

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Ümit ATICI

KAYA KESİLEBİLİRLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2005

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYA KESİLEBİLİRLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ümit ATICI

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 26/07/2005 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....
Prof. Dr. Mesut ANIL
Başkan

İmza.....
Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
Üye

İmza.....
Doç. Dr. Adem ERSOY
Danışman

İmza.....
Doç. Dr. Hasan ÇETİN
Üye

İmza.....
Doç. Dr. Alaeddin KILIÇ
Üye

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No

Prof. Dr Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: Feb. 2001/15

•**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ
DOKTORA TEZİ
KAYA KESİLEBİLİRLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ümit ATICI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Adem ERSOY
Yıl : 2005, Sayfa :
Jüri : Prof. Dr. Mesut ANIL
Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
Doç. Dr. Hasan ÇETİN
Doç. Dr. Aleattin KILIÇ

Ülkemizde büyük rezervlere ve önemli ticari potansiyele sahip olan mermer olarak kullanılan kayaçların üretim maliyeti büyük oranda kesici verimliliği tarafından kontrol edilmektedir. Kesici verimliliği birçok kompleks faktör tarafından etkilenmektedir. Kesme verimini tahmin etmede bu faktörlerin en önemlilerinden birisi de testerenin çalışma parametreleridir. Bu çalışmada, kesme deneyleri birçok kayaç çeşidi (altı çeşit bej mermer, iki andezit, bir bazalt ve tüf örnekleri) üzerinde 400 mm çapında elmas diskli testere ile yapılmıştır. Deney düzeneği olarak bilgisayar kontrollü, tam otomatik kesme donanımı kullanılmıştır. Deneylerde aynı yönlü veya aşağı kesme yöntemi uygulanmıştır. Belirli kesme derinlikleri (10, 30, 50, 70 mm), ilerleme hızları (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 m/dak) ve çevresel hızları (60, 65, 70, 75, 80 m/sn) olmak üzere, her mermer numunesi için bunlardan iki parametre sabit tutulurken, diğer parametre değiştirilmiştir. Düşey, yatay ve eksenel kuvvetler ile güç ölçülerek normal, kesme ve teğetsel kuvvetler ve spesifik enerji hesaplanmıştır. Aynı zamanda güç analizörü kullanılarak spesifik kesme enerjisi (SE_{kes}) ölçülmüştür. SE_{kes} kesme verimliliğini ölçen önemli bir parametredir. SE_{kes} birim hacimdeki kayayı kesmek için gerekli enerji olup, her metre kesim için direkt uyumluluk göstermektedir. Aynı zamanda SE_{kes} delme, kazma, kırma ve öğütme gibi kaya çalışma işlemlerinin verimliliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmakta olup, kesme işlemi sırasında kaya dayanım ve sertliği ile kesici şartlarına işaret eder. Çalışma parametrelerinin birbirleriyle ilişkileri incelenmiştir. Kayaçlardaki yönelmenin, farklı testere kullanmanın, kayaçların fiziksel, mekanik, petrografik, kimyasal özelliklerinin spesifik enerji üzerine etkileri araştırılmıştır.

SE_{kes} ile operasyon parametreleri ve kaya özellikleri arasındaki ilişki tanımlanmıştır. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak SE_{kes} 'nin kaya özelliklerinden tahmin etmede kullanılacak bir model geliştirilmiştir. Bu model istatistiksel testlerle kontrol edilmiştir. Bu yöntem ile kesici makine üreticileri ve kullanıcılarının kesme işleminden önce kayaç özellikleri kullanılarak matematiksel işlemlerle kesici performansını belirleyebileceklerdir.

Elmas diskli kesicilerin aşınmaları bir çok faktör tarafından etkilenmektedir. Buna rağmen, aşınma oranının tahmininde testerenin tipi, operasyon parametreleri ve kesilen kayacın özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Kayacın tek bir özelliğinin bilinmesi aşınma miktarının tahmini için yetersizdir. Testeredeki aşınma (hacimce ve ağırlıkça), her bir kayaç grubu için yapılan bir seri test sonucunda belirlenmiştir. Testeredeki aşınma birçok şekilde oluşmaktadır. Buna rağmen, en sık rastlanan aşınma mekanizmaları aşındırıcı aşınma, darbe ve ani yüklenme, yorulma ve ısı şoklarıdır.

Anahtar Kelimeler: Elmas diskli Testere özellikleri, Spesifik Kesme Enerjisi, Kayaç özellikleri, İstatistiksel Modelleme, Aşınma

ABSTRACT
PhD THESIS

THE FACTORS EFFECTED OF ROCK CUTABILITY

Ümit ATICI

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor : Assoc.Prof.Dr. Adem ERSOY
Year : 2005, Pages :
Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL

Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
Assoc.Prof.Dr. Hasan ÇETİN
Assoc.Prof.Dr. Aleattin KILIÇ

In our country, rock which use a marble has a wide reserves and high a commercial potential, and its processing cost is controlled a large extent by the cutter performance. The performance characteristic of the cutter are affected by a range of factors. The principal factors that require consideration in predicting cutting rates are the cutter operating parameters. In this study, a variety of rock types (six type beige marble, two types of andesite, a basalt and a tuff) were cut with a 400 mm diameter of diamond disc cutter using fully instrumental and automatic computer controlled cutting rig at different cutting speed and cutting depth. Down cutting method is applied in experimental test. Particular feed rate (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 m/min), depth of cutting (10, 30, 50, 70, 90 mm) and peripheral speed (60, 65, 70, 75, 80 m/sec) were used in cutting tests. Two of these operating parameters of the cutters are hold constant while the other parameter is changed for all type of rocks during the experimental study. Vertical and horizontal forces with power were measured normal, cutting and tangential forces with specific energy were calculated. At the same time the Specific Cutting Energy (SE_{cut}) is measured by using a Power Analyzer. SE_{cut} is a very significant measure of cutting performance. It is directly compatible with cost per meter, because it relates to the amount of energy required to cut rock. SE_{cut} can also be used to quantify the efficiency of rock working processes such as drilling, cutting, excavation, grinding and indicate cutter conditions, rock strength and hardness during cutting. The relationship of the operating parameters with each other were determined. The effects of cutting direction, using different types of cutter, physical, textural, mechanical, chemical and intact properties of rock on specific energy were also examined.

The relationship of the SE_{cut} with operating parameters of sawblade and rock properties was established. Multi-variable linear regression analysis was then used to develop predictive models of SE_{cut} from the rock property data. The models have been verified by statistical tests. The ability of the technique to provide a mathematical characterization of the performance of new cutting sawblades in specific rocks may prove to value to cutter manufacturers and users.

Circular diamond saw of wear is affected by a range of factors. However, the principal factors that require consideration in predicting wear rates are the type of diamond saw, the saw operating parameters and the characteristics of the cut rock. A single rock property index is not a sufficient basis for predicting wear performance. Wear (weight loss and height loss) of saw were measured after a series of test in each rock type. The wear of saws can take many forms, however, the most common wear mechanism operating on saws during the rock cutting is abrasion, impact loading and impact fatigue and thermal shock also accelerates the wear of saws.

Key Words: Diamond Saw Properties, Cutting Specific Energy, Rock Characteristics, Statistical Modeling, Wear.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamın başlangıcından bitimine kadar her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, sonsuz desteği ile bu başarıyı elde etmemde en büyük katkısı olan Sayın Doç. Dr. Adem ERSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın bir bölümünü oluşturan kesme deneyleri sırasında gerekli laboratuvar ortamının sağlanması ve SEM resimlerinin çekilmesi sırasında yardımcı olan Afyon Kocatepe Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ'a, kesme setinin otomasyonu konusunda yardımcı olan Sayın Öğrt. Gör. Mustafa NARKAYA'ya,

Çalışmalarım sırasında bilgi ve birikimlerini bizlerle paylaşan Sayın Doç. Dr. Alleattin KILIÇ'a, Sayın Doç. Dr. Hasan ÇETİN'e ve Süleyman Demirel Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Sayın Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ' ile İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Sayın Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e,

Kayaçların mineralojik incelemelerinde yardımcı olan İstanbul Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Sinan ONGUN, Arş. Gör. Dr. Namık AYSAL ve Sinan ALTUNCU'ya, Cerchar aşınma deneyindeki yardım ve katkılarından dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi Arş. Gör. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu yoğun çalışma temposunda sevgi, anlayış ve sabırla beni destekleyen teşvik eden eşim Neslihan Yavuz ATICI'ya da teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA NO
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİL DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Kesme İşleminin Kinematığı ve Enerji.....	6
2.2. Kesme İşleminde Testere Aşınma Mekanizmaları.....	9
3. ELMAS DİSKLİ KESİCİLER.....	11
3.1. Kesici tipleri ve kullanım alanları.....	13
3.1.1. Standart Su Kanallı Diskli Kesiciler.....	14
3.1.2. Dar Su Kanallı Diskli Kesiciler.....	14
3.1.3. Aralıksız Soketli Diskli Kesiciler.....	14
3.2. Matriks.....	15
3.3. Elmas Özellikleri.....	16
3.3.1. Elmas Özelliklerinin Kesici Performansı Üzerine Etkileri..	19
3.3.2. Elmas ile Soket Arasındaki Bağ Karakteristiği.....	21
3.4. Kesicinin Operasyon Parametreleri.....	23
3.4.1. İlerleme Hızı.....	25
3.4.2. Çevresel Hız.....	26
3.4.3. Kesme Derinliği.....	28
3.4.4. Motor Gücü.....	29
3.4.5. Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes}).....	30
3.4.6. Kesicilerde Soğutma Suyu.....	31
3.4.7. Kesim Şartları.....	32
3.4.8. Kesme Modu ve Kesme Mekanizması.....	33

4. MATERYAL VE METOT.....	42
4.1.1. Makinenin Mekanik Tasarımı.....	42
4.1.2. Makinenin Otomasyon Tasarımı.....	43
4.2. Kullanılan Numuneler.....	49
4.3. Testere Özellikleri.....	50
4.4. Kayaç Özellikleri.....	51
4.4.1. Mineralojik Analiz.....	51
4.4.1.1. Kayseri Erkilet Bazalt.....	52
4.4.1.2. Afyon Bazaltik Andezit.....	54
4.4.1.3. Afyon Riyolit Tüf.....	56
4.4.1.4. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit.....	58
4.4.1.5. Osmaniye Serpantin Breşi.....	60
4.4.1.6. Sivrihisar Kireçtaşı.....	61
4.4.1.7. Burdur Kireçtaşı.....	62
4.4.1.8. Bilecik Kireçtaşı.....	63
4.4.1.9. Korkuteli Mermeri.....	64
4.4.1.10. Söğüt Kireçtaşı.....	65
4.4.2. Fiziko Mekanik Özellikler.....	66
4.4.3. Yoğunluk, Kuru Yoğunluk, Su Emme Oranı, Porozite.....	66
4.4.4. Tek Eksenli Basma Dayanımı.....	69
4.4.5. Endirek Çekme Dayanımı (Brezillian Deneyi).....	70
4.4.6. Elastisite (Young) Modülü.....	72
4.4.7. Spesifik Deformasyon Enerjisi (SE_{def}).....	74
4.4.8. Çift Makaslama Dayanımı.....	77
4.4.9. Eğilme Dayanımı.....	78
4.4.10. Darbe Dayanımı.....	79
4.4.11. Kayaçların Sertlik Özellikleri.....	81
4.4.11.1. Mohs Sertliği.....	82
4.4.11.2. Shore Scelerscope Sertlik İndeksi.....	84
4.4.11.3. Schmidt Darbe Çekici ile Sertlik Ölçümü.....	86

4.4.12. Aşınma.....	87
4.4.12.1. Cerchar Aşınma Deneyi.....	88
4.4.12.2. Sürtünme ile Aşınma Kaybı Deneyi.....	90
4.4.12.3. Schmiarezek Aşınma İndeksi.....	91
4.5. Kimyasal Analizler.....	93
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	95
5.1. Kesme Deneylerinde Sayısal Verilerin Elde Edilmesi ve İşlenmesi..	95
5.2. Kesme Derinliğinin Kuvvetler Üzerine Etkisi.....	108
5.3. İlerleme Hızının Kuvvetler Üzerine Etkisi.....	110
5.4. Çevresel hızın Kuvvetler Üzerine Etkisi.....	112
5.5. Kesme Hızının Kuvvetler Üzerine Etkisi.....	114
5.6. Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes}).....	116
6. KAYA ÖZELLİKLERİNİN KESME VERİMİNE ETKİSİ.....	119
6.1. Spesifik Kesme Enerjisi'nin Kesme Verimine Etkisi.....	119
6.2. Testere Tipinin Kesme Verimliliğine Etkisi.....	120
6.3. Kayaçlardaki Yönlenmenin Kesme Verimine Etkisi.....	121
6.4. Kayaç Özelliklerinin Kesme Verimine Etkileri.....	122
6.4.1. Kayaçların Dayanım Özellikleri İle Kesme Veriminin İlişkisi.....	122
6.4.2. Spesifik Yenilme Enerjisi (SE_{def}) İle Kesme Veriminin ilişkisi.....	122
6.4.3. Kayaçların Sertlik Özellikleri İle Kesme Veriminin İlişkisi.....	124
6.4.4. Aşınma İle Kesme Veriminin İlişkisi.....	126
7. TESTERE PERFORMANSININ TAHMİNİ.....	128
7.1. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi İle Testere Veriminin Tahmini.....	128
7.2. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi ile İlişkili Parametreler.....	128
7.3. Spesifik Kesme Enerjisinin Tahmini İçin Geliştirilen Modeller.....	131

7.4. Geliştirilen Modellerin Doğruluk Testleri.....	134
7.4.1. t Testi.....	134
7.4.2. F Testi.....	135
7.4.3. Residual Analizleri.....	136
8. AŞINMA.....	149
8.1. Aşınma Ölçümleri.....	149
8.2. Aşınma Tipleri.....	152
8.2.1. Elmasta Oluşan Aşınmalar.....	154
8.2.2. Matrikste Oluşan Aşınmalar.....	160
8.3. Aşınma ile Kaya Özellikleri Arasındaki İlişki.....	163
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	166
KAYNAKLAR.....	173
ÖZGEÇMİŞ.....	180
EKLER.....	181

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA NO

Çizelge 1.1. Elmas Diskli Kesicilerde Aşınmaya Etki Eden Faktörler.....	5
Çizelge 3.1. Elmas Soketli Dairesel Testerelerin Kullanım Parametreleri.....	24
Çizelge 3.2. Kesme Verimliliği.....	26
Çizelge 3.3 Elmaslı Dairesel Testerelerde Tavsiye Edilen Çevresel Hız ve Devir/Dak (Rpm)	27
Çizelge 4.1. Dairesel Elmas Testerelerin Teknik Özellikleri.....	51
Çizelge 4.2. Kayaçların Yoğunluk, Su Emme Oranı ve Porozite Değerleri.....	68
Çizelge 4.3. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımı, Endirek (Brezillian) Çekme Dayanımı, Young (Elastisite) Modülü Deney Sonuçları.....	74
Çizelge 4.4. Kayaçların Spesifik Deformasyon Enerji Değerleri.....	76
Çizelge 4.5. Çift Makaslama, Eğilme ve Darbe Dayanım Deneylerinin Sonuçları	80
Çizelge 4.6. Mohs Sertlik Sınıflaması.....	83
Çizelge 4.7. Kayaçların Mohs Sertlik Değerleri.....	84
Çizelge 4.8. Kayaçların Schmidt Darbe Çekici ve Shore Sclerescop Sertlik İndeks Değerleri.....	87
Çizelge 4.9. Çalışılan Kayaçların Cerchar Aşınma İndeks ve Böhme Yüzey Aşınma Değerleri.....	88
Çizelge 4.10. Cerchar Aşınma İndeksine Göre Kayaçların Aşındırıcılık Sınıflaması	89
Çizelge 4.11. Bazı Minerallerin Kuvarsa Eşdeğer Sertlikleri.....	92
Çizelge 4.12. Çalışmada Kullanılan Kayaçlardan Tek Bir Mineralden Oluşmayan Kayaçlar İçin Eşdeğer Kuvars Yüzdesinin Hesaplanması.....	92
Çizelge 4.13. Çalışmada Kullanılan Kayaçların Schmiatzek F-Aşınma Değeri Hesaplamada Kullanılan Özellikleri ve F-Aşınma Değerleri.....	93
Çizelge 4.14. Bu Çalışmada Kullanılan Kayaçların Kimyasal Analiz Sonuçları....	94
Çizelge 5.1. Kesme Deneylerinde Kullanılan Çalışma Parametreleri.....	97
Çizelge 5.2. Korkuteli Bej Mermeri İçin Kesme Deney Sonuçları.....	99
Çizelge 5.3. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Deney Sonuçları.....	100
Çizelge 5.4. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Deney Sonuçları.....	101

Çizelge 5.5. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Kesme Deney Sonuçları.....	102
Çizelge 5.6. Bilecik Bej Kireçtaşı İçin Kesme Deney Sonuçları.....	104
Çizelge 5.7. Korkuteli Bej Mermeri İçin Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Deney Sonuçları.....	105
Çizelge 5.8. Burdur Bej Kireçtaşı İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn)	106
Çizelge 5.9. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn).....	106
Çizelge 5.10. Afyon Bazaltik Andezit İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn).....	106
Çizelge 5.11. Afyon Riyolit Tüf İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn)	107
Çizelge 5.12. Kayseri Erkilet Bazalt İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn)	107
Çizelge 6.1. Kesme Düzeneginin Kayaçlar İçin Optimum Çalışma Parametrelerinde Belirlenmiş Olan SE_{kes} Değerleri.....	120
Çizelge 6.2. Kayaçlarda Yönlenmenin Kesme Verimine Etkileri.....	121
Çizelge 7.1. Modellerin Özet İstatistik Tablosu.....	133
Çizelge 7.2. Kireçtaşı ve Mermer Grubu Kayaçlarda 7.2. Numaralı Model İçin Gözlenen, Tahmin Edilen SE_{kes} , Residual ve Standartlaştırılmış Residual Sonuçları.....	145
Çizelge 7.3. Andezit, Bazalt ve Tüf Grubu Kayaçlar İçin Gözlenen, Tahmin Edilen SE_{kes} , Residual ve Standartlaştırılmış Residual Sonuçları.....	147
Çizelge 8.1. Aşındırıcı Kayaçlar İçin Testerede Oluşan Aşınma Miktarı.....	151
Çizelge 8.2. Aşınma Tiplerinin Sınıflaması	153
Çizelge 8.3. Kesici Testerenin Aşınma Değerleri ile Kayaç Özelliklerinin Korelasyon Tablosu.....	165

Şekil 1.1. Türkiye Mermer Rezervinde En Önemli Beş İlin Rezervleri.....	2
Şekil 3.1. Dairesel Elmas Testere.....	11
Şekil 3.2. Testere Çapı İle Soket Adedi Arasındaki İlişki.....	12
Şekil 3.3. Diskli Kesici Türleri.....	15
Şekil 3.4. Standart Sentetik Elmas Ürünlerinin Karakteristik Örnekleri.....	18
Şekil 3.5. Elmas Tane Boyutu İle Dayanım Arasındaki İlişki.....	19
Şekil 3.6. Elmas Tane Büyüklüğü İle Kesilen Kaya Arasındaki İlişki.....	20
Şekil 3.7. Kübik-Oktahedral Kristallerin SEM Görüntüsü	22
Şekil 3.8. Elmas Yüzeyi İle Elması Çevreleyen Matriks Arasındaki Kuvvetli Bağları Gösteren SEM Görüntüsü.....	23
Şekil 3.9. Elmaslı Dairesel Testerelede Çevresel Hız İle Testere Çapı Arasındaki İlişki.....	28
Şekil 3.10. Kesici Çapının Gerekli Olan Minimum Motor Gücü İle İlişkisi.....	30
Şekil 3.11. Kesim Suyu Uygulama Sistemleri.....	31
Şekil 3.12. ST'lerde Kullanılan Minimum Su İhtiyacı.....	32
Şekil 3.13. Aşağı (Aynı) Ve Yukarı (Zıt) Yönlü Kesme İşlemi.....	34
Şekil 3.14. Aynı Yönlü Kesme İçin Talaş Oluşumu Sırasında Meydana Gelen Kesim Aşamaları.....	35
Şekil 3.15. Mermer Kesme Prosesinde Talaş Oluşum Mekanizması.....	36
Şekil 3.16. Kesme İşleminin Kinematığı.....	37
Şekil 3.17. Aynı Yönlü Kesme İçin Kesme İşlemi Kinematığı.....	37
Şekil 3.18. Zıt Yönlü Kesme İçin Kesme İşlemi Kinematığı.....	38
Şekil 4.1. Kesme Deney Düzenegi.....	42
Şekil 4.2. Vagonun Ve Testerenin Hızını Kontrol Eden Hız İnvertörleri.....	43
Şekil 4.3. Kesme Düzenegini Kontrol Eden Bilgisayar Sistemi Ve Hız İnvertörleri.....	44
Şekil 4.4. Deney Setinin Kontrolünü Ve Bilgisayarla İletişimini Sağlayan Programın Ana Mönüsü.....	44

Şekil 4.5. Deney Setinin Bilgisayarla Kontrolünü Sağlayan Programın Yardımcı Mönüsü.....	45
Şekil 4.6. Kesme Platformu Ve Yük Hücreleri.....	46
Şekil 4.7. Deney Setininden Bilgisayara Aktardığı Veri Dosyası.....	47
Şekil 4.8. Güç Analizörü.....	48
Şekil 4.9. Sisteme Monte Edilmiş Olan Güç Analizöründen Veri Alarak Bilgisayara Kaydetmekte Kullanılan Yardımcı Program.....	48
Şekil 4.10. Kesme Deneylerinde Kullanılan Kayaçların Yerleri.....	49
Şekil 4.11. Kesme Deneyinde Kullanılan Numunelerin Boyutları.....	49
Şekil 4.12. Yönlenme Belirlenen Kayaçlarda Numune Alma Yöntemi.....	50
Şekil 4.13.a. Kayseri Erkilet Bazaltının Mikroskopik Fotoğrafı.....	52
Şekil 4.13.b Kayseri Erkilet Bazaltının Mikroskopik Fotoğrafı.....	53
Şekil 4.14. Kayseri Erkilet Bazalt İçin Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	53
Şekil 4.15.a. Afyon Bazaltik Andezitin Mikroskopik Fotoğrafı.....	54
Şekil 4.15.b Afyon Bazaltik Andezit Mikroskopik Fotoğrafı.....	55
Şekil 4.16. Afyon Bazaltik Andezit İçin Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	55
Şekil 4.17.a. Afyon Riyolit Tüfünün Mikroskopik Fotoğrafı.....	56
Şekil 4.17.b Afyon Riyolit Tüfünün Mikroskopik Fotoğrafı.....	57
Şekil 4.18. Afyon Riyolit Tüfü için Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	57
Şekil 4.19.a. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezitin Mikroskopik Fotoğrafı.....	58
Şekil 4.19.b Kayseri Erkilet Bazaltik Andezitin Mikroskopik Fotoğrafı.....	59
Şekil 4.20. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit için Tane Boyutu Dağılım Grafiği..	59
Şekil 4.21. Osmaniye Serpantin Breşinin Mikroskopik Fotoğrafı.....	60
Şekil 4.22. Osmaniye Serpantin Breşi için Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	60
Şekil 4.23. Sivrihisar Kireçtaşının Mikroskopik Fotoğrafı.....	61
Şekil 4.24. Sivrihisar Kireçtaşının Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	62
Şekil 4.25. Burdur Kireçtaşının Mikroskopik Fotoğrafı.....	62
Şekil 4.26. Burdur Kireçtaşının Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	63
Şekil 4.27. Bilecik Kireçtaşının Mikroskopik Fotoğrafı.....	63
Şekil 4.28. Bilecik Kireçtaşının Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	64
Şekil 4.29. Korkuteli Mermerinin Mikroskopik Fotoğrafı.....	64

Şekil 4.30. Korkuteli Mermerine ait Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	65
Şekil 4.31. Söğüt Kireçtaşı Kayacına ait İnce Kesit Resimleri.....	65
Şekil 4.32. Söğüt Kireçtaşı Kayacına Ait Tane Boyutu Dağılım Grafiği.....	66
Şekil 4.33. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deney Düzeneği.....	70
Şekil 4.34. Brazilian Deney Düzeneğinde Numune ve Yükn Homojen Dağılmasını Sağlayacak Olan Plakaların Görüntüsü.....	71
Şekil 4.35. Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyinde Yükleme Düzeneği.....	72
Şekil 4.36. Gerilme – Deformasyon Eğrisi.....	73
Şekil 4.37. Spesifik Deformasyon Enerjisinin Tek Eksenli Basma Dayanımı Kullanılarak Gerilme-Deformasyon Grafiğinden Belirlenmesi.....	75
Şekil 4.38. Bilecik Kireçtaşı İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	76
Şekil 4.45. Çift Makaslama Kutusunun Şematik Gösterimi.....	78
Şekil 4.46. Doğal Yapı Taşlarında Eğilme Mukavemeti Tayininde Kullanılan Deney Düzeneği.....	79
Şekil 4.47. Doğal Yapı Taşları İçin Darbe Mukavementi Deney Düzenegi.....	81
Şekil 4.48. Shore Sclereskope Sertlik Deneyi, Deney Düzeneği.....	85
Şekil 4.49. Schmidt Darbe Çekici İle Ölçüm Pozisyonları.....	86
Şekil 4.50. Cerchar Aşınma İndeks Cihazı, Ölçüm Mikroskobu, Uç ve Numunenin Toplu Görünüşü.....	89
Şekil 4.51. Böhme Yüzeysel Aşınma Deney Düzeneği.....	91
Şekil 5.1. Verilerin Elde Edildiği Kesme Bölgeleri.....	95
Şekil 5.2.a. Sivrihisar Beji İçin Hesaplanan SE_{kes} ve μ Değerlerinin Kirlilikten Arındırılmadan Önceki Grafikselle Gösterimi.....	96
Şekil 5.2.b. Sivrihisar Bejinde Hesaplanan SE_{kes} ve μ Değerlerinin Kirlilikten Arındırıldıktan Sonraki Grafikselle Gösterimi.....	96
Şekil 5.3. Korkuteli Bej Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	108
Şekil 5.4. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	109
Şekil 5.5. Korkuteli Mermeri İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	109

Şekil 5.6. Korkuteli Mermeri İçin Kesme Hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	111
Şekil 5.7. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme Hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	111
Şekil 5.8. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme Hızındaki Değişiminin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	112
Şekil 5.9. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesilen Alan Değerlerinde, Çevresel Hızın Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	113
Şekil 5.10. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesilen Alan Değerlerinde, Çevresel Hızın Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	113
Şekil 5.11. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesilen Alan Değerlerinde, Çevresel Hızın Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	114
Şekil 5.12. Korkuteli Mermeri İçin Kesilen Alandaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	115
Şekil 5.13. Korkuteli Mermeri İçin Kesilen Alandaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	115
Şekil 5.14. Korkuteli Mermeri Kesme Oranındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	116
Şekil 5.15. Korkuteli Mermeri İçin Kesilen Alandaki Değişimin SE_{kes} Üzerine Etkisi.....	117
Şekil 5.16. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesilen Alandaki Değişimin SE_{kes} Üzerine Etkisi.....	118
Şekil 5.17. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit İçin Kesme Hızındaki Değişimin SE_{kes} Üzerine Etkisi.....	118
Şekil 6.1. Kayaçların Çift Makaslama Dayanımı İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.....	123
Şekil 6.2. Spesifik Yenilme Enerjisi (SE_{def}) İle Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes}) Arasındaki İlişki.....	123
Şekil 6.3. Mohs Sertlik İndeksi İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.....	125
Şekil 6.4. Shore Sceleroscope Sertlik İndeksi İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.....	125
Şekil 6.5. Schmidt Darbe Çekici İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.....	126
Şekil 6.6. F- Aşınma İndeksi İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.....	127

Şekil 7.1. Kireçtaşı ve Mermer Grubu Kayaçlar İçin Geliştirilen Modelin	
Gözlenen ve Hesaplanan SE_{kes} Grafiği.....	137
Şekil 7.2. Andezit, Bazalt ve Tüf Grubu Kayaçlar İçin Geliştirilen Modelde	
Gözlenen ve Hesaplanan SE_{kes} Grafiği.....	137
Şekil 7.3. Kireçtaşı ve Mermer Grubu Kayaçlar İçin Tahmin Edilen SE_{kes} ve	
Rezidual (Artık) Grafiği.....	139
Şekil 7.4. Andezit, Bazalt ve Tüf Grubu Kayaçlar İçin Tahmin Edilen SE_{kes} ve	
Rezidual (Artık) Grafiği.....	139
Şekil 7.5. Eşitlik 7.2. İçin Eğilme Dayanımına Karşı Çizilen Rezidual	
Grafiği.....	140
Şekil 7.6. Eşitlik 7.2. İçin F-Aşınma İndeks Değerine Karşı Çizilen Rezidual	
Grafiği.....	140
Şekil 7.7. Eşitlik 7.2. İçin Schmidt Darbe Çekici Değerine Karşı Çizilen Rezidual	
Grafiği.....	141
Şekil 7.8. Eşitlik 7.3. İçin Cerchar Aşınma İndeksine Karşı Çizilen Rezidual	
Grafiği.....	141
Şekil 7.9. Eşitlik 7.3. İçin Schmidt Darbe Çekici Değerine Karşı Çizilen Rezidual	
Grafiği.....	142
Şekil 7.10. Eşitlik 7.3. İçin Spesifik Deformasyon Enerjisine Karşı Çizilen Rezidual	
Grafiği.....	142
Şekil 7.11. Eşitlik 7.2. İçin Rezidualların Normal Olasılık Grafiği.....	144
Şekil 7.12. Eşitlik 7.3. İçin Rezidualların Normal Olasılık Grafiği.....	144
Şekil 8.1. Kesici Testerenin İşaretleme ve Tanımlama Sistemi.....	150
Şekil 8.2. Aşındırıcı Kayaçlar İçin Testerede Oluşan Aşınma Miktarı.....	151
Şekil 8.3. Elmas Tanesinin Aşınma Mekanizması.....	153
Şekil 8.4. Kesme İşlemi Sırasında Elmas Tanelerinin Çıkıntı Yüksekliklerinin	
Kesme Alanına Göre Değişimi ve Kesme İşleminin Modellenmesi ..	154
Şekil 8.5. Andezit Testeresinde Sağlam ve Yerinden Çıkmış Elmas.....	156
Şekil 8.6. Andezit Testeresi İçin Elmas Tanelerinin Yüzeyinde ve Üst Kısımındaki	
Aşınma.....	156
Şekil 8.7. Granit Testeresinde Oluşan Aşınma.....	158

Şekil 8.8. Granit Testeresinde Cilalanmış Elmas Kristali.....	158
Şekil 8.9. Granit Testeresindeki Elmasın Aşınma Yüzeyi.....	159
Şekil 8.10. Testerenin Sabit Yönde Dönmesinde Elmas Tanesinin Çıkıntısı ve Matriks Desteği.....	160
Şekil 8.11. Kesme İşlemi Sırasında Matriks Üzerinde Oluşan Kanallar ve Sırt Yapısı.....	161
Şekil 8.12. Matriksin Aşınma Yüzeyi.....	162

Ek 4.1. Korkuteli Mermeri İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	181
Ek. 4.2. Sivrihisar Bej Kayacı İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	181
Ek 4.3. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	182
Ek 4.4. Burdur Mermeri İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	182
Ek 4.5. Afyon Bazaltik Andeziti İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	183
Ek 4.6. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit İçin Gerilme Deformasyon Grafiği	183
Ek 4.7. Kayseri Erkilet Bazalt İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	184
Ek 4.8. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	184
Ek 4.9. Afyon Riyolit Tuf İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.....	185
Ek. 5.1. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	185
Ek. 5.2. Sivrihisar Bej Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	186
Ek. 5.3. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	186
Ek. 5.4. Korkuteli Mermeri İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	187
Ek. 5.5. Sivrihisar Bej Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	187
Ek. 5.6. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	188
Ek. 5.7. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	188
Ek. 5.8. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	189
Ek. 5.9. Söğüt Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	189
Ek. 5.10. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	190

Ek. 5.11. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerinde Etkisi.....	190
Ek. 5.12. Söğüt kireçtaşı İçin Kesme Hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	191
Ek. 5.13. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme Hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerinde Etkisi.....	191
Ek. 5.14. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme Hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerinde Etkisi.....	192
Ek. 5.15. Söğüt Kireçtaşı İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme Hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	192
Ek. 5.16. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerinde Etkisi.....	193
Ek. 5.17. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerinde Etkisi.....	193
Ek. 5.18. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.....	194
Ek. 5.19. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerinde Etkisi.....	194
Ek. 5.20. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	195
Ek. 5.21. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerinde Etkisi.....	195
Ek. 5.22. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.....	196
Ek. 5.23. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	196
Ek. 5.24. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	197
Ek. 5.25. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	197

Ek. 5.26. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	198
Ek. 5.27. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.....	198
Ek. 5.28. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.....	199
Ek. 5.29. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.....	199
Ek. 5.30. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.....	200
Ek. 5.31. Burdur Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerindeki Etkisi.....	200
Ek. 5.32. Kayseri Erkilet Bazalt İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerindeki Etkisi.....	201
Ek. 5.33. Afyon Bazaltik Andezit İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerine Etkisi.....	201
Ek. 5.34. Afyon Riyolit Tüf İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerindeki Etkisi.....	202

SİMGELER VE KISALTMALAR

SE_{kes} :	Spesifik Kesme Enerjisi (MJ/m^3)
SE_{def} :	Spesifik deformasyon enerjisi (Kj/m^3)
F_X :	Disk kesme yönünde oluşan yatay (x) kuvvet (N)
F_Y :	Disk kesme yönünde oluşan düşey (y) kuvvet (N)
F_Z :	Disk kesme yönünde oluşan eksenel (z) kuvvet (N)
F_N :	Normal (radyal) kuvvet (N)
F_T :	Teğetsel (tanjantiyel) kuvvet (N)
F_K :	Kesme Kuvveti (N)
$V_{\dot{C}}$:	Diskin Çevresel Hızı (m/sn)
V_K :	İlerleme hızı (m/sn)
V :	Kesme Hızı (cm^2/dak)
$\varnothing_D$:	Diskin (kesici testerenin) çapı (mm)
H_K :	Kesme derinliği (mm)
Φ_k :	Diskin kayaçla temas (kavrama) açısı (derece)
α :	Normal kuvvetin etki (aşındırma) açısı (derece)
φ_k :	Diskin kavrama açısı (derece)
α :	Normal kuvvetin etki açısı (derece)
w :	Aşındırma açısına ait sabit
G_S :	Elmas Soket Genişliğidir
μ :	Teğetsel kuvvetin (F_T), normal kuvvete (F_N) oranına kesme kuvvetleri oranı
G_k :	Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (g),
Y :	Bağımlı (açıklanan) değişken,
α :	Modelde kullanılan sabit değer

- β_1, β_2 ve β_k : Regresyon katsayılarıdır.
- $X_k; X_a, X_b$ ve X_k : Bağımsız (açıklayıcı) değişkenler,
- E: modelin hatasıdır.
- X_2 : Aşınma miktarı (gr/m^3)
- X_3 : Spesifik deformasyon enerjisi (j/m^3)
- X_4 : Tane boyutu (mm)
- X_5 : Kuvars konsantrasyonu (%)
- X_6 : Silikat konsantrasyonu (%)
- X_7 : Tek eksenli basma dayanımı (MPa)
- X_8 : Endirek çekme dayanımı (MPa)
- X_9 : Çift makaslama dayanımı (MPa)
- X_{10} : Eğilme dayanımı (MPa)
- X_{11} : Young modülü (GPa)
- X_{12} : Mohs sertlik indeksi
- X_{13} : Shore sclerescop sertlik indeksi
- X_{14} : Schmidt darbe çekici
- X_{15} : Cerchar aşınma indeksi
- X_{16} : Böhme Aşınma indeksi ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$)
- X_{17} : F-aşınma faktörü (N/mm)
- X_{19} : Porozite (%)
- X_{20} : Yoğunluk (gr/cm^3)
- X_{21} : Kuru yoğunluk (gr/cm^3)
- X_{22} : Ağırlıkça su emme oranı (%)
- X_{23} : Hacimce su emme oranı (%)

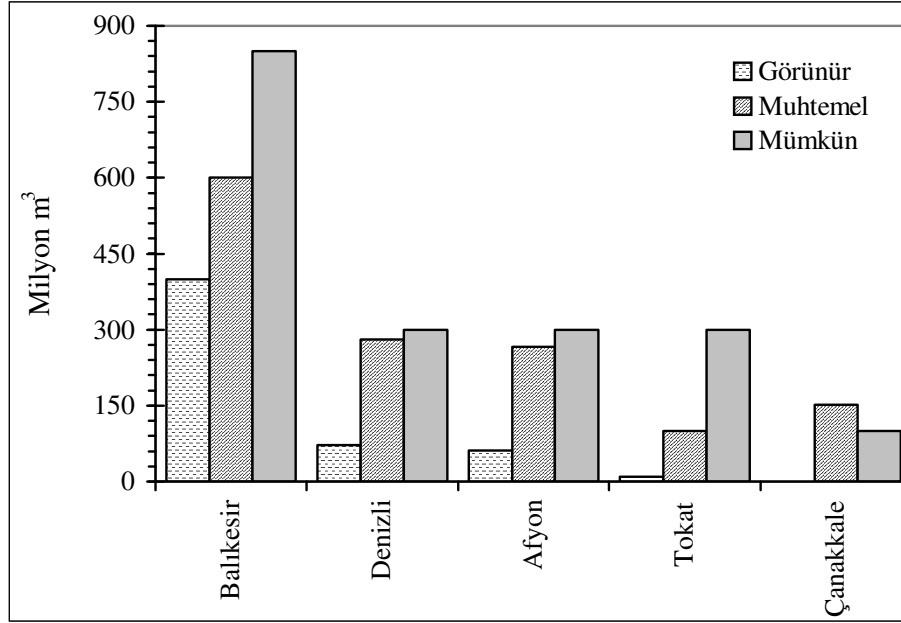
1. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmesi ve kalkınmasında yeraltı ve yerüstü endüstriyel hammadde ve maden kaynaklarının bilimsel metotlarla değerlendirilmeleri hayati önem taşımaktadır. Gelişmiş ülkelerin kalkınmasında, bu kaynakların verimli olarak işletilmesi yatmaktadır. Çünkü hayatı aktif hale getiren unsurların %99'u madenlerden oluşmaktadır.

Mermer jeolojik olarak kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)$) ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşmuş metamorfik bir kayaç şeklinde tanımlanmaktadır. Ticari olarak mermerin tanımı ise, ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılabilen veya yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri), kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) mermer olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantinit, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da mermer olarak isimlendirilmektedir. İnşaat sektöründe kaplama, döşeme ve mutfak tezgahlarında kullanılan parlatılabilen ve cila alabilen bütün kayaçlar ile kaldırım taşı, parke gibi pek çok alanda parlatılmasına ihtiyaç duyulmadan kullanılabilen kayaçlar ocaklardan blok halinde çıkartılarak işleme tesislerinde ST, ktrak, yarma gibi elmas diskli testereler kullanan makineler yardımı ile istenilen boyutlara indirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir.

Endüstriyel hammaddelerden hakiki mermerler, kireçtaşları ve aşındırıcı sert kayaçlar açısından oldukça zengin potansiyele sahip olan ülkemizde 589.000.000 m³ görünür rezerv, 545.000.000 m³ muhtemel rezerv, 3.027.000.000 m³ mümkün rezerv olmak üzere toplam 5.161.000.000 m³ bir potansiyele dünya doğal taş rezervinin yaklaşık % 40'ına sahiptir (Uyanık, 2001). Bu rakamlar gün geçtikçe yeni rezervlerin bulunması ile daha da yükselmektedir. Ülkemizde mermer rezervi bakımından başlıca beş il için görünür, muhtemel ve mümkün rezerv miktarları Şekil 1.1'de veriliştir. Bu beş üretim bölgesi toplam ülke rezervinin %73'lük bir oranına sahiptir. Ülkemiz, dünya doğal taş sektöründe üretim açısından %3,1'lik bir payla dokuzuncu, ihracatta ise %2,3'lük bir payla sekizinci sırada yer almaktadır. Oldukça yüksek

rezervlere sahip olmamıza rağmen, dünya pazarında ilk üç ülke arasında yer almama sebeplerinden birisi, ülkemizde mermercilik çalışmalarının daha çok küçük fabrikalar ve atölyeler bazında olması ve yeterince bilimsel çalışma ve araştırmanın yapılmamış veya uygulanmamış olması sayılabilir.



Şekil 1.1. Türkiye Mermer Rezervinde En Önemli Beş İlin Rezervleri.

Ülkemizde mermer üretimi son yıllarda büyük bir artış göstermiştir. Türkiye son yıllarda uygulanmaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve işletme tesislerinde uygulanan yenilikler sayesinde dünya doğal taş üretiminde etkili bir konuma gelmiştir. Türkiye’de mermer üretimi, yurtdışında alternatif malzemelerin varlığı ve mermerin lüks malzeme olarak değerlendirilmesine rağmen, iç tüketim ve ihracatın artışına paralel olarak sürekli artış göstermektedir. Özellikle son yıllarda büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla entegre üretim yapan tesisler devreye girmiş ve işlenmiş mamul üretiminde büyük artışlar kaydedilmiştir.

Ülkemizin ihracat değerlerinde de oldukça önemli yer tutan doğal taş ticareti 2000 yılı verilerine göre 151 milyon doları işlenmiş ürünlere ait olmak üzere toplam 186 milyon dolarlık ihracat yapılmıştır. Doğal taş ihracatımızdaki en önemli payın eskiden olduğu gibi ham blok satışından değil de %77 ile işlenmiş ürünlere ait olması ülkemiz açısından sevindirici bir olaydır. Bu rakamlar ülkemizde doğal taş işlemenin

artık büyük bir sektör olduğunun ve bundan sonra yapılacak araştırma ve geliştirme çalışmalarının ülkemiz ekonomisine büyük katma değerler sağlayacaktır.

Ocak işletmesinden üretilen mermer bloklarının biçilerek dilimlere ayrılması, mermer kesme ve işleme tesislerinde yani mermer fabrikasında yapılır. Biçilen her mermer dilimine levha (plaka) denilmektedir.

Mermer ocaklarından düzgün geometrik şekillerde mermer fabrikasına gelen bloklar çeşitli makine ve teçhizat kullanılarak kesilmektedir. Kesilen levha mermerler istenilen boyutlarda küçültülerek, pürüzlü yüzeyler silinerek ve parlatılarak piyasaya sunulmaktadır. Mermer bloğunun mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklerine göre kesme sistemleri seçilmektedir. Genel olarak düzenekler lama (testere) ve disk (daire) ile kesen makine sistemleri olarak ikiye ayrılır. Lama (testere) ile kesen makinelerle katrak denilmektedir.

Diskli kesim yapan makinelerde ise çevirici bir kuvvet tarafından dairesel hareket verilen disk ile mermer bloğun kesilip plaka haline getirilmesi esasına dayanır. Sürtünmeden ileri gelen ısı bol su ile alınır. Dikeyden blok kesme makinelerine “ST” denilmektedir. Bunların dikey kesme diskleri 1-20 adet arasında değişir ve 200 mm den 2,5 m çapa kadar olanları bulunmaktadır. Diskin hareketini blok üzerinde hidrolik teçhizat sağlamaktadır. Diskli kesmede diskin çemberine elmas vidyeli uçlar (soketler) monte edilmiştir. Kesme bu şekilde elmas soketlerle yapılmaktadır. Normal mermerlerde 70’cm. ye kadar kesme yapıldığı gibi sert mermerlerde 3-5 cm seviyelerle kademeli olarak kesme yapılır.

Mermer levhalarını küçük parçalara ayıran, kenar ve köşelerin kesilmesinde kullanılan bütün makineler diskle çalışan makine ve teçhizattır. Diskli makinelerin bazıları aşağıda verilmiştir.

- Blok kesme (ST) makineleri,
- Ebatlama makineleri,
- Kafa kesme makineleri,
- Kenar kesme makineleri,
- Fuga ve derz açma makineleri,
- Profil makineleri,
- El ile kesme makineleri.

Kayaçların boyutlandırılma işlemlerinin yapıldığı tesislerde işletme giderlerinin %80 – 90 gibi oldukça büyük bir kısmı enerji ve kesici testere temini için kullanılmaktadır. Enerji giderlerinde yapılacak olan tasarruflarla ülkemiz için oldukça önemli girdiler elde edilecektir. Mermer üretim maliyetinin yaklaşık %40'ını, hammadde açısından dışarıya bağımlılığımızın devam ettiği elmasların kullanıldığı, testereler oluşturmaktadır. Üreticiler için üretim maliyetlerinin önceden tahmin edilebilmesi işletmelerin ileriye dönük olarak sağlıklı bir üretim ve finans planlamasını yapabilmeleri için hayati önem taşımaktadır.

Kesilebilirliğin tahmini için, kesme işlevinin, aşınma modunu, operasyon ve tasarım parametrelerini, bu parametrelerin kaya özellikleriyle ilişkilerini anlamak gerekmektedir. Kesicilerin ömrü ve verimliliği birçok karmaşık faktör tarafından etkilenmektedir. Bu faktörlerin gerek fabrika, gerek arazi çalışmalarında en önemlileri kesici dizaynları ve düzenekleri, operasyon ve tasarım parametreleri ve kesilen kaya özellikleridir. Bu nedenle, bu çalışmada ülkemizin çeşitli yörelerinden toplanmış altı çeşit bej mermer (kireçtaşı), iki tip andezit, bir bazalt ve bir riyolit tufünü içeren kayalar bilgisayar kontrollü tam otomatik mini yan kesme makinesi ve dairesel elmaslı testereler kullanılarak kesilmiştir.

Bu çalışmanın amaçları aşağıdaki maddeler halinde özetlenebilir.

- 1) Farklı ilerleme hızlarında ve kesme derinliklerinde, farklı testereler ile kesme deneylerinin yapılması.
- 2) Kesme deneylerinde kesicinin çalışma parametreleri (örneğin kesme derinliği, kesme hızı, ilerleme hızı ve çevresel hız) ve spesifik kesme enerjisinin (SE_{kes}) otomatik olarak kayıt edilmesi.
- 3) Çalışma parametrelerinin birbirleriyle ve SE_{kes} ile ilişkilerinin belirlenmesi
- 4) Kesilen kayaların fiziksel, mineralojik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi.
- 5) Kesilen kaya özellikleri, SE_{kes} ve çalışma parametreleri arasındaki ilişkinin analiz edilmesi.
- 6) Kesme verimini etkileyen faktörlerin analizi ve istatistiksel modeller geliştirme.
- 7) Kesicilerin aşınma karakteristiklerinin belirlenmesi.

Çizelge 1.1. Elmas Diskli Kesicilerde Aşınmaya Etki Eden Faktörler.

Kaya özellikleri				Kesme parametreleri	Kesici dizayn parametreleri	Sıcaklık	Makina Özellikleri	Sogutma sıvısı	Diğer
Dokusal	Mekaniksel	Yapısal	İklimsel						
Tane boyutu	Dayanım	Kırıklar	Alterasyon	Kesme kuvveti	Kesme modu	Termal şok	Güç	Sogutma sıvısının miktarı ve saflığı	Operatör faktörü
Tane şekli	Sertlik	Çatlaklar	Su içeriği	İlerleme hızı	Kesme yönü	Ani yüklenme	Sarsıntı		Çevre iklim
Mineral tipi ve içeriği	Aşındırıcılık	Tabakalanma		Kesme hızı	Elmas özellikleri				
Matriks tipi ve içeriği	Porozite	Yönlenme		Çevresel hız	Matriks özellikleri				
Çimentolanma derecesi ve tipi	Basınç	Doğrultu		Kesme derinliği	Testerinin profili				
Bağ yapısı		Eğim		Spesifik enerji					

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**2.1. Kesme İşleminin Kinematığı ve Enerji**

Bir keskinin kesme hareketini matematiksel olarak tanımlanması ile ilgili olarak bilinen ilk çalışma Merchant (1945) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kama tipli keskinin metal kesimi ile ilgilidir. Evans ve Pomeroy (1966), Evans (1974, 1984a, 1984b) çalışmalar ile kalem uçlu keskinde keskiye gelen kuvvetin hesaplanması için matematiksel bir model oluşturulmuştur. Bu teori daha çok orta sertlikteki kayaların kesilmesinde kullanılmaktadır. Sert ve aşındırıcı kayalar için ise Nishimatsu (1971) “Nishimatsu teorisi”ni geliştirmiştir. Fakat bu çalışmaların tamamı kazıda kullanılan kamalı ve diskli kesiciler için olan teoremlerdir.

Elmas diskli dairesel testereler üzerine yapılan daha önceki çalışmalar ise; Buttner (1974), kesicilerde farklı aşınma proseslerini inceleyerek kesme sırasında kayaktan kopan kesintilerin ortalama tane boyutunun hesaplanması üzerine formüller geliştirmiştir.

Kayaç özelliklerinin kesici performansı üzerine etkileri üzerine bir çalışma Cassapi (1987) tarafından İngiltere, Nottingham Üniversitesinde doktora tezi olarak çalışılmıştır. Bu çalışmada 600 mm çapında elmas soketli dairesel testerenin kullanıldığı bir köprü kesme makinesi üzerine “yük hücreleri” monte edilerek kesme esnasında oluşan kuvvetler ölçülmüştür. Bu deneylerde numune olarak sekiz farklı kayaç (4 granit, larvekit, diyorit, gabro ve kumtaşı) kullanılmıştır. Kesilen kayaçların mineralojik olarak Kuvars, ortoklaz ve plojioklaz yüzdeleri ile tane boyutları, fiziksel olarak ise mohs sertlik değerleri, shore sclereskop sertlik indeksleri, NBC konik delici sertlik indeksleri, Cerchar aşınma indeksleri, tek eksenli basama dayanımları ve çekme dayanım değerleri tespit edilmiştir. Yük hücreleri yardımı ile ölçülen, hesaplanan kesme kuvveti (F_K) ve kesici testerede oluşan birim aşınma (mm/m^2), deneyler sonucunda elde edilen kayaç özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

Jennings ve Wright (1989) çalışmalarında elmasın aşınma süresinin uzatılması için gerekli çalışma parametreleri, kesme hızı ve enerji tüketimini belirlemişlerdir. Ayrıca kesme verimini etkileyen başlıca parametrelerden kesme

modu, diskin çevresel hızı, kesme hızı, kesicinin özellikleri (soketin yapısı, elmas tipi, boyutu, konsantrasyonu), motor gücü açıklanmıştır.

Ünver (1992; 1996) yapmış olduğu çalışma ile Cassapi'nin (1987) yapmış olduğu çalışmanın deney verileri kullanılarak, kesme kuvvetinin ve kesici testerede oluşan aşınma oranının hesaplanması için çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemi kullanarak modeller geliştirmiştir. Bu çalışmada, kesme kuvvetinin tahmin edilmesi için oluşturulan modelde Shore sertlik indeksi ve konik nokta sertlik indeksi, aşınma oranının tahmininde ise konik nokta sertlik indeksi, kuvars ve plajiyoklaz tane boyutu yer almıştır. Bu modellerin sadece korelasyon katsayıları verilmiş olup, modelleri doğrulayıcı istatistiksel testler yapılmamıştır.

Tonshoff yapmış olduğu çalışmalar ile kesicilerde kesme ve talaş oluşum mekanizması anlatılmıştır. Kesicilerin operasyon parametrelerinde (ilerleme hızı, kesme derinliği ve çevresel hız) oluşan değişikliklerin spesifik enerji üzerinde etkileri incelenmiştir. Kesme sırasında testere üzerinde oluşan kuvvetleri ve bunların matematiksel olarak hesaplanması için gereken formüller verilmiştir. Ancak, bu çalışmada kayaç özellikleri belirlenirken sadece mineral cinsleri ve konsantrasyon yüzdeleri, mohs sertlik değerleri, kristal kafes sistemleri, zayıflık düzlemleri ve yoğunlukları değerlendirilmiş olup, kayaçların fiziko mekanik özellikleri verilmemiştir (Tönshff ve dig. 1993; Tönshoff ve Asche, 1996).

