örnek teşkil etmesine rağmen şildin çalışma mekanizması insan gücüne dayanmaktaydı (URL-2, 2013). Şekil 1.2'de Thames Tüneli'nde kullanılan tünel açma şildinin British Museum'da bulunan bir maketi görülmektedir.



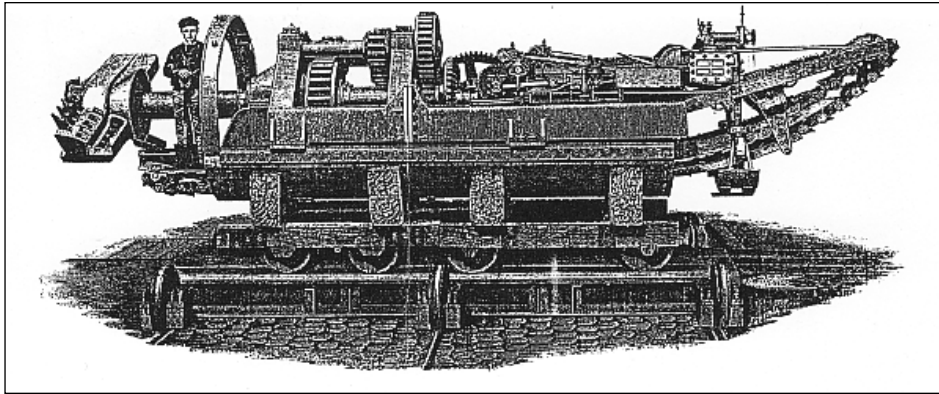
Şekil 1.2. Thames Tüneli'nde kullanılan tünel şiltinin maketi (URL-2, 2013).

İlk mekanize kazının örneklerinden birisi ise Mont Cenis Tüneli kazısıdır. Tünel kazısı sırasında Mühendis Germain Someillers'in imal ettiği pnömatik kaya delgi makinesi kullanılmıştır (Şekil 1.3). Makine basınçlı hava ile çalışmaktaydı ve 6 bar basınç üretebilmekteydi. Ayrıca kazı işlemi dayanımı yüksek formasyonda gerçekleştirilmiştir (URL-3, 2013).



Şekil 1.3. Mont Cenis Tüneli için imal edilen pnömatik delgi makinesi (URL-3, 2013).

Kesip parçalama esasına dayanan mekanize tünel açma makinelerinin ilkinin Albay Beaumont tarafından Manş Denizi'nin altında açılacak tünelde kullanılmak üzere 1882 tarihlerinde tasarlandığı ve uygulamaya konulduğu bilinmektedir (Bilgin vd., 1988). Şekil 1.4'te Manş Tüneli için imal edilen tünel açma makinesi görülmektedir.



Şekil 1.4. Manş Tüneli'nin kazısı için imal edilen kazı makinesi (URL-4, 2013).

İlk kollu galeri açma makinesinin patenti 1949 yılında Dr. Z. Ajtay tarafından Macaristan'da alınmıştır (Schneider, 1988). Kollu galeri açma makineleri kesici kafanın dönme eksenine göre ikiye ayrılmaktadır (bun eksenine paralel ve bun eksenine dik). Kazı işlemi tambur şeklindeki kesici kafaya yerleştirilmiş olan keskiyer yardımcı gerçekleştirilmektedir. Günümüzde kollu galeri açma makineleri inşaat ve madencilik sektörlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.5'te kesici kafa dönme eksenini bun eksenine dik bir kollu galeri açma makinesi (roadheader) görülmektedir.



Şekil 1.5. Kazı esnasında bir kollu galeri açma makinesi (URL-5, 2013).

Sürekli kazıcıya benzeyen ilk makine 1870 yılında English Channel Machine tarafından üretildi. Modern anlamda üretilen ilk sürekli kazıcı 1943 yılında Amerikalı Harold Silver tarafından üretilmiştir (URL-6, 2013). Sürekli kazıcı (continuous miner), kollu galeri açma makinesi gibi kısmi cephe kazı yapmaktadır. Kazdığı formasyona ait kayaların basınç dayanımı 60 MPa'a kadar çıkmaktadır. Günümüzde kömür ve tuz gibi sedimanter ve dayanımı düşük kayalarda kullanılabilirler. Şekil 1.6'da kömür kazısı yapan bir sürekli kazıcı görülmektedir.



Şekil 1.6. Kömür kazısı yapan bir sürekli kazıcı (URL-7, 2013).

James Robbins isimli mühendis 1956 yılında, kalem kesikler yerine döner disklerin kullanılma fikrini ortaya atmıştır. Toronto'daki bir uygulamada günde 38 m'lik ilerleme gerçekleşmiştir. Bu uygulama, tünel açma makinelerinin (TAM) yumuşak ve orta sert kayalarda ekonomik olarak kullanılabileceğinin ilk göstergesi olmuştur (Çınar ve Feridunoğlu, 1994). Şekil 1.7'de Melen Boğaziçi Tüneli'nde çalışan tünel açma makinesi görülmektedir.



Şekil 1.7. Melen Boğaziçi Tüneli'nde çalışan tünel açma makinesi (TAM)

1950'li yıllara kadar günümüzde kullanılan mekanize kazı sistemlerinin temelleri atılmıştır. Ancak çok uzun zaman boyunca kazı makineleri kaya yenilme mekanizması bilinmeden imal edilmiştir (Roxborough, 1985). 2. Dünya Savaşı sonrası ortaya çıkan hammadde ihtiyacı sonucu özellikle Almanya ve İngiltere kömür üretimi için hızlı kazı yöntemleri geliştirme ihtiyacı duymuşlardır. 1950'lerin sonunda kömür kazısında makinelerin yoğun olarak kullanılması sonucunda, kazı sırasında birtakım sorunlarla karşılaşmıştır ve bunun üzerine bazı araştırmacılar kazı mekaniğinin anlaşılması üzerine çalışmalar yapmaya başlamıştır (Pomeroy, 1958, Evans, 1962, Roxborough, 1973, Nishimatsu, 1972 ve McFeat-Smith ve Fowell, 1976 ).

Kazı mekaniği gelişmesini kömür madenciliğine borçludur. Alman kömür sabanlarının ilk olarak 1948 de İngiltere'ye girişi ve Anderson kesici yükleyicilerinin 1948'de imali ile kazı mekaniğinde gelişim yeni bir aşamaya girmiş ve karşılaşılan büyük zorluklar İngiliz kömür idarelerine bağlı bir kazı mekaniği grubunun kurulmasına sebep olmuştur. Bu grup kazı mekaniği biliminin gelişmesine büyük katkı sağlamıştır (Bilgin, 1989).

Mekanize kazı yöntemlerinde, klasik kazı (delme ve patlatma) işlemlerinden farklı olarak, kazı işlemi uygun makineler yardımı ile yapılmaktadır. Klasik kazı ve mekanize kazı yöntemleri, hem tünel açmada hem de yeraltı maden işletmeciliğinde, birçok faktöre (jeolojik, çevresel vb) bağlıdır. Delme ve patlatma en fazla tercih edilen klasik kazı yöntemidir ve mekanize kazıya karşı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Mekanize kazı yönteminin klasik delme patlatma yöntemine göre üstünlükleri ve sakıncaları şu şekilde sıralanır (Bilgin, 1989) :

#### Üstünlükleri

- İş ve işçi sağlığı ve güvenliği
- Yeryüzünün minimum düzeyde etkilenmesi
- Daha az tahkimat gereksinimi
- Sürekli kazı
- Daha az titreşim
- Havalandırma gereksiniminin daha düşük olması
- Standart pasa boyutu sayesinde nakliyat kolaylığı
- Otomasyonel kontrol ile uyumu
- Seçici madenciliğe izin vermesi
- Cevher üretiminde yüksek verim



Sakıncaları;

- Keski maliyeti
- Yüksek ilk yatırım maliyeti
- Kolay taşınabilir ve esnek olmayışı
- Kazıya geçiş süresinin uzun oluşu
- Kalifiye eleman gereksinimi

Bütün bu faktörler göz önünde tutulduğunda, uzun tünel ve galeri uygulamalarında tam cepheli ya da kısmi cepheli galeri açma makinelerinin kullanılmasının maliyetler açısından daha uygun olduğu belirlenmiştir. 1979 yılında yapılan bir çalışmaya göre delme patlatma ile açılan 3 km'lik bir tünelin ilave tahkimat maliyeti tüneli kazmak için gereken kollu galeri açma makinesinin fiyatına eşit olabilmektedir (McFeat-Smith ve Fowell, 1979). Tablo 1.1'de 3-4 m çapındaki galeriler için farklı kazı yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

### **1.3. Laboratuarda Kazılabilirlik Tayini**

Kayaçların kazılabilirliği genellikle spesifik enerji (SE) ile tarif edilir. Spesifik enerji ise birim hacimdeki kayacı kazmak için gereken enerji olarak tanımlanabilir ve birimi kWh/m<sup>3</sup> veya MJ/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmaktadır. Kazılabilirlik tayininin yapılabilmesi için kayacın aşındırıcılığı ile spesifik enerji değerinin birleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü, aşındırıcılığı düşük olan bir kayacı kazabilmek için gerekli enerji yüksek olabileceği gibi bu durumun tam terside mümkündür (McFeat-Smith ve Fowell, 1979). Spesifik enerjinin laboratuarda belirlenmesinin üç yolu vardır:

- Tam boyutlu kazı deneyi
- Küçük boyutlu kazı deneyi (karot kesme)
- Ampirik yöntemler

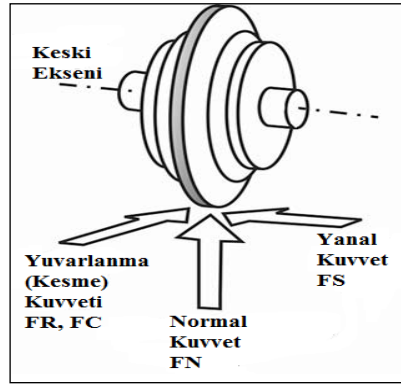
Bu yöntemlerin dışında kazılabilirliğin yerinde tayinine yönelik farklı uygulamalarda bulunmaktadır. Ancak yerinde kazılabilirlik yöntemlerine tez kapsamında değinilmeyecektir.

Tablo 1.1. Üç ayrı kazı yönteminin 3-4 m. çaplı galeri kazısında karşılaştırılması (McFeat-Smith ve Fowell, 1979'den alıntılan Hekimoğlu ve Fowell, 1988).

ÖZELLİKLER		DELME VE PATLATMA	Galeri Açma Makinesi (GAM)	Tünel Açma Makinesi
İlk yatırım maliyeti		Düşük	Düşük	Yüksek
İşletme maliyeti		Yüksek	Düşük	Orta derecede
Tipik ilerleme (100 saat)	Normal koşullarda	50 m/hafta	70 m/hafta	130 m/hafta
	Çok faylı koşullarda	30 m/hafta	35 m/hafta	0-35 m/hafta
Montaj	Ekipman teslim süresi	1 Ay	2 Ay	12 Ay
	Yerinde montajı	2 Hafta	2 Hafta	6 Hafta
	Kapsadığı boşluk	Sınırlama yok	Genellikle galeri çapı boyutunda	Galeri boşluğundan 1,5-3 kat daha fazla
	Viraj alma	Sınırlama yok	90°'lik dönüş yapabilir	10°-20° arası dönüşler
	Çalışma eğimi	Bütün eğimlerde	14°'ye kadar	10°'ye kadar
	Galeri şekli	Bütün şekillerde	Genellikle bütün şekillerde	Dairesel şekillerde
Uygulamaları		Bütün kayalarda	Kayacın sertlik ve aşındırıcılığına bağlı	Bütün kavaclarda
Madencilik uygulamaları		Normal kazı yöntemi	Seçimli üretime uygun. Karmaşık şekilli ana yollar.	Yalnızca uzun galerilerin açımında
Galeri çevresinde oluşan kırıklar		Yüksek	Düşük	Düşük
Galeri çevresinde fazladan boşluk açılması		Yüksek	Düşük	Düşük
Arına ve makineye ulaşabilme rahatlığı		İyi	İyi	Orta-Çok zayıf
Tahkimat	Miktarı	Yüksek olabilir	En az	En az
	Yapıldığı yer	Arın	Arın	Arının 3-12m gerisinde
	Tipi	Her tip	Her tip	Şatkrit sınırlı olarak kullanılır.
Faylı ortamlarda		Belli bir sınırlama yok.	Belli bir sınırlama yok.	Bazı makineler pasa alımı ve
Kayaç stabilitesinin etkisi		Ana bir etkisi yok.	Ana bir etkisi yok.	Çok etkili.
Galeri geometrisinin esnekliği		Genellikle sınırsızdır.	Çalışma sınırları içerisinde devamlı değişebilir.	Değiştirilemez
<p><b>Değerlendirme:</b> Tablo incelendiğinde aşağıda belirtilen önemli noktalara dikkat çekilmiştir.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• İlk yatırım maliyeti en yüksek olan yöntem (TAM) tam cepheli tünel açma yöntemidir.</li> <li>• İlerleme hızı en yüksek yöntem tam cepheli tünel açma yöntemidir.</li> <li>• GAM dışındaki yöntemler her çeşit formasyona uygulanabilmektedir.</li> <li>• Tam cepheli tünel açma makinelerinin madencilikte uygulama alanı sınırlıdır.</li> <li>• En yüksek tahkimat gereksinimi delme-patlatma yönteminde olmaktadır.</li> </ul>				

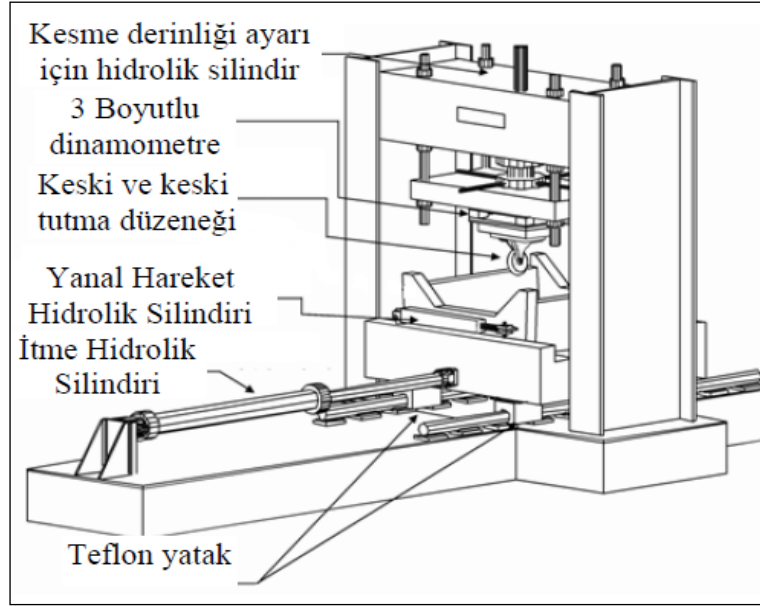
### 1.3.1. Tam Boyutlu Kazı Deneyi

Tasarım ve performans tahmininin en iyi tayin yöntemlerinden birisi tam boyutlu kazı deneyidir. Bu deney seti ile herhangi bir tam boyutlu keski ( disk, kama, kalem ucu, vs ) benzetilmiş arazi şartlarında, 1m x 1m x 0,6 m. boyutlarına kadar kayaç numunelerinin kesilmesi ve buna bağlı olarak da kesilebilirlik özellikleri belirlenebilmektedir. Bilgisayar destekli bir veri toplama sistemi ve bir alüminyum dinamometre yardımı ile keskilere kesme yönüne dik 50 ton, kesme istikametine paralel 30 ton ve yanal istikamette 10 ton'a kadar keski kuvvetleri ölçülebilmektedir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Keskiye etkiyen üç boyuttaki kuvvetler (Gertsch ve Özdemir, 1991'den değiştirilerek).

Deney seti, kesme derinliği, keski arası mesafe, kesme hızı ve keskiyle kayacın birbirlerine göre durumlarını değiştirmeye uygundur. Tam boyutlu kesme deneyleri, belirli bir kayaç formasyonu için en uygun keski tipinin, kesici kafa dizaynının, bu formasyonda verimli çalışabilecek makine türü ile güç-tork-baskı ihtiyacının belirlenmesine ve bu makinenin performansının optimizasyonu ve önceden tahmininin yapılmasına imkân sağlamaktadır. Seçilen makinede en uygun kesme derinliği ve keski arası mesafenin belirlenmesi kesme enerjisinin kayaca en verimli şekilde transferini sağlamakta ve ilerleme hızını arttırmaktadır. Birçok mekanize kazı sisteminde kesilen parçaların boyutu veya toz oluşumu tüm uygulamanın değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Yapılan kesme deneylerinde açığa çıkan kayaç parçaları toplanmakta, elenmekte ve sonuçlar kazı verimi açısından yorumlanmaktadır. Şekil 1.9'da tam boyutlu kazı setinin şematik görünümü görülmektedir (URL-8, 2013).



Şekil 1.9. Tam boyutlu kazı setinin şematik görünümü (Feridunoğlu ve Bilgin , 2010).

Tam boyutlu kazı setinin en büyük dezavantajları maliyetli bir deney olması ve dünyada sadece birkaç laboratuarda bulunmasıdır. Maliyeti yaratan en büyük etki büyük kaya bloklarının deneyde kullanılmasıdır. Bu numunelerin hem elde edilmesi, hem de araştırma merkezine ulaştırılması büyük maliyetlere sebep olmaktadır. Bu deney aleti başta İstanbul Teknik Üniversitesi Kazı Teknolojileri ve Maden Makineleri Laboratuvarı ve Colorado School of Mines Earth Mechanics Institute olmak üzere sayılı araştırma merkezinde bulunmaktadır. Şekil 1.10'da İstanbul Teknik Üniversitesi'nde bulunan tam boyutlu kazı seti görünmektedir.

Bu deneyde spesifik enerji (SE) tayini, FC kazı sırasında kaydedilen kesme kuvvetlerinin ortalamasının, 1 km kazıda oluşacak pasa hacmine (Q) bölünmesiyle yapılmaktadır.

$$SE = \frac{FC}{Q_2} \quad (1.1)$$

Burada;

SE = Spesifik enerji, MJ/m<sup>3</sup>,

FC = Ortalama kesme kuvveti, kN,

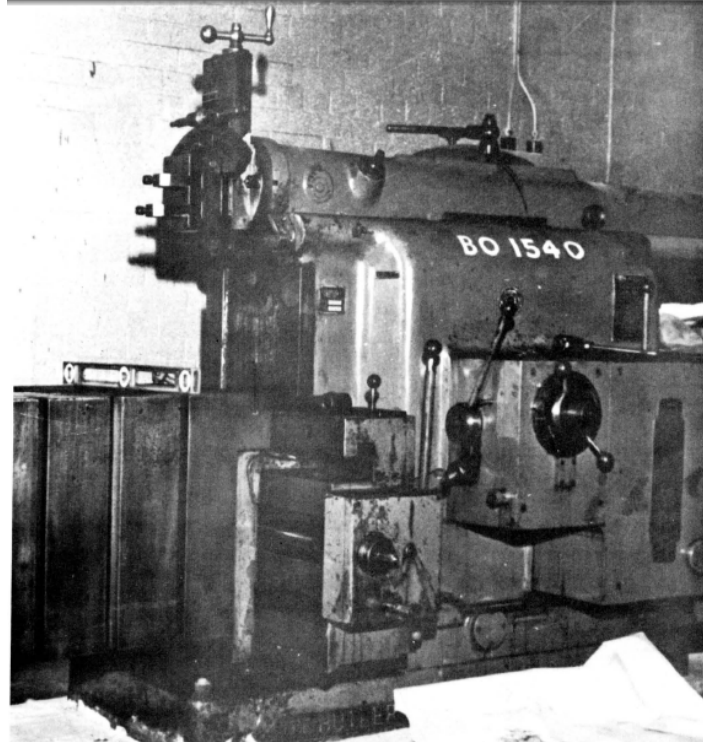
Q<sub>2</sub> = 1 km kazıda oluşacak pasa miktarı, m<sup>3</sup>/km'dir.



Şekil 1.10. İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan tam boyutlu kazı seti (URL-8, 2013).

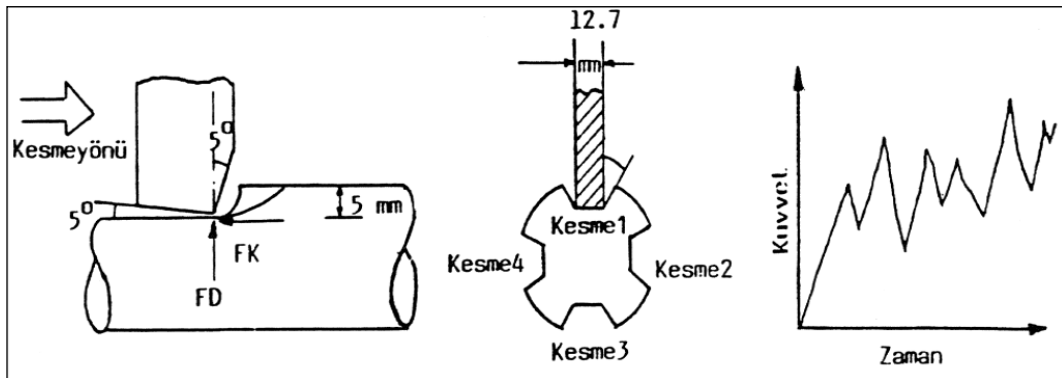
### 1.3.2. Küçük Boyutlu Kazı Deneyi

Bu deney aletinin ilk modeli (Şekil 1.11) Frank Roxborough tarafından İngiltere’de geliştirilmiştir (Roxborough ve Philips, 1974). Deney seti herhangi bir kayacın kazılabilirliğini doğrudan tayin etmek için geliştirilmiştir. Küçük boyutlu kazı deneyi Uluslararası Kaya Mekaniği Cemiyeti (ISRM) tarafından standart kazı deneyi olarak önerilmiştir. Deneyde 76 mm veya daha küçük çaplı karot numuneleri veya 20 cm x 10 cm x 10 cm boyutlarında blok numune kesilebilmektedir. Numune sabitlendikten sonra kesme açısı  $-5^{\circ}$ , temizleme açısı  $5^{\circ}$  ve genişliği 12,7 mm olan kama uçlu keski ile 5 mm kesme derinliğinden kazı yapılmaktadır (McFeat-Smith ve Fowell, 1977’den alıntılan, Bilgin ve Shahriar, 1988).



Şekil 1.11. Roxborough tarafından geliştirilen küçük boyutlu kazı seti (Bilgin, 1977).

Kesme sırasında oluşan kuvvetler gerilimölçer ile donatılmış dinamometre ile bilgisayara kayıt edilir. Tam boyutlu kazı deneyinde olduğu gibi kayıt edilen kesme kuvvetlerinin ortalaması birim kesme hattından çıkan pasaya bölünerek spesifik enerji bulunur. Şekil 1.12’de kesme deneyinin şartları ve oluşumu görülmektedir.



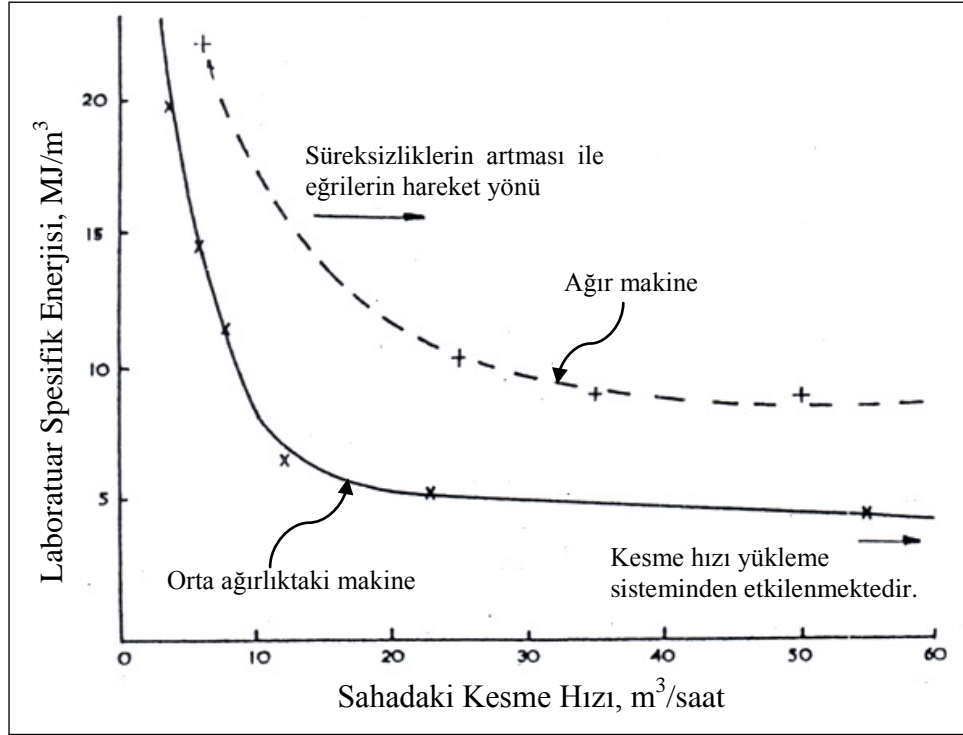
Şekil 1.12. Kesme deneyi şartları ve kuvvet oluşumu (Bilgin ve Shahriar, 1988).

Bu deneyin başlıca dezavantajları arasında tam boyutlu kazı deneyine nazaran daha düşük olsa da maliyetli olmasıdır. Ayrıca deneyin uzun zaman alması ve kullanılan kayaç numunesinin kayaç kütlesi içindeki belirsizlikleri taşımaması önemli dezavantajlarından sayılabilir. Tam boyutlu kazı deneyi gibi küçük boyutlu kazı seti sınırlı sayıda mevcuttur. Örneğin Şekil 1.13’de görülen İstanbul Teknik Üniversitesi Kazı Teknolojileri ve Maden Makineleri Laboratuvarı’nda bulunan küçük boyutlu kazı seti bunlara örnek verilebilir.



Şekil 1.13. İstanbul Teknik Üniversitesi’nde bulunan küçük boyutlu kazı seti (URL-9, 2013).

Küçük boyutlu kazı deneyinin kazılabilirlik tayininde doğrudan kullanılabilmesi için Mc Feat-Smith ve Fowell tarafından birtakım çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, laboratuvarda yapılan küçük boyutlu kesme deneyleri yardımı ile kollu galeri açma makinelerinin sahadaki kesme hızlarının tahminine yönelik olarak Şekil 1.14’teki grafiği oluşturmuşlardır (McFeat-Smith ve Fowell, 1977). Oluşturulan grafik masif kaya kütleleri için oluşturulmuştur. Süreksizliklerin artmasıyla grafik sağa doğru kaymaktadır, yani kazı hızı artmaktadır.



Şekil 1.14. Sahadaki kesme hızlarının laboratuvar kesme deneylerinden tahmin edilmesi için oluşturulan grafik (McFeat-Smith ve Fowell, 1977).

### 1.3.3. Ampirik Yöntemler

1970'lerden günümüze kadar kazı setlerinin bulunmadığı durumlarda spesifik enerjinin hesaplanabilmesi için araştırmacılar kayaçların farklı özelliklerinden faydalanmaya çalışmışlardır. Bu bölümde bütün çalışmalara değinilmeyecek yalnızca bir tane örnek verilecektir. McFeat-Smith ve Fowell'in 1979 yılında yaptıkları çalışmada laboratuvar spesifik enerjisinin ampirik olarak hesaplanabilmesi için 2 farklı bağıntı önermişlerdir. (McFeat –Smith ve Fowell, 1979).

$$SE = -4,38 + 0,14 CI^2 + 3,3 \sigma_c^{1/3} + 0,000018SH^3 + 0,0057CC^3 \quad (1.2)$$

$$SE = -0,65 + 0,41 CI^2 + 1,81 k^{1/3} \pm 2,6 \quad (1.3)$$

Burada;

SE = Spesifik enerji, MJ/m<sup>3</sup>,

CI = Koni delici değeri,

k = Plastisite değeri,

$\sigma_c$  = Basınç dayanımı, MPa,



SH = Shore sertliği,

CC = Numunenin çimentolanma derecesidir.

Kayaçların kazılabilirliklerinin ampirik formüller yardımı ile dolaylı yoldan tahminine yönelik bir örnek, Beypazarı bölgesi kayaçlarının kazılabilirlik tayininin yapılmasına yönelik olan bir çalışmadır. Bu çalışmada söz konusu bölgedeki kayaçların kazılabilirlik analizi 1.2 no'lu bağıntı yardımı ile yapılmıştır (Bölükbaşı, 1984).

#### 1.3.4. Aşındırıcılık Tayini

Kazılabilirlik tayini yapılırken spesifik enerji değerı ile birlikte kayacın aşındırıcılığı da hesaba katılmalıdır. Çok sert ve aşındırıcı formasyonlarda keski sarfiyatı kazı maliyetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle tünel fizibilite çalışmaları sırasında, keski sarfiyatını önceden belirlemek, önemli olmaktadır. Bu iş için ise laboratuarda kayaçların Cerchar veya Schimazek aşındırıcılık indeksleri bulunmalıdır (Bilgin, 1994).

Cerchar aşındırıcılık indeksi Şekil 1.15'te görülen aletle ölçülür. Mengeneye sıkıştırılan numunenin 70 N'luk bir bastırma kuvveti ile örnek üzerinde yaklaşık bir saniye sürede 1 cm çekilmekte ve uçta oluşan aşınma yüzeyi örneğin aşındırıcılığını vermektedir. Kullanılan ucun Rockwell Sertliği (HRC) 55'e eşit olmalıdır ve ayrıca ucun sivriltilme açısı 90° olmalıdır. Çekilen uç mikroskop altında incelenir ve uçtaki körelme ölçülür. Uçtaki her 1/10 mm'lik körelme 1 birim Cerchar'a eşit olur.



Şekil 1.15. Cerchar aşındırıcılık cihazı

Schimazek aşınma indeksi ise aşağıdaki bağıntı ile hesap edilebilmektedir (Bilgin, 1994).

$$F = \frac{Q_1 d_1 \sigma_t}{100} \quad (1.4)$$

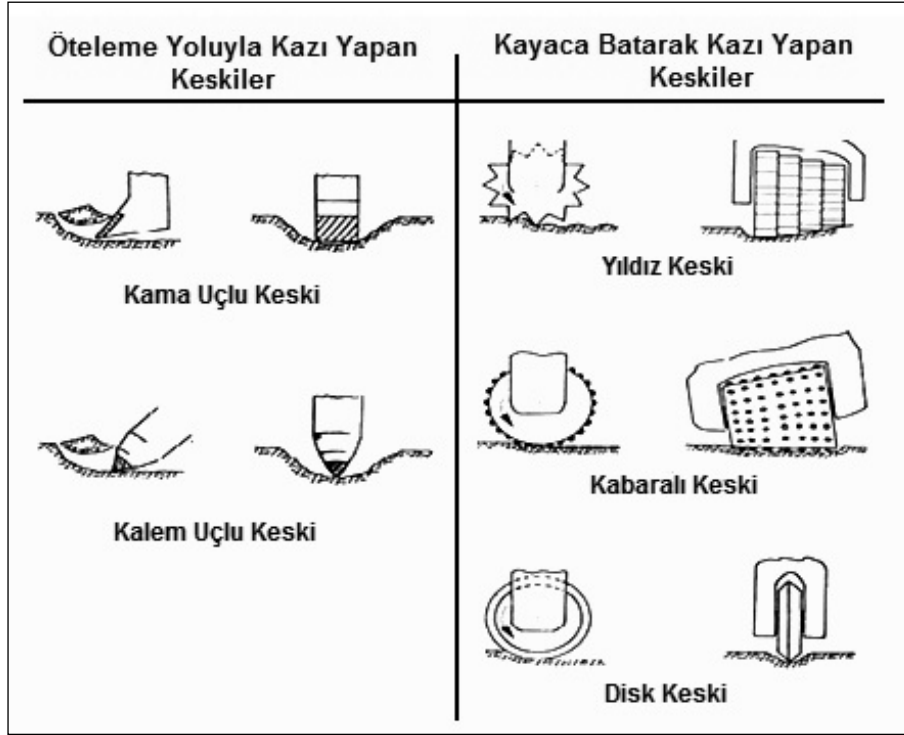
Burada;

- F = Schimazek aşındırıcılık indeksi, kg/m,  
 Q<sub>1</sub> = Aşındırıcı minerallerin eşdeğer kuvars yüzdesi, %,  
 σ<sub>t</sub> = Kayacın çekme dayanımı, kg/cm<sup>2</sup>,  
 d<sub>1</sub> = Aşındırıcı minerallerin ortalama tane çapı, cm'dir.

#### 1.4. Kesme Teorileri ve Keski ile Kazı

Mekanize kazının en önemli unsurlarından bir tanesi kesici kafada kullanılan keskilere dir. Mekanize kazıda kullanılan keskilere, kayaca batarak kazı yapanlar (indenters, roller cutters) ve öteleme yoluyla kazı yapanlar (drag bits) olarak iki ana grup altında toplanabilir. Batarak kazı yapanlara disk keskilere, kabarıklı keskilere (button cutters) ve yıldız keskilere (toothed cutters) örnek verilebilir. Ötelemeyle kazı yapanlara ise kama uçlu keskilere (wedge cutters) ve kalem uçlu (point attack cutters) keskilere örnek verilebilir (Şekil 1.16).

Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda hangi keskinin daha verimli kazı yaptığını, hangi dayanım ve jeomekanik parametrelerde hangi keskilere ile çalışılabileceğini irdeleyen çalışmalar yapmışlardır (Bilgin, 1977) . Genel bir bilgi vermek gerekirse dayanımı yüksek ve aşındırıcılık özelliği fazla olan kayalarda disk keskilere kullanılabilir. Nispeten dayanımı düşük ve aşındırıcılığı az olan kayalarda ise kalem ve kama uçlu keskilere kullanılabilir (Roxborough, 1976).

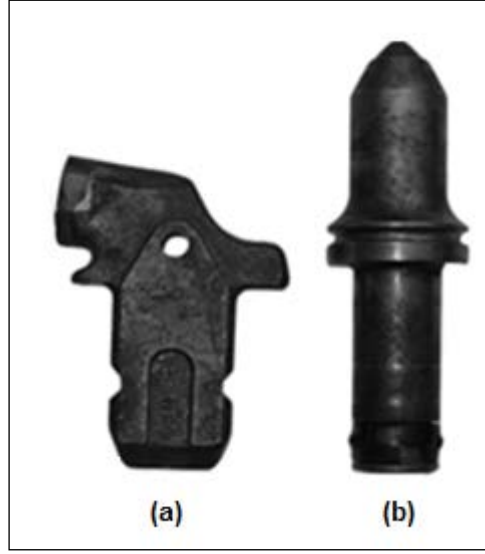


Şekil 1.16. Keski türleri (Roxborough ve Rispin, 1973'den değiştirilerek).

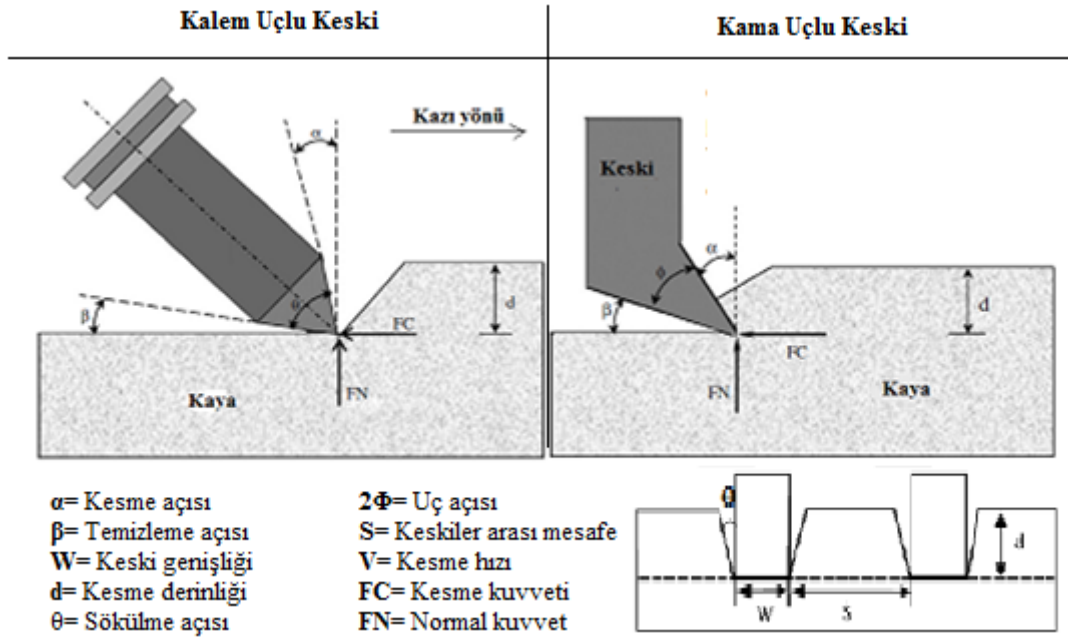
Araştırmacılar ayrıca kazı yapacak makinenin en önemli tasarım parametreleri arasında bulunan tork ve itme gücü değerlerini belirlemek için keskilere gelen kazı doğrultusunda ve kazı doğrultusuna dik kuvvetleri teorik olarak bulmak için çalışmalar yapmışlardır. 1950'lerin başında, birkaç ülkede kömür kazısı yapan keskilere etkiyen kesme kuvvetleri üzerine bazı deneysel araştırmalar yapmışlardır. Operasyonel parametrelerin ve kömür damarlarının dayanımının kesme kuvveti üzerine etkisi birtakım yazarlar tarafından, özellikle de kazı makinesinin tasarımı ve işletimi açısından tartışılmıştır (Pomeroy, 1964). Çalışmada yalnızca kama ve kalem uçlu keski tanımlanacak ve araştırmacıların onlarla ilgili teorik ve deneysel çalışmalarına yer verilecektir.

#### 1.4.1. Kama ve Kalem Uçlu Keskiler

Bu tür keski, kesici yükleyicilerde, kömür sabanlarında ve kollu galeri açma makinelerinde kullanılırlar. Tam cepheli tünel açma makinelerinde (TAM) ise uygun koşullarda kama uçlu keski kullanılabilir. Şekil 1.17'de kama uçlu ve kalem uçlu keski görülmektedir. Bunların temel tasarım değişkenleri Şekil 1.18'de verilmiştir.



Şekil 1.17. Kama (a) ve kalem uçlu (b) keski (Yılmaz vd., 2007).



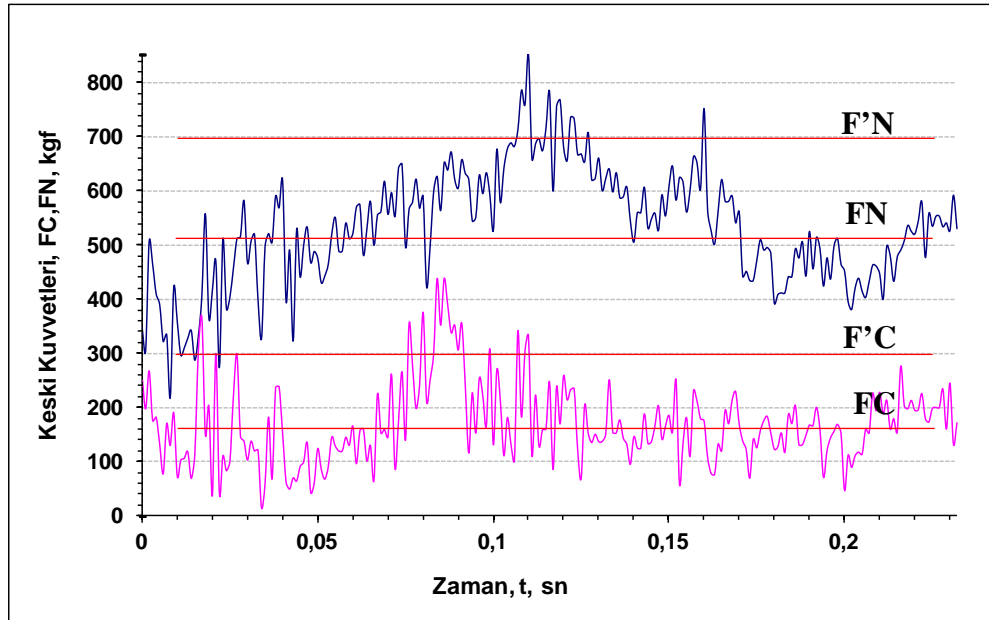
Şekil 1.18. Kama ve kalem uçlu keski tasarım değişkenleri (Yılmaz vd., 2007'den değiştirilerek).

Keskilere gelen kuvvetler Şekil 1.19'daki gibi değişmektedir. Kayaçtan bir parça kopana kadar keski kuvveti artmakta, parça koştuktan sonra azalmakta sonra tekrar artmaktadır. Bu tüm kesme boyunca devam eder. Maksimum kuvvetlerin ortalaması pik kuvvetleri, eğrinin altındaki alan ise ortalama kuvvetleri verir. Tasarım parametrelerinin

kesme performansı üzerindeki etkileri aşağıdaki değişkenlerle belirlenir (Bilgin, 1989). Tablo 1.2’de keski genişliği ve kesme derinliği vb. gibi tasarım parametrelerinin etki ettiği değişkenler verilmiştir.

Tablo 1.2. Tasarım parametrelerinin etki ettiği değişkenler

Sembol	Değişken	Açıklama
F’C	Ortalama Pik Kesme Kuvveti	Kesme istikametinde keskiye gelen maksimum kuvvetlerin ortalaması, kN
FC	Ortalama Kesme Kuvveti	Kesme istikametinde keskiye gelen tüm kuvvetlerin ortalaması, kN
F’N	Ortalama Pik Normal Kuvveti	Kesme istikametine dikey gelen maksimum kuvvetlerin ortalaması, kN
FN	Ortalama Normal Kuvvet	Kesme istikametine dikey gelen tüm kuvvetlerin ortalaması, kN
$\theta$	Kayaç Sökülme Açısı	Şekil 1.18’de tariflenmiştir
Q	Pasa	Birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa hacmi
SE	Spesifik Enerji	Birim hacimdeki kayası kesmek için gerekli enerji, MJ/m <sup>3</sup>
PIK	Pasa İrilik Katsayısı	Kazının verimliliğini belirten boyutsuz bir sayı. Elenen pasanın kümülatif ağırlıklarının toplamıdır



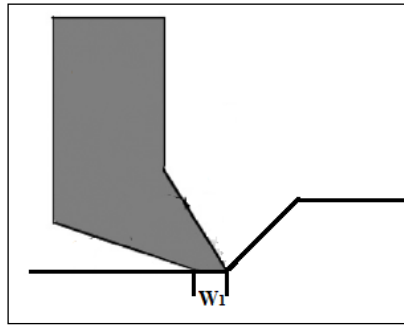
Şekil 1.19. Keskiye gelen normal ve kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi

Kesme kuvvetinin normal kuvvete oranı kazı mekaniği açısından önem teşkil etmektedir. Kesme/yuvarlanma kuvvetinin normal kuvvete oranına kesme katsayısı (cutting coefficient) adı verilmektedir. Bu oran mekanize kazıda önemli bir yere sahiptir, bu oran arttıkça kazı makinesinin tork ihtiyacı da artmaktadır (Gertsch ve Özdemir, 1991). Bu oran teorik olarak genelde 2 alınmaktadır. Ancak bu değer keskinin körelmesiyle değişmektedir.

$$\frac{F'C}{FC} = \frac{F'N}{FN} = \frac{FC}{FN} = 2$$

#### 1.4.2. Kama ve Kalem Uçlu Keskinin Aşınmaları

Keskinin aşınmaları bir kazı işinin maliyetini önemli ölçüde etkileyebilir. Bazı durumlarda ise keski masrafları tüm kazı maliyetinin yarısına ulaşabilmektedir. Basit kama uçlu keski kazıya başladıktan bir süre sonra kesilen kayacın özelliğine bağlı olarak aşınacak ve ucunda Şekil 1.20'de görüldüğü gibi bir aşınma yüzeyi meydana gelecektir. Bu durumda normal kuvvet kesme kuvvetine oranla daha hızlı artmakta, maksimum kuvvetlerin ortalama kuvvetlere oranı ise düşmektedir, spesifik enerjinin ise birkaç misli artmaktadır (Bilgin, 1989).



Şekil 1.20.  $W_1$  körelme yüzeyi

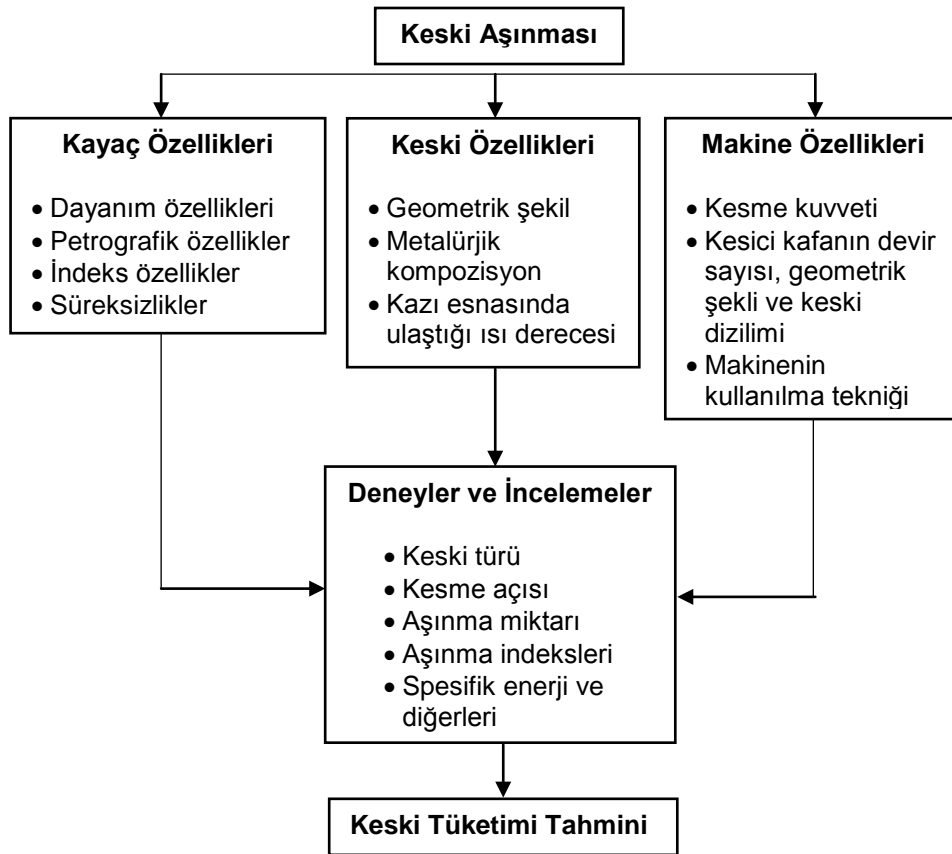
Aşınmamış bir keskinde;

$$\frac{F'C}{FC} = \frac{F'N}{FN} = \frac{FC}{FN} = 2$$

Aşınmış bir keski için  $W_1 \approx 3 \text{ mm}$ ;

$$\frac{F'C}{FC} = \frac{F'N}{FN} = 1,66 \frac{FC}{FN} = 0,66$$

Kalem uçlu keski, kama uçlu keskiyle farklı olarak kendi yuvalarında dönebilmektedir. Bu dönüş hareketleri kendi kendilerini bilemelerine yardımcı olur ve bu sayede keskinin ömrü artmaktadır. Şekil 1.21'de keski üzerindeki aşınmayı etkileyen faktörler görülmektedir. Keski aşınmasını kontrol eden parametreler üçe ayrılmaktadır. Bunlar; kayaç özellikleri, keski özellikleri ve makine özellikleridir. Keski aşınmasını kontrol eden bu parametreler göz önünde bulundurularak deneysel çalışmalar sonucunda keski tüketimi önceden tahmin edilebilmektedir.