Luo ve Liao (1995) yapmış oldukları bir çalışma ile elmas tane boyutu ve tipinin kesme performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada sert kayaçlar için (örneğin granit) küçük taneli elmas kullanılarak imal edilen testere ile yapılan kesme işleminin aynı konsantrasyona sahip, iri taneli elmas kullanılarak üretilen testereye göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Büyüksağış (1998) yedi adet hakiki mermer grubundan kayaç kullanarak bir çalışma yapmıştır. Deney düzeneği olarak, 400 mm'lik testerenin kullanıldığı tam otomatik yan kesme makinesi tasarlanmıştır. Bu çalışmada, testerede oluşan dikey, yatay ve eksenel kuvvetleri ölçmek için yük hücrelerinden, sistemi kontrol etmek içinde bir adet PC bilgisayardan faydalanılmıştır. Yapılan bu deneylerde elde edilen dikey ve yatay kuvvetler kullanılarak ampirik bağlantılar yardımı ile teğetsel kuvvet, normal kuvvet, kesme kuvveti ve spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. Deneylerde

kullanılan kayaçların fiziksel ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Regresyon yöntemi kullanılarak gerekli olan kesme kuvveti ve spesifik enerji değerlerinin kayaç özellikleri ile belirlenebilmesi için ampirik yaklaşımlar türetilmiştir. Bu çalışma, içerdiği bilgiler, kullandığı deney düzeneği, yöntemler ve ülkemiz kayaçlarına yönelik olması açısından oldukça önemli bir çalışmadır. Ancak yapılan çalışmada sadece altı adet hakiki mermer grubuna ait kayaçların kullanılmış olması, diğer kayaç türleri ile ilgili çalışmalar yapılmamış olması çalışmanın tamamlanması gereken bölümleridir. Spesifik enerji değerlerini hesaplarken sadece ampirik yaklaşımlar kullanılmış olup, gerçek enerji tüketim değerleri ölçülememiştir.

Atıcı (1999) yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında fabrika bazında ST'ler ile 3 farklı tipteki kayada farklı kesme kuvvetlerinde ve farklı çaptaki testelerde spesifik enerji değişimini değerlendirmiştir. Bu çalışmada ölçüm kesici makineler üzerindeki analog göstergelerle ve makinenin çektiği amper değerleri ile yapılmış olup, analog göstergelerden yeterli hassasiyetle veri elde edilememesi ve ölçümlerin farklı motor gücüne sahip üç ayrı makinede yapılmış olması nedeniyle deney sonuçları için tam bir bütünlük sağlanamamıştır.

Eyüboğlu (2000) Ankara Andezitleri üzerine yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; kesme esnasında testerede oluşan aşınma dijital bir kumpas ile ölçülerek, birim aşınma oranı belirlenmiş, ayrıca kesim esnasında kesici makinenin çekmiş olduğu akım değerleri kullanılarak tüketilen enerji ve spesifik enerji değerleri belirlenmiştir. Kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilerek, aşınma miktarı ile kayaç özellikleri arasında çoklu varyasyon analizi yapılmıştır. Enerji tüketimi kesici makine üzerindeki analog göstergelerle ölçülmüş olması, verilerin güvenilirliği açısından sakınca doğurmaktadır.

Özçelik ve diğerlerinin (2002) Ankara Çubuk Andezitleri üzerinde çok bıçaklı ST'lerde fabrika koşulları altında, 3 farklı derinlikte (8 mm, 14 mm ve 25mm) aşağı kesme ve yukarı kesme yöntemleri kullanılarak yaptıkları çalışmada kesici makinenin çekmiş olduğu akım değerleri makine üzerindeki analog göstergeler kullanılarak incelenmiştir.

Katraklarda farklı kesim şartları altında, farklı tipteki kayaçlar kullanılarak, kuru ve yaş kesme işlemi sırasında, kesme kuvvetinde oluşan değişimler ve kesme mekanizmaları incelenmiştir (Wang ve Clausen, 2002).

Li ve diğerleri (2002), Xu ve diğerlerinin (2001) yapmış oldukları çalışmalarda, 350 mm çapında 50/60 mesh elmas tane boyutunda, % 30 elmas konsantrasyonuna sahip bir testere, köprü kesme makinesi, kırmızı granit ve gri granit numuneleri kullanılarak, aşağı kesme yöntemi uygulanarak çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde dikey ve yatay kuvvetler “piezoelektrik platform dinamometre”, enerji tüketim değerleri ise üç fazlı bir wattmetre kullanılarak ölçülmüştür. Farklı kesim şartları altında (farklı kesme derinliği ve farklı ilerleme hızlarında) kuvvetlerin ve güç tüketim değerlerinin değişimleri incelenmiştir.

Konstanty (2002) aşağı kesme ve yukarı kesme işlemlerinin kinematikliğini açıklayarak, kesici testere çapının ve kesme derinliğinin kesilen kayaçta oluşan maksimum yonga kalınlığıyla ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, farklı kesme derinliklerinde ve farklı ilerleme hızlarında kesici makinenin enerji tüketim değerleri incelenmiştir.

2.2. Kesme İşleminde Testere Aşınma Mekanizmaları

Löns (1970) yapmış olduğu çalışmada, katraklar üzerine uygulanan kesme kuvvetinin elmasın deformasyonu üzerine etkilerini incelemiştir.

Ertingshausen (1985) yapmış olduğu çalışma ile sert kayaçlarda elmasın aşınma proseslerini ve kesme yönünün kesici aşınması üzerine etkilerini incelemiştir.

Jennings ve Wright (1989) köprü kesme makinesi kullanarak sekiz adet aşındırıcı kayaç ile çalışma yapmışlardır. Bu çalışma ile kesme performansına etki eden parametreleri, soket imalinde kullanılan elmasın özellikleri (konsantrasyonu ve tane boyutu), kesme yöntemi (aşağı kesme – yukarı kesme), testerenin çevresel hızı, ilerleme hızı, kesici makinenin özellikleri ve operatörün becerisi olarak açıklamışlardır. Ayrıca kayaç özelliklerinden sertlik ve dayanım değerlerinin kesme performansı üzerine etkilerini açıklamışlardır.

Tönshoff ve diğerleri (2002) kesme işlemi ilkelerini, kesicide oluşan aşınmayı ve aşınma çeşitlerini incelemiştir. Bu çalışmaya göre adhezyon aşınma, abrasif aşınma, elmas ile kaya arasında oluşan kimyasal reaksiyonun sebep olduğu aşınma ve ısı, aşırı yükleme ile oluşan aşınma olmak üzere dört tip aşınma mekanizması tanımlanmıştır.

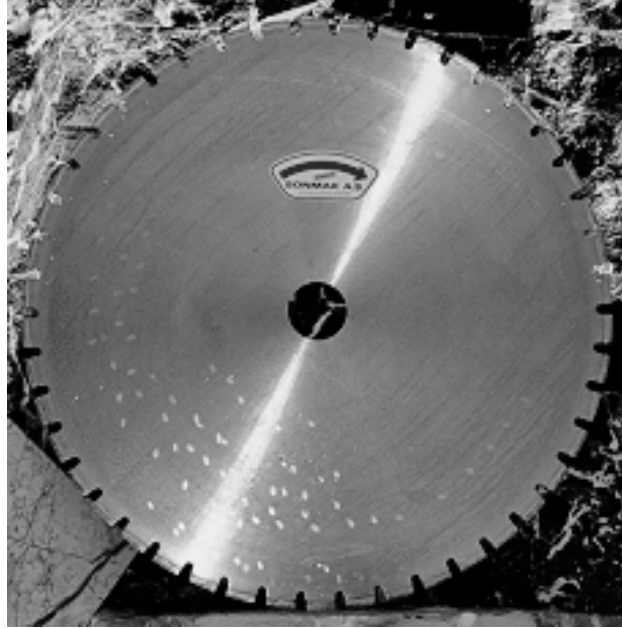
Granitlerde farklı testereler kullanarak, kesme işlemi sırasında testerede oluşan aşınma tipleri SEM resimleri Luo ve Liao (1993); Luo (1996); Konstanty (2002) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalarda farklı özelliklere sahip soketlerde oluşan aşınma çeşitleri ve miktarları belirlenmiştir. Elmas sağlam olarak kesme işlemine başlamakta, köşeleri düzlenerek mikro çatlaklar oluşmakta, bu çatlaklar gelişerek makro çatlaklara dönüşmekte ve en son aşamada ise elmas ömrünü tamamlayarak matriksten kopmaktadır.

Özçelik ve diğ. (2002) tel kesme operasyonlarında üç farklı tipteki kayadaki aşınmayı incelemişlerdir. Bu çalışmada istatistiksel olarak çok değişkenli regresyon yöntemi kullanılarak dikey ve yatay kesimlerde aşınma oranının tahmini üzerine modeller geliştirmişlerdir.

Eyupoğlu ve diğ. (2002) tek tip kayaç (Ankara Andeziti) için yapmış olduğu çalışmada kayaç özelliklerinin kesici aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada istatistiksel olarak çok değişkenli regresyon yöntemi kullanılarak aşınmanın tahmini üzerine matematiksel model oluşturulmuştur. Ayrıca, soketlerdeki aşınma SEM ile incelenerek diskli testerelerin soketlerinde oluşan aşınma karakteristiği belirlenmiştir. Ancak, bu çalışma sadece bir kayaç ile gerçekleştirilmiş olup, Ankara Andeziti dışındaki kayaçlar için bir açıklama getirmemektedir.

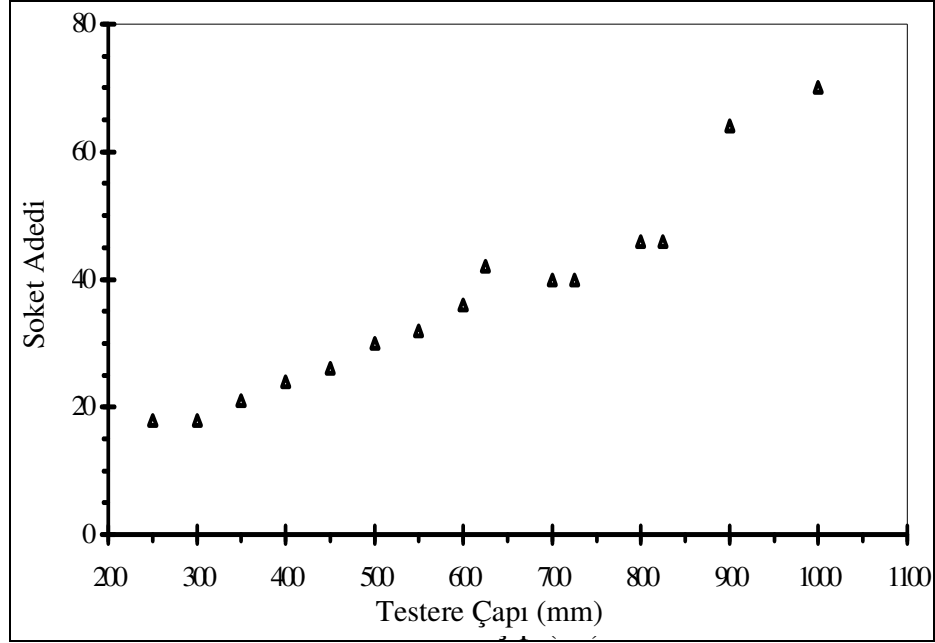
3. ELMAS DİSKLİ KESİCİLER

Ocaklardan üretilen blok halindeki kayaçların kesiminde ST, katarak ve yarma olarak adlandırılan makineler kullanılmaktadır. Bu blokların kesimi sonunda elde edilen plakaların işlenmesinde ise yan kesme ve kafa kesme makineleri kullanılmaktadır. Bu makinelerin tümünde kullanılan kesicilerin boyutları farklı olsa da, kullanılan sistem ve mekanizma aynıdır. Kesiciler ise, ana gövde 1,6 mm ~ 4 mm arasında kalınlığı değişen paslanmaz çelik sac ile bu sacın kenarlarına özel yöntemlerle kaynatılan 18 ~ 70 mm arasında değişen soket adı verilen kesici kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Dairesel Elmas Testere.

Disk çapına göre soket adedinin belirlenmesi, kesme performansı açısından çok önemlidir. Disk çapı ile soket sayısı arasında hemen hemen doğrusal bir ilişkinin varlığı Şekil 3.2. de görülmektedir. Diskin çapı büyütüldüğünde o diskte kullanılacak soket sayısını da artırmak gerekmektedir. Disk'in çapını sabit tutarak soket sayısını azaltmak ve yükseltmek disk kesim hızını düşürerek gövdede eğilmelere sebep olabilir. Kesilen malzemenin yüzeyini bozabilir. Bu ise tesis boyutunda maliyetlerin daha fazla artmasına neden olur.



Şekil 3.2. Testere Çapı İle Soket Adedi Arasındaki İlişki

Disk çapı ile soket eni ve boyu arasındaki ilişki, çap arttıkça soket boyunda belirli bir oranda artmakta olduğu gözlenmektedir. Soketin eni, diskin çapı 100-200 mm. arasında iken 2.3 mm, disk çapı 300-800 mm arasında iken 5.2 mm. civarındadır. Bununla birlikte soketin eni 24 mm.de sabitken yükseklik ve boy belirli bir oranda artmaktadır. Ayrıca disk çapı 500-3000 mm arasında değişirken soketin boy ve yüksekliği 12 mm olarak belirlenmektedir (Sarışık ve Gündüz, 1996).

Üretilen elmas soketlerin dairesel testerelelere kaynak edilmesi için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilk yöntem klasik oksijen kaynağıdır. Bu yöntemde, soket kaynak edileceği yüzeye ufak bir mengene ile sıkıca tutturulur. Oksijen alevi ile eritilen pirinç tel kaynak edilecek yüzey boyunca gövde ile elmas soket arasına girerek birbirleri ile sıkıca yapışmalarını sağlar. Elmas soketin kaynak edilecek yüzeyi “soket yatağı” olarak adlandırılmaktadır. Bu kısımda elmas taneleri bulunmamakta ve yalnızca metalden oluşmaktadır. Bu sayede yüksek ısıdan dolayı elmas tanelerinin gereksiz yere yanarak deforme olmaları önlenmiş olur. Bu yöntemin basit, ucuz olması, aynı yüzeye birkaç kere yeniden yapılabilmesi, büyük çaplı dairesel testerelelere de kolayca uygulanabilmesi, pratik olması nedeni ile tercih

edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat darbelere ve yüksek ısıya karşı dayanıksız olması ise bu yöntemin dezavantajıdır.

İkinci kaynak yöntemi ise Lazer kaynağı olup, bu yöntemde yüksek ısı kaynağı lazer ışınıdır. Elmas soket ve kaynak edilecek yüzey yine aynı şekilde ufak bir mengene ile sıkıca tutturulur ve kaynak edilecek yüzeyler boyunca lazer ışını gezdirilir. Lazer ışını elmas soketin ve dairesel testerenin çelik gövdesinin kaynak yüzeylerinin metallerini ergiterek birbirlerine yapışmalarını sağlar. Sistemin pahalı, karmaşık, yalnızca ilgili atölyelerde yapılabilir, kaynak edilecek yüzeye bu işlemin sadece bir kere uygulanabilir olması ile küçük çaplı disklerde uygulanabilirliğinin daha fazla olması sistemin dezavantajlarıdır. Yapılan kaynağın darbelere ve yüksek ısıya karşı dayanımlarının oldukça yüksek olması ve yüksek devirlerde soket fırlatma riskinin düşük olması bu yöntemin avantajlı yönleridir (Büyüksağış, 1998).

Soketler mermer bloğunu keserken soketin kalınlığı ile soketin kaynatıldığı gövdenin kalınlıkları farklıdır. Gövde kalınlığı 1.6 mm iken, soketin kalınlığı 2.8 mm, gövdenin kalınlığı 4 mm iken soketin kalınlığı ise 5.6 mm'dir. Bunun sebebi ise soket ön yüzden kesme işlemini yaparken yanlardan da bir aşındırma yapmak ve böylece kesici gövdenin hareket edeceği kanalı daha geniş tutarak, kesici gövdenin mermer bloğu tarafından sıkıştırılmasını engellemektir. Fakat soket uçlardan aşınabildiği gibi yan çeperlerden de aşınmaya maruz kalmaktadır. Soketin genişliği ana gövdenin genişliği ile aynı olursa, soket uç taraftan henüz tamamen aşınmamışken yanlardan mermer bloğuna yeterli bir aşınma yapamayacak ve kesicinin ana gövdesi sıkışarak yeniden kullanımını engelleyecek deformasyonlar oluşacaktır. Bu olayı önlemek için üretici firmalar soketin şeklini dikdörtgen yerine prizmatik olarak üretilmesini düşünmekte ve böylece soketler üstten aşınırken yanlardan da dengeli bir şekilde aşınması sağlanmaya çalışılmaktadır (Atıcı, 1999).

3.1. Kesici tipleri ve kullanım alanları

Kesme verimini ve soketin ömrünü artırabilmek için soketler düz, kavisli ve sandviç tipi soketler çeşitli boyutlarda, kalınlıklarda ve şekillerde üretilmektedir.

Ayrıca su kanalı yapısına göre standart su kanallı, dar su kanallı ve aralıksız soketli kesiciler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılırlar.

3.1.1. Standart Su Kanallı Diskli Kesiciler

Bu tip diskli kesiciler, her türlü kesimde ve iyi kalitede yüksek kesim hızı gerektiren şartlarda ve gerektiğinde daha ağır kesim şartlarında daha sert malzemelerin kesiminde kullanılırlar. Her türlü taş kesiminde ve özellikle granit, diyabaz gibi sert kayaların kesildiği soğutmanın daha çok arandığı ağır çalışma şartlarında kullanılırlar (Şekil 3.3.a). Bu tür diskli kesicilerin avantajları, yüksek kesim hızı ve bununla birlikte oldukça iyi bir kesim yüzeyi, çok düşük kesim maliyeti, daha az enerji ve az su tüketimi daha ağır şartlarda kullanılabilmesidir.

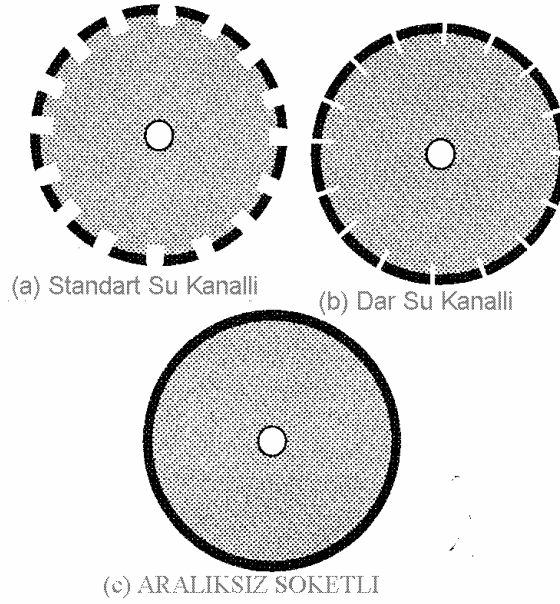
3.1.2. Dar Su Kanallı Diskli Kesiciler

Bu tür diskli kesiciler, her türlü kesim işi için ve özellikle yüksek kesim hızlarında düzgün kesim yüzeyinin istendiği durumlarda kullanılırlar. Her türlü kayacın kesiminde ve özellikle cilalanmış mermerlerde, ince plakaların kesimi sırasında ufak kırıkların (çapakların) istenmediği durumlarda kullanılırlar (Şekil 3.3.b). Bu tip diskli kesicilerin avantajları ise su kanallarını daha dar ve soketlerin birbirlerine daha yakın olması nedeniyle kesilecek olan malzemede ufak kopmalar olmamaktadır. Ancak testere başına düşen soket sayısı artacağı için birim diskli kesici maliyeti artacaktır.

3.1.3. Aralıksız Soketli Diskli Kesiciler

Bu tip diskli kesicilerde soketler ana gövdenin çevresinde aralıksız olarak bulunurlar ve yükseklikleri yaklaşık olarak 5 mm civarındadır. Kesicilerde ana gövde çok özel alaşımlı çelikten imal edilmiş olup, belirli incelikteki malzemelerin kesiminde kullanıldıkları için et kalınlıkları da belirli bir inceliktedir. Çapları genellikle 160-400 mm civarındadır. Aralıksız soketli kesiciler çok hassas

kesimlerde ve malzeme kaybının istenmediği durumlarda kullanılırlar (Şekil 3.3.c.). Her türlü malzemeyi kesebilen bu tipteki kesiciler maliyetlerinin diğer kesicilerden daha yüksek olması sebebiyle genellikle emayeli porselen, cam gibi özel kırılğan malzemelerin ve parlatılmış mermer karoların kesiminde kullanılırlar. Bu tip kesiciler çok düzgün kesim yüzeyi verir ve ufak çapaklar kesinlikle söz konusu olmadığı için malzeme kaybı da en aza indirilmektedir. Çevresel hızları 20-30 m/sn. civarındadır. Aralıksız soketli kesicilerde soketler çok sıkı ve sağlam bir şekilde monte edilmeli, kesim esnasında malzeme beslenmesi kesinlikle el ile yapılmalıdır. Bu tip kesiciler fazla zorlanmamalı ve soketlerin iyi açılmış olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.3. Diskli Kesici Türleri

Soketler elmas ve matriks olmak üzere iki ana kısımdan oluşmakta olup, soketlerin özellikleri bu malzemelerin karakteristikleri tarafından belirlenmektedir.

3.2. Matriks

Başarılı bir elmaslı kesici takım dizaynı, yüksek kaliteli matriks tozları ile elmasların uygun seçimi ile başlar. Matriks, herhangi bir zarar vermeden elmas

taneleri sıkı bir şekilde tutmalıdır. Kesme sürecinde belirli bir aşınma göstererek, hem mikro düzeyde sabanlama yapan elmas tanesinin uç kısmının rahat işlem yapması, hem de talaş akışının rahat gerçekleşmesi sağlanmalıdır. Takım performansı için elmas – matriks arasındaki bağ son derece etkindir. Toz metalürjisi teknikleri ile oluşturulan bu tip kesici/aşındırıcı malzeme yapılarında dikkat edilmesi gereken en önemli faktör temizliktir (çalışma ortamının temizliği, kullanılan tozlar ile elmasların temizliği). Ayrıca teknolojik üretimde sıcak preslemede sinterlemenin, ideal matriksin mikro yapısal oluşumunu sağlaması gerekir.

Kesici takım üzerindeki elmasların, abrasif aşınmadaki mikro-sabanlamaya karşı koyması gerekmektedir. Aksi halde elmasların kesici köşeleri mikro-kırılmalarla körleşecek, dolayısıyla kesici takımın performansı son derece düşük olacaktır. Matriksin kesme işlemi sürecinde sürekli olarak aşınması sonucu değişik yüzey altı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işlemini sürdürür. Matriksin çok yumuşak olması, elmasların görevini tam olarak yapamadan yerinden çıkmasına neden olur. Çok sert bir matriks ise, yüzeydeki elmas tanelerin körlenmesine ve kesme işlemini sürdürmek üzere alttan gelecek yeni elmasların, sürekli olarak yeni kesici yüzeyler çıkarmasını engelleyecektir. Bir matriksin sertleşmesi kesici takımın ömrünü arttırır, fakat kesme hızını düşürür. Buna karşılık, yumuşatılan bir matriksin ömrü düşerken kesme hızı artar. Bu nedenle, bu çelişkiler arasında optimum matriks sertliği belirlenmelidir (Karagöz ve Zeren, 1997; Luo ve Liao, 1993).

Bir matriksin bileşiminde kobalt tozu ile matriksin içine aşınma direncini artırarak sert kayaç kesiminde kullanılabilecek bir kesici testere yapabilmek için tungsten ve tungsten karpit veya daha yumuşak kayaçların kesiminde kullanılmak üzere yapılacak kesici testerelerde ise bronz, bakır, demir, kalay ve ağır metallerin alaşımları belirli oranlarda karıştırılarak imal edilmektedir (Weber, 2002).

3.3. Elmas Özellikleri

Elmas karbon elementinin kübik sistemde (oktaeder, heksaoktaeder) kristalleşmesiyle oluşmuştur. Doğal elmasın oluşumu sırasında volkan bacası içersindeki lavlar soğurken gazların büyük bir kısmı dışarı çıkar. Ancak, bazı özel

durumlarda, bunların açığa çıkması ile boşluklar oluşur. Bu boşluklar lavlar soğudukça gitgide küçülürler. Eğer boşluklarda CO₂ gazı varsa ve ağırlığı dolayısıyla kaçamamışsa, bu durumda bileşimindeki oksijen boşluğun cidarlarını, yani iç yüzey kısımlarını okside ederek ayrılır. Bunun sonucunda C açığa çıkmak suretiyle, yüksek ısı ve basıncın da etkisiyle kristalleşir ve elmas halini alır.

Elmasın sertliği mohs sıkalasında en yüksek değer olan 10 olarak belirtilmiştir. Knoop skalasında ise elması 9.000 kg/mm², kübik bor nitrattın 4.500 kg/mm², bor karpitin 2.250 kg/mm², silikon karpitin 1.875-3.980 kg/mm², Tungsten karpitin 2.190 kg/mm², Titanyum karpitin 2.190 kg/mm², alüminyum oksidin ise 2.000 kg/mm² dır (ArDOS, 1992).

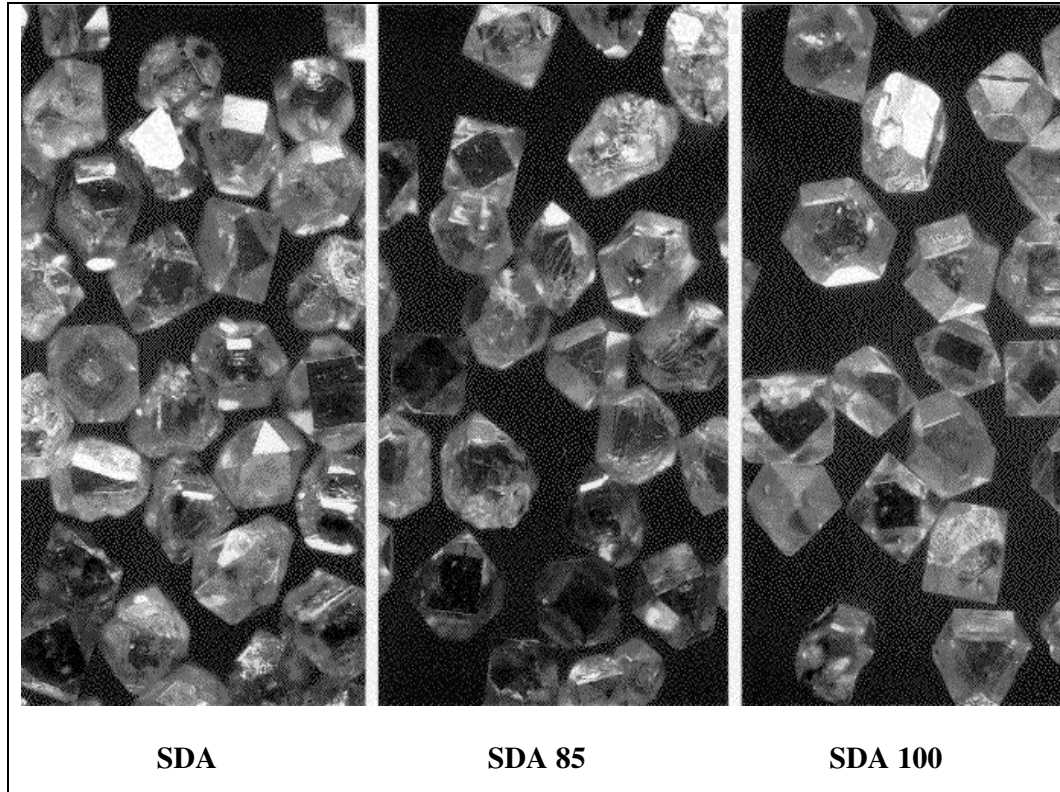
İçersinde herhangi bir kusur veya hata içermeyen elmasların basma dayanımı 8,68 X 10⁹ N/m², elastik modülü değeri 9,5 X 10¹¹ N/m² ile 11X10¹¹ N/m² arasında değişmektedir. Elmasın genleşme katsayısı 1X10⁻⁶ °C, ısı iletim katsayısı 5.4 Joule/cm.s °C'dir.

Elmaslar normal sıcaklık altında kimyasal malzeme ve asitlerden etkilenmemeleri, ısı geçirirmliliği çok yüksek (2-7 kat Cu, Ag'den daha fazla), düşük termal genleşme katsayısı, oldukça düşük sürtünme katsayısı ve aşınmaya karşı dayanıklı malzemeler olukları için kesici, kazıcı, öğütme ve kırma ekipmanlarının imalinde oldukça önemlidirler. Yalnız kullanım sıcaklığı 625°C'nin üzerine çıktığında elmasın fiziksel ve asitlere karşı dayanımı azalmakta ve ortam sıcaklığı yaklaşık 1525°C'nin üzerine ulaştığında elmas tanelerinde grafitleşme gözlenmeye başlar. Ortam ısısı 2125°C'ye ulaştığında ise 3 dakikadan daha kısa bir süre içersinde grafitte dönüşür.

Sanayi elması olarak bilinen sentetik elmas ise, kübik yapıda açık yeşil renkte şeffaf ve doğal elmasın sertliğine eşdeğer sertliktedir. Boron nitridt, silisyum karbür ve ağır metal tozlarından 3000°C sıcaklıkta ve 100.000 atmosfer basınç altında imal edilmektedir. Sentetik elmaslar çeşitli boyutlarda ve şekillerde üretilmektedir. De Beers'in ürettiği sentetik elmas tipleri Şekil 3.4.de verilmiştir.

Endüstriyel amaçlı kullanılan elmasların kaliteleri ve tane boyutları, kesme, delme ve kazma operasyonları için oldukça önemlidir. Elmasların içlerinde yabancı maddeler, hava kabarcıkları ve çatlakların bulunması basınç mukavemetini ve

genleşme özelliklerini olumsuz yönde etkiler ve kalitesini düşürürler. Elmaslar yapılarının, bileşimlerinin homojenliğine ve iriliklerine göre değişik kalitede ve gruplara ayrılırlar. Kalitelerine göre elmaslar AAA-Kalite (en iyi), AA-kalite (iyi-orta), A-kalite (düşük) ve S-kalite (toz) olmak üzere dört gruba ayrılır. En iyi kalite kesme niteliği en yüksek olandır. Kristalli, iyi şekillenmiş, yuvarlak homojen, siyah, yabancı madde ve gözenek içermeyen elmaslar kaliteli elmas olarak sınıflandırılır. Elmasların irilikleri en önemli özelliklerindendir. Ölçü birimi olarak karat (1 karat 0.204 gr) kullanılır. Endüstride kullanılan elmaslar 1 karattan küçük olup, her karattaki elmas (taş) sayısına (stone per carat kısaca S.P.C) bakılmaktadır. Yaklaşık olarak birbirine yakın büyüklükte 15 tane taşın ağırlıkları toplamı 1 karattır.

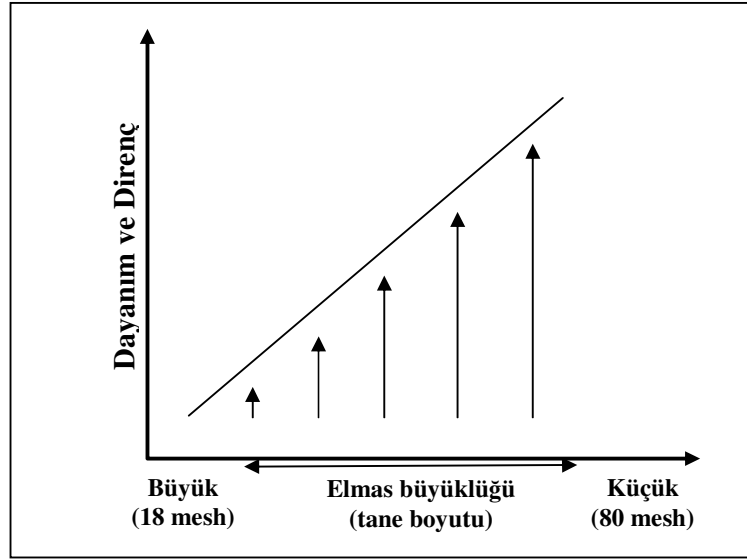


Şekil 3.4. Standart Sentetik Elmas Ürünlerinin Karakteristik Örnekleri.

SDA az şekilli ve kristal yapılu sentetik elmadır. SDA grupları elmaslar, taş beton, ısıya dayanıklı materyallerin kesimi için idealdir. SDA 85 iyi kristalli ve şekilli daha sert (yabancı madde oranı az), orta dayanımlı sentetik elmadır. Kesme

ve sondaj uygulamaları için uygundur. SDA 100 çok iyi şekillenmiş ve kristal yapıya sahip (küp-oktahedral şekilli), yabancı madde içermeyen sentetik elmadır. Sentetik elmanın günümüzdeki kullanımı çok kristalli elmadır üretimi halindedir.

Elmad tane boyutu kesici yapımı için oldukça önemlidir. İri taşlılar yumuşak, küçük taşlılar sert formasyonların kesiminde kullanılır. Bu ilişki Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Elmad Tane Boyutu İle Dayanım Arasındaki İlişki.

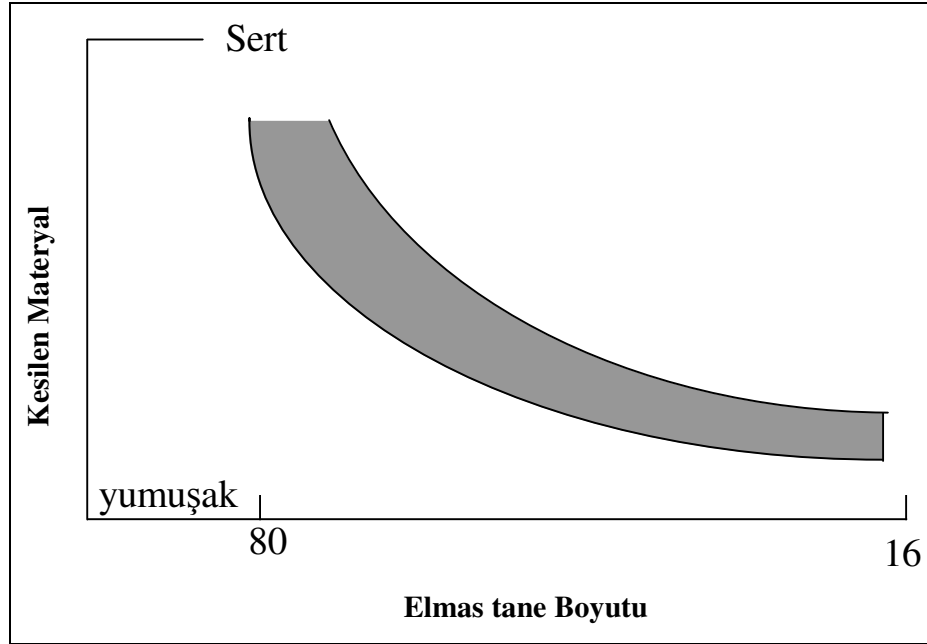
3.3.1. Elmad Özelliklerinin Kesici Performansı Üzerine Etkileri

Kesicilerde kesme işlemini yapan soketin içerisindeki elmad tanecikleridir. Elmad taneciklerinin şekli mümkün olduğunca çok köşeli olması istenmektedir. Sürünme sonunda, elmaslar aşınıp köreldiğinde elmasların aşınmasına eş zamanlı olarak elmasları tutan matriksin de aşınması ve elmanın bu matriksten koparak yeni elmasların ortaya çıkması için matriksin sertliğinin kesilen kayaya uygun olması gerekmektedir. Eğer matriks kesilen kayadan daha sert olursa, elmad kayacı keserken aşınacak ve körelecek fakat matriks yeterli seviyede aşınmadığı için körelen elmad hala matriks tarafından tutulacak ve yeni elmaslar yüzeye çıkmayacağı için kullanılan kesiciler körelecektir. Kesme hızı azalacaktır. Artan basınç sonucunda

İlerleme

ana gövdede deformasyonlar oluşacaktır. hızı düşecek harcanan enerji ve zaman artacaktır. Böylece kesim maliyeti olması gerektiğinden daha yüksek olacaktır.

Kesici testerelerde kullanılan elmasların tane boyutu kesilecek kayacın cinsine göre değişir. Sert kayaçların kesiminde daha yüksek konsantrasyona sahip fakat daha küçük tane boyutunda elmaslar kullanılırken, yumuşak kayaçların kesimi için imal edilen testerelerde daha düşük konsantrasyon ve daha büyük tane boyutuna sahip elmaslar kullanılırlar (Bullen ve Wrighth, 1981). Örneğin diyabaz, granit gibi sık dokulu sert kayaçlarda 60/80 mesh gibi oldukça ufak taneli elmaslar, yumuşak kayaçlarda ise 20/30 mesh boyutlarında elmaslar kullanılır (Karagöz, Zeren, 1996). Soket imalinde kullanılacak olan elmas miktarı ise 1 cm³ soket için 1 ila 6 karat (Gramın 1/5 i) arasında elmas kullanılmaktadır. 1 kg soket malzemesi içersinde 25 ile 120 gram arasında elmas kullanılmaktadır. Elmas tane boyutu ile kesilen kayaç arasındaki ilişki Şekil 3.6. de gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Elmas Tane Büyüklüğü İle Kesilen Kaya Arasındaki İlişki.

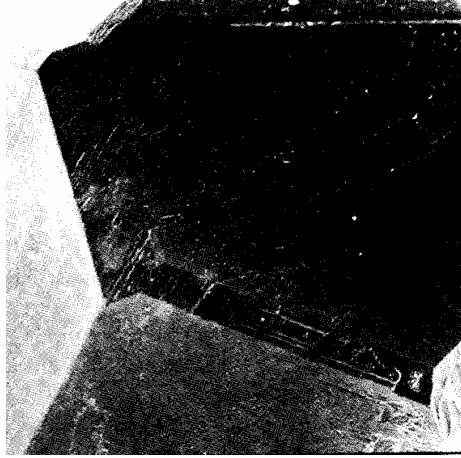
Elmasın kesme performansını etkileyen bir diğer yapı faktörü ise elmas kristalinin büyümesi sırasında kapılan inklüzyonlardır. Dinamik bir yöntem olan kesme prosesinde, işlem şiddeti, elmas kristaline gelen yükün miktarını ve tipini belirler. Kristal içindeki inklüzyonlar, kristalin kesme zorlaması altındaki tutumunu olumsuz yönde etkiler (Karagöz ve Zeren, 1996).

3.3.2. Elmas ile Soket Arasındaki Bağ Karakteristiği

Elmas soketlerin üretiminde, toz metalürjisi yöntemiyle yapılan sinterize soketlerin kullanımı oldukça yaygındır. Sinterleme işleminde amaç, matriks kısmını oluşturan metal tozlarının ergiyerek elmas tanelerinin etrafını tamamen ve sıkıca sarmasıdır. Belirli oranlardaki (Cu, Sn, Co, Cr, Ni, W, Ti) ve boyutlardaki metal tozları (500 μ – 50 μ) ve belirli konsantrasyondaki elmas taneleri önce karıştırılmakta, daha sonra istenen şekilde hazırlanmış kalıplar içersinde ısı yardımı ile izostatik olarak preslenmektedir. Bu kalıplardan çıkarılan soketlerin sinterlenmesi için iki farklı yöntem geliştirilmiştir. Birinci yöntemde, preslenmiş soketlerin aralarına grafit tabletler konularak özel kalıplar içersine sıkıştırılmaktadır. Daha sonra bu kalıplar yüksek elektrik ark makinelerine konulmaktadır. Kalıplar üzerinden yüksek elektrik akımı geçirilerek elde edilen ısı ile metal tozların yüzeyleri ergiyerek birbirlerine kenetlenirler ve aralarında bulunan elmas tanelerinin de yüzeyini sıvayarak sıkıca kavrarlar.

Diğer sinterleme yöntemi ise yüksek ısıli sinterleme fırınları kullanılarak yapılmaktadır. Bu fırınlar vakumlu olarak inert gaz ortamında sinterleme yapmaktadır. Kalıptan çıkarılan soketler fırın içersine yerleştirilmekte ve fırın içersindeki hava vakumlanarak içeriye oksidasyonu önleyici çözünmüş azot gazı ilave edilmektedir. Isının yükselmesi ile metal tozlar ergiyerek sıvı faza geçmekte ve tüm malzeme karışarak alaşım oluşturmaktadır. Alaşım ise elmas tanelerini tamamen sararak onları sıkıca kavrar. Vakumlu ortamlarda sıvı faz sinterlenmesin de taneler arasında boşluk kalmamakta, bu ise porozite yi azaltarak matriksin darbelere karşı dayanımını yükseltmektedir. Sinterleme tamamlandıktan sonra fırının ısısı yavaş bir şekilde düşürülerek soketler soğutulmaktadır. Bu şekilde ani soğuma ile oluşacak çatlaklar ve şekil deformasyonları önlenmiş olmaktadır. Bu prosesin dezavantajı ise oldukça karmaşık ve uzmanlık gerektiren bir işlem olmasıdır (Büyüksağış, 1998).

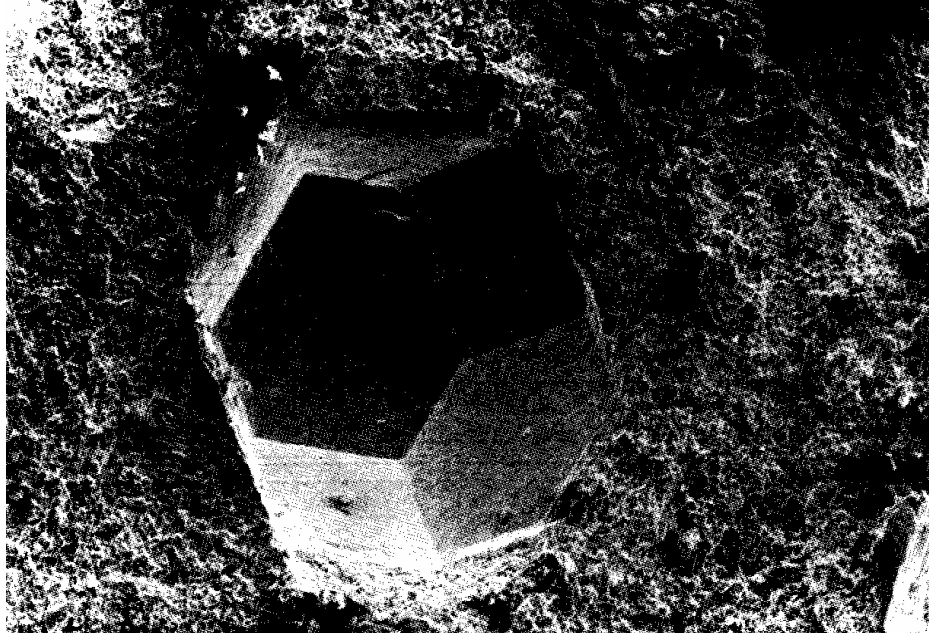
Elmas yüzeyi ile onu çevreleyen metal matriks arasında çoğunlukla bir reaksiyon olur. Bu reaksiyonun sürmesi, metal tozlarının bileşimine, partikül boyutuna ve dağılımına, proses sıcaklığına ve süreye bağlıdır. Elmaslı kesici takımın performansı ile işlem kalitesini belirleyen önemli bir faktör, sıcak preslemede basınç, sinterleme sıcaklığı ve zamanının bir fonksiyonu olarak oluşan bağ karakteristiğidir. Zayıf elmas matriks bağlantısı ile matriks içerisindeki oksit filmleri ve inklüzyonlar çoğunlukla çatlak başlatıcı rolünü üstlenir. Elmas tanecikleri de iç yapısal hatalarının yanı sıra boyut, şekil ve yer dağılımlarıyla hata olarak devreye girebilir. Kesilecek malzemeye göre elmasın doğru seçimi, kesici takımın performansı bakımından son derece önemlidir. Kesme işlemi üstlenen keskin yüzeyli kübik-oktahedral kristalin elektron mikroskobu (SEM) altındaki görüntüsü Şekil 3.7. de görülmektedir. Kristal yüzeyindeki pürüzlülük kuvvetli bağ oluşumuna işaretler. Bu tip elmaslar doğal taş kesim işlemi için oldukça elverişlidir.



Şekil 3.7. Kübik-Oktahedral Kristallerin SEM Görüntüsü (Karagöz ve Zeren, 1997).

Elmas yüzeyi ile elması çevreleyen matriks arasındaki kuvvetli bağları gösteren SEM görüntüsü Şekil 3.8.'de verilmiştir. 1000°C'den daha düşük sıcaklıklarda oluşturulan bağlar, elmasa herhangi bir zarar vermeden kesici takımın performansını üst düzeye taşıyabilmektedir. Bu sıcaklıkların üzerinde kesici takımdaki elmasın yüksek sıcaklıklarda grafitleşme ve böylece bozunma problemi ortaya çıkar. Bu nedenle daha sert evrelere ulaşmak, dolayısıyla maksimum sertliği elde etmek uğruna elmasa gereksiz yere zarar vermemek için yüksek basınçta, düşük sıcaklıklar ve daha uzun

sürelere gidilir. Bu tip bağlar genellikle Co, Ni, Fe, Cu-Sn veya bu metallerin kombinasyonu ile oluşturulur.



Şekil 3.8. Elmas Yüzeyi İle Elması Çevreleyen Matriks Arasındaki Kuvvetli Bağları Gösteren SEM Görüntüsü (Karagöz ve Zeren, 1997).

3.4. Kesicinin Operasyon Parametreleri

Kesicilerde çalışma sırasında gözlenmesi ve bilinmesi gereken parametreler :

- İlerleme hızı
- Çevresel hız
- Kesme derinliği,
- Kesme hızı
- Motor gücü ve devri
- Spesifik enerji
- Soğutma suyu
- Kesme yöntemleri ve mekanizması ile
- Kesme işleminin kinematığıdır.

Kesme işlemindeki operasyon parametreleri toplu bir şekilde Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Elmas Soketli Dairesel Testerelelerin Kullanım Parametreleri.

Çap (mm)	Gövde Kalınlığı (mm)	Soket Adedi N	Minimum Flanş Çapı (mm)	Su İhtiyacı (lt/Dak)	Minimum Motor Gücü (HP)	Devir/Dak. (Rpm)	
						Mermer	Granit
200	1.2	15	80	6-10	4	4800	3350
250	1.6	18	100	8-10	4	3800	2700
300	1.8	21	120	10-15	10	3200	2250
350 sey.	2.2	21	140	10-15	10	2750	1900
350 sık	2.5	25	140	10-15	10	2750	1900
400 sey	2.5	24	150	10-15	10	2400	1700
400 sık	2.8	28	150	10-15	10	2400	1700
450 sey	2.8	26	160	15-22	15	2100	1500
450 sık	2.8	32	160	15-22	15	2100	1500
500 sey	2.8	30	170	15-22	15	1900	1350
500 sık	2.8	36	170	15-22	15	1900	1350
550 sey	3.0	32	170	15-22	15	1750	1200
550 sık	3.0	40	170	15-22	15	1750	1200
600 sey	3.0	36	180	20-30	20	1600	1100
600 sık	3.0	42	180	20-30	20	1600	1100
625	3.0	42	180	20-30	20	1550	1050
700	4.0	40	200	30-45	30	1400	950
725	4.0	50	200	30-45	30	1350	900
800	4.5	46	225	30-45	40	1200	850
825	4.5	46	225	30-45	40	1150	800
900	5.0	64	250	40-60	40	1050	750
900 kav	5.0	64	250	60-80	50	1050	700
1000	5.0	70	250	40-60	50	950	700
1000 kav	5.0	70	250	60-80	60	950	650
1100	5.0	74	270	40-60	60	850	650
1100 kav	5.0	74	270	60-80	60	850	600
1200	5.5	80	300	50-75	60	800	550
1200 kav	5.5	80	300	75-100	75	800	500
1300	6.0	88	325	60-80	75	750	500
1400	6.5	92	325	60-80	75	700	500
1500	7.0	100	350	60-90	75	650	450
1600	7.0	104	375	60-90	75	600	400
1700	7.0	112	380	60-90	75	550	400
1750	7.0	112	400	60-90	75	550	400
1800	7.0	120	400	70-120	75	550	350
2000	8.0	132	425	70-120	90	500	350
2700	9.0	140	450	80-120	125	350	250
400 S/T	3.5	24		10-15	20	2400	1700
450 S/T	3.5	26		10-15	20	2100	1500
500 S/T	3.5	30		10-20	20	1900	1350

Sey: Seyrek soketli testere

Sık: Sık soketli testere

Kav: Kavisli soketli testere

3.4.1. Kesme Hızı

Belirli bir zamanda, kesilen malzeme miktarına kesim hızı denir ve birimi $\text{cm}^2/\text{dakika}$ dır. Bu hız çok önemli olup, yüksek hızlarda diskin daha çabuk aşınarak tükenmesine, düşük hızlarda ise diskin körelmesine neden olmaktadır. Kesme işi için uygulanan kesme hızı her kayaç için farklıdır. Kesilecek olan kayacın sertliğine ve aşındırıcılığına göre soket seçiminin önemi kadar, ilerleme ve kesim hızları da önemli olmaktadır. Kesme hızı o kayaç için olması gereken değerden çok düşük bir değerde ise, kesme hızının ve üretim randımanının düşmesine neden olabileceği gibi elmasın kesme işlemini yapabilmesi için gerek duyduğu çarpma süratinin altında çalışacağı, kesicinin daha çabuk aşınmasına neden olmaktadır. Kesme hızı, olması gereken değerden daha yüksek olduğu durumlarda ise soketlerdeki elmas tanelerinin henüz yeterli oranda kesim yapamadan yanmasına, yuvasından fırlamasına ve kesicinin normal kullanım süresinin çok daha altındaki sürelerde kullanılmayacak duruma gelmesine neden olur.

Kesim hızı aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir :

$$V=(L*H)/T \quad [3.1.]$$

V =Kesim Hızı (cm^2/dak)

L =Taşın Boyutu (cm)

H =Taşın Yüksekliği (cm)

T =Kesim Süresi (Dak.)

Kesim hızında; kesicinin bloğu kesmeye başladığı yani bloğa girdiği andaki kesicinin hareketi, hem kesim işinin kalitesi açısından hem de kesici testerenin ömrü açısından oldukça önemli bir faktördür. Ortalama kesim hızları ve kesme verimlilikleri Çizelge 3.2. de verilmektedir. Eğer kesici, bloğa ilk girişinden normal hızından daha yüksek bir hızda girerse, ana gövdede bükülmeler ve eğrilmeler olacaktır. Ayrıca soketlere ani yüklenme olacağı için, soketlerde kaynak yerinden

kopmalar olacak ve soketler ana gövdenin dönmesiyle oluşan merkezkaç kuvvetiyle fırlayarak, ana gövdeden ayrılacaktır. Soket fırlaması makinenin başında bulunan işçilerin güvenli bir şekilde çalışmasını engelleyerek, hem iş kazalarına sebebiyet verecek, hem de bir sonraki sokete fırlamış soketin de yükünü taşıyacağı için, diğer soketlere olması gerekenden daha fazla yük taşımaya neden olacak ve bu soketlerde yerinden fırlayabilecek ve çıkabilecektir. Eğer fırlayan soket sayısı 3 ve 3'ün üzerinde ise bu sefer de ana gövdenin balans ayarı bozularak daha önceden belirtilen sorunlara ek olarak kalan soketlerin tek taraflı, düzensiz ve hızlı bir şekilde aşınmasına neden olarak ana gövdede de çatlaklar oluşmasına sebebiyet verecektir. Bu yüzden soket fırlaması olduğu hallerde, derhal kesici testere değiştirilerek çıkan kesiciye aynı soket, özel yöntemlerle balans ayarı da göz önünde tutularak monte edilmesi amacıyla üretici firmaya gönderilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.2. Kesme Verimliliği

Kesilen Malzemenin Cinsi	İlerleme Hızı (cm/dak)	Kesme Hızı (cm ² /dak)
Granit	40-65	100-150
Mermer	60-85	800-2500
Traverten	75-100	1000-3000

3.4.2. Çevresel Hız

Kesim hızı kadar, kesmenin verimliliğini etkileyen bir diğer faktör de “Çevresel Hız”dır. Bu değer genellikle kesilecek olan kayaca bağlıdır ve kesimde kullanılacak olan makinenin motor gücüyle yakından ilişkilidir. Değişik çevresel hız değerlerinde testere çapına göre devir/dakika değerleri Çizelge 3.3. de verilmektedir.

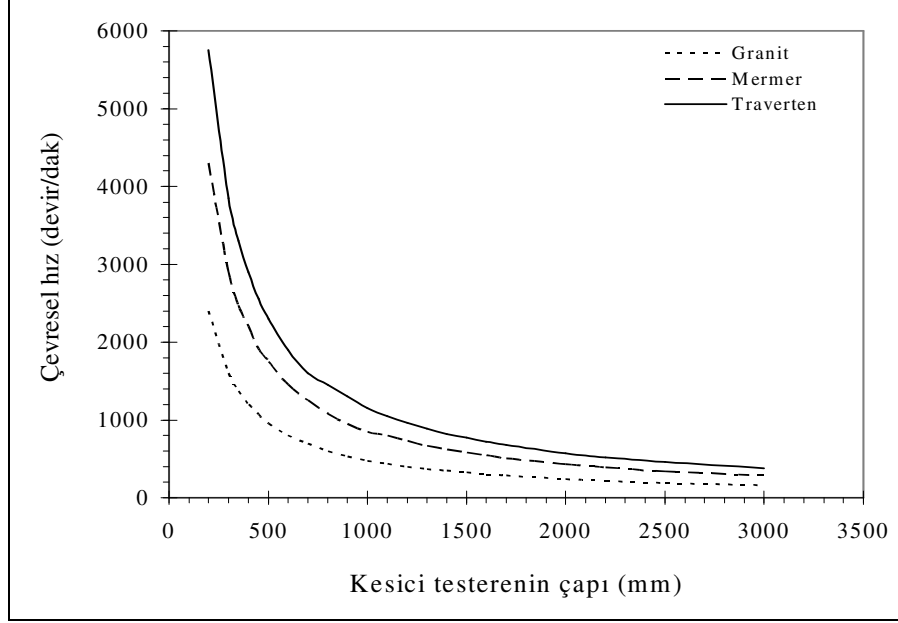
Kesme işlemi sırasında çevresel hızın artırılması ile kesici testere üzerinde oluşan normal ve teğetsel kuvvetler de azalmaktadır. Bunun nedeni; çevresel hızın artması ile elmas soket başına düşen birim zamanda kesilen kayaç miktarının düşmesidir. Ancak, çevresel hızın belirli bir değerin üzerinde artırılması ile soketler kayaç yüzeyinde patinaj yapar şekilde sürtünerek dönerler ve kesme işlemini yapamazlar.

Çizelge 3.3. Elmaslı Dairesel Testerelerde Tavsiye Edilen Çevresel Hız ve devir/dak (rpm).

Çap (mm)	ÇEVRESEL HIZ Devir / dak (rpm)							
	Granit			Mermer			Traverten	
	25 m/s	30 m/s	35 m/s	40 m/s	45 m/s	50 m/s	55 m/s	60 m/s
200	2400	2900	3400	3800	4300	4800	5300	5750
300	1600	1900	2300	2600	2900	3200	3500	3850
350	1370	1640	1920	2200	2470	2750	3000	3300
400	1200	1450	1700	1900	2200	2400	2650	2900
450	1070	1300	1500	1700	1920	2150	2350	2560
500	950	1150	1350	1550	1750	1900	2100	2300
600	800	950	1150	1300	1450	1600	1800	1900
700	700	850	950	1100	1250	1400	1500	1600
800	600	720	830	950	1080	1200	1300	1450
900	530	530	750	850	950	1050	1200	1300
1000	470	570	650	750	850	950	1100	1150
1100	440	530	620	700	800	870	960	1050
1200	400	480	460	650	730	800	880	960
1300	370	450	520	600	670	750	810	890
1400	350	420	480	550	620	690	760	820
1500	330	390	460	520	580	650	700	770
1600	300	360	420	480	550	600	660	720
1700	290	340	400	460	510	570	620	680
2000	240	290	340	380	430	480	530	570
2200	220	260	300	350	390	430	480	520
2500	190	230	270	300	340	380	420	460
3000	160	190	220	250	290	320	350	380

Hızın aşırı düşmesi halinde ise soketlerin taneleri kesmemesine ve testerenin kayaç içersinde sıkışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kesme işlemi sırasında çevresel hızın kontrollü ve kademeli olarak artırılması gerekmektedir (Atıcı ve diğ. 2002). Çevresel hızın belirlenmesinde kesilecek olan kayacın sertliği, dayanımı ve aşındırıcılık özelliği göz önüne alınmalıdır. Farklı materyallerin kesiminde farklı çevresel hızların seçilmesi gerekmektedir. Örneğin yüksek kuvars içeren, kesimi zor olan granitler için çevresel hız düşük (25 m/sn), kumtaşı gibi kesimi kolay olan

malzemelerin kesimi için ise yüksek çevresel hızlar (60 m/sn) seçilmelidir (Jennings, Wright, 1989; Ersoy, Atıcı, 1999). Kesici çapı ile çevresel hız arasındaki ilişki ise Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Elmaslı Dairesel Testerelerde Çevresel Hız İle Testere Çapı Arasındaki İlişki.

3.4.3. Kesme Derinliği

Kesme derinliği, kesici testerenin kayaca batış miktarı olarak ifade edilir. Testerenin kayaç içersinde ilerlemesi için gereken kuvvet, testerenin kayaca batması için gereken kuvvetten daha azdır. Birim zamanda üretim miktarının veya kesme hızının artırılması için kesme derinliğinin artırılması yerine ilerleme hızının artırılması ile daha az kuvvet ve enerji harcanarak kesme işlemi yapılabilir. Endüstriyel uygulamalarda, blok kesme makinelerinde kesilen plakalar belirli kesme derinliklerinde istenmektedir. Bu sebepten dolayı, kesme esnasında mermer, traverten ve orta sertlikteki diğer kayaların kesiminde kesme derinliği bir seferde tamamen verilebilirken, granit diyabaz gibi sert kayaların kesiminde istenen derinlik 30 mm’den daha fazla ise 8 mm ile 20 mm arasında kademeli kesim yapılmaktadır (Atıcı ve dig. 2002).

3.4.4. Motor Gücü

Kesicinin, düzgün ve verimli bir kesme işlemini yapabilmesi için, takılı olduğu makinenin yeterli motor gücüne sahip olması gerekmektedir. Makine ihtiyaç duyulan motor gücüne sahip değilse, kesici düşük kesme hızında çalışacağı için bir takım sorunlar yaşanacaktır.

Pratik olarak kesim gücünün hesaplanmasında aşağıdaki matematiksel yaklaşım kullanılmaktadır:

$$\text{Normal güçte çalışan makineler için : } N = T \cdot 3 + (D/2) \cdot 0.12 \quad [3.2.]$$

$$\text{Daha güçlü makineler için : } N = T \cdot 3 + (D/2) \cdot 0.12 \quad [3.3.]$$

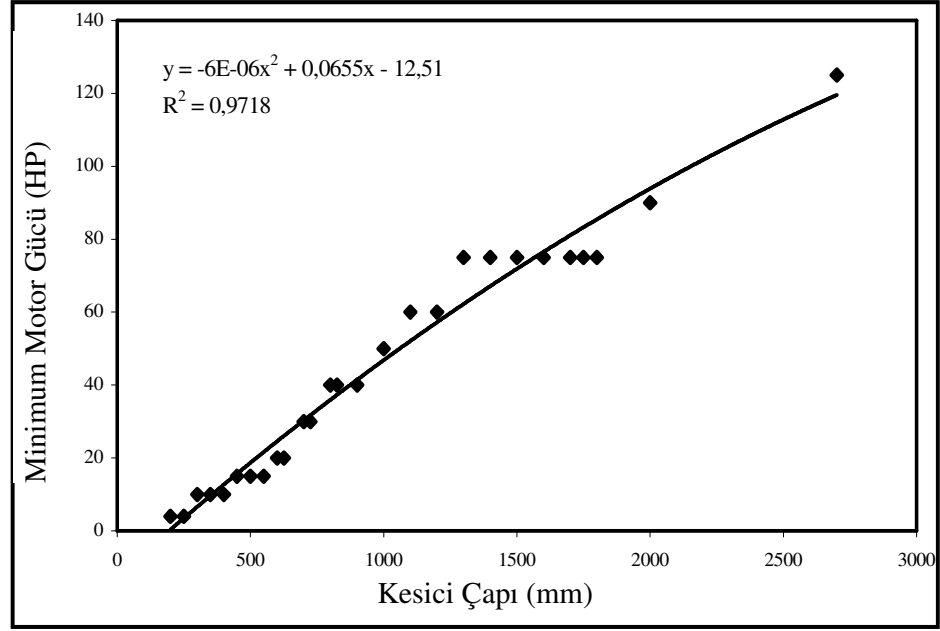
Burada

N= Motor gücü (kW)

T= Testerenin kesme genişliği (mm)

D= Testerenin çapı (cm)

Kesici çapı ile minimum motor gücü arasındaki ilişki şekil 3.10'da gösterilmektedir. Katraklarda ise her bir lama için 1.4-1.6 HP (Beygir Gücü) motor gücü gerekmektedir. Buna göre 30 lamalı bir katrak için 45 HP, 60 lamalık bir katrak için ise 90 HP güce sahip bir motor gerekmektedir (Şentürk ve diğerleri, 1996).



Şekil 3.10. Kesici Çapının Gerekli Olan Minimum Motor Gücü İle İlişkisi.

3.4.5. Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes})

Spesifik kesme enerjisi (SE_{kes}) birim kayacı kesmek için ihtiyaç duyulan enerji miktarı olarak tanımlanır ve birimi J/m^3 veya MPa 'dır. SE_{kes} aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$SE_{kes} : \frac{P_m \xi}{Q_w} \quad [3.4.]$$

Burada:

SE_{kes} : Spesifik Kesme Enerjisi (MJ/m^3),

P_m : Motor gücü (kW, HP),

ξ : Motor verimi (%),

Q_w : Birim zamanda kesilen hacim (m^3/sn)

Etkili ve verimli bir kesmenin yapılabilmesi, kesme hızının maksimum ve SE_{kes} 'in minimum olduğu nokta veya belirli bir aralık olmasına bağlıdır. Bu değer

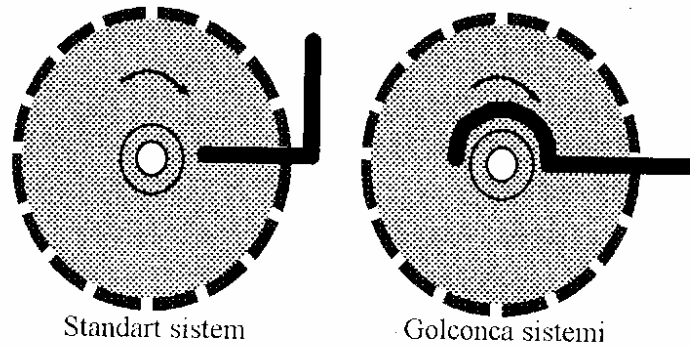
veya aralık kesme işleminin en ekonomik olduğu durumdur. Bu nedenle, SE_{kes} kesme verimliliğinin bir ölçüsüdür. SE_{kes} 'in optimum olduğu aralıktaki kesme derinliği ve kesme hızının belirlenmesinde kullanılan faktörler; kesici motorunun kapasitesi, testerenin geometrik özellikleri ile çalışma parametreleri, kayacın fiziksel ve jeomekanik özellikler sayılabilir (Atıcı ve diğerleri, 2002).

3.4.6. Kesicilerde Soğutma Suyu

Soğutma suyunun esas görevi kesiciyi soğutmaktır. Çok özel çalışma şartları dışında çalışma esnasında ısınan gövde ve soketlerin bozulmasına engel olmak için temiz ve bol su verilmelidir. Soketlerde bulunan elmaslar 625°C 'nin üzerine çıktığında bozulmaya başlar ve 1530°C 'ye ulaşırlarsa elmaslar yanarak çok yumuşak bir malzeme olan ve yine tamamen karbondan oluşan grafitte dönüşürler.

Soğutma suyunun bir diğer görevi ise, kesilen malzeme parçacıklarının kesme bölgesinden uzaklaştırılmasıdır. Böylece testere temiz bir ortamda çalışarak, kesim sonrasında çıkan ince kayaç ve elmas parçacıklarının tekrar testereyi aşındırması engellenmiş olur.

Bu yüzden beslenecek olan su hem yeterli miktarda, testerenin her iki yanından da flaşın hemen altından, gerekirse testerenin tam karşısından bolca verilmelidir. Soğutma suyunun beslenmesinde çeşitli yöntemlerin kullanılmasına rağmen “golconca” yöntemi en iyi sonuçları vermektedir (Şekil 3.11).

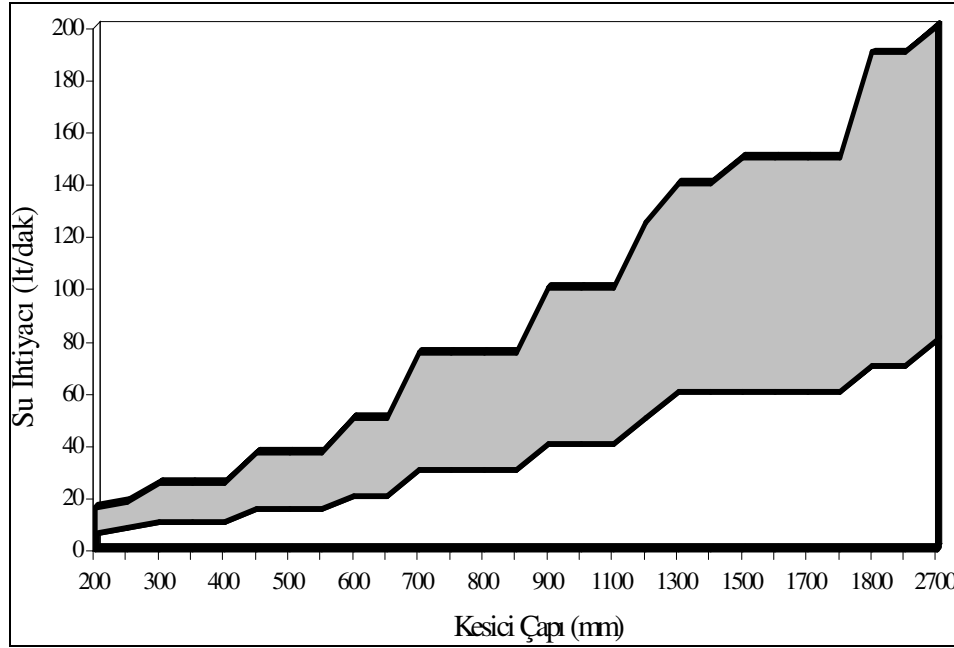


Şekil 3.11. Kesim Suyu Uygulama Sistemleri (Şentürk ve diğerleri, 1996).

Ayrıca, beslenen suyun temiz olması için mümkün olduğunca fazla kademeli olarak dinlendirilmiş su kullanılmalıdır. Kesiciye beslenen su eğer kesicinin her iki yanından da yeterli miktarda düzgün olarak beslenmezse, soketler suyun gelmediği alanlarda düzensiz ve tek taraflı olarak aşınırlar (Şentürk ve diğerleri, 1996).

Gereğinden fazla basınç ve miktarda su kullanılması durumunda, su tabakası kesilecek kayaç yüzeyi ile kesici elmas yüzeyi arasında bir yastık görevi görerek diskin kayaç yüzeyi üzerinde patinaj yapmasına neden olacak veya dönmesini zorlaştıracaktır (Büyüksağış, 1998; Tönshoff ve diğerleri, 1993).

Değişik mermer türleri için kullanılması gereken minimum su miktarı ile testere çapı arasında ilişki Şekil 3.12. de gösterilmiştir. Katraklarda ise ortalama su ihtiyacı 7-8 litre/dakikadır.



Şekil 3.12. ST'lerde Kullanılan Minimum Su İhtiyacı.

3.4.7. Kesim Şartları

Diskli kesicilerde kesim hızı arttığında kesici düzensiz kesim yapabilir. Bunun sebebi, kesim hızı yada devir hatalı seçilmiş veya diskli kesici körelmiş olabilir. Kesilen malzemenin özellikleri belirlenmeden yapılan kesme işlemleri diskli kesicilerin kesme randımanını düşürmektedir. Ayrıca, kesici eğri ve malzemeye göre

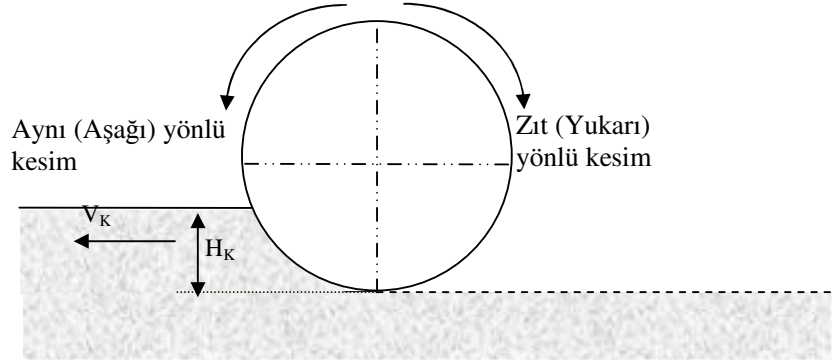
paralel ilerlemiyor olabilir. Bunun için diskli kesici, malzemeye göre dik konumda olmalı ve diskli kesicinin eksantriği aşmıyorsa kesici mili veya göbeği çok kullanıldığı için veya hatalı kullanıldığı için bozulmuş olabilir. Bunun yanında rulmanda bir bozukluk veya flanşlarda hata olabilir. Testere ile ilgili bu parçaların devamlı izlenmesi gerekir.

3.4.8. Kesme Modu ve Kesme Mekanizması

Dairesel testerelede kesme işlemi iki türlü yapılmaktadır. Bunlardan birincisi diskin dönüş yönü ile kesme (ilerleme) yönünün aynı olduğu kesme yöntemidir. Bu yöntem aşağı kesme yöntemi olarak veya aynı yönlü kesme yöntemi olarak adlandırılır. Bu yöntemde, kesim sırasında testere kayacı aşağı doğru bastırmakta ve kendisine doğru çekmektedir. Dolayısıyla düşey kuvvet daha büyük, yatay kuvvetler düşük olmaktadır. Kesici testere malzemeyi aşağı doğru bastırdığı için özellikle ufak boyutlardaki blokların kesiminde, titreşim oluşmasını azalttığı için kesilen yüzey daha düzgün olmaktadır. Aynı yönlü kesme işleminde kesici testere üzerindeki elmaslar kayaca ani olarak temas etmekte oldukları için ani bir yüklenmeyle karşılaşmaktalar ve özellikle sert kayaç kesimi sırasında elmaslarda çatlamalara ve düşmelere neden olmaktadır. Böylece testere ömrünü daha kısa sürede tamamlamaktadır (Şekil 3.13).

İkinci kesme yöntemi ise disk dönme yönü ile kesme yönünün ters olduğu kesme yöntemidir ve zıt yönlü kesme yöntemi veya yukarı kesme yöntemi olarak tanımlanır. Bu yöntemde, kesme kuvveti başlangıçta sıfır olup testere kayaca girdikçe kademeli olarak yükselmektedir. Ayrıca disk önce küçük bir hacim kesmeye çalışmakta ve kayacın içerisine batarak ilerlemektedir. Bu nedenle, sokete uygulanan gerilim de düşük olmaktadır. Bu işlemde soket üzerindeki elmaslar, ani yüklenme sonucunda oluşan deformasyon ve kırılmalardan korunacağı için kesici testerenin ömrü daha uzun olmaktadır ve sert kayaçların kesiminde özellikle büyük çaptaki bloklarda alternatif bir yöntemdir. Ancak, özellikle ufak boyutlardaki blokların kesiminde, kesme işlemi esnasında testere kayacı yukarı doğru kaldırmaya çalışacağı için, titreşim oluşabilmekte ve kesim yüzeyinin kalitesi bozulabilmekte, ileri

aşamalarda testere üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Akkurt, 1996; Büyüksağış, 1998; Bailey ve Bullen, 1979; Collin, 1980). Şekil 3.13 de oklar testerenin dönüş yönünü göstermektedir.



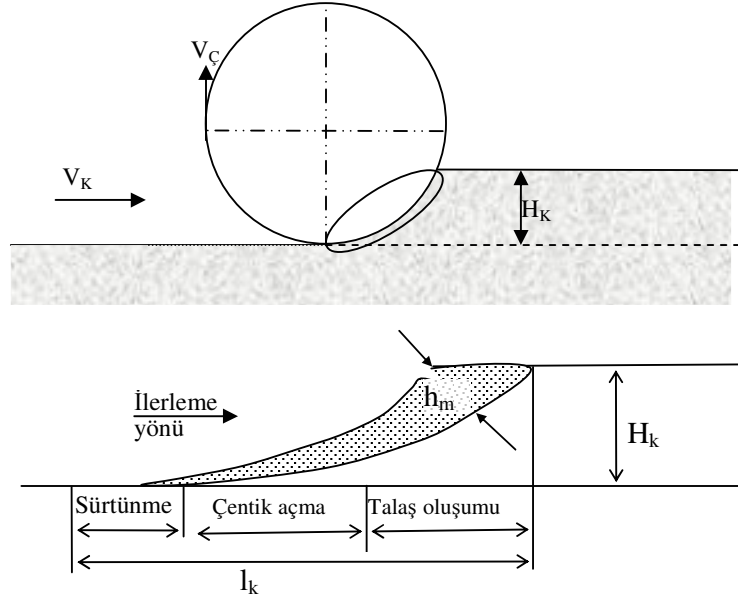
Şekil 3. 13. Aşağı (Aynı) ve Yukarı (Zıt) Yönlü Kesme İşlemi. (H_K : Kesme Yüksekliği, V_K : İlerleme Hızı).

Dairesel testerele ile kesme işleminde, kesici ile kesilen malzeme arasındaki kinematik ilişki kesici yüzeyindeki her bir elmas tanesi için geçerli olmaktadır. Kesme işlemi için önceden yapılan çalışmaların dayandığı ana temel; dairesele testere üzerindeki elmas tanesinin mekaniğidir. Kesme işlemi üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

Sürtünme aşaması; elmas tanesinin, kesme yüzeyi ile temas ettiği anda sistemin elastik deformasyonuna bağlı olarak kesme işlemi yapmadan kaydığı aşamadır.

Çentik Açma Aşaması; elmas tane ile kesilecek malzeme arasındaki gerilme, elastik limitten sonra artış göstermekte ve bunun sonucunda plastik deformasyon olduğu aşamadır.

Kesme Aşaması; kesilen malzeme uygulanan kuvvetin etkisi ile öne doğru yığılma göstererek elmas tanelerinin kenarlarına oluk açmakta ve malzeme yırtılma gerilmesine dayanamayarak talaş oluşmaktadır (Şekil 3.14).

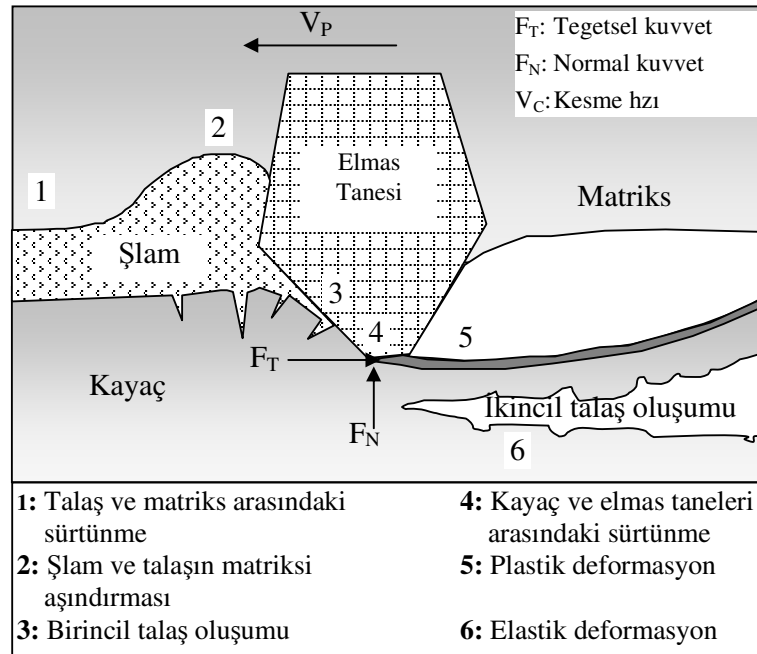


l_k : Deforme olmayan talaş yüzeyi (μm), h_m : Deforme olmuş maksimum talaş kalınlığı (μm),

Şekil 3.14. Aynı Yönlü Kesme İçin Talaş Oluşumu Sırasında Meydana Gelen Kesim Aşamaları (Chen ve Rowe, 1996)

Tönshoff ve diğerleri (1993), diskli kesicilerde kayaç kesme işlemi sırasında kayaç yüzeyinden tanecik koparma (talaş oluşumu) olayı kesici uç ile kayaç yüzeyi arasındaki mekanik darbelerin etkisiyle meydana geldiğini ortaya koymuştur.

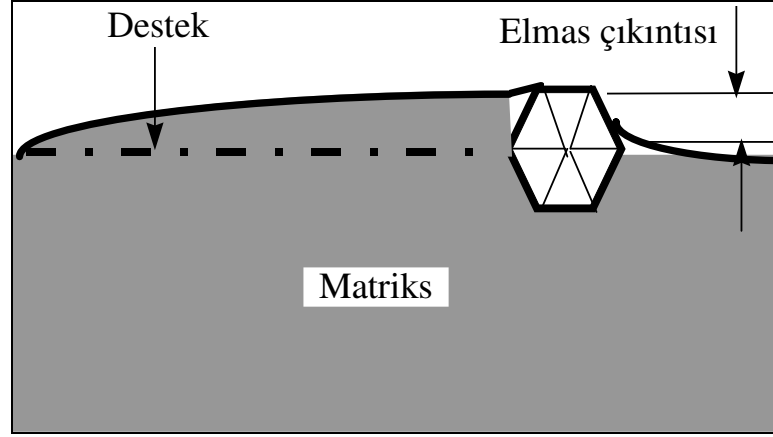
Şekil 3.15. de görüldüğü gibi kayaç yüzeyi ile sadece elmas taneleri temas etmekte, matriks ise temas etmemektedir. Yüksek kesme hızlarında bilenmiş soketlerle kesmede, kuvvetin etkisi ile kesici elmas ucun ön kısmındaki kayaç yüzeyinde çatlaklar oluşur ve ince kayaç partikülleri (talaşlar) kayaçtan parçalanarak ayrılır. Buna “birincil çatlak oluşumu” denir. Kesici ucun alt kısmında ise yüksek basınç oluşurken, kesici ucun arka kısmında basıncın boşaldığı (kalktığı) bölgede çekme gerilmesi oluşur. Böylece kayacın dış yüzeyinde çatlaklar ve lokal tahribatlar meydana gelir. Buna da “ikincil çatlak oluşumu” denir (Bienert, 1978; Tönshoff ve diğerleri, 1993; Büyüksağış, 1998).



Şekil 3.15. Mermer Kesme Prosesinde Talaş Oluşum Mekanizması
(Tönshoff ve diğerleri, 1993)

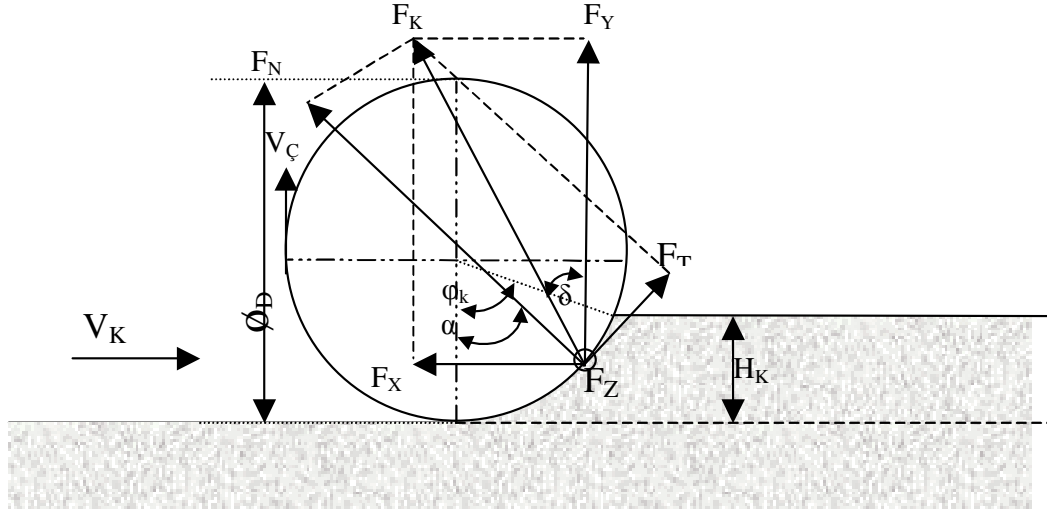
Talaş oluşumunda elmasların keskin olması için belirli bir ortalama talaş kalınlığı gereklidir. Bu kalınlığın altındaki boyutlarda hidrostatik gerilim oluşumundan dolayı malzemenin plastik akması gerçekleşir. Mermer ve granit gibi metamorfik ve derinlik kayaçlarında kesme işleminde oluşan talaşlar, kayaçların tanelerine göre daha küçüktür. Bunun temel nedeni, kayaçları oluşturan minerallerin tane içleri boyunca çatlamaların oluşumudur (Purtscheller ve Hausberger, 1991; Büyüksağış, 1998). Kumtaşı gibi kayaçlarda ise mekanik yönden zayıf olan tane sınırları boyunca çatlamalar oluşmaktadır.

Oluşan talaş parçaları aktif haldeki elmas tanelerinin ön ve yan kısımlarında taşınırlar. Elmas tanelerinin arka kısmında hemen hemen hiç talaşa rastlanmaz. Bu elmas taneleri onları destekleyen bağlayıcı kuyruk kısmı tarafından tutulur (Şekil 3.16).

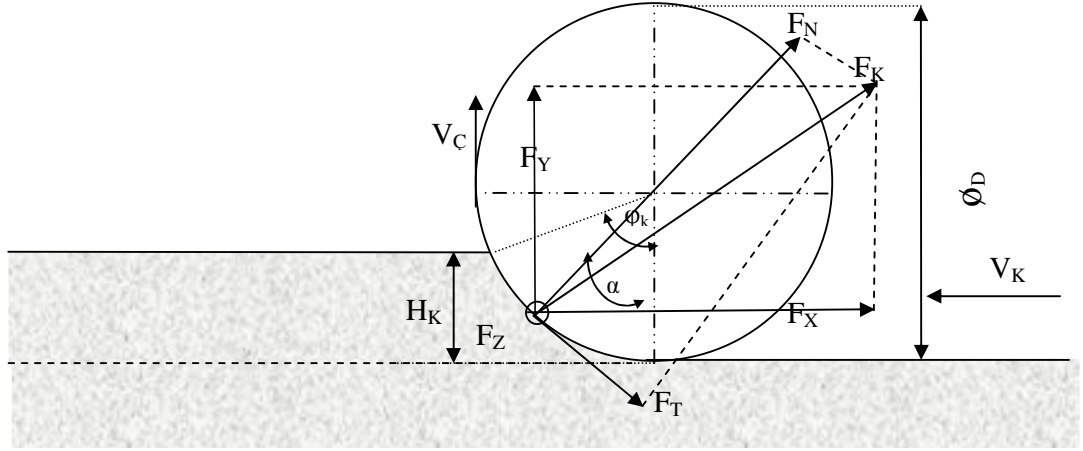


Şekil 3.16. Kesme İşleminin Kinematığı

Tönshoff ve diğerleri (1993) dairesel testerelerin kesme kinematığı üzerine yapmış oldukları çalışmalarda; kayaç kesme işleminde, testerenin kayacı kesmesi sırasında mekanik etkileşimler sonucunda oluşan kuvvetler ve bileşenlerini belirlemişlerdir. Bunlar aşağı kesme yöntemi ve yukarı kesme yöntemi için Şekil 3.17. ve 3.18’de gösterilmektedir.



Şekil 3.17 Aynı Yönlü Kesme İçin Kesme İşlemi Kinematığı (Tönshoff ve diğerleri, 1993)



Şekil 3.18. Zıt Yönlü Kesme İçin Kesme İşlemi Kinematığı (Tönshoff ve diğerleri, 1993)

Burada;

F_X : Disk kesme yönünde oluşan yatay (x) kuvvet	(N)
F_Y : Disk kesme yönünde oluşan düşey (y) kuvvet	(N)
F_Z : Disk kesme yönünde oluşan eksenel (z) kuvvet	(N)
F_N : Normal (radyal) kuvvet	(N)
F_T : Teğetsel (tanjantiyel) kuvvet	(N)
F_K : Kesme Kuvveti	(N)
V_C : Diskin Çevresel Hızı	(m/sn)
V_K : Kesme (ilerleme) hızı	(m/sn)
$\varnothing_D$: Diskin (kesici testerenin) çapı	(mm)
H_K : Kesme derinliği	(mm)
ϕ_k : Diskin kayaçla temas (kavrama) açısı	(derece)
α : Normal kuvvetin etki (aşındırma) açısı	(derece)

Yatay (F_X), düşey (F_Y) ve eksenel (F_Z) kuvvetler ölçümler sonucunda bulunan kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin yardımı ile aynı yönlü kesme işlemi için normal, teğetsel ve kesme kuvvetleri ile SE_{kes} hesaplanabilmektedir.

$$\cos \delta = \frac{F_y}{F_K}, \quad \sin \delta = \frac{F_X}{F_K} \quad [3.5.]$$

$$F_N = F_K * \cos(\alpha - \delta) \quad [3.6.]$$

$$F_N = F_K * \left(\cos \alpha \frac{F_Y}{F_K} + \sin \alpha \frac{F_X}{F_K} \right) \quad [3.7.]$$

$$F_N = F_Y \cos \alpha + F_X \sin \alpha \quad [3.8.]$$

$$F_T = F_K \sin(\alpha - \delta) \quad [3.9.]$$

$$F_T = F_K \left(\sin \alpha \frac{F_Y}{F_K} - \cos \alpha \frac{F_X}{F_K} \right) \quad [3.10.]$$

$$F_T = F_Y \sin \alpha - F_X \cos \alpha \quad [3.11.]$$

$$F_K = \sqrt{F_N^2 + F_T^2} \quad [3.12.]$$

Zıt yönlü kesme durumunda normal kuvvet (F_N) ve tegetsel kuvvet (F_T) için

$$F_N = F_Y \sin \alpha + F_X \cos \alpha \quad [3.13.]$$

$$F_T = F_X \cos \alpha - F_Y \sin \alpha \quad [3.14.]$$

bağıntıları yazılabilir.

Disk in kavrama açısı (ϕ_k) ve normal kuvvetin etki açısı (α) aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$\phi_k = \arccos\left(1 - \frac{2HK}{\theta D}\right) \quad [3.15.]$$

$$\alpha = wx\phi_k \quad [3.16.]$$

Aşındırma açısına ait “w” faktörünün Tobias (1965) tarafından kayalar için $w = 0,7$ olarak alınması önerilmiştir.

Bir diskin kesme işlemini gerçekleştirebilmesi için gerekli motor gücü (P_m) ise,

$$P_m: F_T \times V_C \quad [3.17.]$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Birim zamanda kesilen hacim için harcanan enerji miktarı “Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes})” olarak tanımlanır ve ;

$$SE_{kes} = \frac{P_m}{Q_w} = \frac{F_T V_C}{H_K G_S V_K} \quad [3.18.]$$

bağıntısı yardımı ile hesaplanabilmektedir.

Burada;

G_S : Elmas Soket Genişliğidir.

Teğetsel kuvvetin (F_T), normal kuvvete (F_N) oranına kesme kuvvetleri oranı (μ) denir ve

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad [3.19.]$$

eşitliği ile hesaplanır.

İlerleme hızının (V_K) disk çevresel hızına ($V_Ç$) oranı kesme hızları oranı (q) olarak anılır ve

$$q = \frac{V_K}{V_Ç} \quad [3.20.]$$

bağıntısı ile ifade edilir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Kesme Donanımı

Kesme deney düzeneği olarak, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Merkezinde, bilgisayar kontrollü tam otomatik mini yan kesme makinesi kullanılmıştır.

4.1.1. Makinenin Mekanik Tasarımı

Kesme deneylerinin yapıldığı sistem, “ST” makineleri örnek alınarak tasarlanmış tam otomatik bir yan kesme makinesidir. Bu sistemde kesme derinliği; dikey testerenin yukarı – aşağı hareketi ile, kesme kalınlığı; sağ – sol yönlerde hareket etmesi, kesim hızı; bloğun üzerine konulduğu vagonun alt bölüme özel olarak tasarlanmış bir zincir – dişli çark düzeneği sayesinde, ileri – geri yönlerde, düzgün ve darbesiz olarak hareket etmesi ile sağlanmaktadır. Kesici testere, 4 kW’lık bir elektrik motoru ile tahrik edilmekte olup, 400 mm’lik dairesel elmaslı testere kullanılmıştır. Dairesel testerenin düşey ve yanal hareketleri ve vagonun ileri geri hareketi birer adet 0,75 kW’lık elektrik motorları ile sağlanmaktadır. Kesme düzeneğinin genel görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kesme Deney Düzeneği

4.1.2. Makinenin Otomasyon Tasarımı

Sistemin otomasyonunun yapılmasındaki amaç, kesici düzeneğin tüm hareketlerinin bilgisayar aracılığı ile kontrol edilmesi, kesici testerenin çevresel hızı ve üzerinde kesilecek bloğun bulunduğu vagonun ilerleme hızının istenen sınırlarda kademesiz olarak düzenlenmesidir.

Makinenin otomasyon işlemi, frekansın değiştirilmesi ile alternatif akım motorlarının devir kontrollerinde kullanılan hız kontrol cihazları (Şekil 4.2.) yardımı ile kesim hızı (0–6 m/dakika), kesme derinliği (0–10 cm), kesme kalınlığı ve dairesel testerenin çevresel hızı (0–4000 devir/dakika) arasında ayarlanabilmektedir. Bütün bu mekanik ve elektronik donanım, özel olarak yazılmış bir program ve dijital I/O yardımı ile sisteme bağlanmış olan bir bilgisayar tarafından kontrol edilebilmektedir. Sistemin çalışma şartları istenen parametrelerin bilgisayara girilmesi ile düzenlenebilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Vagonun ve Testerenin Hızını Kontrol Eden Hız İnvertörleri.

Deney setinin kontrolünü ve iletişimini sağlayan bilgisayar programının ana menüsü Şekil 4.4’de görülmektedir. Bu ana menüde kesme sırasında oluşan yükler, diskin konumu ve otomasyonun durumu her an gözlenebilmektedir. Ayrıca ana menü

içersindeki alt bölümlerde deneylerde kullanılacak olan kesme parametrelerinin alması gereken değerler sisteme girilebilmektedir. Bu bölümlerden ilki deneyin hangi sabit değerlerde yapılacağını göstermektedir. Diğer ise deney sırasında değiştirilecek olan testere dönüş hızı (çevresel hız), ilerleme hızı ve kesme derinliği değerlerini gösteren bölümdür.



Şekil 4.3. Kesme Düzeneğini Kontrol Eden Bilgisayar Sistemi ve Hız Invertörleri.

OTOMASYON PROGRAMI

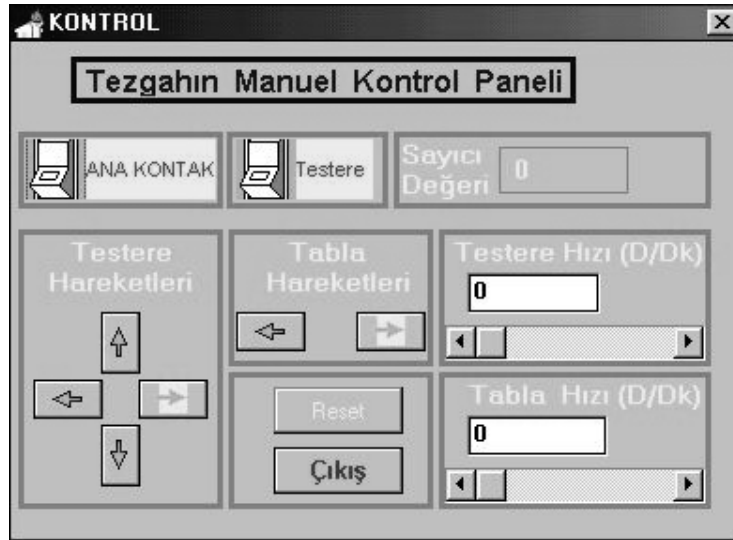
MERMER TEST PROGRAMI

Kuvvetler (Kg)	Olması İstenen Normal Değerler	Otomatik Kesme Değerleri																								
X Yönü 00.0	İlerleme Hızı (m/dak) 1	☒ ☐ ☐																								
Y Yönü -00.1	Disk Dönüş Hızı (m/sn) 20	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>İlerleme Hızları</th> <th>Disk Hızları</th> <th>Kesme Derinlikleri</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.65</td> <td>12</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.7</td> <td>13</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.75</td> <td>14</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.8</td> <td>15</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>		İlerleme Hızları	Disk Hızları	Kesme Derinlikleri	1	0.5	10	10	2	0.65	12	15	3	0.7	13	20	4	0.75	14	25	5	0.8	15	30
	İlerleme Hızları	Disk Hızları	Kesme Derinlikleri																							
1	0.5	10	10																							
2	0.65	12	15																							
3	0.7	13	20																							
4	0.75	14	25																							
5	0.8	15	30																							
Z Yönü 00.1	Kesme (mm) Derinliği 20																									
İlerleme Hızı (m/dak) 0	Kesme (mm) Genişliği 30																									
	Testere Çapı (mm) 400																									
Disk Dönüş Hızı (m/sn) 0	Otomasyon Durumu STOP	Kesilen Mermerin İsmi İSİMSİZ																								
Kesme Derinliği (mm) 0	Sayıcı 26	ÇIKIŞ OTOMATİK RESET																								
	ACİL STOP	STOP MANUEL VERİ																								

Şekil 4.4. Deney Setinin Kontrolünü ve Bilgisayarla İletişimini Sağlayan Programın ana Mönüsü.

Deney sırasında sabit olması gereken otomatik kesme değerleri (ilerleme hızları, disk hızları, kesme derinlikleri), ilgili sütuna girilmektedir. Böylece, operatör müdahalesine gerek kalmadan kesici düzenek sabit olarak girilen değerlerle, işaretli sütundaki ilk değeri alarak birinci deneyi gerçekleştirmektedir. Sistem kendiliğinden ilk kesme konumuna geçmektedir. Beş deney otomatik olarak yapılmakta ve sistem kendisini ilk duruma alarak yeni bir deney için hazır duruma gelmektedir.

Ana menüye bağlı el ile kontrol ve veri menüleri de bulunmaktadır. Yardımcı kontrol menüsünde diskin ve arabanın konumu istenilen noktaya el ile getirilebilmekte, testerenin ve arabanın hızı manuel olarak istenilen değerlerde ayarlanarak sistem çalıştırılmaktadır (Şekil 4.5).

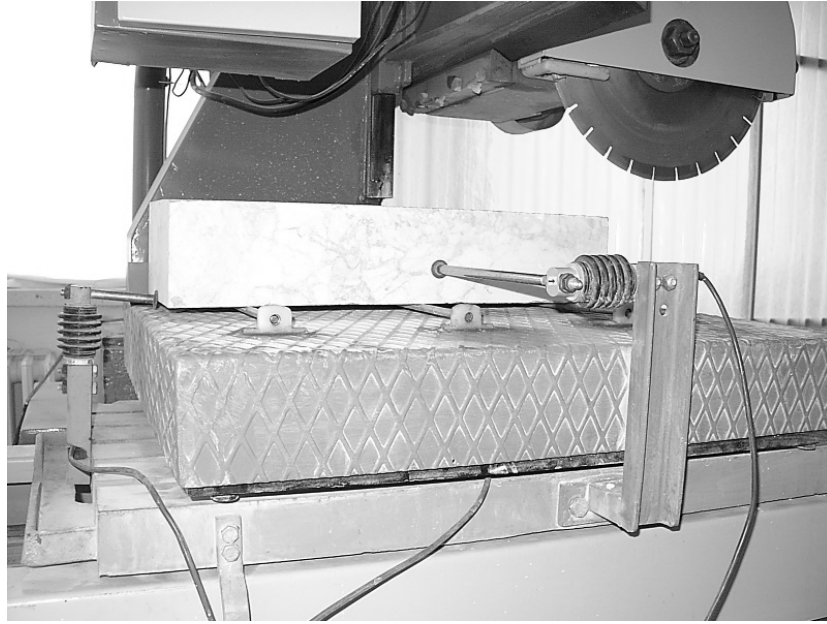


Şekil 4.5. Deney Setinin Bilgisayarla Kontrolünü Sağlayan Programın Yardımcı Mönüsü.

Kesme işlemi sırasında oluşan üç boyutlu (düşey, yatay ve eksensel) kuvvetlerin ölçülmesinde yük hücreleri (load cells) kullanılmıştır. Düşey yükün daha büyük olacağı düşünülerek 100 kgf'lik platform tip (single point) yük hücresi kullanılmıştır. Bu yük hücresiyle platformun çeşitli noktalarından uygulanabilecek yükler tam orta noktadan algılanabilmektedir. Yatay ve eksensel kuvvetlerin ölçülmesinde ise 50 kgf'lik iki adet yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 4.6).

Taşıyıcı vagonun üst kısmına düşey yükü ölçmede kullanılacak bir platform monte edilmiştir. Bu platformun üzerine, numunenin platform ile olan sürtünme

kuvvetini en aza indirebilmek amacıyla 30 cm boyunda, özel alaşımlı çelikten imal edilmiş 10 mm çapında üç adet silindirik tambur yataklanmıştır. Ayrıca, numuneye yanal destek vermesi amacıyla sürtünme kuvvetini en aza indirecek şekilde iki adet tekerlek 20 cm aralıkla platforma dik olarak monte edilmiştir. Bunların yanı sıra, kesme düzlemine dik ve paralel olacak şekilde vagonun ön ve yan kısımlarına L tipi yük hücreleri yerleştirilmiştir. Kesme deney düzeneği ile bilgisayar arasındaki bağlantı ise bir adet dijital I/O kartı ile sağlanmıştır.



Şekil 4.6. Kesme Platformu ve Yük Hücreleri

Veri yardımcı mönüsünde (Şekil 4.7.) ise kesilen taşın cinsi ve her deneye ait operasyon parametreleri ile kesim esnasında oluşacak olan yatay (F_x), düşey (F_y) ve eksensel (F_z) kuvvetlerinin sayısal değerleri, yük hücreleri yardımı ile % 0,1 hassasiyette Kgf cinsinden ölçülmekte ve saniyede iki adet veri olacak şekilde bilgisayara aktarılarak veri dosyası saklanmaktadır.

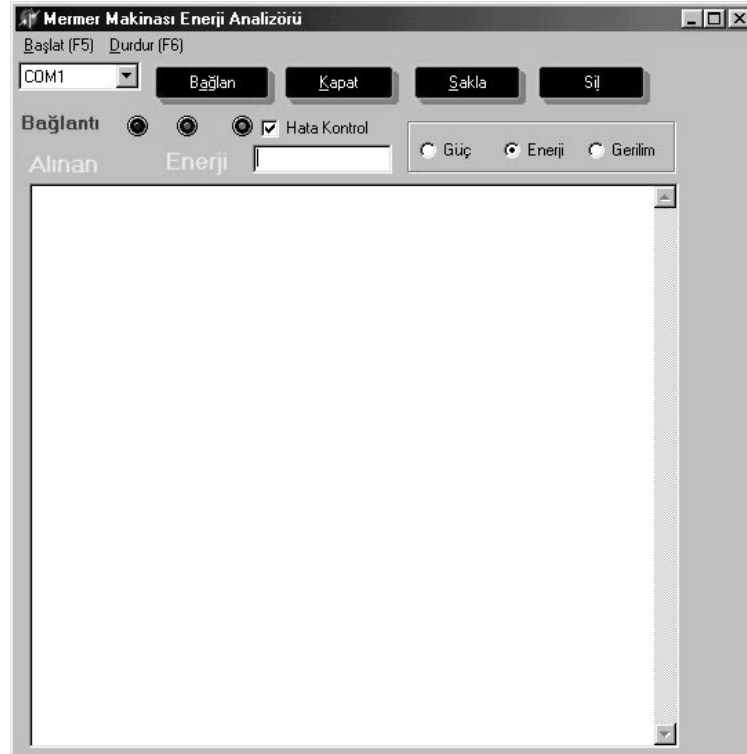
TEST SONUÇLARI		
Dosya Aç	Dosya Sakla	Tüm Metni Sil
Kapat		
Mermer Adı = Burdur Beji Tarih = 05.02.2002		
Testere Devri = 65 d/dk İlerleme Hızı = 0.4 m/dk Derinlik = 60 mm		
Fx	Fy	Fz
00.6	-00.5	00.8
00.2	01.0	01.0
00.2	01.4	00.4
00.5	03.0	00.3
00.0	01.8	-00.1
-00.2	02.1	-00.5
-00.2	01.6	-00.8
-00.1	00.1	-00.5
00.1	-02.6	01.2
00.7	-03.1	-00.4
00.3	-02.6	-00.2
-00.3	00.4	00.3
01.0	02.3	01.0
01.4	03.0	00.9
03.4	03.0	-00.2

Şekil 4.7. Deney Setinin Bilgisayara Aktardığı Veri Dosyası.

Kesme esnasında kesici testerenin ihtiyaç duyduğu güç tüketimi bilgisayara bağlanmış olan güç analizörü yardımı ile miliwat cinsinden 1,2 saniyede bir veri olacak şekilde ölçülmektedir (Şekil 4.8). Güç analizörü ile ölçümler özel olarak yazılmış bir bilgisayar programıyla yapılmaktadır (Şekil 4.9). Kesim esnasında sistemin kullanmış olduğu enerji, hem kuvvetler yardımı ile hesaplanabilmekte, hem de doğrudan güç analizörü yardımı ile elde edilmektedir.



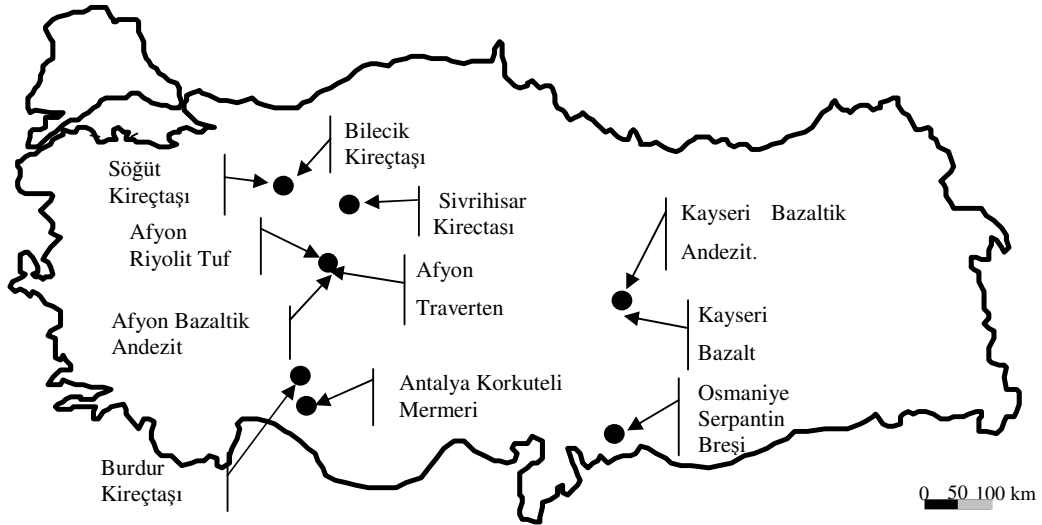
Şekil 4.8. Güç Analizörü



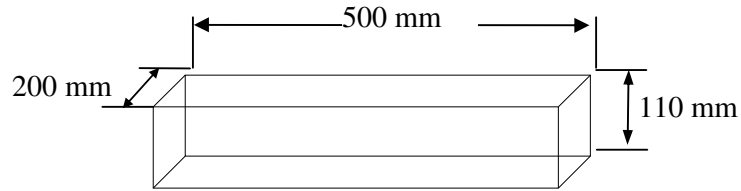
Şekil 4.9. Sisteme Monte Edilmiş Olan Güç Analizöründen Veri Alarak Bilgisayara Kaydetmekte Kullanılan Yardımcı Program.