Şekil 1.21. Kazı makinelerinde keski aşınmasını etkileyen faktörler (Arı, 1992).

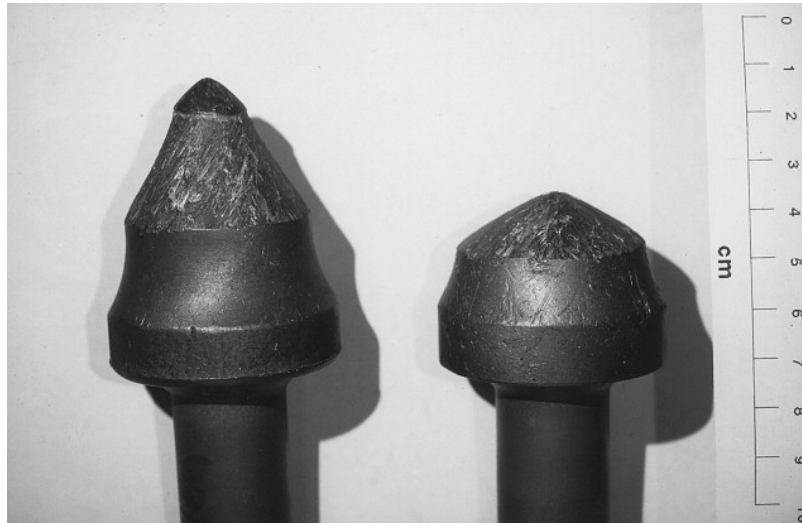
Kazıcı uçlardaki aşınma mekanizması şu şekilde olmaktadır: Kazıcı uç kayaç ile temas ettiğinde yüzeyden belirli bir derinlikte kayaçta bir kırım çatlak oluşarak küçük bir parça koparak ayrılır. Uç kesme yönünde ilerlemeye devam eder ve bu arada kesici uç kayaç ile temastadır. Yeni bir çatlak oluşur ve yeni bir parça kopar ve kazı hareketi bu

şekilde devam eder. Kaya yüzeyi ile uç devamlı temas halinde olup sürtünme vardır. Netice olarak uç metalinin sıcaklığı artar ve bu etkiler ile uçta aşınma olur (Altınoluk, 1989).

Kayaçları kazıcı uç ile keserken birkaç çeşit aşınma mekanizması görülebilir, (Osborn, 1969). Bunların başlıcaları:

- Sürtünme ile aşınma (abrasiv)
- Mikro parçaların kopması
- Termal yorulma ve termal şok
- Darbe (impact) ile hasar ve tamamen parçalanma

Keski aşınmalarında değişik tip mekanizmalar aynı anda etkili olabilir. Ancak en fazla olan diğerlerini maskeler. Tatbikatta bir tür aşınmayı azaltmak genellikle bir başka tür aşınmanın ortaya çıkmasına neden olabilir (Altınoluk, 1989). Şekil 1.22’de kalem uçlu keskilerde sürtünme ile aşınmanın bir örneği görülmektedir.



Şekil 1.22. Kalem uçlu keskilerde sürtünme ile aşınmaya bir örnek (Grima ve Verhoef, 1999).

### 1.4.3. Kesme Teorileri

#### 1.4.3.1. Evans Yaklaşımı

İlk kaya kesme teorisi İngiliz Kömür İdaresi Araştırma Merkezi’nde, Evans tarafından ortaya atılmıştır (Evans, 1962 ve 1972’den alıntılan Bilgin, 1989). Evans’a



göre kesme, kayacın çekme dayanımının yenilmesiyle olmaktadır. Sonradan yapılan laboratuvar çalışmaları, kayaç ile keski arasındaki sürtünme katsayısı göz önüne alınmadığında, bu teorinin kömür ve orta sert kayaçlarda gerçeğe yakın değerler verdiğini ortaya koymuştur (Roxborough, 1973'den alıntılan Bilgin, 1989).

Evans'ın kama uçlu keski için geliştirdiği formül;

$$F'C = \frac{2\sigma_t dw \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)}{1 - \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)} \quad (1.5)$$

$$S = \frac{w}{2} \left[ 1 + \left(1 + \frac{20}{k^2}\right) \frac{1}{2} \right] \quad (1.6)$$

Burada;

$F'C$  = Maksimum kesme kuvveti, kgf,

$\sigma_t$  = Kayacın çekme dayanımı, kg/cm<sup>2</sup>,

$d$  = Kesme derinliği, cm,

$W$  = Keski genişliği, cm,

$\alpha$  = Kesme açısı,

$S$  = Keski arası optimum mesafe, cm,

$k$  =  $W/d$ 'dir.

Kalem uçlu keski için (Evans, 1984a ve 1984b'den alıntılan Bilgin, 1989);

$$F'C = \frac{16.\pi.\sigma_t^2.d^2}{\cos^2 \frac{\phi}{2}.\sigma_c} \quad (1.7)$$

$$S = 2.d.\sqrt{3} \quad (1.8)$$

Burada;

$2\phi$  = Uç açısı,

$\sigma_c$  = Kayacın basınç dayanımı, kg/cm<sup>2</sup>'dir.

#### 1.4.3.2. Merchand-Potts-Shuttleworth Yaklaşımı

Bu yaklaşım Merchand'ın metal kesme teorisi esasına dayanmaktadır. Potts ve Shuttleworth bu teoriyi kömür kesme için değiştirmiş, Roxborough ve Rispin ise bu

yaklaşımın daha çok tebeşir taşı gibi su aldığında plastik özellik gösteren kayalarda doğru neticeler verdiğini göstermiştir (Potts ve Shuttleworth,1959 ve Roxborough ve Rispin, 1973'den alıntılaman Bilgin, 1989).

$$F'C = \frac{\sigma_s \cdot d \cdot w \cdot \text{Cos}(\gamma - \alpha)}{\text{Sin}\phi \cdot \text{Cos}(\phi - \gamma - \alpha)} \quad (1.9)$$

Burada;

$\sigma_s$  = Kayacın kesme dayanımı,  $\text{kg/cm}^2$ ,

$\gamma$  = Kayaç ile keski arasındaki sürtünme açısı,

$\phi$  = Kayacın içsel sürtünme açısıdır.

#### 1.4.3.3. Nishimatsu Yaklaşımı

Nishimatsu'nun yaklaşımı temelde Merchand metal kesme teorisine dayanır (Nishimatsu, 1972'den alıntılaman Bilgin, 1989). Sert kayalarda gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir (Bilgin, 1989).

$$F'C = \frac{2 \cdot \sigma_s \cdot d \cdot w \cdot \text{Cos}(\gamma - \alpha) \cdot \text{Cos}\phi}{(n + 1) \cdot (1 - \text{Sin}(\phi - \gamma - \alpha))} \quad (1.10)$$

$$n = 12 - \frac{\alpha}{2} \quad (1.11)$$

Buradaki notasyon önceki bölümlerde verilenle aynıdır.

#### 1.5. Yapılan Çalışmalar

Literatür araştırmasında daha önce farklı araştırmacılar tarafından bu konuda yapılan çalışmalara yer verilecektir. Kazılabilirlik ile kayacın mekanik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkilere ilk örnek Evans'ın (1962) çekme dayanımının yenilmesine dayanan kömür kesme teorisidir. Bu teoride Evans spesifik enerjinin parametrelerinden biri olan kesme kuvveti (FC) ile çekme dayanımını ( $\sigma_t$ ) ilişkilendirmiştir.

Nishimatsu (1972) teorisinde Merchand'ın metal kesme teorisinden esinlenerek kesme kuvveti (FC) ile kayacın kesme dayanımını ( $\sigma_s$ ) ilişkilendirmiştir.

Roxborough ve Rispin (1973) su almış plastik özellik gösteren tebeşir taşı üzerinde kesme deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerin sonucunda boyutsuz bir değer olan pasa irilik katsayısı (coarseness index) ile spesifik enerji arasında ters orantılı bir ilişki elde etmiştir. Roxborough ve Rispin (1973)'e göre kazılan pasanın boyutu ne kadar büyükse o kadar verimli kazı yapılmış olmaktadır.

Roxborough (1973) bir diğer çalışmasında Evans (1962) teorisinin temel yenilme modelinin özelliklerini kullanarak spesifik enerjiyi (SE) şöyle formüle etmiştir;

$$SE = \frac{F'C}{R_1 \cdot (W \cdot d + d^2 \cdot \tan \theta)} \quad (1.12)$$

Burada;

SE = Spesifik enerji, MJ/m<sup>3</sup>,

F'C = Maksimum kesme kuvvetlerinin ortalaması, kN,

R<sub>1</sub> = Maksimum kesme kuvvetlerinin ortalamasıyla kesme kuvvetlerinin ortalamasının oranı,

W = Keski genişliği, cm,

d = Kesme derinliği, cm,

$\theta$  = Kayacın sökülme açısıdır.

Fowell ve McFeath-Smith (1976) yayınında, sahada yaptığı ölçümlerde çatlak indeksi ile (break index) spesifik enerji arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu öne sürmüştür.

McFeath-Smith ve Fowell (1979) çalışmasında spesifik enerji ve keski sarfiyatını kayacın fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilişkilendirmiştir. Spesifik enerjiyi N.C.B. koni delici değeri (CI) ve plastisite indeksi (k) ile formüle etmiştir. Laboratuardaki aşınma değerini ise Shore sertliği (SH), çimentolanma katsayısı (CC) ve kuvars içeriği (QC) ile formüle etmiştir.

$$SE = -0,65 + 0,41 CI^2 + 1,81 k^{1/3} \pm 2,6 \quad (1.13)$$

$$LAD = 0,55 + 4,25SH^3 \times 10^{-5} - 1,88SH^2 \times 10^{-3} + 1,98CC^3 \times 10^{-3} + 1,2QC^3 \times 10^{-6} \pm 0,3 \quad (1.14)$$

Burada;

SE = Spesifik enerji, MJ/m<sup>3</sup>,

CI = Koni delici değeri,

k = Plastisite değeri,

LAD = Laboratuvar aşınma değeri, mg/m,

SH = Shore sertliği,

CC = Çimentolanma katsayısı,

QC = Kuvars içeriği, %'dir.

McFeath-Smith ve Fowell (1979), küçük boyutlu kazı deneyinde elde edilen spesifik enerji değeri ile orta ağırlıktaki ve ağır kollu galeri açma makinesinin seçimi için tablolar oluşturmuşlardır (Tablo 1.3 ve 1.4). Bu tablolar uzun yıllar boyunca yapılan araştırmaların sonuçları bir veritabanı olarak derlenerek oluşturulmuştur. Tablolar dikkatle incelendiğinde:

- Laboratuvarda küçük boyutlu kesme deneyi sonucu elde edilen spesifik enerji değeri 32 MJ/m<sup>3</sup>'ten büyük olan kayaçların kollu galeri açma makinesi (GAM) ile kazısı mümkün olmamaktadır.
- Orta ağırlıktaki kollu galeri açma makinelerinin uygulama aralığı 5-20 MJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.
- Ağır kollu galeri açma makinelerinin uygulama aralığı 8-32 MJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.
- En yüksek ilerleme hızı 30 m<sup>3</sup>/saat ile, 8 MJ/m<sup>3</sup> spesifik enerji değerine sahip olan kayaçların ağır kollu galeri açma makinesi ile kazılmasıyla elde edildiği ileri sürülmektedir.

Roxborough ve Pedroncelli (1982), sürekli kazıcıların kömür kazısı üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmalarında yaklaşık olarak 1000 adet kesme deneyi yapmışlardır. Deneylerin sonucunda makinenin torkunun ve itme kuvvetinin kesme derinliğiyle lineer olarak arttığını ve spesifik enerjinin ise düştüğünü kanıtlamışlardır.

Singh (1986), makinenin kömür kazı performansını, kömürün basınç dayanımı ile çekme dayanımının bir fonksiyonu olan kırılgenlik indeksi ile ilişkilendirmiştir. Aynı zamanda Gökten (1991) küçük boyutlu kazı deneyinden elde edilen spesifik enerji değeriyle kırılgenlik indeksini ilişkilendirmiştir.

Tablo 1.3. Ağır kısmi cepheli galeri açma makinelerinin spesifik enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi McFeath-Smith ve Fowell 1979'den alıntılan Bilgin, 1989).

Spesifik Enerji, SE, MJ/m <sup>3</sup>	Ağır Kısmi Cepheli Galeri 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 arınlarda makinanın uygulama alanı zayıftır. Keski aşınması kritiktir. Kalem ucu tipindeki keski tercih edilmeli ve döner kafadaki durumları devamlı kontrol edilmelidir. 9-11 m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /h arasında değişir.
8	İlerleme hızı 30 m <sup>3</sup> /h civarındadır. Uygulama alanı çok iyidir. Bu sınıftaki bir çok çamurtaşı makina tarafından kesilmenin ötesinde ripelenmektedir. Büyük kapasiteli taşıma sistemleri uygulanarak makina verimi artırılabilir.

Tablo 1.4. Orta ağırlıktaki kısmi cepheli galeri açma makinelerinin spesifik enerjiye bağlı kazı performanslarının değişimi McFeath-Smith ve Fowell 1979'den alıntılan Bilgin, 1989).

Spesifik Enerji, SE, MJ/m <sup>3</sup>	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 bozulur.
15	Kesme verimi düşüktür. Saatte 5 m <sup>3</sup> kazı yapılabilir. Keski uçları sık, sık kırılıp parçalanabilir. Aşınmaya başlayan keski hemen değiştirilmesi enerji gereksinimini azaltacaktır. Düşük hızlı kesme motorları ve kalem ucu tipindeki keski uygundur.
12	Makina ilerleme hızı 9-10 m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /h arasında değişir. Verim ortadan iyiye doğru değişim gösterir. Özellikle aşındırıcı kayaçlarda keski devamlı gözlenerek gerektiğinde değiştirilmelidir.
5	Uygulama alanı çok iyi, ilerleme hızları 20 m <sup>3</sup> /h'i bulur. Zayıflık düzlemlerinin çok olduğu çamur taşında makina kesmenin ötesinde ripelme yapmaktadır ve çok yüksek ilerleme hızlarına erişilebilir.

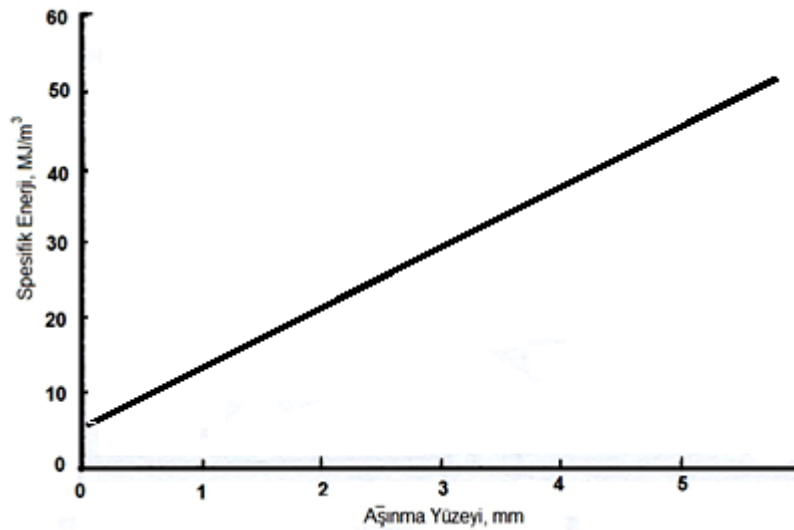
Roxborough (1987), yapmış olduğu geniş çaplı laboratuarda kesme deneyi çalışmasında spesifik enerji (SE) ile tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) arasında lineer bir ilişki elde etmiştir.

1987 yılında Montreal'de Uluslararası Kaya Mekaniği Cemiyeti (ISRM) tarafından düzenlenen toplantıda kayaçların kazılabilirliğinin tayini için yapılması gereken deneyler belirlenmiştir (Şekil 1.23) (Bamford, 1987).



Şekil 1.23. ISRM tarafından önerilen yöntemler

Fowell vd. (1992) çalışmalarında, kayacın kuvars içeriğinin, tane boyutunun ve dayanım özelliklerinin keskideki aşınma yüzeyini arttırdığını ileri sürmüşlerdir. Ayrıca çalışmalarında spesifik enerjinin (Şekil 1.24) ve normal kuvvetin (FN) aşınma yüzeyinin artmasıyla arttığını göstermişlerdir.



Şekil 1.24. Spesifik enerji değerinin aşınma yüzeyi ile değişimi (Fowell vd., 1992'den değiştirilerek).

Rostami (1993), çalışmasında özellikle kömür için spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasında güçlü korelasyonlar olduğunu bildirmiştir.

Deketh vd. (1998), kayaç kesme performansı ile üç eksenli basınç dayanımı deneyinden elde edilen yenilme zarfı arasında korelasyon elde etmeye çalışmıştır.

Bilgin vd. (2000), açılan tünel gerilim altında ise tam boyutlu kazı deneyinden elde edilen spesifik enerji değerinin 1,3 ile çarpılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Çopur vd. (2001), çeşitli kayaç ve cevherleri kapsayan deneylerin sonucunda kayacın çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ), basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) ve bu değerlerin çarpımı ile spesifik enerji değeri arasında anlamlı ilişkiler elde etmişlerdir. Çopur vd. spesifik enerji için şu formülü önermiştir:

$$SE = 0,027.(\sigma_c \cdot \sigma_t) + 0,675 \quad (1.15)$$

Burada;

SE = Spesifik enerji, kWh/m<sup>3</sup>,

$\sigma_t$  = Çekme dayanımı, kg/cm<sup>2</sup>,

$\sigma_c$  = Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm<sup>2</sup> dir.

Altındağ (2003), daha önceki çalışmalarında bir kırılgenlik indeksi tanımlamıştır ve farklı araştırmacıların kazı deneylerinden elde ettikleri ham değerleri tekrar değerlendirerek aralarındaki ilişkiyi incelemiştir. Değerlendirme sonucunda yeni kırılgenlik indeksi ile spesifik enerji değerleri arasında anlamlı ilişkilere ulaşmıştır.

Çopur vd. (2003), uç batırma deneyine dayalı indeks setleri ile kazılabilirlik özelliklerini karşılaştırmıştır. Sonuçta kuvvet indeksi (force index) ile kesme kuvveti (FC), normal kuvvet (FN) ve spesifik enerji arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Öztürk vd. (2004), doku katsayısı (texture coefficient) ile kayacın mekanik, fiziksel ve kazılabilirlik özelliklerini ilişkilendirmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda doku katsayısı ile spesifik enerji arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

Balcı vd. (2004) çalışmalarında kayaç özelliklerinden kollu galeri açma makinesinin performansını belirlemeye yönelik deneyler yapmıştır. Deneysel çalışma sonucunda spesifik enerji ile basınç dayanımı, çekme dayanımı, statik elastisite modülü, dinamik elastisite modülü ve Schmidt çekici sıçrama değerleri arasında anlamlı ilişkiler olduğunu belirtmişlerdir.

Göktan vd. (2005), çalışmasında tek eksenli basınç dayanımı ile normalize edilmiş spesifik enerji ile ( $SE/\sigma_c$ ) aşağıda formülü verilen kırılma indeksi (BI) arasında anlamlı ilişkiler elde etmişlerdir.

$$BI = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} \quad (1.16)$$

Burada;

BI = Kırılma indeksi,

$\sigma_t$  = Çekme dayanımı,  $kg/cm^2$ ,

$\sigma_c$  = Tek eksenli basınç dayanımı,  $kg/cm^2$ 'dir.

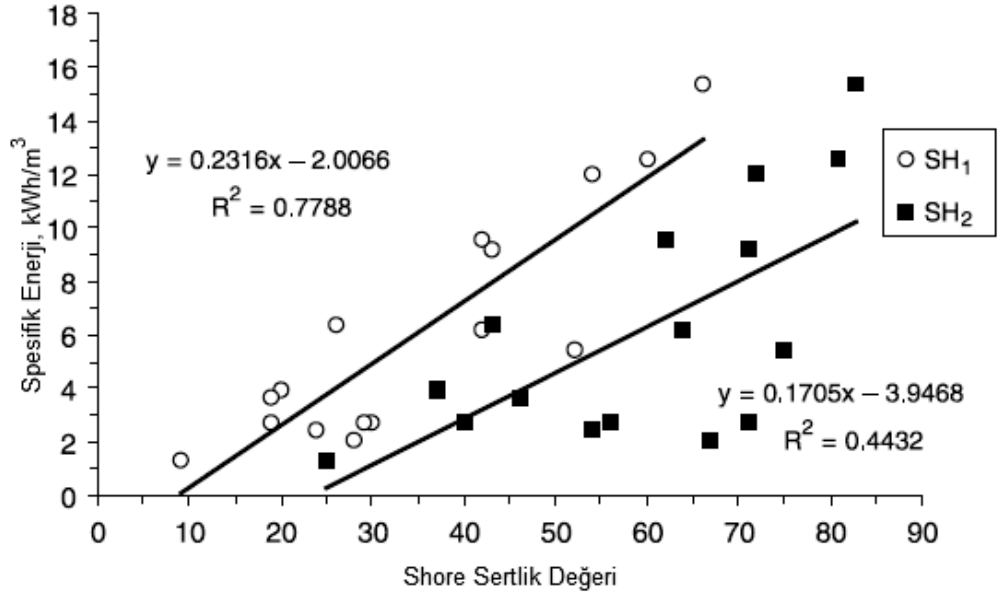
Tiryaki ve Dikmen (2006), kumtaşları üzerinde mekanik, fiziksel ve kazılabilirlik deneyleri yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda spesifik enerji (SE) ile kayacın tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ), Poisson oranı, çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ), Schmidt sertliği, Shore sertliği, yoğunluğu, feldspat içeriği, nokta yük dayanımı ve çimentolanma katsayısı arasında farklı korelasyon katsayılarında ilişkiler bulmuşlardır.

Bilgin vd. (2006), farklı kayaç ve cevherlerden oluşan deney grubuna mekanik ve tam boyutlu kazı setinde kazılabilirlik deneyleri yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda, kesme kuvveti (FC) ve normal kuvvet (FN) ile kayacın mekanik özellikleri arasında ilişkiler bulunmuştur. Aynı ilişkileri spesifik enerji (SE) değişkeni için de elde etmişlerdir. Ayrıca normal kuvveti (FN), kesme kuvvetini (FC) ve spesifik enerjiyi (SE) kayaçların farklı özelliklerinden bulmayı sağlayacak deneysel formüller önermişlerdir.

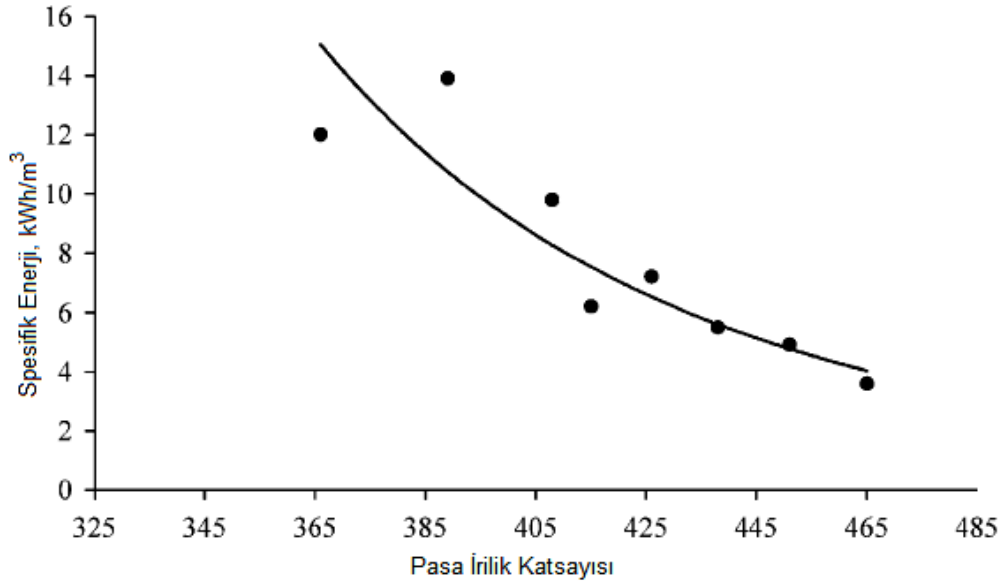
Tümaç vd. (2007), çalışmalarında tam boyutlu kazı deneyinden elde ettikleri spesifik enerji ile Shore sertliği ve deformasyon katsayısı arasında anlamlı ilişkiler bulmuşlardır. Spesifik enerji değerinin Shore sertlik değeri ile değişimi Şekil 1.25'te verilmiştir.

Tunçdemir vd. (2007), yine farklı kayaç ve cevherlerden oluşan deney grubuna tam boyutlu kazı setinde kazılabilirlik deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda boyutsuz bir değer olan pasa irilik katsayısı (coarseness index) ile spesifik enerji (SE) arasında ters orantılı bir ilişki bulmuşlardır. Kartal Kireçtaşı numunesi üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucu oluşturulan spesifik enerji, pasa irilik katsayısı ilişkisi grafiği Şekil 1.26'da gösterilmiştir.





Şekil 1.25. Spesifik enerji değerinin Shore sertlik değeri ile değişimi (Tümaç vd., 2007).



Şekil 1.26. Spesifik enerji değerinin pasa irilik katsayısı ile değişimi (Tunçdemir vd., 2007).

Balcı ve Bilgin (2007), çalışmada çeşitli kayaç ve cevherlerden oluşan deney grubu üzerinde hem tam boyutlu kazı deneyi hem de küçük boyutlu kazı deneyi yapmışlardır ve deney sonuçlarında iki deneyden de çıkan spesifik enerji değerini korole etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak da aşağıdaki formülü önermişlerdir.

$$SE3 = 0,6SE1 + 0,68 \quad (1.17)$$

Burada;

SE3 = Tam boyutlu kazı setinden elde edilen 9 mm kesme derinliğindeki spesifik enerji değeri, MJ/m<sup>3</sup>,

SE1 = Küçük boyutlu kazı setinden elde edilen 5 mm kesme derinliğindeki spesifik enerji değeri, MJ/m<sup>3</sup>, tür.

Tiryaki (2008) çalışmasında, daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen verileri değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda spesifik enerji (SE) ile tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) ve N.C.B. koni delici değeri (CI) arasında güçlü bir korelasyon bulmuştur. Sonuç olarak aşağıdaki formülü önermiştir.

$$SE = 2,15\sigma_c^{0,24} \times CI^{0,68} \quad (1.18)$$

Burada;

SE = Spesifik enerji, MJ/m<sup>3</sup>,

CI = N.C.B. koni delici değeri,

$\sigma_c$  = Tek eksenli basınç dayanımı, MPa'dır.

## 1.6. Tezin Amacı

Kazılabilirlik tayini mekanizasyonun ana konularından bir tanesidir. Kazılabilirlik tayini yapılırken öncelikle formasyonun mekanize kazıya uygunluğu araştırılmaktadır. Formasyonun mekanize kazıya uygun bulunması durumunda, kazı makinesinin seçilmesi gerekmektedir. Makine seçiminin ardından kesici kafa dizaynı yapılmaktadır.

Bu seçimlerin yapılabilmesi için kazılacak formasyonun kazılabilirliğinin araştırılması gerekmektedir. Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi laboratuarda kazılabilirlik tayini üç yöntemle yapılmaktadır. Bunlar; tam boyutlu kazı deneyi, küçük boyutlu kazı deneyi ve ampirik yöntemler. Kazı deneylerinin yapılamadığı koşullarda ampirik yöntemlere başvurulabilmektedir. Araştırmacılar, ampirik yöntemlerde kazılacak kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinden faydalanmaktadırlar.

Bugüne kadar yapılan araştırmalardan farklı olarak bu çalışmada daha önce kullanılan parametrelere ek olarak kırılgenlik ( $S_{20}$ ) ve Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı

(Q) gibi parametrelerle kayaçların ve cevherlerin kazılabilirlik parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Tezin amacını maddeler halinde vermek gerekirse:

- Farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kayaçların ve cevherlerin kazılabilirlik özelliklerinin incelenmesi,
- Kazılabilirlik parametrelerinin dolaylı yoldan tahmin edilemeye çalışılması,
- Kazılabilirlik parametrelerinin kendi aralarındaki ilişkilerin incelenmesidir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında öncelikle kayaç ve cevher numuneleri temin edilmiştir. Kayaç ve cevher numuneleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'na getirilerek örnek hazırlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler fiziksel, mekanik ve kazılabilirlik deneylerine tabi tutulmuştur ve elde edilen veriler analiz edilmiştir. Küçük boyutlu kazı deneyi dışındaki tüm deneyler bölüm bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Kayaç ve Cevher Numunelerinin Temin Edilmesi

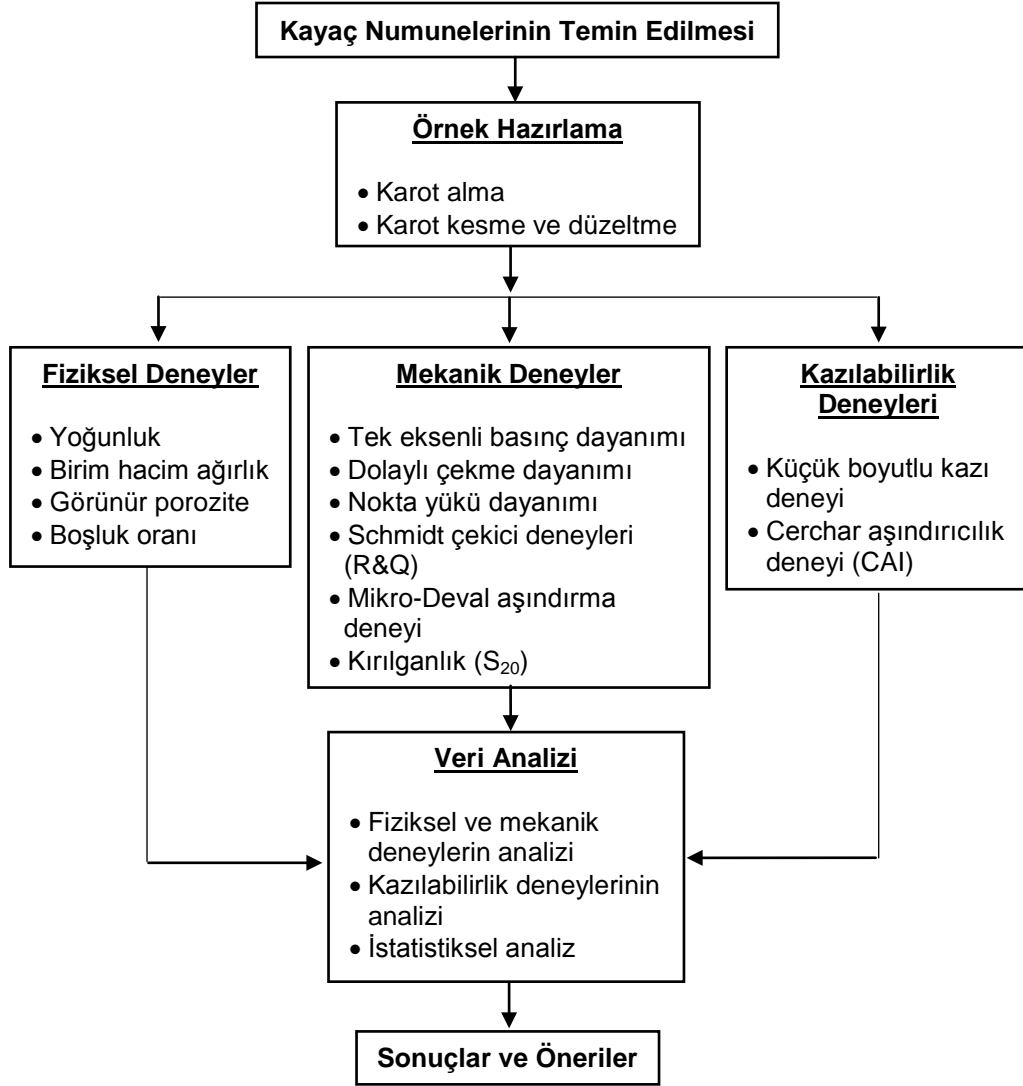
Deneysel çalışmada kullanılan numuneler Doğu Karadeniz Bölgesi'nden Trabzon, Gümüşhane ve Bayburt illerinden alınmıştır. Örnekler herhangi bir metodoloji olmadan, yalnızca farklı fiziksel ve mekanik özelliklerde olmaları arzu edilerek sahadan alınmıştır. Tez kapsamında 11 farklı numune incelenmiş olup, bunların 9 tanesi kayaç 2 tanesi cevherdir. Cevher numunelerinin her ikisi de bakır cevheridir ve bu örnekler bakır I ve bakır II olarak adlandırılmıştır. Bakır I numunesi yüksek tenörlü, bakır II numunesi ise düşük tenörlüdür. Fiziksel ve mekanik deneylerin 11 numunenin tümüne uygulanmış ancak kazılabilirlik deneyinde traverten, andezit ve granit I numuneleri birtakım nedenlerden dolayı kullanılamamıştır. Numune adları ve alındıkları yerler Tablo 2.1'de ve Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Deneysel çalışmanın akım şeması Şekil 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Deney numunelerinin temin edildikleri yerler

Numune Adı	Alındığı Yer
Kireçtaşı I	Gümüşhane
Traverten	Gümüşhane
Andezit	Gümüşhane
Granit I	Gümüşhane
Granit II	Gümüşhane
Bazalt	Gümüşhane
Kumtaşı	Gümüşhane
Kireçtaşı II	Trabzon
Bakır I	Trabzon
Bakır II	Trabzon
Tüf	Bayburt



Şekil 2.1. Numunelerin temin edildikleri yerler



Şekil 2.2. Tez çalışmasının akım şeması

## 2.2. Örnek Hazırlama

### 2.2.1. Karot Alma

Araziden alınan kayaç ve cevher numuneleri karot almak üzere Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'na getirilmiştir. Getirilen numunelerden karot alma makinesiyle uygun boyutlarda karot numuneleri alınmıştır. Karot alma işleminde NX (54,7 mm) çaplı karotiyer kullanılmıştır. Örnek hazırlama süresince yaklaşık olarak 15 m karot alınmıştır. Karot alma işlemi Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Karot alma işlemi

### 2.2.2. Karot Kesme ve Düzeltme

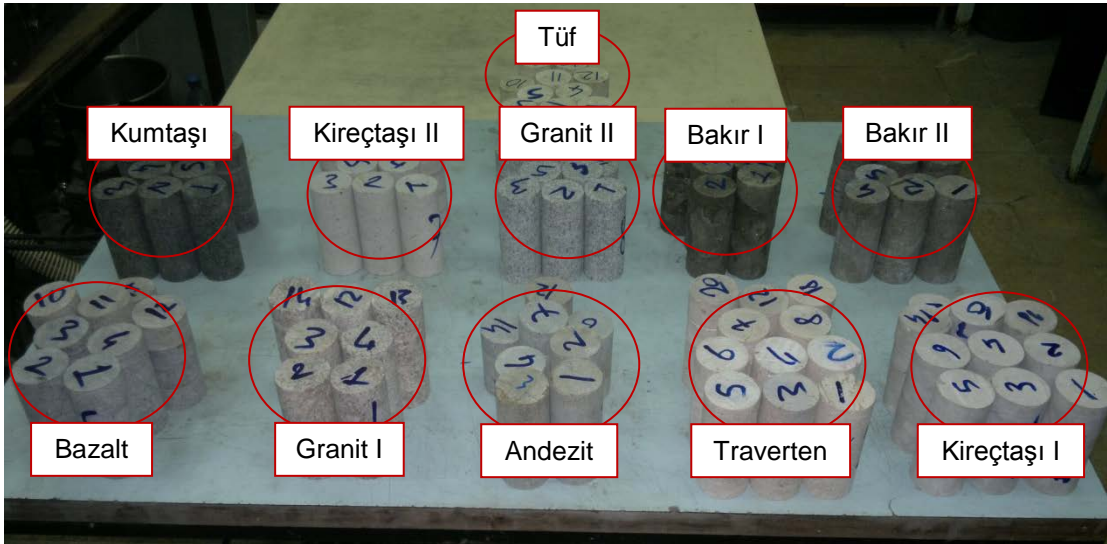
Kaya bloklarından alınan karot örnekleri ileri aşamadaki deneyler için kesilerek hazırlanmıştır. Kesme ve düzeltme makinesi, alınan karotun önce kesilmesini, daha sonra kesilen yüzeylerin düzlenmesini sağlayan bir makinedir (Ulusay vd., 2001). Karot örneği öncelikle mengene ile sabitlenmektedir. Ardından makine çalıştırılmakta ve su yardımı ile karotların iki yüzü kesilmektedir.

Örnekler kesilme işlemi sırasında yüzeyinde eğrilik ve testere izi kalmaması için belli bir ilerleme hızıyla kesilmiştir. Örnek kesme işlemi sonunda farklı boy/çap oranlarında yaklaşık olarak 300 numune hazırlanmıştır. Şekil 2.4'te örnek kesme işlemi görülmektedir.



Şekil 2.4. Karot kesme ve düzeltme işlemi

Kesme ve düzeltme işlemi sonunda tüm örnekler dijital kompas yardımıyla  $10^{-2}$  mm hassasiyetle ölçülmüş ve tüm örnekler kodlanmıştır. Şekil 2.5'te örnek alma ve düzeltme işlemi sonunda örneklerin toplu halde görülmektedir.



Şekil 2.5. Örnek hazırlama işlemi sonrası hazırlanan örneklerin toplu görünümü

## 2.3. Fiziksel Deneyler

### 2.3.1. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Tayini

Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneyi ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Bu deney, düzenli bir geometriye sahip karot veya prizmatik kayaç örneklerinin kütleli yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılmaktadır (Ulusay vd., 2001). Yoğunluk ve birim hacim ağırlık tayininde, tek eksenli basınç dayanımı için hazırlanmış boy/çap oranı 2 ve üstü olan örnekler kullanılmıştır. Her bir kaya numunesi için en az üç örnek kullanılmıştır. Dijital kumpasla  $10^{-2}$  mm duyarlılıkla, örneğin farklı noktalarından ölçülmüş olup, bu ölçümlerin ortalamaları alınmıştır (Şekil 2.6). Daha sonra örnekler  $10^{-2}$  g duyarlılıkta hassas terazide tartılmıştır. Karotun kütlesi, hesaplan daha sonra bulunan yoğunluk değerleri  $9,81 \text{ m/sn}^2$  ile çarpılarak birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Her numune için yapılan ölçümler sonucunda ortalamaları alınmıştır ve standart sapmaları hesap edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 2.2’de verilmiştir. Kayaçların yoğunluğunun  $1,83 \text{ g/cm}^3$  ile  $3,88 \text{ g/cm}^3$  arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 2.2. Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneylerinin sonuçları

Numune Adı	Yoğunluk, $\rho$ , $\text{g/cm}^3$	Birim Hacim Ağırlık, BHA, $\text{kN/m}^3$	En Yüksek Değere Oran, %
Bakır I	3,88	38,12	100
Bakır II	3,39	33,25	87
Kireçtaşı I	2,71	26,59	69
Granit II	2,71	26,59	69
Bazalt	2,67	26,18	68
Granit I	2,62	25,72	67
Kumtaşı	2,59	25,45	66
Kireçtaşı II	2,57	25,21	66
Andezit	2,51	24,62	64
Traverten	2,45	24,03	63
Tüf	1,83	17,99	47

### 2.3.2. Görünür Porozite ve Boşluk Oranı Tayini

Porozite ve boşluk oranı tayini deneyi ISRM (1981) önerdiği şekilde yapılmıştır (Ulusay vd., 2001). Yoğunluk tespiti deneyinde olduğu gibi öncelikle silindirik örneklerin üç boyutu dijital kumpas yardımı ile  $10^{-2}$  mm duyarlılıkta ölçülerek hacimleri bulunmuştur.





Şekil 2.6. Örnek boyutlarının ölçülmesi

Ardından örnekler  $10^{-2}$  g duyarlılıkta hassas terazi ile tartılarak, doğal ağırlıkları ( $W_d$ ) belirlenmiştir. Örnekler etüvde  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 12 saat kurutulmuştur ve kuru ağırlığı belirlenmiştir. Ardından örnekler su dolu bir kabın içinde yaklaşık 1 gün bekletilmiştir, çıkarıldıktan sonra yüzeyi kurutularak tekrar tartılarak doymun ağırlığı ( $W_s$ ) belirlenmiştir. Bulunan değerler ile birlikte arzu edilen sonuçlar aşağıdaki formüller yardımıyla hesap edilmiştir. Porozite değerlerinin % 1,30 ile % 19,68 arasında değiştiği görülmektedir.

$$V_v = \frac{W_s - W_d}{\rho_{su}} \quad (2.1)$$

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (2.2)$$

$$e = \frac{n}{100 - n} \quad (2.3)$$

Burada;

$V_v$  = Boşlukların hacmi,  $\text{cm}^3$ ,

$n$  = Görünür porozite, %,

$e$  = Boşluk oranı,

$V$  = Örnek hacmi,  $\text{cm}^3$ ,

$W_s$  = Doymun ağırlık, g,

$W_d$  = Kuru ağırlık, g'dır.

Tablo 2.3. Görünür porozite ve boşluk oranı deneylerinin sonuçları

Numune Adı	Görünür Porozite, n, %	Boşluk Oranı, e	En Yüksek Değere Oran, %
Tüf	19,68	0,245	100
Kumtaşı	10,41	0,116	53
Bakır I	8,05	0,087	41
Andezit	6,69	0,071	35
Kireçtaşı II	4,99	0,052	25
Granit I	3,70	0,038	19
Traverten	2,41	0,025	12
Bazalt	1,55	0,016	8
Bakır II	1,54	0,016	8
Granit II	1,46	0,015	7
Kireçtaşı II	1,30	0,013	7

## 2.4. Mekanik Deneyler

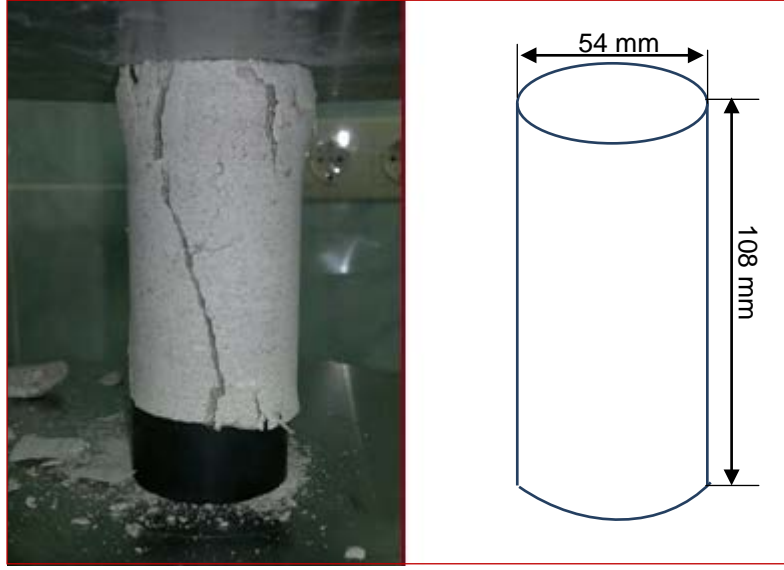
### 2.4.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Kayaların en önemli mühendislik özelliklerinden olan tek eksenli basınç dayanımı deneyi ASTM (2010a) standardına göre yapılmıştır. Deneyde BESMAK marka 200 ton'luk pres cihazı kullanılmıştır. Karot alma bölümünde anlatıldığı gibi kullanılan örnek çapları NX ( $\approx 54$  mm) ve boy/çap oranı 2/1 olacak şekilde hazırlanmıştır. Kayaçların tek eksenli basınç dayanım değerlerine göre sınıflandırılması Tablo 2.4'te verilmiştir.

Yükleme hızı olarak 1 kN/sn olarak alınmıştır. Standartta her numune için tekrar sayısı standart sapma değerine göre hazırlanması gerektiği belirtilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde her bir kayaç/cevher örneği için en az 3 adet numune hazırlanmıştır. Şekil 2.7'de deneye tabi tutulan numunenin kırım sonrası görüntüsü görülmektedir. Deney sonuçları Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).

Sınıf	Basınç Dayanımı (MPa)
Çok yüksek	> 220
Yüksek	110-220
Orta	55-110
Düşük	27,5-55
Çok düşük	< 27,5



Şekil 2.7. Tek eksenli basınç dayanımı sonrası kırılan örnek numune

Tablo 2.5. Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin sonuçları ve dayanım sınıfları

Numune Adı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $\sigma_c$ , MPa	Dayanım Sınıfı, (Deere ve Miller, 1966)	En Yüksek Değere Oran, %
Granit II	148,71	Yüksek	100
Bazalt	120,07	Yüksek	81
Andezit	112,27	Yüksek	75
Bakır II	108,97	Orta	73
Bakır I	104,75	Orta	70
Kireçtaşı I	88,51	Orta	59
Granit I	77,44	Orta	52
Tüf	63,91	Orta	43
Kumtaşı	62,83	Orta	42
Kireçtaşı II	50,88	Düşük	34
Traverten	42,55	Düşük	29

#### 2.4.2. Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi (Brazilian Yöntemi)

Bu deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılır. 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 yapılışı

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). Deneyin diğer ismi yarmada (splitting) çekme dayanımı deneyidir. Deneyde kullanılan çene ve kırılan numune Şekil 2.8'de görülmektedir.