4.2. Kullanılan Numuneler

Altı adet bej türü kayaç (dört adet ticari kireçtaşı, bir adet mermer, bir adet breş), iki adet bazaltik andezit, bir adet bazalt, bir adet tuf, iki adet traverten olmak üzere toplam 12 adet kaya numunesi üzerinde çalışılmıştır. Kesme deneylerinde kullanılan kayaçların yer bulduru haritası Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu kayaçlardan kesme deneyi sırasında kullanılan numuneler her bir kayaç için 3'er adet olmak üzere, numune boyutları 500 mm uzunluğunda, 200 mm genişliğinde ve 110mm yüksekliğindedir (Şekil 4.11.).

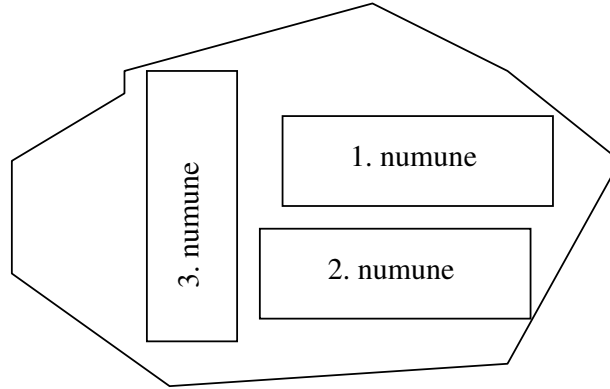


Şekil 4.10. Kesme Deneylerinde Kullanılan Kayaçların Yerleri.



Şekil 4.11. Kesme Deneyinde Kullanılan Numunelerin Boyutları

Korkuteli beji ile Sivrihisar beji kayaçlardaki yönlenmenin (Lineasyon, Foliasyon'un) kesilebilirliğe olan etkilerini inceleyebilmek için numunelerden bir adedi bloktan farklı kesim yönünde alınmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Yönlenme Belirlenen Kayaçlarda Numune Alma Yöntemi.

4.3. Testere Özellikleri

Kesme deneylerinde kullanılan elmas soketli dairesel testere, 400 mm çapında olup, 4 mm gövde kalınlığına sahiptir. Testere üzerinde toplam 28 adet soket bulunmakta olup, soket genişlikleri 4 mm, soket boyutu 40 mm ve soket yükseklikleri 7 mm. dir.

Kesme deneylerinde her kayaç için uygun kesici testere kullanmak amacı ile Bej türü kayaçlarda bej testeresi ve travertenler için Sonmak tarafından imal edilen traverten testeresi, bazaltik andezitler için Topaş tarafından üretilen andezit testeresi ve bazalt için ise yine Sonmak tarafından imal edilen granit testeresi ve hakiki mermer testeresi kullanılmıştır.

Bu testere,lerin gövde boyutları, soket adedi ve ölçüleri birbirlerini tutmakla birlikte, sert kayaç kesiminde göreceli yumuşak matriks, yüksek elmas konsantrasyonu ve düşük elmas tane boyutu; yumuşak kayaç kesiminde sert matriks, düşük elmas konsantrasyonu ve daha iri elmas tane boyutu içeren testere,lerin kullanılması, kesme verimini ve testere ömrünü artırmaktadır. Bu durum maliyetin düşmesini sağlamaktadır. Kesme deneylerinde kullanılan elmas testere,nin teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Dairesel elmas testerelerin teknik özellikleri.

Testere No	Elmas Tane Boyutu (US Mesh)	Elmas Konsantrasyonu (%)	Matriks Kompozisyonu (%)				Kayaç Grubu
			Co	Cu	Fe	Ni	
A	50/60	30 – 40	43.05	55.60	1.35	0,00	granit, siyenit ve gabbro
B	30/50	30 – 38	70.58	27.83	0.02	1.57	Andezit, bazalt, tuf,
C	30/40	25 – 30	11,58	79,11	9,31	0,00	Kireçtaşı ve mermer

4.4. Kayaç Özellikleri

Kesme işlemindeki spesifik kesme enerjisi (SE_{kes}) ile kayaç özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek için kayaçların fiziksel, mekanik, mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri ISRM (1981) ve TS 699 standartlarına göre bir dizi laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir. Kayaçların fiziko - mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan numuneler kesme deneylerinin yapıldığı numunelerle aynı bloktan alınmıştır.

4.4.1. Mineralojik Analiz

Kayaçlar yalnızca tek bir mineralden oluştukları gibi birkaç mineralden veya mineral grubundan da oluşabilirler. Bu minerallerin cinsleri, miktarları (%), tane boyutları, dokusal ilişkileri ve mineralojik özellikleri incelenebilmektedir.

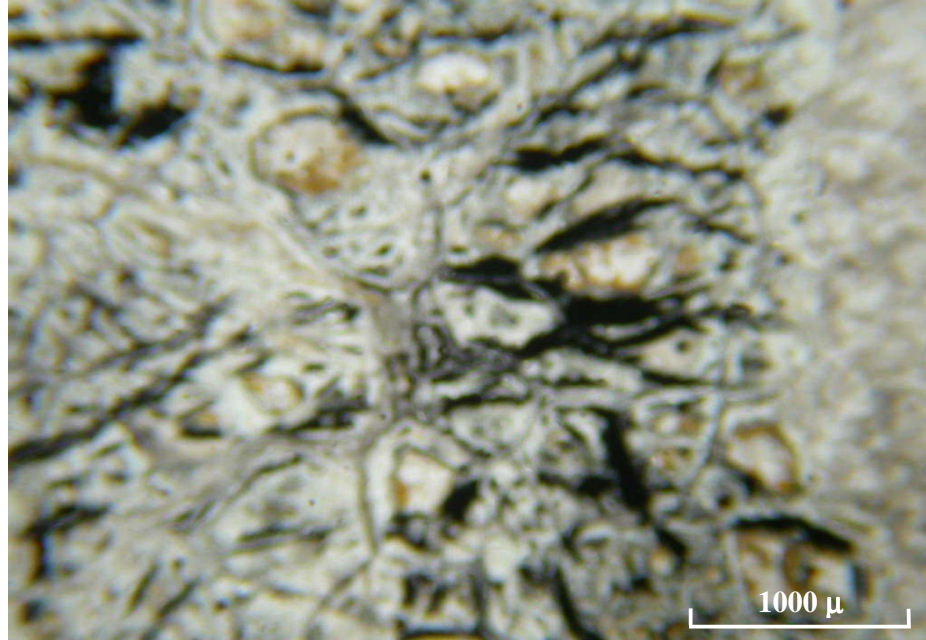
Mineralojik analizler ince kesitlerin nokta sayacı ve polarizen mikroskopu altında incelenmesiyle yapılmıştır. Minerallerin tane boyutu mikroskoba monteli mikrometre yardımı ile bulunabilmektedir. Kayaç içersindeki mineral miktarı, her bir kayaç için kayacın yatay ve düşey yönünde iki adet ince kesitin mikroskop altında nokta sayacı kullanarak ve ortalama 3000 nokta sayılarak tespit edilmiştir. Kayaçların sertlik ve dayanım özellikleri Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM, 1981) tavsiye ettiği metotlara göre yapılmıştır.

4.4.1.1. Kayseri Erkilet Bazaltı

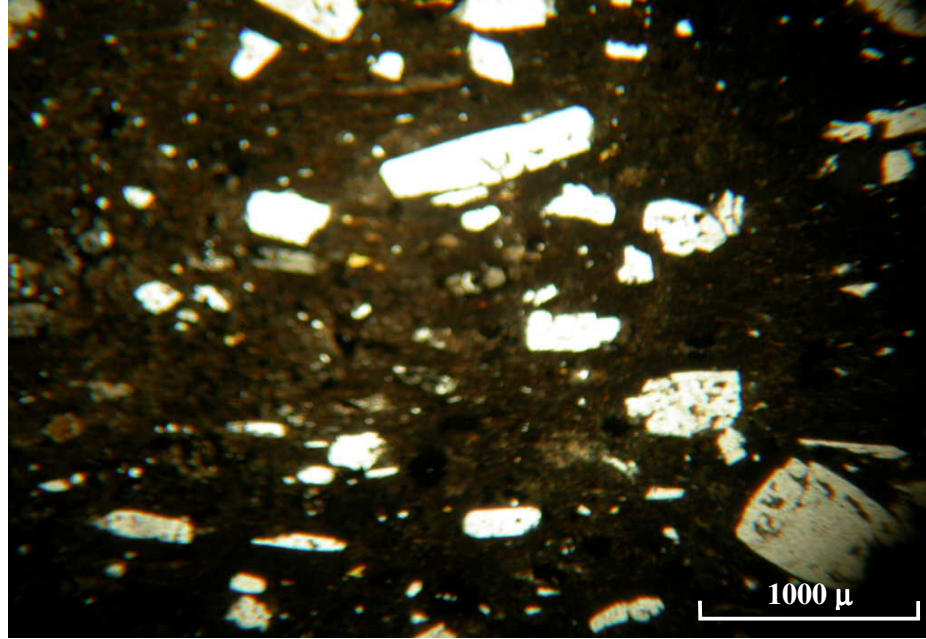
Kayaç plajiyoklaz (%74), piroksen (%23), olivin (%2) ve opak (%1) minerallerinden oluşmaktadır. Kayaç Mohs sertliği 6,01'dir. Kayaç mikrolitik bir yapıya sahip olup, ince taneli fenokristal ve matriks içerir. Kısmen camsı ve homojen bir yapıdadır.

Otomorf ve subotomorf şekilli plajiyoklaz (labrador) kristallerinin arasını olivin ve piroksen taneleri doldurmuştur. Az oranda görülen hornblent kristalleri büyük ölçüde altere olmuştur. Mafik minerallerin alterasyonu sonucu oluşan demirli suların infiltrasyonu nedeniyle limonit ve hematit mineralleri oluşmuştur. Kayaç poiklitik ya da intersertal dokuya sahiptir. Mikroskobik çalışmalar sonucunda kayaç bazalt, bazaltik andezit bileşimli olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.13.a,b).

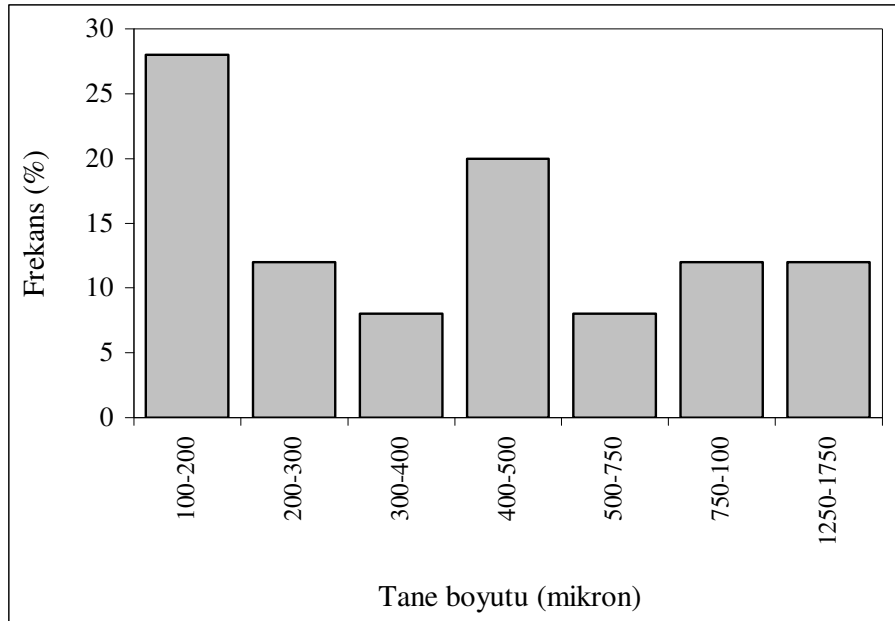
Kayaç ortalama tane boyutu 0,59 mm.dir. Minerallerin tane boyutunun büyük çoğunluğu 100 - 200 mikron arasında ve daha az orandaki ikinci bir yığılmanın ise 400-500 mikron arasında olduğu Şekil 4.14' de görülmektedir.



Şekil 4.13.a. Kayseri Erkilet Bazaltının Mikroskopik Fotoğrafı.



Şekil 4.13.b. Kayseri Erkilet Bazaltının Mikroskopik Fotoğrafı.

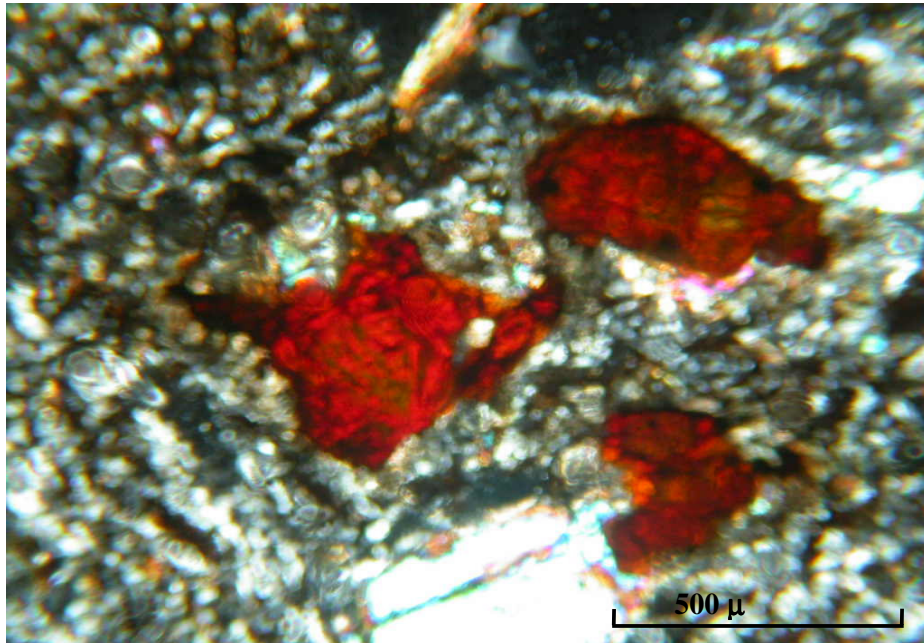


Şekil 4.14. Kayseri Erkilet Bazalt için tane boyutu dağılım grafiği.

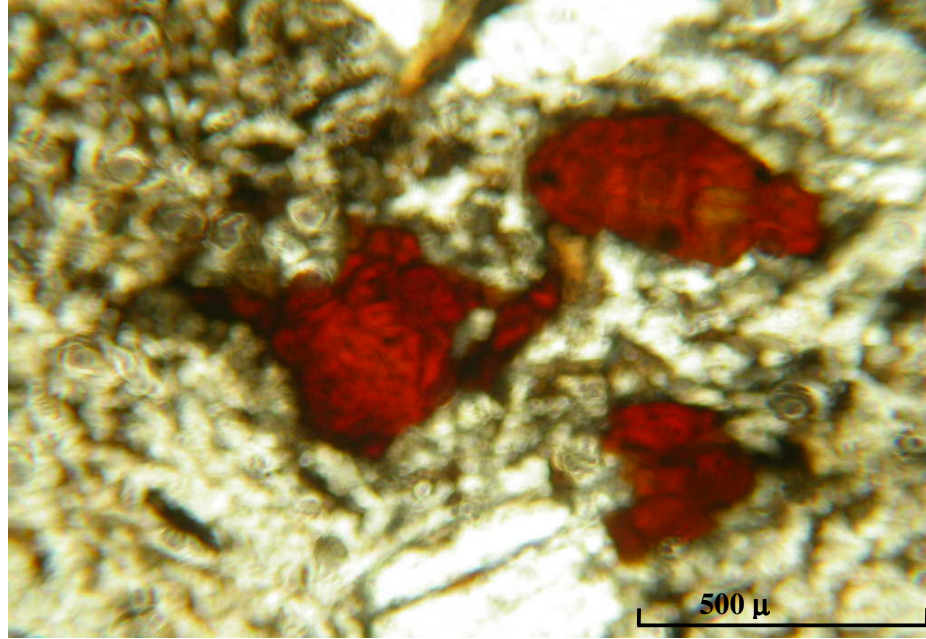
4.4.1.2. Afyon Bazaltik Andezit

Kayaç büyük miktarda (%79) porfirik camsı matriksten oluşmakta, %19 oranında plajiyoklaz ve az miktarda (% 3) piroksen içermektedir. Kayacın Mohs sertlik skalasındaki değeri ise 5,12 olup mikrolitik dokudadır. Hamur içinde biyotit, piroksen mikrolitleri vardır ve hamuru porfirik, camsı yapıdadır. Kayacın ince taneli bağlayıcı malzemesinin içersinde subhedral ve çoğunlukla anhedral fenokristaller bulunmaktadır. Kayacın mikroskopik ve makraskopik verileri bazalt olduğunun göstergesidir (Şekil 4.15.a,b).

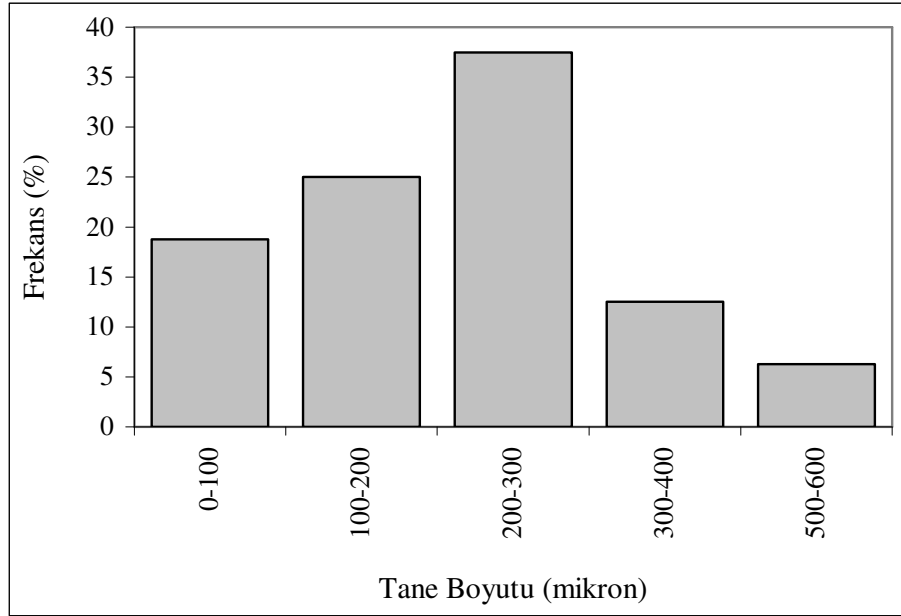
Kayacın ortalama tane boyutu 0,23 mm.dir. Minerallerin büyük bir kısmının tane boyutunun 150 - 300 mikron arasında toplandığı Şekil 4.16' da görülmektedir.



Şekil 4.15 a. Afyon Bazaltik Andezitin Çift Nikolde Mikroskopik Fotoğrafı.



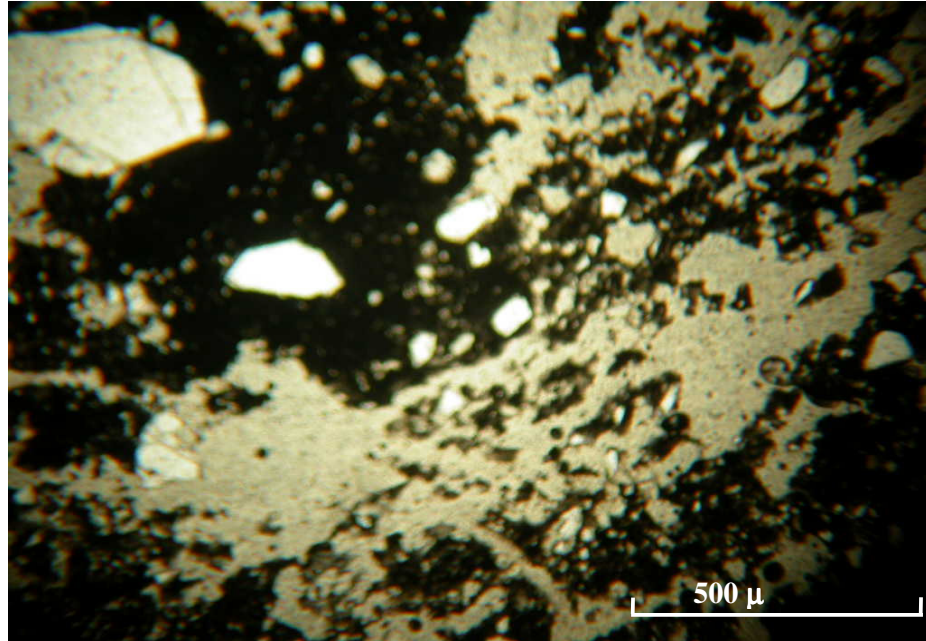
Şekil 4.15 b. Afyon Bazaltik Andezit'in Tek Nikolde Mikroskopik Fotoğrafı.



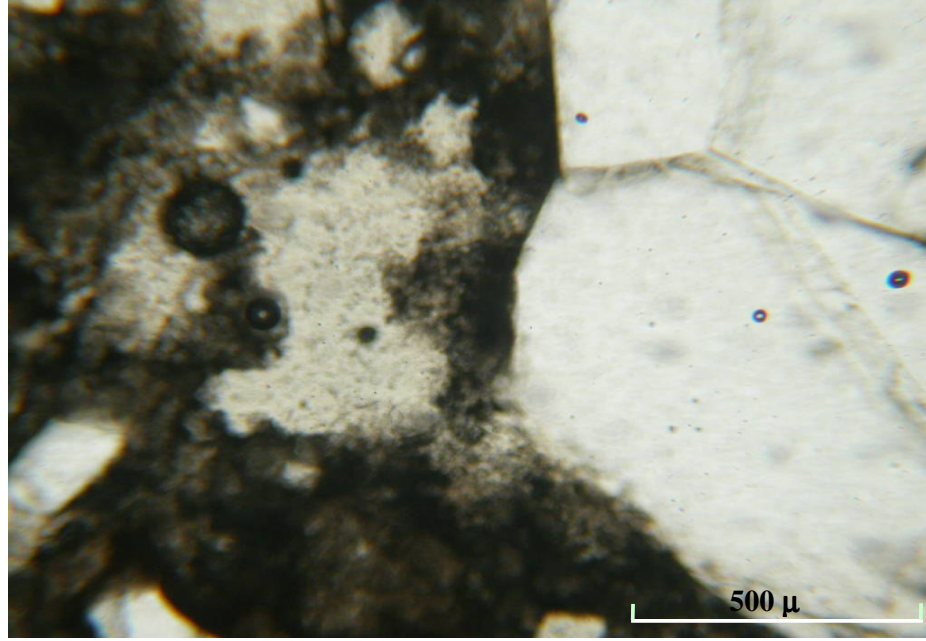
Şekil 4.16. Afyon Bazaltik Andezit İçin Tane Boyutu Dağılım Grafiği.

4.4.1.3. Afyon Riyolit Tüf

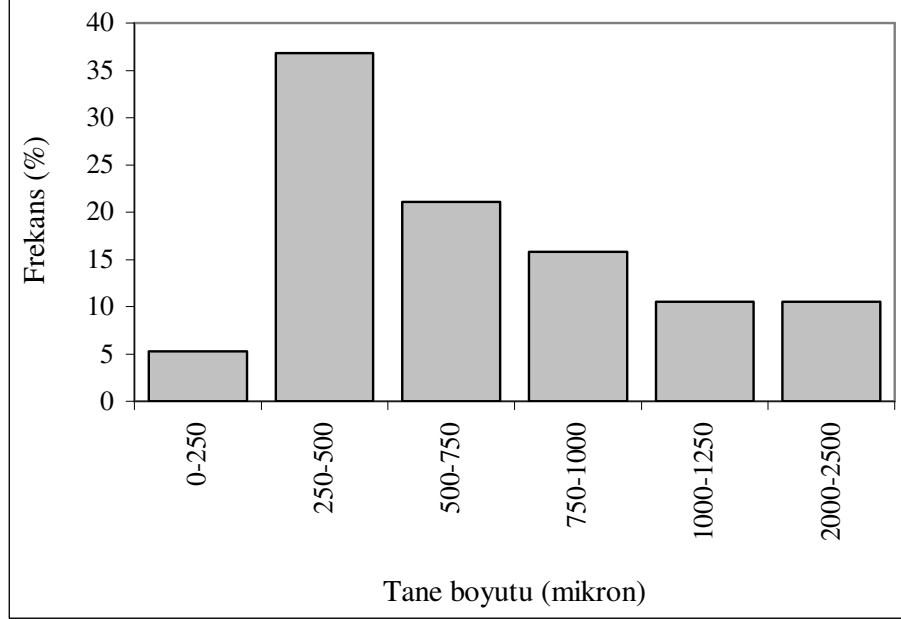
Afyon riyolit tüfü; hyalin dokulu, oldukça ince taneli camsı matriksten (% 82) ve oldukça ince taneli camsı bağlayıcı malzemesinin içersinde ince-orta taneli fenokristallerden (% 17) oluşmaktadır. Kayacın Mohs sertlik değeri ise 5,8 dir. Fenokristallerin tamamı kuvarstan oluşmaktadır (Şekil 4.17.a,b). Ortalama tane boyutu 0,80 mm dir. Minerallerin büyük bir kısmının tane boyutu 250 - 500 mikron arasındadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.17.a. Afyon Riyolit Tüfünün Mikroskopik Fotoğrafı.



Şekil 4.17.b. Afyon Riyolit Tüfünün Mikroskopik Fotoğrafı.

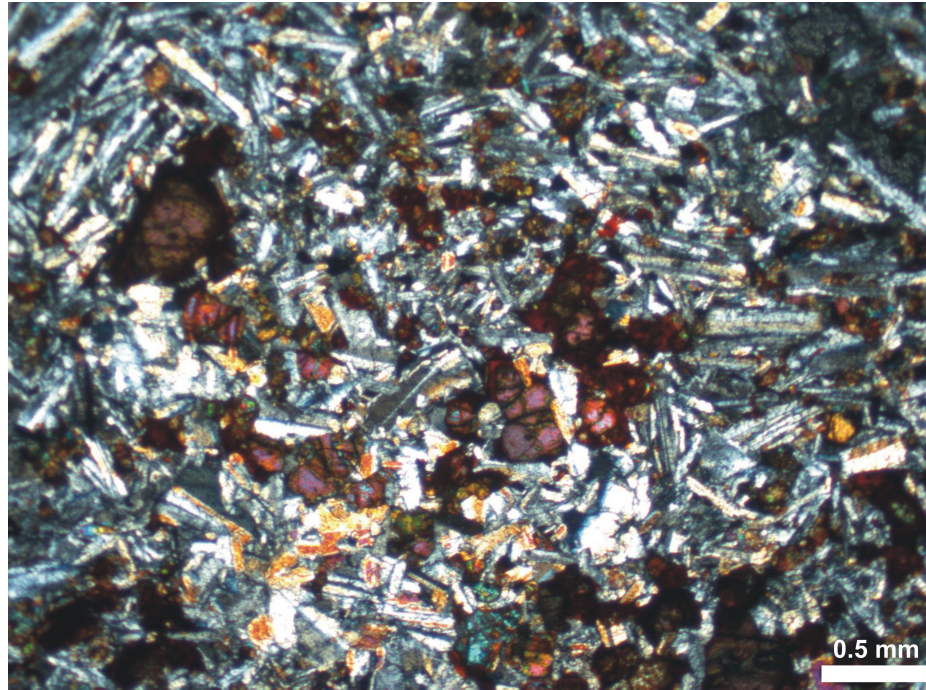


Şekil 4.18. Afyon Riyolit Tüfö için Tane Boyutu Dağılım Grafiğı.

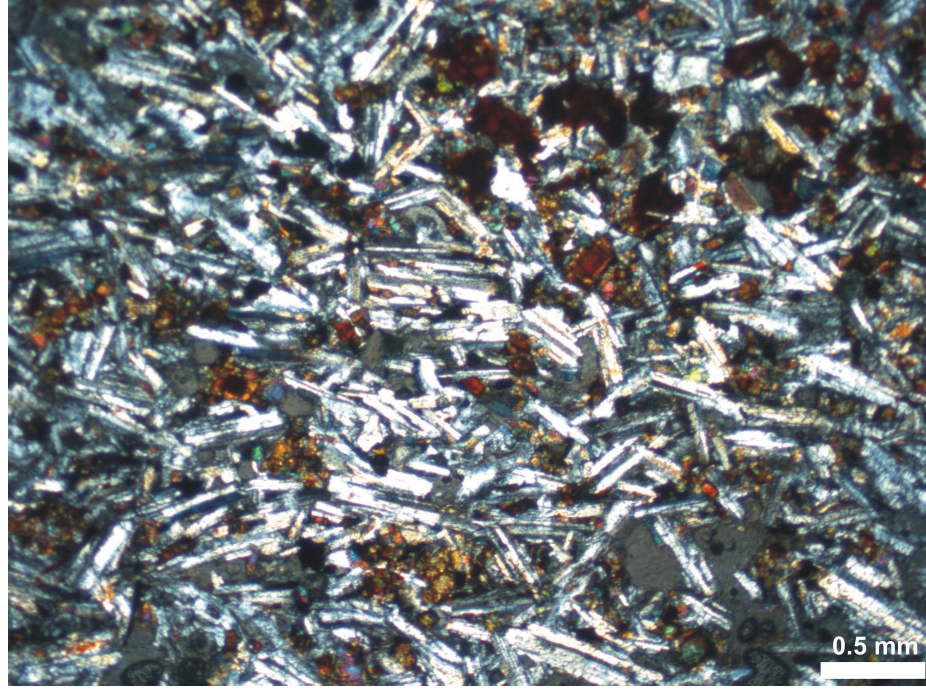
4.4.1.4. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit

Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit kayacı, intersertal dokulu, ince taneli olup matriksde ince taneler ve anhedral fenokristaller bulunmaktadır (Şekil 4.19. a ve b). Kayaç % 68 oranında matriksten ve % 18 oranında biyotitten oluşmakta, daha düşük oranlarda piroksen (% 8), Olivin (% 3) ve opak (3) mineralleri içermektedir. Mohs sertliği ise 5,8 dir. Kayacın minerallerinin tane boyutu dağılım grafiği Şekil 4.20’de görülmektedir. Mikroskobik çalışmalar neticesinde kayacın traki-andezit, bazaltik andezit bileşimli olduğu saptanmıştır.

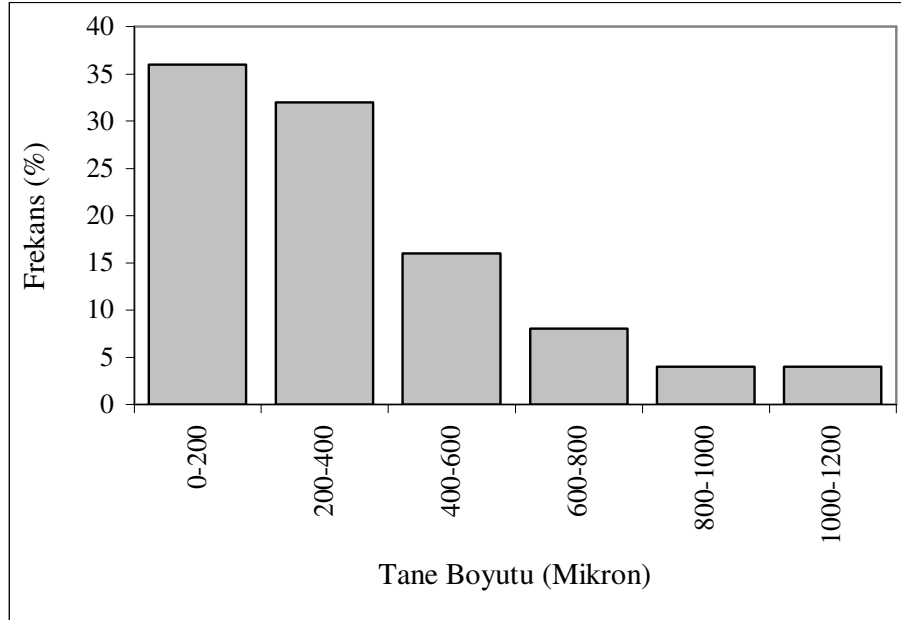
Camdan oluşan bir hamur içerisinde fenokristalleri labrador, sanidin ve piroksen kristalleri oluşturur. Labrador kristalleri otomorf ve subotomorf şekillidir. Sanidin kristalleri iri boyutludur. Akma yapısı hamurda son derece belirgindir. Alterasyon nedeniyle sekonder kuvars kristalleri oluşmuştur. Mafik minerallerin alterasyonu sonucu oluşan limonit ve hematit mineralleri hamuru kaplayarak kayaca kırmızı bir renk kazandırmıştır. Kayaç mikrolitik dokuya sahiptir.



Şekil 4.19.a. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezitinin Mikroskopik Fotoğrafı.



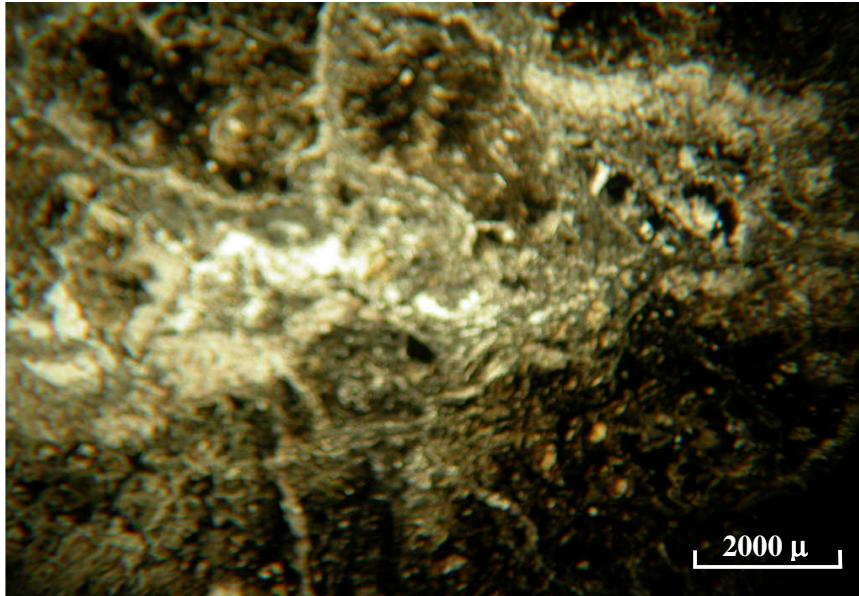
Şekil 4.19.b. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezitin Mikroskopik Fotoğrafl.



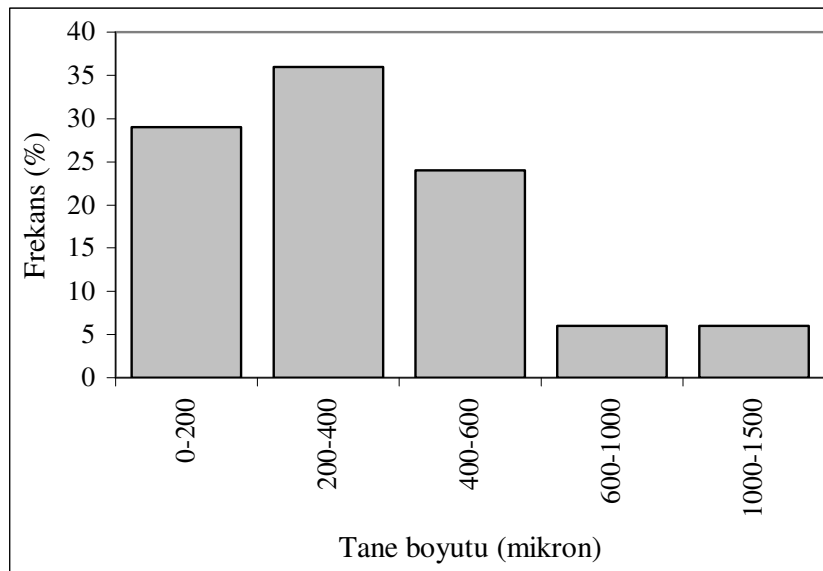
Şekil 4.20. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit için Tane Boyutu Dağılım Grafiğı.

4.4.1.5. Osmaniye Serpantin Breşi

Kayaç ofiyolitik breştir. İkincil çatlaklar kalsit ile dolmuş olup ofikalsit olarak adlandırılmıştır. % 83 oranında serpantin ile %16 oranında kalsitten oluşmaktadır. Kayacın mikroskopik fotoğrafı Şekil 4.21’de verilmiştir. Ortalama tane boyutu 0,35 mm. dir. Kayacın mohs sertliği 2,95 dir. Tane boyutu dağılım grafiği Şekil 4.22’de verilmektedir.



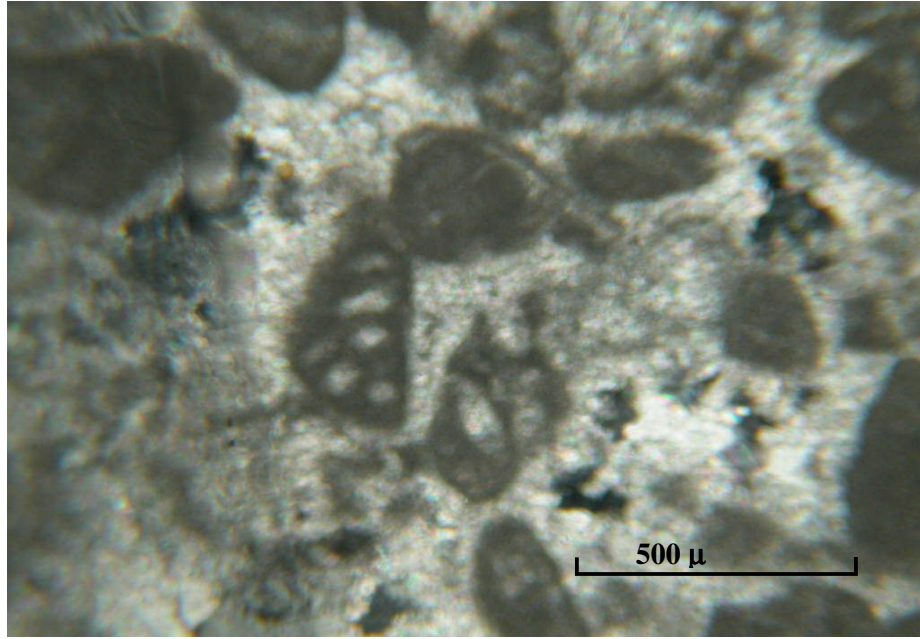
Şekil 4.21. Osmaniye Serpantin Breşinin Mikroskopik Fotoğrafı.



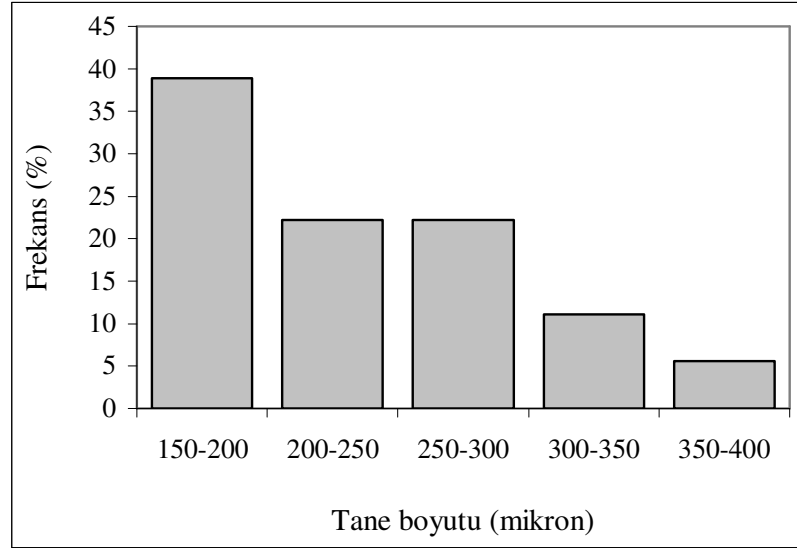
Şekil 4.22. Osmaniye Serpantin Breşi için Tane Boyutu Dağılım Grafiği.

4.4.1.6. Sivrihisar Kireçtaşı

Sivrihisar Kireçtaşı foraminiferli, pelletik dokulu kireçtaşıdır. Matriks mikrit yapıdadır. Kayaçta bol miktarda çatlak mevcut olup, bütün çatlaklar mikro – mezokristalin kalsit dolguları ile dolmuştur. Kayacın ince kesit fotoğrafı Şekil 4.23’de sunulmuştur. Kayaç ince taneli olup, ortalama tane boyutu 0,24 mm’dir. Şekil 4.24’deki tane boyutu dağılım grafiğinden de görüldüğü gibi minerallerin tane boyutları 150 – 300 mikron aralığında dağılım göstermektedir. Mikroskopik veriler kayacın pelbiomikrit kireçtaşı olduğunu göstermektedir.



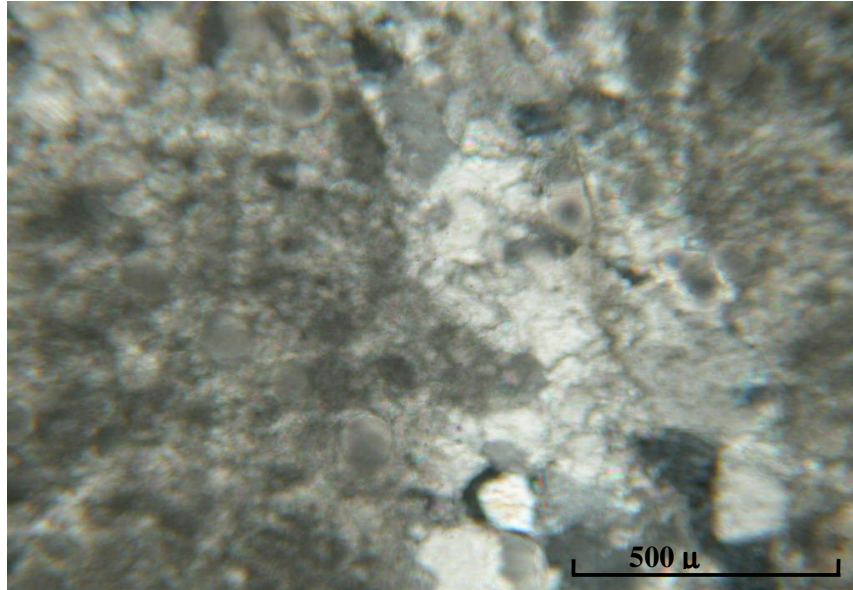
Şekil 4.23. Sivrihisar Kireçtaşının Mikroskopik Fotoğrafı.



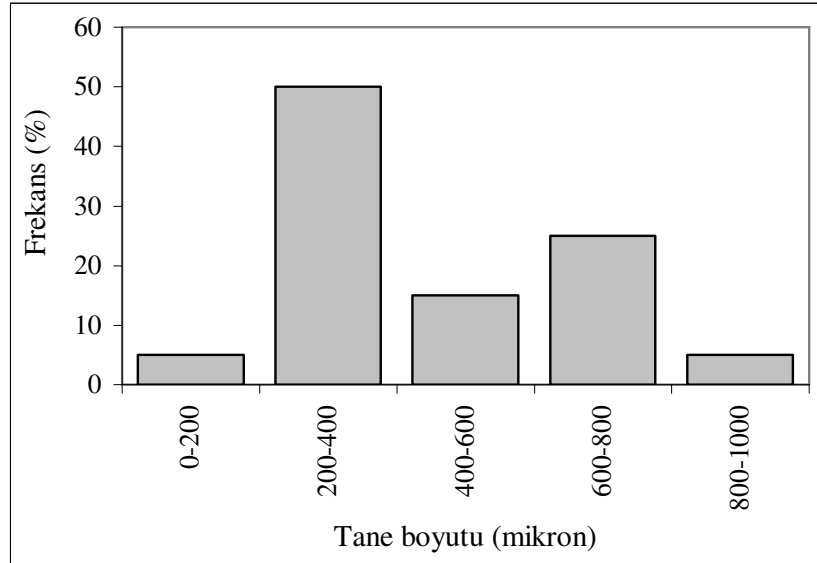
Şekil 4.24. Sivrihisar Kireçtaşı'nın Tane Boyutu Dağılım Grafiği.

4.4.1.7. Burdur Kireçtaşı

Kayaç çatlaklar, sparitik kalsitlerle doldurulmuş, rekristalize olmuş, ince taneli kireçtaşıdır (Şekil 4.25). Boşluklarda mezo – makrokristalin ikincil kalsit kristalleri izlenmiştir. Tane boyu dağılım grafiği Şekil 4.26'da görülmektedir. Ortalama tane boyutu 0,42 mm'dir ve taneler ağırlıklı olarak 200-300 mikron aralığında toplanmıştır.



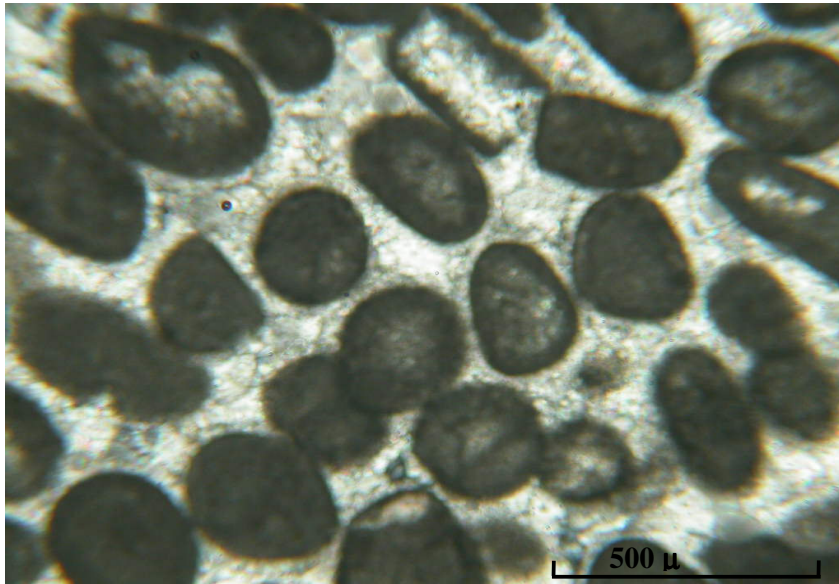
Şekil 4.25. Burdur Kireçtaşı'nın Mikroskopik Fotoğrafı.



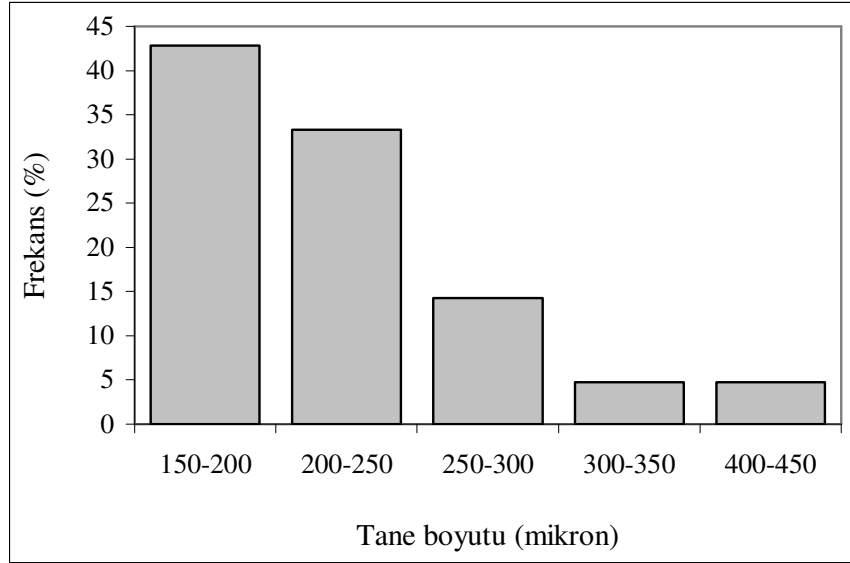
Şekil 4.26. Burdur Kireçtaşının Tane Boyutu Dağılım Grafiği.

4.4.1.8. Bilecik Kireçtaşı

Kayaç mikritik kalsitten oluşmuş ve kısmen yuvarlaklaşmış, kısmen yeniden kristallenmiş intraklast parçaları ve fosil kavkı kalıntılarından ibaret olup, bu taneler ince taneli sparit çimento ile bağlanmışlardır. Kayaç pelletli, sparitik kireçtaşı yapısı göstermektedir (Şekil 4.27). Tane boyutu ortalaması 0,25 mm olup, ince – orta tanelidir. Tane boyutu dağılımı Şekil 4.28.de görülmektedir.



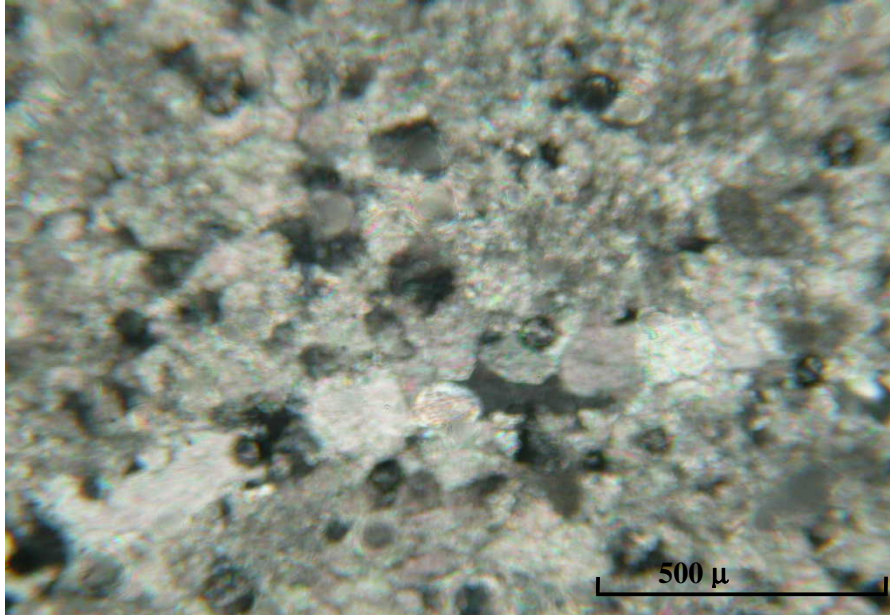
Şekil 4.27. Bilecik Kireçtaşının Mikroskopik Fotoğrafı.



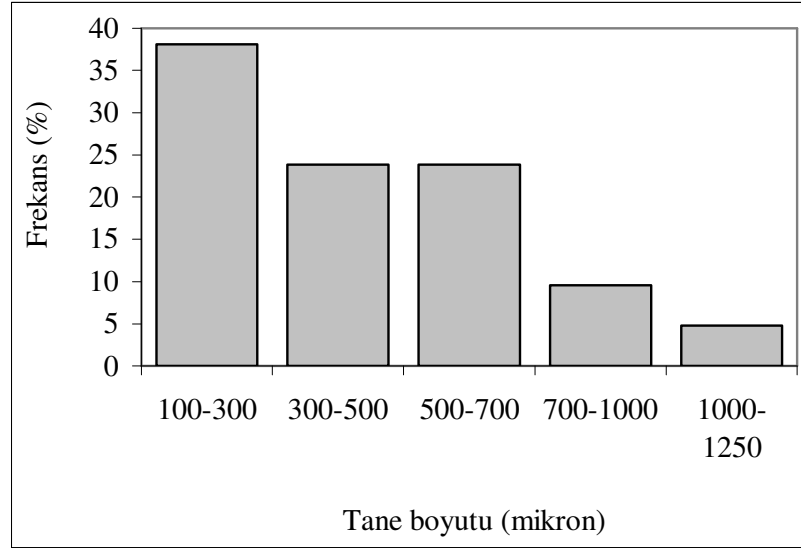
Şekil 4.28. Bilecik Kireçtaşının Tane Boyutu Dağılım Grafiği.

4.4.1.9. Korkuteli Mermeri

Korkuteli mermeri küçük kristalli, çoğunlukla metomorfik bir yapı göstermektedir (Şekil 4.29). Ortalama tane boyutu 0,47 mm'dir. Tanelerin büyük çoğunluğunun (% 38) boyutu 100-300 mikron aralığındadır. Tane boyutu dağılım grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir.



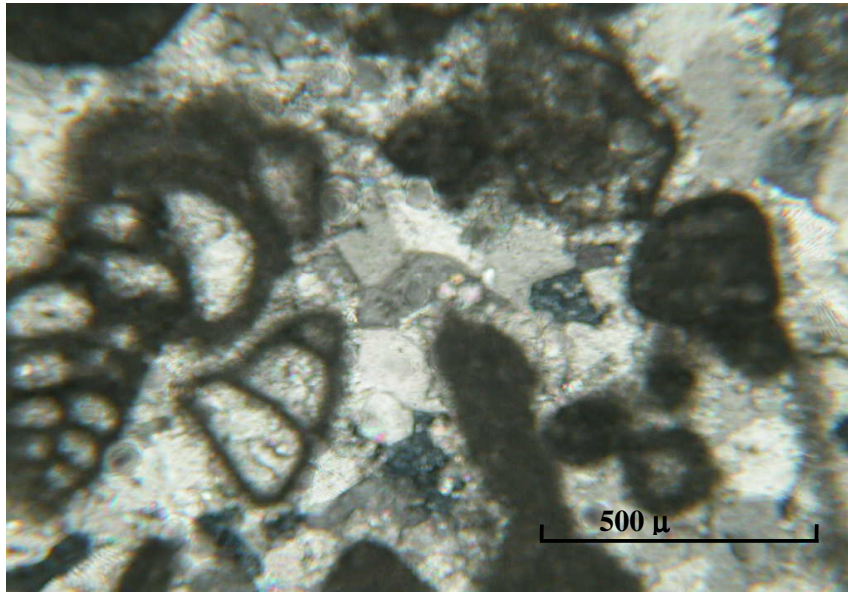
Şekil 4.29. Korkuteli Mermerinin Mikroskopik Fotoğrafı.



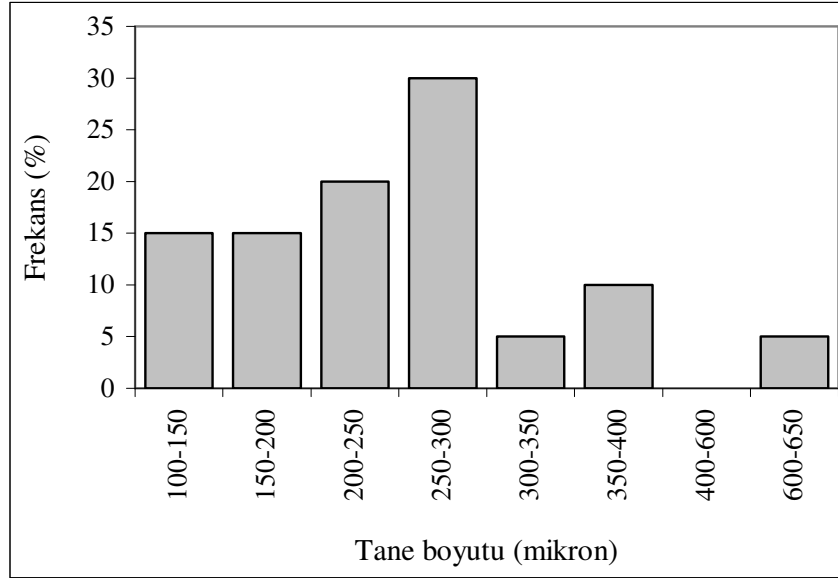
Şekil 4.30. Korkuteli Mermerine ait Tane Boyutu Dağılım Grafiği.

4.4.1.10. Söğüt Kireçtaşı

Söğüt Kireçtaşı foraminifer kavkılı, pelletli, sparitik, ikincil dolomit kristallerinden oluşan, dolomitik kireçtaşıdır (Şekil 4.31). İnce – orta tanelidir. Ortalama tane boyutu ise 0,26 mm’dir. Tane boyutu dağılım grafiği Şekil 4.32’de görülmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi minerallerin tane boyutu dağılımı büyük oranda 200-300 mikron aralığında toplanmıştır.



Şekil 4.31. Söğüt Kireçtaşı Kayacına ait İnce Kesit Resimleri



Şekil 4.32. Söğüt Kireçtaşı Kayacına Ait Tane Boyutu Dağılım Grafiği.

4.4.2. Fiziko Mekanik Özellikler

Kayaçların fiziko – mekanik özellikleri elmas diskli kesicilerin kesme verimi üzerinde oldukça önemli etkiye sahiptir. Kayaçların fiziko-mekanik özellikleri tek eksenli basma dayanımı, endirek çekme dayanımı (brezillian yöntemi), makaslama dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, young modülü, Mohs sertliği, Shore sclereskop sertlik indeksi, Schmidt darbe çekici, cerchar aşınma indeksi, Böhme yüzey aşınma indeksi, Schmiazek F-aşınma indeksi, porozite, yoğunluk, hacimce ve ağırlıkça su emme oranı ile kuru yoğunluk özellikleri laboratuarda yapılan deneylerle belirlenmiştir.

4.4.3. Yoğunluk, Kuru Yoğunluk, Su Emme Oranı, Porozite

Kayaç içerisindeki boşlukların varlığı, o kayacın dayanımını azaltırken deforme olabilme özelliğini de artırmaktadır. Kumtaşı ve karbonatlı kayaçlarda genellikle boşluk miktarı yüksek olmaktadır. Birçok kayaçta yoğunluk ile kuru yoğunluk ve porozite arasında oldukça anlamlı bir ilişki vardır. Bir kayacın yoğunluğu düşükse, genellikle boşluk oranı yüksektir (ISRM, 1981).

ISRM (1981) ve TS 699 (1987) standartlarına göre yapılan deneylerde her bir kayaç türü için en az 5 numune kullanılmıştır. Hesaplamalarda ise aşağıdaki formüllerden faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan kayaçlar için sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmektedir. Metomorfik kayaçların gözeneklilik oranları volkanik kayaçlara göre daha düşüktür.

$$\text{Kuru yoğunluk (gr/cm}^3\text{)}, \quad d_h : \frac{G_k}{V} \quad [4.1]$$

$$\text{Kütlece su emme oranı (m/m, \%)} \quad S_k : \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad [4.2]$$

$$\text{Hacimce su emme oranı (V/V, \%)} \quad S_h : \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad [4.3]$$

$$\text{Numunenin Özgül Kütlesi (g/cm}^3\text{)} \quad d_o : \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_{ps})} \quad [4.4]$$

$$\text{Görünür, Zahiri porozite (V/V, \%)} \quad P_g : \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad [4.5]$$

$$\text{Doluluk oranı (m/m, \%)} \quad k : \frac{d_h}{d_o} \times 100 \quad [4.6]$$

$$\text{Porozite (V/V, \%)} \quad P : \left(1 - \frac{d_h}{d_o} \right) \times 100 \quad [4.7]$$

Burada;

G_k : Değişmez kütleyle kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (g),

V : Deney numunesinin hacmi (cm³),

G_d : Numunenin doygun haldeki kütlesi (g),

G_k : Değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulmuş numunenin kütlesi (g),

G_{ds} : Doygun haldeki numunenin su içindeki kütlesi (g),

G_p : Piknometre kütlesi (g),

G_{pn} : (Piknometre + Numune) kütlesi (g),

G_{ps} : Su ile dolu piknometrenin kütlesi (g),

G_{pns} : (Piknometre + Numune + Su) kütlesi (g),

Çizelge 4.2. Kayaçların Yoğunluk, Su Emme Oranı ve Porozite Değerleri.

Kayaç Cinsi	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)	Hacimce Su Emme Oranı (%)	Porozite (%)
Korkuteli Bej Mermer	2,71	2,70	0,22	0,59	0,69
Bilecik Bej Kireçtaşı	2,73	2,73	0,17	0,46	0,31
Sivrihisar Bej Kireçtaşı	2,67	2,66	0,34	0,91	0,45
Osmaniye serpantin breş	2,58	2,54	1,83	4,65	1,21
Söğüt Bej kireçtaşı	2,66	2,66	0,49	1,30	0,52
Burdur Bej kireçtaşı	2,67	2,53	2,04	5,16	0,42
Afyon Bazaltik Andezit	2,21	2,14	5,13	10,98	15,78
Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit	2,28	2,19	5,79	12,70	12,52
Kayseri Erkilet Bazalt	2,62	2,59	1,65	4,27	6,38
Afyon Riyolit Tüf	1,62	1,34	21,86	29,22	42,02

4.4.4. Tek Eksenli Basma Dayanımı

Elmaslı testereler kullanılarak yapılan kesme işlemi soket üzerindeki elmasın kayacı deformasyona uğratarak, ufak çapta talaşlar koparması sureti ile gerçekleşmektedir. Tek eksenli basma dayanım deneyi kayaçların dayanım, deformasyon ve yapısal karakteristiklerinin belirlenmesinde oldukça geniş kullanım alanı bulan bir deney yöntemidir.

Deney, boy/çap oranı 2,5 - 3 olan alt ve üst yüzeyleri düzeltilmiş silindirik numunelerle yapılmaktadır. Bu numuneler ISRM (1981) ve TS 699 (1987) de belirtildiği şekilde çap ve uzunlukları ölçülerek hidrolik presin altına yerleştirilir. Yük, basınç gerilmesi (cm^2) alan üzerine saniyede yaklaşık 10 kgf – 12 kgf artacak şekilde ve çarpmasız olarak deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanır. Yük göstergesinden okunan en büyük yük kaydedilir. Numunenin tek eksenli basma dayanımı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_c = \frac{P}{A}, \quad [4.8]$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basma dayanımı (N/mm^2 , kgf/cm^2 , MPa),

P: Numunenin kırılma yük değeri (N, kgf),

A: Numunenin yüzey alanı (mm^2 , cm^2)

Deneylerde hidrolik pres olarak otomatik kontrollü ELE Auto test 3000 kN kullanılmış (Şekil 4.33) ve yükleme hızı 0,5 KN/sn alınmıştır. Her bir kayaç için en az yedi adet 44 mm çapında ve boy/çap oranı 2 – 2,5 olan karot numuneler kullanılmıştır. Tek eksenli basma dayanımı deneyinde kırılan 7 adet numuneden en yüksek ve en düşük deney sonuçları atılmış, geriye kalan 5 sonucun aritmetik ortalaması alınmıştır (Çizelge 4.3).



Şekil 4.33. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deney Düzenegi.

4.4.5. Endirek Çekme Dayanımı (Brazilian Deneyi)

Çekme dayanımı, kayaçların çekme gerilmelerine karşı göstermiş oldukları dirençtir. Kayaçların çekme dayanımları doğrudan veya dolaylı (Brazilian) çekme deneyleri ile ölçülebilmektedir. Endirek çekme deneyinin yapılması daha kolay ve pratik olduğu için genellikle endirek çekme deneyi uygulanmaktadır. Çekme deneyi sonuçları yaklaşık olarak basma dayanım değerlerinin sekizde biri civarında olmaktadır.

Brazilian çekme deneyinde, düşey yönde uygulanan yük numune kesiti üzerine yatay yönde bir çekme gerilmesi uygulanmasını sağlamaktadır. Bu deney tek eksenli basınç deneyinde kullanılan pres ile yapılmakta ve deney numunelerinin uzunluk / çap oranları 1 ila 0,5 arasında olmaktadır. Ancak numuneler presin altına dik olarak değil de, yatay bir şekilde yerleştirilmektedir. Deney sırasında yükün kayaç üzerine homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak için numune ile presin plakalarının arasına özel plakalar yerleştirilmektedir. Bu plakaların bir tarafı deney numunesine, en fazla deney numunesinin çapının 1/6'sı kadar genişlikte bir yay

boyunca temas edecek şekilde kavislendirilmiş biçimde olmalıdır. Plakaların yarıçapı örnek yarıçapının 1,5 katıdır (Şekil 4.34). Yük, darbesiz ve sürekli olacak şekilde, sabit bir hızla deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanır. Yük miktarı, kırılma süresi 1 ila 10 dakika arasında olacak şekilde ayarlanır. Numune kırıldığı an pres göstergesinde okunan maksimum değer (P) kaydedilir. Daha sonra aşağıdaki eşitlik yardımı ile kayacın çekme dayanım değeri hesaplanır.

$$\sigma_t : \frac{2P}{\pi DL} \quad [4.9]$$

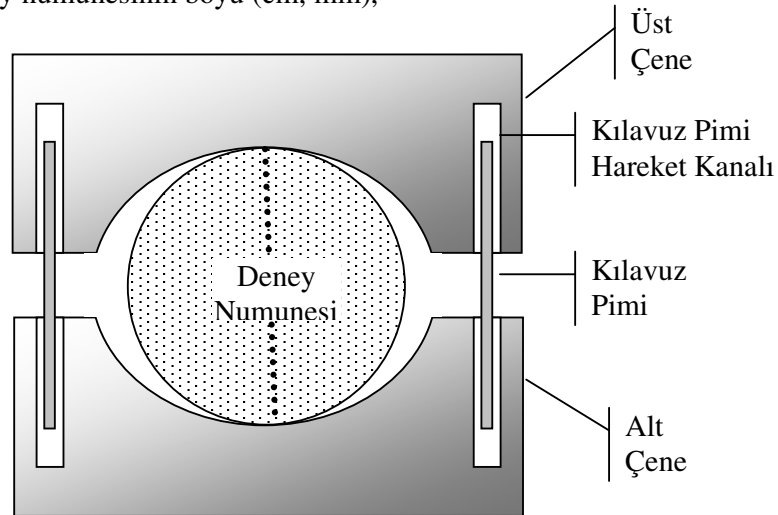
Burada;

σ_t : Brazilian çekme dayanımı (kgf/cm², N/mm²),

P: Kırılmaya sebep olan en büyük yük (kgf, N),

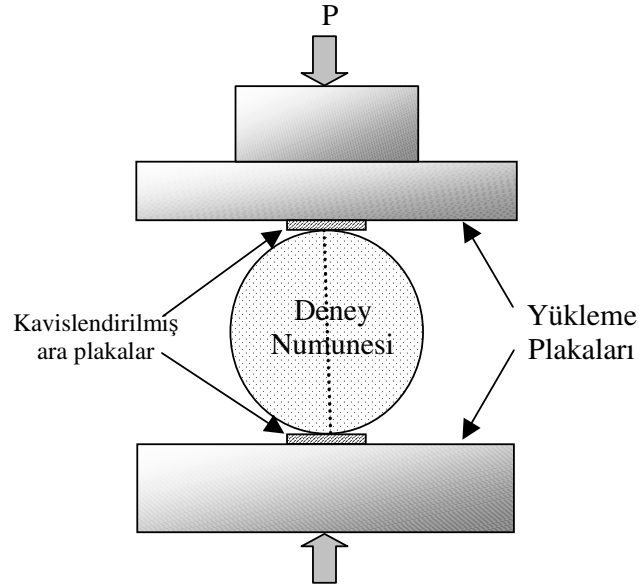
D: Deney numunesinin çapı (cm, mm),

L: Deney numunesinin boyu (cm, mm),



Şekil 4.34. Brazilian Deney Düzenğinde Numune ve Yükün Homojen Dağılmasını Sağlayacak Olan Plakaların Görüntüsü.

Deney Sonuçları Çizelge 4.3. de, deney düzeneğinin tamamı ise Şekil 4.35.'de verilmektedir.



Şekil 4.35. Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyinde Yükleme Düzenegi.

4.4.6. Elastisite (Young) Modülü,

Elastisite modülü, düşey yanal gerilme değişiminin, düşey birim deformasyona oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

Deney tek eksenli basma dayanım deneyinde numuneye yükleme yapılırken, belirli aralıklarla boydaki değişim 0,001 mm hassasiyetle ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra aşağıdaki formüller yardımı ile basınç gerilmeleri ve boy değişim oranı tespit edilmiştir.

$$\sigma : \frac{P}{A} \quad [4.10]$$

$$\varepsilon : \frac{\Delta L}{L} \quad [4.11]$$

Burada;

σ : Basınç gerilmeleri (kgf/cm², N/mm², MPa),

P: Okuma yapılan yükler (kgf, N),

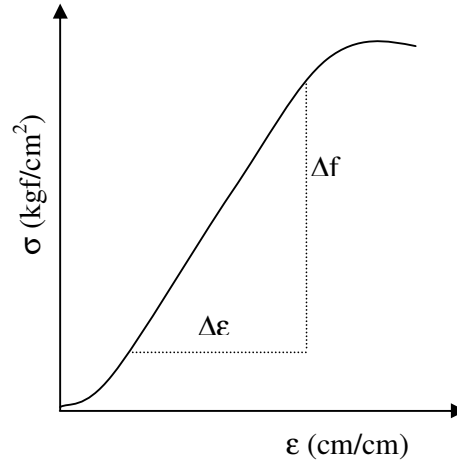
A: Deney numunesinin basınç uygulanan yüzey alanı (cm², mm²),

ΔL : Boy değişimleri (cm, mm)

L: Deney numunesinin başlangıç boyu (cm, mm),

ϵ : Boy değişim oranı.

Bulunan ϵ değerleri x eksenine, σ değerleri ise y eksenine gelecek şekilde örnek olarak çizilmiş olan Şekil 4.36.'daki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.36. Gerilme – Birim Deformasyon Grafiği.

Yukarıdaki grafik yardımı ile, formül 4.12 kullanılarak kayacın elastisite modülü (E) hesaplanmıştır.

$$E : \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad [4.12]$$

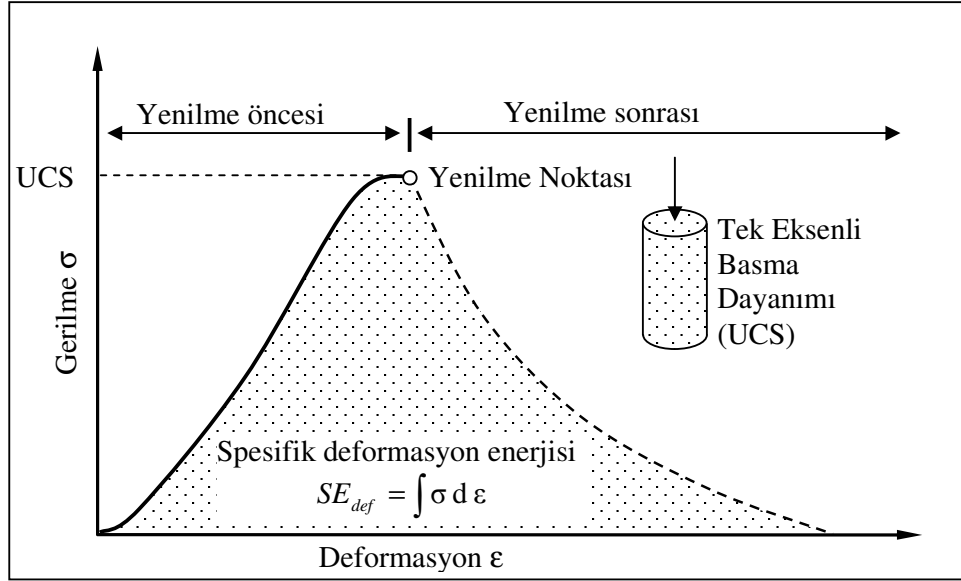
Deney numuneleri için hesaplanan elastisite modülü değerleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımı, Endirek (Brezillian) Çekme Dayanımı, Young (Elastisite) Modülü Değerleri.

Kayaç Cinsi	Tek Eksenli Basma D. (kgf/cm ²)	Endirek (Brezillian) Çekme D. (kgf/cm ²)	Young (Elastisite) Modülü (GPa)
Korkuteli Bej Mermer	565,4	51,8	28,6
Bilecik Bej Kireçtaşı	657,1	56,3	24,2
Sivrihisar Bej Kireçtaşı	468,5	51,7	23,1
Osmaniye Serpantin Breş	328,2	33,3	15,2
Söğüt Bej Kireçtaşı	592,8	49,5	23,9
Burdur Bej Kireçtaşı	546,4	36,6	19,6
Afyon B. Andezit	358,7	31,8	7,5
K. Erkilet B. Andezit	380,7	29,0	7,9
K. Erkilet Bazalt	438,0	31,4	14,3
Afyon Riyolit Tüf	42,1	0,5	1,3

4.4.7. Spesifik Deformasyon Enerjisi (SE_{def}).

Spesifik deformasyon enerjisi (SE_{def}), kesilebilirlik ve delinebilirlikle ilgili kayanın yeni bir mekanik özelliği olarak tanımlanmıştır. Strain energy, spesifik destruction energy, destruction work gibi İngilizce kavramlarla da ifade edilmektedir (Thuro ve Spaun, 1996; Thuro, 1997; Thuro ve Plinninger, 1999). Bu metod temel mekanik kaya karakteri ile kesme verimliliği arasındaki ilişkinin modellenmesini veya daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Şekil 4.37’de gösterildiği gibi, spesifik deformasyon enerjisi (SE_{def}) tek eksenli basma dayanımında gerilme – deformasyon eğrisinin altındaki alandan tahmin edilmektedir. SE_{def} bazı kayaç tiplerinde sondaj prosesinin modellenmesinde ve ilerleme hızının tahmininde de kullanılmaktadır SE_{def} ile Sondaj ilerleme hızı arasında oldukça önemli bir ilişkinin varlığı (R^2 : 0,89) belirlenmiştir (Thuro ve Spaun, 1996). Bu nedenle, SE_{def} kesilebilirlik, delinebilirlik ve kaya çalışma proseslerinin araştırılması için kayanın önemli bir mekanik özelliğidir.



Şekil 4.37. Spesifik Deformasyon Enerjisinin Tek Eksenli Basma Dayanımı Kullanılarak Gerilme-Deformasyon Grafiğinden Belirlenmesi.

SE_{def} aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır

$$SE_{def} = \int \sigma d\epsilon \quad [4.13]$$

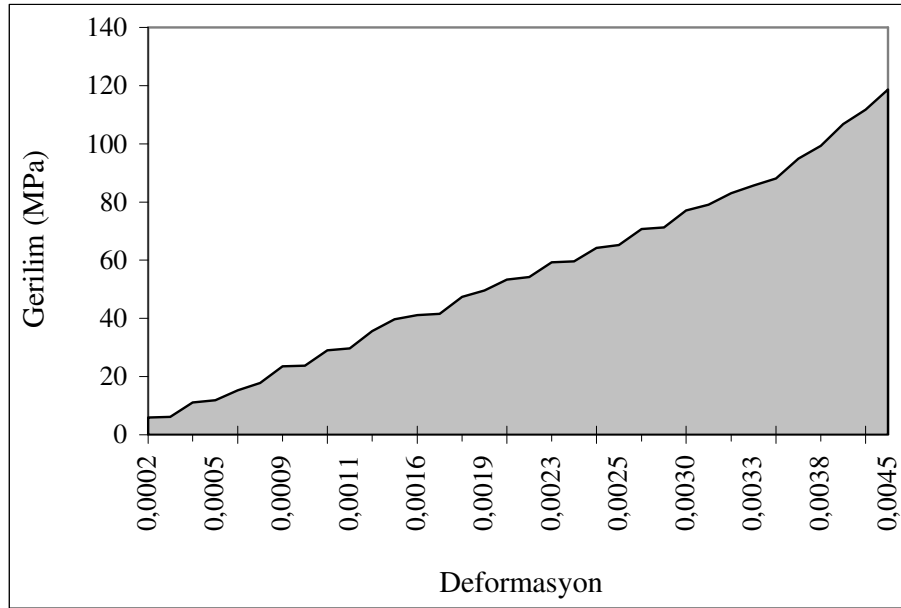
Burada,

SE_{def} : Spesifik Deformasyon Enerjisi (kJ/m^3)

σ : Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa),

ϵ : Deformasyon miktarı

SE_{def} geniş anlamda, dayanım, kesilebilirlik ve delinebilirliğin tahmininde önemli bir kriter olarak kullanılmaktadır. Bilecik bej kireçtaşı için örnek olarak verilen grafikteki taranmış alan bir kayanın kırılması veya yenilmesi için gerekli olan spesifik deformasyon enerjisinin (SE_{def}) ölçümüdür (Şekil 4.38). Bu taranmış alan bir kaya örneğinin depolanmış bağ veya yapışma enerjisini temsil etmektedir. Bu çalışmada kullanılan kayaçların SE_{def} değerlerinin tespiti için çizilen grafikler Ek. 4.1 – 4.9 da verilmektedir. Hesaplanan SE_{def} değerleri ise Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.38. Bilecik Kireçtaşı İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.

Çizelge 4.4. Kayaçların Spesifik Deformasyon Enerji Değerleri

Kayaç Cinsi	SE_{def} (kJm ⁻³)
Korkuteli Bej Mermer	107,6
Bilecik Bej Kireçtaşı	156,4
Sivrihisar Bej Kireçtaşı	91,8
Osmaniye Serpantin Breşi	58,1
Söğüt Bej Kireçtaşı	116,7
Burdur Bej Kireçtaşı	57,2
Afyon B. Andezit	94,3
K. Erkilet B. Andezit	130,7
K. Erkilet Bazalt	102,1
Afyon Riyolit Tüf	6,8

4.4.8. Çift Makaslama Dayanımı

Kayaçların dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer deney yöntemi de makaslama dayanımıdır. Bu dayanım; kayacın makaslama gerilmeleri karşısındaki direncidir. Deneyin amacı kaya numunelerinin en yüksek ve kalıcı direk makaslama dayanım değerlerinin makaslama düzlemine dik olarak etki eden gerilmelerin fonksiyonu olarak belirlemektir (Yaşar, 2001). Ayrıca bu deney ile kayaçların kohezyon ve içsel sürtünme açıları ve kayacın kesme dayanımı da etkili olmaktadır (Waltham, 1994). Böylece yapılması ve sağlıklı veri alınması sorunlu bir deney olan üç eksenli basma dayanım deneyinden elde edilebilecek sonuçlara benzer sonuçlar alınacağı tahmin edilmiştir.

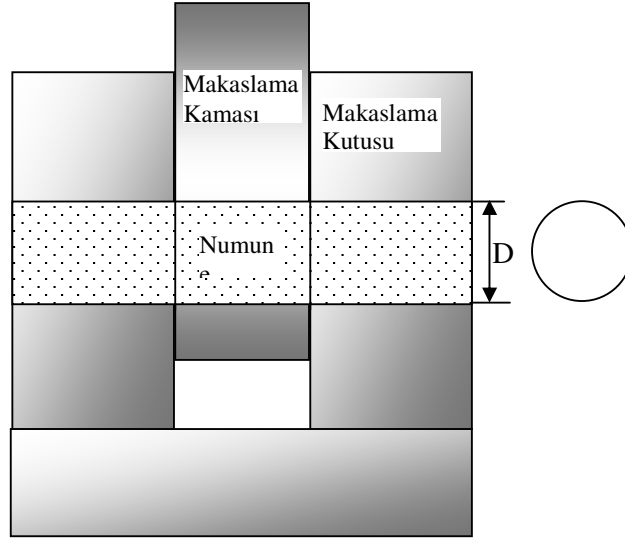
Çift makaslama dayanım deneyi, Şekil 4.45.'de gösterilen özel olarak imal edilmiş çift makaslama kutusu ve tek eksenli basma dayanımının yapıldığı hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numune makaslama kutusu içersindeki numune kanalına yerleştirilmiş olup, kayaç üzerine numune kırılıncaya kadar baskı uygulanır. Kırıldığı an maksimum yük kaydedilerek aşağıda belirtilen formül 4.14. yardımı ile kayaç için geçerli olan makaslama dayanım değerleri hesaplanır.

$$\tau = \frac{P}{2A} = \frac{2P}{\pi D^2} \quad [4.14]$$

Burada:

- τ : Sağlam kayacın makaslama dayanımı (MPa),
- P: örneğe uygulanan en yüksek makaslama yükü (kN),
- A: Silindirik örneğin dairesel kesit alanı (mm²),
- D: Örneğin çapı (mm)

Her bir kayaç için en az üç adet numune kullanılarak deneyler yapılmış ve Makaslama dayanım sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.45. Çift Makaslama Kutusunun Şematik Gösterimi.

4.4.9. Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı; standart boyutlardaki plaka mermerlerin belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mermerlerin kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda plakalar şeklinde olduğundan eğilme direnci son derece önemli bir parametredir. Çünkü; plaka kalınlığı, plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe mermerin eğilme dayanımına göre tespit edilebilmektedir (Şentürk ve diğerleri, 1996).

Eğilme dayanım deneyi, 30x100x200 mm boyutunda numunelerle TS 699 (1987) da belirtilen şekilde her bir kayaç için en az beş adet numune ile Şekil 4.46.'da gösterilen deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçları Formül 4.15 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.5'de verilmiştir.

$$\sigma_{eg} = \frac{3P_k l}{2bh^2} \quad [4.15]$$

Burada;

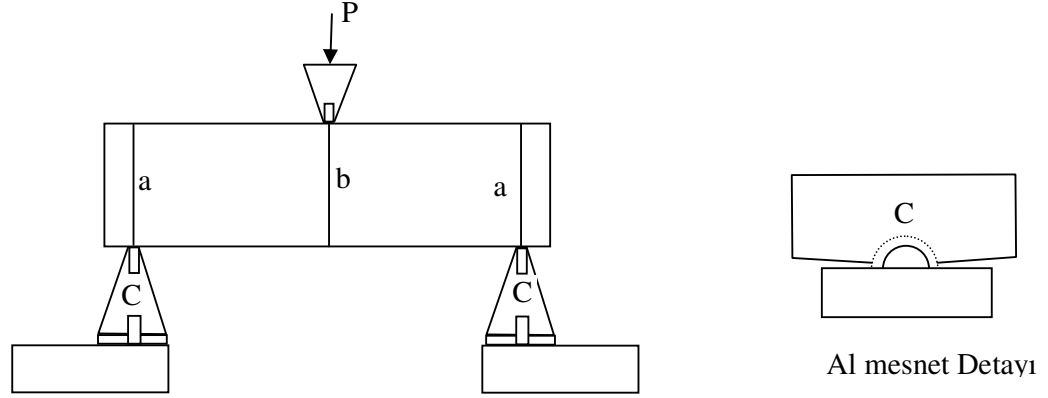
σ_{eg} : Kayacın eğilme mukavemeti (kgf/cm², N/mm²),

P_k : Kırılmaya neden olan en büyük yük (kgf, N),

l : Deney numunesinin alt mesnetler arasında kalan boyu (cm, mm),

b : Deney numunesinin genişliği (cm, mm),

h : Deney numunesinin kalınlığı (cm, mm),



a: Dayanak çizgisi, C: Alt mesnetler, b: Merkez çizgisi

Şekil 4.46. Doğal Yapı Taşlarında Eğilme Mukavemeti Tayininde Kullanılan Deney Düzenegi.

4.4.10. Darbe Dayanımı

Darbe dayanımı, standart boyutlardaki kayaç numunesinin belirli bir doğrultuda gelen darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Bu deneyde 40x40x40 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır.

Deneyin yapılışı ise; bu deney için özel olarak imal edilmiş ve Şekil 4.47.'de gösterilen deney düzeneğinde, ilgili bölmeye numune yerleştirilir ve numunenin beher cm^3 'ünün üzerine 50 kg ağırlığındaki tokmağın 2 kgf/cm^2 'lik bir darbe işi elde edilecek şekilde, Formül 4.16. yardımıyla hesaplanan yükseklikten (40x40x40 mm boyutundaki numune için 2,56 cm) numune üzerine düşmesi sağlanır. Birinci darbeden sonra numunede kırılma yoksa, düşme yüksekliği bir önceki yükseklikten “h” kadar artırılarak deney numune kırılancaya kadar tekrarlanır.

$$h = \frac{2}{50} \times V \quad [4.16]$$

Burada;

h: Tokmağın düşme yüksekliği (cm),

V: Deney numunesinin hacmi (cm^3),

Deney sonuçları Formül 4.17. kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan kayalar için hesaplanan darbe dayanım sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Aynı kayaç için farklı numunelerle yapılan deneylerde, kayaç içersindeki yapısal hatalardan dolayı, farklı darbe sayısında kırılan numune olduğunda deney tekrarlanmış, sonraki yapılan deney daha önceki iki deneyle aynı sonuç verdiğinde farklı sonuç veren numune hata olarak kabul edilmiş ve hesaplama katılmamıştır. .

$$D = \frac{PH_1 + PH_2 +PH_n}{V} \quad [4.17]$$

Burada;

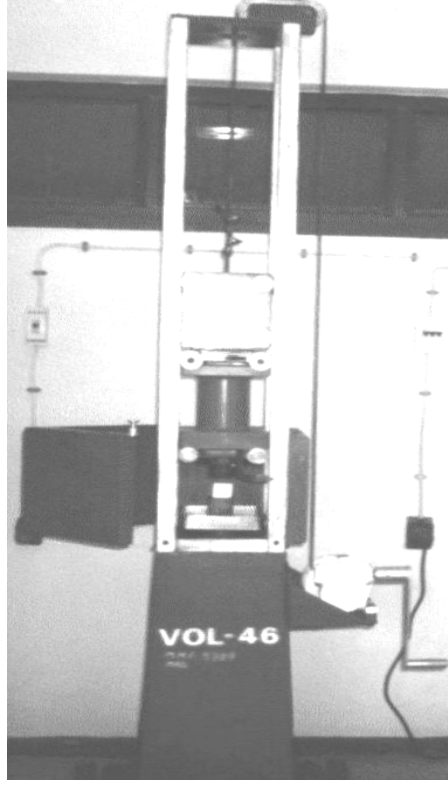
D: Kayacın darbe mukavemeti (kgfcm/cm³, Nmm/mm³),

P: Darbe mukavemet deney cihazının tokmak ağırlığı (50 kg),

H₁, H₂, H_n: Tokmanın düşme yükseklikleri (cm, mm)

Çizelge 4.5. Çift Makaslama, Eğilme ve Darbe Dayanım Deneylerinin Sonuçları.

Kayaç Cinsi	Makaslama Dayanımı (kgf/cm ²)	Eğilme Dayanımı (kgf/cm ²)	Darbe Dayanımı (kgf/cm ²)
Korkuteli Bej Mermer	180,6	114,2	6,0
Bilecik Bej Kireçtaşı	197,2	106,9	6,0
Sivrihisar Bej Kireçtaşı	132,0	96,1	6,0
Osmaniye Serpantin breşi	147,1	69,0	6,0
Söğüt Bej Kireçtaşı	256,6	183,8	6,0
Burdur Bej Kireçtaşı	219,0	152,6	8,0
Afyon B. Andezit	120,7	99,0	12,0
K. Erkilet B. Andezit	152,4	139,2	12,0
K. Erkilet Bazalt	198,7	188,3	12,0
Afyon Riyolit Tüf	21,4	32,6	6,0



Şekil 4.47. Doğal Yapı Taşları İçin Darbe Mukavementi Deney Düzenegi.

4.4.11. Kayaçların Sertlik Özellikleri:

Sertlik kayalarda çentik açmaya, çizmeye karşı gösterilen direncin, mukavemetin ölçümü olarak tanımlanabilir. Sertlik herhangi bir materyalin temel özelliğinden ziyade bu materyalin davranışı olarak düşünülmelidir (ISRM, 1981). Mineral sertliği bir vektör özelliğine sahip olup, sertlik değeri kristal eksenlerinin yönü ile değişmektedir. Genel olarak, kuvars ve elmas gibi mineraller kuvvetli kovalant bağa sahip olup, deforme olmaları oldukça zordur. Ancak grafit ve talk gibi mineraller zayıf Wan Der Waals bağları ile bağlandıklarından kolayca deforme olmaktadır. Kayanın sertliği, onları oluşturan mineral tipine, mineral miktarına ve taneler arasındaki bağ dayanımıyla ilişkilidir. Kesme işleminde, kesici testerenin performansını kayacın sertliği büyük ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı, kayaçların sertliklerinin belirlenmesi, kesici testerelerin ve diğer makine

ekipmanlarının yıpranma ve ekonomik ömürlerinin belirlenmesi açısından hayati öneme sahiptir.

Kayaç sertliklerini değerlendirmede genellikle üç tip test kullanılmaktadır. Bunlar;

- Mineralojik testler (Mohs, Rosiwall sertlikleri gibi),
- Çizme, çentik atma testleri (Brinell, Rockwell, Knoop, Vickers sertlikleri gibi),
- Dinamik testler (Shore Sclerescop, Schmidt Çekici gibi)

İlk test petrografik, son iki test ise mekanik metotlardır. Genelde kazı - kesme verimliliğinin değerlendirilmesinde mineralojik ve dinamik testler kullanılmaktadır. Vickers, Brinell ve Rockwell testleri standart metalürjik sertlik testleri için geliştirilmiş olup, daha çok insan yapımı homojen materyaller için (metallerin ve alaşımların sertliğinin belirlenmesinde) kullanılan yöntemlerdir (Ersoy, 2002).

Bu çalışmada kayaçların yüzey sertliklerinin belirlenebilmesi amacı ile petrografik inceleme ile gerçekleştirilen mohs sertlik özellikleri, mekanik yöntem ve deneysel olarak gerçekleştirilen Shore Sclerescop Sertlik indeksi deneyi ile Schmidt darbe çekici deneyleri yapılmıştır.

4.4.11.1. Mohs Sertliği

Mohs sertliği; jeologlar ve mineraloglar tarafından saha uygulamasının basitliği nedeni ile en çok kullanılan sertlik indeksidir. Mohs sertlik sınıflaması standart 10 mineralin sertlikleri baz alınarak düzenlenmiş olup, en yumuşak mineral olarak talk, en sert mineral olarak da elmas alınarak, mineraller yumuşaktan sertte doğru sıralanmışlardır (Çizelge 4.6). Mohs skalasında bir önceki gelen mineralden (örneğin 5) bir sonraki mineral (örneğin 6) iki kat daha fazla serttir (Ersoy, 2002). Mohs sertliğinin dezavantajı ise kayacın sertliğinin sadece kayacı oluşturan minerallerin sertliği cinsinden belirlenmesidir. Kayaçtaki mineraller arasındaki bağ karakteristiği ise ihmal edilmektedir.

Çizelge 4.6. Mohs Sertlik Sınıflaması

<i>Mineral</i>	<i>Kimyasal Bileşimi</i>	<i>Mohs Sertlik</i>
Talk	$Mg_3(OH)_2Si_4O_{10}$	1
Jips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2
Kalsit	$CaCO_3$	3
Flüorit	CaF_2	4
Apatit	$Ca_5F(PO_4)_3$	5
Feldspat	$KAlSi_3O_8$	6
Kuvars	SiO_2	7
Topaz	$Al_2(F,OH)_2SiO_4$	8
Korund	Al_2O_3	9
Elmas	C	10

Minerallerin mohs sertlikleri, çizilmeye karşı göstermiş oldukları dirençle belirlenmektedir. Yani sertliği 5 olan bir mineral serliği 5 den yüksek olan kayaç tarafından çizebilirken, sertliği 5 den düşük olan kayaç ise çizemez. Tek bir mineralden oluşmayan kayaçlarda mohs sertliğinin hesaplanmasında kullanılan yöntem kayacı oluşturan mineraller ve miktarları ince kesitler yardımı ile belirlenerek, Formül 4.18 yardımı ile ortalama Mohs sertlik değeri hesaplanmaktadır.

$$H_{ort} = \sum ph \quad [4.18]$$

Burada:

H_{ort} : Ortalama mohs sertliği,

P: Kayacın mineral içeriği (%),

h: Kayacı oluşturan minerallerin mohs sertliği.

Buna göre kayaçlar için hesaplanan Mohs sertlik değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Mermer ve kireç taşlarındaki değer farklılıkları, kayacın metamorfizma derecesi ve içerdği safsızlıklardan dolayı farklılık göstermektedir.

Çizelge 4.7. Kayaçların Mohs Sertlik Değerleri

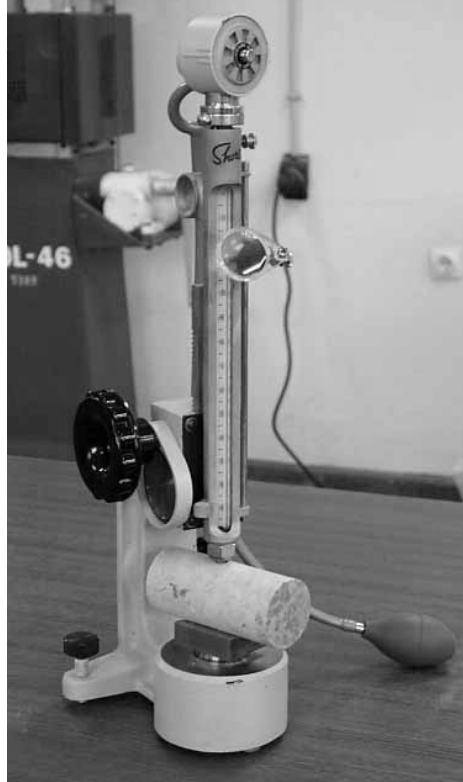
Kayaç Tipi	Mineral	Miktar (%)	Mohs Sertliği	Ortalama Mohs Sertliği
Kayseri Erkilet Bazalt	Plajiyoklaz	73,9	6,0	6,01
	Piroksen	22,9	6,0	
	Olivin	2,0	6,5	
	Opak	1,1	6,0	
Afyon Bazaltik Andezit	Plajiyoklaz	18,8	6,0	5,12
	Piroksen	2,5	6,0	
	Matriks	79,4	5,6	
Afyon Riyolit Tüf	Fenokristal	17,1	6,0	5,83
	Matriks	82,9	5,8	
Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit	Piroksen	8,4	6,0	5,84
	Biyotit	17,7	2,5	
	Olivin	3,3	6,5	
	Matriks	67,7	5,6	
	Opak	2,7	6,0	
Osmaniye Serpantin Breşi	Serpantin	83,0	3,0	2,95
	Kalsit	16,0	3,0	
Sivrihisar Kireçtaşı	Kalsit	100	3,0	3,63
Burdur Kireçtaşı	Kalsit	100	3,0	3,71
Bilecik Kireçtaşı	Kalsit	100	3,0	3,92
Korkuteli Mermeri	Kalsit	100	3,0	3,00
Söğüt Kireçtaşı	Kalsit	100	3,0	3,55

4.4.11.2. Shore Scelerscope Sertlik İndeksi

Shore scelerscope sertliği; metallerin sertliğinin belirlenmesi amacı ile tasarlanmış bir deney yöntemi olmasına rağmen diğer malzemeler içinde oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. ISRM (1981) tarafından önerilen scelerskop deney düzeneği, silindirik bir cam muhafaza içersine yerleştirilen 2,3 gr. ağırlığında ve 5,73 mm uzunluğundaki tungsten karbit'ten imal edilmiş metal çubuğun ucuna ufak boyutta bir elmas ucun monte edilmesi ile oluşturulmuştur. Shore scelerscop deney düzeneği Şekil 4.48. de gösterilmektedir. Bu metal çubuk sabit bir

yükseklikten numune üzerine düşürülmekte ve cisim numune yüzeyine temas ederek sıçramaktadır. Cismin bu geri sıçrama mesafesi, yüksekliği belirli eşit bölmelere ayrılmış olan skaladan okunur. Bu okunan değer malzemenin Shore sertliğini vermektedir. Bu deneyin yapılışı ile ilgili daha detaylı açıklamalar Cassapi (1987) ve Rogers (1991) de bulunmaktadır.

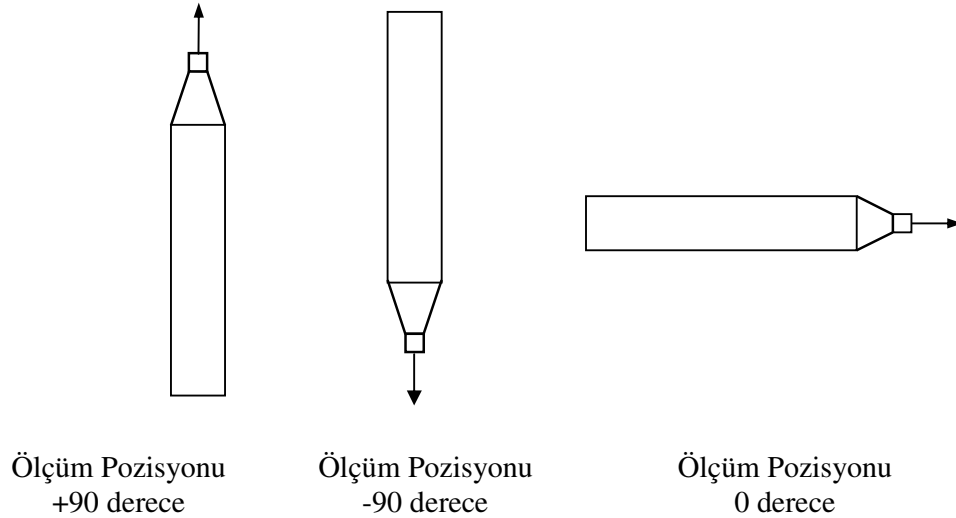
Deneyler her bir kayaç numunesi için 49 mm çapında ve 100 mm uzunluğundaki karot numuneleri ile en az 40 okuma yapılacak şekilde yapılmış ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Deney yapılırken birden fazla mineralden oluşan kayaçlarda her bir mineralden alınan okuma değerleri, minerallerin kayaç içerisindeki minerallere denk gelecek şekilde sayısal olarak dağıtılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kayaçlar için Shore sclerescop sertlik indeks değerleri Çizelge 4.8’ de verilmektedir.



Şekil 4.48. Shore Sclereskope Sertlik Deneyi, Deney Düzeneği.

4.4.11.3. Schmidt Darbe Çekici ile Sertlik Ölçümü

Schmidt Darbe Çekici, blok mermerler üzerinde mermerin yüzey sertlik endekslerini belirlemeye yarayan bir alettir. Kolay netice alınabilir olması ve direk arazi şartlarında ölçüm yapılabilmesi sebebiyle birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir (Haramy ve De Marco, 1985; Kidybinski, 1981; Ersoy, 2002). Endüstriyel olarak kullanılan L tipi ve N tipi Schmidt Darbe Çekici, üç farklı konumda (Şekil 4.49) mermer yüzeylerinde ölçüm değerleri, çekicin skalasından okunur. Her tür çekicin kendi üzerinde, yüzey sertlik endeks parametresine bağlı ilişki grafikleri (abak) bulunmaktadır. Bu grafik yardımıyla, tek eksenli basınç dayanım değeri yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Çekicin düşey ekseninden okunan değer, mermerin ortalama tek eksenli basınç dayanımını vermektedir



Şekil 4.49. Schmidt Darbe Çekici İle Ölçüm Pozisyonları (Şentürk ve diğerleri, 1996).

Schmidt Yüzey sertlik endeksini belirlemek amacıyla “L” tipi schmidt çekici kullanılarak 50x20x11 cm boyutundaki numuneler üzerinde kayacın her bir yüzeyinden, yüzeye dik olarak, 20 adet okuma yapılmıştır. Bu verilerden ISRM (1981) kullanılarak kayaların yüzey sertlikleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Kayaçların Schmidt Darbe Çekici ve Shore Scelerescope Sertlik İndeks Değerleri.

Kayaç cinsi	Schmidt Darbe çekici	Shore Scelerescope Sertlik İ.
Bilecik Kireçtaşı	58,6	58,7
Sivrihisar Kireçtaşı	59,5	55,5
Korkuteli Mermer	58,7	47,9
K.Erkilet Bazalt	41,3	25,8
Afyon B. Andezit	45,1	26,0
Osmaniye S. Breşi	55,1	30,5
K. Erkilet B. Andezit	45,2	42,2
Afyon Riyolit Tüf	20,3	10,2
Söğüt Kireçtaşı	54,2	56,8
Burdur Kireçtaşı	57,1	49,0

4.4.12. Aşınma

Kayaçların aşınma dayanım değerleri, delme – kesme işlemlerinde kesici ucun aşınmasında en fazla etkili olan özelliklerinden birisidir. İşletmelerde sağlıklı bir planlamanın yapılabilmesi ve kesici maliyetinin tahmin edilebilmesi için çalışılan kayacın aşınma değerinin mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Kesicide oluşan aşınma ile uçların keskinliği yok olmakta ve kesme hızları düşmektedir. Aynı zamanda körelen testereler kesme işlemindeki spesifik kesme enerjisini (SE_{kes}) yükseltmekte ve kesme işleminin verimsiz olmasına neden olmaktadır.

Kayaç sertliklerini değişik özellikler etkilemektedir. Bunların başlıcaları, mineral içerikleri ve sertlikleri, tane boyutu ve şekli, matriks tipi, çimentolanma derecesi ve tipi, sertlik ve dayanım olarak belirlenmiştir (Ersoy, 1996).

Bu çalışmada kayaçların aşındırıcılık ve aşınma dayanım özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla Cerchar aşınma, Schmiazek aşınma ve Böhme aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.4.12.1. Cerchar Aşınma Deneyi

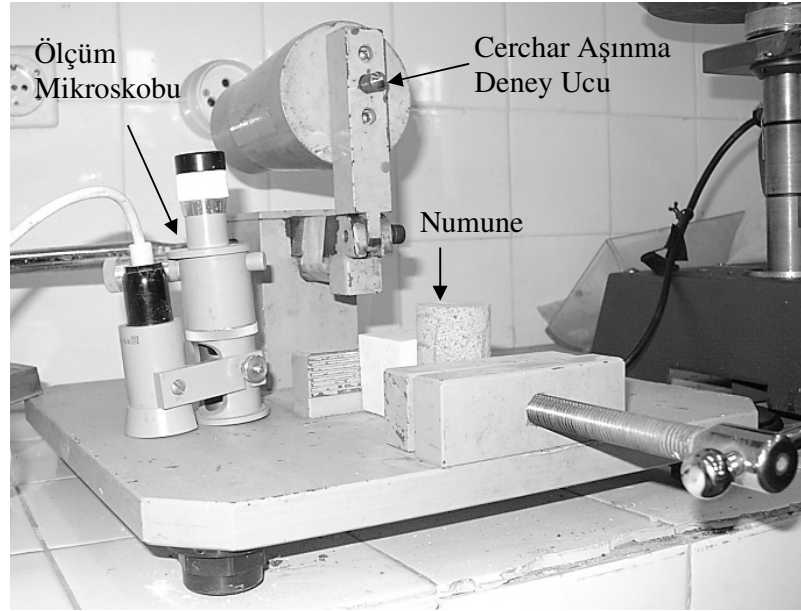
Bu test Fransız kömür enstitüsünde tünel açma makinelerinin imalatı ve verimliliği için kaya aşındırıcılığının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, kesici tüketiminin kayaçların Cerchar aşınma indeksi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir (Nizamoğlu, 1978; Johnson ve Fowell, 1986). 160 kg/cm² çekme dayanımı olan, 90° tepe açılı 610 vickers sertliğinde ısıtılmış, keskin koni şeklinde çelik bir uç 7 kg. bastırma kuvveti ile gayri muntazam numune üzerinde 1 cm. çekilmekte ve uçta oluşan aşınma yüzeyi mikroskopta mikrometre ile ölçülmektedir. 1/10 mm (0,1 mm)'lik aşınma yüzeyi bir birim Cerchar aşınma indeksi olarak kabul edilmektedir. Cerchar aşınma indeksi ekipmanı Şekil 4.50' de gösterilmektedir. Deney sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Çalışılan Kayaçların Cerchar Aşınma İndeks ve Böhme Yüzey Aşınma Değerleri.