Çapı NX ( $\approx 54$  mm) olan deney örnekleri boy/çap oranı 1/2 olacak şekilde hazırlanmıştır. Yükleme hızı olarak 0,2 kN/sn uygulanmıştır. Deney her numunede farklı olmak üzere 6 ile 10 kez tekrar edilmiştir. Bulunan yenilme yükünden (F) aşağıdaki formül yardımıyla dolaylı çekme dayanımı hesap edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda dolaylı çekme dayanımının 3,66 MPa ile 13,76 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Deneyin toplu sonuçları Tablo 2.6'da verilmiştir.

$$\sigma_t = \frac{0,636F}{D.t} \quad (2.4)$$

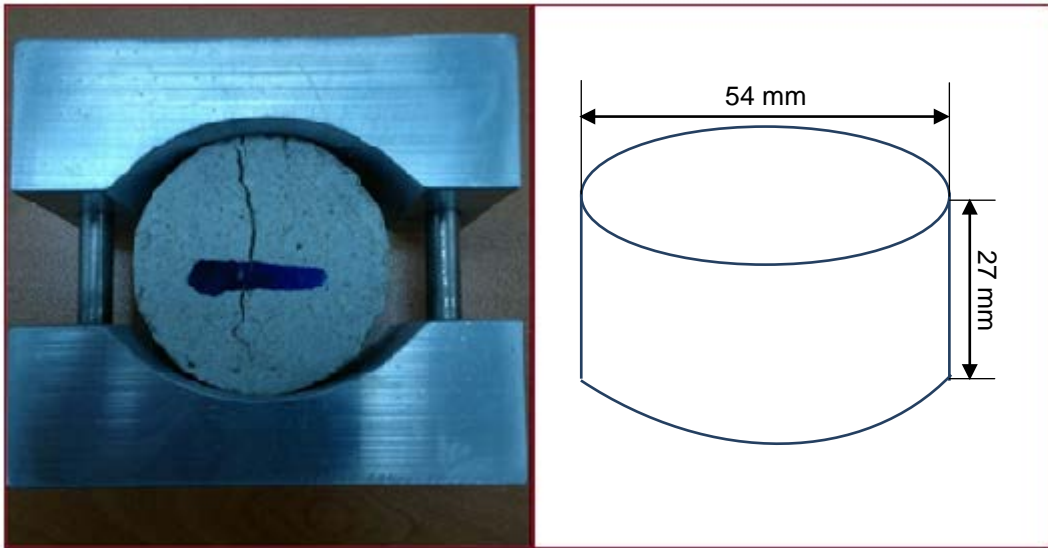
Burada;

$\sigma_t$  = Dolaylı çekme dayanımı, MPa,

F = Yenilme yükü, kN,

D = Örnek çapı, mm,

t = Örnek kalınlığı, mm'dir.



Şekil 2.8. Deneyde kullanılan çene ve kırılmış olan kireçtaşı numunesi

Tablo 2.6. Dolaylı çekme dayanımı deneyinin sonuçları

Numune Adı	Dolaylı Çekme Dayanımı, $\sigma_c$ , MPa	En Yüksek Değere Oran, %
Granit II	13,76	100
Bakır II	11,80	86
Kireçtaşı I	10,44	76
Bazalt	10,21	74
Andezit	9,81	71
Tüf	8,73	63
Bakır I	7,33	53
Traverten	5,32	39
Kumtaşı	5,31	39
Granit II	4,98	36
Kireçtaşı II	3,66	27

### 2.4.3. Nokta Yük Dayanım İndeksi Deneyi

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yük dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır. 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. Yöntemde ISRM (1985)'den yararlanılmıştır (Ulusay vd., 2001). Şekil 2.9'da nokta yük deneyinde kullanılan yükleme pompası görülmektedir.



Şekil 2.9. Nokta yük deneyi aleti

Bu deney için üç yöntem mevcuttur. Bunlar; çapsal, aksenal ve blok ve düzensiz örneklerle yapılan deneylerdir. Bu çalışmada aksenal yükleme yöntemi kullanılmıştır. Deneyde boy/çap oranı 1/2 olarak alınmıştır. Her numune için en az beş tekrar yapılmıştır.

Öncelikle düzeltilmemiş nokta-yük indeksi aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Ardından 50 mm'lik eşdeğer karot çapına göre düzeltilmiş nokta-yükü indeksi bulunmuştur. Tablo 2.7'de kayaçların nokta-yük dayanım indeksine göre sınıflandırılması verilmiştir. Deney sonuçları ise Tablo 2.8'de verilmiştir. Nokta yük deneyinde kırılan numuneler Şekil 2.10'da verilmiştir.

$$I_s = \frac{F}{D_e^2} \quad (2.5)$$

$$D_e^2 = \frac{4.A}{\pi} \quad (2.6)$$

$$I_{50} = F_1.I_s \quad (2.7)$$

$$F_1 = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (2.8)$$

Burada;

F = Yenilme yük, kN,

A = Konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı, mm<sup>2</sup>,

I<sub>s</sub> = Düzeltilmemiş nokta-yükü indeksi, MPa,

F<sub>1</sub> = Düzeltme faktörü, (0-1),

D<sub>e</sub> = Eşdeğer çap, mm,

I<sub>50</sub> = Düzeltilmiş nokta yükü dayanımı, MPa'dır.

Tablo 2.7. Kayaçların nokta yük indeksine göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1975).

Sınıf	Nokta Yükü İndeksi (MPa)
Çok yüksek dayanım	> 7,845
Yüksek dayanım	7,845 - 3,923
Orta dayanım	3,923 - 1,961
Düşük dayanım	1,961 - 0,981
Çok düşük dayanım	< 0,981

Tablo 2.8. Deneyin toplu sonuçları

Numune Adı	Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanımı, $I_{50}$ , MPa	Dayanım Sınıfı, (Bieniawski, 1975)	En Yüksek Değere Oran, %
Granit II	10,55	Çok Yüksek	100
Andezit	7,02	Yüksek	67
Kireçtaşı I	6,80	Yüksek	64
Bazalt	6,46	Yüksek	61
Tüf	4,23	Yüksek	40
Bakır II	4,16	Yüksek	35
Granit I	3,24	Orta	31
Bakır I	2,59	Orta	26
Kumtaşı	2,47	Orta	23
Kireçtaşı II	2,28	Orta	22
Traverten	2,18	Orta	21

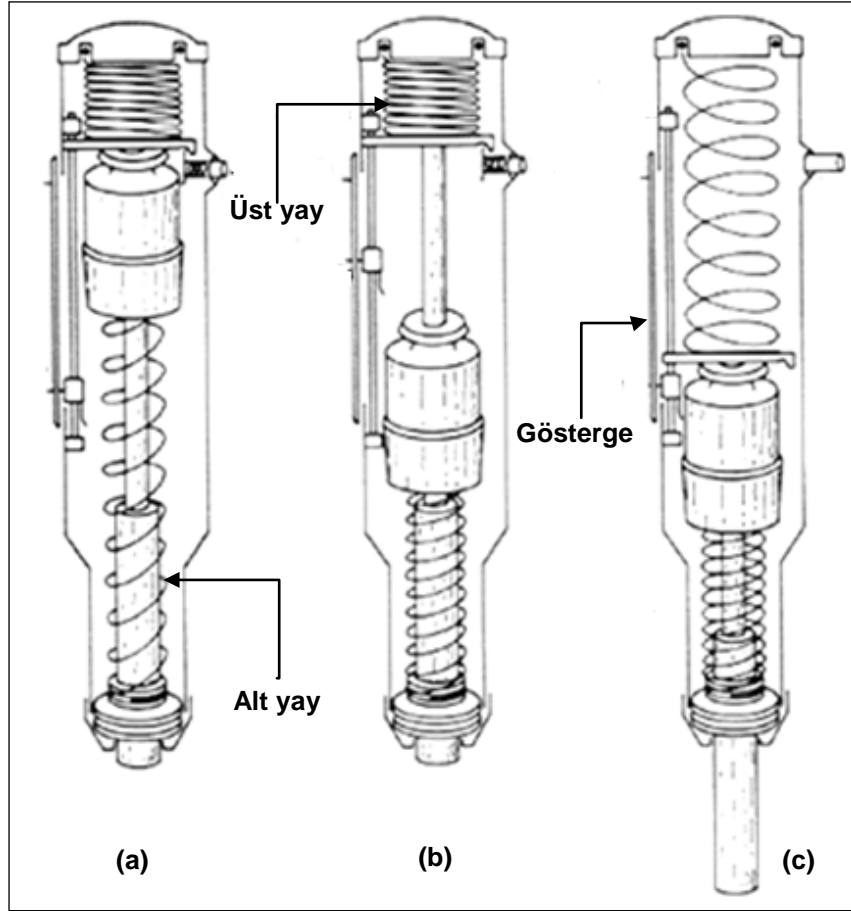


Şekil 2.10. Nokta-yük dayanımı deneyinde kırılan numuneler

#### 2.4.4. Laboratuarda Schmidt Çekici Deneyi (Klasik ve Dijital)

Bu deney, Schmidt çekici kullanarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli basınç dayanımlarının saptanması amacıyla yapılır. Deney yöntemi olarak ISRM (1981)'in önerdiği yöntem uygulanmıştır (Ulusay vd., 2001). Schmidt çekiçleri çarpma enerjisi bakımından iki tür olup, bunlar; N ve L-tipidir. ISRM kayaçlarda deney yapılırken L tipi çekici önermektedir. N tipi çekicinin enerjisi yüksek olduğundan karot numunelerini kırabilmektedir. L tipi çekicinin çarpma enerjisi 0,74 Nm'dir, N tipi çekicinin enerjisi ise 2,207 Nm'dir.

Schmidt çekicinin genel çalışma prensibi Şekil 2.11’de görülmektedir. Çekiç (a) konumundayken örnek üzerine bastırılmış durumdadır, alt yay tamamen açılmış ve üst yay tamamen sıkışmıştır. Çekiç (b) konumundayken kaldırılarak serbest bırakılmıştır ve göstergedan sıçrama değeri okunmaktadır. Çekiç (c) konumundayken ise kullanıma hazırdır.



Şekil 2.11. Schmidt çekicinin genel çalışma prensibi (Mc Carrol, 1994’ten değiştirilerek).

Schmidt çekiçlerini ölçüm şekline göre, ikiye ayrılabilir. Birincisi klasik Schmidt çekiçlerinden okunun R (rebound value) değeridir. R değeri yerçekiminden etkilendiği için vuruş açısının değerlendirme aşamasında önemi vardır. Şekil 2.12’de laboratuarda kalibre edilen Schmidt çekici görülmektedir.





Şekil 2.12. Schmidt çekicinin kalibre edilmesi

Diğer değer ise dijital Schmidt çekicinden okunan  $Q$  (rebound coefficient) değeridir. Dijital Schmidt çekiçleri yeni bir teknoloji olup birçok kolaylığı bünyesinde barındırmaktadır. Öncelikle çekiçten okunan  $Q$  değeri yerçekimi etkisinden bağımsızdır. Bundan dolayı vuruş konumuna göre düzeltme yapmaya gerek kalmamaktadır. Ayrıca dijital olduğundan klasik çekiç gibi butona basarak değeri okumaya gerek kalmaz, vuruş sonrası sıçrama değeri dijital ekrandan okunabilmektedir. Deneyde Proceq marka L tipi Silver Schmidt çekici kullanılmıştır. Şekil 2.13’de L tipi Silver Schmidt görülmektedir.



Şekil 2.13. Proceq marka L tipi Silver Schmidt çekici

Schmidt çekici deneyleri yapılırken hem klasik hem de Silver Schmidt çekici kullanılmıştır. Kullanımdan önce Şekil 2.12’de de görüldüğü gibi çekiçlerin kalibrasyonu yapılmıştır. Deneyler NX karot örnekleri üzerinde yapılmış ve V tipi numune beşiği kullanılmıştır. Her örnek için 10 vuruş yapılmıştır. Bu işlem her iki çekiç içinde tekrarlanmıştır. Kaydedilen 10 vuruş değeri büyükten küçüğe sıralanmış ve alttan 5 değer değerlendirmeden çıkarılarak üstten 5 değerın ortalaması alınmıştır. Deneylerin sonuçları Tablo 2.9 ve 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.9. Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) deneylerinin sonuçları

<b>Numune Adı</b>	<b>Schmidt Geri Sıçrama Değeri, R</b>	<b>En Yüksek Değere Oran, %</b>
Granit II	51	100
Granit I	49	96
Bakır I	46	91
Andezit	45	90
Bakır II	54	89
Bazalt	43	86
Kireçtaşı I	42	83
Traverten	41	81
Kumtaşı	39	77
Tüf	38	75
Kireçtaşı II	36	71

Tablo 2.10. Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı (Q) deneylerinin sonuçları

<b>Numune Adı</b>	<b>Schmidt Geri Sıçrama Katsayısı, Q</b>	<b>En Yüksek Değere Oran, %</b>
Granit II	73	100
Granit I	61	84
Bakır II	60	82
Bazalt	57	77
Bakır I	56	76
Kireçtaşı I	55	74
Andezit	52	71
Kumtaşı	52	71
Traverten	50	67
Tüf	45	61
Kireçtaşı II	43	58

### 2.4.5. Mikro-Deval Aşındırma Deneyi

1960 yılında Fransa’da geliştirilen deneyin amacı, agrega numunelerinin bir tambur içinde çelik bilye ve su ile birlikte aşındırılarak kayaların 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 kullanılmaktadır. 4,75 mm – 6,3 mm arası 750 g, 6,3 mm – 9,5 mm arası 750 g olmak üzere toplam 1500 g örnek hazırlanır. Deneyden önce hazırlanan örnek etüvde kurutulurak nemi alınır. Tamburun içine 1500 g örnek, 5000 g 1 cm çapında çelik bilye ve 2 litre su eklenerek kapatılır. Tambur Şekil 2.14’te görülen makinede dakikada 100 devir olmak üzere 9500 tur çevrilir. Çıkarılan örnek 1,18 mm’lik elekten elenir ve elek üstü malzeme etüvde kurutulur ve tartılır. Son ağırlık, ilk ağırlıktan çıkarılarak ağırlık kaybı hesaplanır. Ağırlık kaybı, ilk ağırlığa bölünerek aşınma miktarı yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Deney her numune için en az iki kez tekrar edilmiştir.



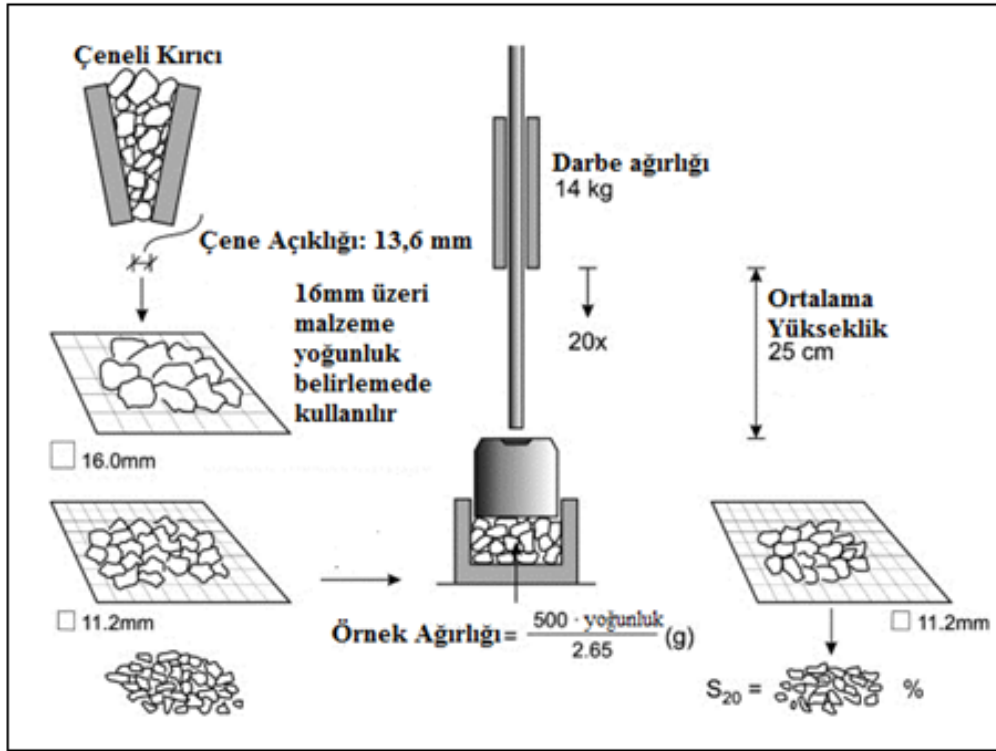
Şekil 2.14. Mikro-Deval aşındırma cihazı

Tablo 2.11. Mikro-Deval deneyinin sonuçları

Numune Adı	Mikro-Deval Aşınma Değeri, MDA, %	En Yüksek Değere Oran, %
Kireçtaşı II	19,40	100
Bakır I	12,47	64
Kumtaşı	11,65	60
Tüf	10,77	55
Granit I	7,83	40
Traverten	6,82	35
Bakır II	6,67	34
Andezit	6,03	31,
Bazalt	6,03	31
Kireçtaşı I	4,66	24
Granit II	3,33	17

### 2.4.6. Kırılgenlik ( $S_{20}$ ) Deneyi

Kırılgenlik deneyi ( $S_{20}$ ), darbe sonucu kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direncin dolaylı ölçülmesini belirleyen bir deney yöntemidir (Yaralı ve Kahraman, 2011). Deneyin yapılış şeması Şekil 2.15'te verilmiştir. Öncelikle kırıcıda kırılan numune 16 mm ile 11,2 mm elek arasında sınıflandırılır. 16 mm üstü malzeme yoğunluk tayini için kullanılır. 16 mm ile 11,2 mm arasında kalan malzemedan  $2,65 \text{ g/cm}^3$  eşdeğer yoğunluk için 500 g örnek hazırlanır. Örnek numune kutusuna yerleştirilir. 14 kg ağırlığındaki tokmak 20 kez kutunun üzerine düşürülür. Ardından kutudan çıkarılan numune 11,2 mm elekten elenir ve elek altındaki malzeme hassas terazide tartılır. Elek altındaki malzeme ilk ağırlığa bölünerek kırılgenlik değeri bulunur. Deney her numune için en az dört kez tekrar edilmiştir. Deneyin sonuçları Tablo 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Kırılgenlik ( $S_{20}$ ) deneyinin yapılış şeması (Dahl, 2012).

Tablo 2.12. Kırılgenlik ( $S_{20}$ ) deneyinin sonuçları

<b>Numune Adı</b>	<b>Kırılgenlik, <math>S_{20}</math>, %</b>	<b>En Yüksek Değere Oran, %</b>
Granit I	65,46	100
Kireçtaşı II	61,19	93
Bakır I	53,54	82
Tüf	51,73	79
Traverten	51,24	78
Bakır II	49,21	75
Kireçtaşı I	49,02	75
Kumtaşı	44,35	68
Granit II	42,35	65
Andezit	40,43	62
Bazalt	36,07	55

## 2.5. Kazılabilirlik Deneyleri

### 2.5.1. Küçük Boyutlu Kazı Deneyi

Küçük boyutlu kazı deneyi genel hatlarıyla Bölüm 1’de anlatılmıştır. Küçük boyutlu kazı deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Teknolojileri ve Maden Makineleri Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvardaki kazı seti 1980’li yılların sonunda “Madenlerde Mekanize Kazı İçin Bir Ölçme Sisteminin Geliştirilmesi ve T.T.K. Amasra Kömür Bölgesi’ne Uygulanışı” adlı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilmiştir (Bilgin ve Shahriar, 1988). Deneyin yapılış şartları aşağıda verilmiştir.

Kesme derinliği	: 5 mm,
Kesme açısı	: $-5^{\circ}$ ,
Temizleme açısı	: $5^{\circ}$ ,
Keski genişliği	: 12,7 mm,
Keski ucu	: Tungsten karbid, % 10 kobalt.

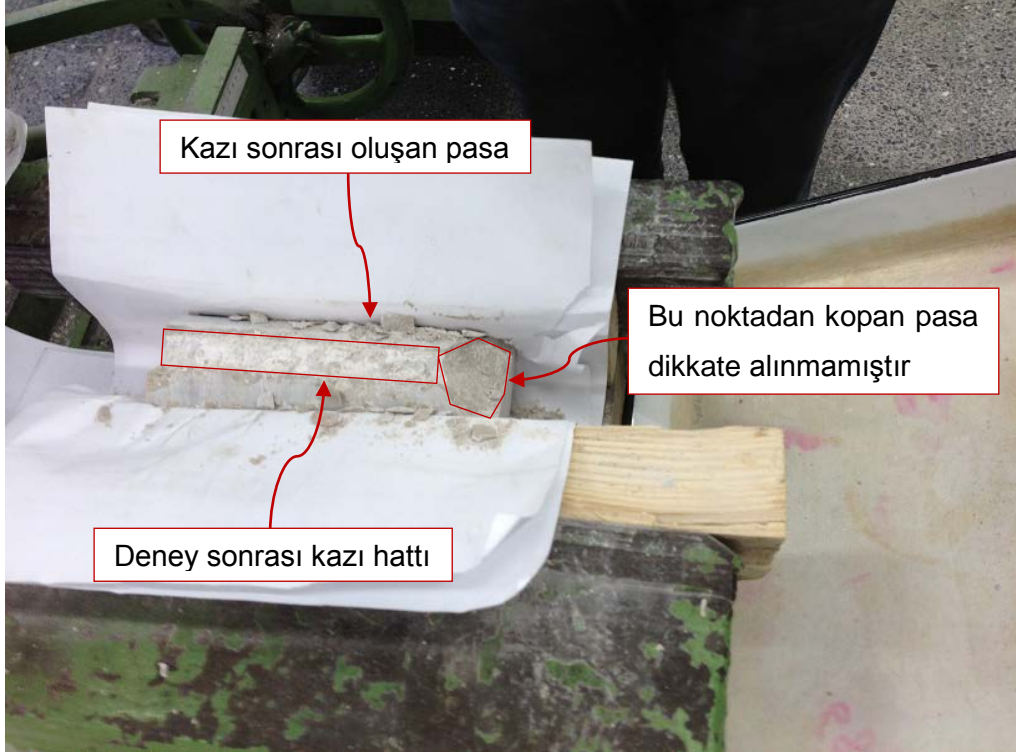
Deneyin yapılışı şu şekildedir; karot örneği numune kutusuna yerleştirilir, ardından kesici uç karotun üstüne yerleştirilir ve geri çekilerek komparatör yardımıyla istenilen kesme derinliğine ayarlanır. Sonra dinamometre kalibre edilir. Kalibrasyon işleminden sonra kazı başlatılır. Kazı sırasında dinamometre uç yöndeki kuvvetleri elektrik yüküne

dönüştürür. Ardından elektrik yüküne çevrilen kuvvetler çeşitli arabirimler yardımıyla bilgisayara kgf cinsinden kuvvet olarak kaydedilir. Kayıt hızı yaklaşık olarak saniyede 2000 veridir. Şekil 2.16’da küçük boyutlu kazı seti görülmektedir.



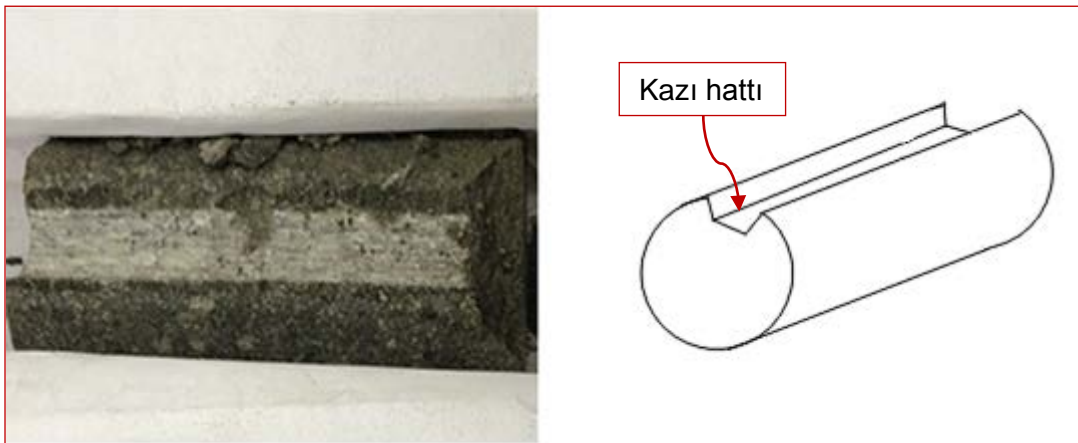
Şekil 2.16. Küçük boyutlu kazı seti

Deney sırasında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Öncelikle kazı sırasında pasanın kaybolmamasına dikkat edilmelidir. Pasa, kazı hattının önüne yerleştirilen bir tepsi ve karotun kenarlarına yerleştirilen kâğıtlar yardımıyla dikkatli bir şekilde toplanır. Toplanan pasa incelenerek kazı hattına ait olmayan pasalar tartıma katılmamaktadır. Örneğin Şekil 2.17’de kırmızı okla gösterilen bölgeden kopan pasa dikkate alınmamaktadır.



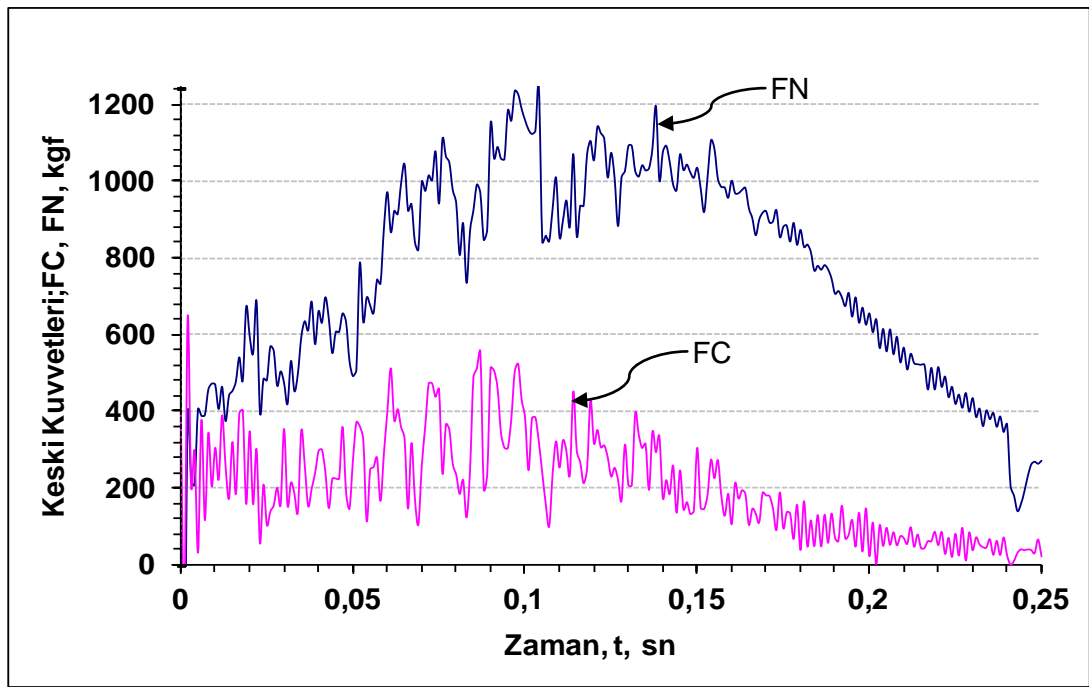
Şekil 2.17. Kazı sonrası pasa toplanması

Pasa toplama işleminin ardından, pasa tartılır ve kazı hattının uzunluğu ölçülür. Tartma ve ölçüm işleminin ardından kesme derinliği kumpas yardımıyla ölçülür. Kazı hattı üzerinde farklı birkaç noktadan alınan derinliğin ortalaması alınarak ortalama kesme derinliği bulunur. Şekil 2.18’de deney sonrası oluşan kazı hattı görülmektedir.



Şekil 2.18. Deney sonrası oluşan kazı hattı

Derinlik değeri kazı başlamadan önce belirlenmesine rağmen, özellikle dayanımı yüksek örneklerde normal kuvvetlerin (FN) anormal şekilde artması sonucu keski kalkmakta ve kesme derinliği başta belirlenen değerin altına düşmektedir. Bundan dolayı kazı sonrası derinlik tekrar ölçülmektedir. Şekil 2.19’da kaydedilen kuvvetlerin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi normal kuvvet kesme kuvvetinin çok üstünde değerler almıştır. Kazı deneyleri sonucu edinilen grafiklerden, numunenin dayanımı arttıkça normal kuvvetin kesme kuvvetine oranla daha hızlı arttığı sonucu çıkarılabilmektedir.



Şekil 2.19. Bakır II örneğinin keski kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 2.19’da da görüldüğü gibi üç boyutta kuvvetler saniyede 2000 veri hızıyla kaydedilmektedir. Her numune için 2-3 arasında değişen tekrarlar yapılmıştır. Yalnızca örnek yetersizliği olan kireçtaşı numunesi bir deney yapılabilmektedir. Spesifik enerji değerleri, kesme kuvvetlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

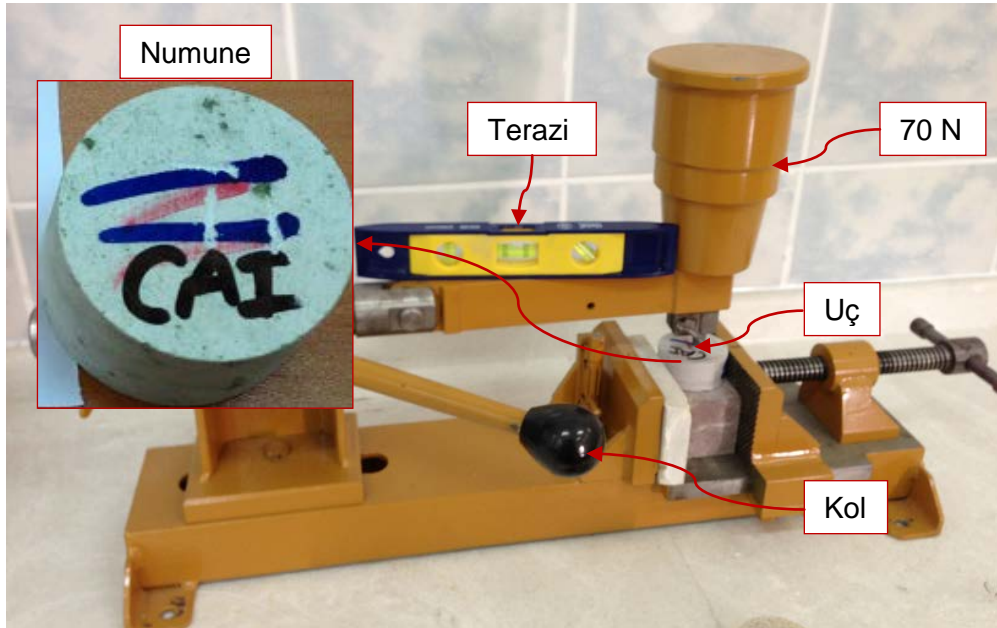


Tablo 2.13. Kazı deneyi sonrası elde edilen spesifik enerji değerleri

Numune Adı	Spesifik Enerji, SE, MJ/m <sup>3</sup>	En Yüksek Değere Oran, %
Bakır II	101,4	100
Granit I	73,2	72
Bakır I	56,4	56
Bazalt	56,3	56
Kireçtaşı I	49,0	48
Kumtaşı	34,3	34
Tüf	18,0	18
Kireçtaşı II	17,3	17

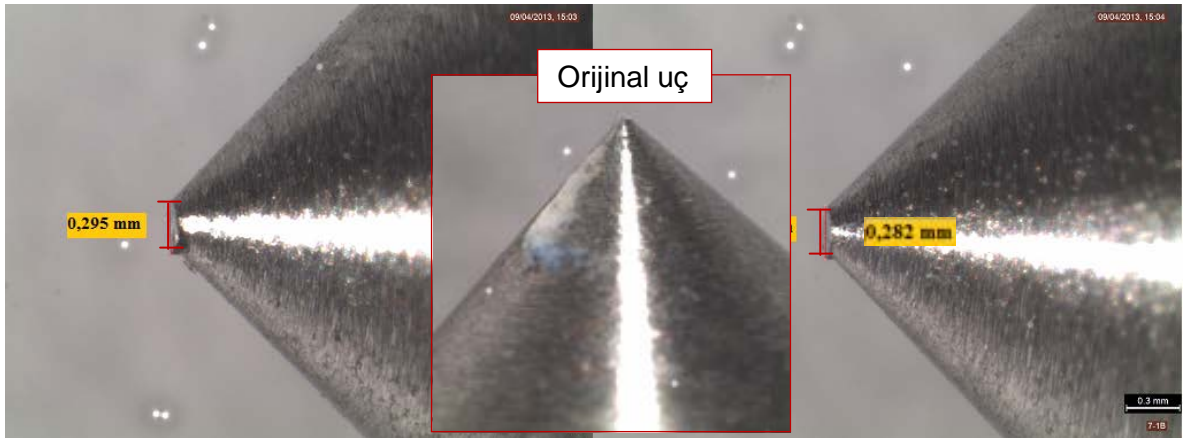
### 2.5.2. Cerchar Aşındırıcılık Deneyi

Deney Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan uçlar ise Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda incelenmiştir. Cerchar aşındırıcılık deneyinde 90° uç açılı, 2000 kg/cm<sup>2</sup> çekme dayanımına sahip HRC (Rockwell) sertliği 55 olan uçlar kullanılmaktadır. Deney aletine yerleştirilen ucun altına örnek yerleştirilir. 70 N yük altında örneğin üzerine oturtulan uç 1 cm çekilir. Kullanılan uç mikroskop altında incelenmek üzere kodlanarak kaldırılır. Her uç tek sefer kullanılmıştır. Deney aleti Şekil 2.20 'de görülmektedir.



Şekil 2.20. Cerchar aşındırıcılık deney aleti

Deney karot kesme testeresi ile düzeltilmiş yüzeylere uygulanmıştır. Her örnek üzerinde 3 deney yapılmıştır. Deneyin ikinci aşamasında uçlar Leica marka mikroskop altında 40x büyütme altında incelenmiştir. Yatık olarak mikroskop altına konulan uçlardan birbirine 90° olacak şekilde ölçüm alınmıştır. Sonuç olarak her örnekten 6 okuma alınmıştır. Altı değerın ortalaması o uçtaki aşınma miktarını belirlemiştir. Uçtaki her 1/10 mm'lik körelme 1 Cerchar'a (CAI) eşit olmaktadır. Bilgisayardan alınan görüntülerden iki tanesi ve ucun deneyden önceki orijinal hali Şekil 2.21'de verilmiştir. ASTM (2010c)'a göre kayaçların Cerchar aşındırıcılık sınıflandırması Tablo 2.14'te verilmiştir, deney sonuçları ise Tablo 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.21. Bakır II örneğinde kullanılan uç görülmektedir

Tablo 2.14. Cerchar aşındırıcılık sınıflandırması (ASTM, 2010c)

Sınıflandırma	Ortalama Cerchar Aşındırıcılık Değeri HRC =55
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

Tablo 2.15. Cerchar aşındırıcılık deneyinin sonuçları

<b>Numune Adı</b>	<b>Cerchar Aşındırıcılık İndeksi, CAI</b>	<b>En Yüksek Değere Oran, %</b>
Bakır II	2,69	100
Granit I	1,76	65
Bakır I	1,19	44
Kireçtaşı I	1,03	38
Bazalt	0,94	35
Kumtaşı	0,70	26
Tüf	0,55	20
Kireçtaşı II	0,47	17

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Bulgular kısmı üç başlık altında incelenecektir, bu başlıklar;

- Mekanik deneylerin irdelenmesi,
- Kazılabilirlik deneylerinin irdelenmesi,
- Kazılabilirlik deneyi sonuçlarının yorumlanmasıdır.

#### 3.1. Mekanik Deneylerin İrdelenmesi

Daha önce de ifade edildiği gibi Doğu Karadeniz Bölgesi'nin farklı bölgelerinden elde edilen 11 farklı kayaç ve cevher numunesi fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Bu bölümde fiziksel ve mekanik parametrelerin kendi içindeki ilişkilerinin değerlendirilmesi amacıyla grafikler oluşturulmuştur. İlişkilerin gösterildiği grafikler parametreler arasındaki korelasyon katsayısı ( $r$ ) ve parametreler arasındaki güven aralığı göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bu grafiklerin oluşturulma amacı, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini incelemektir. Örnek olarak, Mikro-Deval aşınma dayanımının çekme dayanımı ile olan ilişkisinin araştırılması gösterilebilir. Bu bölümün diğer amacı ise tek eksenli basınç dayanımı parametresinin, Schmidt çekici geri sıçrama değeri ve nokta yük indeksi gibi parametrelerle dolaylı yoldan belirlenmesine yönelik daha önce yapılan çalışmalarla birtakım karşılaştırmalar yapmaktır. Bunlara ek olarak bu kısımda, makine ile gerçekleştirilen kırılgenlik ( $S_{20}$ ) deneyinin literatürde sıkça yer verilen kırılgenlik indeksleriyle aralarındaki ilişkilerin incelenmesine yer verilmiştir. Fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir.

Bulguların irdelenmesi kısmında sıkça kullanılacak olan istatistiksel terimlere genel olarak değinmek gerekirse;

- Korelasyon katsayısı ( $r$ ), iki değişken arasındaki doğrusal ilişki ve ilişkinin gücü hakkında bilgi veren katsayıdır. -1 ile +1 arasında değerler alır.
- Determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni temsil etme derecesi olarak tanımlanabilir. 0 ile 1 arasında değerler alır (Kalaycı, 2008).

Tablo 3.1. Fiziksel deneylerin toplu sonuçları

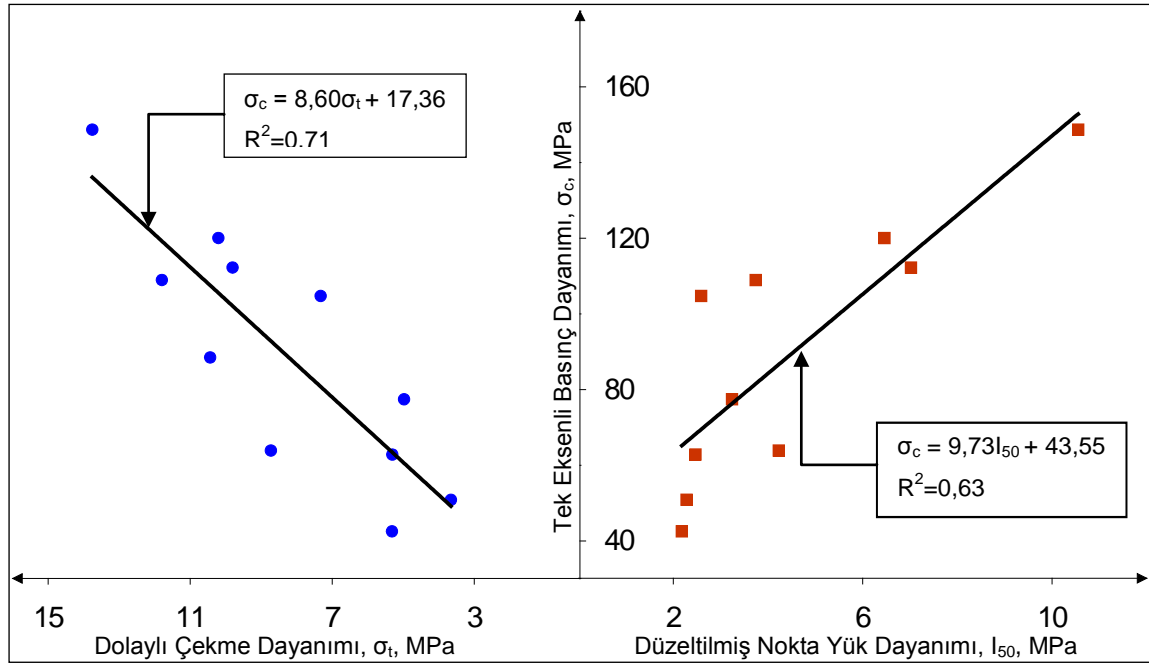
Numune Adı	Yoğunluk, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Birim Hacim Ağırlık, BHA, kN/m <sup>3</sup>	Görünür Porozite, n, %	Boşluk Oranı, e
Kireçtaşı I	2,71	26,59	1,30	0,013
Granit I	2,62	25,72	3,70	0,038
Bazalt	2,67	26,18	1,55	0,016
Kumtaşı	2,59	25,45	10,41	0,116
Kireçtaşı II	2,57	25,21	4,99	0,052
Bakır I	3,88	38,12	8,05	0,087
Bakır II	3,39	33,25	1,54	0,016
Tüf	1,83	17,99	19,68	0,245
Granit II	2,71	26,59	1,46	0,015
Traverten	2,45	24,03	2,41	0,025
Andezit	2,51	24,62	6,69	0,071

Tablo 3.2. Mekanik deneylerin toplu sonuçları

Numune Adı	Schmidt Çekici Sıçrama Değeri, R	Schmidt Çekici Geri Sıçrama Katsayısı, Q	Mikro-Deval Aşınma Değeri, MDA, %	Kırılgenlik, S <sub>20</sub> , %
Kireçtaşı I	42	55	4,66	49,02
Granit I	49	61	7,83	65,46
Bazalt	43	57	6,03	36,07
Kumtaşı	39	52	11,65	44,35
Kireçtaşı II	36	43	19,40	61,19
Bakır I	46	56	12,47	53,54
Bakır II	45	60	6,67	49,21
Tüf	38	45	10,77	51,73
Granit II	51	73	3,33	42,35
Traverten	41	50	6,82	51,24
Andezit	45	52	6,03	40,43

Tablo 3.3. Mekanik deneylerin toplu sonuçları

Numune Adı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $\sigma_c$ , MPa	Dolaylı Çekme Dayanımı, $\sigma_t$ , MPa	Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanımı, $I_{50}$ , MPa
Kireçtaşı I	88,51	10,44	6,80
Granit I	77,44	4,98	3,24
Bazalt	120,07	10,21	6,46
Kumtaşı	62,83	5,31	2,47
Kireçtaşı II	50,88	3,66	2,28
Bakır I	104,75	7,33	2,59
Bakır II	108,97	11,80	3,74
Tüf	63,91	8,73	4,23
Granit II	148,71	13,76	10,55
Traverten	42,55	5,32	2,18
Andezit	112,27	9,81	7,02



Şekil 3.1. Düzeltilmiş nokta yük ve dolaylı çekme dayanımı parametreleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

Kayaç ve cevher numunelerinin, dolaylı çekme dayanımı ve düzeltilmiş nokta yük dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımı arasında lineer ilişkiler bulunmuştur (Şekil 3.1). Nokta yük dayanımı, tek eksenli basınç dayanımının dolaylı olarak bulunması için kullanılmaktadır. Ancak bu deney grubunda bulunan lineer denklemin determinasyon katsayısı beklenen değerden nispeten düşük bulunmuştur. Bu durum, tek eksenli basınç

dayanımları 100 MPa'ın üzerinde olmasına rağmen nokta yük dayanımı beklenenden düşük çıkan cevher örnekleriyle açıklanabilir. Tek eksenli basınç dayanımı ile düzeltilmiş nokta yük dayanımı arasındaki lineer ilişki şu şekilde formüle edilmiştir:

$$\sigma_c = \alpha \cdot I_{50} \quad (3.1)$$

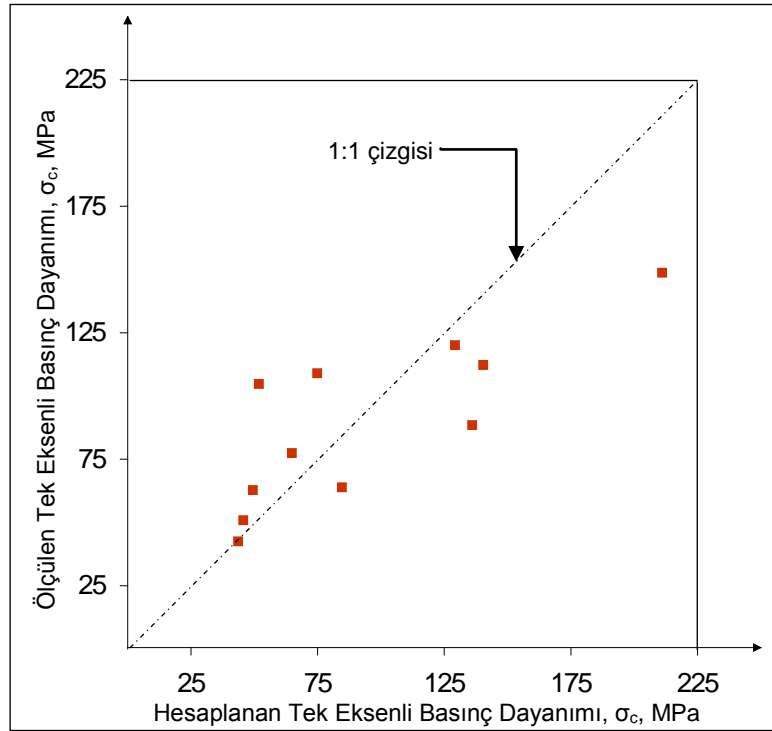
Burada;

$\sigma_c$  = Tek eksenli basınç dayanımı, MPa,

$\alpha$ . = Sabit, (20-25),

$I_{50}$  = Düzeltilmiş nokta yük dayanımı, MPa'dır.(Broch ve Franklin, 1972 ve Arıoğlu ve Bilgin, 1978'den alıntılan Arıoğlu ve Yılmaz, 2001).

Bu bağıntıda  $\alpha$  sabiti 20 alınarak yapılan hesaplamalar sonucu bulunan tek eksenli basınç dayanımı ile ölçülen tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ölçülen ve hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 1:1 çizgisi üzerindeki dağılımı

Şekil 3.3 incelendiğinde tek eksenli basınç dayanımının Schmidt çekici geri sıçrama değeri ve geri sıçrama katsayısı ile lineer olarak arttığı görülmektedir. Geri sıçrama katsayısı Q ile tek eksenli basınç dayanımı grafiğinin determinasyon katsayısının daha yüksek olduğu görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde Schmidt çekici deneyinden, tek eksenli basınç dayanımı tahmini için oluşturulan bağıntılarda kayacın birim hacim ağırlık ya da yoğunluk değerlerinin de dikkate alındığı görülmektedir. Bu bağıntılara örnek vermek gerekirse:

$$\sigma_c = 6,9 \times 10^{(0,0087R \cdot \rho + 0,16)} \quad R^2=0,94 \quad (\text{Deere ve Miller, 1966}) \quad (3.2)$$

$$\sigma_c = 4,5 \times 10^{-4} (R \cdot \rho)^{2,46} \quad R^2=0,93 \quad (\text{Kahraman, 1996}) \quad (3.3)$$

$$\sigma_c = 0,0137R^{2,2721} \quad R^2=0,97 \quad (\text{Kılıç ve Teymen, 2008}) \quad (3.4)$$

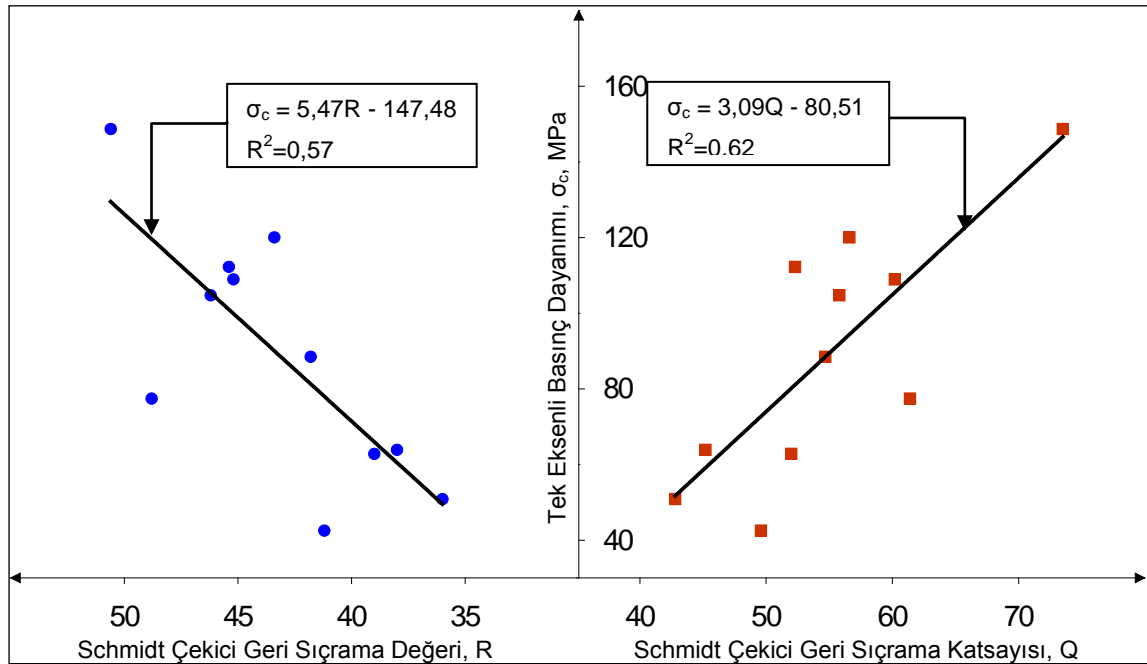
$$\sigma_c = 2,208e^{(0,067R)} \quad R^2=0,96 \quad (\text{Katz vd., 2000}) \quad (3.5)$$

Burada;

$\sigma_c$  = Tek eksenli basınç dayanımı, MPa,

R. = Schmidt çekici geri sıçrama değeri,

$\rho$  = Kayacın yoğunluğu,  $g/cm^3$ 'tür.