Kayaç Cinsi	Cerchar Aşınma İndeksi	Böhme Yüzey Aşınma İndeksi (cm ³ /50cm ²)
Osmaniye Serpantin Breşi	0,80	43,43
Sivrihisar Kireçtaşı	0,70	11,62
Korkuteli Mermer	1,22	9,94
Burdur Kireçtaşı	1,00	13,96
Bilecik Kireçtaşı	0,90	10,59
Söğüt Kireçtaşı	0,70	11,17
K. Erkilet Bazalt	2,80	17,47
Afyon Bazaltik Andezit	2,62	31,12
K. Erkilet Bazaltik Andezit	3,02	26,02
Afyon Riyolit Tüf	2,79	111,11

Cerchar indeksi esas alınarak bazı kayaçların ve minerallerin aşındırıcılıklarına göre sınıflandırılmaları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu çizelgeye göre kireçtaşı ve mermerler için Cerchar değeri 1,2 nin altında olmakta ve çok az

aşındırıcı grubuna girmektedir. Volkanik – magmatik kayalarda ise cerchar değeri 2,5 ile 3,5 arasında olup, aşındırıcı kayaç grubuna girmektedir. Tüm kayaçlarda aşındırma değeri en düşük 0,7 değeri ile Sivrihisar Kireçtaşı ile Söğüt Kireçtaşı, en yüksek aşındırma değerine ise 3,02 ile Kayser Erkilet Bazaltik Andezit kayacına aittir.



Şekil 4.50. Cerchar Aşınma İndeks Cihazı, Ölçüm Mikroskobu, Uç ve Numunenin Toplu Görünüşü.

Çizelge 4.10. Cerchar Aşınma İndeksine Göre Kayaçların Aşındırıcılık Sınıflaması (Ersoy, 2002)

Sınıflama	Cerchar indeksi	Kayaç ve mineral tipi
Çok aşındırıcı	4,5	Hornblend, gnays, pegmatit, granit
Oldukça aşındırıcı	4,25 – 4,5	Amfibolit, granit
Aşındırıcı	4 – 4,25	Granit, gnays, şist, piroksen, kumtaşı
Orta aşındırıcı	3,5 – 4	Kumtaşı, silttaşı
Biraz aşındırıcı	2,5 – 3,5	Dolarit
Az aşındırıcı	1,25 – 2,5	Portland kumtaşı
Çok az aşındırıcı	1,2	Kireçtaşı

4.4.12.2. Sürtünme ile Aşınma Kaybı Deneyi (Böhme Metodu)

Aşınma dayanımı; aşındırıcı maddelerin kayacın yüzeyinde meydana getirdiği aşınmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir.

Kayaçların aşınma dayanımlarının belirlenmesi için kullanılan Böhme yüzey aşındırma aleti, 30 dev/dak hızla dönmesi ayarlanabilen 750 mm çapında bir aşındırma diskinde sahiptir. Bu aletde devir sayısını gösteren bir numaratör vardır ve her 22 devir sonunda disk otomatik olarak durmaktadır. Şekil 4.51.'de Böhme yüzey aşınma deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 4.51. Böhme Yüzeysel Aşınma Deney Düzeneği.

TS 699 (1987) ye uygun olarak 71 mm ebadında 50 cm² yüzey alanına sahip küp numuneler kullanılmaktadır. Yerleri özel olarak belirlenmiş olan 9 farklı noktadan kalınlıkları ölçülen numuneler üzerine yine TS 699 (1987) da tanımlanan özelliklere sahip 20 gr. aşındırıcı tozun serpilmiş olduğu diskin üzerine yerleştirilir. Bir manivela yardımı ile numune üzerine 30 kgf yük uygulanarak 0,6 kgf/cm² basınç

ile bastırılır. Her 22 devir sonunda otomatik olarak duran diskin üzerindeki aşındırıcı tozlar temizlenerek numune 90° düşey eksen etrafında döndürülür ve yeni aşındırıcı toz ilave edilerek sistem tekrar çalıştırılır. Bu işlem 20 defa tekrarlanan her biri 22 devirlik 20 aşınma periyodu içermektedir. Aşınma kaybı Eşitlik 4.19 yardımı ile hesaplanır.

$$\Delta V = (d_0 - d_1)50 \quad [4.19]$$

Burada;

- ΔV : Kayacın Böhme yüzey aşınma kaybı değeri ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$),
- d_0 : Taşın deneyden önceki ortalama kalınlığı (cm),
- d_1 : Taşın deneyden sonraki ortalama kalınlığı (cm).

Bütün kayalar için Böhme metodu ile yapılan aşınma kaybı deney sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

4.4.12.3. Schmiazek Aşınma İndeksi

Schmiazek ve Knatz (1970), sedimanter kayaların petrografik analizlerine dayanarak Formül 4.20.da verildiği gibi bir “F” aşınma indeksi tarif etmişlerdir.

$$F = \frac{EQdx\sigma_t}{100} \quad [4.20]$$

Burada;

- F: Schmiazek aşınma faktörü (N/mm, kg/cm),
- EQ: Kuvars yüzdesi veya eşdeğer kuvars yüzdesi (%),
- d: Tane boyutu (mm, cm),
- σ_t : Kayacın çekme dayanımı (MPa, kg/cm^2)

Kayacın tane boyutu 0,025 – 0,035 mm’den küçükse, taneler aşınmayı önemsiz derecede veya çok az etkilemektedir. Çekme dayanımı taneler arasındaki bağ yapısının ölçümü olarak düşünülmüştür. Kuvars dışındaki minerallerin sertliği, kayaların Mohs sertliklerinden faydalanarak Çizelge 4.11’de belirtilen kuvarsa eşdeğer sertlik (izafi) değerleri belirlenmekte ve bu sonuca göre Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi Schmiazek F aşınma faktörleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan kayaçları Schmiarezek F aşınma değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Bazı Minerallerin Kuvarsa Eşdeğer Sertlikleri

Mineral	Mohs sertliği	Kuvarsa eşdeğer sertlik (Rosiwall sertliği)
Talk	1	0,25
Alçıtaşı, jips	2	1,0
	2,5	1,5
Karbonat	-	3
Kalsit	3	3,8
Kil ve Mika	-	4
Florit	4	4,2
	4,5	4,7
Apatit	5	5,4
	5,5	15
Ortoklaz	6	31
Feldispat	-	31
	6,5	55
Kuvars	7	100
Topaz	8	146
Korund	9	833

Çizelge 4.12. Çalışmada Kullanılan Kayaçlardan Tek Bir Mineralden Oluşmayan Kayaçlar İçin Eşdeğer Kuvars Yüzdesi.

Kayaç Adı	Mineral adı	Miktar (%)	Sertlik değeri		Eşdeğer kuvars yüzdesi	
			Mohs	Rosiwall	Mineral	Kayaç
Kayseri E. Bazalt	Plajiyoklaz	73,90	6,00	31,00	22,93	31,48
	Piroksen	22,90	6,00	31,00	7,11	
	Olivin	2,00	6,50	55,00	1,10	
	Opak	1,10	6,00	31,00	0,34	
Afyon Tüf	Fenokristal	17,10	6,00	31,00	5,30	25,20
	Matriks	82,90	5,80	24,00	19,90	
Kayseri E. B. Andezit	Plajiyoklaz	18,80	6,00	31,00	5,79	25,48
	Piroksen	2,50	6,00	31,00	0,77	
	Matriks	79,40	5,80	24,00	18,92	
Afyon B. Andezit	Piroksen	8,40	6,00	31,00	2,61	18,42
	Biyotit	17,70	2,50	1,50	0,27	
	Olivin	3,30	6,50	55,00	1,82	
	Matriks	67,70	5,60	19,00	12,89	
	Opak	2,70	6,00	31,00	0,84	

Çizelge 4.13. Çalışmada Kullanılan Kayaçların Schmiarezek F-Aşınma Değeri Hesaplamada Kullanılan Özellikleri ve F-Aşınma Değerleri.

Kayaç Adı	İzafi Kuvars Yüzdesi (%)	Ortalama Tane Boyutu (mm)	Endirek Çekme Dayanımı (MPa)	F aşınma Değeri (N/mm)
K. Erkilet Bazalt	31,48	0,35	4,71	0,52
Afyon Riyolit Tüf	25,20	0,90	0,50	0,11
K. Erkilet Bazaltik Andezit	25,48	0,63	4,40	0,71
Afyon Bazaltik Andezit	18,42	0,45	4,80	0,40
Korkuteli Mermer	3,00	0,57	7,77	0,13
Osmaniye Serpantin Breş	3,00	0,45	5,00	0,07
Sivrihisar Kireçtaşı	3,00	0,34	7,75	0,08
Burdur Kireçtaşı	3,00	0,52	5,50	0,09
Bilecik Kireçtaşı	3,00	0,33	8,45	0,08
Söğüt Kireçtaşı	3,00	0,36	7,40	0,08

4.5. Kimyasal Analizler

Çalışılan kayaçların ana (major) elementler için kimyasal analizleri X-Ray Spektrometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu kimyasal analizlerin temel amacı kayaç içerisindeki silis (SiO_2) miktarını tespit edebilmektir. Yerkabuğunu oluşturan malzemeler içerisinde oldukça yüksek bir miktara sahip olan silis kesilecek olan kayaç içerisinde yüksek oranda bulunması hem kesme işlemini zorlaştırmakta, hemde kesicideki aşınma miktarını yükseltmektedir. Kayaçların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Kayaç içerisindeki silis içeriği ile kuvars içeriği birbirleri ile karıştırılmaması gereken özelliklerdir. Kuvars içeriği ince kesitlerin mikroskop altında incelenmesi ile tespit edilebilen, kayaç içerisindeki serbest halde bulunan silis miktarıdır. Toplam silis içeriği ise serbest halde bulunan silis (kuvars) ve diğer silikatlı minerallerden (Olivin, piroksen ve diğ.) gelen bütün silislerin toplam içeriğidir. Çalışılan kayaçlar içerisinde kuvars içeriğine rastlanmazken volkanik kayaçlar için % 68,26 (Afyon Riyolit Tüf), % 60,96 (Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit), %48,9 (Kayseri Erkilet Bazalt), %56,12 (Afyon Andezitik Bazalt) gibi yüksek silis oranlarının görülmesi buna örnektir.

Çizelge 4.14. Bu Çalışmada Kullanılan Kayaçların Kimyasal Analiz Sonuçları

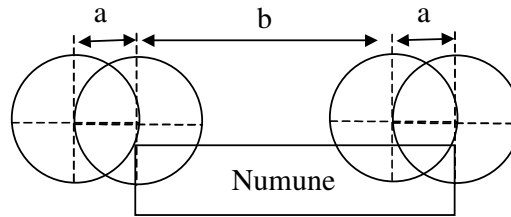
Kayaç Adı	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂
Afyon Bazaltik Andezit	13,81	4,9	0,093	5,89	12,13	1,34	4,72	56,12
K.Erkilet Bazalt	15,92	10,17	0,28	0,62	6,23	9,02	7,28	48,9
K. Erkilet B. Andezit	14,28	5,2	0,09	3,97	11,65	0,87	1,17	60,96
Afyon Riyolit Tüf	13,4	0,86	0,057	5,31	11,6	0,07	0,08	68,26
Korkuteli Mermer	0,12	0,092	0,05	0,076	7,96	84,52	0,22	1,7
Osmaniye Ser. Breşi	0,42	3,99	0,08	0	0,27	71,4	16,74	6,94
Sivrihisar Kireçtaşı	0	0,07	0,004	0	0,27	96,29	0,08	0,06
Burdur Kireçtaşı	0	0,1	0,006	0	0,18	85,97	12	0,11
Bilecik Kireçtaşı	0	0,07	0,002	0	0,26	97,7	1,38	0,12
Söğüt Kireçtaşı	0	0,07	0,002	0	0,24	96,42	1,43	0,08

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kesme Deneylerinde Sayısal Verilerin Elde Edilmesi ve İşlenmesi

Kesme deneylerinde, farklı kayaçlar için gerekli spesifik kesme enerji (SE_{kes}) değişimlerini belirlemeden önce her bir kayaç grubu için kesici düzeneğin optimum çalışma sınırlarının belirlenebilmesi amacıyla, Tönshoff ve diğerleri (1993) ile Büyüksağış (1998) çalışmaları esas alınarak bir dizi değişim deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde “aşağı kesme” yöntemi kullanılmış olup, çevresel hız (V_C), kesme derinliği (H_K) ve ilerleme hızı (V_K) parametrelerinden iki adeti sabit tutulurken üçüncü parametre değiştirilmiştir. Kesme donanımı için en kolay kesme şartlarından en zor kesme şartlarına doğru, mermer ve kireçtaşı kayaçları üzerinde Çizelge 5.1. de belirtilen aralıklarda, her bir kayaç için en az 20 adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kesme sistemin çevresel hız için optimum çalışma değerlerinin belirlenmesi amacıyla, Korkuteli bej kireçtaşı üzerinde farklı çevresel hızlarda, 15 adet kesme deneyi yapılmıştır (Çizelge 5.1).

Kesme deneyleri sırasında saniyede iki adet veri elde edilmiştir. Düşey (F_Y), yatay (F_X) ve Eksensel (F_Z) kuvvetleri kaydedilmiştir. Microsoft Excel programı yardımı ile kesme kuvveti (F_K), normal kuvvet (F_N), teğetsel (tanjantiyel) kuvvet (F_T) ve SE_{kes} değerleri her bir kesme deneyi için çeşitli eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin zamana karşı grafikleri çizilerek incelenmiştir. Testerenin tam olarak kesme işlemine başlamadığı, kayaca girerken ve kayacı çıkarken elde edilen ve kirlilik olarak ifade edilen, (Şekil 5.1.) “a” ile gösterilen, normal grubu bozan veriler hesaplamalara alınmamıştır. Bu kirlilik değerlerinin dışında kalan, Şekil 5. 1. de “b” harfi ile gösterilen ve asıl kesme işlemini esnasında elde edilen verilerin ortalama değerleri hesaplanmıştır.

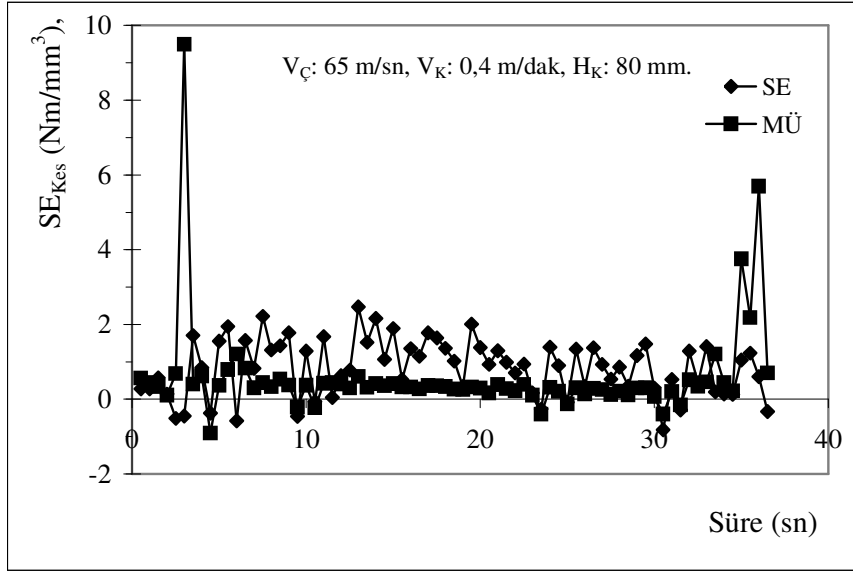


a : Kesme işleminin verimsiz olduğu bölge

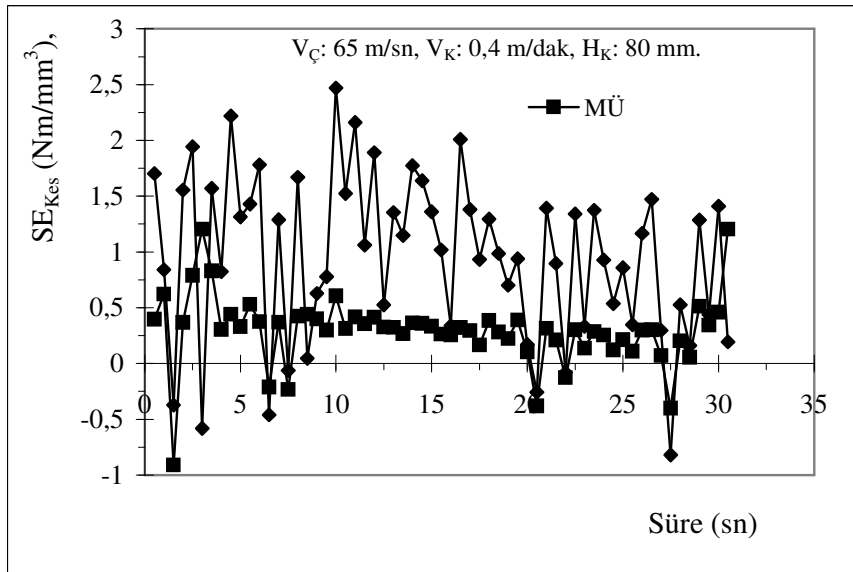
b : Düzenli kesme işleminin olduğu bölge.

Şekil 5.1. Verilerin Elde Edildiği Kesme Bölgeleri

Verilere örnek olarak Sivrihisar beji için 65 m/sn. çevresel hızda (V_C), 0,4 m/dak ilerleme hızında (V_K) ve 80 mm kesme derinliğinde (H_K) hesaplanan SE_{kes} ve μ değerlerine ait verilerin kirlilik verilerinden temizlenmeden önceki durumu Şekil 5.2.a'da ve temizlendikten sonraki durumu Şekil 5.2. b'de verilmiştir.



Şekil 5.2.a. Sivrihisar Beji İçin Hesaplanan SE_{kes} ve μ Değerlerinin Kirlilikten Arındırılmadan Önceki Grafiksel Gösterimi.



Şekil 5.2.b. Sivrihisar Bejinde Hesaplanan SE_{kes} ve μ Değerlerinin Kirlilikten Arındırıldıktan Sonraki Grafiksel Gösterimi.

Çizelge 5.1. Kesme Deneylerinde Kullanılan Çalışma Parametreleri

Sıra no	Çevresel hız (m/sn)	İlerleme hızı (m/dak)	Kesme derinliği (mm)
1	65	0,4	10
2	65	0,5	10
3	65	0,6	10
4	65	0,7	10
5	65	0,8	10
6	65	0,4	30
7	65	0,5	30
8	65	0,6	30
9	65	0,7	30
10	65	0,8	30
11	65	0,4	50
12	65	0,5	50
13	65	0,6	50
14	65	0,7	50
15	65	0,8	50
16	65	0,4	70
17	65	0,5	70
18	65	0,6	70
19	65	0,7	70
20	65	0,8	70
21	60	0,4	30
22	60	0,6	50
23	60	0,8	70
24	65	0,4	30
25	65	0,6	50
26	65	0,8	70
27	70	0,4	30
28	70	0,6	50
29	70	0,8	70
30	75	0,4	30
31	75	0,6	50
32	75	0,8	70
33	80	0,4	30
34	80	0,6	50
35	80	0,8	70

Deneyler sonucunda elde edilen kuvvetler (F_X , F_Y , F_Z), bunların hesaplanması sonucunda elde edilen kuvvetler (F_N , F_T , F_K), SE_{Kes} 'e ait değerler ve güç analizörü yardımı ile sistemin enerji sarfiyatı miliwat cinsinden ölçülmüş olup, deney sonuçları kayaç tipine göre Çizelge 5.2 – 5.7'de verilmiştir.

Güç analizörü ile elde edilen verilerin yük hücreleriyle elde edilen verilere göre çok daha hassas ve sağlıklı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, kayaçların birçoğu için (Burdur kireçtaşı, bazaltik andezitler, bazalt ve riyolit tüfü) güç analizörü kullanarak farklı kesme derinliklerinde ve hızlarında veriler toplanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.8-5.12'de sunulmuştur.

Kireçtaşı ve mermer türü kayaçların kesiminde bej, bazalt türü kayacın kesiminde hakiki mermer ve granit testereleri, bazaltik andezit ve tüf kesiminde ise andezit testereleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. Korkuteli Bej Mermeri İçin Kesme Deney Sonuçları.

V _Ç (m/sn)	V _K (m/dak)	H _K (m/dak)	F _X (N)	F _Y (N)	F _Z (N)	F _k (N)	F _N (N)	F _T (N)	SE _{kes} (Nm/mm ³)	Mü (μ)	Süre (sn)	Enerji (mW)
65	0.4	10	1,51	17,34	6,25	17,41	17,25	2,35	4,49	0,14	102	1564,08
65	0.4	30	7,36	43,40	2,84	44,02	43,44	7,17	6,23	0,17	69	1831,57
65	0.4	50	22,99	74,07	7,19	77,56	75,93	15,79	6,04	0,21	62	2626,22
65	0.4	70	57,00	92,36	0,05	108,53	108,39	5,57	1,52	0,05	55	2465,29
65	0.5	10	0,95	19,89	6,84	19,91	19,61	3,46	5,29	0,18	52	2650,27
65	0.5	30	3,47	41,30	1,68	41,45	39,79	11,62	6,58	0,29	59	2091,75
65	0.5	50	25,84	80,44	9,83	84,49	82,89	16,38	5,01	0,20	59	2428,24
65	0.5	70	63,35	94,59	1,96	113,85	113,83	1,61	0,35	0,01	59	2424,68
65	0.6	10	1,52	24,66	6,12	24,70	24,39	3,95	5,04	0,16	43	1799,92
65	0.6	30	6,17	53,76	1,76	54,12	52,48	13,21	6,48	0,25	50	1802,94
65	0.6	50	27,66	97,04	11,27	100,90	98,29	22,83	5,82	0,23	51	2595,19
65	0.6	70	64,20	117,19	13,55	133,62	132,91	13,74	2,50	0,10	53	2739,10
65	0.7	10	2,64	32,46	5,71	32,57	32,25	4,58	5,01	0,14	42	1825,78
65	0.7	30	8,44	66,23	3,30	66,77	64,84	15,95	6,46	0,25	39	2157,67
65	0.7	50	39,15	106,13	16,89	113,12	111,80	17,18	3,76	0,15	40	2343,80
65	0.7	70	72,97	133,95	10,45	152,53	151,69	16,06	2,51	0,11		2638,97
65	0.8	10	1,93	31,91	8,58	31,97	31,55	5,16	4,93	0,16	43	1878,21
65	0.8	30	13,73	72,00	6,01	73,30	71,64	15,49	4,63	0,22	40	2614,33
65	0.8	50	42,11	107,40	13,49	115,36	114,35	15,21	2,91	0,13	34	2364,04
65	0.8	70	74,59	169,41	12,79	185,10	181,79	34,87	4,76	0,19	37	2633,5

Çizelge 5.3. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Deney Sonuçları.

V _Ç (m/sn)	V _K (m/dak)	H _K (m/dak)	F _X (N)	F _Y (N)	F _Z (N)	F _K (N)	F _N (N)	F _T (N)	SE _{kes} (Nm/mm ³)	Mü (μ)	Süre (sn)	Enerji (mW)
65	0,4	11	1,99	11,93	2,52	12,09	12,06	0,82	1,43	0,07	64	1416,30
65	0,4	32	-1,25	24,19	7,70	24,22	21,77	10,60	6,34	0,49	75	1804,50
65	0,4	54	2,72	42,64	-0,69	42,72	38,13	19,27	6,70	0,51	72	2588,78
65	0,4	69	9,14	51,62	1,56	52,43	47,77	21,59	5,99	0,45	77	2924,51
65	0,5	10	-1,96	10,35	3,42	10,54	9,66	4,20	6,42	0,43	56	1405,15
65	0,5	33	-7,46	30,04	8,79	30,95	24,61	18,76	8,70	0,76	59	1786,17
65	0,5	53	4,84	46,14	-2,80	46,39	42,32	19,01	5,39	0,45	60	2764,08
65	0,5	69	22,84	66,20	1,07	70,03	67,54	18,50	4,10	0,27	60	2665,75
65	0,6	08	0,66	7,21	4,17	7,25	7,20	0,77	1,24	0,11	47	1395,10
65	0,6	33	-8,30	35,59	10,64	36,55	29,38	21,74	8,40	0,74	50	1783,94
65	0,6	55	6,58	48,18	-0,68	48,63	44,86	18,76	4,35	0,42	48	2354,43
65	0,6	71	22,54	71,89	3,43	75,34	71,86	22,63	4,07	0,32	44	2351,73
65	0,7	07	-0,95	8,41	4,46	8,46	8,09	2,49	3,89	0,31	38	1355,19
65	0,7	33	-7,05	48,68	12,02	49,18	41,89	25,78	8,54	0,62	41	1753,86
65	0,7	56	10,70	75,12	1,64	75,88	70,02	29,23	5,71	0,42	41	2382,02
65	0,7	71	21,24	80,85	4,67	83,59	78,46	28,82	4,44	0,37	40	2385,56
65	0,8	06	-1,30	12,75	9,25	12,82	12,34	3,46	5,51	0,28	30	1387,13
65	0,8	31	-10,30	43,63	10,17	44,83	36,31	26,30	8,11	0,72	36	1853,61
65	0,8	55	6,77	76,30	4,59	76,60	69,03	33,21	6,48	0,48	37	2377,51
65	0,8	74	30,14	91,29	4,66	96,14	91,74	28,75	3,72	0,31	45	2356,37
65	0,8	92	35,75	129,64	14,79	134,48	122,17	56,20	5,84	0,46		3094,30

Çizelge 5.4. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Deney Sonuçları.

V _Ç (m/sn)	V _K (m/dak)	H _K (m/dak)	F _X (N)	F _Y (N)	F _Z (N)	F _K (N)	F _N (N)	F _T (N)	SE _{kes} (Nm/mm ³)	Mü (μ)	Süre (sn)	Enerji (mW)
65	0,4	15	4,29	24,95	27,87	25,32	25,18	2,59	3,30	0,10	76	1573,72
65	0,4	41	2,73	64,00	2,88	64,03	58,66	25,74	12,01	0,44	77	2100,16
65	0,4	65	44,44	99,80	-14,36	109,25	107,82	17,62	5,19	0,16	66	2371,33
65	0,4	71	42,23	110,15	2,72	117,97	114,51	28,35	7,64	0,25	78	2390,65
65	0,5	15	3,33	25,20	32,67	25,42	25,17	3,59	3,66	0,14	56	1603,78
65	0,5	40	5,29	75,16	5,08	75,35	69,97	27,96	10,70	0,40	57	2632,30
65	0,5	65	42,58	112,22	-3,99	120,02	117,18	25,98	6,12	0,22	62	2381,96
65	0,5	76	49,95	109,91	6,89	120,73	118,20	24,56	4,95	0,21	60	2346,32
65	0,6	09	-1,23	15,06	34,68	15,11	14,47	4,35	6,16	0,30	45	1456,40
65	0,6	42	9,19	83,08	11,02	83,58	78,46	28,80	8,75	0,37	50	2736,88
65	0,6	62	39,41	97,31	7,20	104,99	103,26	18,97	3,90	0,18	45	2365,67
65	0,6	72	53,80	149,43	8,88	158,82	153,16	42,03	7,45	0,27		2699,75
65	0,7	12	1,51	23,21	33,24	23,26	22,89	4,14	3,77	0,18	37	1592,83
65	0,7	40	12,05	70,96	16,80	71,98	69,13	20,05	5,48	0,29	39	2373,52
65	0,7	62	48,88	131,00	10,50	139,81	136,76	29,06	5,12	0,21	42	2877,47
65	0,7	72	70,83	168,21	14,23	182,51	178,32	38,92	5,91	0,22	44	2558,63
65	0,8	14	2,93	32,23	33,06	32,36	31,91	5,41	3,83	0,17	34	1693,24
65	0,8	47	26,41	114,88	19,39	117,88	113,80	30,74	6,26	0,27	34	2392,15
65	0,8	62	54,66	152,89	5,78	162,37	158,34	35,94	5,55	0,23	38	2549,18
65	0,8	70	Kesici testere Sıkıştı									

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Ümit ATICI

Çizelge 5.5. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Kesme Deney Sonuçları.

V_C (m/dak.)	V_K (m/dak.)	H_K (mm)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	F_k (N)	F_N (N)	F_T (N)	SE_{kes} (Nm/mm ³)	μ	Süre (sn)	Enerji (mW)
65	0,4	12	-14,71	29,72	-19,4	33,16	25,29	21,45	34,20	0,85	72	1641,63
65	0,4	20	-8,78	21,64	-12,8	23,35	17,84	15,07	14,41	0,85	79	1743,69
65	0,4	34	6,90	59,95	0,57	60,34	57,65	17,80	10,02	0,31	76	1981,41
65	0,4	45	12,50	64,24	3,79	65,44	62,77	18,51	7,87	0,30	78	2529,32
65	0,4	57	10,60	56,10	86,88	57,09	53,53	19,85	6,66	0,37	78	2369,83
65	0,4	62	40,74	90,51	32,84	99,25	98,23	14,20	4,38	0,15	79	2730,93
65	0,4	74	2,74	104,16	0,00	104,20	86,23	58,50	15,12	0,68	79	2410,61
65	0,4	90	48,35	102,74	-41,4	113,55	109,96	28,32	6,02	0,26	83	2398,01
65	0,5	10	-19,20	25,08	-22,5	31,59	20,23	24,27	37,14	1,20	58	1623,96
65	0,5	20	-7,26	31,58	-26,2	32,41	27,77	16,71	12,78	0,60	56	1829,75
65	0,5	27	-1,74	43,36	-5,52	43,39	39,83	17,22	9,76	0,43	56	1672,32
65	0,5	42	11,84	69,63	5,87	70,63	67,61	20,44	7,45	0,30	62	3084,15
65	0,5	54	12,06	68,88	93,67	69,92	65,60	24,20	6,86	0,37	61	2381,71
65	0,5	64	37,84	121,49	39,61	127,24	122,49	34,45	8,24	0,28	50	2401,77
65	0,5	74	2,40	116,74	-38,0	116,76	96,24	66,11	13,67	0,69	56	2635,62
65	0,5	82	37,65	123,61	-75,4	129,21	120,83	45,78	8,54	0,38	62	2662,63
65	0,6	10	-23,04	26,042	-22,2	34,77	20,32	28,22	35,98	1,39	45	1589,78
65	0,6	20	-5,91	42,92	-26,2	43,33	38,97	18,95	12,08	0,49	49	1872,04
65	0,6	31	4,02	54,93	-11,7	55,08	52,25	17,43	7,17	0,33	45	2789,42
65	0,6	37	5,13	70,88	-2,62	71,06	66,50	25,06	8,64	0,38	48	2988,16
65	0,6	55	20,20	109,81	90,87	111,66	104,89	38,28	8,88	0,37	48	2409,76
65	0,6	67	40,22	142,40	40,4	147,97	140,69	45,85	8,73	0,33	47	2742,64
65	0,6	66	2,71	123,25	-51,6	123,27	104,21	65,86	12,73	0,63	52	2662,89
65	0,6	78	72,73	155,42	-91,2	171,60	168,09	34,53	5,5	0,21	50	2501,90

Çizelge 5.5. Devamı

V _Ç (m/sn)	V _K (m/dak)	H _K (m/dak)	F _X (N)	F _Y (N)	F _Z (N)	F _K (N)	F _N (N)	F _T (N)	SE _{kes} (Nm/mm ³)	Mü (μ)	Süre (sn)	Enerji (mW)
65	0,7	12	-23,68	36,71	-23,81	43,68	29,91	31,83	29,00	1,07	39	1715,70
65	0,7	18	-5,36	35,06	-25,56	35,46	31,92	15,45	9,39	0,48	41	1880,68
65	0,7	29	6,50	62,54	-29,35	62,88	60,69	16,43	6,65	0,27	45	3139,84
65	0,7	43	5,34	75,34	-10,73	75,53	69,66	29,20	7,42	0,42	44	2371,10
65	0,7	55	13,53	100,75	94,53	101,66	93,70	39,44	7,84	0,42	42	2602,67
65	0,7	63	42,21	127,68	40,07	134,48	130,23	33,54	5,82	0,26	39	2822,75
65	0,7	66	30,34	155,65	-93,16	158,58	146,48	60,75	10,06	0,42	43	2474,07
65	0,7	83	73,54	174,39	-80,52	189,26	182,75	49,22	6,48	0,27		2125,66
65	0,8	11	-23,48	45,19	-23,70	50,93	38,54	33,29	28,95	0,86	36	1738,78
65	0,8	21	-4,01	62,85	-22,14	62,98	58,31	23,79	10,84	0,41	36	1921,22
65	0,8	34	6,94	86,84	-59,22	87,11	82,64	27,54	8,23	0,33	34	2389,92
65	0,8	43	5,54	97,54	-15,70	97,70	89,56	39,03	8,68	0,44	32	2389,37
65	0,8	55	15,88	127,46	95,70	128,45	117,90	50,95	8,86	0,43	35	3007,35
65	0,8	64	46,18	173,60	47,02	179,64	170,74	55,85	8,35	0,33	34	2750,59
65	0,8	63	70,70	139,76	-139,5	156,62	155,79	16,10	2,44	0,10	37	2238,50

Çizelge 5.6. Bilecik Bej Kireçtaşı İçin Kesme Deney Sonuçları.

V_C (m/sn)	V_K (m/dak)	H_K (m/dak)	F_X (N)	F_Y (N)	F_Z (N)	F_K (N)	F_N (N)	F_T (N)	SE_{kes} (Nm/mm ³)	Mü (μ)	Süre (sn)	Enerji (mW)
65	0,5	80	79,18	136,40	4,54	157,72	156,52	19,37	3,71	0,12	53	107,31
65	0,5	80	68,92	111,40	10,41	131,00	130,40	12,44	2,38	0,10	56	110,63
65	0,5	60	35,01	94,62	18,88	100,89	98,83	20,28	5,17	0,21	60	127,68
65	0,5	40	27,85	69,51	8,28	74,88	74,70	5,19	1,99	0,07	49	110,85
65	0,5	20	18,84	34,21	3,05	39,06	38,37	-7,29	-5,58	-0,19	52	90,87
65	1	50	37,89	163,00	28,41	167,35	160,94	45,85	7,02	0,29	24	48,97
65	0,8	50	28,36	118,00	17,63	121,36	116,96	32,37	6,19	0,28	36	78,93
65	0,6	50	20,33	79,56	12,25	82,12	79,45	20,77	5,30	0,26	39	90,70
65	0,4	50	20,43	64,40	10,92	67,56	66,23	13,34	5,10	0,20	63	138,70
65	0,2	50	10,23	35,52	4,91	36,96	36,03	8,26	6,32	0,23	131	246,69
65	02	50	-42,08	53,12	8,43	67,77	26,07	62,56	47,87	2,40	164	374,78

Çizelge 5.7. Korkuteli Bej Mermeri İçin Farklı Çevresel Hızlarda Kesme Deney Sonuçları.

$V_{\text{Ç}}$ (m/sn)	V_{K} (m/dak)	H_{K} (m/dak)	F_X (N)	F_Y (N)	F_Z (N)	F_K (N)	F_N (N)	F_T (N)	SE_{kes} (Nm/mm ³)	Mü (μ)	Süre (sn)	Enerji (mW)
60	0,4	30	2,01	51,40	0,60	51,44	48,33	17,60	10,36	0,36	70	2702,96
60	0,6	50	-15,41	82,02	10,34	83,46	64,28	53,23	12,53	0,83	43	2367,50
60	0,8	70	76,68	172,13	12,66	188,44	185,22	34,69	4,38	0,19	36	2546,07
65	0,4	30	7,36	43,40	2,84	44,02	43,44	7,17	6,23	0,17	69	1831,57
65	0,6	50	27,66	97,04	11,27	100,90	98,29	22,83	5,82	0,23	51	2595,19
65	0,8	70	74,59	169,41	12,79	185,10	181,79	34,87	4,76	0,19	37	2633,5
70	0,4	30	2,69	48,12	-0,05	48,20	45,56	15,73	10,80	0,35	73	1889,54
70	0,6	50	-17,36	74,41	5,66	76,40	56,67	51,24	14,07	0,90	53	2586,01
70	0,8	70	75,54	151,00	5,14	168,84	167,17	23,63	3,48	0,14	37	2901,89
75	0,4	30	1,95	41,95	-0,07	42,00	39,56	14,09	10,36	0,36	68	3129,77
75	0,6	50	-17,19	79,05	0,89	80,90	60,81	53,34	15,70	0,88	48	2855,08
75	0,8	70	79,88	147,75	12,83	167,96	166,97	18,21	2,68	0,11	37	2754,38
80	0,4	30	1,96	36,05	1,01	36,10	34,11	11,83	9,29	0,35	66	2975,33
80	0,6	50	31,71	94,92	14,45	100,08	98,40	18,26	5,73	0,19	42	2722,47
80	0,8	70	73,80	132,48	7,63	151,65	150,95	14,54	2,45	0,10	37	3016,84

Çizelge 5.8. Burdur Bej Kireçtaşı İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn).

Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (m/dak)	Kesme Süresi (sn)	Enerji tüketimi (mW)
50	1	25	55,04
50	0,8	32	71,49
50	0,6	39	96,72
50	0,4	63	146,99
50	0,2	140	287,99
50	02	138	252,29
97	0,5	51	104,11
71	0,5	50	107,75
50	0,5	49	103,72
26	0,5	52	90,36

Çizelge 5.9. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn).

Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (m/dak)	Kesme Süresi (sn)	Enerji tüketimi (mW)
50	0,2	138	269,67
50	0,4	65	142,08
50	0,6	42	94,86
50	0,8	31	67,68
50	1,0	25	53,84
22	0,5	53	90,55
33	0,5	48	92,95
42	0,5	50	96,55
57	0,5	51	109,54
69	0,5	51	110,85
74	0,5	51	110,78
86	0,5	51	109,15

Çizelge 5.10. Afyon Bazaltik Andezit İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn).

Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (m/dak)	Kesme Süresi (sn)	Enerji tüketimi (mW)
50	0,2	137	256,21
50	0,2	137	241,57
50	0,4	62	127,02
50	0,6	42	92,11
50	0,8	30	66,70
50	1	22	50,00
24	0,5	53	88,75
44	0,5	50	99,39
70	0,5	49	106,00
79	0,5	49	110,06
97	0,5	51	113,38

Çizelge 5.11. Afyon Riyolit Tüf İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn).

Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (m/dak)	Kesme Süresi (sn)	Enerji tüketimi (mW)
50	0,4	65	108,05
50	0,6	41	73,44
50	0,8	32	55,89
50	0,1	26	49,20
50	1,2	21	35,66
50	1,5	16	29,15
21	0,5	55	90,83
43	0,5	51	87,76
66	0,5	51	90,81
95	0,5	50	96,79

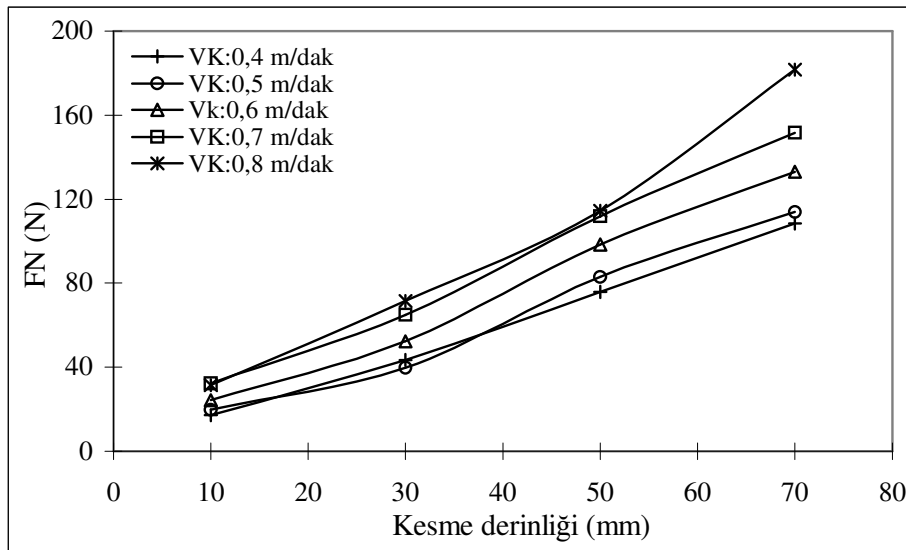
Çizelge 5.12. Kayseri Erkilet Bazalt İçin Güç Analizöründen Elde Edilen Enerji Değerleri (V_C : 65 m/sn).

Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (m/dak)	Kesme Süresi (sn)	Enerji tüketimi (mW)
50	0,2	137	259,78
50	0,4	64	127,19
50	0,6	41	89,44
50	0,8	29	66,01
50	1,0	23	56,88
28	0,5	54	101,08
37	0,5	48	95,25
55	0,5	49	98,59
59	0,5	51	108,73
70	0,5	51	109,44
83	0,5	51	115,69
95	0,5	49	111,70
99	0,5	50	111,78

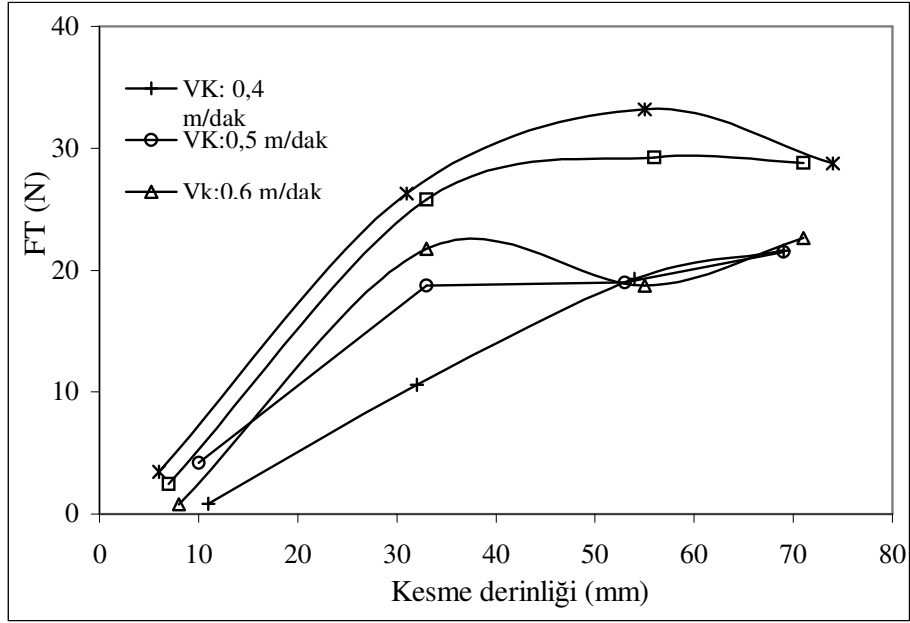
5.2. Kesme Derinliğinin Kuvvetler Üzerine Etkisi

Kesme derinliği, kesici testerenin kayaca batış miktarı olarak ifade edilmektedir. Çevresel hız (V_C : 65 m/sn) sabit olup, farklı ilerleme hızlarında kesme derinliğinin Normal kuvvet üzerine etkisi Korkuteli mermeri için Şekil 5.3’de, Teğetsel kuvvetler üzerine etkisi Şekil 5.4 de, Kesme kuvvetleri üzerine etkisi Şekil 5.5’de verilmiştir. Diğer kayaçlar için bu değerler EK-5.1-5.9’da verilmiştir. Kesme derinliğinin belirli bir ilerleme hızında artması ile kesme kuvvetleri de doğrusal olarak artmaktadır. Normal kuvvet ve Kesme kuvvetindeki artışın kesme derinliği artıkcı teğetsel kuvvete göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Normal ve kesme kuvvetlerinde oluşan artış testerenin kayacı kesme işlemini artan derinliklerde tam olarak yerine getiremediğini ve ileriye doğru ittiğini göstermektedir. Kesme derinliği kayaca göre 70 – 80 mm’den daha derin kesme şartlarında testerenin kesme işlemi olumsuz etkilenmekte ve kayaç içersinde sıkışmaktadır.

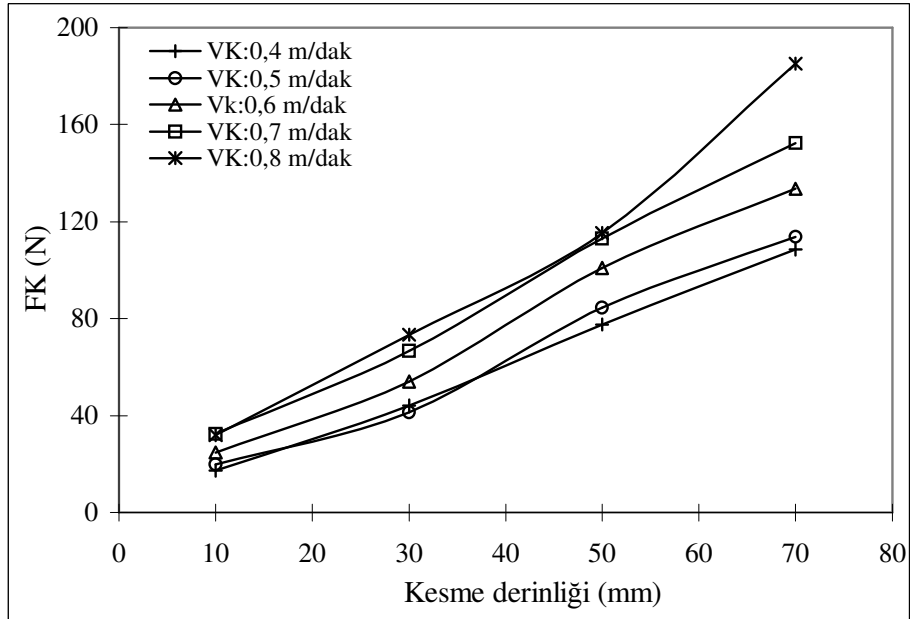
Sonuç olarak, kesme derinliğindeki artış, kayaca daha yüksek miktarda yük uygulanmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, derin kesme şartlarında daha yüksek motor gücüne gereksinin duyulmaktadır.



Şekil 5.3. Korkuteli Bej Kireçtaşı İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



Şekil 5.4. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



Şekil 5.5. Korkuteli Mermeri İçin Farklı İlerleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.

5.3. İlerleme hızının Kuvvetler Üzerine Etkisi

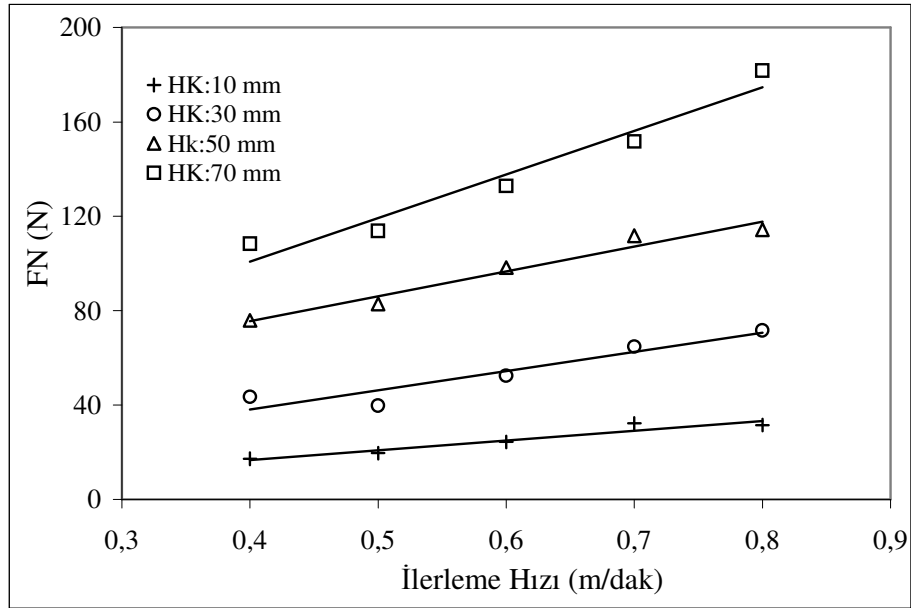
İlerleme hızı testerenin kayaç içersinde belirli bir süre içersinde almış olduğu yol olarak ifade edilebilir ve birimi m/dak'dır.

Kesme deneyleri sonuçlarını yer aldığı Çizelge 5.2 – 5.6' dan yararlanarak sabit çevresel hız (VÇ: 65 m/sn) değerinde ve farklı kesme derinliklerinde, ilerleme hızındaki değişimin örnek kayaç olarak Korkuteli mermeri için Normal kuvvet üzerine etkisi Şekil 5.6, Teğetsel kuvvetler üzerine etkisi Şekil 5.7, Kesme kuvvetleri üzerine etkisi Şekil 5.8'de, diğer kayaçlar için çizilen grafikler ise EK.5.10-5.15.'de verilmiştir. Bu grafiklerin incelenmesi sonucunda; ilerleme hızının belirli bir kesme derinliğinde artması ile kesme kuvvetleri de doğrusal olarak artmaktadır.

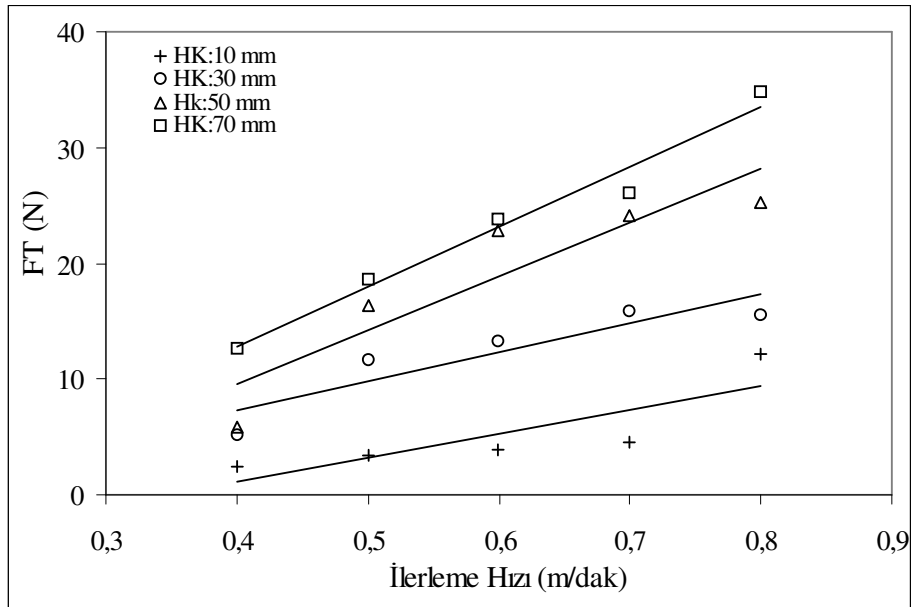
Aynı kayaçlar için farklı kesme derinliklerinde ve farklı ilerleme hızlarında çizilen grafikler karşılaştırıldığında; kesme derinliğinin artırılması ile normal ve kesme kuvvetlerin artma oranı, ilerleme hızının artırılması ile yine aynı kuvvetlerin artma oranına göre oldukça fazladır. Yani, daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi (Büyüksağış,1998; Bailey, Bullen, 1979; Wang, Clausen, 2002) testerenin kayaç içersinde ilerlemesi için gereken kuvvetin testerenin kayaca batması için gereken kuvvetten daha az olduğu görülmektedir.

Bu verilerin sonucunda; birim zamanda üretim miktarının veya kesme hızının (cm^2/dak) artırılabilmesi için kesme derinliğinin artırılmasının yerine ilerleme hızının artırılmasının daha iyi bir çözüm olduğu görülmektedir.

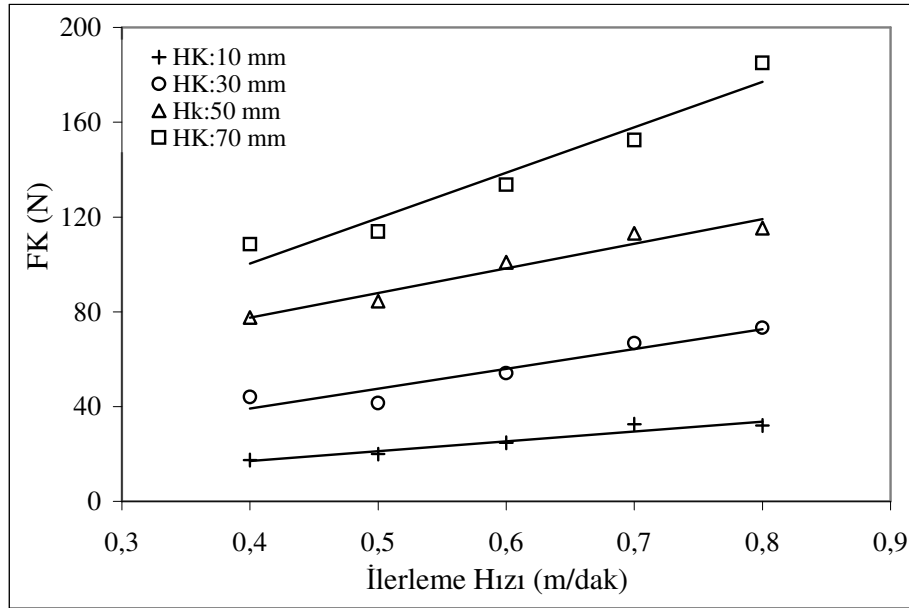
Pratikte yapılan uygulamalarda, blok kesme makinelerinden elde edilecek plakaların belirli bir yükseklikte olması istendiği için kesme işleminde kesme derinliği sabit alınarak ilerleme hızları değiştirilmektedir. Yine pratik uygulamalarda, sert kayaçların (Granit ve Diyabaz gibi) kesilmesi sırasında, kesme derinliğinin bir seferde değil de kademeli olarak birden fazla yapılması da bu ifadeyi doğrulamaktadır.



Şekil 5.6. Korkuteli Mermeri İçin İlerleme hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



Şekil 5.7. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



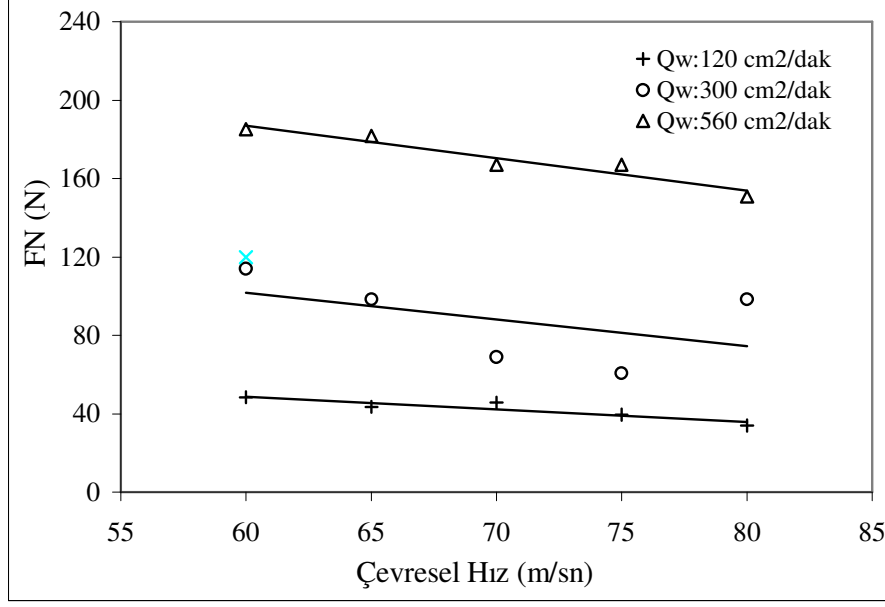
Şekil 5.8. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme hızındaki Değişiminin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.

5.4. Çevresel Hızın Kuvvetler Üzerine Etkisi

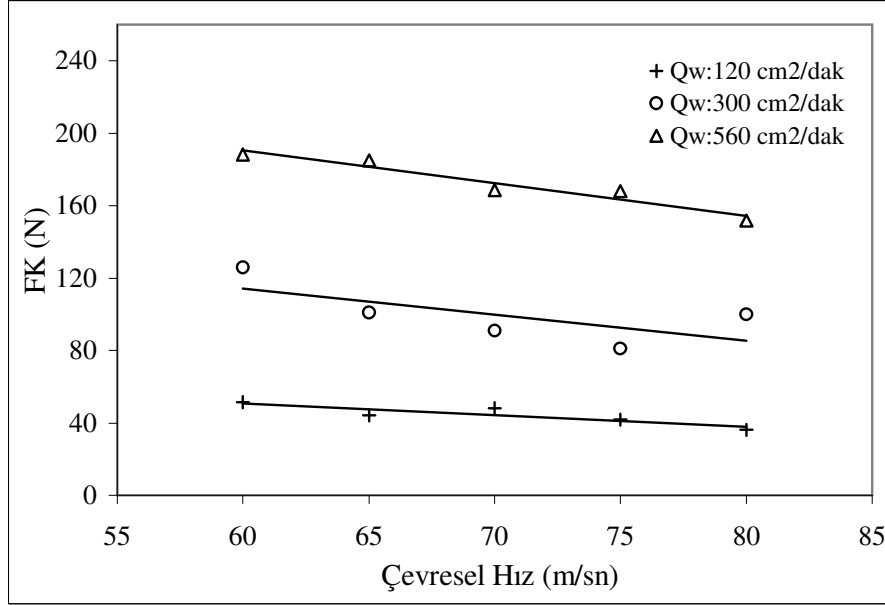
Dairesel testerenin çevresel hızı 60 m/sn'den başlayarak 80 m/sn'ye kadar 5 m/sn aralıklarla artırılarak toplam 5 farklı çevresel hızda ve 3 farklı ilerleme hızında (V_K : 0.4 m/dak, H_K : 30 mm, Q_W : 120cm²/dak; V_K : 0.6 m/dak, H_K : 50 mm, Q_W : 300cm²/dak; V_K : 0.8 m/dak, H_K : 70 mm, Q_W : 560cm²/dak) toplam 15 adet kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Korkuteli mermerinin farklı kesme hızlarında çevresel hızın normal, kesme ve teğetsel kuvvetler üzerindeki etkisi Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11'de verilmiştir.

Kesme işlemi sırasında çevresel hızın artırılması ile kesici testere üzerinde oluşan normal ve teğetsel kuvvetlerde azalmaktadır. Bunun nedeni; çevresel hızın artması ile elmas soket başına düşen birim zamanda kesilen kayaç miktarının düşmesidir. Ancak, çevresel hızın belirli bir değerin üzerinde artırılması ile soketler kayaç yüzeyinde patinaj yapar şekilde sürtünerek dönerler ve kesme işlemini yapamazlar. Bu durumda elmas taneleri kayaca çok hızlı bir şekilde çarparak kesme işlemini gerçekleştiremeden soketlerdeki elmasların kırılıp kopmasına ve soketlerin aşınmasına neden olmaktadır. Hızın aşırı düşmesi halinde ise soketler kayacı

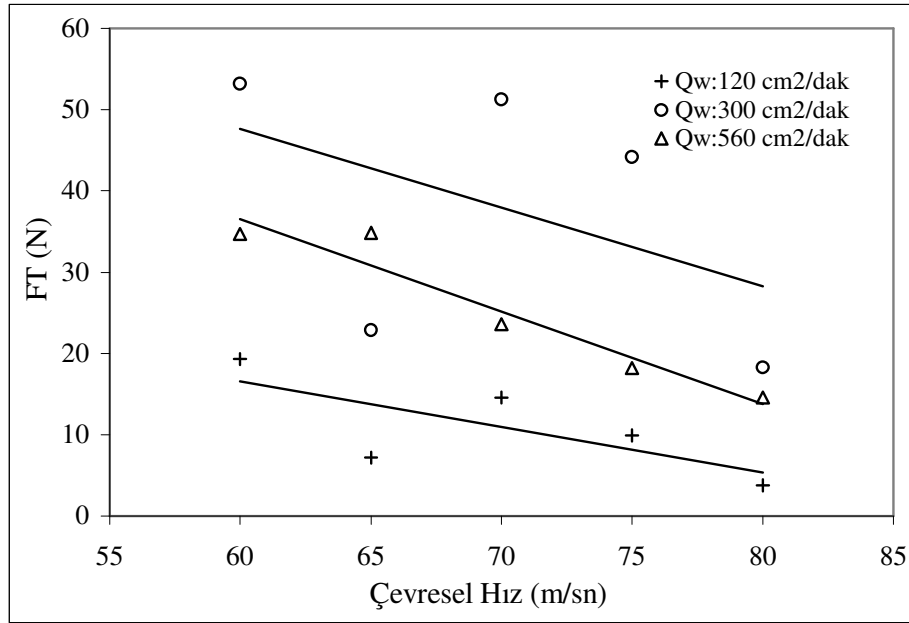
kesememekte ve testere kayaç içersinde sıkışmaktadır. Bu nedenle, endüstriyel uygulamalarda birim zamanda kesilen alan miktarı daha fazla artırılmak istendiğinde, çevresel hızın kesinlikle kontrollü ve kademeli bir şekilde artırılması gerekmektedir.



Şekil 5.9. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesilen Alan Değerlerinde, Çevresel Hızın Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



Şekil 5.10. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesilen Alan Değerlerinde, Çevresel Hızın Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.

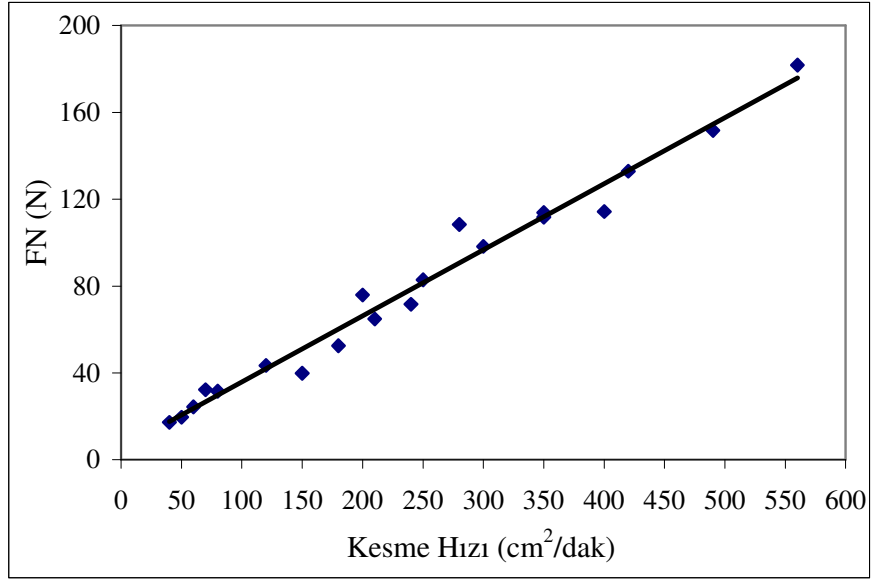


Şekil 5.11. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Kesilen Alan Değerlerinde, Çevresel Hızın Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.

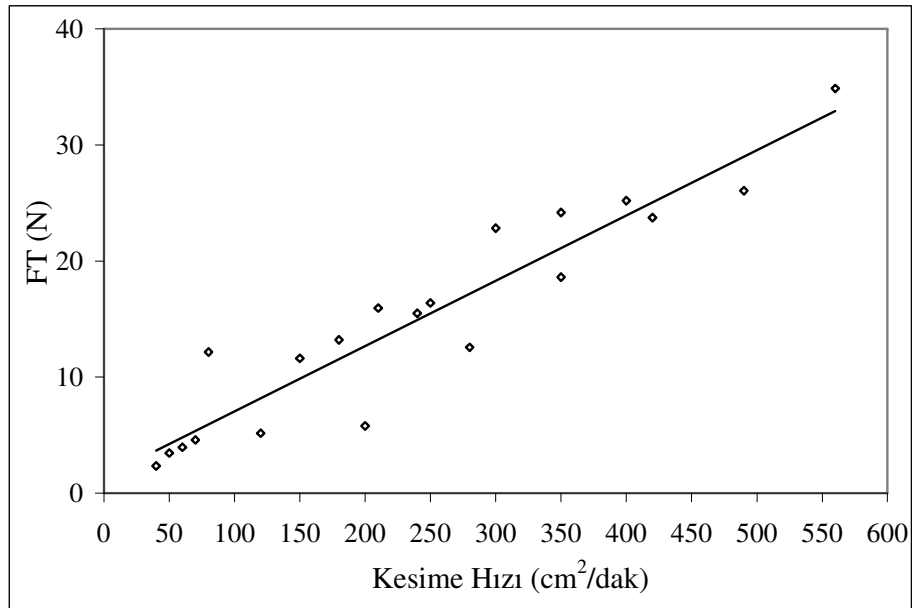
5.5. Kesme Hızının Kuvvetler Üzerine Etkisi

Kesme hızı, cm^2/dak veya m^2/dak cinsinden birim zamanda kesilen alan miktarı olarak tanımlanır. Kesme hızının yüksek olması kesicilerin normalden daha hızlı aşınarak bitmesine, yavaş olması ise kesici testerenin körelerek aşınmasına ve makinenin boşa çalışarak enerji ve işçilik maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

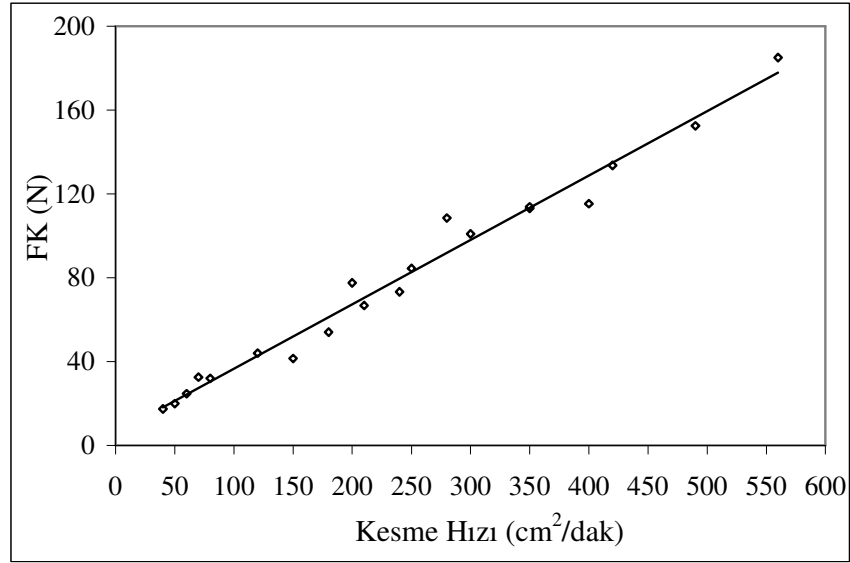
Deney sonuçlarına göre, kesme hızı ve kuvvetler arasındaki ilişki Korkuteli mermerinde normal kuvvet için Şekil 5.12.'de, teğetsel kuvvet için Şekil 5.13.'de, kesme kuvveti Şekil 5.14.'de verilmektedir. Diğer kayaçlarda ilgili değerler EK 5.16-5.26.'da verilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi kayaçlardaki kesme hızı arttıkça kesme sırasında oluşan kuvvetlerde doğrusal veya doğrusala yakın bir şekilde artmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda hedef, birim zamanda kesilen alan – üretim miktarının ekonomik bir şekilde artırılmasıdır. Ancak bu durum genellikle kesici testerenin hareketini sağlayan motor gücü ile sınırlanmaktadır. Diğer yandan, mevcut olan motor gücünden maksimum oranda yararlanmak makinenin çalışma parametrelerinin (kesme derinliği, ilerleme hızı, çevresel hız, kesme kuvvetleri ve SE_{kes}) optimum bir aralık veya değerde olması ile mümkündür.



Şekil 5.12. Korkuteli Mermeri İçin Kesme Hızı Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



Şekil 5.13. Korkuteli Mermeri İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.

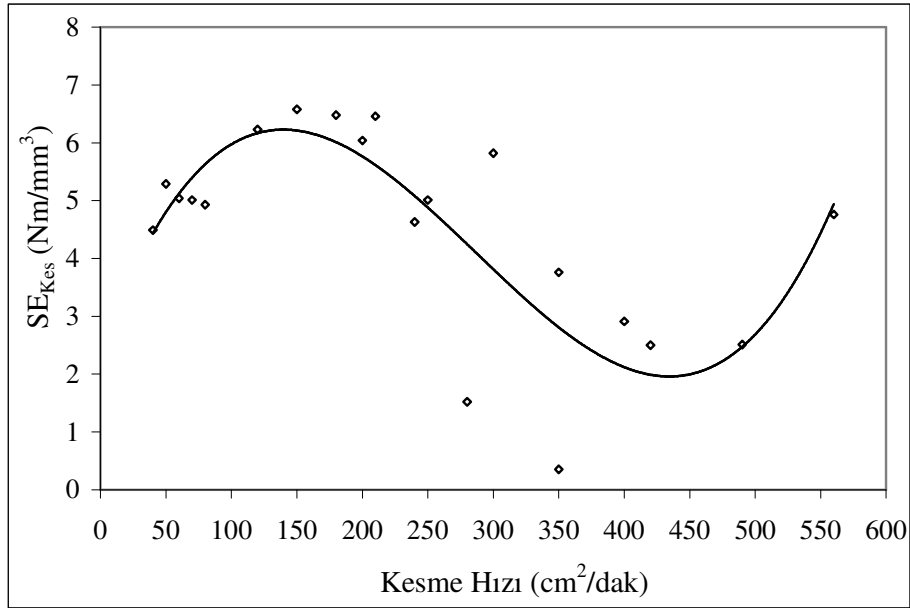


Şekil 5.14. Korkuteli Mermeri Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.

5.6. Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes})

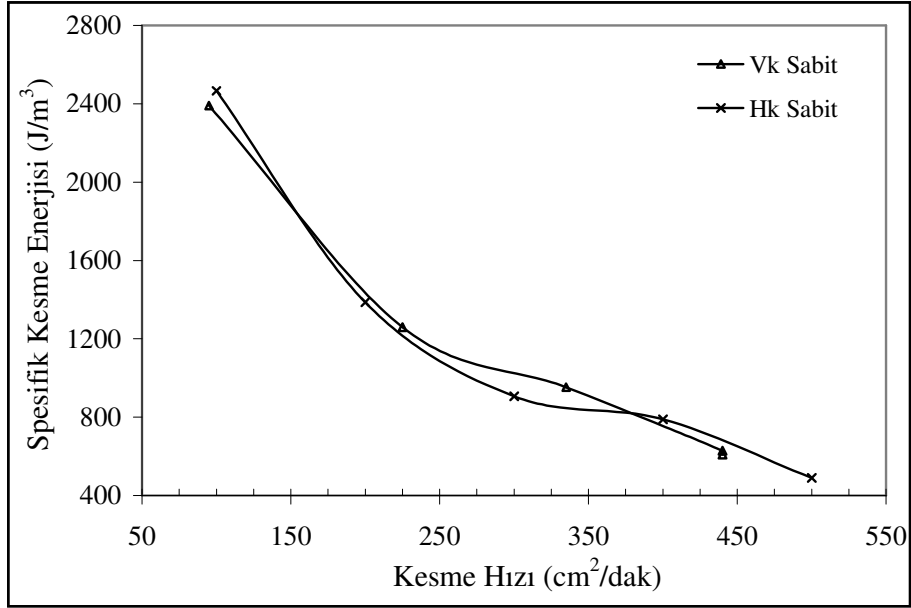
Spesifik kesme enerjisi (SE_{kes}) birim zamanda kayayı kesmek için gereken enerji miktarıdır ve pratikte pek dikkate alınmamaktadır. Ancak, etkili ve verimli bir kesmenin yapılabilmesi için kesme hızının maksimum ve SE_{kes} 'in minimum olduğu nokta veya belirli bir aralık olmasına bağlıdır. Bu değer kesme işleminin en ekonomik olduğu durumdur. Bu nedenle, SE_{kes} verimliliğin bir ölçüsü ve kriteridir. SE_{kes} 'in optimum olduğu aralıktaki kesme derinliği ve ilerleme hızının belirlenmesinde kullanılan faktörler kesici motorunun kapasitesi, testerenin geometrik özellikleri ile çalışma parametreleri, kayacın fiziksel ve jeomekanik özellikler sayılabilir.

Deneyler sırasında kullanılmış olan kesici düzenek için geçerli olan farklı kesme hızlarındaki kayaların SE_{kes} değerleri Şekil 5.15 ve Ek 5.27-5.30'da verilmiştir. Kayaçların SE_{kes} değerleri kesme hızı arttıkça öncelikle hızlı bir şekilde azalma göstermektedir (Korkuteli mermeri için $Q_w \cong 450$ cm²/dak, Osmaniye Serpantin Breşi için $Q_w \cong 500$ cm²/dak, Sivrihisar Kireçtaşı için $Q_w \cong 430$ cm²/dak, Söğüt Kireçtaşı için $Q_w \cong 450$ cm²/dak. ve Bilecik kireçtaşı için $Q_w \cong 270$ cm²/dak). Fakat daha sonra tekrardan yükselmeye başlamaktadır. Bu SE_{kes} değerinin en düşük olduğu aralık kesme işleminin en verimli olduğu bölgedir.

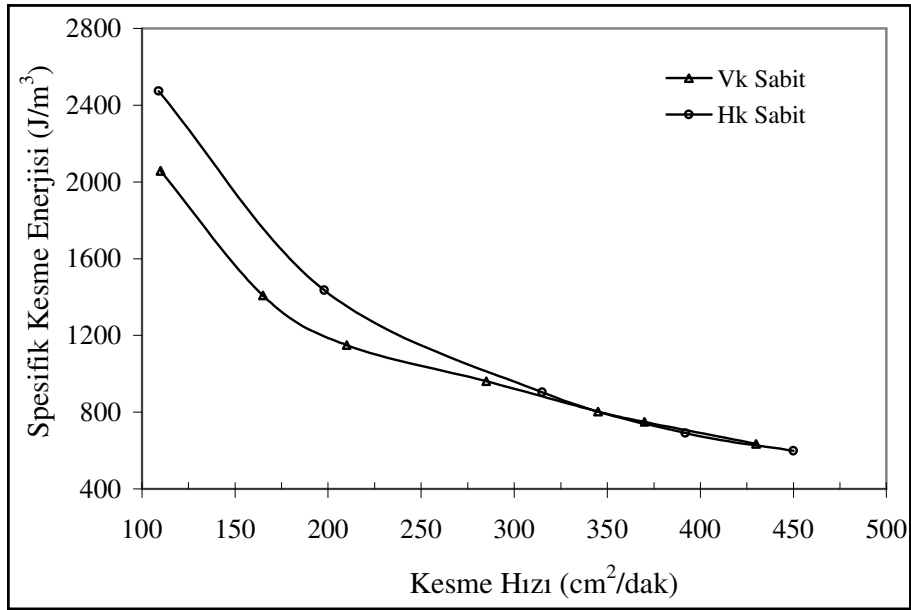


Şekil 5.15. Korkuteli Mermeri İçin Kesme Hızındaki Değişimin SE_{kes} Üzerine Etkisi.

Güç analizörü kullanılarak yapılan çalışmalar, kesme derinliği sabit tutularak farklı ilerleme hızlarında ve ilerleme hızları sabit tutularak farklı kesme derinliklerinde gerçekleştirilen SE_{kes} değerleri grafiksel olarak incelenmiştir. Bilecik kireçtaşları, Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit verileri örnek olarak Şekil 5.16 ve 5.17’de verilmiştir. Diğer kayaçlar için ilgili grafikler ise Ek 5.31-5.34’de verilmiştir. Bu grafiklerden de görüldüğü gibi kayaçların kesilmesi sırasında ilerleme hızı artıkça öncelikle SE_{kes} çok hızlı bir şekilde düşmektedir. Daha sonra ise bu düşüş kayaç tipine ve özelliklerine göre (Burdur kireçtaşında Q_w : 250 – 300 cm^2/dak , Bilecik kireçtaşında Q_w : 240 – 275 cm^2/dak , Kayseri Erkilet Dasit için Q_w : 275 – 300 cm^2/dak , Afyon ve Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit için Q_w : 225 – 250 cm^2/dak , Afyon Tüf içinse Q_w : 250 – 275 cm^2/dak ,) belirli bir noktadan sonra azalmaktadır. Bunun sebebi ise yüksek kesme hızlarında kesici düzenek için zor kesim şartları oluşmakta ve kesici testere kayacı kesmekte zorlanmaktadır. Bu seviyenin üzerinde, ilerleme hızını kontrol eden hız invertörlerindeki göstergelerin sabit kesme şartlarını sağlayamayarak azalma eğilimine girmesi de bu olayın bir göstergesidir.



Şekil 5.16. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesme hızındaki Değişimin SE_{kes} Üzerine Etkisi.



Şekil 5.17. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit İçin Kesme Hızındaki Değişimin SE_{kes} Üzerine Etkisi.

6. KAYA ÖZELLİKLERİNİN KESME VERİMİNE ETKİSİ

6.1. Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes})’nin Kesme Verimine Etkisi

Kesici verimini etkileyen birçok kompleks faktör vardır. Ancak, gerek arazi şartlarında gerekse laboratuvarlarda kesilen kayaç özellikleri ve operasyon parametreleri bu faktörlerin en önemlileridir. Kaya kesiminde kullanılan makinelerin tasarım ve üretimi için kesilecek kayaç özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Değişik türlerdeki kayaçların kesilebilirlik özelliklerinin belirlenebilmesi ve birbirleri ile karşılaştırılmaları için, kesme deney düzeneğinin kapasitesine ve kayaç özelliklerine göre, belirlenecek olan standart deney koşullarında (kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı ile çevresel hız) yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, literatür incelenerek, bölüm 5.6’da ki deneyler sırasında kesici makinenin hız invertörlerindeki verilerin değişimleri üzerine yapılan gözlemlerden faydalanarak, kesme deney düzeneği için en uygun çalışma parametreleri belirlenmiştir. Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes}) ile kesilen alan grafikleri incelenmiştir. SE_{kes} önce yüksek bir değerden başlayarak, kesilen alan miktarı artırıldıkça, azalma gösterdiği, belirli bir aşamadan sonra ise tekrardan yükselmeye başladığı görülmüştür. Kesilen alan miktarının en yüksek, SE_{kes} değerinin en düşük olduğu aralık kesme veriminin en yüksek olduğu bölgedir. Ancak, bej türü kayaçlarda bu aralık 400 – 450 cm^2/dak ’ya karşılık gelmektedir. Bu değerde yapılan kesme deneylerinde hız invertörlerinden okunan değerler kesme işlemi süresince, kesici makine tarafından sabit olarak tutulamamakta ve azalmaktadır. Bu sebepten, belirtilen bu aralıkta yapılan kesme deneyleri kesme deney düzeneğinin kapasitesini zorlamakta ve zor kesim şartları olarak gerçekleşmektedir. Güç analizörü aracılığı ile ölçülen SE_{kes} değerleri ile kesilen alan grafikleri incelendiğinde (Bölüm 5.7), kesilen alanın düşük değerlerinde SE_{kes} değerlerinin oldukça yüksek olduğu, kesilen alan miktarı artıkça bu değer belirlen bir noktaya kadar hızlı bir şekilde azalma gösterdiği, bu noktadan sonra ise kesilen alan miktarı artırıldıkça SE_{kes} değerindeki azalmanın oldukça düşük olduğu gözlenmektedir. Bu değer, bej türü kayaçlarda (Q_W : 240 cm^2/dak , H_K : 60 mm, V_K : 0,4 m/dak.), volkanik kayaçlar için (Q_W : 250 cm^2/dak , H_K : 50 mm, V_K : 0,5

m/dak.) olarak belirlenmiş ve kayaçların birbirleri ile karşılaştırılması için yapılacak olan kesme deneylerinde çalışma parametresi olarak bu değerler kullanılmıştır. Belirlenen bu çalışma parametrelerinde her bir kayaç için en az 5 adet kesme deneyi yapılarak ortalama SE_{kes} hesaplanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kesme Düzeneginin Kayaçlar İçin Optimum Çalışma Parametrelerinde Belirlenmiş Olan SE_{kes} Değerleri.

Kayaç Adı	SE_{kes} (j/m ³)
Bilecik Kireçtaşı	1118
Korkuteli Mermeri	1093
Burdur Kireçtaşı	1125
Söğüt Kireçtaşı	1120
Sivrihisar Kireçtaşı	1070
Osmaniye Serpantin Breşi	1093
Afyon Bazaltik Andezit	1078
Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit	1252
Kayseri Erkilet Bazalt	1129
Afyon Riyolit Tüf	960

6.2. Testere Tipinin Kesme Verimliliğine Etkisi

Kesme işleminde kayaca uygun olarak imal edilmiş testerelerin kullanılması tüm dünyada kabul görmüş bir gerçektir. Bu kanıyı irdelemek amacıyla Kayseri Erkilet Bazalt için farklı iki testere (mermer ve andezit testeresi) kullanılarak beşer adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Mermer testeresi ile gerçekleştirilen kesme deneylerinde SE_{kes} 1184 j/m³ olarak tespit edilirken, andezit testeresi kullanılarak yapılan kesme deneylerinde SE_{kes} 1129 j/m³ olarak belirlenmiştir. Bu kayacın mermer testeresi kullanılarak yapılan kesme deneylerinde, andezit testeresi kullanılarak yapılan kesme deneylerine göre %5’lik daha fazla SE_{kes} tüketilmiştir. Andezit testeresinin gözenekli bir yapıda olan Erkilet bazalt kayacı için daha uygun bir testere olduğu görülmektedir.

Farklı kesiciler kullanılarak yapılan kesme deneylerinde testerede oluşan aşınma miktarı ise, mermer testeresi kullanarak yapılan kesme deneylerinde 1113 gr/m^3 iken aynı kayaç için andezit testeresi kullanarak yapılan deneylerde 184 gr/m^3 'e düşmektedir. Kayseri Erkilet andezitinin SE_{kes} değerinin (864 j/m^3) kireçtaşı grubu kayaçların SE_{kes} 'den daha düşük olması da testere özelliklerinin (tasarım parametrelerinin ve soket “elmas ve matriks” özelliklerinin) kesme ekonomisi için ne denli önemli olduğu görülmektedir.

6.3. Kayaçlardaki Yönlenmenin Kesme Verimine Etkisi

Kayaçlarda lineasyon, foliasyon, şistozite gibi kesilebilirliği etkileyebilecek tane veya mineral yönlenmeleri görülebilir. Hemen hemen her kayaçta görülebilen lineasyon daha çok prizmatik şekilli tane veya minerallerin sıralanması ile oluşur. Daha çok metamorfik ve magmatik kayaçlarda görülebilen foliasyon ile sadece metamorfik kayaçlarda görülen şistozite ise levhamsı minerallerin birbirlerine paralel olarak dizilmesi ile oluşmaktadır (Billings, 1972).

Kayaçların fiziksel özelliklerine etki eden yönlenmenin kesme verimine etkilerini incelemek için Korkuteli mermeri ve Sivrihisar kireçtaşı standart kesme şartlarında kesme deneylerine tabi tutulmuş ve deney sonuçları toplu olarak Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kayaçlarda Yönlenmenin Kesme Verimine Etkileri.

Kayaç Adı	Kesme Yönü	$SE_{kes} (\text{j/m}^3)$
Sivrihisar Kireçtaşı	→	1070
	↓	1205
Korkuteli Mermeri	→	1093
	↓	1190
	↑	1150

Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi kayaçlarda farklı yönlerden yapılan kesme işlemlerinde SE_{kes} bakımından Sivrihisar kireçtaşı % 12.62 Korkuteli mermeri içinse sırası ile % 8.88 ve % 5.22 oranında bir değişiklik tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı kayaçları keserken, eğer kayacın mikro-makro çatlak, kırık yapısı ile renk yapısı uygun olduğu takdirde, kesme yönüne dikkat edilerek yapılacak kesme işlemlerinde yaklaşık olarak %5-15 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

6.4. Kayaç Özelliklerinin Kesme Verimine Etkileri

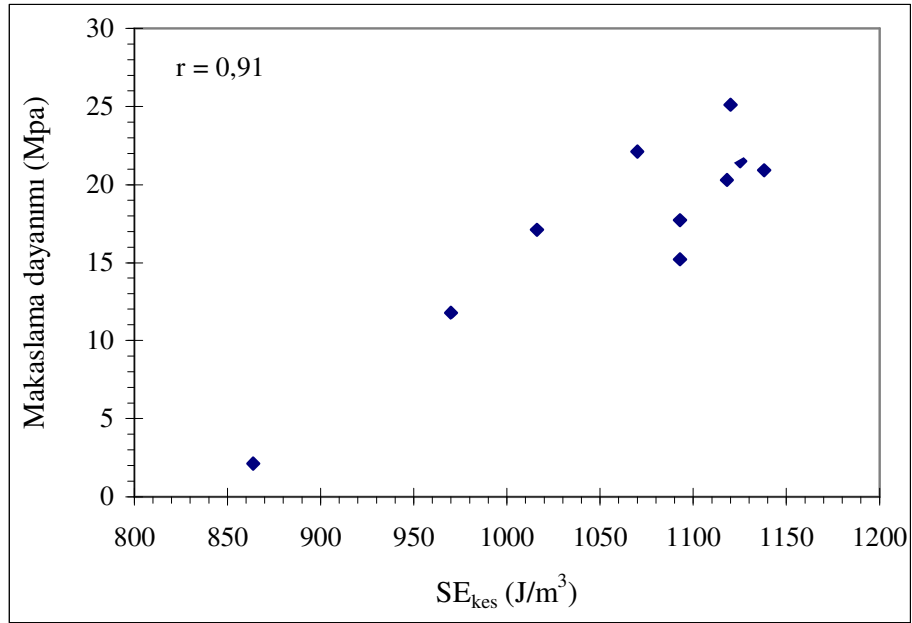
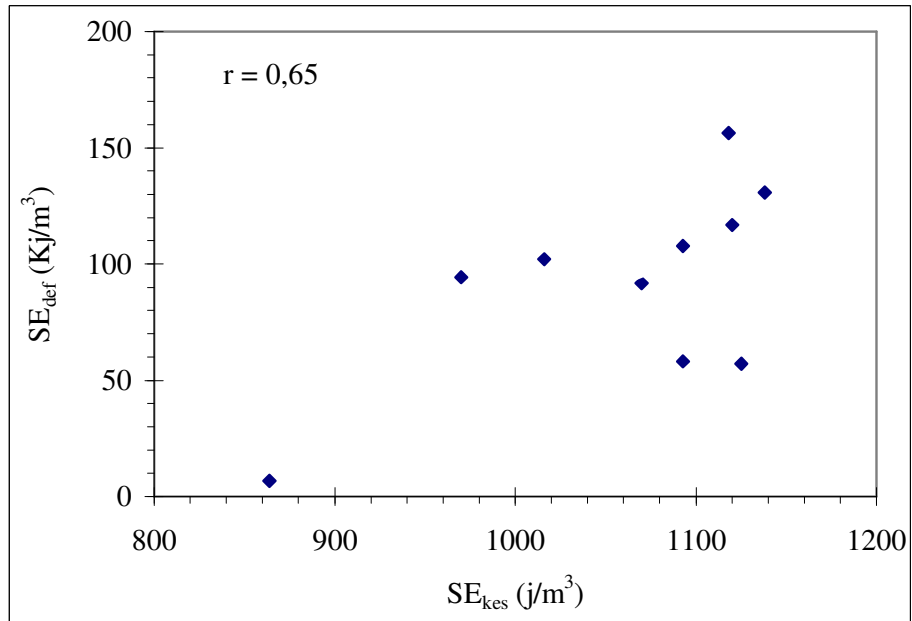
Verimli bir kesme işlemi yapmak için testere, makine seçimi ve çalışma parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu değerlerin tespiti için kayaç özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kayaçların fiziksel, mineralojik, kimyasal ve yapısal özelliklerini belirleyebilmek için Bölüm 5’de belirtilen deneyler gerçekleştirilmiş ve kayaç özelliklerinden SE_{kes} üzerinde etkili olan parametreler belirlenmiştir.

6.4.1. Kayaçların Dayanım Özellikleri İle Kesme Veriminin İlişkisi

SE_{kes} ile kayaçların dayanım özellikleri arasındaki korelasyon incelendiğinde tek eksenli basma dayanımı, endirek çekme dayanımı, çift makaslama dayanımı ve eğilme dayanımı ile SE_{kes} arasındaki korelasyon değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Kayaçların dayanım değerleri de birbirleriyle yüksek korelasyona sahiptir. Kaya kesiminde SE_{kes} ’in makaslama dayanım özelliğine göre değişimi Şekil 6.1’de görülmektedir.

6.4.2. Spesifik Yenilme Enerjisi (SE_{def}) ile Kesme Veriminin ilişkisi

Spesifik yenilme enerjisi (SE_{def}), kayaçların tek eksenli basma dayanımının gerilme-deformasyon grafiğinden hesaplanmıştır. Kesilebilirlik ve delinebilirlik için kullanılan yeni bir kaya mekaniği parametresidir. SE_{def} ile SE_{kes} arasındaki ilişki Şekil 6.2.’de gösterilmiştir. Şekilden anlaşıldığı gibi SE_{def} ile SE_{kes} arasında doğrusal bir ilişki vardır ve SE_{def} artması ile SE_{kes} ’de artmaktadır.

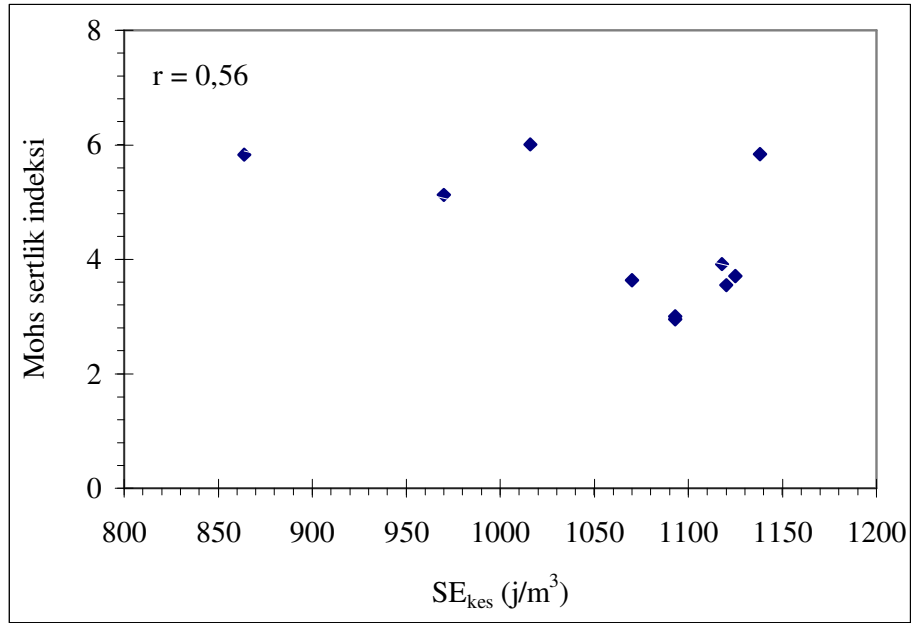
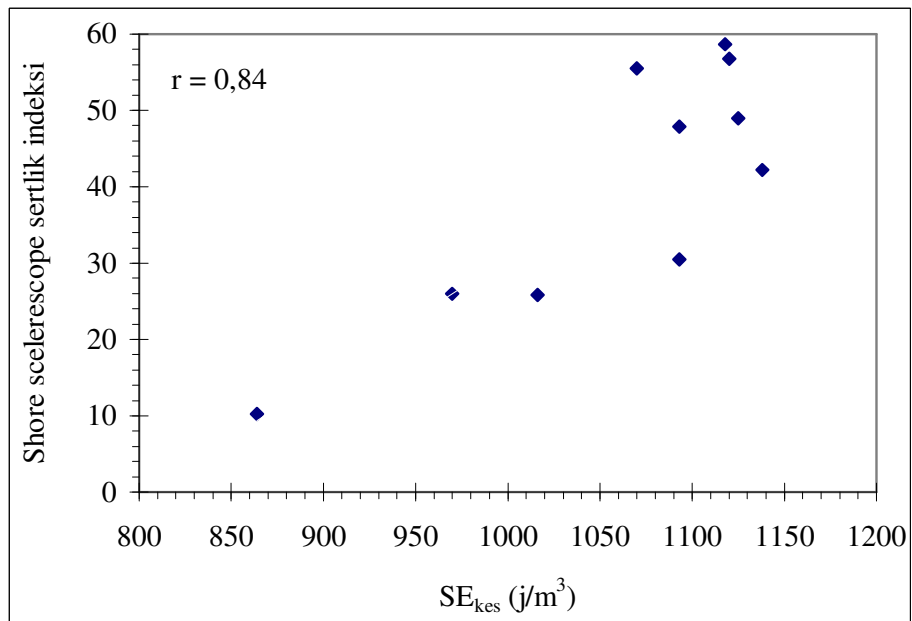
Şekil 6.1. Kayaçların Çift Makaslama Dayanımı İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.Şekil 6.2. Spesifik Yenilme Enerjisi (SE_{def}) İle Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes}) Arasındaki İlişki.

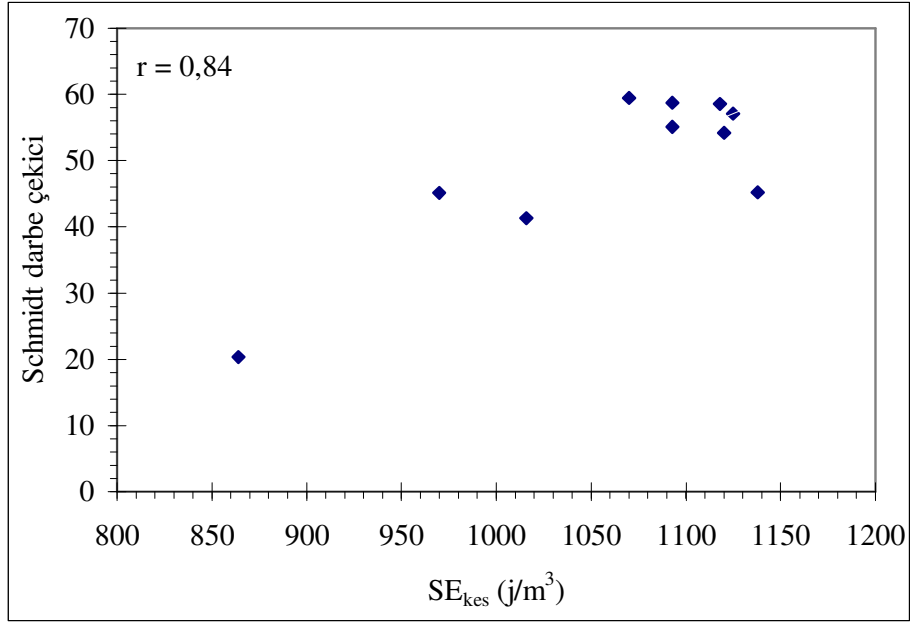
Kayaçların dayanım özellikleri ile SE_{kes} arasındaki yüksek korelasyonun sebebi ise; elmaslı testerelelerdeki kesme mekanizmasının incelenmesiyle açıklanabilir. Kesme esnasındaki birincil çatlak oluşumu aşamasında testere üzerindeki elmas taneleri kayaca batmaya çalışırken elmasın alt kısmında yüksek basınç oluşmaktadır. Elmasın arkasında kalan alanda, basıncın boşaldığı bölgede ise çekme gerilmesi oluşmaktadır (Tönshoff ve dig., 1993). Bu ve basma ve çekme kuvvetleri sonucunda kayaktan ufak kırıntılar şeklinde parçalar kopmakta ve kesme sağlanmaktadır. Bu nedenle, Şekil 6.1. ve Şekil 6.2'den de anlaşıldığı gibi kayacın dayanım özellikleri yükseldikçe elmasın batması ve çekmesi zorlaşacağı için kesme verimi düşmekte ve SE_{kes} 'de artış gözlenmektedir.

6.4.3. Kayaçların Sertlik Özellikleri ile Kesme Veriminin İlişkisi

Mohs sertliği, Shore sclerescopu sertliği ve Schmit sertlik indeks değerleri ile SE_{kes} 'in ilişkisi sırası ile Şekil 6.3-6.5'de verilmektedir. Bu şekiller incelendiğinde Mohs sertliği ile SE_{kes} arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi ise Mohs sertliği sadece minerallerin sertliklerini kullanan, tane boyutu, şekli, çimento malzemesinin tipi, sertliği ve bağ yapısı gibi önemli faktörleri ihmal eden bir sertlik modellemesi olmasıdır. Shore sertliği ve schmidt sertliğinin SE_{kes} ile aralarında anlamlı bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Yani kayaçların sertlik değerleri arttıkça SE_{kes} 'de yükselmekte ve kesilebilirlik zorlaşmaktadır.

Sertlik, mineralin çizilmeye batmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanmaktadır. Sert kayaçlar, kesici uç üzerindeki elmasların batmasına karşı koydukları için kesme verimini olumsuz olarak etkilemektedirler. Bu yüzden sert kayaçların kesiminde daha yüksek SE_{kes} değerleri oluşmaktadır.

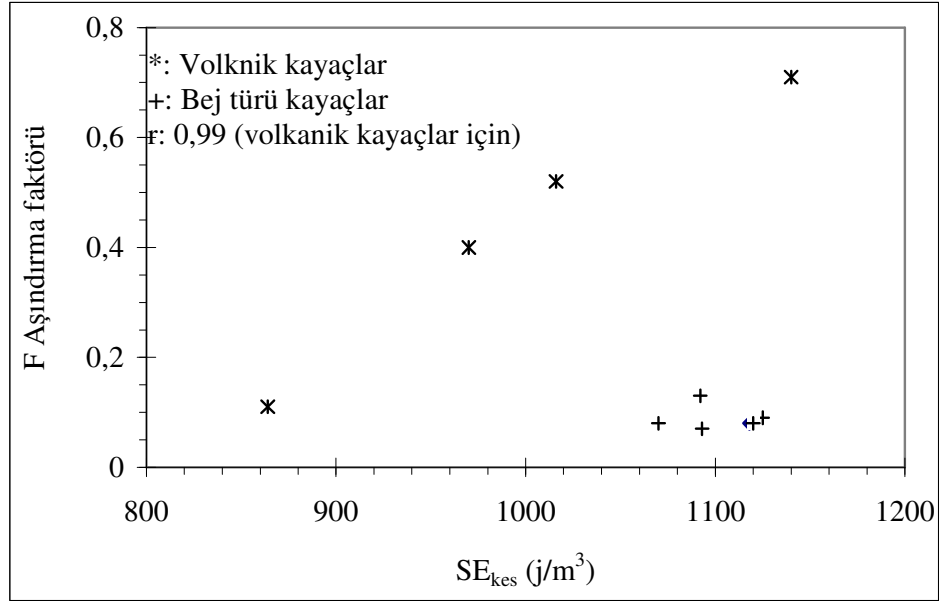
Şekil 6.3. Mohs Sertlik İndeksi İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.Şekil 6.4. Shore Sclerescence Sertlik İndeksi İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.



Şekil 6.5. Schmidt Darbe Çekici İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.

6.4.4. Aşınma ile Kesme Veriminin İlişkisi

Kayaçlarda aşınma ve aşındırma özelliklerinin kesme verimi üzerine etkilerini inceleyebilmek için cerchar aşınma deneyi, böhme yüzey aşınma deneyi ve F-aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. F-aşınma indeksi ile SE_{kes} arasındaki ilişki Şekil 6.6'da görülmektedir. F-aşınma indeksi ile SE_{kes} arasında volkanik kayaçlar için oldukça anlamlı ve doğru orantılı bir ilişkinin olduğu ($r:0,99$) ancak bej türü kayaçların belirli bir bölgede toplanarak bu ilişkinin korelasyonunda sapmaya neden olduğu görülmektedir. Bej türü kayaçlardaki sapmanın nedeni ise, bu kayaçların içeriğinde, F-aşınma indeksinin belirlenmesinde kullanılan kuvarsın bulunmaması ve eşdeğer kuvars oranının oldukça düşük olmasıdır. Volkanik ve aşındırıcı, sert kayaçlar için F-aşınma indeksi yükseldikçe SE_{kes} de artmaktadır.



Şekil 6.6. F- Aşınma İndeksi İle SE_{kes} Arasındaki İlişki.

Kayaçların aşındırma değerleri ile SE_{kes} arasında Şekil 6.6'daki korelasyon değerinden de görüldüğü gibi oldukça anlamlı bir ilişki vardır. Kayaçların aşındırma değerleri arttıkça SE_{kes} değerleri de yükselmektedir. Bunun sebebi; aşındırıcılık değeri yüksek olan bir kayacın kesiminde testere hızlı bir şekilde aşınacak ve körelecektir. Körelmiş bir testere kesme işlemini tam olarak sağlıklı bir şekilde gerçekleştiremediği için kayaç ile testere arasındaki kuvvetlerde yükselme meydana gelecektir. Kuvvetlerin artması sonucunda daha zor kesme şartları olduğu için SE_{kes} değeri de artmaktadır. Bundan dolayı kayaçların aşındırıcılık değerleri kesme verimini kontrol eden önemli parametrelerden birisidir. Sedimanter kayaçlarda aşındırıcılık özellikleri ile SE_{kes} arasında yüksek korelasyonun olmamasının sebebi ise; bu kayaçların aşındırıcılık özelliklerinin çok düşük olmasıdır.

7. TESTERE PERFORMANSININ TAHMİNİ**7.1. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi İle Testere Veriminin Tahmini**

Her kesme düzeneğinin optimum çalışma şartlarının tespiti için farklı ilerleme hızları, kesme derinlikleri ve çevresel hız değerlerinde her bir kayaç için bir çok kesme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirilerek, deney setinin optimum çalışma şartları belirlenmiştir. Bu çalışma şartlarında kayaçların Spesifik kesme enerjisi (SE_{kes}) tespit edilmiştir. Kayaçların toplam 21 farklı fiziksel, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Kayaçların özellikleri göz önüne alınarak benzer özellikler ve benzer kesilme karakteristiği gösteren kayaçlar kendi içersinde gruplandırılarak, kireçtaşı mermer ile andezit, bazalt ve tüf grubu kayaçlar olarak iki ayrı grup olarak sunulmuştur.

Bu bölümün amacı, kayaç kesme işleminde en yüksek maliyeti tutan enerji tüketim değerlerini, kolaylıkla tespit edilebilecek kayaç özellikleri kullanarak geliştirilen istatistiksel modellerle tahmin etmektir. Bu amaçla SPSS 11.0 ve Minitab 13.0 istatistiksel paket programları kullanılmıştır. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizinde stepwipse regresyon analizi uygulanmıştır. Bu yöntemde, verilen bütün bağımsız değişkenlerin önem derecelerine göre birer birer modele eklenmesi (Forward selection) veya bağımsız değişkenlerin teker teker modelden çıkarılması (Backward elimination) şeklinde iki alt grup bulunmaktadır. Çalışmalarda iki yöntemde kullanılarak elde edilen yüzlerce model içersinden birisi istatistiksel testler kullanılarak en iyi model olarak seçilmiştir.

7.2. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi ile İlişkili Parametreler

Regresyon analizi; belirlenen bir bağımlı değişken üzerindeki birden fazla bağımsız değişkenin doğrusal etkisini ve ilişkisini inceleyen ve bu ilişkiye en uygun modelin seçimini sağlayan bir tahmin yöntemidir (Ersoy, 1996; Eyuboğlu, 2000).

Çok değişkenli regresyon analizinde bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişken bulunmaktadır. Aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_a + \beta_2 X_b + \dots + \beta_k X_k + e \quad [7.1]$$

Burada;

Y: Bağımlı (açıklanan) değişken,

α : Modelde kullanılan sabit değer

β_1, β_2 ve β_k : Regresyon katsayılarıdır ve ilgili bağımsız değişkendeki bir birimlik artışın bağımlı değişkende yaratacağı değişim miktarı olarak açıklanır.

X_k, X_a, X_b ve X_k : Bağımsız (açıklayıcı) değişkenler,

e: modelin hatasıdır.