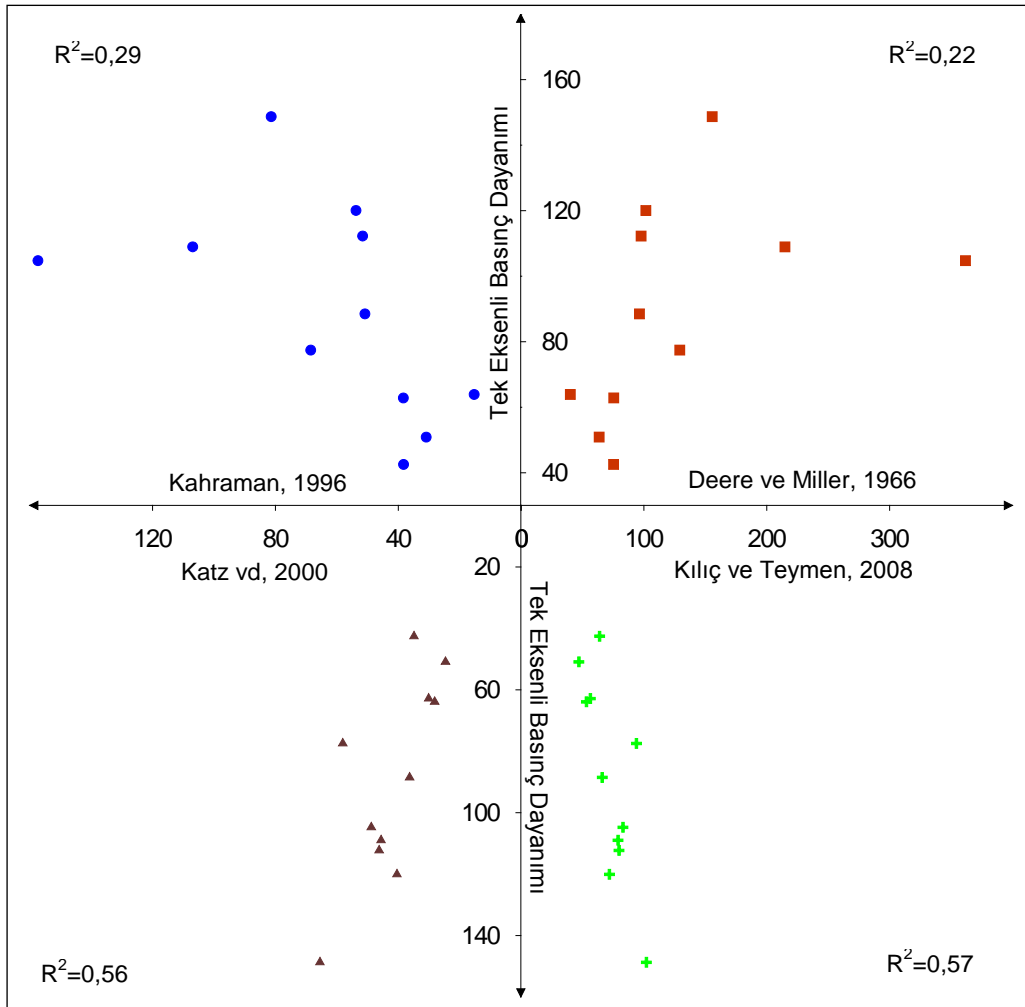


Şekil 3.3. Schmidt çekici geri sıçrama değeri ve katsayısı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki



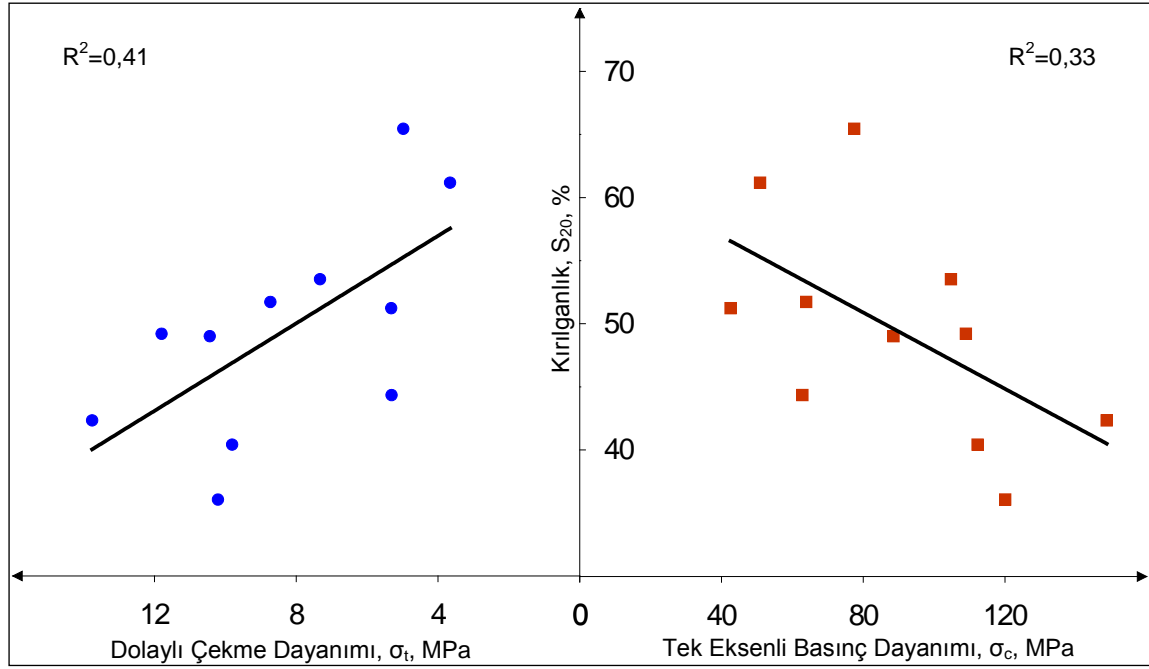
Tablo 3.4. Farklı bağıntılar yardımıyla Schmidt çekici geri sıçrama değerinden tek eksenli basınç dayanımı tahminleri

Numune Adı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $\sigma_c$ , MPa	Bu Çalışma	Deere ve Miller, 1966	Kahraman, 1996	Kılıç ve Teymen, 2008	Katz vd., 2000
Kireçtaşı I	88,51	81,17	96,46	50,86	66,10	36,33
Granit I	77,44	119,46	129,18	68,51	93,97	58,07
Bazalt	120,07	89,92	101,62	53,78	71,99	40,44
Kumtaşı	62,83	65,85	75,44	38,37	56,46	30,12
Kireçtaşı II	50,88	49,44	63,65	30,91	47,08	24,63
Bakır I	104,75	105,23	361,73	157,91	82,98	48,79
Bakır II	108,97	99,76	214,75	106,94	78,95	45,63
Tüf	63,91	60,38	40,16	15,31	53,23	28,16
Granit II	148,71	129,30	155,54	81,38	102,03	34,90
Traverten	42,55	77,88	75,34	38,30	63,96	46,24
Andezit	112,27	100,86	97,78	51,61	79,75	65,51



Şekil 3.4. Farklı bağıntılar yardımı ile Schmidt çekici geri sıçrama değerinden hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Tablo 3.4 ve Şekil 3.4 incelendiğinde ve determinasyon katsayıları karşılaştırıldığında, ölçülen tek eksenli basınç dayanımı değerlerine en yakın sonucu 3.4 bağıntısının verdiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.3'te verilen bağıntı yardımı ile hesaplanan değerlerin ise bazı numunelerde gerçeğe yakın değerler verdiği gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kırılgenlik değerinin tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı ile ilişkisi

Şekil 3.5'te görüleceği gibi kırılgenlik değeri ile tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı arasında zayıf lineer bir ilişki bulunmuştur. Sonuç olarak malzemenin dayanımı arttıkça kırılgenliğinin azaldığı ileri sürülebilir. Bu değerlendirmenin ardından kırılgenlik değeri literatürde kullanılan birtakım teorik kırılgenlik değerleriyle karşılaştırılacaktır. Kırılgenliğin belirlenmesinde çoğunlukla ampirik yöntemler kullanılır ve yaygın olarak kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir (Altındağ, 2003) :

$$BI = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (3.6)$$

$$BI2 = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} \quad (3.7)$$

$$BI3 = \frac{\sigma_c \times \sigma_t}{2} \quad (3.8)$$

Burada;

BI = Kırılgenlik indeksi,

BI2 = Kırılgenlik indeksi,

BI3 = Kırılgenlik indeksi,

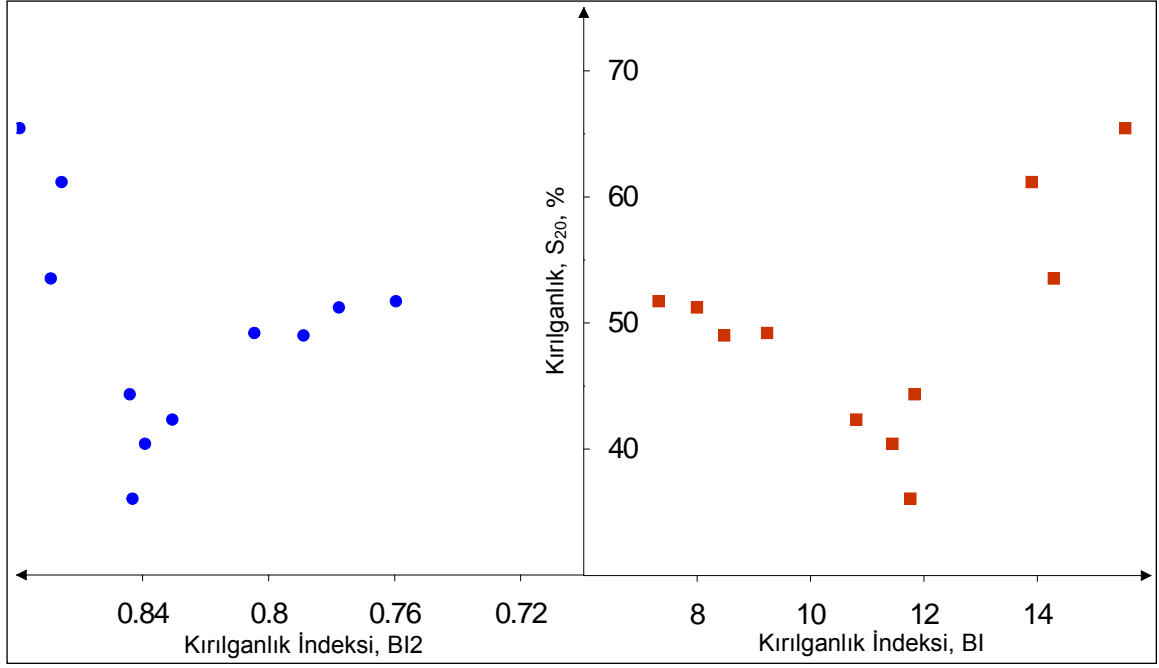
$\sigma_c$  = Tek eksenli basınç dayanımı, MPa,

$\sigma_t$  = Dolaylı çekme dayanımı, MPa'dır.

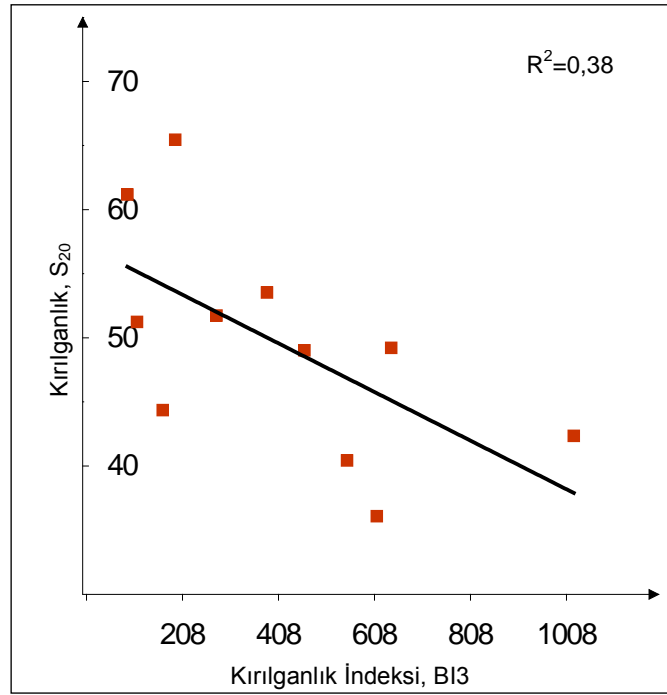
Tablo 3.5. Farklı kırılgenlik değerlerinin toplu sonuçları

Numune Adı	Kırılgenlik, $S_{20}$ , %	BI	BI2	BI3
Kireçtaşı I	49,02	8,48	0,79	462,02
Granit I	65,46	15,55	0,88	192,83
Bazalt	36,07	11,76	0,84	612,96
Kumtaşı	44,35	11,83	0,84	166,81
Kireçtaşı II	61,19	13,90	0,87	93,11
Bakır I	53,54	14,29	0,87	383,91
Bakır II	49,21	9,23	0,80	642,93
Tüf	51,73	7,32	0,76	278,97
Granit II	42,35	10,81	0,83	1023,12
Traverten	51,24	8,00	0,78	113,18
Andezit	40,43	11,44	0,84	550,68

Şekil 3.6 ve 3.7'den görüldüğü gibi BI ve BI2 kırılgenlik indeksleri ile kırılgenlik ( $S_{20}$ ) değeri arasında herhangi bir ilişki elde edilememiştir. BI3 indeksi ile kırılgenlik değeri arasında ise ters orantılı zayıf bir ilişki elde edilmiştir.

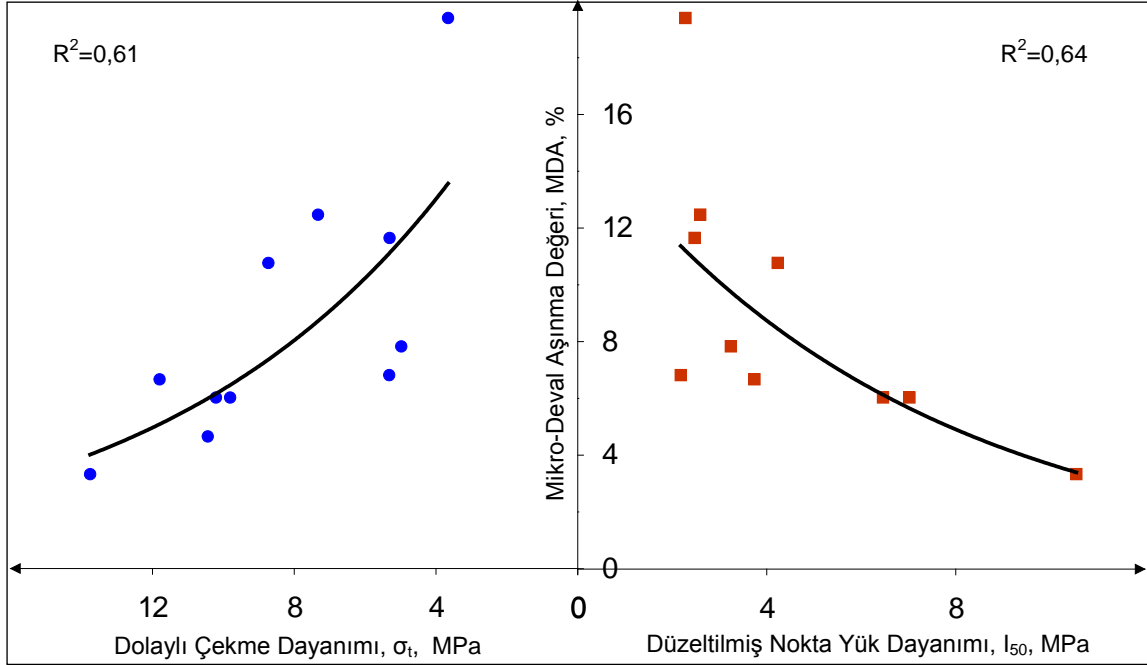


Şekil 3.6. Kırılma değeri ile kırılma indeksleri arasındaki ilişki

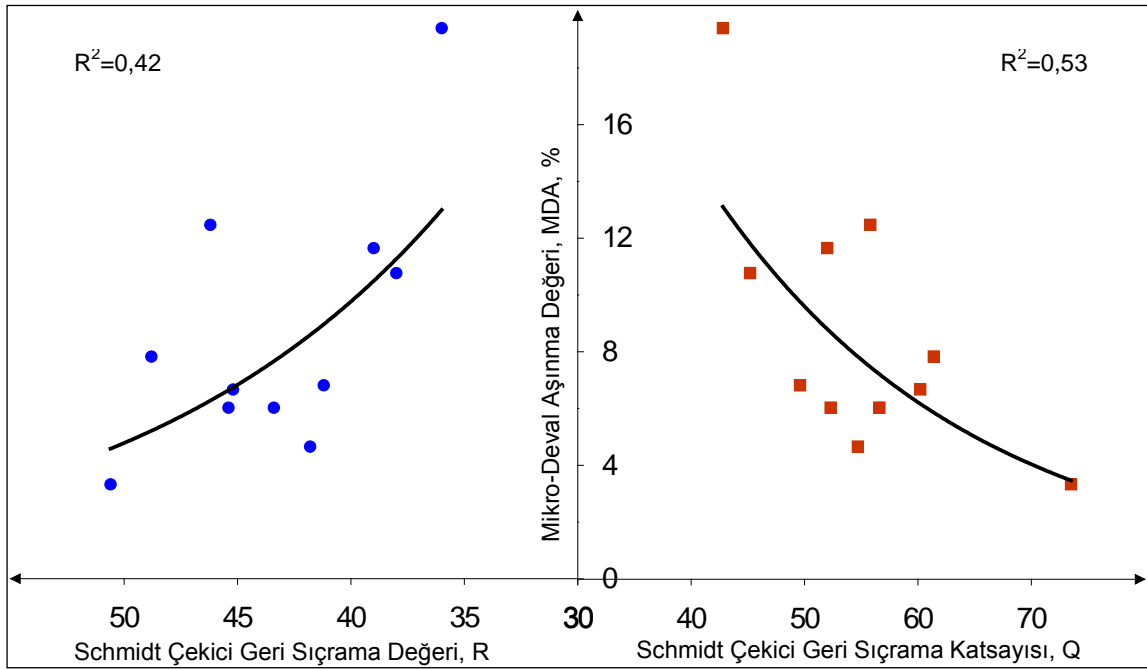


Şekil 3.7. Kırılma değeri ile kırılma indeksi arasındaki ilişki

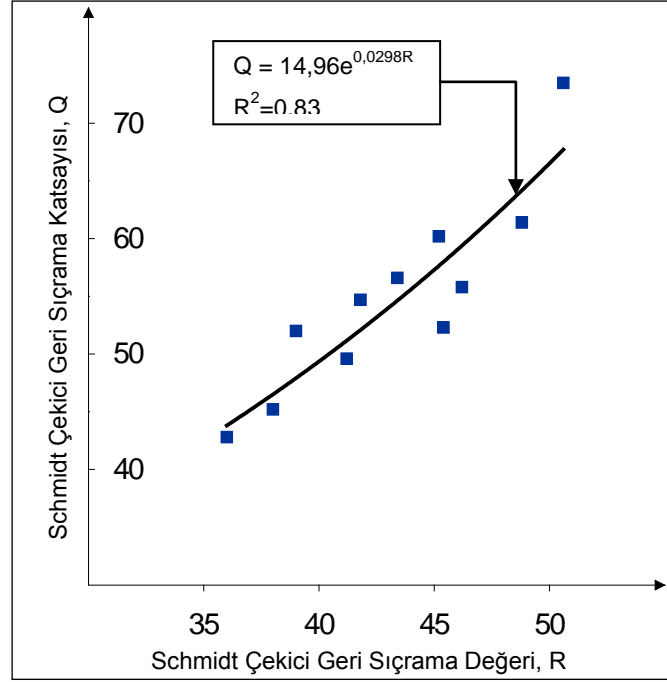
Şekil 3.8 ve 3.9 'daki grafikler, Mikro-Deval aşınma değerinin üzerinde etkili olan parametreleri göstermektedir.



Şekil 3.8. Dolaylı çekme dayanımı ve düzeltilmiş nokta yük dayanımının Mikro-Deval aşınma değeri üzerindeki etkisi



Şekil 3.9. Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı ve geri sıçrama değerinin Mikro-Deval aşınma değeri üzerindeki etkisi



Şekil 3.10. Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı ve geri sıçrama değeri arasındaki ilişki

Şekil 3.10'da Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) ile geri sıçrama katsayısı (Q) arasındaki yüksek determinasyon katsayısına sahip üstel ilişki görülmektedir. İki farklı çekiçten alınan ölçümlerin arasındaki bu ilişki R değerinden Q değerinin hesaplanabilmesi için faydalı olabilecektir.

Tablo 3.6. Farklı değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin korelasyon katsayıları ve güven aralıkları matrisi

	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $\sigma_c$ , MPa	Dolaylı Çekme Dayanımı, $\sigma_t$ , MPa	Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanımı, $I_{50}$ , MPa	Schmidt Çekici Geri Sıçrama Değeri, R	Schmidt Çekici Geri Sıçrama Katsayısı, Q	Mikro-Deval Aşınma Değeri, MDA, %
$\sigma_t$	0,8453 %99					
$I_{50}$	0,7956 %99	0,8321 %99				
R	0,7576 %99	0,5205 -	0,5220 -			
Q	0,7896 %99	0,6392 %95	0,6331 %95	0,8987 %99		
MDA	-0,5889 -	-0,72427 %95	-0,6858 %95	-0,647 %95	-0,6714 %95	
$S_{20}$	-0,5701 -	-0,6430 %95	-0,6054 %95	-0,131 -	-0,2517 -	0,5365 -

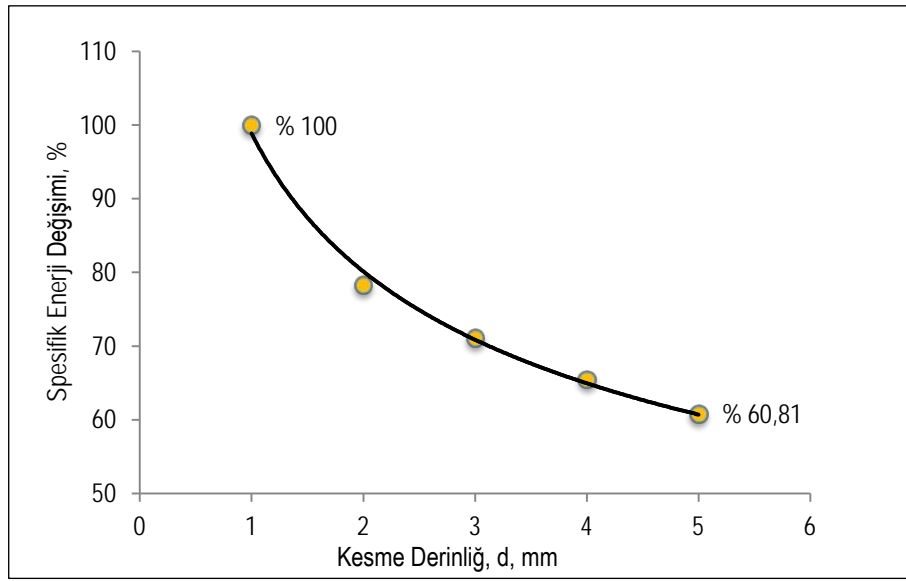
Tablo 3.6’da SPSS 17 paket programı yardımı ile gerçekleştirilen istatistiksel analizlerin sonucunda parametreler arasındaki güven aralıkları görülmektedir. Mekanik parametrelerin kendi içinde değerlendirilmesinin sonuçları şu şekildedir:

- Kayaç ve cevherler için bu deney grubunda en önemli mekanik parametre tek eksenli basınç dayanımıdır.
- Mekanik parametrelerin karşılaştırılması sırasında fiziksel parametreler ile aralarındaki ilişkilerde araştırılmıştır, fakat herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.
- Kırılma (S<sub>20</sub>) değeri ile literatürdeki BI ve BI2 indeksleri arasında herhangi bir ilişkiye rastlanmamıştır, yalnızca BI3 indeksiyle ters orantılı zayıf bir lineer ilişki elde edilmiştir.
- Dolaylı çekme dayanımı, düzeltilmiş nokta yük dayanımı, Schmidt çekici geri sıçrama değeri ve katsayısı ile Mikro-Deval aşında değeri arasında üstel ilişki elde edilmiştir.
- Beton numunelerinde yaygın olarak tek eksenli basınç dayanımı tahmini için kullanılan Schmidt çekici değerleri incelendiğinde geri sıçrama katsayısı olan Q değerinin, geri sıçrama değeri olan R değerinden tek eksenli basınç dayanımı tahmininde daha hassas olduğu ileri sürülebilir.
- Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı (Q) ile geri sıçrama değeri (R) arasında önemli bir ilişki olduğu görülmüştür. İki parametre arasında  $Q = 14,96e^{0,0298R}$  üstel bağıntısı elde edilmiştir.

### 3.2. Kazılabilirlik Deneylerinin İrdelenmesi

Kazılabilirlik deneyleri ile ilgili genel bilgi Bölüm 2’de verilmişti. Deneyler iki aşamadan oluşmaktadır; küçük boyutlu kazı deneyi ve Cerchar aşındırıcılık deneyi. Küçük boyutlu kazı deneyinde teknik zorunluluklardan dolayı farklı kesme derinliklerinde deneyler yapılmıştır. Ancak kesme kuvveti ve normal kuvvet kesme derinliği ile lineer olarak artmaktadır (Roxborough ve Rispin, 1973a, Roxborough ve Pedroncelli, 1982, Bilgin, 1977 , Roxborough, 1985 ve Bilgin vd., 2006). Bundan dolayı eşit şartlarda karşılaştırmalar elde edebilmek adına farklı kesme derinliklerindeki kesme kuvveti, normal kuvvet, spesifik enerji değerleri normalize edilmiştir. Kesme kuvveti ve normal kuvvet kesme derinliklerine bölünerek düzeltilmiştir.

Spesifik enerji değerinin ise 5 mm kesme derinliğindeki değeri hesap edilmiştir. Spesifik enerjinin formülü daha önceki bölümlerde verilmişti. Kesme kuvvetinin değeri oran orantı yöntemi ile 5 mm'deki değerine yükseltilmiştir. Pasanın 5 mm'deki değeri ise basit geometrik hesaplamalar ile hesaplanmıştır. Kırılma geometrisinde teorik olarak kırılma açısı  $45^\circ$  alınmıştır ve AutoCAD programında ölçekli hesaplamalar yapılarak kesit alanının (A) kesme derinliğine (d) göre değişim grafiği oluşturulmuştur. Bu grafikten yola çıkılarak spesifik enerjinin kesme derinliği ile yüzde olarak değişim grafiği Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Teorik olarak spesifik enerjinin kesme derinliği ile değişimi

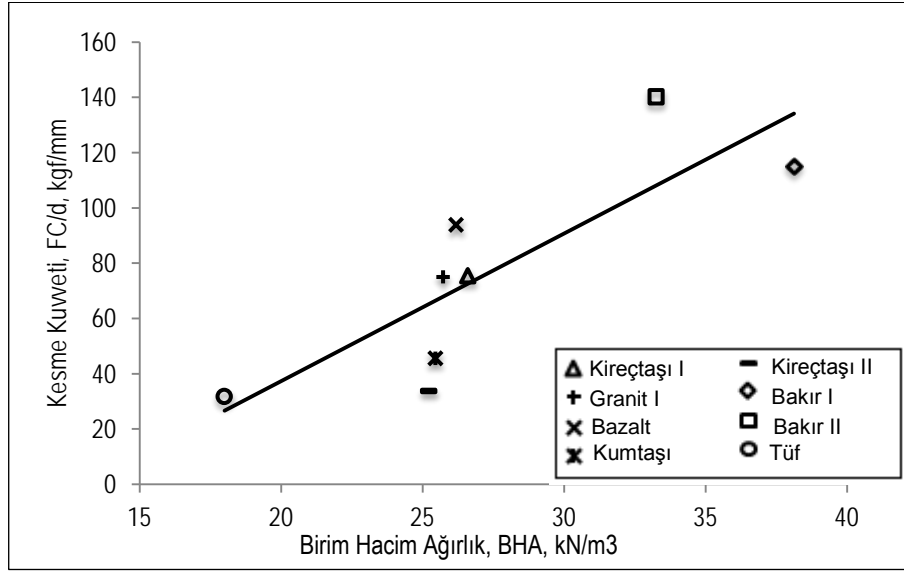
Bu grafikten yararlanılarak her kesme derinliğindeki spesifik enerji değerinin 5 mm'deki değeri hesaplanmıştır. Örneğin 1 mm kesme derinliğindeki spesifik enerji değeri  $100 \text{ MJ/m}^3$  olan bir örneğin 5 mm'deki spesifik enerji değeri teorik olarak  $60,81 \text{ MJ/m}^3$  olarak hesaplanır.

Bu yöntem kullanılarak deney sırasında elde edilen spesifik enerji değerleri 5 mm kesme derinliğine normalize edilmiştir. Bu normalize edilen spesifik enerji değeri is  $SE_{5\text{mm}}$  olarak indislenmiştir. Kesme deneylerinin ayrıntılı sonuçları Ekler kısmında verilmiştir. Kazılabilirlik deneylerinin toplu sonuçları Tablo 3.7'de verilmiştir.



Tablo 3.7. Kazılabilirlik deneylerinin toplu sonuçları

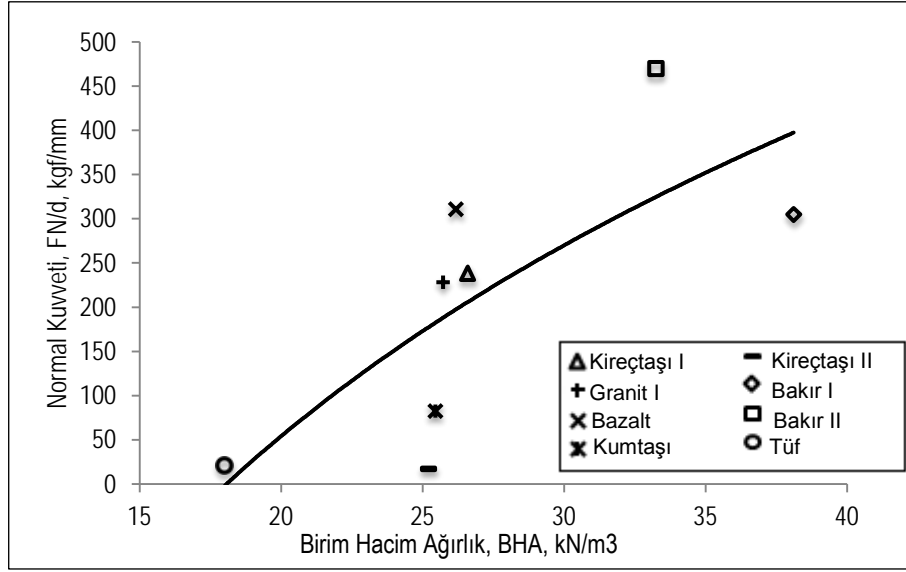
Numune Adı	Kesme Kuvveti, FC/d, kgf/mm	Normal Kuvvet, FN/d, kgf/mm	Spesifik Enerji, SE, MJ/m <sup>3</sup>	5 mm'deki Spesifik Enerji, SE <sub>5mm</sub> , MJ/m <sup>3</sup>	Kesme Katsayısı, FC/FN	Cerchar Aşındırıcılık İndeksi, CAI
Kireçtaşı I	76,53	238,31	49,0	37,28	0,32	1,03
Granit I	75,12	228,09	73,25	58,44	0,33	1,76
Bazalt	93,92	310,62	56,32	42,85	0,30	0,94
Kumtaşı	45,61	82,35	34,33	28,56	0,55	0,70
Kireçtaşı II	33,80	17,11	17,35	17,35	1,98	0,47
Bakır I	115,00	304,63	56,42	43,70	0,38	1,18
Bakır II	140,31	469,70	101,45	70,57	0,30	2,69
Tüf	31,90	20,49	18,03	18,03	1,56	0,55



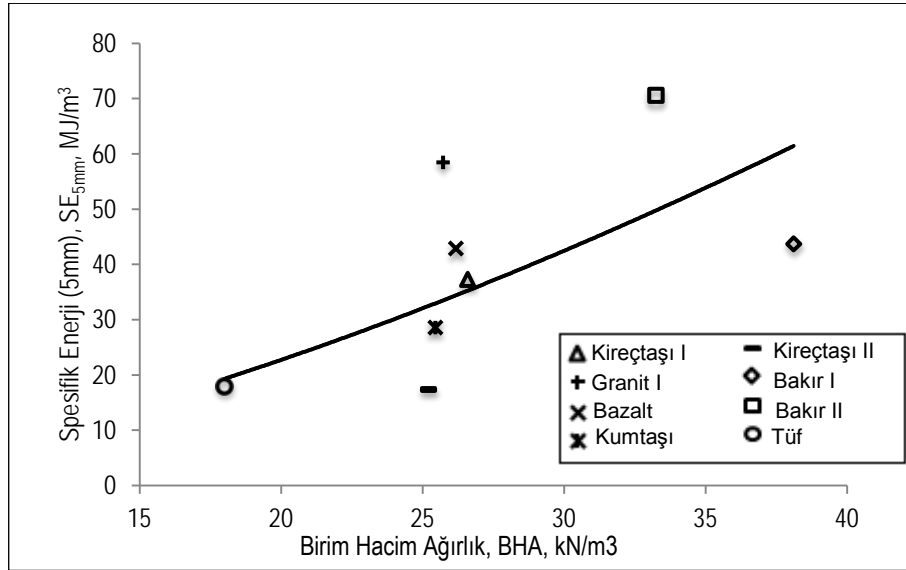
Şekil 3.12. Kesme kuvveti ile kayacın birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi kayacın birim hacim ağırlığı değeri ile kesme kuvveti arasında lineer bir ilişki bulunmuştur ( $R^2=0,67$ ). Bu da kayacın birim hacim ağırlığı arttıkça kayacı kazmak için gerekli kesme kuvvetinin lineere yakın şekilde arttığına işaret etmektedir. Normal kuvvetin de kesme kuvveti gibi birim hacim ağırlıkla arttığı görülmektedir fakat aralarındaki ilişki logaritmiktir ve determinasyon katsayısı daha düşüktür (Şekil 3.13). Aynı şekilde spesifik enerji de birim hacim ağırlık ile artmaktadır. Ancak Şekil 3.14'te görüldüğü gibi birim hacim ağırlık ile spesifik enerji arasında zayıf üslü bir ilişki bulunmaktadır ( $R^2= 0,44$ ). Ancak bu ilişkiler kesme kuvveti, normal kuvvet ve spesifik enerjideki bu artışın birim hacim ağırlık kaynaklı olduğuna işaret etmeyebilir. Çünkü Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14 dikkatlice incelendiğinde birbirine yakın birim hacim

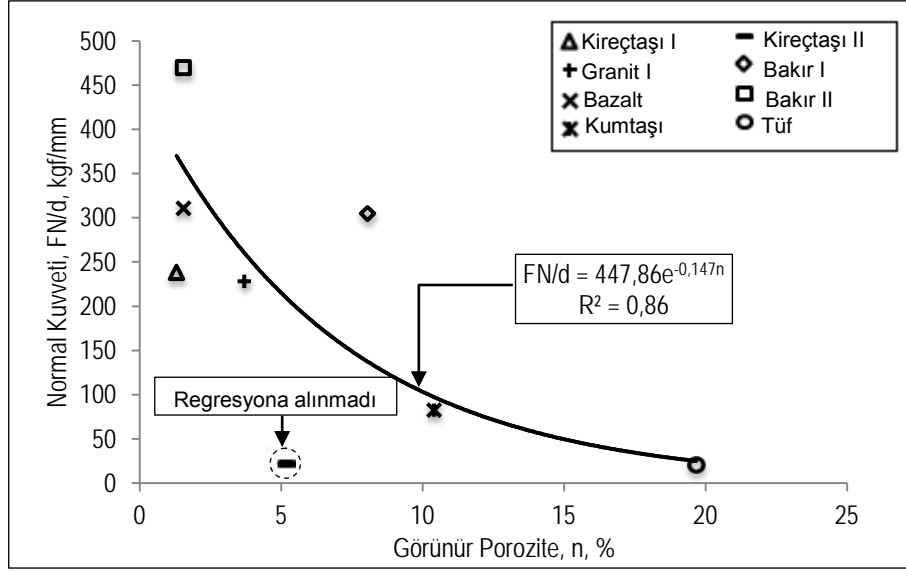
ağırlığa sahip numunelerin dikey bir çizgi üstünde kümелendiğini ve dayanımı yüksek olan kayaların daha yüksek kesme kuvveti, normal kuvvet ve spesifik enerji değerine sahip oldukları görülmektedir. En uç örnekler olan bakır I ve II ve tuf numunelerini ele almak gerekirse dayanımı düşük olan tuf numunesi nispeten daha yüksek olan bakır numunelerinden daha düşük kesme kuvveti, normal kuvvet ve spesifik enerji değerlerine sahiptir. Bundan dolayı grafiklerde herhangi bir bağıntıya yer verilmemiştir.



Şekil 3.13. Normal kuvvet ile kayacın birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki

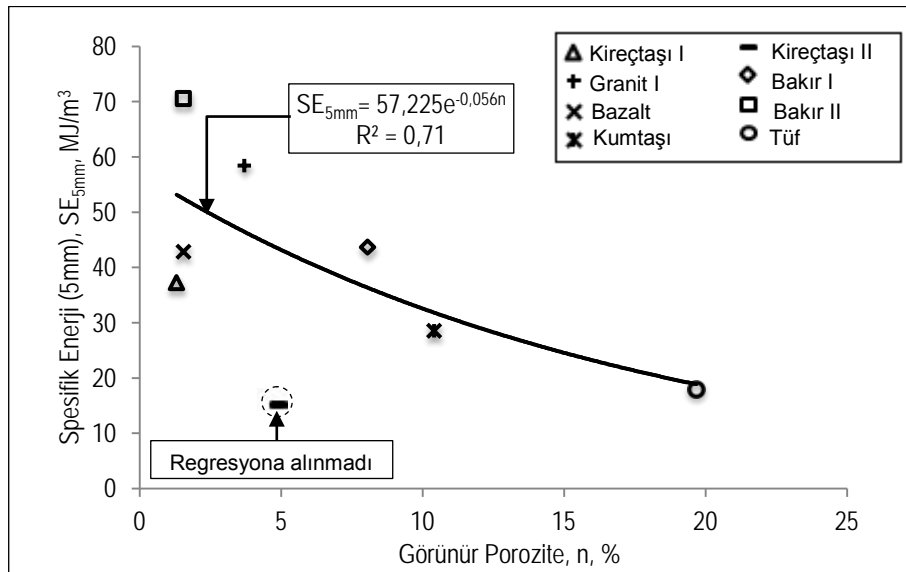


Şekil 3.14. Spesifik enerji ile kayacın birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki



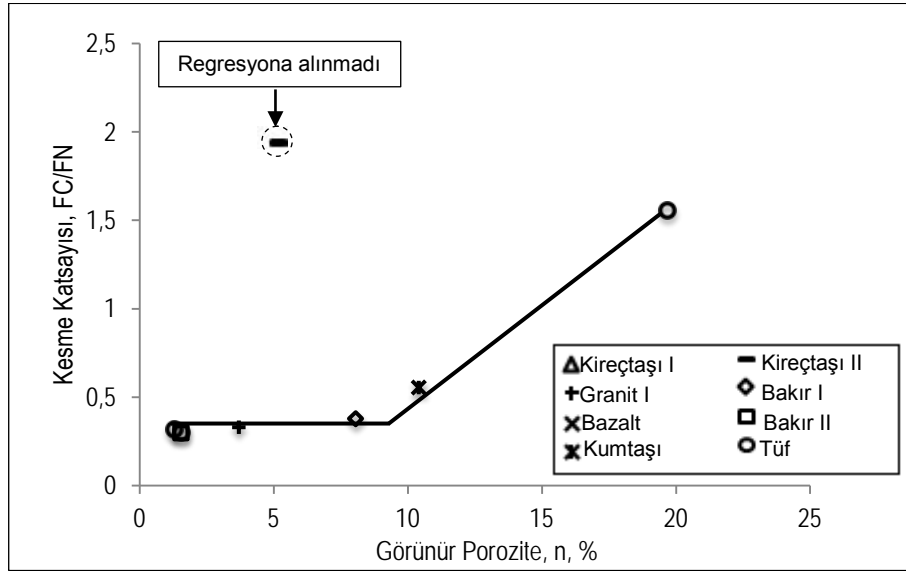
Şekil 3.15. Normal kuvvet ile kayacın görünür porozitesi arasındaki ilişki

Kayacın görünür porozitesi ile kesme kuvveti arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır, ancak normal kuvvet ile üstel bir ilişki bulunmuştur. Regresyondan kireçtaşı II numunesi çıkarıldığında çok kuvvetli üstel bir ilişki elde edilmiştir ( $R^2=0,86$ ). Kayacın görünür porozitesi ile spesifik enerji değeri arasında ise normal kuvvetle olduğu gibi ters orantılı bir ilişki bulunmuştur (Şekil 3.16). Normal kuvvette olduğu gibi spesifik enerjide de kireçtaşı II numunesi regresyondan çıkarılarak güçlü bir ilişkiye ulaşılmıştır ( $R^2=0,71$ ).

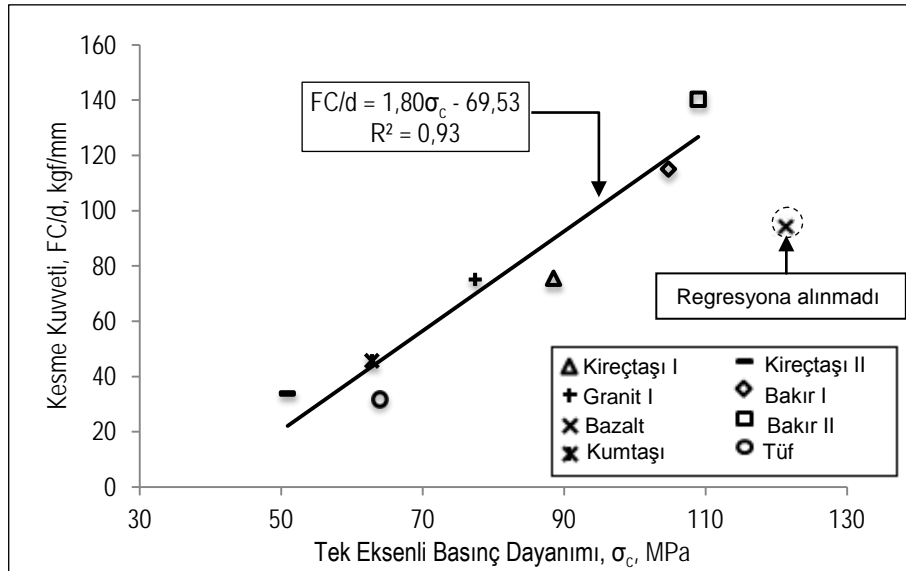


Şekil 3.16. Spesifik enerji ile kayacın görünür porozitesi arasındaki ilişki

Görünür porozite ile FC/FN oranının karşılaştırılmasında kireçtaşı regresyondan çıkarılmıştır ve Şekil 3.17'deki eğilim çizgisi oluşturulmuştur. Kesme katsayısı görünür porozitenin azalmasıyla birlikte belirli bir değere kadar düşmekte ve sonra o değer etrafında kümelenmektedir.

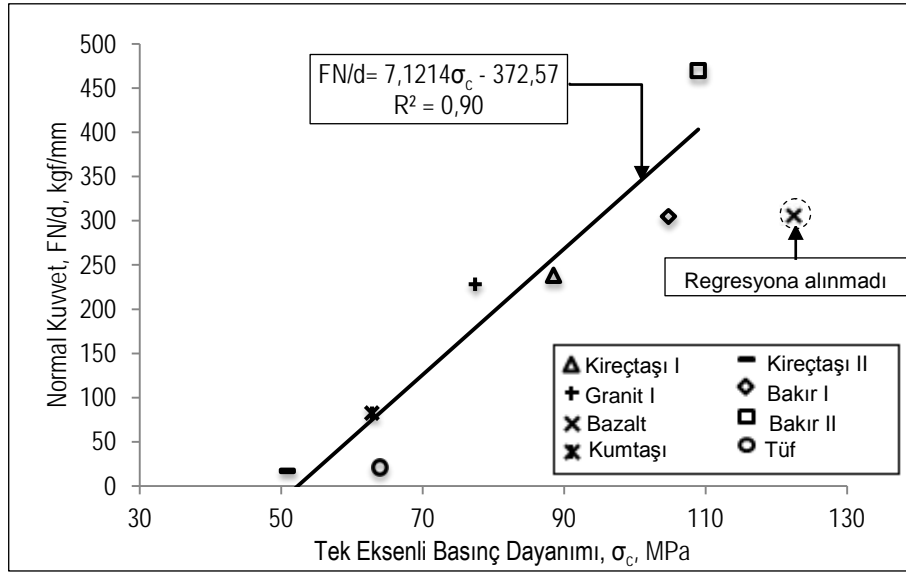


Şekil 3.17. Kesme katsayısı ile kayacın görünür porozitesi arasındaki ilişki

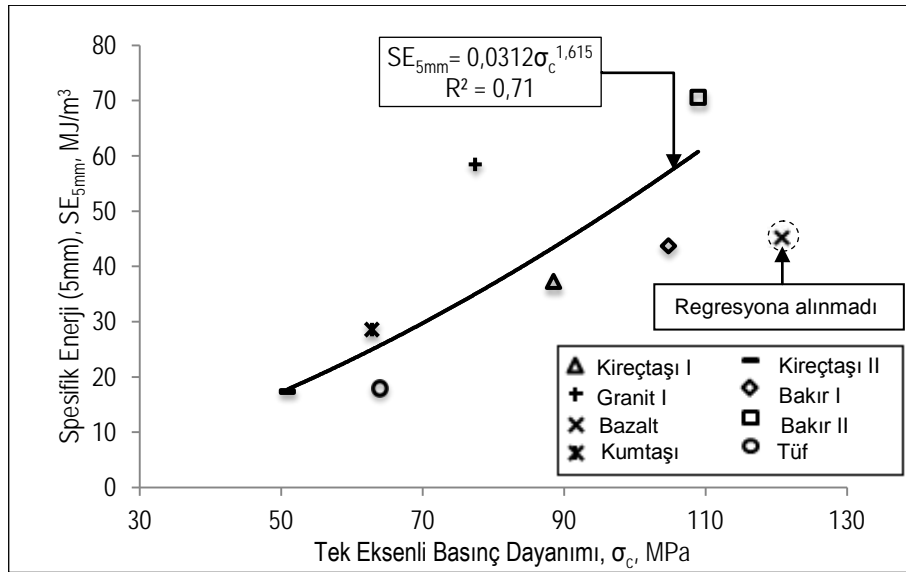


Şekil 3.18. Kesme kuvveti ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

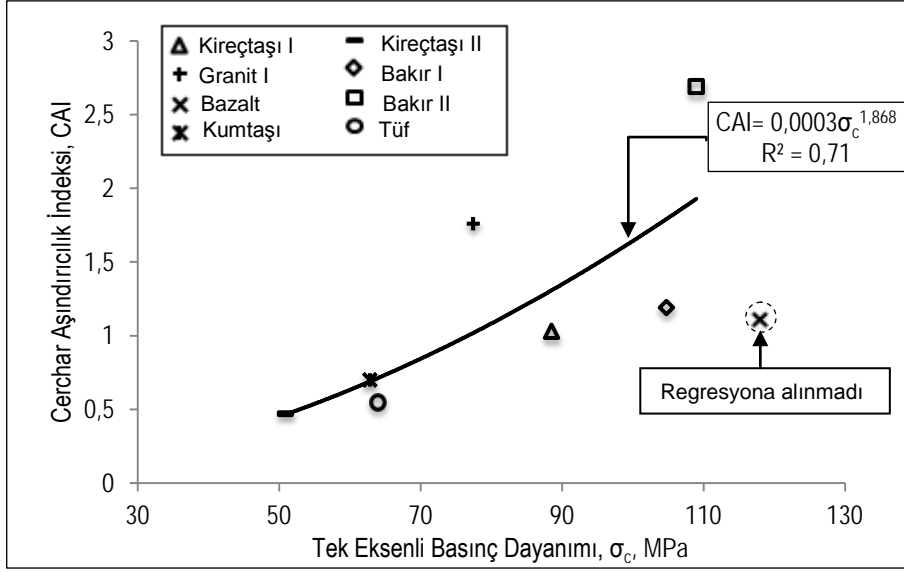
Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'daki grafiklerden de görülebileceği gibi, tek eksenli basınç dayanımı ile hem kesme kuvveti hem de normal kuvvet arasında çok kuvvetli lineer ilişkiler bulunmuştur. Her iki ilişkide de bazalt numunesi regresyona alınmamıştır. Spesifik enerji parametresi ile tek eksenli basınç dayanımı arasında kuvvetli üslü bir ilişki bulunmuştur (Şekil 3.20). Bazalt numunesi bu regresyona da dahil edilmemiştir. Ancak determinasyon katsayısı diğer bağıntılardan düşüktür (Şekil 3.18 ve 3.19).



Şekil 3.19. Normal kuvvet ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

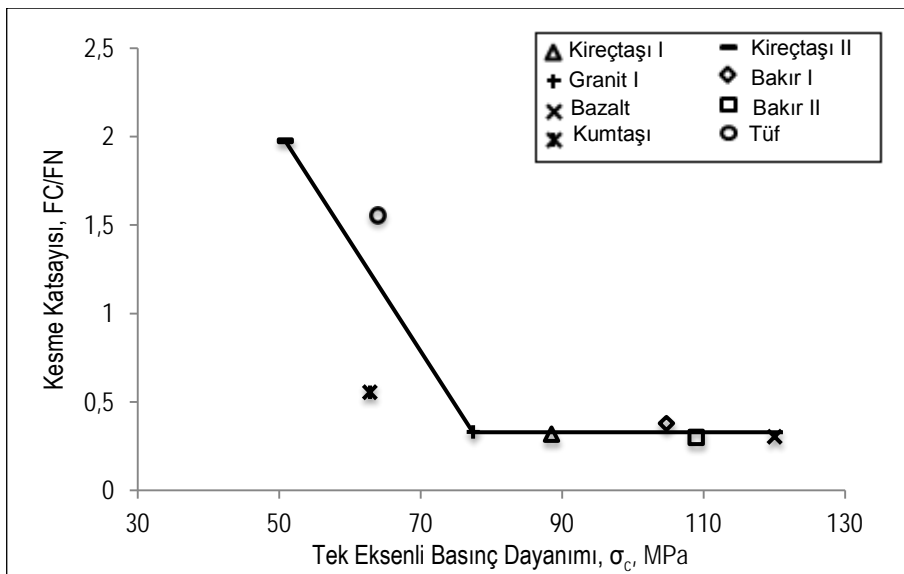


Şekil 3.20. Spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

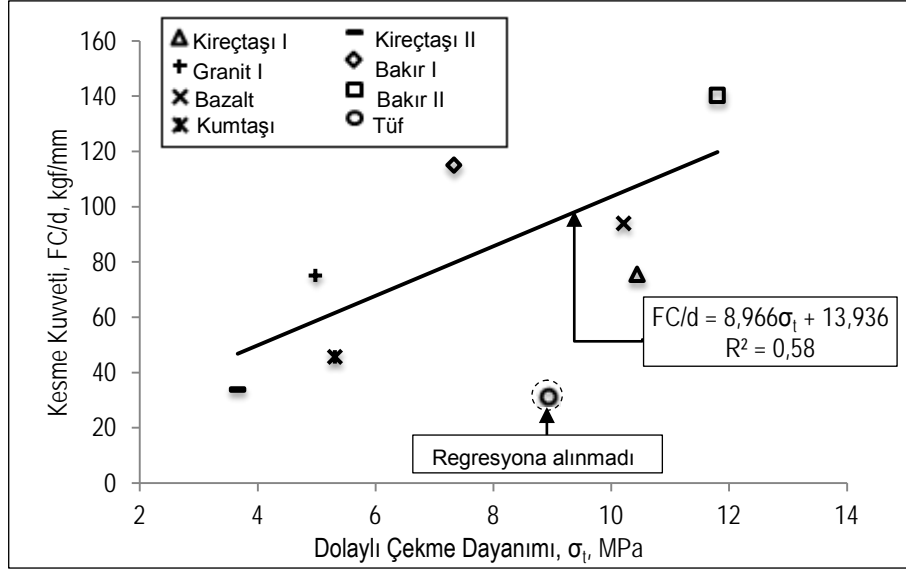


Şekil 3.21. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

Tek eksenli basınç dayanımı ile cerchar aşındırıcılık indeksi arasında determinasyon spesifik enerji ile olduğu gibi determinasyon katsayısı 0,71 olan üslü bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 3.21). Bazalt numunesi diğer ilişkilerde olduğu gibi yine regresyona alınmamıştır. Tek eksenli basınç dayanımı ile kesme katsayısı arasındaki ilişki Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı arttıkça belirli bir değere kadar kesme katsayısı azalmakta ardından bir değere yakınsamaktadır.

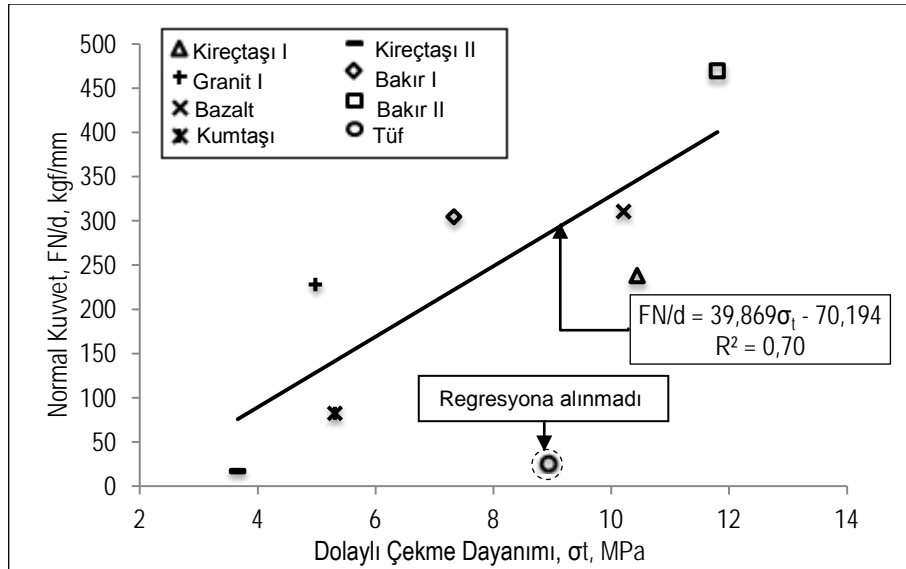


Şekil 3.22. Kesme katsayısı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

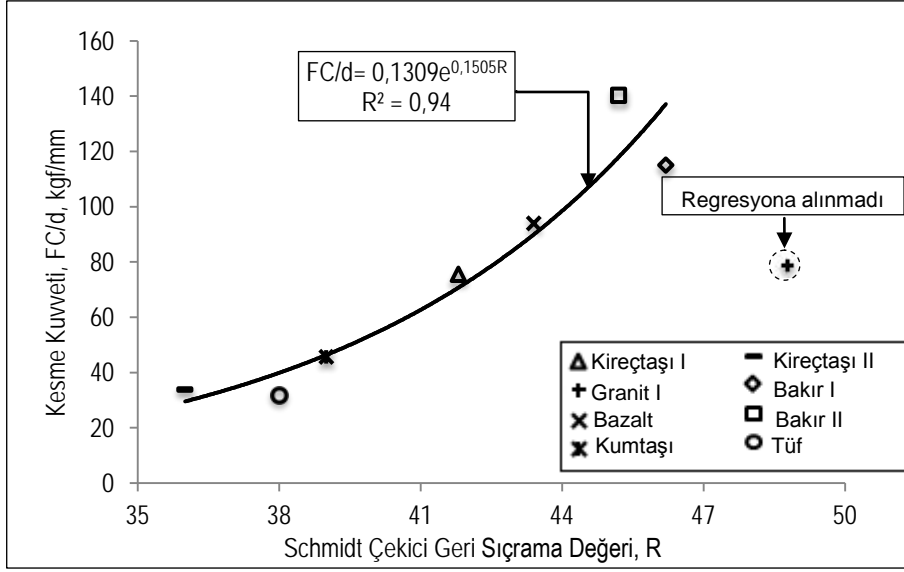


Şekil 3.23. Kesme kuvveti ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki

Dolaylı çekme dayanımı ile yalnızca kesme kuvveti ve normal kuvvet arasında doğru orantılı bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 3.23 ve 3.24). Bu iki grafikte de tuf numunesi regresyondan çıkarılarak bağıntılar oluşturulmuştur. Bu grafiklere göre, kayacın çekme dayanımı arttıkça kesme kuvveti ve normal kuvvet artmaktadır. Ancak normal kuvvet ile dolaylı çekme dayanımı arasında daha anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

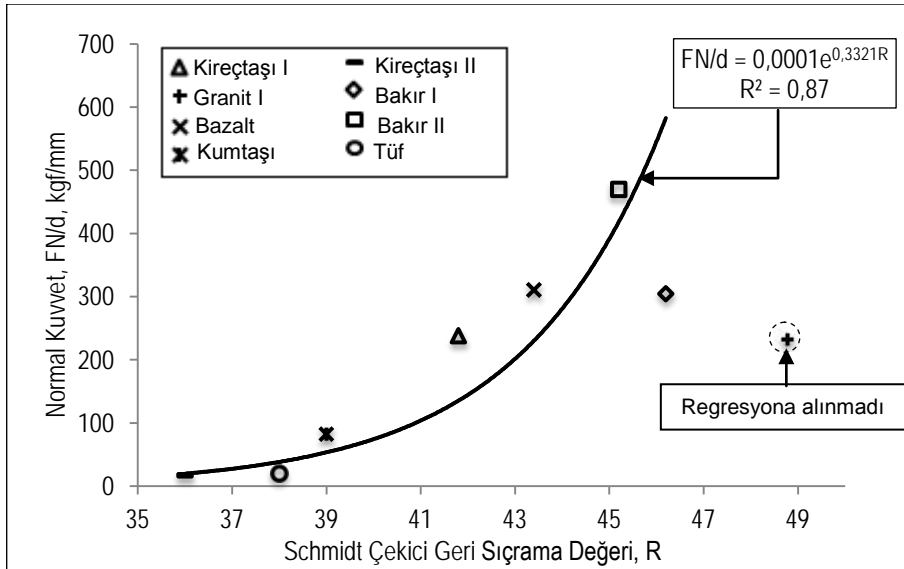


Şekil 3.24. Normal kuvvet ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki



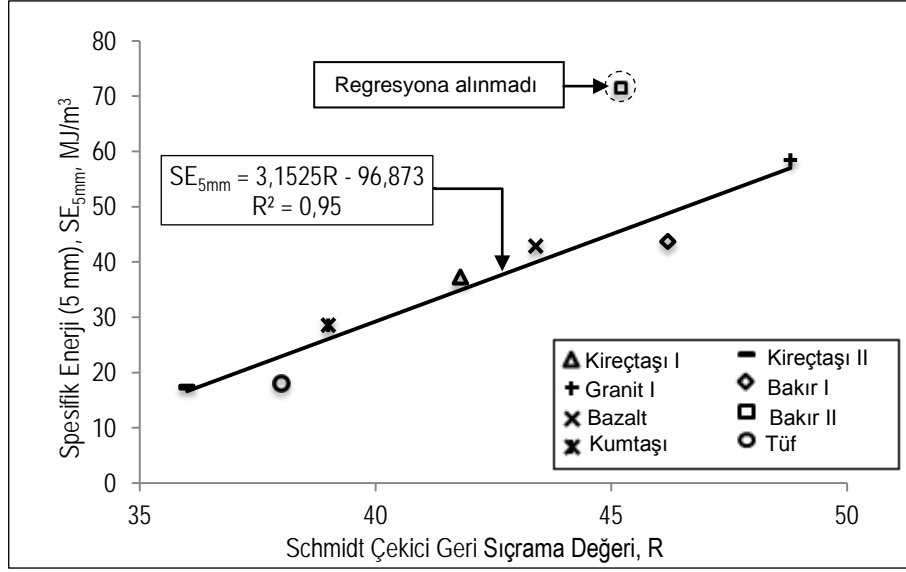
Şekil 3.25. Kesme kuvveti ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki

Schmidt çekici geri sıçrama değeri ile kesme kuvveti ve normal kuvvetin karşılaştırılması neticesinde aralarında üstel bağıntılar elde edilmiştir (Şekil 3.25 ve 3.26). Granit I numunesi her iki ilişkide de regresyona dahil edilmemiştir. Bu ilişkilere göre Schmidt çekici geri sıçrama değeri arttıkça kesme kuvveti ve normal kuvvet üstel olarak artmaktadır.



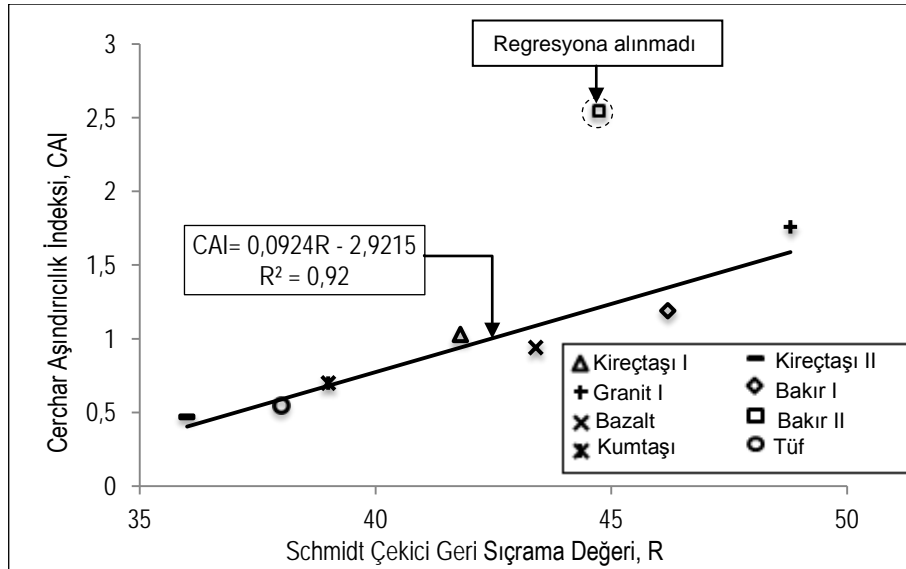
Şekil 3.26. Normal kuvvet ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki



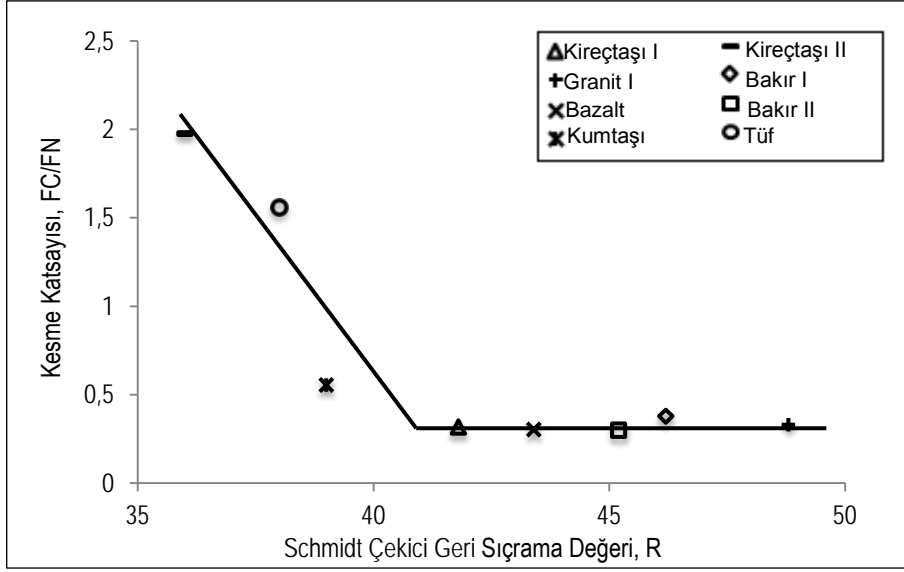


Şekil 3.27. Spesifik enerji ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki

Şekil 3.27'deki grafikte görülebileceği gibi Schmidt çekici sıçrama değeri R ile spesifik enerji değeri arasında çok kuvvetli lineer bir ilişki bulunmuştur. Bakır II numunesi regresyona dahil edilmemiştir. Schmidt çekici geri dönüş değeri ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında da çok güçlü lineer bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 3.28). Spesifik enerjide olduğu gibi bu ilişkide de bakır II numunesi regresyona dahil edilmemiştir.

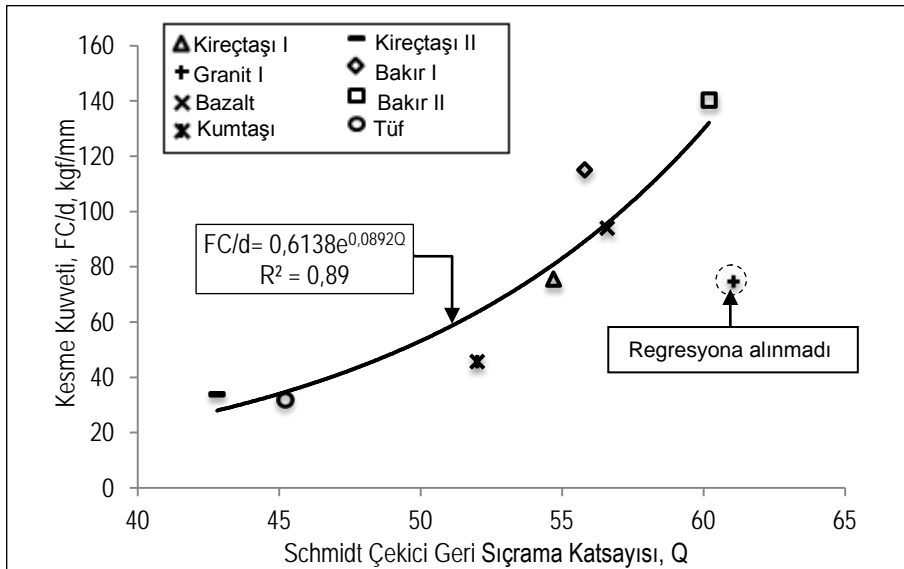


Şekil 3.28. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki

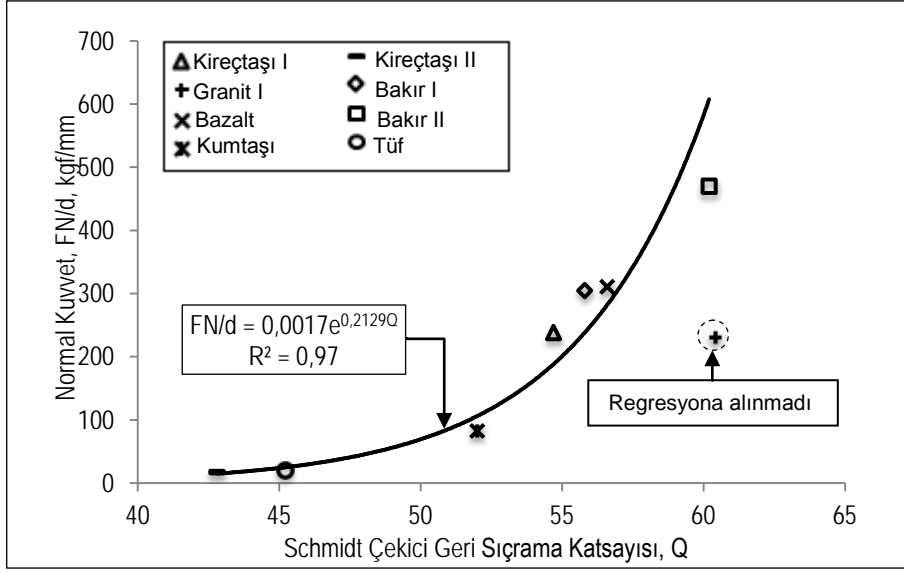


Şekil 3.29. Kesme katsayısı ile Schmidt çekici geri sıçrama değeri arasındaki ilişki

Schmidt çekici geri sıçrama değeri arttıkça, kesme katsayısı belirli bir değere kadar düştükten sonra bir değere yakınsamaktadır (Şekil 3.29). Şekil 3.30'da görüldüğü gibi Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arttıkça kesme kuvveti üstel olarak artmaktadır. Granit I numunesi bu regresyona alınmamıştır.

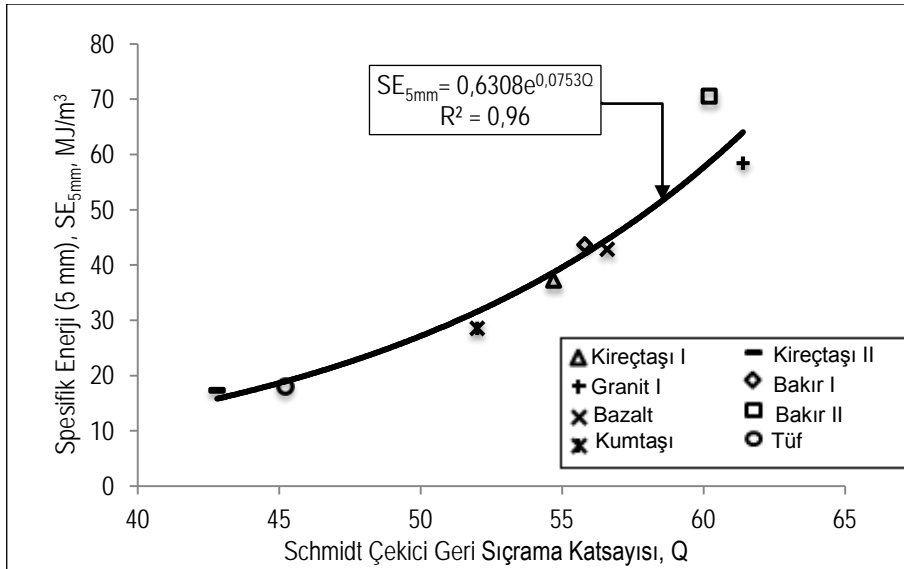


Şekil 3.30. Kesme kuvveti ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki

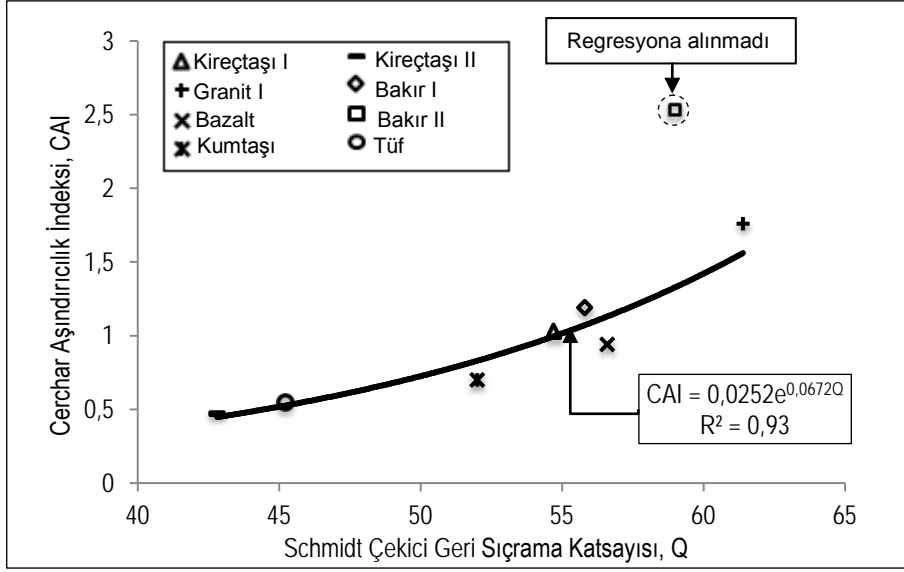


Şekil 3.31. Normal kuvvet ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki

Şekil 3.31'deki şekilde görüldüğü gibi Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı ile normal kuvvet arasında çok güçlü üstel bir ilişki bulunmuştur ( $R^2=0,97$ ). Bu ilişkide granit I numunesi regresyona dahil edilmemiştir. Tüm numuneler dahil edilerek yapılan regresyon sonucunda spesifik enerji değeri ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasında çok kuvvetli üstel bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 3.32).

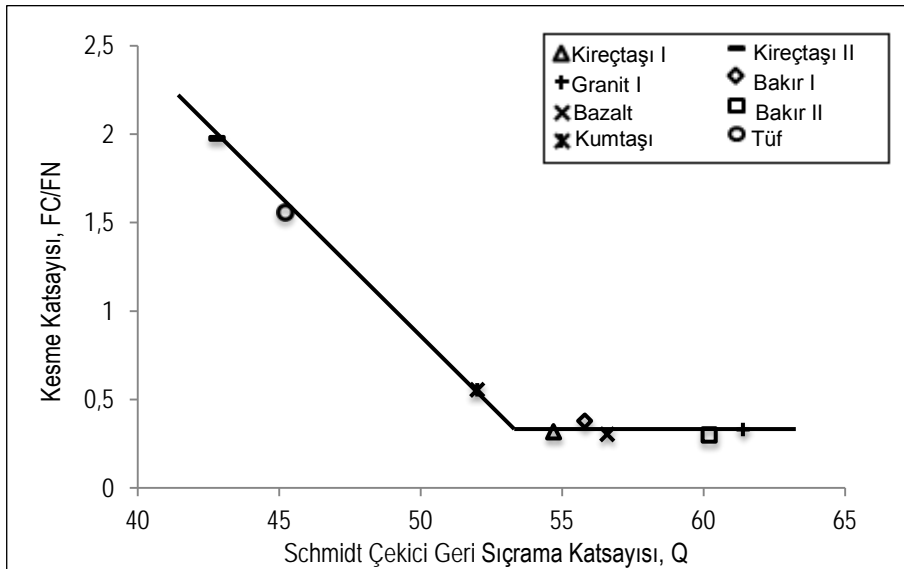


Şekil 3.32. Spesifik enerji ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 3.33. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki

Şekil 3.33'te görüldüğü gibi Cerchar aşındırıcılık indeksi Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı ile birlikte üstel olarak artmaktadır. Bu regresyona bakır II numunesi dahil edilmemiştir. Kesme katsayısı Schmidt çekici geri sıçrama katsayısının artışıyla birlikte belirli bir değer kadar düştükten sonra burada sabitlenmektedir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Kesme katsayısı ile Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişki

Tablo 3.8. Farklı değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin korelasyon katsayıları (r) ve güvenilirlik aralıkları matrisi

	<b>Kesme Kuvveti, FC/d,</b>	<b>Normal Kuvvet, FN/d,</b>	<b>Spesifik Enerji, SE<sub>5mm</sub>,</b>	<b>Kesme Katsayısı, FC/FN</b>	<b>Cerchar Aşındırıcılık İndeksi, CAI</b>
<b>Birim Hacim Ağırlık, BHA</b>	0,822 % 95	0,732 %95	0,595 -	-0,537 -	0,543 -
<b>Görünür Porozite, n</b>	-0,569 -	-0,648 -	-0,606 -	0,522 -	-0,499 -
<b>Tek Eksenli Basınç Dayanımı, <math>\sigma_c</math></b>	0,879 % 99	0,899 %99	0,689 -	-0,748 % 95	0,551 -
<b>Dolaylı Çekme Dayanımı, <math>\sigma_t</math></b>	0,611 -	0,669 -	0,441 -	-0,473 -	0,456 -
<b>Düzeltilmiş Nokta Yük Dayanımı, I<sub>50</sub></b>	0,167 -	0,303 -	0,102 -	-0,363 -	-0,05 -
<b>Schmidt Çekici Geri Sıçrama Değeri, R</b>	0,754 %95	0,771 %95	0,873 % 99	-0,795 %95	0,734 %95
<b>Schmidt Çekici Geri Sıçrama Katsayısı, Q</b>	0,789 %95	0,848 %99	0,931 % 99	-0,926 % 99	0,795 % 95
<b>Kırılgenlik, S<sub>20</sub></b>	-0,222 -	-0,271 -	0,12 -	0,369 -	0,107 -
<b>Not:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grafikler oluşturulurken bazı ilişkilerde, bazı numuneler regresyon dışı tutulmuştur. Bundan dolayı grafikler oluşturulduğundaki istatistiksel verilerle bu tablodaki veriler birbirini tutmaması mümkündür.</li> <li>• Bu tablo 8 kayaç ve cevher numunesinin tümü hesaplamalara dahil edilerek oluşturulmuştur.</li> </ul>					

Tablo 3.8’de farklı fiziksel ve mekanik parametreler ile kazılabilirlik parametreleri arasındaki korelasyon katsayılarını ve anlamlılık değerlerini gösteren bir matris görülmektedir. Tablo 3.8 ve grafikler incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

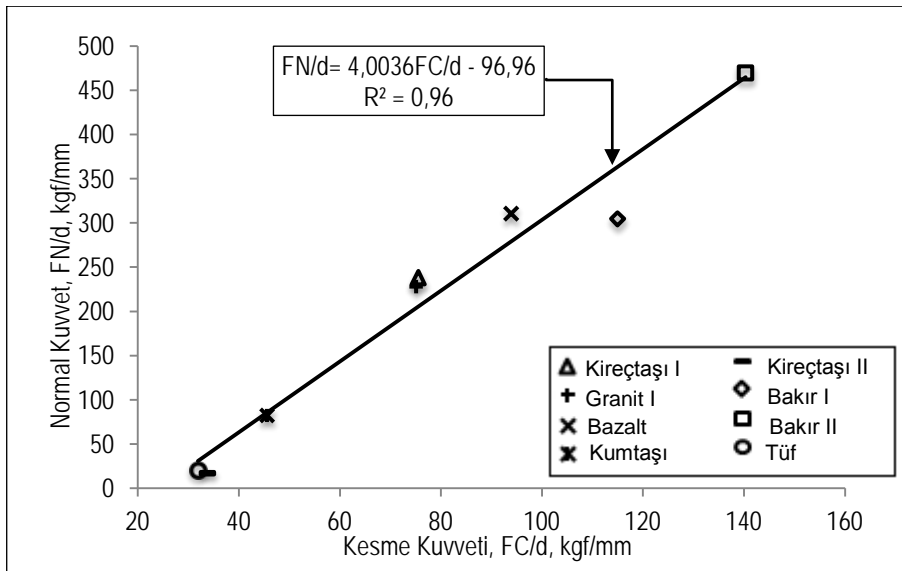
- Kayacın birim hacim ağırlık değeri ile kesme kuvveti ve normal kuvveti parametreleri arasında % 95 güvenilirlik aralığında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Ancak bu bulgunun sonucu tartışmaya açıktır, çünkü bu etki farklı birim hacim ağırlıklara sahip kayaçların, dayanım değerlerinin de farklı olması ile açıklanabilir.
- Tüm veri grubu regresyona dahil edildiğinde kayacın görünür porozite değeri ile kazılabilirlik parametreleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilememiştir. Ancak kireçtaşı II numunesi veri grubundan çıkarıldığında, normal kuvvet ve spesifik enerji ile anlamlı ilişkilere ulaşılmıştır. Birim hacim ağırlık parametresinden farklı olarak, görünür porozitenin kayacın dayanımına etki edebileceği düşünülerek kazılabilirlik parametreleri üzerinde etkili olabileceği ileri sürülebilir.
- Kayacın görünür porozitesi ile kesme katsayısı (FC/FN) arasında ise çok kuvvetli bir ilişki elde edilmiştir. Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi mekanize kazı

açısından kesme katsayısı önemli bir yere sahiptir, kesme katsayısı arttıkça kazı makinesinin tork ihtiyacı artmaktadır (Gertsch ve Özdemir, 1991). Kayacın porozitesi arttıkça sünek davranış artmakta ve bu da kazı makinesini zorlamaktadır, porozite ile kesme katsayısının artmasının bu şekilde açıklanması mümkün olabilir.

- Kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile kesme kuvveti ve normal kuvvet arasında çok güçlü lineer ilişkiler elde edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ile spesifik enerji ve Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında üslü ilişkilere ulaşılmıştır, ancak tek eksenli basınç dayanımının kesme kuvvetini ve normal kuvveti temsil ettiği kadar spesifik enerji ve Cerchar aşındırıcılık indeksini temsil etmediği görülmüştür. Bu regresyonlara bazalt numunesi dahil edilmemiştir.
- Tek eksenli basınç dayanımı ile spesifik enerji değeri arasında beklenilen aksine anlamlı ilişkiler elde edilememiştir. Ancak grafiklerden, kesme katsayısı dışındaki tüm kazılabilirlik parametrelerinin tek eksenli basınç dayanımı ile arttığı ileri sürülebilir. Tek eksenli basınç dayanımı kazılabilirlik açısından önemli bir parametre olmakla birlikte kazılabilirlik parametrelerini açıklamaya tek başına yeterli olmamaktadır (Johnson ve Fowell, 1986). Bu sonuçlar bu savı desteklemektedir.
- Dolaylı çekme dayanımı parametresi ile kesme kuvveti arasında zayıf lineer bir ilişkiye ulaşılmıştır, normal kuvvet ile daha kuvvetli bir lineer ilişki elde edilmiştir. Tüf numunesi her iki regresyona da katılmamıştır.
- Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) ile tüm kazılabilirlik parametreleri arasında çok kuvvetli ilişkiler elde edilmiştir. R değeri ile kesme kuvveti ve normal kuvvet arasında çok güçlü üstel ilişkiler elde edilmiştir, regresyonlara granit I numunesi dahil edilmemiştir. R değeri ile spesifik enerji ve Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında çok kuvvetli lineer ilişkilere ulaşılmıştır. Bakır II numunesi bu regresyona katılmamıştır.
- Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı (Q) ile tüm kazılabilirlik parametreleri arasında R değerinde olduğu gibi kuvvetli ilişkiler bulunmuştur. Q değeri ile kesme kuvveti ve normal kuvvet arasında çok kuvvetli üstel ilişkilere ulaşılmıştır. Bu regresyonlara granit I numunesi dahil edilmemiştir. Q değeri ile spesifik enerji parametresi arasında tüm veri grubu için çok güçlü bir üstel ilişkiye ulaşılmıştır. Q değeri ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında çok güçlü üstel bir ilişkiye ulaşılmıştır, bu regresyona bakır II numunesi dahil edilmemiştir. Korelasyon

katsayıları ve güvenilirlik aralıkları incelendiğinde Q değerinin R değerinden daha hassas sonuçlar verdiği ileri sürülebilir.

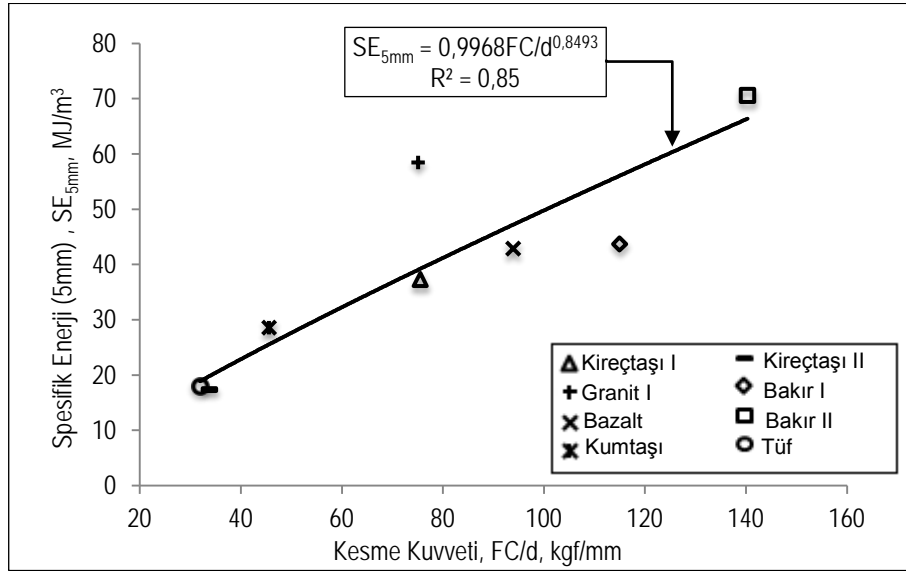
- Grafikler detaylı olarak incelendiğinde kazılabilirlik parametreleriyle en anlamlı ilişkiye sahip mekanik parametrenin Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı (Q) olduğu ileri sürülebilir. Daha önce Q değeri ile kazılabilirlik parametreleri arasında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Q değeri kazılabilirlik tayininde ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.
- Lindqvist (1981)'e göre kazı sırasında kırılma prosesi; elastik enerjisi, yüzey enerjisi ve sertlik enerjisinin yenilmesi ile gerçekleşmektedir. Schmidt çekici, çalışma prensibi olarak kayaç ve betonların yüzey sertliğini ölçmektedir. Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) ile geri sıçrama katsayısının (Q) tüm kazılabilirlik parametreleri ile anlamlı ilişki içinde olması Lindqvist'in önermesiyle açıklanabilir.
- Kırılma deneyi ile kazılabilirlik parametreleri arasında herhangi bir anlamlı ilişkiye rastlanmamıştır.
- Düzeltilmiş nokta yük dayanımı ile kazılabilirlik parametreleri arasında anlamlı ilişkilere ulaşılamamıştır.



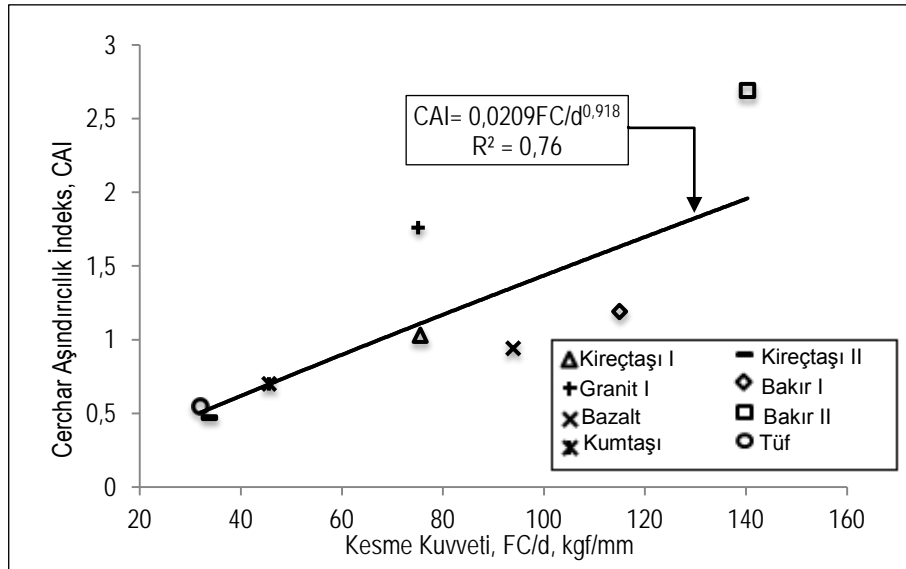
Şekil 3.35. Kesme kuvveti ile normal kuvvet arasındaki ilişki

Küçük boyutlu kazı deneyi ve Cerchar aşındırıcılık deneyi sonucu kesme kuvveti (FC), normal kuvvet (FN), ve Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) kazılabilirlik parametreleri olarak kabul edilmişti. Bu bölüme kadar mekanik değerleri kendi içinde ve

kazılabilirlik parametreleri ile irdelenmiştir. Bu bölümde ise spesifik enerji, kesme kuvveti, normal kuvvet ve Cerchar aşındırıcılık indeksi parametreleri kendi içinde irdelenecektir. Şekil 3.35'te görüleceği gibi normal kuvvet kesme kuvveti ile lineer olarak artmaktadır ve aralarındaki lineer ilişki çok kuvvetlidir.

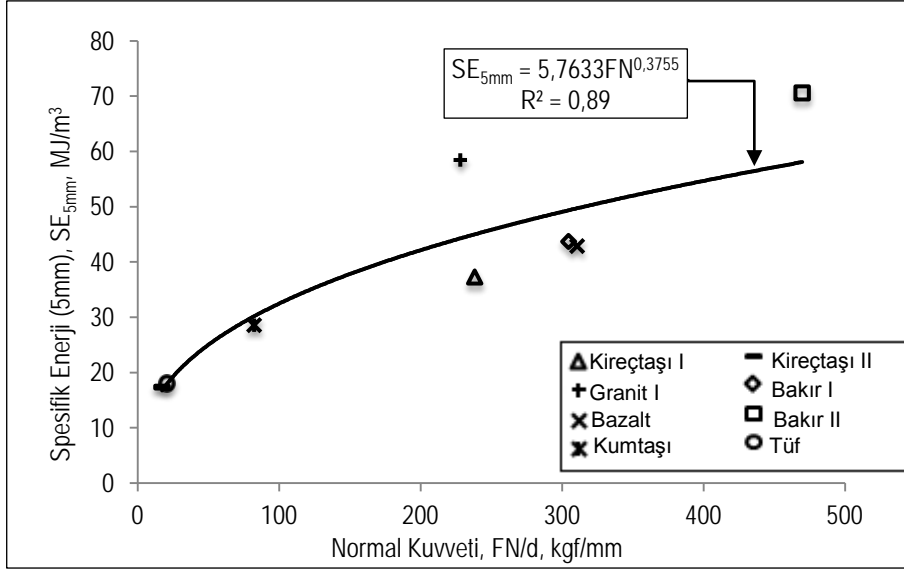


Şekil 3.36. Kesme kuvvet ile spesifik enerji arasındaki ilişki



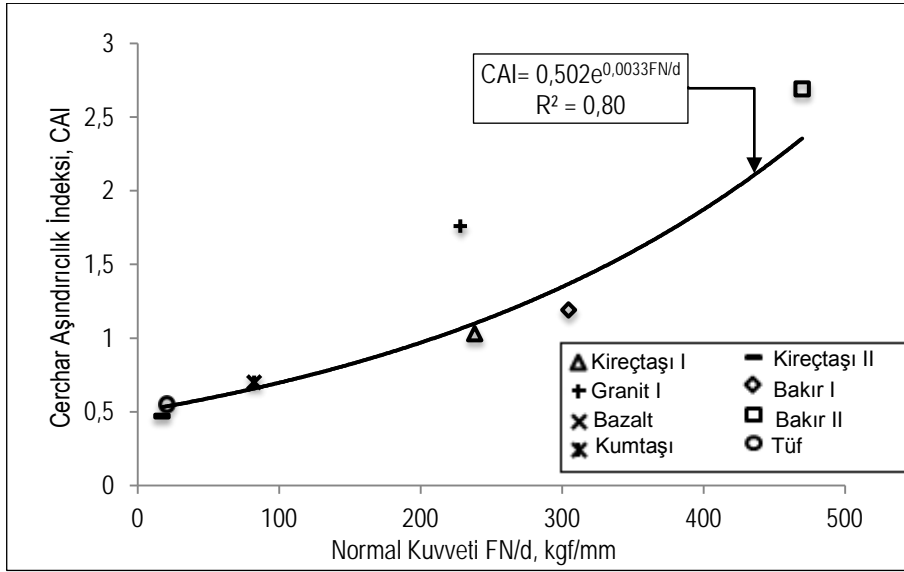
Şekil 3.37. Kesme kuvveti ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki



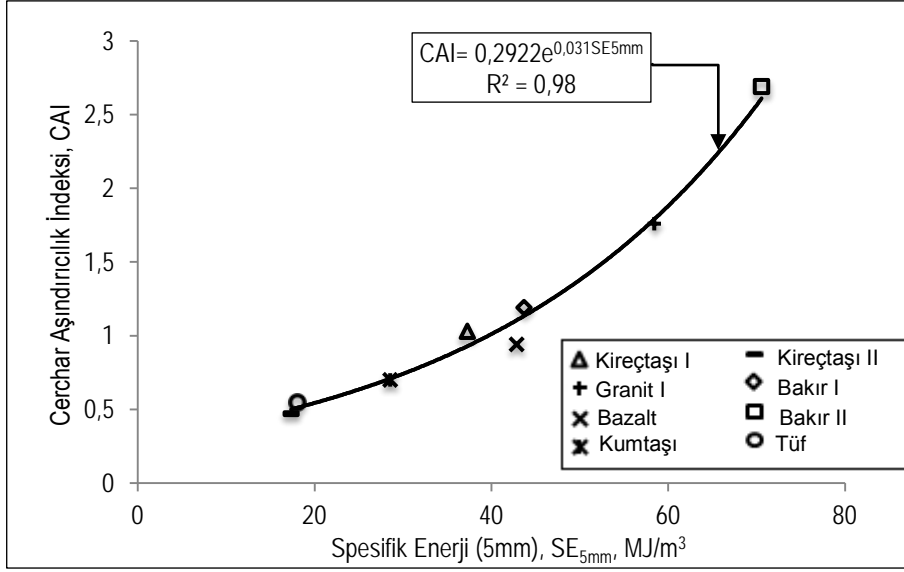


Şekil 3.38. Normal kuvvet ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Spesifik enerjinin kesme kuvveti yardımı ile dolaylı olarak bulunabilmesi için iki değişken arasında üslü bir bağıntı elde edilmiştir. Aynı zamanda Cerchar aşındırıcılık indeksi ile kesme kuvveti arasında üslü bir ilişki bulunmuştur (Şekil 3.36 ve 3.37). Şekil 3.38'de görüldüğü gibi normal kuvvet ile spesifik enerji arasında üslü bir ilişki elde edilmiştir. Normal kuvvet artarken Cerchar aşındırıcılık indeksi üstel olarak artmaktadır ( Şekil 3.39).

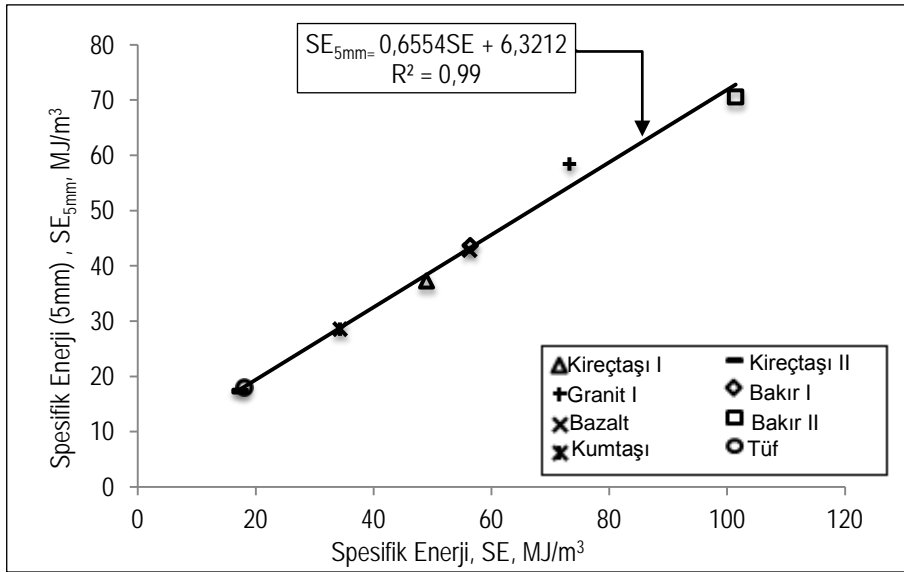


Şekil 3.39. Normal kuvvet ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki



Şekil 3.40. Spesifik enerji değeri ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki

Şekil 3.40 çok önemli bir ilişkiye işaret etmektedir. Spesifik enerji ile Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında çok kuvvetli üstel bir ilişki elde edilmiştir. Bu grafik yardımıyla aşındırıcılık parametresi spesifik enerji değerinden hesap edilebilmektedir. Grafik yorumlandığında spesifik enerji ve aşınma oluşumuna etki eden mekanizmanın benzer olduğu ileri sürülebilir.



Şekil 3.41. Spesifik enerji değeri ile 5 mm için düzeltilmiş spesifik enerji arasındaki ilişki

Şekil 3.41’de 5 mm için hesaplanan spesifik enerji değeri ile ölçülen spesifik enerji değeri arasındaki çok kuvvetli lineer ilişki görülmektedir. Bu ilişki sonucunda 5 mm için yapılan düzeltme işleminin kendi içinde tutarlı olduğu ileri sürülebilir.

Tablo 3.9. Farklı değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin korelasyon katsayıları ve güven aralıkları matrisi

	<b>Kesme Kuvveti, FC/d, kgf/mm</b>	<b>Normal Kuvvet, FN/d, kgf/mm</b>	<b>Spesifik Enerji, SE<sub>5mm</sub>, MJ/m<sup>3</sup></b>
<b>Normal Kuvvet, FN/d, kgf/mm</b>	0,981 % 99		
<b>Spesifik Enerji, SE<sub>5mm</sub>, MJ/m<sup>3</sup></b>	0,870 % 99	0,908 % 99	
<b>Cerchar Aşındırıcılık İndeksi, CAI</b>	0,819 % 95	0,842 % 99	0,954 %99

Tablo 3.9’deki katsayılar matrisi incelendiğinde şu saptamalar yapılabilir:

- Kesme kuvveti, normal kuvvet ve spesifik enerji parametreleri ile % 99 güven aralığında anlamlı ilişki içindedir, Cerchar aşındırıcılık indeksi ile ise % 95 güven aralığında anlamlı ilişki içindedir.
- Normal kuvvet hem spesifik enerji hem de Cerchar aşındırıcılık indeksi parametreleri ile % 99 güven aralığında anlamlı ilişkiye sahiptir.
- Spesifik enerji, Cerchar aşındırıcılık indeksi ile % 99 güven aralığında anlamlı bir ilişkiye sahiptir.

Bu bölüme kadar verilen deneysel bulgular ışığında spesifik enerji, kesme kuvveti, normal kuvvet ve Cerchar aşındırıcılık indeksi tayini için farklı değişkenlerden oluşan ampirik formüller oluşturulmuştur. Çok katlı regresyon yönteminin kullanıldığı işlemler için SPSS 17 paket programı kullanılmıştır. Ardından bulunan ve hesaplanan değerler karşılaştırılarak grafikler oluşturulmuştur. Ampirik formüller yardımı ile hesaplanan değerler Ekler kısmında verilmiştir.

$$\begin{aligned} SE_{5mm} &= -44,041-1,685n+4,83\sigma_t-0,122S_{20}-13,537\rho-8,802I_{50}+3,207R & (\text{MJ/m}^3) \\ R^2 &= 0,99 & (3.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC/d &= -114,343-1,499n+8,415\sigma_t-0,333S_{20}+18,834\rho-8,467I_{50}+3,144R & (\text{kgf/mm}) \\ R^2 &= 0,99 & (3.10) \end{aligned}$$

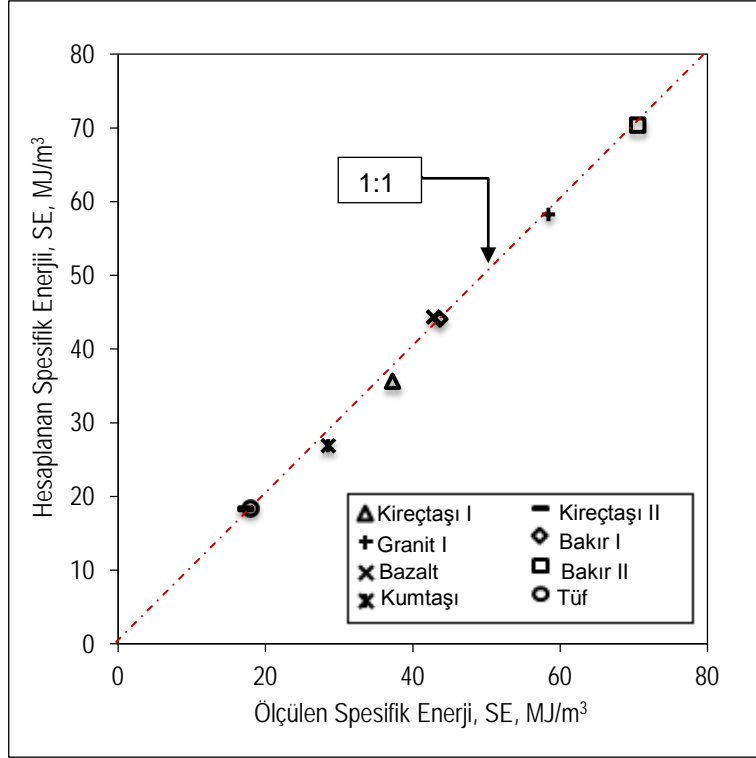
$$\begin{aligned} FN/d &= -475,356-9,775n+36,13\sigma_t-2,066S_{20}+18,610\rho-35,882I_{50}+15,643R & (\text{kgf/mm}) \\ R^2 &= 0,99 & (3.11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CAI &= -2,306-0,053n+0,274\sigma_t+0,025S_{20}-0,48\rho-0,412I_{50}+0,063Q & (\text{CERCHAR}) \\ R^2 &= 1 & (3.12) \end{aligned}$$

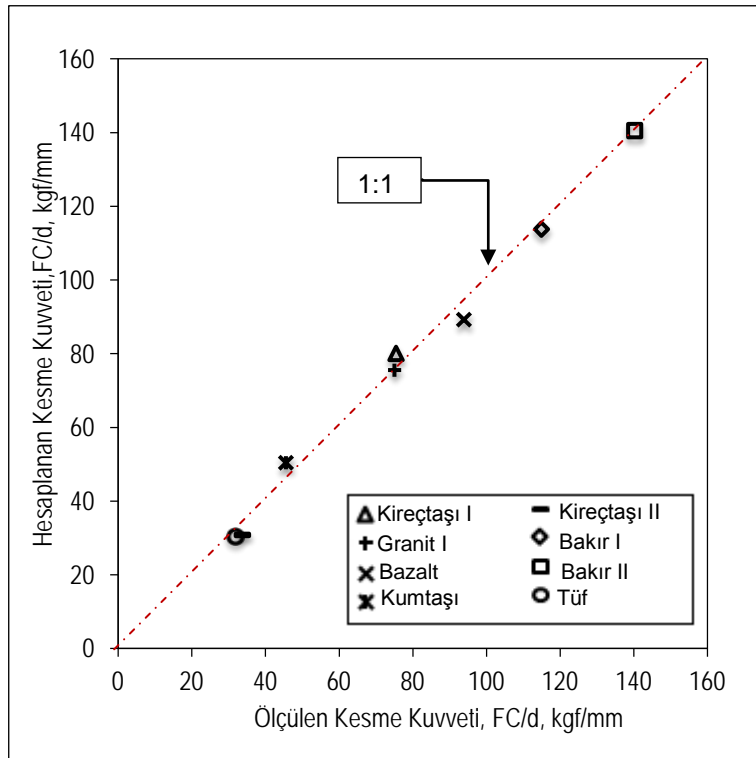
Burada;

$SE_{5mm}$	= Spesifik enerji, $\text{MJ/m}^3$ ,
$FC/d$	= Kesme kuvveti, $\text{kgf/mm}$ ,
$FN/d$	= Normal kuvvet, $\text{kgf/mm}$ ,
$CAI$	= Cerchar aşındırıcılık indeksi,
$Q$	= Schmidt çekici geri sıçrama katsayısı,
$R$	= Schmidt çekici geri sıçrama değeri,
$\sigma_t$	= Dolaylı çekme dayanımı, $\text{MPa}$ ,
$I_{50}$	= Düzeltilmiş nokta yük indeksi, $\text{MPa}$ ,
$S_{20}$	= Kırılgenlik, %,
$\rho$	= Yoğunluk, $\text{g/cm}^3$ ,
$n$	= Görünür porozite, %'dir.

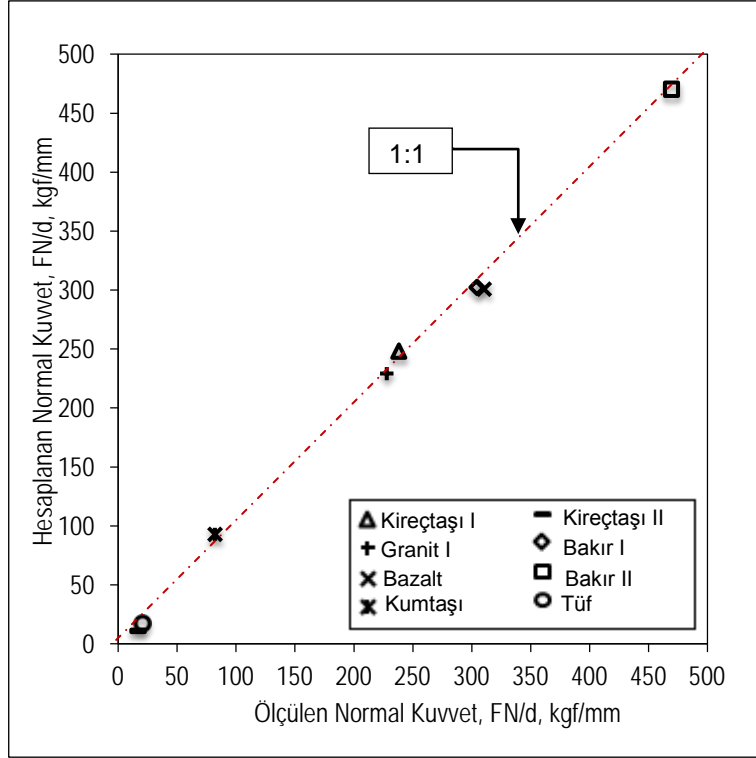
Formüller incelendiğinde, hepsinde 6 bağımsız değişkene yer verilmiştir ve sonuçlar gerçeğe yakın değerler vermiştir. Tüm bağıntılarda Schmidt çekici geri sıçrama değeri, yoğunluk, görünür porozite, kırılgenlik, düzeltilmiş nokta yük dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı bağımsız değişkenleri kullanılmıştır. Yalnızca Cerchar aşındırıcılık indeksinin hesaplanmasında Schmidt çekici geri sıçrama değeri yerine geri sıçrama katsayısı kullanılmıştır. Hesaplanan ve ölçülen değerlerin 1:1 çizgisi üzerindeki dağılımı Şekil 3.42, 3.43, 3.44 ve 3.45'te verilmiştir.



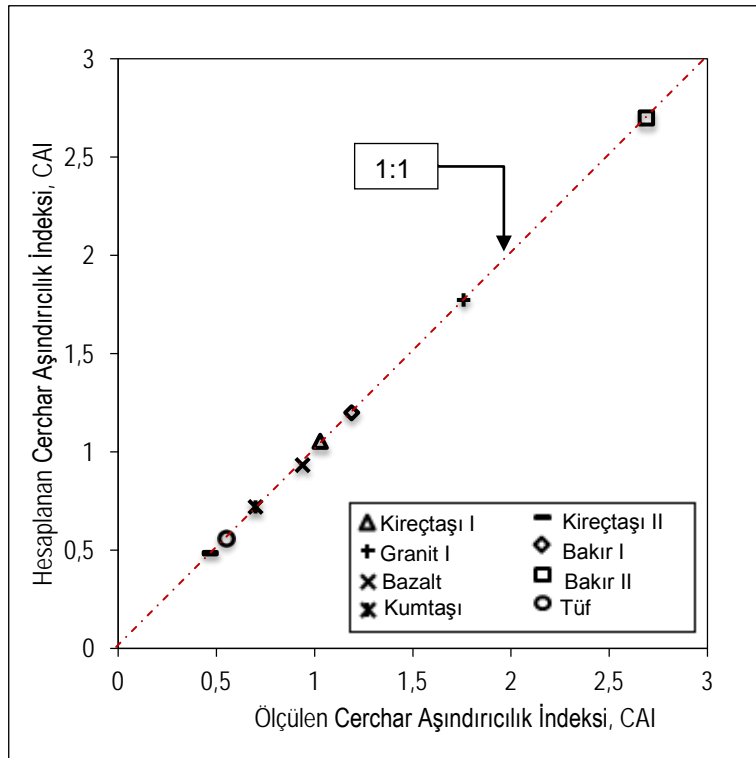
Şekil 3.42. Hesaplanan Spesifik enerji ile ölçülen spesifik enerji değeri arasındaki ilişki



Şekil 3.43. Hesaplanan kesme kuvveti ile ölçülen kesme kuvveti değeri arasındaki ilişki



Şekil 3.44. Hesaplanan normal kuvvet ile ölçülen normal kuvvet değeri arasındaki ilişki



Şekil 3.45. Hesaplanan Cerchar aşındırıcılık indeksi ile ölçülen Cerchar aşındırıcılık indeksi arasındaki ilişki

Paket program yardımı ile oluşturulan 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12 bağıntıları 6 değişkenden oluşmaktadır. Altı değişkenin elde edilemeyeceği durumlarda spesifik enerji ( $SE_{5mm}$ ), kesme kuvveti ( $FC/d$ ), normal kuvvet ( $FN/d$ ) ve Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) değerlerinin, fiziksel ve mekanik parametrelerden elde edilebilmesi için Tablo 3.10'daki bağıntılar önerilmiştir.

Tablo 3.10. Kazılabilirlik parametrelerinin hesaplanabilmesi için önerilen bağıntılar

Bağıntı	$R^2$
$FC/d = 447,86e^{-0,147n}$	0,86
$FC/d = 1,80\sigma_c - 69,53$	0,93
$FC/d = 8,966 \sigma_t + 13,936$	0,58
$FC/d = 0,1309e^{0,1505R}$	0,94
$FC/d = 0,613e^{0,0892Q}$	0,89
$FN/d = 7,1214 \sigma_c - 372,57$	0,90
$FN/d = 39,869 \sigma_t - 70,194$	0,70
$FN/d = 0,0001e^{0,3321R}$	0,87
$FN/d = 0,0017e^{0,2129Q}$	0,97
$SE_{5mm} = 57,225e^{-0,056n}$	0,71
$SE_{5mm} = 0,0312\sigma_c^{1,615}$	0,71
$SE_{5mm} = 3,1525R - 96,873$	0,95
$CAI = 0,0003 \sigma_c^{1,868}$	0,71
$CAI = 0,0924R - 2,9215$	0,92
$CAI = 0,0252e^{0,0672Q}$	0,93

### 3.3. Kazılabilirlik Deneylerinin Yorumlanması

Fiziksel, mekanik ve kazılabilirlik deneylerinin karşılaştırılmasının ardından deneysel çalışmada kullanılan kayaç ve cevher grubunun mekanize kazı açısından incelenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı elde edilen küçük boyutlu kazı deneyi ve Cerchar aşındırıcılık indeksi sonuçları mekanize kazı açısından yorumlanmıştır. Kayaç ve cevherler için kazılabilirlik yorumu yapılırken kollu galeri açma makinesi (roadheader) ile kazı açısından keski tüketimi ve hangi tip makinenin kullanılabileceği konularında yaklaşımlar yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar ve teorik yaklaşımlar sonucu elde edilen 5 mm kesme derinliği için spesifik enerji değerleri 1.Bölüm’de verilen Tablo 1.3 ve Tablo 1.4 ‘e göre yorumlandığında şu sonuçlara ulaşılmıştır:

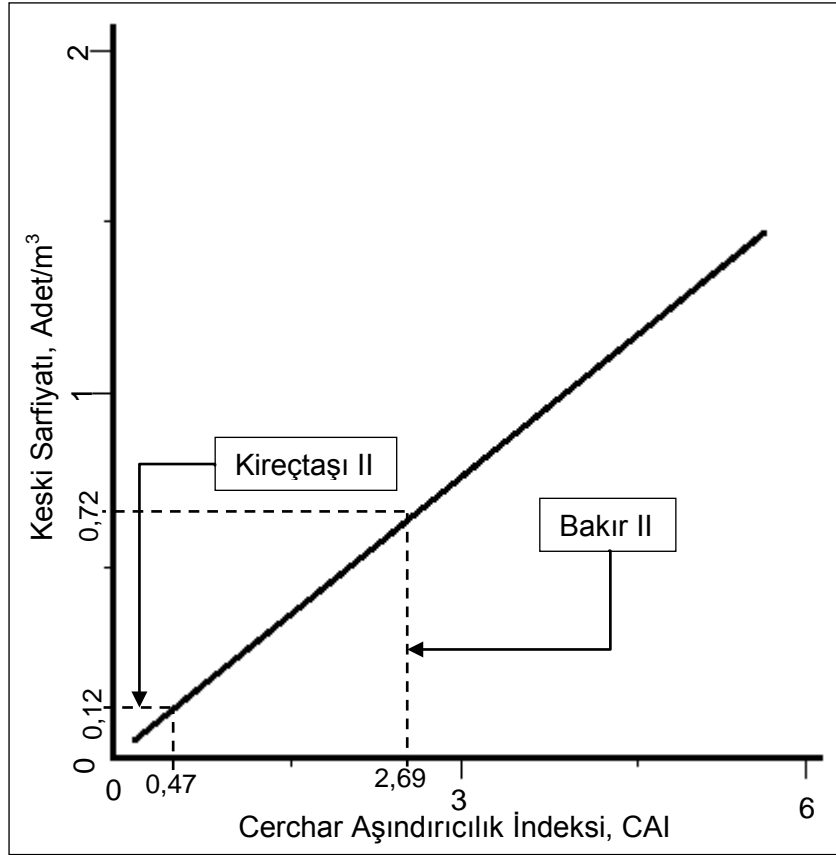
- Kireçtaşı I numunesinin spesifik enerji değeri  $32 \text{ MJ/m}^3$ ’ten büyüktür, bundan dolayı kollu galeri açma makinesi ile kazıya uygun değildir.
- Granit I numunesinin spesifik enerji değeri  $32 \text{ MJ/m}^3$ ’ten büyüktür, bundan dolayı kollu galeri açma makinesi ile kazıya uygun değildir.
- Bazalt numunesinin spesifik enerji değeri  $32 \text{ MJ/m}^3$ ’ten büyüktür, bundan dolayı kollu galeri açma makinesi ile kazıya uygun değildir.
- Kumtaşı numunesinin spesifik enerji değeri  $28,56 \text{ MJ/m}^3$  olduğundan dolayı ağır kollu galeri açma makineleriyle kazıya uygundur ancak, bu sertlikteki formasyon ancak arında ince tabakalar halinde ise kesilebilir.
- Kireçtaşı II numunesinin spesifik enerji değeri  $17,35 \text{ MJ/m}^3$ ’tür, bundan dolayı ağır ve orta ağırlıktaki kollu galeri açma makineleri ile kazıya uygundur. Ancak ağır makine ile kazı daha verimli olacaktır.
- Bakır I numunesinin spesifik enerji değeri  $32 \text{ MJ/m}^3$ ’ten büyüktür, bundan dolayı kollu galeri açma makinesi ile kazıya uygun değildir.
- Bakır II numunesinin spesifik enerji değeri  $32 \text{ MJ/m}^3$ ’ten büyüktür, bundan dolayı kollu galeri açma makinesi ile kazıya uygun değildir.
- Tüf numunesinin spesifik enerji değeri  $18,03 \text{ MJ/m}^3$ ’tür, bundan dolayı ağır ve orta ağırlıktaki kollu galeri açma makineleri ile kazıya uygundur. Ancak ağır makine ile kazı daha verimli olacaktır.

Spesifik enerji değerleri ile kollu galeri açma makinesi ile kazının uygulanabilirliği yorumlandıktan sonra, kazı sırasında meydana gelecek keski tüketimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu tahmin çalışması Şekil 3.46’da verilen grafik yardımı ile yapılmıştır. Grafik ölçeklendirilerek Cerchar aşındırıcılık indeksi değerlerinden yola çıkılarak  $1 \text{ m}^3$  kazı sonucundaki keski sarfiyatı hesaplanmaya çalışılmıştır. Grafik incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Bakır II numunesinin kazısında oluşacak keski sarfiyatı  $0,72 \text{ adet/m}^3$ ’tür.
- Granit I numunesinin kazısında oluşacak keski sarfiyatı  $0,46 \text{ adet/m}^3$ ’tür.
- Bakır I numunesinin kazısında oluşacak keski sarfiyatı  $0,31 \text{ adet/m}^3$ ’tür.
- Kireçtaşı I numunesinin kazısında oluşacak keski sarfiyatı  $0,27 \text{ adet/m}^3$ ’tür.



- Bazalt numunesinin kazısında oluşacak keski sarfıyatı 0,24 adet/m<sup>3</sup>'tür.
- Kumtaşı numunesinin kazısında oluşacak keski sarfıyatı 0,18 adet/m<sup>3</sup>'tür.
- Tüf numunesinin kazısında oluşacak keski sarfıyatı 0,14 adet/m<sup>3</sup>'tür.
- Kireçtaşı II numunesinin kazısında oluşacak keski sarfıyatı 0,12 adet/m<sup>3</sup>'tür.



Şekil 3.46. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile keski sarfıyatı ilişkisi (Bilgin, 1989).

Yapılan deneysel çalışmaları irdelemek amacıyla, küçük boyutlu kazı deneyinden elde edilen kesme kuvvetleri Evans (1962) teorisine göre hesaplanan teorik kesme kuvvetleri ile karşılaştırılmıştır. Evans (1962) teorisindeki kama uçlu keski için önerilen formül şu şekildedir:

$$F'C = \frac{2\sigma_t dw \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)}{1 - \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)} \quad (3.13)$$

Burada;

- F'C = Maksimum kesme kuvveti, kgf,  
 $\sigma_t$  = Kayacın çekme dayanımı, kg/cm<sup>2</sup>,  
d = Kesme derinliği, 0,1 cm,  
W = Keski genişliği, 1,27 cm,  
 $\alpha$  = Kesme açısı, -5°'dir.

Kireçtaşı I numunesi için örnek uygulama:

$$F'C = \frac{2 \times 106,46 \text{ kg/cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} \times 1,27 \text{ cm} \times \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - (-5))}{1 - \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - (-5))} \quad (3.13)$$

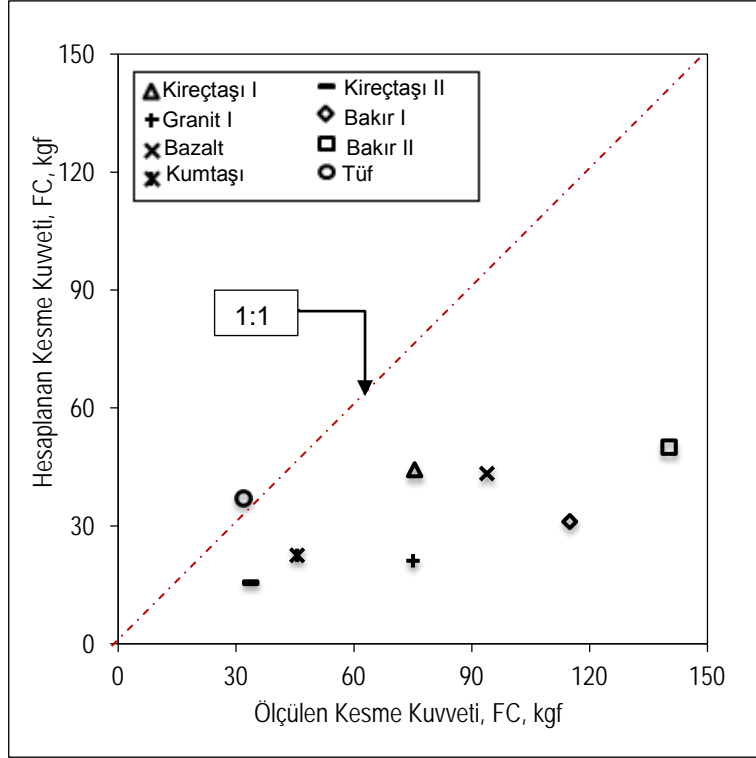
$$F'C = 75,88 \text{ kgf}$$

$$FC = 37,94 \text{ kgf}$$

Teorik olarak maksimum kuvvet, ortalama kuvvetin 2 katı olarak kabul edildiğinden bulunan değer yarıya bölünerek ortalama kesme kuvveti bulunmuştur. Küçük boyutlu kazı deneyi ve teorik hesaplamalardan elde edilen ortalama kesme kuvveti değerleri Tablo 3.11'de ve bu değerlerin 1:1 çizgisi üzerindeki dağılımı Şekil 3.47'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Teorik ve ölçülen kesme kuvvetleri

Numune Adı	Ölçülen Kesme Kuvveti, FC, kgf	Teorik Kesme Kuvveti, Evans (1962), kgf
Kireçtaşı I	76,53	37,94
Granit I	75,12	18,10
Bazalt	93,92	37,10
Kumtaşı	45,61	19,30
Kireçtaşı II	33,80	13,30
Bakır I	115,00	26,64
Bakır II	140,31	42,88
Tüf	31,90	31,73



Şekil 3.47. Evans (1962) bağıntısına göre hesaplanan kesme kuvvetiyle ölçülen kesme kuvvetinin dağılımı

Şekil 3.47 incelendiğinde Evans (1962) teorisine göre yapılan hesaplamalarda gerçeğe en yakın değeri veren numunenin tuf olduğu görülmektedir. Diğer numuneler ise gerçeğin altına sonuçlar vermiştir. Bu sonuçta 1.Bölüm’de bahsedildiği gibi bu bağıntının orta sertlikteki kayalarda daha doğru sonuçlar verdiği tezini desteklemektedir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan fiziksel, mekanik ve kazılabilirlik deneylerinin irdelenmesi sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) ve geri sıçrama katsayısı (Q) ile tek eksenli basınç dayanımı arasında önemli ilişkilere ulaşılmıştır. Ayrıca Q ve R değerleri arasında önemli bir ilişki bulunmuştur.
- Kayaçların birim hacim ağırlık değerleri arttıkça kesme kuvveti, normal kuvvet ve spesifik enerji değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak bu artışın dayanımdan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.
- Kayaçların görünür porozitesinin artmasıyla normal kuvvet ve spesifik enerjinin azaldığı görülmüştür. Ancak kesme kuvveti ile ilgili anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır.
- Tek eksenli basınç dayanımı ile kesme kuvveti, normal kuvvet, spesifik enerji ve Cerchar aşındırıcılık indeksi parametreleri arasında anlamlı ilişkilere ulaşılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı ile kesme kuvveti ve normal kuvveti arasında çok kuvvetli lineer ilişkilere ulaşılmıştır, ancak spesifik enerji ve Cerchar aşındırıcılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasında daha zayıf ilişkiler elde edilmiştir.
- Dolaylı çekme dayanımı ile kesme kuvveti ve normal kuvvet arasında zayıf lineer ilişkiler elde edilmiştir. Nokta yük dayanımı ile kazılabilirlik parametreleri arasında anlamlı ilişkilere ulaşılamamıştır. Kırılganlık ( $S_{20}$ ) deneyi ile kazılabilirlik parametreleri arasında herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.
- Schmidt çekici geri sıçrama değeri (R) ve geri sıçrama katsayısı (Q) değerleri ile tüm kazılabilirlik parametreleri arasında çok anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır.
- Tüm kazılabilirlik parametreleri kendi içinde irdelendiğinde her birinin diğeri üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Ölçülen spesifik enerji değerleri daha önce oluşturulmuş tablolara göre yorumlandığında, kireçtaşı I, granit I, bazalt, bakır I ve bakır II numunelerinin kollu galeri açma makinesi ile kazıya uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

- Cerchar aşındırıcılık indeksi değerleri yardımı ile makine ile kazı sırasında meydana gelecek keski sarfiyatı hesaplandığında, en yüksek keski sarfiyatının 0,72 keski/m<sup>3</sup> ile bakır II numunesinde ortaya çıkması beklenmektedir. En düşük keski sarfiyatının ise 0,12 keski/m<sup>3</sup> ile kireçtaşı II numunesinde ortaya çıkması beklenmektedir.
- Ölçülen kesme kuvveti değerleri, Evans (1962) teorisindeki bağıntı yardımı ile hesaplanan kesme kuvvetleri ile karşılaştırıldığında gerçeğe en yakın sonucu veren numunenin tuf olduğu görülmüştür.

Bu bulgular ışığında kazılabilirlik parametrelerinin dolaylı yollardan tahmin edilebilmesi için şu önerilerde bulunulmuştur:

- Çok katlı lineer regresyon yöntemiyle, spesifik enerji, kesme kuvveti, normal kuvvet ve Cerchar aşındırıcılık indeksinin dolaylı yoldan tahmini için 4 adet birden fazla değişkenli denklem üretilmiştir.
- Birden fazla mekanik parametrenin elde edilemediği durumlarda, tek değişken yardımıyla kazılabilirlik değerlerinin hesaplanabilmesi için 15 adet formül üretilmiştir.
- Herhangi bir kazılabilirlik parametresinin, bir diğerinden hesaplanabilmesi için formüller üretilmiştir.

Ancak üretilen formüller bu veri grubu için geçerli olmaktadır. Farklı kayaçlarda veya cevherlerde kullanılıp kullanılmayacağını tayini için daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Altındağ, R., 2003. Correlation of Specific Energy with Rock Brittleness Concepts on Rock Cutting, Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, 103, 3, 163-171.
- 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.
- Arı, H., 1992. Kayaç Özelliklerinin Keski Aşınmasına Etkileri, Türkiye 8. Kömür Kongresi, Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 53-64.
- Arioğlu, E. ve Bilgin, N., 1978. Nokta Yük Deneyi ve Uygulaması, İ.T.Ü. Dergisi, 26, 2.
- Arioğlu, E. ve Yılmaz, A.O., 2001. Pratik Madencilik Problemleri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 296 s.
- ASTM, 2010a, Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures, American Standards 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 Standards 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 Standards for Testing and Materials, D 7625-10, United States, 6 s.
- Balcı, C., Demircin, M.A., Çopur, H. ve Tunçdemir, H., 2004. Estimation of Optimum Specific Energy Based on Rock Properties for Assessment of Roadheader Performance, Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 104, 11, 633-642.
- Balci, C. ve Bilgin, N., 2007. Correlative Study of Linear Small and Full Scale Rock Cutting Tests to Select Mechanized Excavation Machines, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 44, 468 - 476.
- Bagust, H., 2006. The greater genius? A Biography of Marc Isambard Brunel, Ian Allan Publishing. 65 s.
- Bamford, W.E., 1987. ISRM-Commission on Rock Boreability, Cuttability and Drillability, Notes for Workshop, Canada, Montreal.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The Point-Load Test in Geotechnical Practice, Engineering Geology, 9, 1, 1-11.

- Bilgin, N., 1977. Investigation Into Mechanical Cutting Characteristics of Some Medium and High Strength Rocks, Ph.D. Thesis, Newcastle Upon Tyne University, England, s. 332.
- Bilgin, N. ve Shahriar K., 1988. Madenlerde Mekanize Kazı İçin Bir Ölçme Sisteminin Geliştirilmesi ve Amasra Karbonifer Havzasına Uygulanışı, Türkiye 6. Kömür Kongresi, Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 13-28.
- Bilgin, N., Seyrek, T. ve Shahriar, K., 1988. İstanbul Eyüp Tünelinde Galeri Açma Makinesi ile Elde Edilen Sonuçlar ve Bunların Maden Mühendisliği Açısından Önemi, Madencilik, 27, 2, 9-16.
- Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 192 s.
- Bilgin, N. vd., 2000. Development of Rapid Excavation Technologies for the Turkish Mining and Tunnelling Industries. NATO TU Excavation Project Report. Istanbul Technical University, Mining Engineering Department.
- Bilgin, N., Tunçdemir, H., Balcı, C., Çopur, H. ve Eskikaya, Ş., 2000. A Model to Predict the Performance of Tunneling Machines Under Stressed Conditions, AITES-ITA World Tunnel Congress, Johannesburg, Proceedings Book, 47-53.
- Bilgin, N., Demircin, M.A., Çopur, H., Balcı, C., Tunçdemir, H. ve Akçin, N., 2006. Dominant Rock Properties Affecting the Performance of Conical Picks and the Comparison of Some Experimental and Theoretical Results , International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 43, 1, 139–156.
- Bölükbaşı, N., 1984. O.A.L. Beypazarı Bölgesi Kayaçlarının Kazılabilirlik Tayini, Türkiye 4. Kömür Kongresi, Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 373-381.
- Broch, E. ve Franklin, J.A., 1972. The Point Load Strength Test, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 9, 669-697.
- Çınar, M. ve Feridunoğlu, C., 1994. Tünel Açma Makineleri (TBM), Ulaşımında Yeraltı Kazıları I. Sempozyumu, Kasım, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 343-367.
- Çopur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N. ve Dinçer, T., 2001. Specific Energy as a Criterion for Use of Rapid Excavation Systems in Turkish Mines, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section A, 110, 149–157.
- Çopur, H., Bilgin, N., Tunçdemir, H. ve Balcı, C., 2003. A Set of Indices Based on Indentation Tests for Assessment of Rock Cutting Performance and Rock Properties, Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 103, 9, 589-600.
- Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B. ve 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.

- Deere, D.V. ve Miller, R.L., 1966, Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, 90-101.
- Evans, I., 1962. A Theory of the Basic Mechanics of Coal Ploughing. Mineral Resources, 2, 761-798.
- Evans, I., 1972. Line Spacing of Picks for Efficient Cutting, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 2, 1- 12.
- Evans, I., 1984a. A Theory of Cutting Forces for Point Attack Picks, International Journal of Mining Engineering, 2, 63-71.
- Evans, I., 1984b. Lateral Spacing of Point Attack Picks, The Coal Journal, 5, 7-10.
- Fowell, R.J. ve McFeat-Smith, I., 1976. Factors Affecting the Cutting Performance of a Selective Tunneling Machine, Tunneling Symposium, University of Newcastle upon Tyne, England, Proceedings Book, 3-11.
- Fowell, R.J. ve Pycroft, A.S., 1980. Rock Machinability Studies for the Assessment of Selective Tunneling Machine Performance, 21st National Rock Mechanics Symposium, U.S.A., Proceedings Book, 149-158.
- Fowell, R.J., Gillani, T. ve Altınoluk, S., 1992. Wear Characterization of Rock, EUROCK, Chester, England, Proceedings Book, 13-18.
- Feridunoğlu, C. ve Bilgin, N., 2010. Kayaç Kazılabilirliğinin Tayini İçin Taşınabilir Kayaç Kesme Deney Aletinin Geliştirilmesi, İtüdergisi, 9, 3, 66-74.
- Gertsch, R. ve Ozdemir, L., 1991. Performance prediction of mechanical excavators in Yucca Mountain welded tuffs from linear cutting tests. SAND91-7038 Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- Göktan, R.M. ve Yılmaz, N.G., 2005. A New Methodology for the Analysis of the Relationship Between Rock Brittleness Index and Drag Pick Cutting Efficiency, Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 105, 10, 727-733.
- Grima, A.M. ve Verhoef, P.N.W., 1999. Forecasting Rock Trencher Performance Using Fuzzy Logic. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36, 4, 413-432.
- Hekimoğlu, O.Z. ve Fowell, R.J., 1988. Bomlu Kazı Makinalarının Temel Özellikleri ve Seçimleri, Türkiye 6. Kömür Kongresi, Mayıs, Zonguldak, Bildiriler Kitabı, 29-52.
- ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM suggested Methods. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, 211 s.



- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 22, 2, 51-60.
- Johnson S. T. ve Fowell R. J., 1986. Compressive Strength is not Enough: Assessing Pick Wear Rates for Drag Tool Equipped Machines, 27th U.S. Rock Mechanics Symposium, Tuscaloosa, Proceedings Book, 840 s.
- Kahraman, S., 1996. Basınç Direnci Tahmininde Schmidt ve Nokta Yük İndeksi Kullanmanın Güvenilirliği, K.T.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30.Yıl Sempozyumu, Ekim, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 362-369.
- Kalaycı, Ş., 2010. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayınevi, Ankara, 426 s.
- Katz, O., Reches, Z. ve Roegiers, J.C., 2000. Evaluation of Mechanical Rock Properties Using Schmidt Hammer, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 37, 723-728.
- Kılıç, A. ve Teymen, A., 2008. Determination of Mechanical Properties of Rocks Using Simple Methods, Bulletin of Engineering Geology and Environment, 69, 237-244.
- Lacy, W.C. ve Lacy, J.C., 1992. History of Mining, H.L. Hartman (Ed.), SME Mining Engineering Handbook, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., Littleton, CO, USA , 1, 5-23.
- Lindqvist, P.A., 1981. Energy Consumption in Disc Cutting of Hard Rock. Dept. of Mining, University of Lulea, Sweden, 189-196.
- McCarroll, D., 1994. The Schmidt Hammer as a Measure of Degree of Rock Surface Weathering and Terrain Age. In: Beck C editor. Dating in Exposed and Surface Contexts. Albuquerque: Univ New Mexico Press, 29-45.
- McFeat-Smith, I. ve Fowell, R. J., 1977. Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machines, Conference on Rock Engineering, Proceedings Book, Newcastle, 581-602.
- McFeat-Smith, I. ve Fowell, R. J., 1979. The Selection and Application of Roadheaders for Rock Tunneling. Rapid Excavation Tunneling Conference, Georgia, Proceedings Book, 1, 261-279.
- Nishimatsu, Y., 1972. The Mechanics of Rock Cutting, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 9, 261-270.
- Osborn, H.J., 1969. Wear of Rock Cutting Tools, Powder Metallurgy, 12, 24.
- Öztürk, C.A., Nasuf, E. ve Bilgin, N., 2004. The Assessment of Rock Cuttability, and Physical and Mechanical Rock Properties From a Texture Coefficient, Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 104, 7, 397-403.

- Pomeroy, C. D., 1958. The Effect of Lateral Pressure on the Cutting of Coal by Wedge Shaped Tools. Conference on Non-Metallic Brittle Materials, London, England, Proceedings Book, 469-479.
- Pomeroy C. D., 1964. The Breakage of Coal by Wedge Action. Colliery Guardian, 207, 642-677.
- Potts, E.L.J. ve Shuttleworth, P., 1959. A Study of Ploughability of Coal With Special Reference to the Effects of Blade Shape, Direction of Planning to the Cleat, Planning Speed and Influence of Water Infusion. Transactions of the Institution of Mining Engineers, 117, 519-553.
- Rostami, J. ve Ozdemir, L., 1993. A New Model for Performance Prediction of Hard Rock TBMs, Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC) , Boston, USA, Proceedings Book.
- Roxborough, F.F., 1973. The Cutting Rock With Picks, Mining Engineer, June, 445-454.
- Roxborough, F.F. ve Rispin, A., 1973a. The Mechanical Cutting Characteristics of the Lower Chalk, Tunnels and Tunnelling, January, 45-67.
- Roxborough, F.F. ve Rispin, A., 1973b. A Laboratory Investigation Into the Application of Picks for Mechanized Tunnel Boring in the Lower Chalk, The Mining Engineer, October, 1-13.
- Roxborough, F.F. ve Philips H.R., 1974. Experimental Studies on the Excavation of Rocks Using Picks, Advances in Rock Mechanics, Third ISRM Congress, Denver Proceedings Book, 1407-1412.
- Roxborough, F.F., 1976. Rock Excavation by Machine-A Comparative Study of Picks and Discs, Second Australian Tunnelling Conference, Australia, Proceedings Book, 133-143.
- Roxborough, F.F. ve Pedroncelli, E.J., 1982. A Practical Evaluation of Some Coal-Cutting Theories Using a Continuous Miner, The Mining Engineer, 142, 252, 145-155.
- Roxborough, F.F., 1985. Research in Mechanical Rock Excavation: Progress and Prospects. Rapid Excavation Tunneling Conference, Las Vegas, Proceedings Book, 225-244.
- Roxborough, F.F., 1987. The Role of Some Basic Rock Properties in Assessing Cuttability, Seminar on Tunnels, Wholly Engineered structures, Sydney, Australia, 21 s.
- Schneider, H., 1988. Criteria for Selecting a Boom-Type Roadheader. Mining Magazine , September, 183-187.
- Tiryaki, B. ve Dikmen A.Ç., 2006. Effect of Rock Properties on Specific Cutting Energy in Linear Cutting of Sandstones by Picks, Rock Mechanics and Rock Engineering, 39, 2, 89-120.

- Tiryaki, B., 2008. Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Cuttability of Rocks by Drag Tools, Tunnelling and Underground Space Technology, 23, 3, 273-280.
- Tümaç, D., Bilgin, N., Feridunoglu, C. ve Ergin, H., 2007. Estimation of Rock Cuttability from Shore Hardness and Compressive Strength Properties, Rock Mechanics and Rock Engineering, 40, 5, 477-490.
- Tunçdemir, H., Bilgin, N., Çopur, H. ve Balcı, C., 2008. Control of Rock Cutting Efficiency by Muck Size, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 45, 278-288.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A. 2001. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, 1. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, 161 s.
- Yaralı, O. ve Kahraman S., 2011. The Drillability Assessment of Rocks Using the Different Brittleness Values, Tunnelling and Underground Space Technology, 26, 406-414.
- Yılmaz, N.G., Yurdakul, M. ve Goktan, R.M., 2007. Prediction of Radial Bit Cutting Force in High-Strength Rocks Using Multiple Linear Regression Analysis. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 44, 6, 962–970.
- Walker, S. F., 1902. Coal Cutting by Machinery in the United Kingdom, Colliery Guardian, London, 33 s.
- URL-1, <http://pasthorizons.wordpress.com/2007/11/29/flint-mines-and-workshops-project-belarus>. 20 Mayıs 2013.
- URL-2, [http://en.wikipedia.org/wiki/Thames\\_Tunnel](http://en.wikipedia.org/wiki/Thames_Tunnel), 20 Mayıs 2013. 20 Mayıs 2013.
- URL-3, <http://todayinsci.com/Events/Tunnels/MontCenisTunnel-RockBoring.htm>. 20 Mayıs 2013.
- URL-4, [http://www.subbrit.org.uk/sbsites/sites/c/channel\\_tunnel\\_1880\\_attempt/index.shtml](http://www.subbrit.org.uk/sbsites/sites/c/channel_tunnel_1880_attempt/index.shtml), 20 Mayıs 2013.
- URL-5, <http://www.aditnow.co.uk/photo/Carlin-Gold-Mine-User-Album-Image-001/>, 20 Mayıs 2013.
- URL-6, [http://www.ritchiewiki.com/wiki/index.php/Continuous\\_miner](http://www.ritchiewiki.com/wiki/index.php/Continuous_miner), 20 Mayıs 2013.
- URL-7, <http://www.coaleducation.org/technology/Underground/images/HighVoltageContinuousMiner.jpg>, 20 Mayıs 2013.
- URL-8, <http://www.madenmuh.itu.edu.tr/Icerik.aspx?sid=2350>. 20 Mayıs 2013.
- URL-9, <http://www.madenmuh.itu.edu.tr/Icerik.aspx?sid=2349>. 20 Mayıs 2013.

## 6. EKLER

Ek 1. Fiziksel deneylerin toplu sonuçları

Numune	Yoğunluk Deneyi Sonuçları (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama	Standart Sapma
Kireçtaşı I	2,72-2,71- 2,71-2,71-2,71-2,71	2,71	0,01
Traverten	2,40-2,48-2,50-2,35-2,50-2,48	2,45	0,06
Andezit	2,51-2,50-2,50-2,50	2,51	0,006
Granit II	2,60-2,62-2,64-2,62	2,62	0,015
Bazalt	2,67-2,67-2,67-2,67-2,67	2,67	0,0017
Kumtaşı	2,57-2,60-2,63-2,56-2,60	2,59	0,026
Kireçtaşı II	2,56-2,57-2,57-2,582,57	2,57	0,007
Granit II	2,70-2,70-2,71-2,71-2,71	2,71	0,004
Bakır I	3,94-3,86-3,90-3,85	3,88	0,046
Bakır II	3,68-3,38-3,21-3,27-3,40	3,39	0,18
Tüf	1,82-1,84-1,83-1,84-1,84	1,83	0,01

Numune	Porozite Deneyi Sonuçları (%)	Ortalama	Standart Sapma
Kireçtaşı I	1,25-1,30-1,34	1,30	0,044
Traverten	2,00-2,31-2,57-1,85-2,80-2,06-3,57	2,41	0,59
Andezit	8,01-6,95-5,99-6,89	6,96	0,82
Granit II	3,86-2,99-4,27	3,70	0,65
Bazalt	1,57-1,53	1,55	0,025
Kumtaşı	10,90-9,92	10,41	0,68
Kireçtaşı II	4,82-4,65-5,92-4,54	4,98	0,63
Granit II	1,14-1,14	1,14	0
Bakır I	7,24-8,92-6,75-9,30	8,05	1,24
Bakır II	0,92-1,07-2,64	1,54	0,95
Tüf	19,70-19,65	19,68	0,03

## Ek 2. Mekanik deneylerin sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları (MPa)	Ortalama	Standart Sapma
<b>Kireçtaşı I</b>	87,11-84,77-94,47-87,68	88,51	4,17
<b>Traverten</b>	40,27-39,27-48,13	42,56	4,86
<b>Andezit</b>	124,68-140,28-71,86	112,27	25,86
<b>Granit II</b>	71,98-92,22-68,13	77,44	12,95
<b>Bazalt</b>	129,46-89,54-141,22	120,07	27,09
<b>Kumtaşı</b>	60,25-65,29-60,71-65,06	62,83	2,72
<b>Kireçtaşı II</b>	43,45-52,28-53,63-54,15	50,88	5,02
<b>Granit II</b>	103,06-155,68-166,20-169,91	148,71	31,03
<b>Bakır I</b>	87,23-108,42-118,59	104,75	15,99
<b>Bakır II</b>	150,98-67,10-100,92-116,88	108,97	34,86
<b>Tüf</b>	61,64-59,83-59,42-74,75	63,91	7,30

Numune	Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları (MPa)	Ortalama	Standart Sapma
<b>Kireçtaşı I</b>	11,27-7,95-10,15-8,71-5,80-14,47-15,81-12,42-7,91-9,90	10,44	3,11
<b>Traverten</b>	4,55-6,08-6,15-5,54-5,08-5,43-4,71-4,98	5,32	0,58
<b>Andezit</b>	9,12-7,12-14,12-13,11-5,57	9,81	3,71
<b>Granit II</b>	5,98-4,84-4,29-5,44-4,21-5,14	4,98	0,68
<b>Bazalt</b>	9,02-7,61-11,63-9,85-11,60-11,52	10,20	1,67
<b>Kumtaşı</b>	4,62-3,95-4,636,65-5,77-6,56-4,51	5,31	1,00
<b>Kireçtaşı II</b>	3,85-4,03-3,46-2,92-2,83-4,21-4,30	3,66	0,60
<b>Granit II</b>	13,92-12,56-13,46-11,19-16,05-14,15-14,98	13,76	1,58
<b>Bakır I</b>	12,27-6,28-5,92-10,03-4,83-5,58-6,75-7,02	7,33	2,52
<b>Bakır II</b>	16,35-9,89-13,39-7,84-13,39-7384-13,39-12,84-9,96-15,08-7,45	11,80	3,15
<b>Tüf</b>	8,27-9,43-8,87-9,11-8,48-7,65-8,48-9,02-9,40-8,56	8,73	0,55

## Ek-2'nin devamı

Numune	Nokta Yüğü Dayanımı Deneyi Sonuçları (MPa)	Ortalama	Standart Sapma
<b>Kireçtaşı I</b>	7,43-7,08-6,93-7,32-5,24	6,80	0,89
<b>Traverten</b>	2,88-2,51-2,18-2,27-1,06	2,18	0,68
<b>Andezit</b>	7,47-6,54-7,97-5,81-7,27	7,02	0,84
<b>Granit II</b>	4,64-3,27-2,99-2,53-2,77	3,24	0,82
<b>Bazalt</b>	6,59-4,77-7,05-7,22-6,65	6,46	0,98
<b>Kumtaşı</b>	3,43-1,98-3,12-2,161,68	2,48	0,76
<b>Kireçtaşı II</b>	2,06-2,11-2,68-2,37-2,20	2,28	0,25
<b>Granit II</b>	12,06-10,71-10,13-9,82-10,04	10,55	0,90
<b>Bakır I</b>	2,02-2,33-2,31-1,89-4,39	2,59	1,03
<b>Bakır II</b>	5,92-2,40-1,20-4,19-5,00	3,74	1,92
<b>Tüf</b>	4,27-4,23-4,22-4,25-4,13	4,23	0,05

Numune	Klasik Schmidt Çekici Deneyi Sonuçları (R)	Ortalama	Standart Sapma
<b>Kireçtaşı I</b>	44-42-42-41-40-40-40-40-39	41,8	1,48
<b>Traverten</b>	42-41-41-41-41-40-37-35-35-34	41,2	0,45
<b>Andezit</b>	46-46-46-45-44-44-44-42-40-40	45,4	0,89
<b>Granit II</b>	50-49-49-48-48-48-48-47-47-44	48,8	0,84
<b>Bazalt</b>	45-43-43-43-43-43-43-42-42-41	43,4	0,89
<b>Kumtaşı</b>	41-40-38-38-38-37-37-37-37-36	39	1,41
<b>Kireçtaşı II</b>	37-36-36-36-35-35-35-34-33-32	36	0,71
<b>Granit II</b>	51-51-51-50-50-50-50-49-49-48	50,6	0,55
<b>Bakır I</b>	48-47-46-45-45-42-41-41-40-40	46,2	1,30
<b>Bakır II</b>	47-46-45-44-44-43-42-42-42-41	45,2	1,30
<b>Tüf</b>	39-38-38-38-37-37-37-35-34-34	38	0,70

## Ek-2'nin devamı

Numune	Dijital Schmidt Çekici Deneyi Sonuçları (Q)	Ortalama	Standart Sapma
Kireçtaşı I	55,5-55-55-54,5-53,5-53,5-53,5-53,5-49,5-46,5	54,7	0,76
Traverten	52,5-21-49,5-47,5-47,5-47,5-47-45,5-43,5-40,5	49,6	2,19
Andezit	53-53-52,5-51,5-51,5-49,5-46,5-46-44-43,5	52,3	0,76
Granit II	63-62-61-61-60-60-59-57-53-53	61,4	1,48
Bazalt	58-58-56,5-56-54,5-54-54-54-52-51	56,6	1,47
Kumtaşı	53,5-53-52-51,5-50-49-48,5-47,5-46,5-46	52	1,37
Kireçtaşı II	45,5-44-42-41,5-41-40-39,5-36-36-34	42,8	1,89
Granit II	76-75,5-72,5-72,5-71-70,5-70-70-70-67,5	73,5	2,15
Bakır I	58,5-58-54,5-54-54-52,5-52,5-52,5-49-49	55,8	2,25
Bakır II	61-61-61-60-58-57-57-50-50-54	60,2	1,30
Tüf	47-46-45-44-44-44-44-43-43-42		

Numune	Mikro- Deval Aşınma Deneyi Sonuçları (%)	Ortalama	Standart Sapma
Kireçtaşı I	5,173-4,14	4,66	0,73
Traverten	6,59-7,05	6,82	0,32
Andezit	6,16-5,9	6,03	0,18
Granit II	7,39-8,27	7,83	0,62
Bazalt	5,94-6,12	6,03	0,12
Kumtaşı	10,99-12,31	11,65	0,93
Kireçtaşı II	18,99-19,8	19,39	0,57
Granit II	3,33-3,32	3,33	0,009
Bakır I	12,5-12,43	12,47	0,04
Bakır II	7,03-6,3	6,66	0,52
Tüf	11-10,53	10,76	0,33

## Ek-2'nin devamı

<b>Numune</b>	<b>Kırılma Deneyi Sonuçları (%)</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>
<b>Bej Mermer</b>	47,95-47,92-48,15-52,04	49,02	2,02
<b>Traverten</b>	49,19-50,87-50,26-54,65	51,24	2,38
<b>Andezit</b>	36,85-40,06-40,67-44,16	40,43	2,99
<b>Altere Granit</b>	65,-62,25-66,76-66,92	65,46	2,18
<b>Bazalt</b>	37,13-35,48-34,21-37,46	36,07	1,51
<b>Kumtaşı</b>	42,68-43,25-46,8-44,67	44,35	1,83
<b>Kireçtaşı</b>	66,57-66,04-68,95-67,21	67,19	1,26
<b>Granit</b>	44,17-46,22-42,11-36,91	42,35	3,99
<b>Bakır I</b>	49,84-55,11-58,55-50,66	55,54	4,06
<b>Bakır II</b>	48,14-46,86-49,91-51,94	49,21	2,21
<b>Tüf</b>	52,4-51,14-52,37-51,03	51,73	0,75



### Ek 3. Küçük boyutlu kazı deneyi sonuçları

No	Kesme Uzunluğu (cm)	Pasa Miktarı (g)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	d (mm)	SE (MJ/m <sup>3</sup> )	FC (kgf)	FN (kgf)	FN/d (kgf)	FC/d (kgf)	FN/d Ortalama	FN Standart Sapma	FC/d Ortalama	FC/d Standart Sapma	SE Ortalama (MJ/m <sup>3</sup> )	SE Sapma
1-1	12	9,71	2,71	2,43	55,78	169,00	532,89	219,75	69,69	238,31	33,73	75,53	16,58	49,00	13,76
1-2	9	5,74		1,48	58,06	139,00	408,93	277,24	94,24						
1-3	11	12,47		2,25	33,17	141,00	490,38	217,95	62,67						
4-1	9	5,6	2,62	2,48	75,35	182,00	551,15	222,24	73,39	228,09	8,28	75,12	2,45	73,25	2,98
4-2	9	5,41		2,16	71,14	166,00	505,32	233,94	76,85						
5-1	9	6,75	2,67	1,90	63,57	182,00	635,64	334,55	95,79	310,62	37,60	93,92	3,75	56,32	6,74
5-2	9	10,51		2,50	50,26	224,00	668,20	267,28	89,60						
5-3	9,5	7,18		1,65	55,12	159,00	544,56	330,04	96,36						
6-1	9,5	9,65	2,59	2,68	30,59	122,00	184,77	69,07	45,61	82,35	16,88	45,61	4,11	34,33	3,32
6-2	11	8,04		2,68	36,91	111,00	205,01	76,64	41,50						
6-3	10	9,59		2,68	35,49	133,00	271,11	101,35	49,72						
7	7	17,27	2,57	5,00	17,35	169,00	85,57	17,11	33,80	17,11	0,00	33,80	0,00	17,35	0
9-1	5,5	10,91	3,88	2,10	48,54	252,00	630,90	300,43	120,00	304,63	5,94	115,00	7,07	56,42	11,14
9-2	5,5	7,53		2,10	64,29	231,00	648,53	308,82	110,00						
10-1	7,5	4,18	3,39	1,40	122,39	205,00	744,40	531,71	146,43	469,70	87,71	140,31	8,65	101,45	29,61
10-2	7,5	6,45		1,55	80,51	208,00	631,90	407,68	134,19						
11-1	7,5	11,42	1,83	5,00	21,49	182,00	125,77	25,15	36,40	20,49	6,59	31,90	6,36	18,03	4,89
11-2	6	10,14		5,00	14,57	137,00	79,16	15,83	27,40						

**Ek 4. Cerchar Aşındırıcılık deneyi sonuçları**

<b>Numune</b>	<b>Sonuçlar</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>
<b>Kireçtaşı I</b>	0,72-0,70-0,62-0,70-1,47-1,94	1,02	0,54
<b>Granit I</b>	2,32-2,87-1,86-1,78-0,85-0,88	1,76	0,79
<b>Bazalt</b>	0,70-0,82-0,69-0,82-1,2-1,38	0,93	0,29
<b>Kumtaşı</b>	0,61-0,67-0,64-0,86-0,77-0,64	0,70	0,10
<b>Kireçtaşı II</b>	0,34-0,45-0,43-0,5-0,56-0,53	0,47	0,08
<b>Bakır I</b>	0,99-1,38-1,52-1,18-1,15-0,91	1,18	0,23
<b>Bakır II</b>	2,95-2,82-2,48-2,82-2,51-2,54	2,67	0,20
<b>Tüf</b>	0,50-0,83-0,62-0,66-0,37-0,30	0,55	0,20

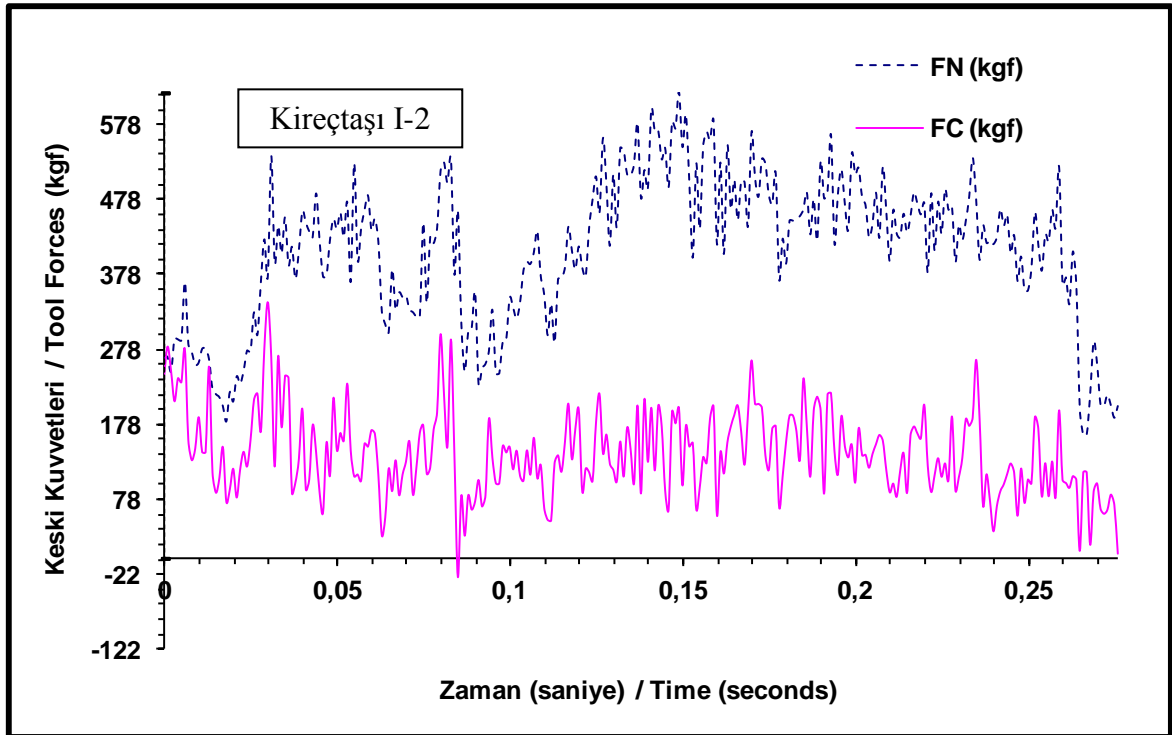
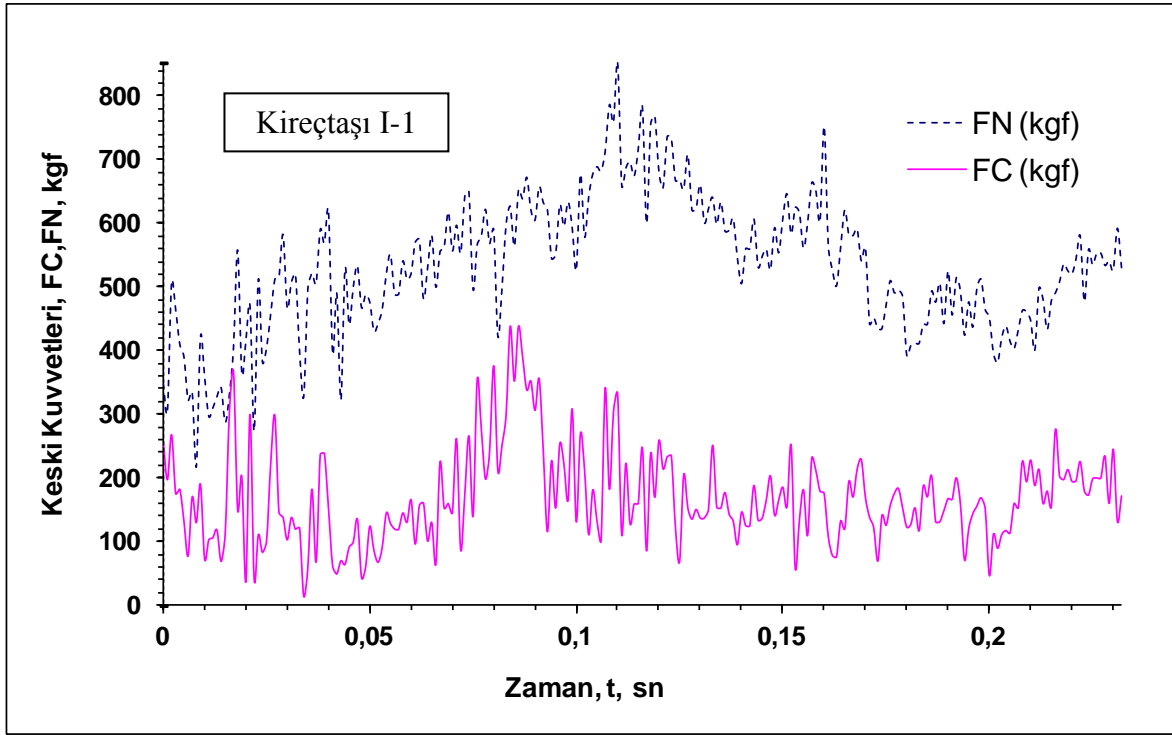
**Ek 5. Spesifik enerji değerinin 5 mm'ye göre hesaplanması**

No	d (mm)	SE (MJ/m <sup>3</sup> )	Spesifik Enerji Düzeltme Faktörü	SE <sub>5mm</sub> (MJ/m <sup>3</sup> )	SE <sub>5mm</sub> Ortalama (MJ/m <sup>3</sup> )
1-1	2,43	55,78	0,81	45,08	37,28
1-2	1,48	58,06	0,70	40,52	
1-3	2,25	33,17	0,79	26,22	
4-1	2,48	75,35	0,81	61,31	58,44
4-2	2,16	71,14	0,78	55,57	
5-1	1,9	63,57	0,75	47,81	42,85
5-2	2,5	50,26	0,82	40,99	
5-3	1,65	55,12	0,72	39,76	
6-1	2,68	30,59	0,83	25,45	28,56
6-2	2,68	36,91	0,83	30,71	
6-3	2,68	35,49	0,83	29,53	
7	5	17,35	1	17,35	17,35
9-1	2,1	48,54	0,77	37,60	43,70
9-2	2,1	64,29	0,77	49,80	
10-1	1,4	122,39	0,69	84,11	70,57
10-2	1,55	80,51	0,71	57,02	
11-1	5	21,49	1	21,49	18,03
11-2	5	14,57	1	14,57	

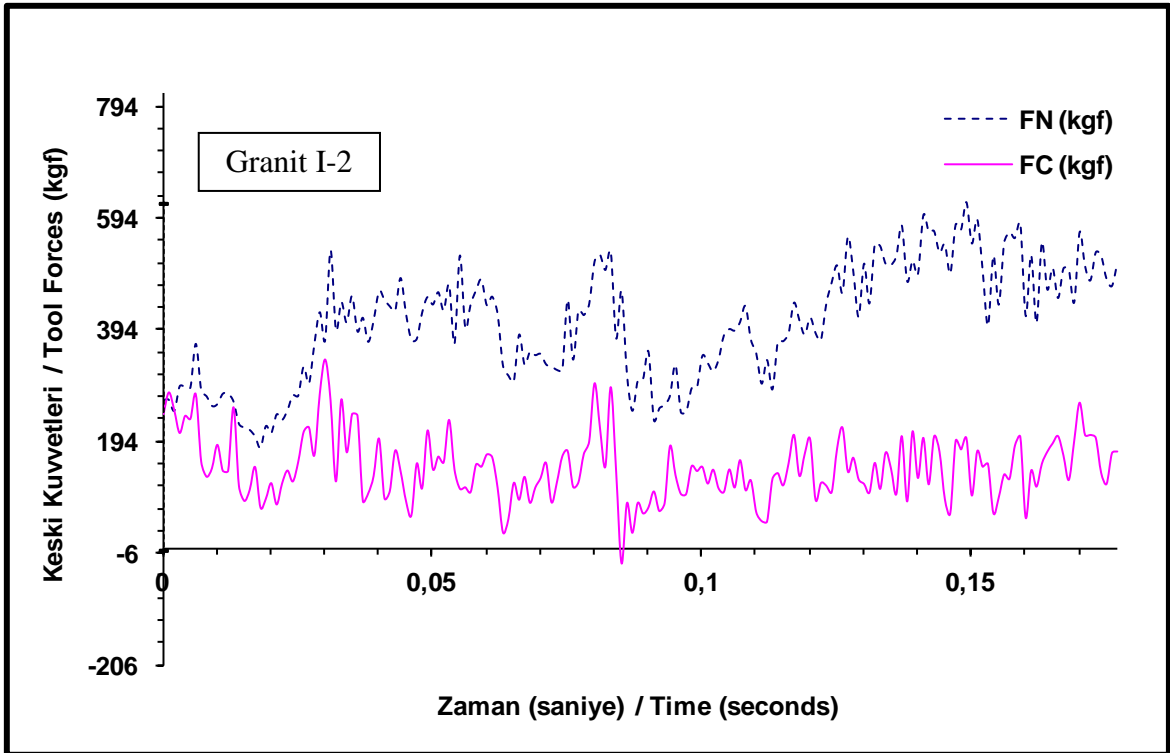
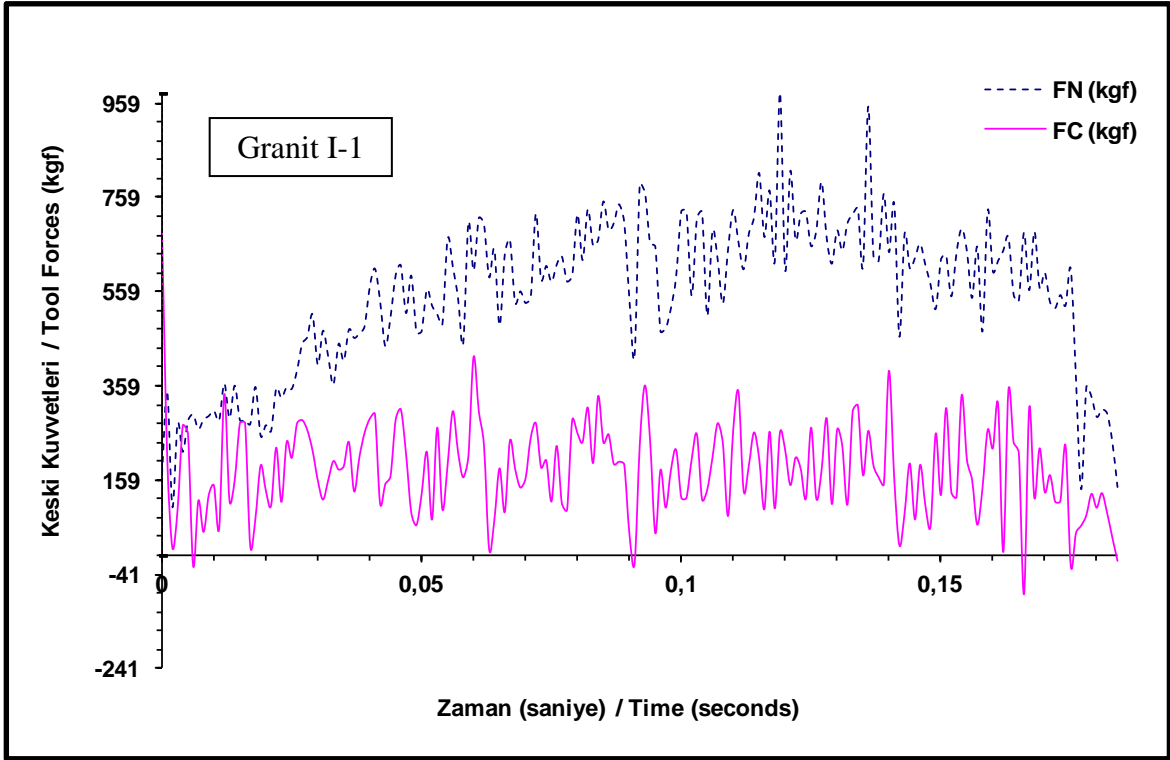
**Ek 6. Kazılabilirlik parametrelerinin çok katlı lineer regresyon yöntemi ile hesaplanan değerleri**

	<b>Ölçülen FC/d</b>	<b>Hesaplanan FC/d</b>	<b>Ölçülen FN/d</b>	<b>Hesaplanan FN/d</b>	<b>Ölçülen SE<sub>5mm</sub></b>	<b>Hesaplanan SE<sub>5mm</sub></b>	<b>Ölçülen CAI</b>	<b>Hesaplanan CAI</b>
<b>Kireçtaşı I</b>	75,53	80,12	238,31	248,20	37,28	35,62	1,03	1,05
<b>Granit I</b>	75,12	75,56	228,09	229,06	58,44	58,26	1,76	1,77
<b>Bazalt</b>	93,92	89,28	310,62	300,69	42,85	44,34	0,94	0,93
<b>Kumtaşı</b>	45,61	50,45	82,35	92,77	28,56	26,87	0,7	0,72
<b>Kireçtaşı II</b>	33,8	30,88	17,11	10,86	17,35	18,32	0,47	0,48
<b>Bakır I</b>	115	113,84	304,63	302,18	43,7	44,04	1,19	1,20
<b>Bakır II</b>	140,31	140,55	469,7	470,24	70,57	70,38	2,69	2,70
<b>Tüf</b>	31,9	30,52	20,49	17,55	18,03	18,43	0,55	0,56

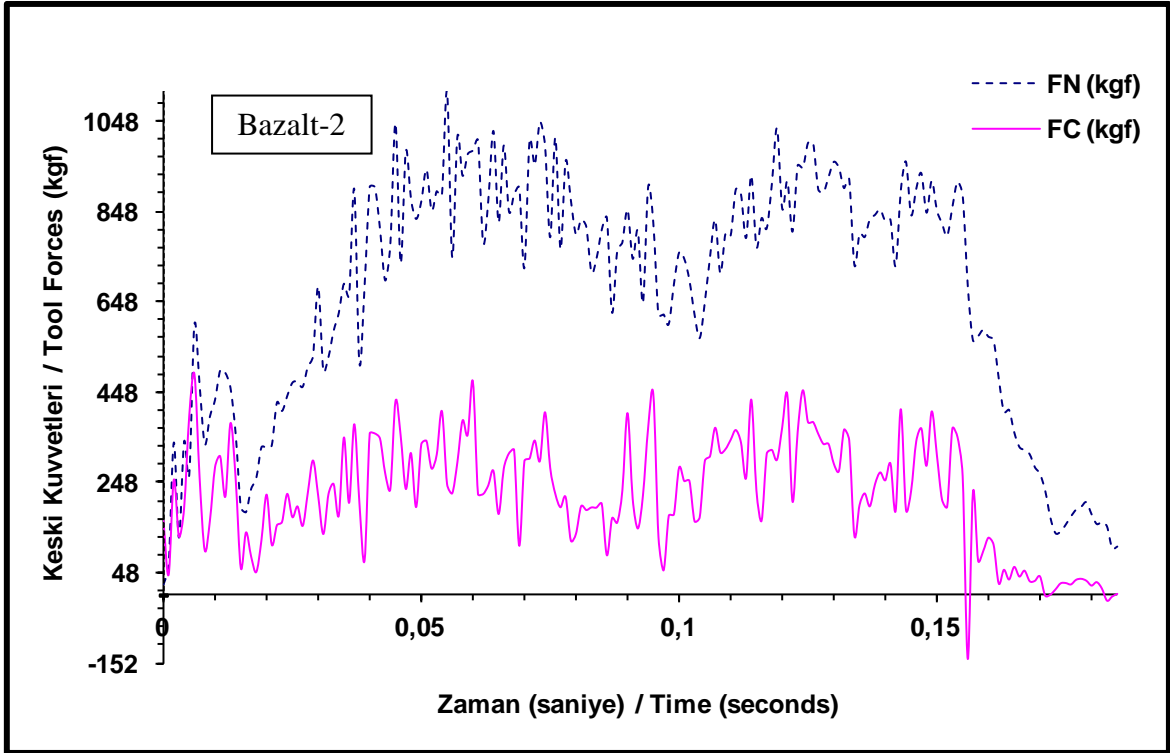
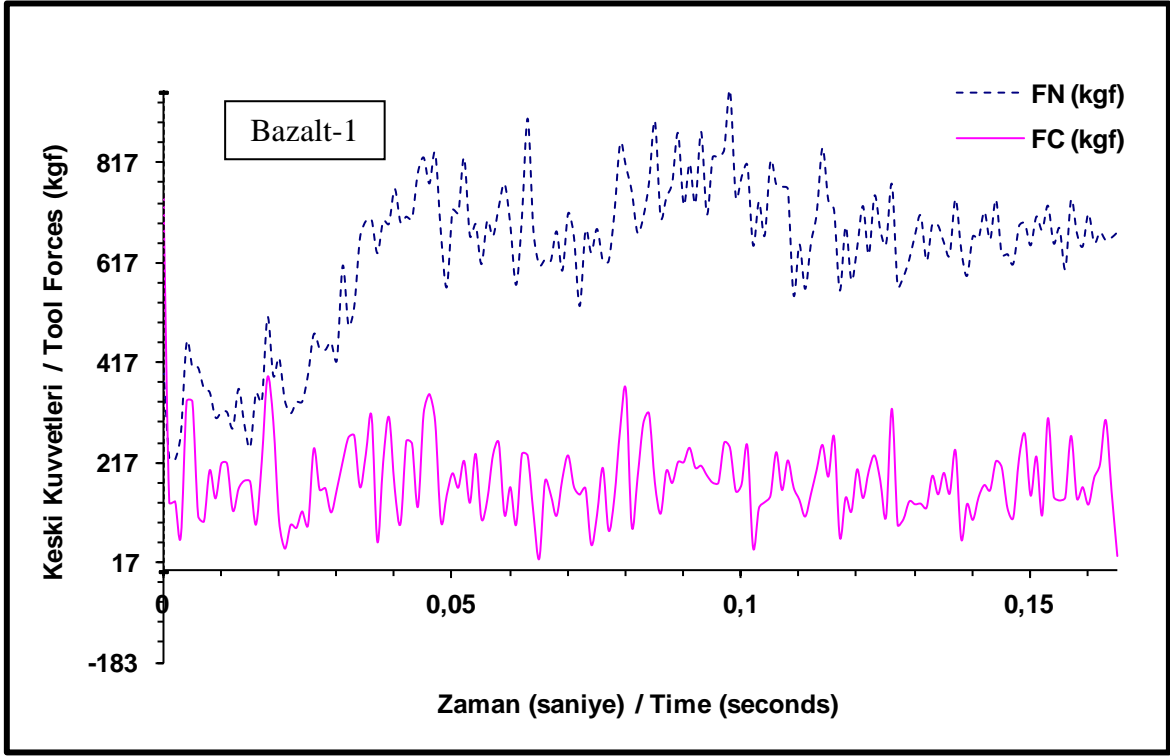
### Ek 7. Kazılabilirlik deneyleri kuvvet-zaman grafikleri



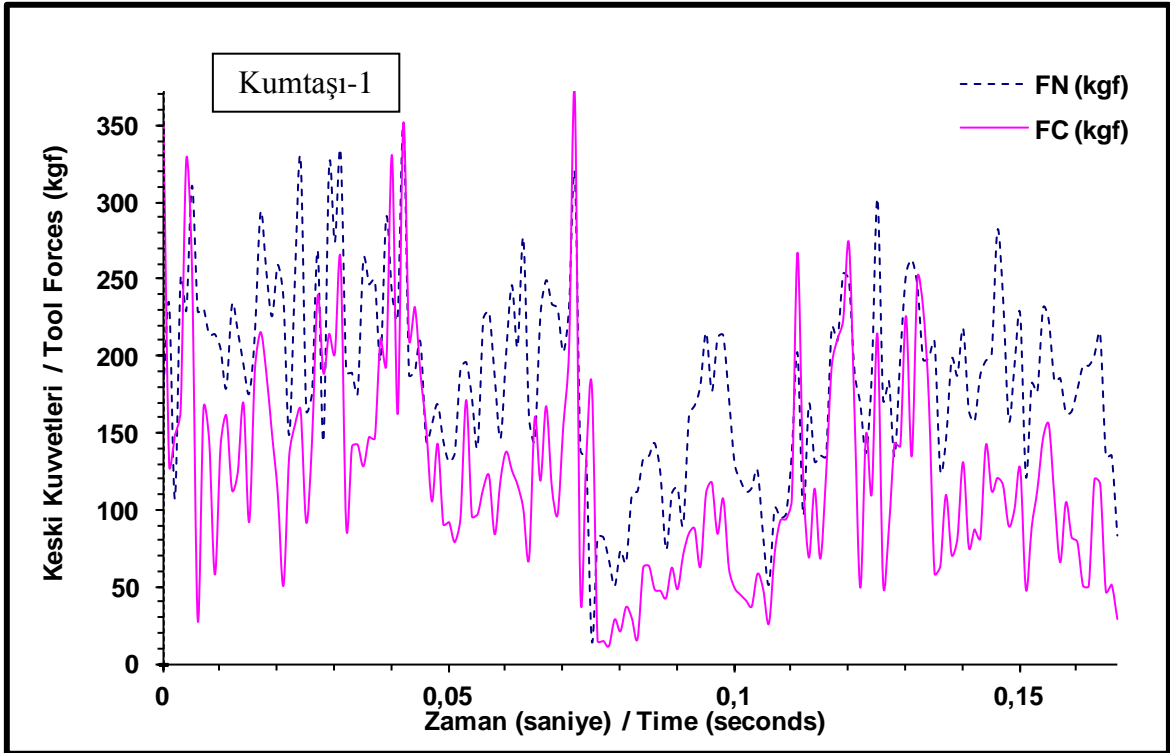
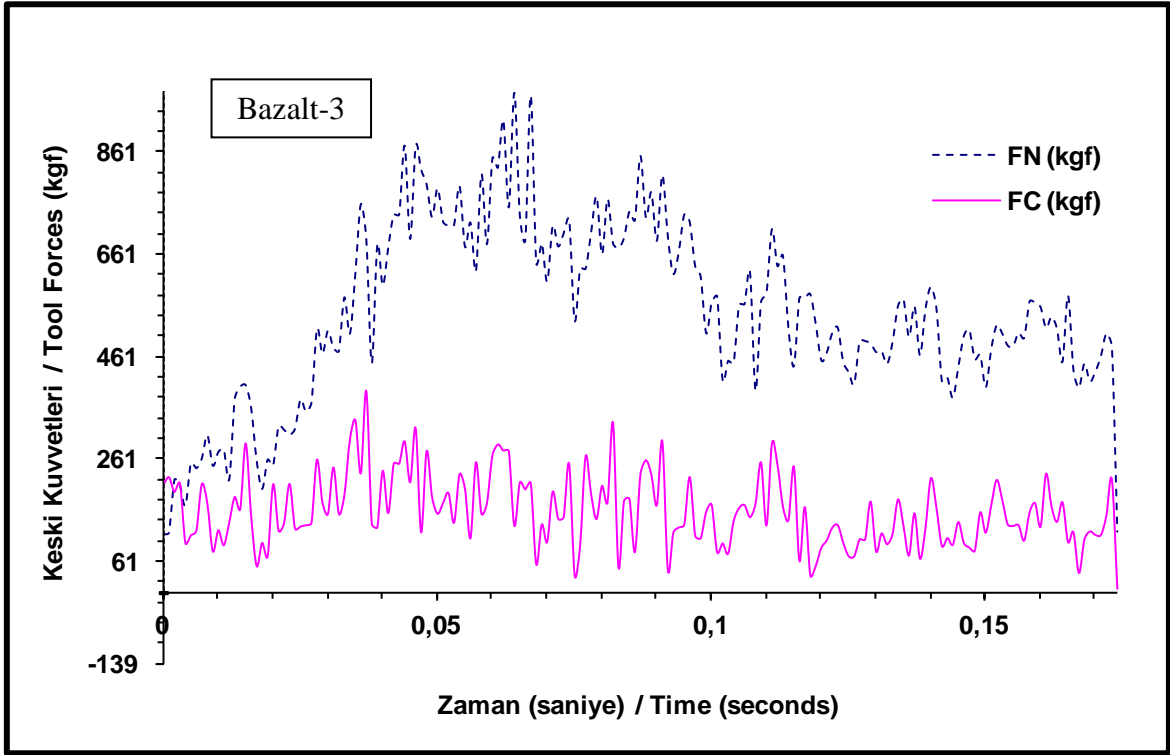
## Ek-7'nin devamı



## Ek-7'nin devamı

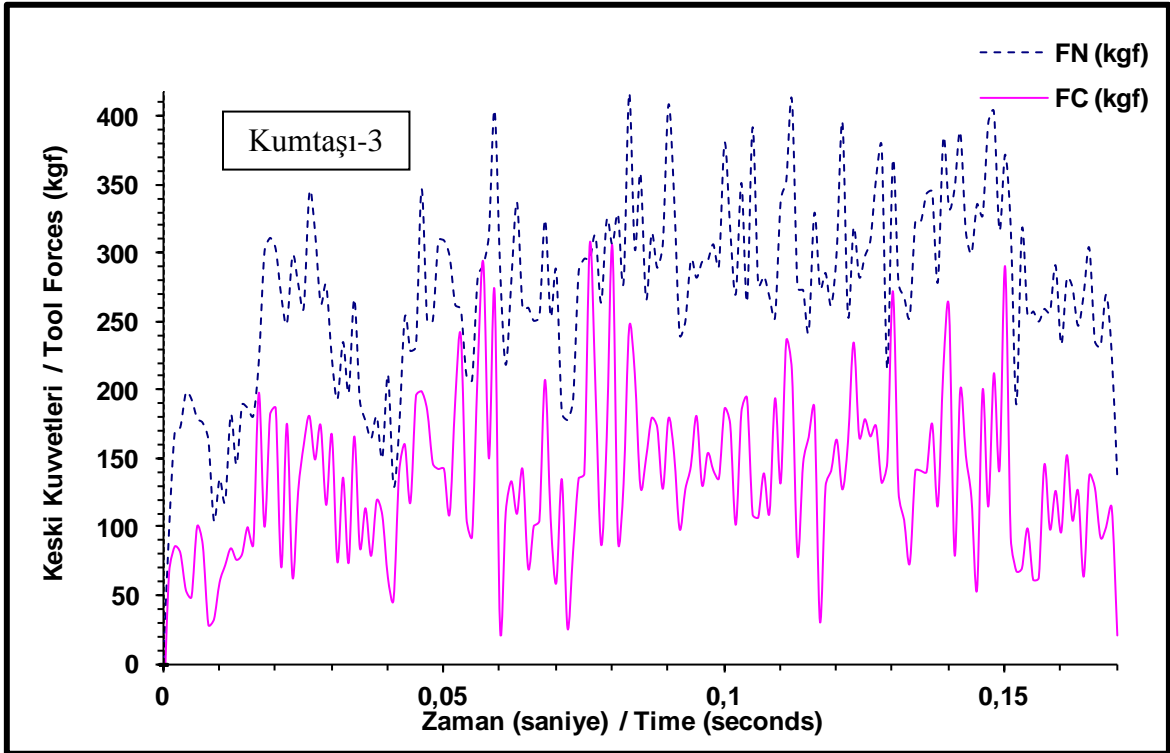
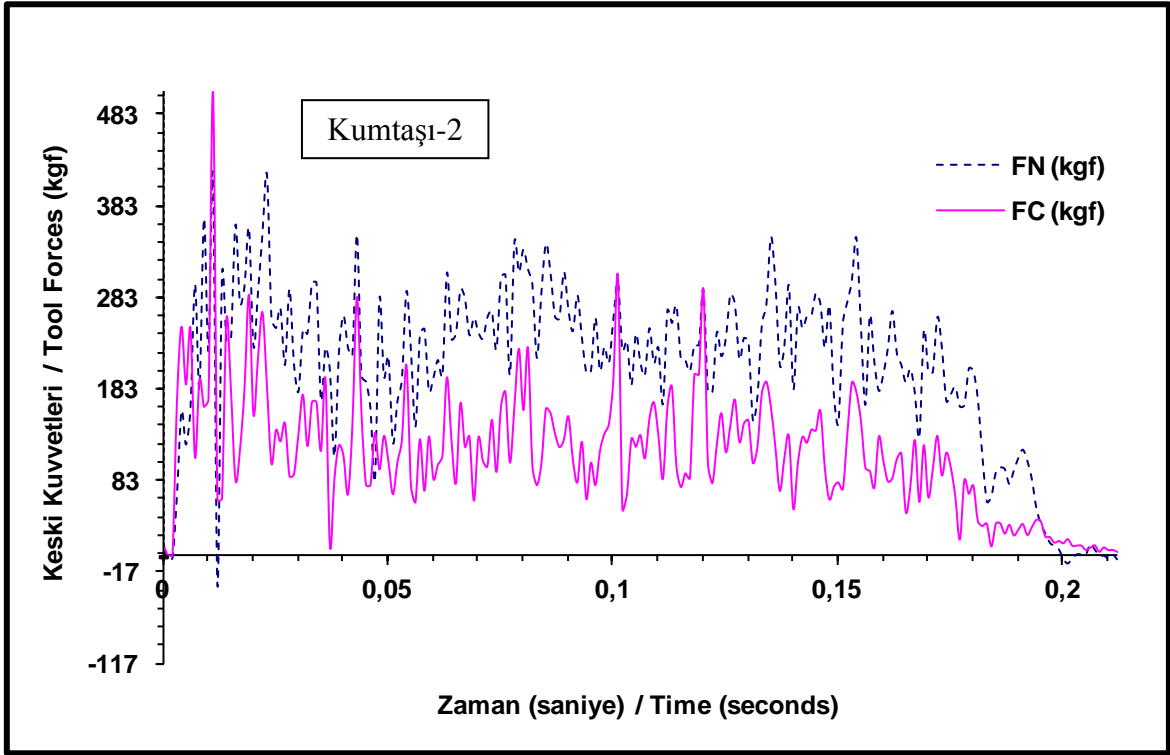


## Ek-7'nin devamı

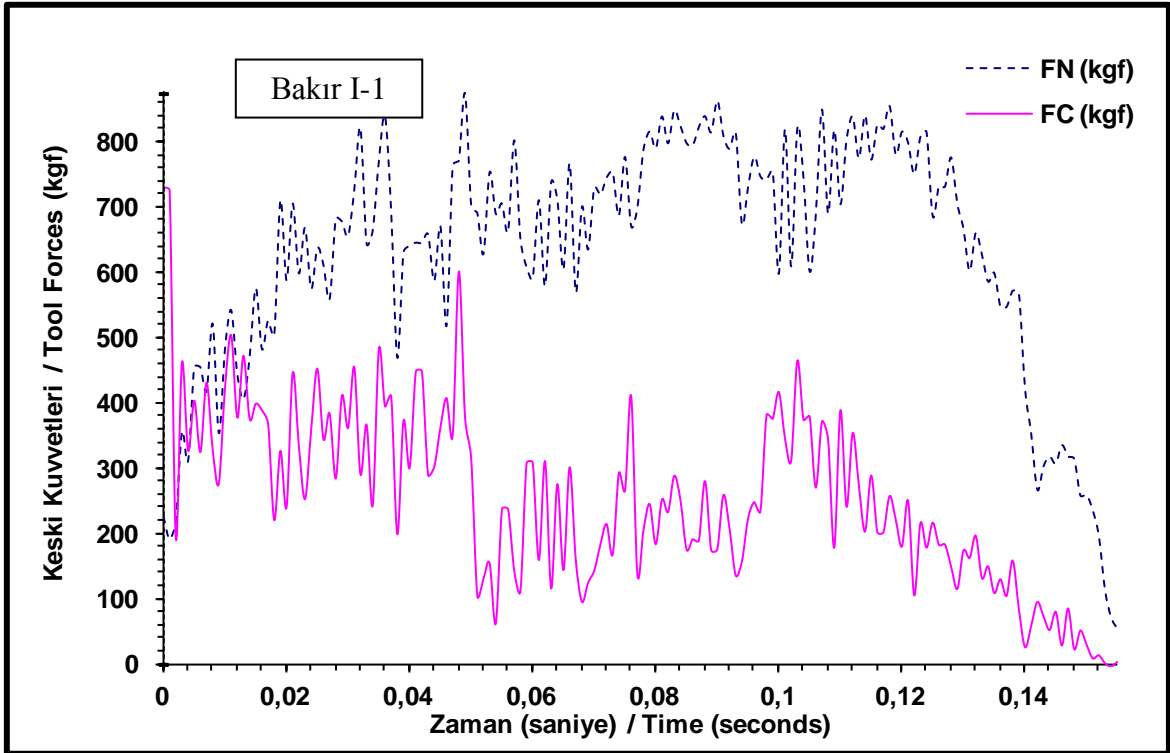
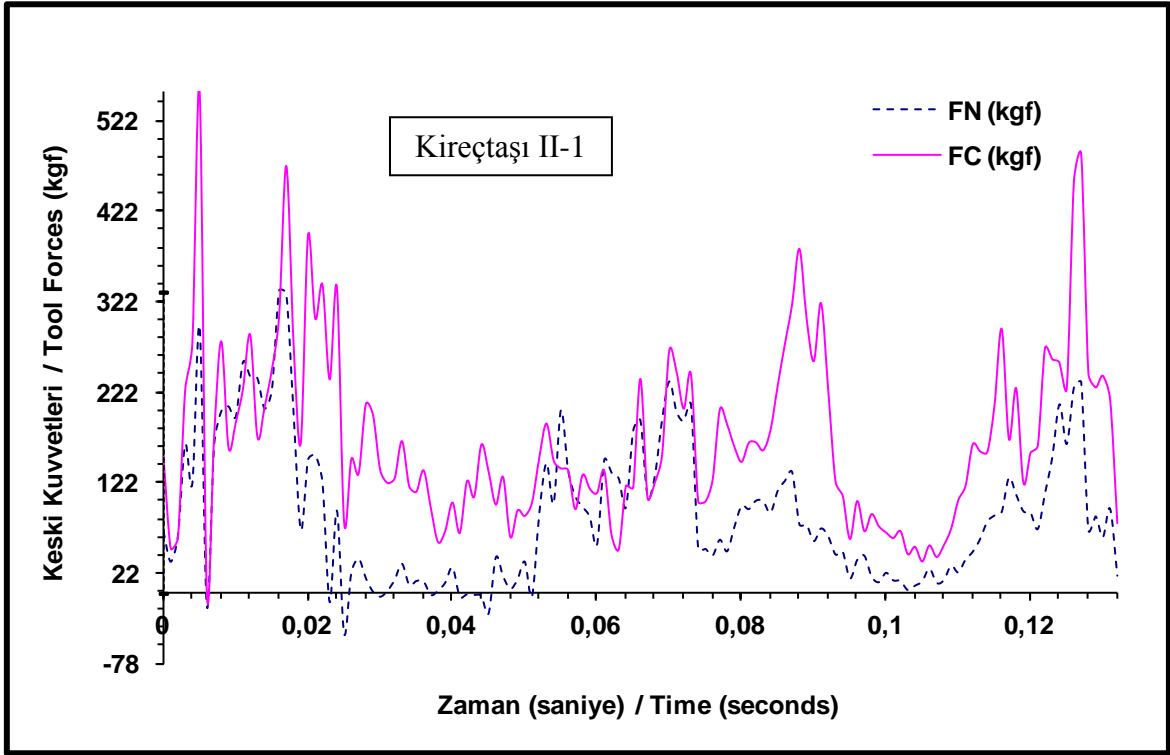




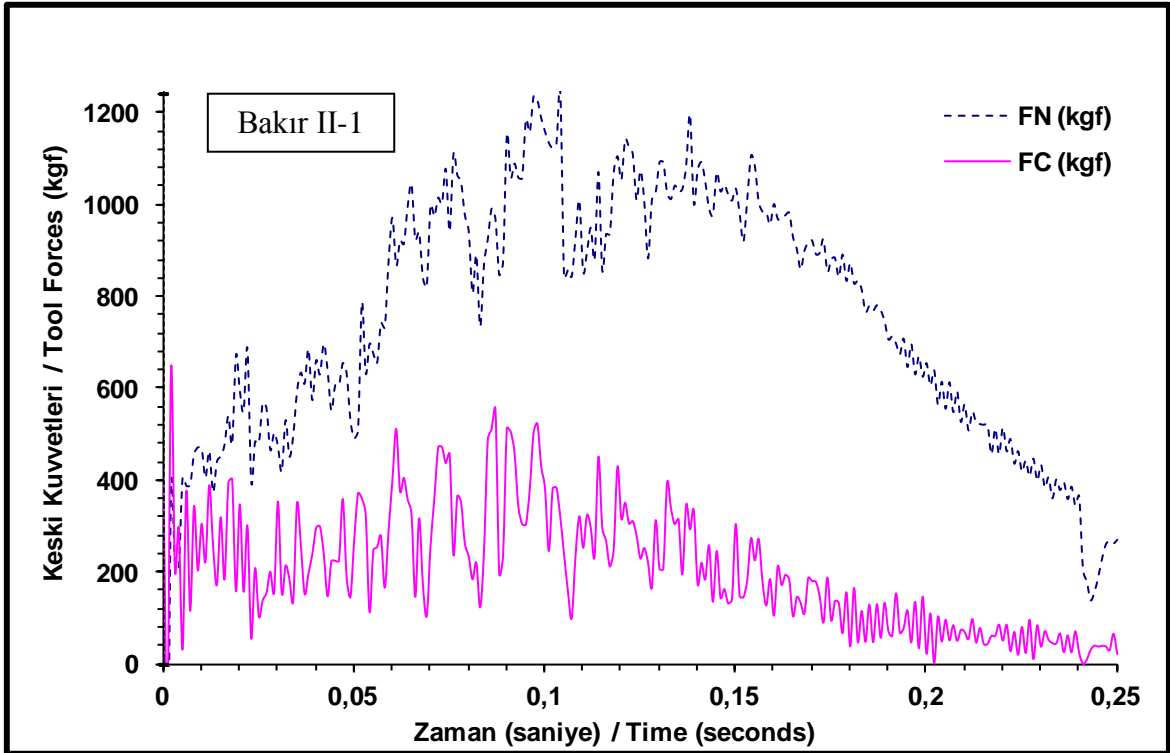
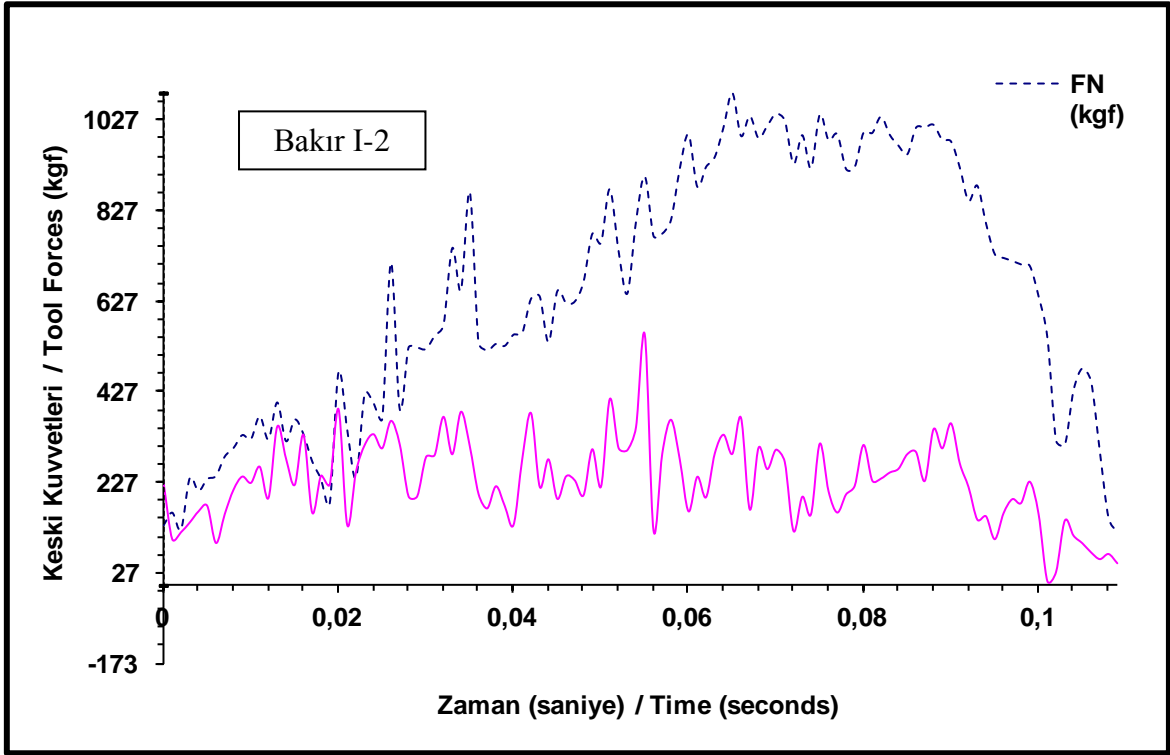
## Ek-7'nin devamı



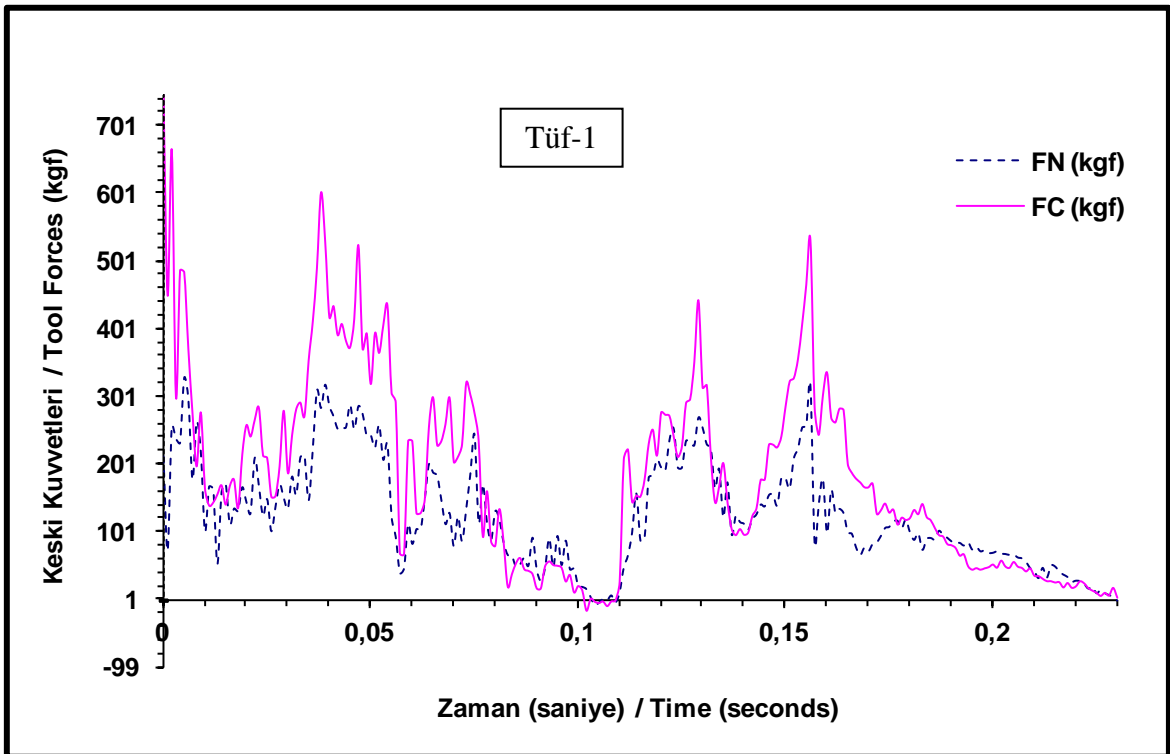
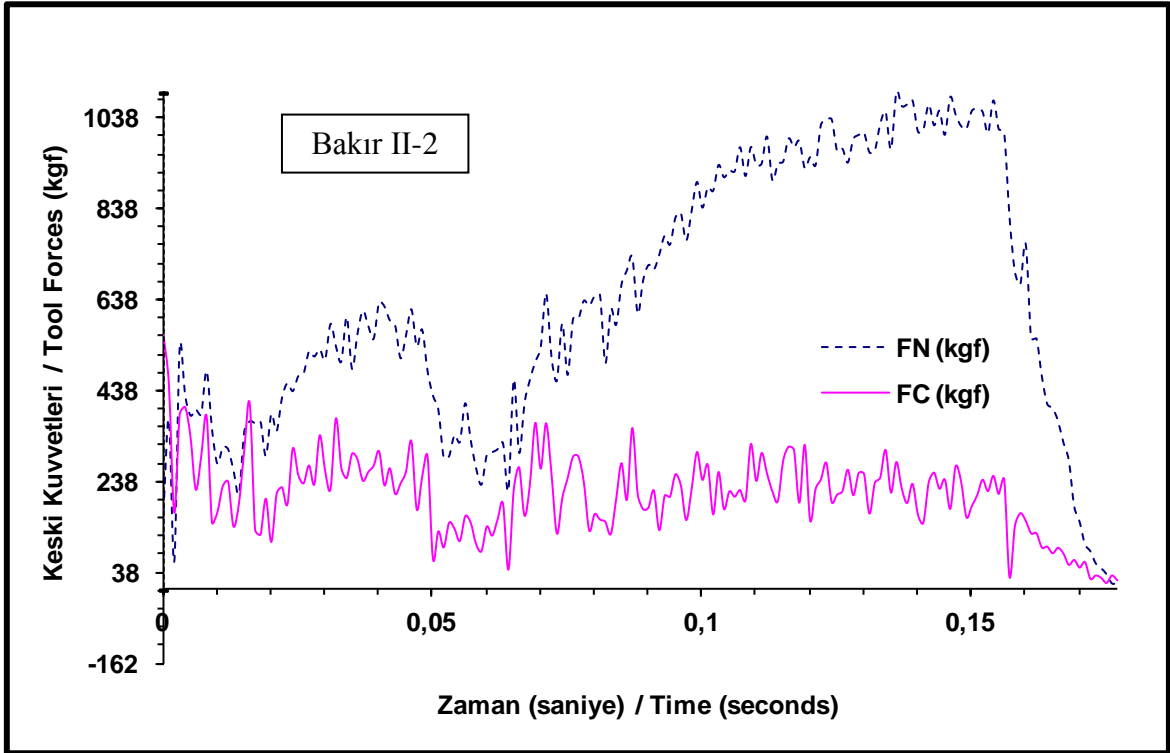
## Ek-7'nin devamı



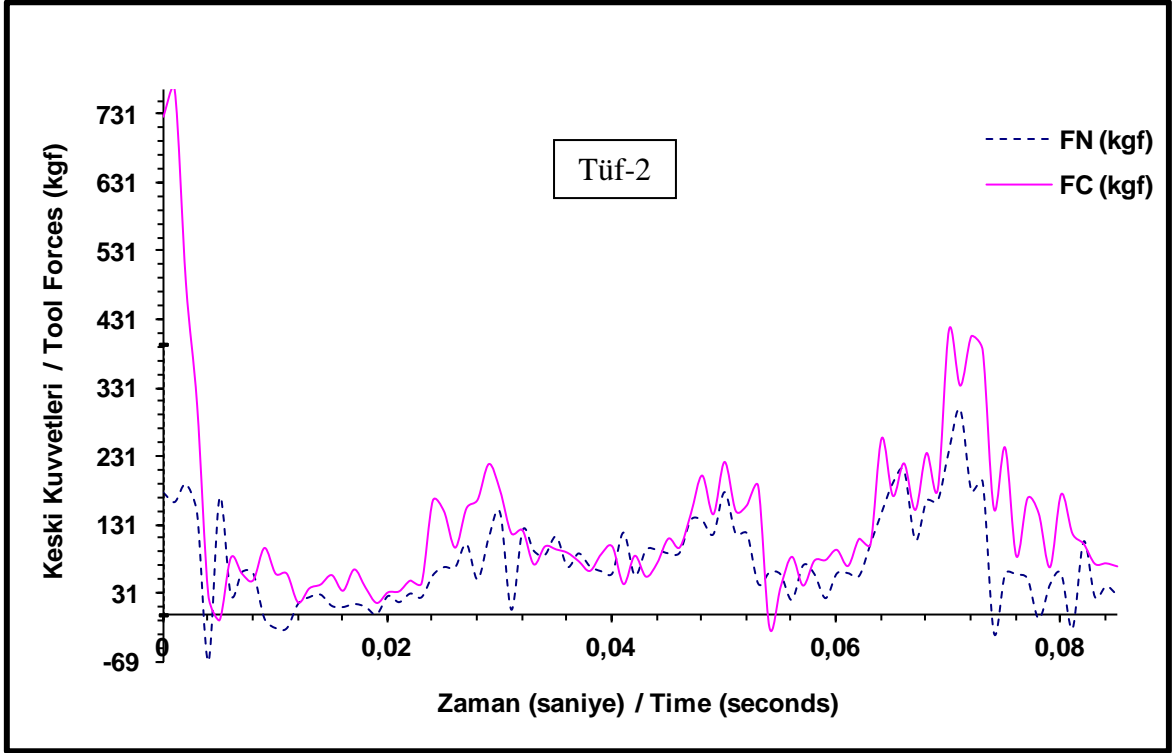
## Ek-7'nin devamı

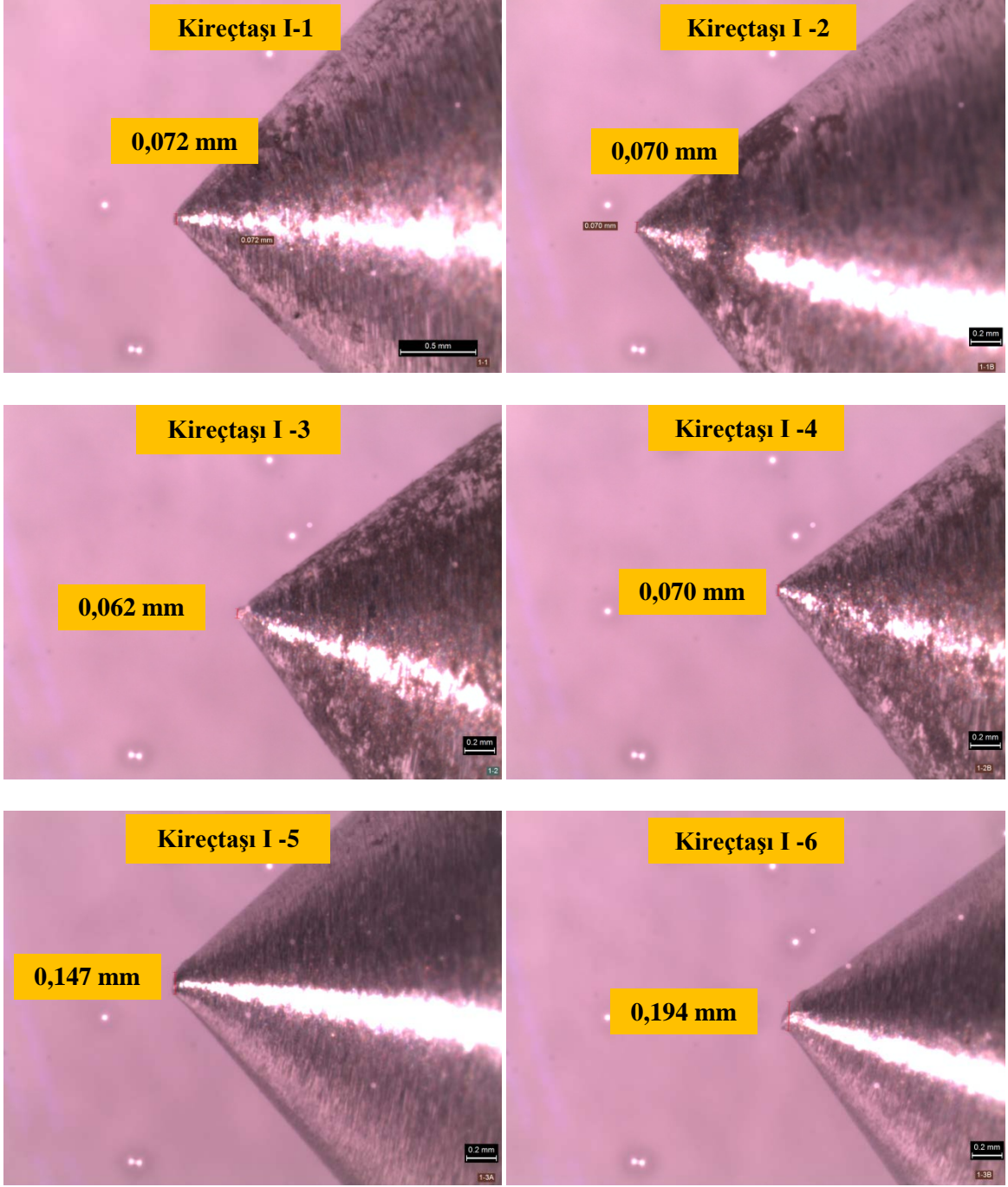


## Ek-7'nin devamı

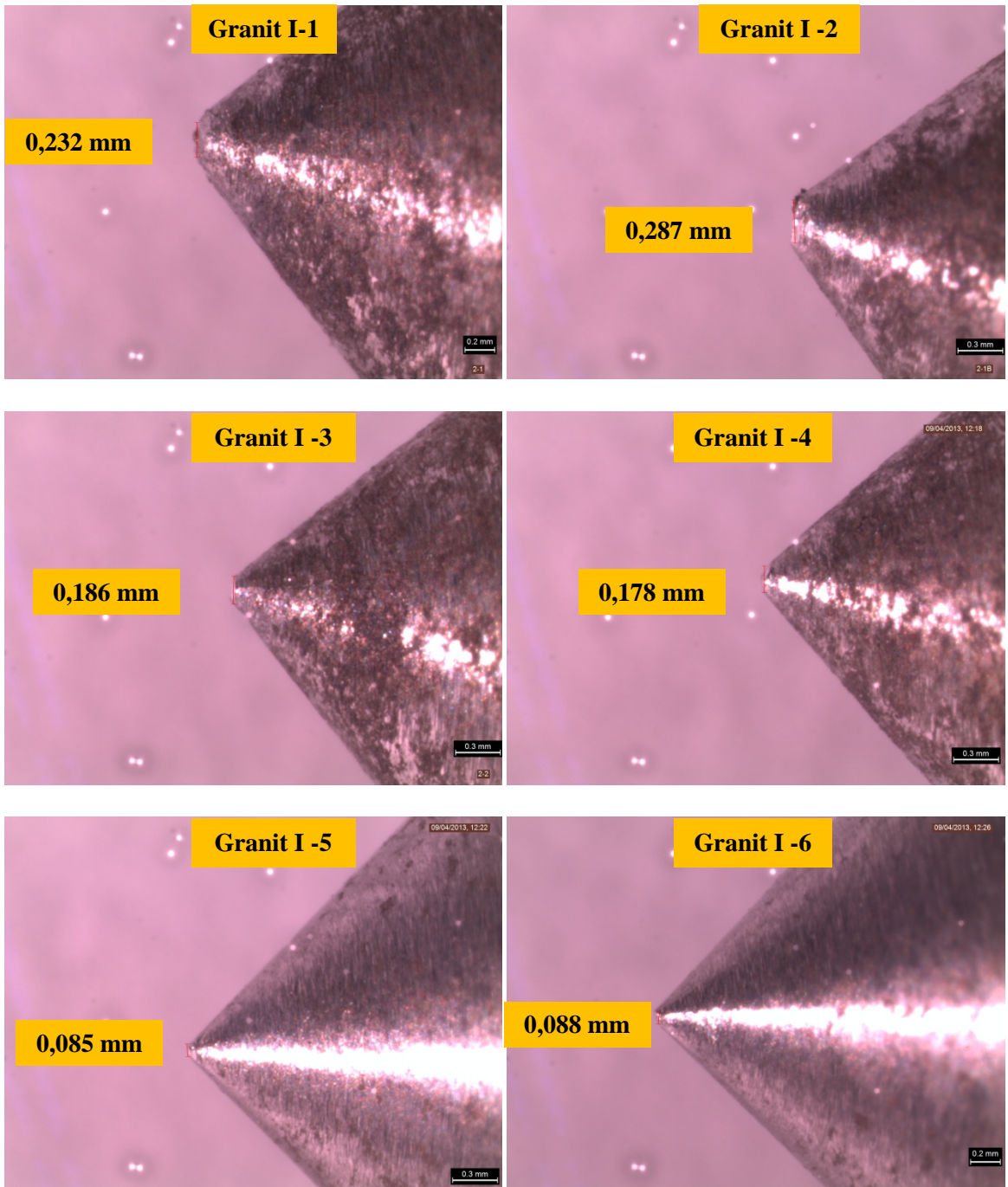


## Ek-7'nin devamı

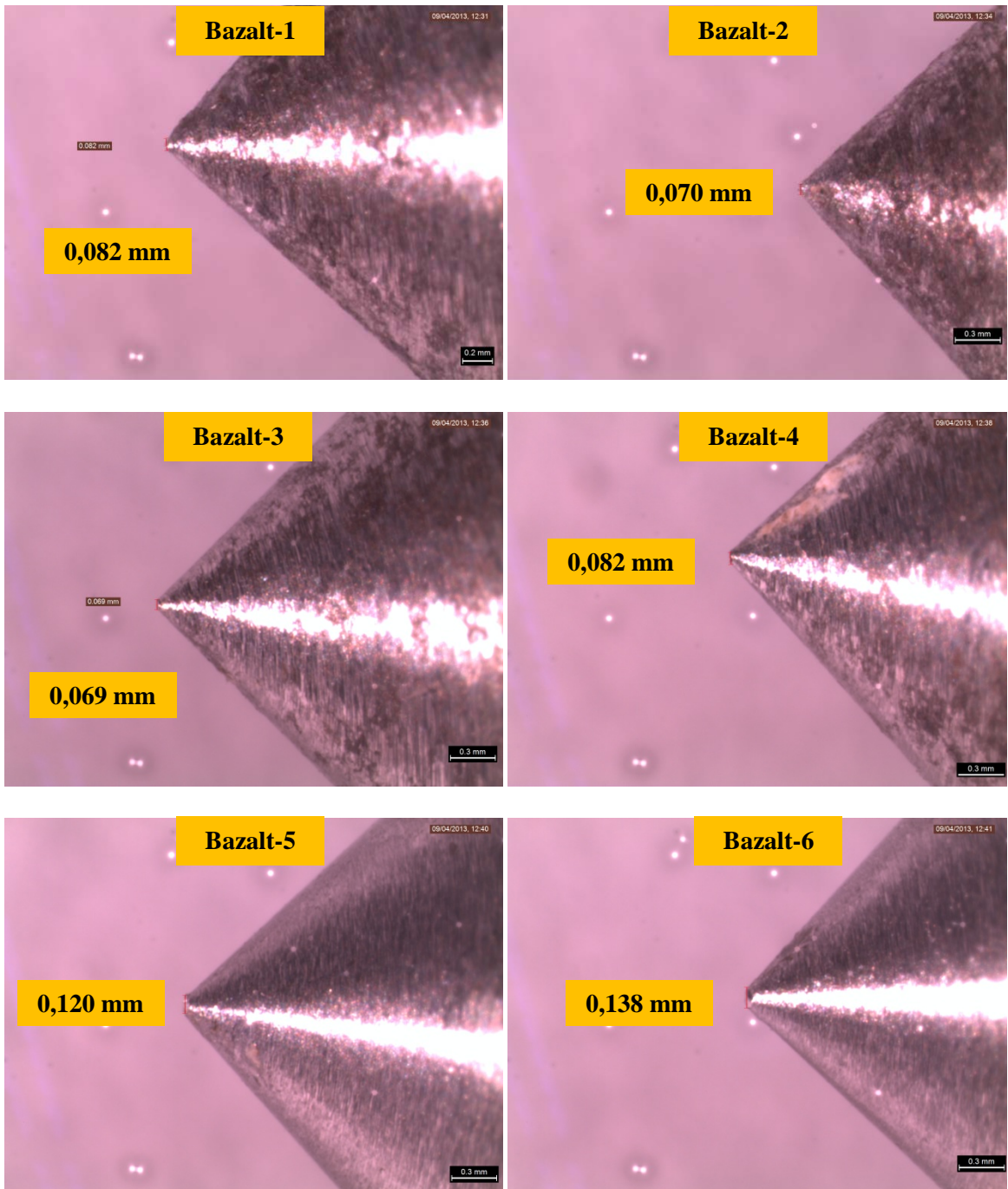


**Ek 8. Cerchar aşındırıcılık deneyi uçların mikroskop görüntüleri**

Ek-8'in devamı

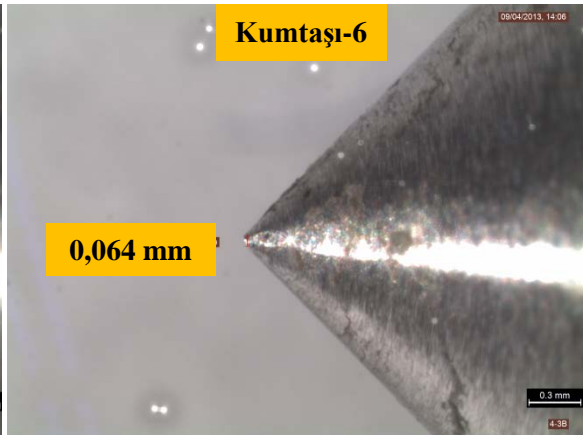
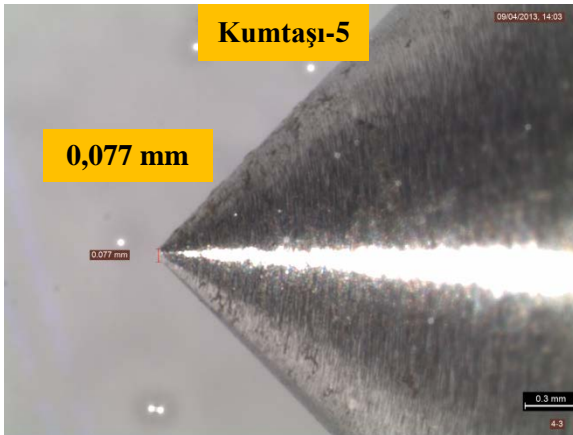
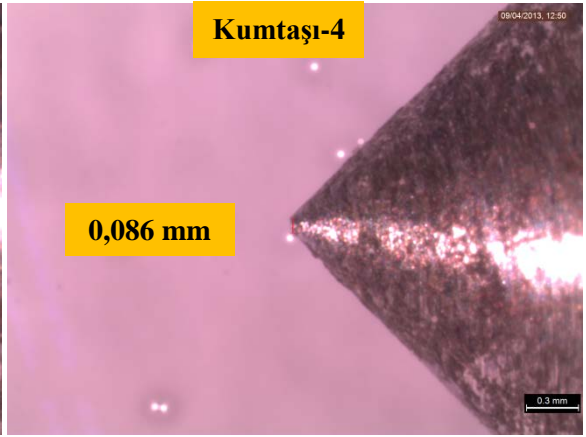
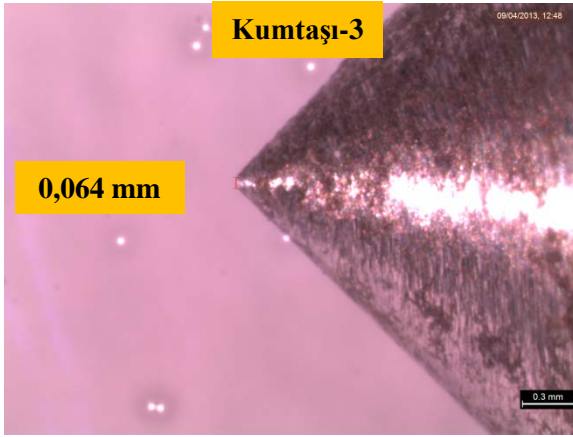
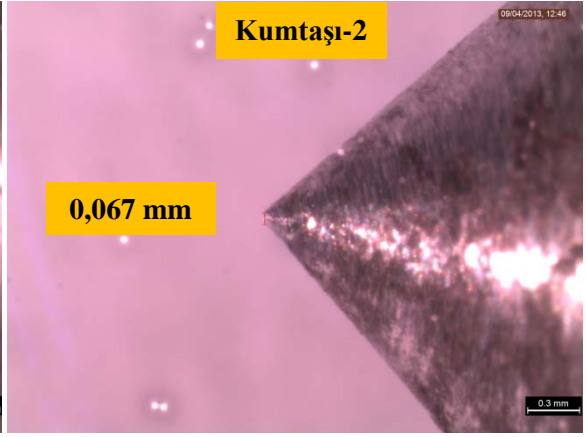
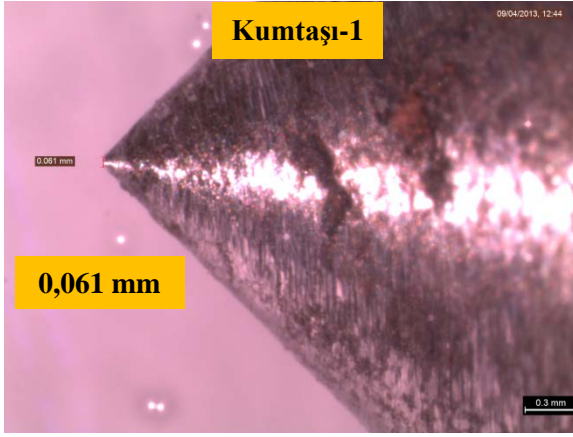


## Ek-8'in devamı

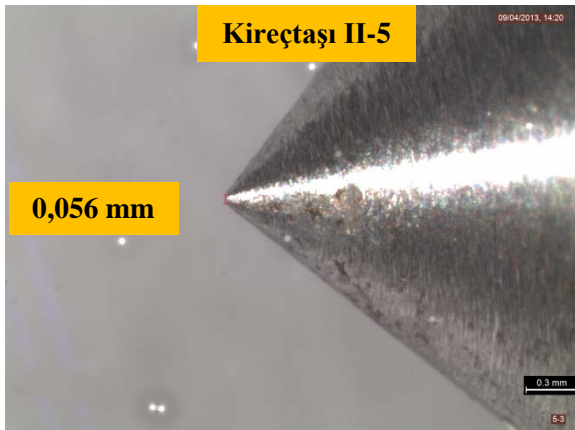
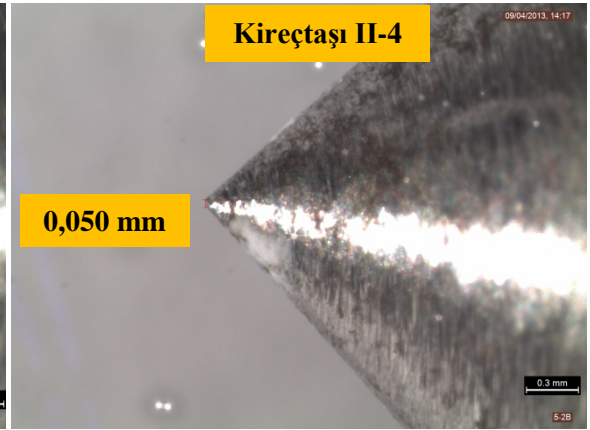
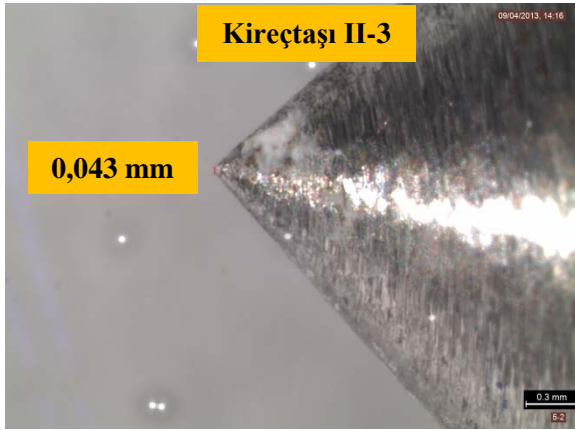
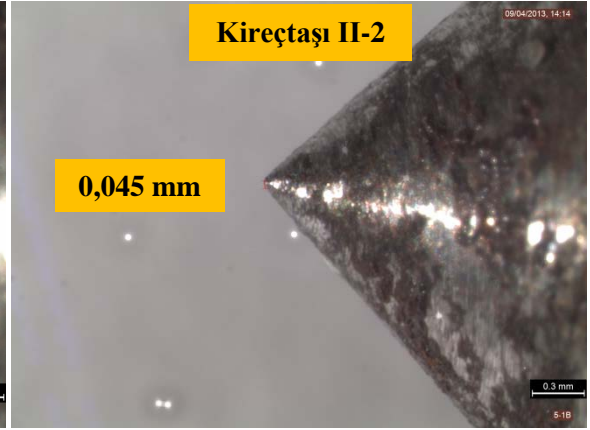
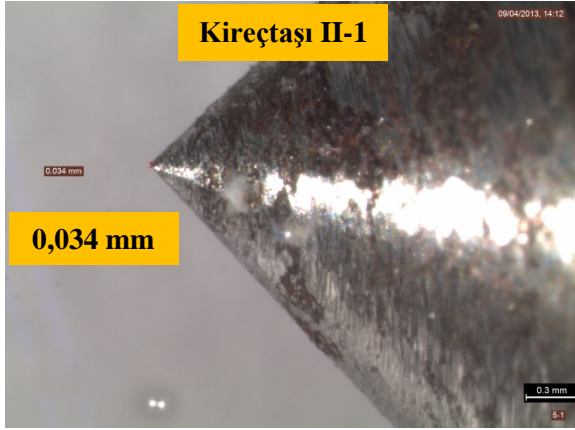




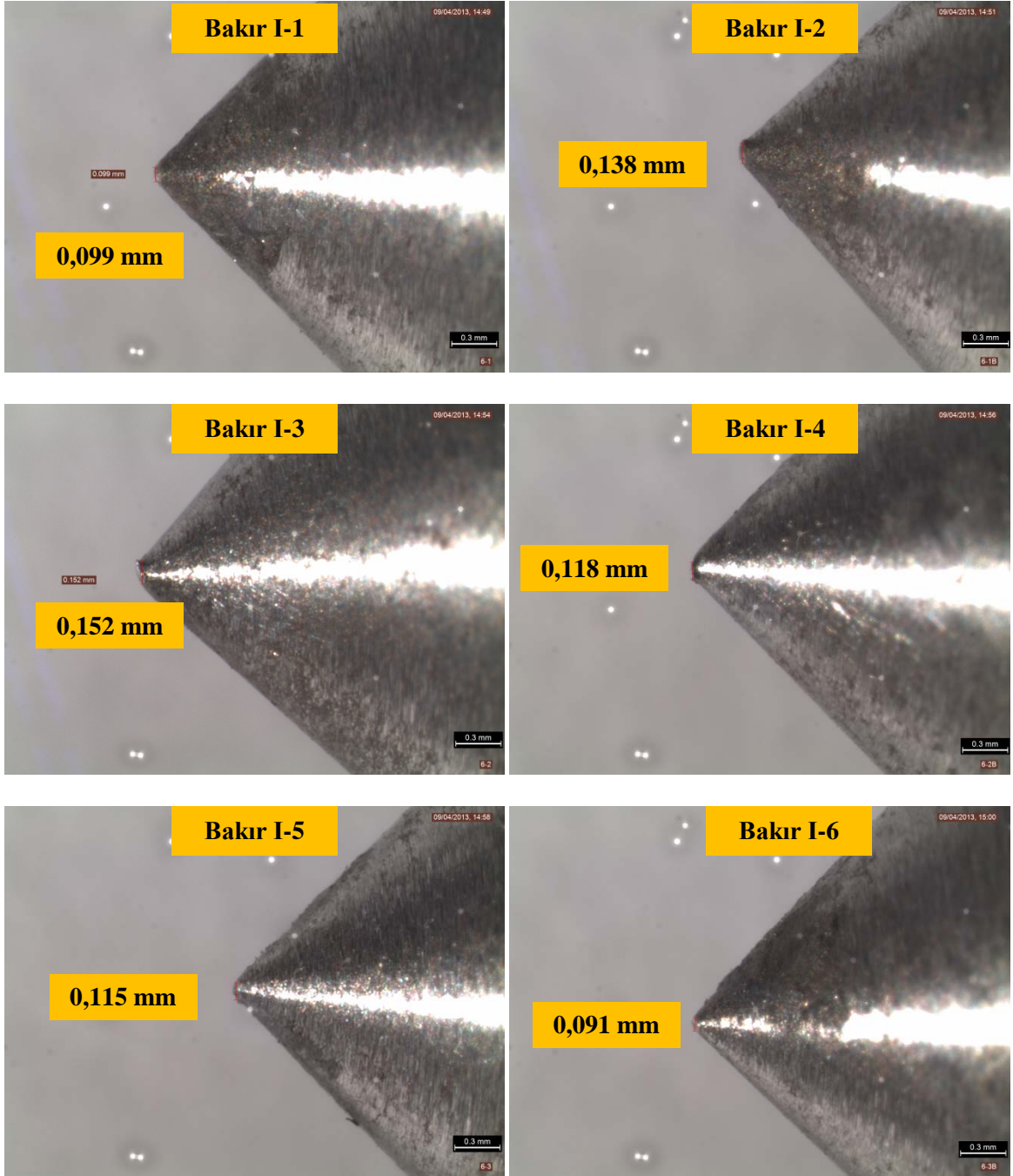
## Ek-8'in devamı



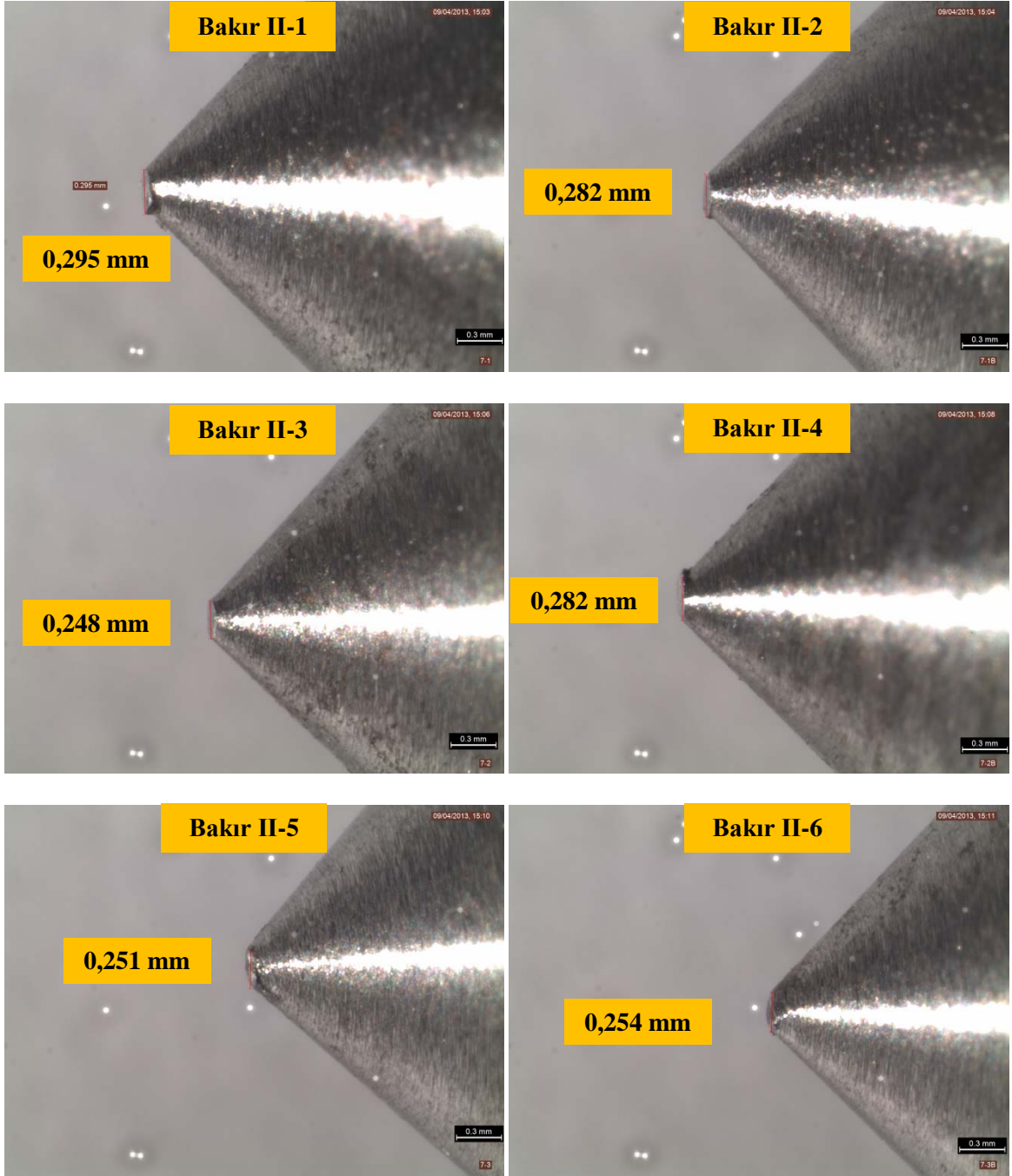
## Ek-8'in devamı



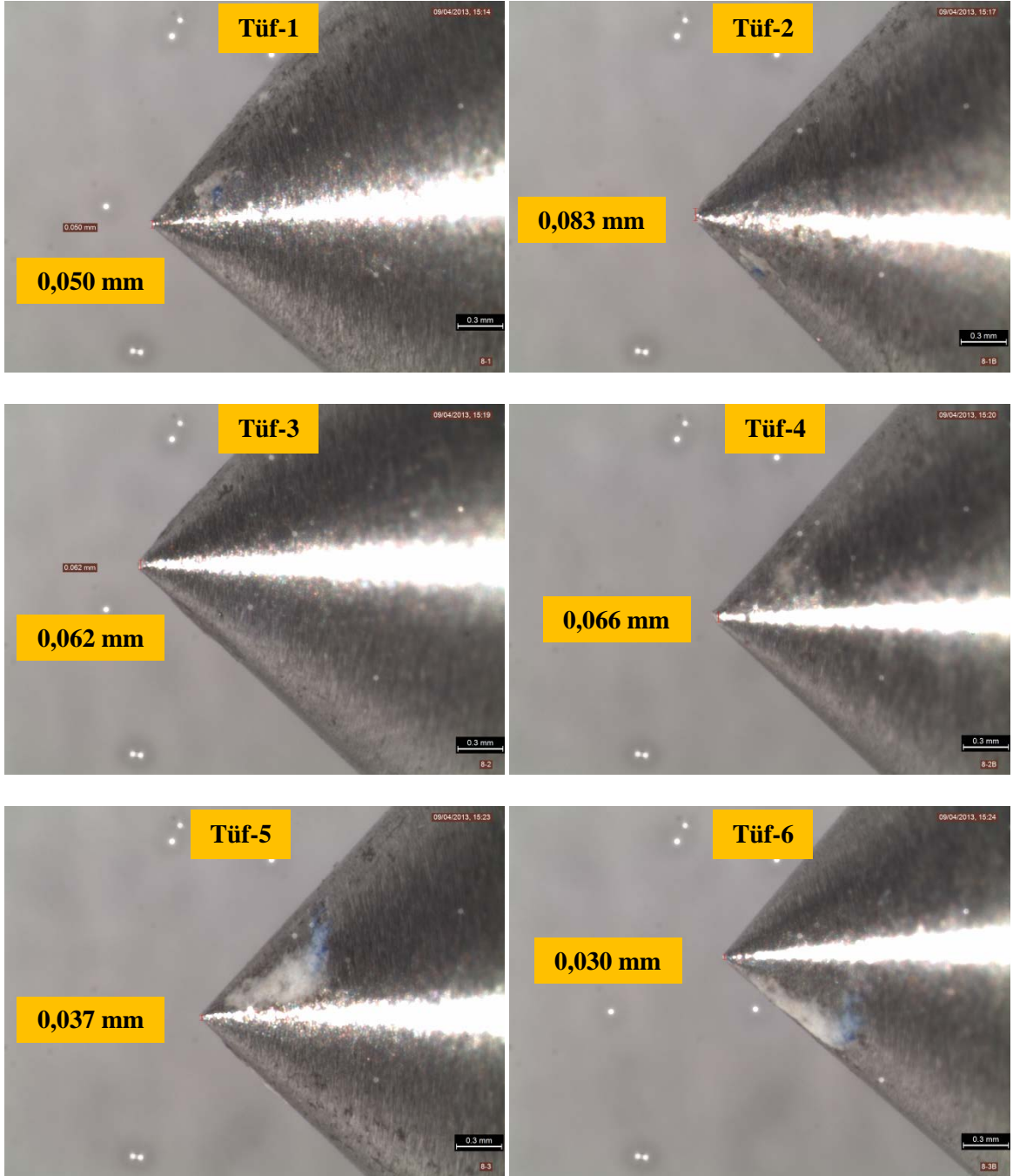
## Ek-8'in devamı



## Ek-8'in devamı



## Ek-8'in devamı



## ÖZGEÇMİŞ

Serdar YAŞAR, 10.09.1985 yılında Gümüşhane’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kozyatağı İlhami Ertem İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Orta öğretimini tamamladıktan sonra Özel Gökdil Lisesi’ne geçiş yaptı ve 4 yıllık lise eğitimini 2003 yılında tamamladı. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünü kazandı. 11 Şubat 2009 yılında Maden Mühendisliği bölümünden mezun olan yazar, 2010 yılı Şubat’ında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.2010 yılı sonuna kadar 8 dersi başarı ile tamamlayan yazar 2011 yılı yazında kaydını Karadeniz Teknik Üniversitesi’ne alarak yüksek lisans öğrenimine devam etti. 2012 Ağustos’unda Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Anabilim Dalı’na araştırma görevlisi olarak atandı ve görevine devam etmektedir. 2000-2005 yılları arasında profesyonel olarak Taekwondo ile uğraşan yazar siyah kuşak 1.dan derecesine kadar yükselmiştir. 2002 yılında İstanbul 2.liği ve 2005 yılında İstanbul 3.lüğü bulunmaktadır. Yazar çok iyi derecede İngilizce ve başlangıç seviyesinde Almanca bilmektedir.