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizinde bir çok istatistiksel terim kullanılmaktadır. Bunlar determinasyon katsayısı, korelasyon katsayısı, düzeltilmiş determinasyon katsayısı, model hatası, regresyon katsayısının standart hatası, güven seviyesi, güven aralığı, güven sınırları, anlamlılık düzeyi, t dağılımı, F dağılımı ve rezidual değerleri ve Durbin-Watson istatistiği sayılabilir (Durbin ve Watson, 1951; İşcil, 1977; Tukey, 1977; Levin ve Rubin, 1980; Draphe ve Smith, 1981; İnal ve Günay, 1982; Köksal, 1985; Rawlings, 1988; Myers, 1990; Johnson ve Wichern, 1992; Ersoy, 1996; Büyüksağış, 2000).

Determinasyon katsayısı (R^2), açıklanabilir varyansın toplam varyansa oranıdır. Regresyon analizi tutarlılığının göstergelerinden biri R^2 'nin mümkün olduğunca 1 e yakın olmasıdır. Fakat R^2 'yi tek bir belirleyici olarak kullanmak yanıltıcıdır. Korelasyon ise iki veya daha fazla sayıdaki değişken arasındaki ilişkiyi gösterir. Korelasyon katsayısının işareti (+) ise iki değişken arasındaki ilişki doğru orantılı, (-) ise ters orantılıdır. Düzeltilmiş veya ayarlanmış determinasyon katsayısı (R^2_{adj}) serbestlik derecesine göre R^2 'nin düzeltilmiş halidir. Modele yeni değişkenler eklenmesi ile R^2 artarken R^2_{adj} değeri artmaz, belirli bir sınırdan sabit kalır.

Standart hata örnek dağılımının istatistiksel olarak standart sapmasıdır. Tahminin standart hatası tahmin edilen modelin güvenilirliği olarak tanımlanabilir ve gözlenen değerlerin regresyon doğrusunun etrafındaki değişkenliğidir. Regresyon

katsayısının standart hatası ise, örneklerin regresyon katsayılarının, tahmini regresyon katsayısı etrafındaki değişimlerini gösteren bir ölçüdür.

Bir tahminin doğruluk derecesinin belirlenmesine güven düzeyi denilmektedir ve yüksek doğruluk derecesi yüksek güven düzeyini belirtmektedir. Model veya eşitliklerde genellikle %90, %95, %99 güven düzeyleri kullanılır. Bizim yapmış olduğumuz çalışmalarda %95 güven düzeyi kullanılmıştır. Yüksek güven düzeyi yüksek hassasiyet gösteriyor olmasına rağmen, büyük güven aralıkları oluşturmaları nedeniyle hassas değildir. Güven aralıkları, tahminin hangi değer aralığında olduğunu gösterir. Bu aralıklarının alt ve üst sınırları ise güven sınırları olarak adlandırılır. Anlamlılık düzeyi ise belirli bir limitin altında kalması gereken ve sıfır hipotezini (H_0) doğrulayan bir değerdir.

Student (t) dağılımında serbestlik derecesi (N-k) ve güven düzeyi parametreleri kullanılmaktadır. Burada N örnek sayısı, k ise modeldeki bağımsız değişken sayısıdır. İstatistik kitaplarının eklerinde çizelge halinde t değerleri verilmektedir. t dağılımı örnek sayısının 30 veya daha altında olduğu ve verilerin normal dağılım gösterdiği durumlarda kullanılmaktadır. Modelde her bir bağımsız değişken katsayısının t değeri, onun standart hatasının katsayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. t testi modelin geçerliliği için oldukça önemli bir parametredir.

İki örnek varyansının birbirlerine oranının örnekleme dağılım yönelimi olarak da bilinen F dağılımı normal iki ana kütleli varyansı için örnek varyansına dayanılarak karar verileceği zaman kullanılmaktadır. F dağılımında payın serbestlik derecesi (k-1) ve paydanın serbestlik derecesi (N-k) olmak üzere iki parametre kullanılmaktadır. F dağılım tabloları da istatistik kitaplarının eklerinde verilmiş olup, hesaplanan model değeri bu tablolardaki değerlerle karşılaştırılarak modelin geçerliliği test edilmektedir.

Rezidual (artık değer) ise gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki fark olarak tanımlanır. Artık değerler regresyonla elde edilen modelin geçerliliğinin kontrolünde kullanılır. Eğer model geçerli ise artık değerler sıfır doğrusu etrafında rasgele bir dağılım göstermesi beklenir.

7.3. Spesifik Kesme Enerjisinin Tahmini İçin Geliştirilen Modeller

İki grup kayaç (kireçtaşı, mermer grubu ve volkanik kayaçlar) için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Değişkenler arasındaki korelasyonu incelemek amacıyla kayaçların SE_{kes} ile toplam 21 adet kayaç özelliklerinin korelasyon matrisleri oluşturulmuştur. (Çizelge 7.5 ve 7.6) Genellikle bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında yüksek korelasyon olması beklenmektedir. Ancak, modele giren bağımsız değişkenlerin kendi içersinde yüksek korelasyon göstermesi ise oldukça ciddi bir problemdir. Bu nedenle modelleme yapılmadan korelasyon matriksi kullanılarak kendi içersinde yüksek korelasyon değeri görülen bazı bağımsız değişkenlerin elenmesi gerekmektedir.

Kireçtaşı ve mermer grubu kayaçlar için oluşturulan yüzlerce model içersinden model test kriterlerine göre SE_{kes} 'in tahmini için seçilen en iyi model aşağıda verilmiştir.

$$Y = 13,47 X_8 - 2087 X_{15} + 19,8 X_{12} \quad [7.2]$$

Burada,

Y: Spesifik Kesme Enerjisi (SE_{kes}),

X_8 : Eğilme dayanımı,

X_{15} : F- aşınma faktörü,

X_{12} : Schmidt darbe çekici'dir.

Yukarıda belirtilen modelin R^2 değeri 0,99 gibi oldukça yüksektir (Çizelge 7.1). Bu değer model sonucunda hesaplanan SE_{kes} 'in % 99 oranında eğilme dayanımı, F-aşınma faktörü ve Schmidt darbe çekici değişkenlerine bağlı olduğunu belirtmektedir. Oluşturulan modelin model hatası ise 39,82'dir. Modelle ilgili daha detaylı bilgi Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.5'deki korelasyon matriksi incelendiğinde 4 bağımsız değişkenin SE_{kes} ile oldukça yüksek korelasyon gösterdiği gözlenmektedir. Bunlar spesifik deformasyon enerjisi (R^2 :0,93), Makaslama dayanımı (R^2 : 0,96), Shore sclerescope

sertlik indeksi (R^2 : 0,99) ve F-aşınma faktörü (R^2 : 0,99), tek eksenli basma dayanımı (R^2 : 0,78), Schmidt darbe çekici (R^2 : 0,80), Böhme yüzey aşınma indeksi (R^2 : 0,79), darbe dayanımı (R^2 : 0,78) ve porozite (R^2 : 0,77) sayılabilir.

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi sonucunda bazalt, andezit ve tuf grubu kayalar için tespit edilen en iyi model aşağıda verilmiştir.

$$Y = 270.96 X_{13} + 5,49 X_{12} + 0,35 X_1 \quad [7.3]$$

Burada,

Y: Spesifik Kesme Enerjisi,

X_{13} : Cerchar aşınma indeksi,

X_{12} : Schmidt darbe çekici,

X_1 : Spesifik deformasyon enerjisi'dir.

Bazalt, andezit ve tuf grubu kayalar için geliştirilen modelin R^2 değeri 0,99 dur (Çizelge 7.1). Model sonucunda hesaplanan SE_{kes} 'in % 99 oranında Cerchar aşınma indeksi, Schmidt darbe çekici ve spesifik deformasyon enerjisi değerlerine bağlı olduğunu belirtmektedir. Oluşturulan modelin model hatası ise 20,62'dir. Modelle ilgili analiz sonuçları Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Modellerin Özet İstatistik Tablosu.

Model	Bağımsız değişkenler	Katsayı	Güven Aralığı		Standart hata	Model hatası	Güven aralığı	Determinasyon Katsayısı (R^2)	Düzeltilmiş Determinasyon Katsayısı	Hesaplanan t değeri	Tablodaki t değeri	Hesaplanan F değeri	Tablodaki F değeri
			Alt sınır	Üst Sınır									
Kireçtaşı ve Mermer grubu kayalar (eşitlik 7.2)	X_{15}	-2087,00	-2786,3	-1387,7	348,49	39,82	% 95	0,99	0,99	-5,99	±2,008	14352,95	3,20
	X_{12}	19,82	18,86	20,79	0,48					41,40			
	X_8	13,47	9,85	17,09	7,80					7,47			
Andezit, bazalt, tüf grubu kayalar (Eşitlik 7.3)	X_{13}	270,96	260,77	281,17	5,04	20,62	% 95	0,99	0,99	53,73	±2,025	32528,50	3,25
	X_{12}	5,49	4,46	6,52	0,51					10,77			
	X_1	0,35	0,15	0,55	0,10					3,58			

7.4. Geliştirilen Modellerin Doğruluk Testleri

Bilgisayarda istatistik paket programları kullanılarak oluşturulan yüzlerce model içersinden en iyi modeli seçmede kullanılan kriterler aşağıda özetlenmiştir.

- Determinasyon katsayısı (R^2),
- Düzeltilmiş determinasyon katsayısı (R^2_{adj}),
- t testi,
- F testi,
- Artık değer (Residual) analizidir.

Determinasyon ve düzeltilmiş determinasyon katsayıları bir modelin en iyi model olup olmadığına karar vermek için yeterli bir test yöntemi olmamasına rağmen, ilk bakılacak parametredir. R^2 ve R^2_{adj} değerleri 1'e yaklaştıkça modelin geçerliliği artmaktadır. Oluşturulan modellerde (Eşitlik 7.2 ve 7.3) bu katsayılar Çizelge 7.1'de görüldüğü gibi 0,99 dur. Bu değerler mükemmele oldukça yakındır. Ancak, bu katsayılar modelin kabul edilmesi için yeterli değildir. t testi, F testi, artık değer dağılım ve olasılık (probability) grafiklerinin incelenmesi gerekir. Bu testler birçok istatistik kitaplarında detaylı olarak açıklanmaktadır. Burada sadece bu testlerle ilgili özet bilgiler verilecektir.

7.4.1. t Testi

t testi, modelin serbestlik derecesi esas alınarak ($t = n - k$) t-tablo değerinin, hesaplanan t değeriyle karşılaştırılması yapılır. Serbestlik derecesinin belirlenmesinde kullanılan parametrelerde n, modelin belirlenmesinde kullanılan örnek sayısı ve k, modele giren bağımsız değişken sayısıdır. t testinde karşılaştırma sonucu modelin geçerli olup olmadığına hipotez testi yardımı ile karar verilir. Test edilecek hipotez sıfır hipotezi olup H_0 ile gösterilir. Diğer bir hipotez ise H_1 ile gösterilen alternatif hipotezdir.

$H_0: \beta = 0$ ise H_0 kabul edilir veya ifade önemli değildir. Bu ise modelin geçersiz olduğu anlamına gelir.

Alternatif hipotez ise;

$H_1: \beta \neq 0$ ise H_0 ret edilir veya ifade önemlidir. Bu ise modelin geçerli olduğu anlamına gelir.

Sonuç olarak; hesaplanan t değeri, t tablo değerine eşitse veya küçükse H_0 hipotezi kabul edilir, hesaplanan t değeri tabloda bulunan t değerinden büyükse H_0 hipotezi ret edilir ve alternatif hipotez olan H_1 hipotezi kabul edilir.

SE_{kes} tahmini için geliştirilen modellerde t testinin uygulanışı %95 güven aralığında yapılmıştır. Eşitlik 7.2’de örnek sayımız 55 olup modele giren bağımsız değişken sayısı 3 olduğu için bu modelimizin serbestlik derecesi $55 - 3 = 52$ ’dir. Belirtilen tablo t değeri $\pm 2,008$ ’dir. Modele giren bağımsız değişkenlerin hesaplanan t değerleri ise F aşınma faktörü (-5,99), Schmidt darbe çekici (41,40), eğilme dayanımı (7,47) dir (Tablo 7.1). Bütün değişkenler için t değerleri t tablo değeri aralığının dışındadır. F aşınma faktörü, Schmidt darbe çekici ve eğilme dayanımı için hesaplanan t değeri tablo t değerinden büyüktür. H_0 hipotezi ret edilir ve kireçtaşı ve mermer grubu kayalar için oluşturulan eşitlik 7.2 t testi bakımından geçerlidir.

Eşitlik 7.3. için ise kullanılan toplam örnek sayımız 41 adet olup modele giren bağımsız değişken sayısı 3 tür. Dolayısıyla modelin serbestlik derecesi 38 olup, %95 güven aralığında tablo t değeri $\pm 2,025$ dir. Modele giren değişkenlerin hesaplanan t değerleri ise Cerchar aşınma indeksi (53,73), Schmidt darbe çekici (10,77) ve spesifik deformasyon enerji (3,58) dir (Çizelge 7.1). Bu değerler tablo t değerinden daha büyüktür. Dolayısıyla H_0 hipotezi ret edilir ve andezit, bazalt ve tüf grubu kayalar için oluşturulan eşitlik 7.3 t testi bakımından geçerlidir.

7.4.2. F Testi

F testi bütün modelin dağılımını inceleyen bir test yöntemidir. F testinin değerlendirilmesi t testine benzemektedir. Bu teste serbestlik derecesi hem pay için hem de payda için belirtilmektedir. Payın serbestlik derecesi $k-1$ bağıntısından, paydanın serbestlik derecesi ise $N-k$ bağıntısından bulunmaktadır. Burada k, modele giren bağımsız değişken sayısı, N ise modelde kullanılan örnek sayısıdır. F –tablo değeri ile hesaplanan F değerleri karşılaştırılarak hipotez testi yapılır ve modelin

geçerli olup olmadığına karar verilir. Hipotez testi aşağıda belirtilen şekilde ifade edilmektedir.

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$ ise H_0 kabul edilir veya ifade önemli değildir. Bu ise modelin geçersiz olduğu anlamına gelir.

Alternatif hipotez ise;

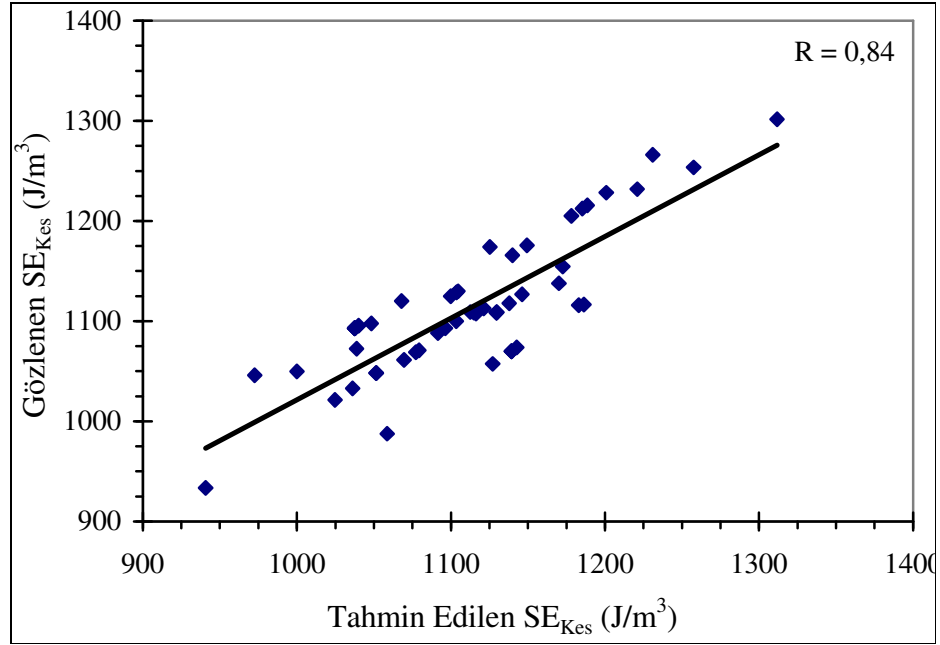
$H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4$ ise H_0 ret edilir veya ifade önemlidir. Bu ise modelin geçerli olduğu anlamına gelir.

Sonuç olarak; hesaplanan F değeri tablo F değerine eşitse veya küçükse H_0 hipotezi kabul edilir, hesaplanan F değeri tabloda bulunan F değeri büyükse H_0 hipotezi ret edilir ve alternatif hipotez olan H_1 hipotezi kabul edilir.

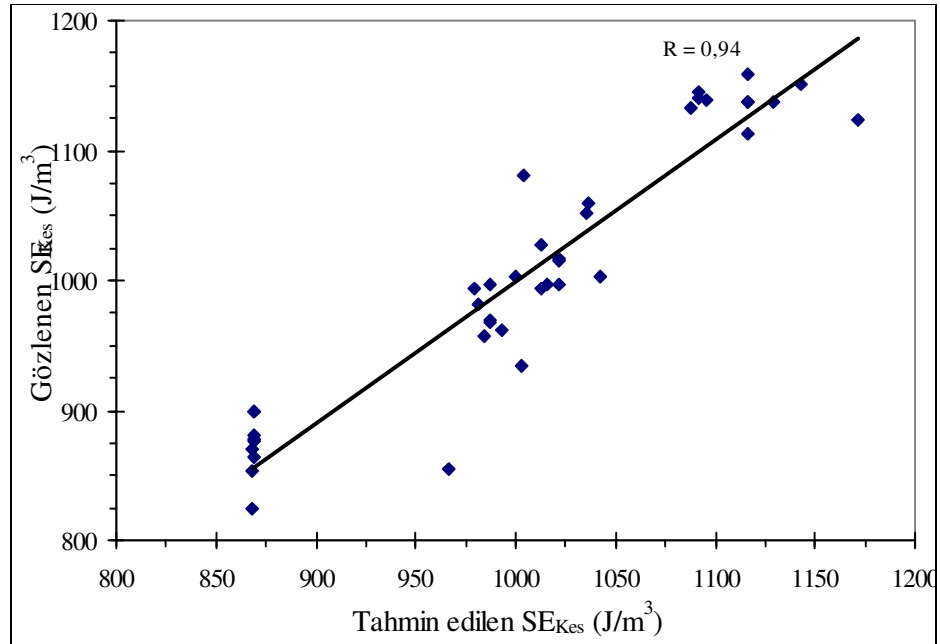
Eşitlik 7.2. için örnek sayısı 55 olup %95 güven aralığında payın serbestlik derecesi 3 - 1: 2, paydanın serbestlik derecesi ise 55-3 (modele giren bağımsız değişken sayısı) :52 dır. Bu serbestlik derecesinde F tablo değeri 3,20 dır. Hesaplanan F değeri ise 14352,95 dır. Eşitlik 7.3. için payın serbestlik derecesi 3 - 1: 2, paydanın serbestlik derecesi ise 41-3:38 dir. Buna göre F tablo 3,25, hesaplanan F değeri ise 32528,50 dır. Her iki eşitlik içinde hesaplanan F değeri tabloda bulunan F değerinden oldukça yüksek olup önem seviyesi 0,000 dır. Buradan H_0 hipotezi ret edilerek, H_1 hipotezi kabul edilir. Yani F testi açısından her iki eşitlikte geçerlidir.

7.4.3. Artık Değer (Residual) Analizleri

Kireçtaşı, mermer ve andezit, bazalt, tüf grubu kayalar için geliştirilen modellerden (Eşitlik 7.2 ve 7.3) tahmin edilen SE_{kes} ile gözlenen SE_{kes} grafikleri Şekil 7.1 ve 7.2’de görülmektedir. Her iki şekilde de veriler X-Y doğrusu etrafında düzgün bir dağılım oluşturmaktadırlar. Gözlenen değer ile hesaplanan değer arasında eşitlik 7.2. için R değeri 0,84, eşitlik 7.3. için ise 0,94 gibi oldukça anlamlı değerler olup modellerin geçerli olduğuna işarettir. Ancak, bu test modeli onaylamak için tek başına yeterli değildir. Bu modelin tamamıyla kabul edilebilir bir model olduğunu söylemek için artık değer (residual) grafiklerinin de incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 7.1. Kireçtaşı ve Mermer Grubu Kayaçlar İçin Geliştirilen Modelin Gözlenen ve Hesaplanan SE_{kes} Grafiği.



Şekil 7.2. Andezit, Bazalt ve Tüf Grubu Kayaçlar İçin Geliştirilen Modelde Gözlenen ve Hesaplanan SE_{kes} Grafiği.

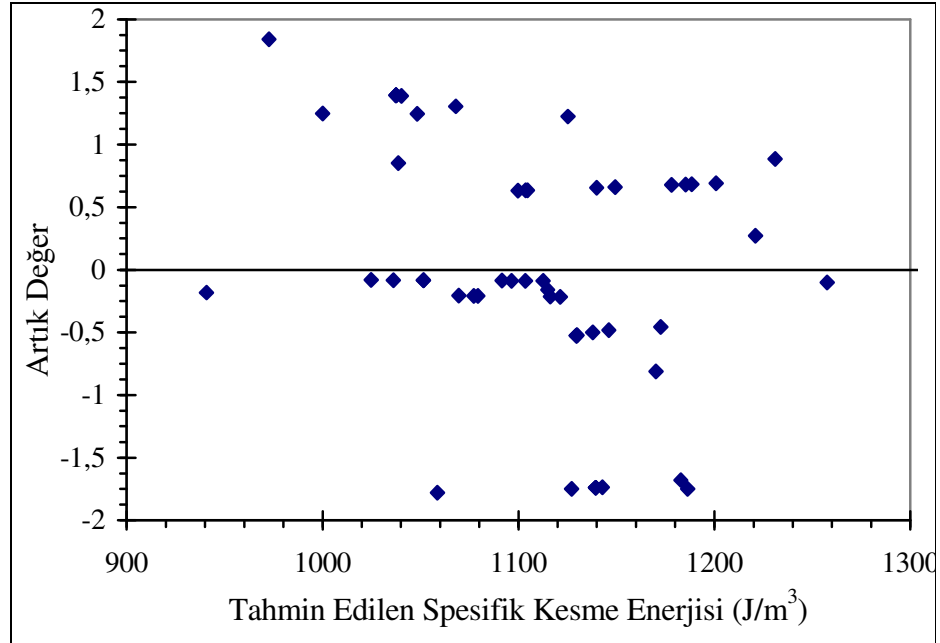
Gözlenen değer ile hesaplanan değer arasındaki farktan oluşan rezidualların (atıkların) grafiksel olarak incelenmesi, model değerlerindeki sapmaların tespit edilmesi amacıyla kullanılan etkili bir yöntemdir. Eğer model doğru ise rezidualların X:0 eksenı etrafında homojen bir dağılım göstermesi beklenmektedir. Ancak, tek bir grafik, modelde ortaya çıkacak bütün problemleri tespit etmek için yetersiz kalmaktadır. Oluşabilecek hataların tümüyle kontrol edilmesi amacıyla dört farklı artık değer (residual) grafiğini kontrol etmek gerekmektedir.

Bunlar,

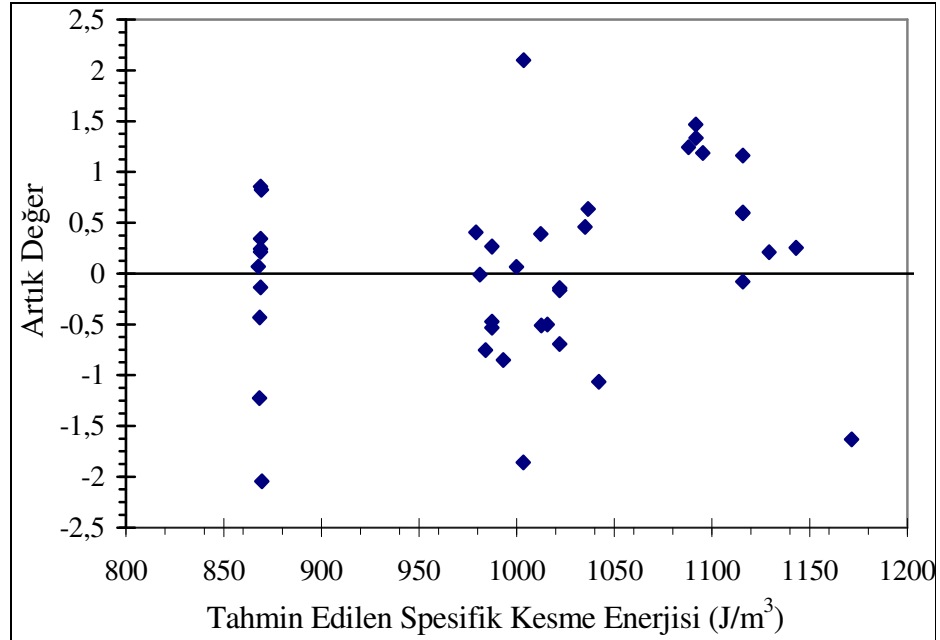
- Bağımlı değişkenin (Tahmin edilen Y) artık değer grafiğı,
- Model içersinde yer alan bağımsız değişkenlerin artık değer (residual) grafikleri,
- Artık değerlerin normal olasılık grafikleri,
- Artık değer zamana karşı grafikleridir.

Bu grafiklerde her bir artık standart sapma değerine bölünmesi ile bulunan standartlaştırılmış artık değerleri kullanılmıştır. Bağımlı değişkenlerin tahmin edilen SE_{kes} için çizilen artık değer grafikleri Eşitlik 7.2. için Şekil 7.3 de, Eşitlik 7.3. için Şekil 7.4'de görölmektedir. Bu şekillerden de göröldüğü gibi standartlaştırılmış artık değerler X:0 eksenı etrafında homojen ve düzenli bir dağılım göstermektedir. Bu durum modelin doğruluğunun bir göstergesidir. Eğer veriler X:0 eksenı etrafında simetrik olmayan bir dağılım göstermişlerse bu durum bir sorunun göstergesi olacaktır.

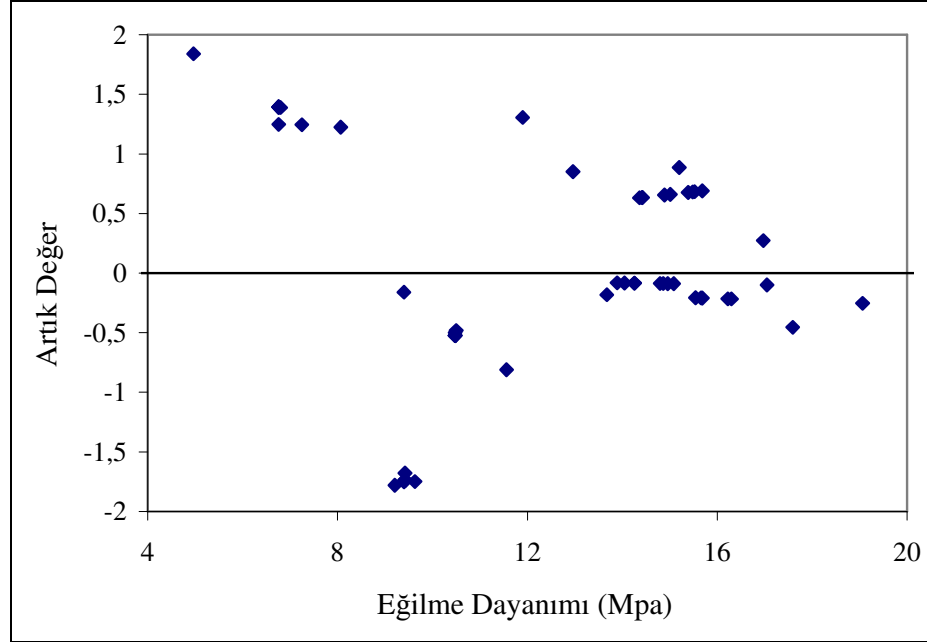
Kireçtaşı ve mermer grubu kayalar için oluşturulan Eşitlik 7.2. de bağımsız değişkenlerin (eğilme dayanımı, F-aşınma faktörü, Schmidt darbe çekici) standart reziduallara karşı çizilmiş olan grafikleri Şekil 7.5-7.7'de verilmiştir. Bu grafikler oldukça düzgün ve homojen bir dağılım göstermekte ve modelin doğruluğunu onaylamaktadır. Andezit, bazalt ve tüf grubu kayalar için oluşturulan eşitlik 7.3. numaralı modelde bağımsız değişkenlerin (Cerchar aşınma indeksi, Schmidt darbe çekici, spesifik deformasyon enerjisi) standart artık değerlere karşı çizilmiş grafikleri Şekil 7.8-7.10'da sunulmuştur. Bu şekillerden artık değerlere karşı çizilen Schmidt darbe Çekici verileri düzenli bir dağılım göstermekle birlikte, dağılım X:0 eksenine oldukça yakın yerlerde bulunmaktadır. Eşitlik 7.3. için artık değerlere karşı bağımsız değişkenler için çizilen grafiklerde modelin doğruluğunu onaylamaktadır.



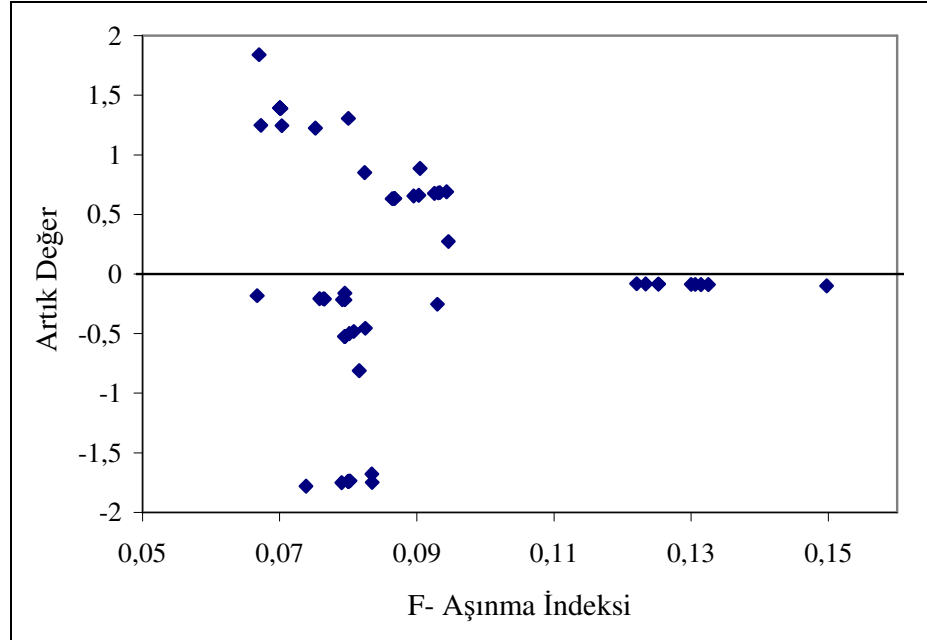
Şekil 7.3. Kireçtaşı ve Mermer Grubu Kayaçlar İçin Tahmin Edilen SE_{kes} ve Standartlaştırılmış Artık Değer (Residual) Grafiği.



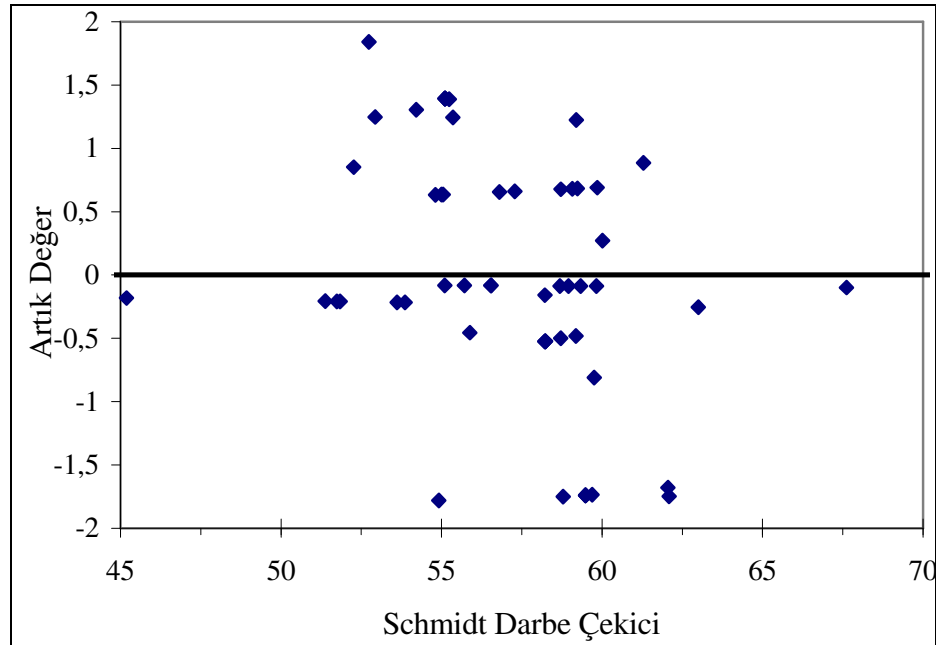
Şekil 7.4. Andezit, Bazalt ve Tüf Grubu Kayaçlar İçin Tahmin Edilen SE_{kes} ve Standartlaştırılmış Artık Değer (Residual) Grafiği.



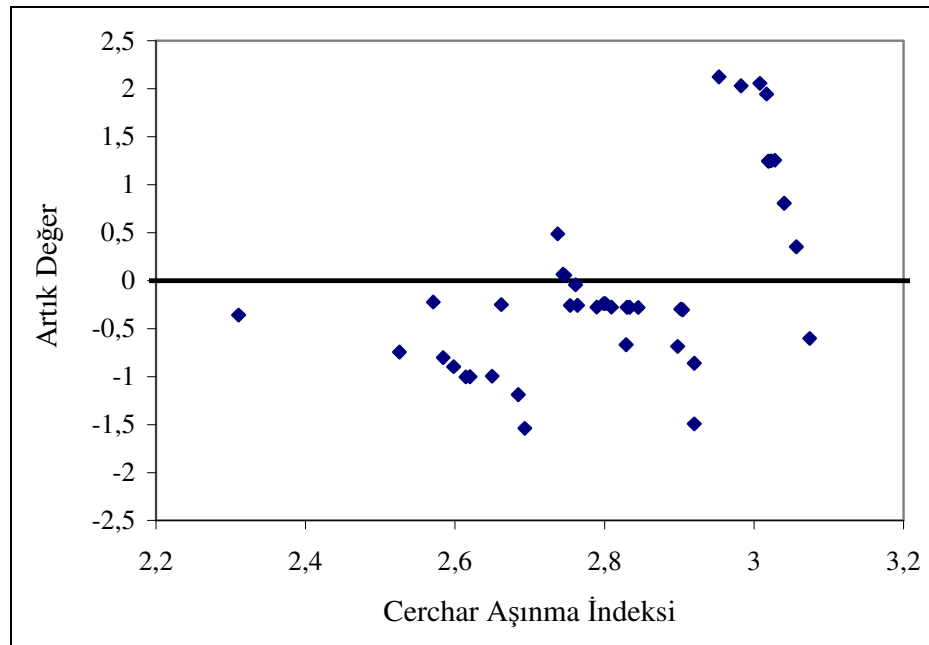
Şekil 7.5. Eşitlik 7.2. İçin Eğilme Dayanımına Karşı Çizilen Artık Değer Grafiği



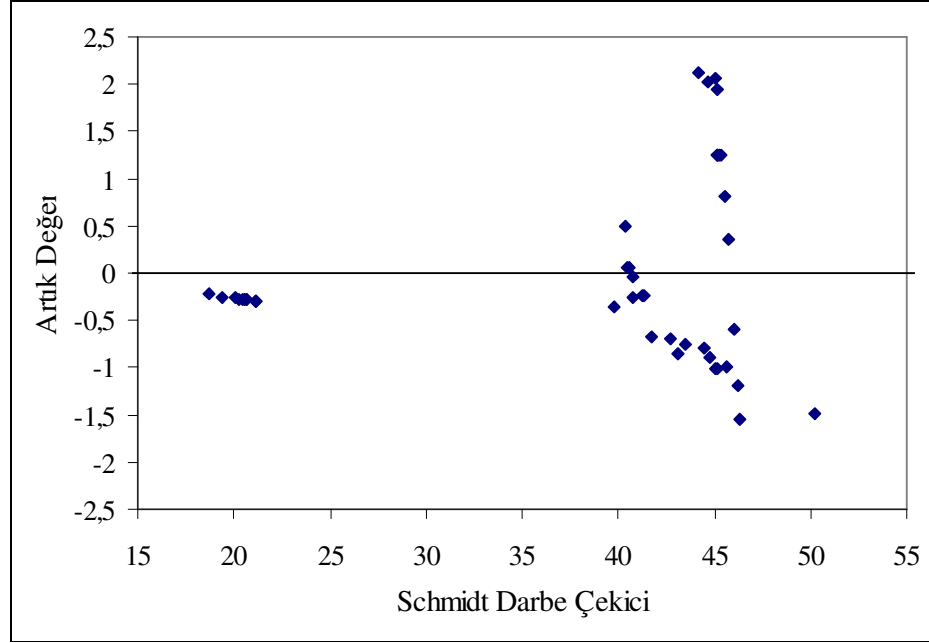
Şekil 7.6. Eşitlik 7.2. İçin F-Aşınma İndeks Değerine Karşı Çizilen Artık Değer Grafiği



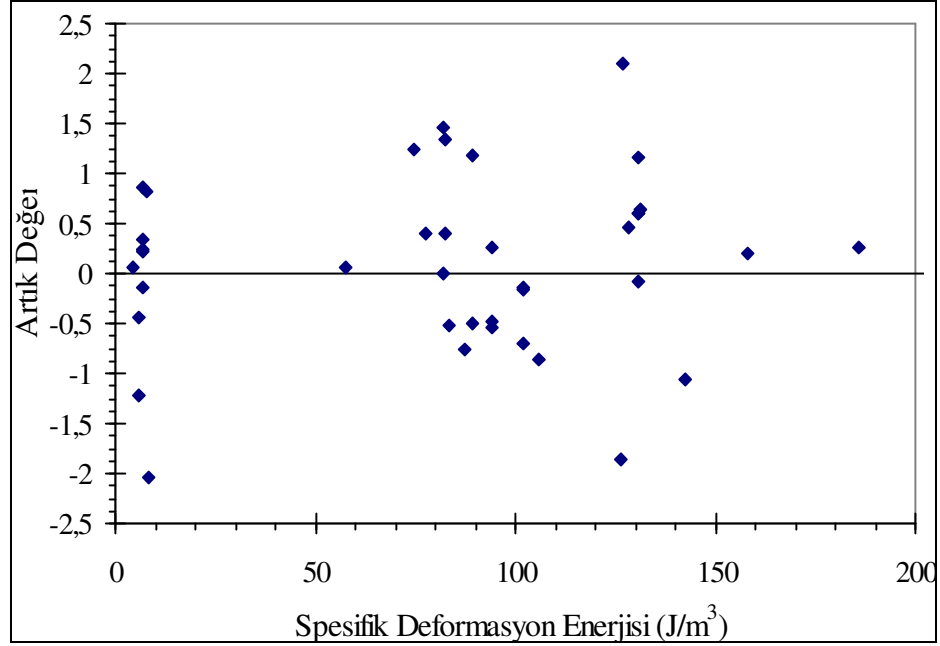
Şekil 7.7. Eşitlik 7.2. İçin Schmidt Darbe Çekici Değerine Karşı Çizilen Artık Değer Grafiği



Şekil 7.8. Eşitlik 7.3. İçin Cerchar Aşınma İndeksine Karşı Çizilen Artık Değer Grafiği



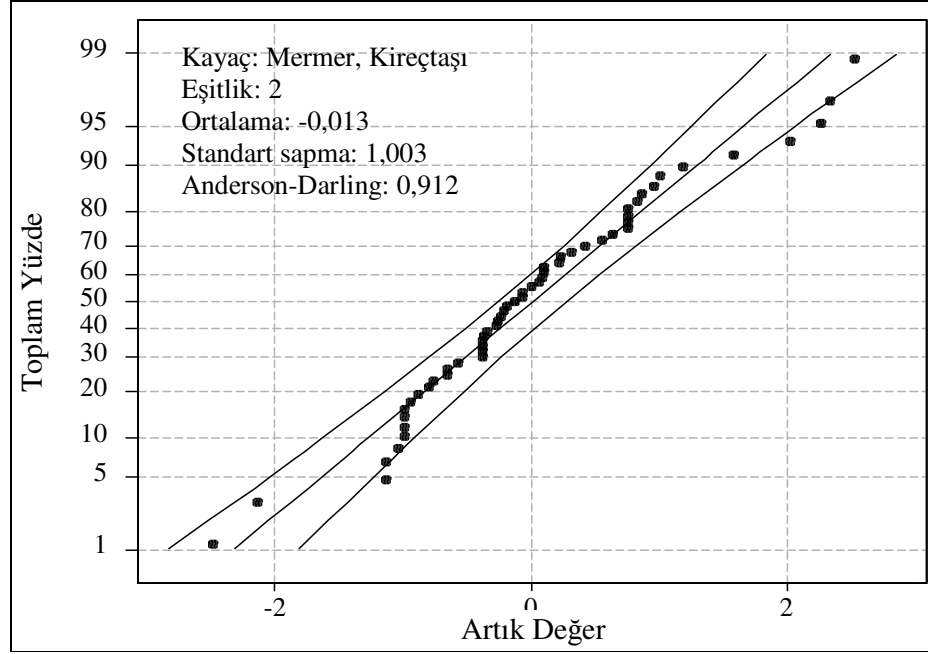
Şekil 7.9. Eşitlik 7.3. İçin Schmidt Darbe Çekici Değerine Karşı Çizilen Artık Değer Grafiği



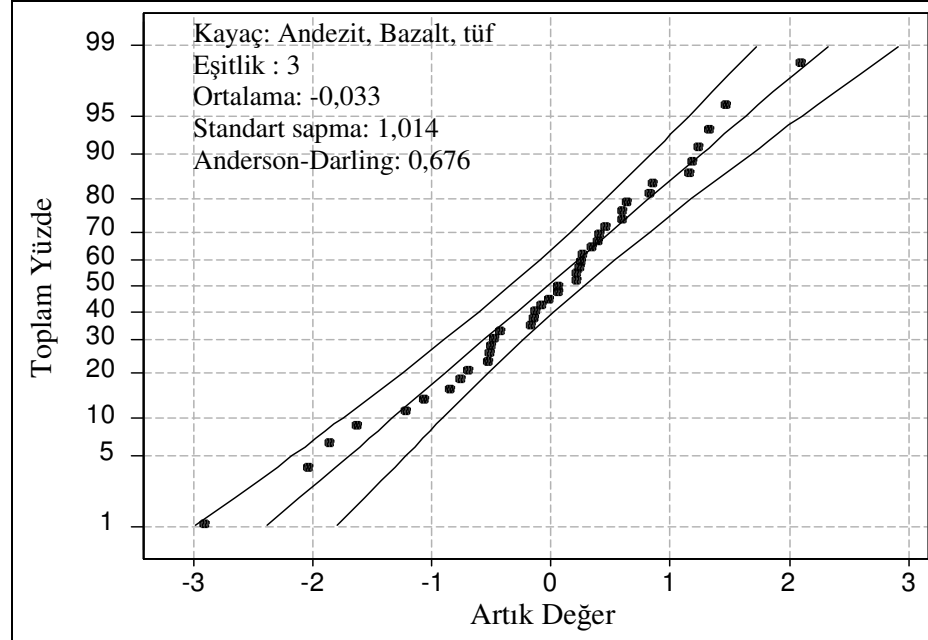
Şekil 7.10. Eşitlik 7.3. İçin Spesifik Deformasyon Enerjisine Karşı Çizilen Artık Değer Grafiği

Her iki model (Eşitlik 7.2. ve 7.3.) için çizilen Normal olasılık grafikleri Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’de verilmiştir. Normal olasılık grafiğinde, ideal durumun verilerin tamamına ait rezidualların standart sapma değeri kullanılarak çizilen ve orijinden geçen doğru üzerinde homojen bir şekilde toplanmasıdır. Model 7.2 için oluşturulan normal olasılık grafiğinde iki-üç noktanın normal dağılım değerleri dışına taşmakta ve verilerin çok az miktarda da olsa S seklinde bir dağılım göstermektedir. Fakat, bu durum tamimiyle bir hatanın göstergesi olmayıp ufak bir sapmanın belirtisidir. Noktaların büyük bir kısmı (üç nokta hariç tamamı) %95 güven aralığı sınırları içerisinde olup, model normal olasılık grafiği açısından da onaylanmaktadır. Model 7.3 için ise veriler oldukça düzgün dağılım göstererek verilerin tamamı güven aralığı sınırları içersindedir. Bu grafikte bir hata belirtisi göstermemekte ve rezidualların normal olasılık grafiği modeli onaylamaktadır. Normal olasılık grafiğini kontrol etmek amacı ile kullanılan diğer bir yöntem olan Andeson-Darling testi verileri de bu modelin geçerliliğini göstermektedir. Bu teste göre model kabul edilebilir değerlerde olması için, testin sonucunun 1 ila 0 arasında olması gerekmektedir. Eşitlik 7.2. için bu testin değeri 0.912, Eşitlik 7.3. içinse 0,676 dır ve kabul edilebilir sınırlar içersindedir.

Zamana karşı rezidualların değişimi ile ilgili grafik daha çok ticari ve ekonomi ile ilgili uygulamalarda kullanılmakta olup, yapılan çalışmada zaman verisi olmadığı ve zamanın uygulamayı etkileyen bir değişken olmadığı için zamana karşı artık değer grafikleri verilmemiştir. Bu grafiklerde kullanılan veriler (gözlenen SE_{kes} , tahmin edilen SE_{kes} , reziduallar ve standartlaştırılmış artık değerler) kireçtaşı ve mermer grubu kayalar için Çizelge 7.2’de, Andezit, bazalt ve tüf grubu kayalar içinse Çizelge 7.3’de verilmektedir.



Şekil 7.11. Eşitlik 7.2. İçin Artık Değerlerin Normal Olasılık Grafiği.



Şekil 7.12. Eşitlik 7.3. İçin Artık Değerlerin Normal Olasılık Grafiği.

Çizelge 7.2. Kireçtaşı ve Mermer Grubu Kayaçlarda 7.2. Numaralı Model İçin Gözlenen, Tahmin Edilen SE_{kes} , Artık değer ve Standartlaştırılmış Artık değer Sonuçları.

Numune Numarası	Kayaç Cinsi	Spesifik Kesme Enerjisi		Artık değer	Standartlaştırılmış Artık değer
		Gözlenen	Tahmin edilen		
1	Korkuteli Mermeri	1093,00	1092,79	0,22	0,00
2	Korkuteli Mermeri	1088,15	1092,79	-4,64	-0,06
3	Korkuteli Mermeri	1253,61	1092,79	160,83	2,22
4	Korkuteli Mermeri	1032,89	1092,79	-59,90	-0,83
5	Korkuteli Mermeri	1109,11	1092,79	16,33	0,23
6	Korkuteli Mermeri	1100,08	1092,79	7,30	0,10
7	Korkuteli Mermeri	1021,53	1092,79	-71,26	-0,98
8	Korkuteli Mermeri	1048,22	1092,79	-44,57	-0,61
9	Korkuteli Mermeri	1048,22	1092,79	-44,57	-0,61
10	Osmaniye S. Breşi	1093,00	1039,59	53,48	0,74
11	Osmaniye S. Breşi	1174,02	1016,11	157,92	2,18
12	Osmaniye S. Breşi	1095,53	1055,77	39,76	0,55
13	Osmaniye S. Breşi	1049,78	1045,28	4,51	0,06
14	Osmaniye S. Breşi	1045,94	1039,01	6,93	0,10
15	Osmaniye S. Breşi	1097,90	1039,01	58,89	0,81
16	Osmaniye S. Breşi	1093,00	1039,01	53,99	0,74
17	Osmaniye S. Breşi	1093,00	1039,01	53,99	0,74
18	Osmaniye S. Breşi	1093,00	1039,01	53,99	0,74
19	Sivrihisar Kireçtaşı	1070,00	1139,99	-69,99	-0,96
20	Sivrihisar Kireçtaşı	1057,37	1137,56	-80,19	-1,11
21	Sivrihisar Kireçtaşı	1116,71	1142,93	-26,22	-0,36
22	Sivrihisar Kireçtaşı	1073,64	1140,24	-66,60	-0,92
23	Sivrihisar Kireçtaşı	987,70	1140,24	-152,54	-2,10
24	Sivrihisar Kireçtaşı	1116,07	1140,24	-24,17	-0,33
25	Sivrihisar Kireçtaşı	1070,00	1140,24	-70,24	-0,97
26	Sivrihisar Kireçtaşı	1070,00	1140,24	-70,24	-0,97
27	Burdur Kireçtaşı	1125,00	1143,94	-18,94	-0,26
28	Burdur Kireçtaşı	1231,80	1117,84	113,96	1,57
29	Burdur Kireçtaşı	1175,70	1169,14	6,56	0,09
30	Burdur Kireçtaşı	1212,48	1143,43	69,06	1,00
31	Burdur Kireçtaşı	1215,68	1143,43	72,26	1,00
32	Burdur Kireçtaşı	1205,18	1143,43	61,76	0,85

Çizelge 7.2'nin Devamı.

Numune Numarası	Kayaç Cinsi	Spesifik Kesme Enerjisi		Artık değer	Standartlaştırılmış Artık değer
		Gözlenen	Tahmin edilen		
33	Burdur Kireçtaşı	1228,37	1143,43	84,95	1,17
34	Burdur Kireçtaşı	1165,98	1143,43	22,56	0,31
35	Burdur Kireçtaşı	1128,88	1143,43	-14,55	-0,20
36	Burdur Kireçtaşı	1072,66	1143,43	-70,77	-0,98
37	Burdur Kireçtaşı	1129,88	1143,43	-13,55	-0,19
38	Bilecik Kireçtaşı	1118,00	1136,21	-18,21	-0,25
39	Bilecik Kireçtaşı	1109,02	1149,77	-40,75	-0,56
40	Bilecik Kireçtaşı	1137,83	1122,13	15,70	0,22
41	Bilecik Kireçtaşı	1108,61	1135,95	-27,34	-0,38
42	Bilecik Kireçtaşı	1126,93	1135,95	-9,02	-0,12
43	Bilecik Kireçtaşı	1108,70	1135,95	-27,25	-0,38
44	Bilecik Kireçtaşı	1108,70	1135,95	-27,25	-0,38
45	Bilecik Kireçtaşı	1108,70	1135,95	-27,25	-0,387
46	Söğüt Kireçtaşı	1120,00	1124,40	-4,40	-0,06
47	Söğüt Kireçtaşı	933,54	1109,05	-175,51	-2,42
48	Söğüt Kireçtaşı	1061,38	1139,62	-78,24	-1,08
49	Söğüt Kireçtaşı	1112,75	1066,83	45,92	0,63
50	Söğüt Kireçtaşı	1068,94	1124,40	-55,46	-0,76
51	Söğüt Kireçtaşı	1301,62	1124,40	177,22	2,44
52	Söğüt Kireçtaşı	1154,50	1124,40	30,10	0,42
53	Söğüt Kireçtaşı	1107,71	1124,40	-16,69	-0,23
54	Söğüt Kireçtaşı	1071,02	1124,40	-53,38	-0,74
55	Söğüt Kireçtaşı	1266,31	1124,40	141,91	1,96

Çizelge 7.3. Andezit, Bazalt ve Tüf Grubu Kayaçlar İçin Gözlenen, Tahmin Edilen SE_{kes} , Artık değer ve Standartlaştırılmış Artık değer Sonuçları.

Numune Numarası	Kayaç Cinsi	Spesifik Kesme Enerjisi		Artık değer	Standartlaştırılmış Artık değer
		Gözlenen	Tahmin edilen		
1	Afyon B. Andezit	970,00	987,32	-17,32	-0,46
2	Afyon B. Andezit	1080,99	1003,58	77,42	2,06
3	Afyon B. Andezit	961,83	993,15	-31,32	-0,83
4	Afyon B. Andezit	956,64	984,11	-27,47	-0,73
5	Afyon B. Andezit	993,84	979,18	14,66	0,39
6	Afyon B. Andezit	980,92	981,25	-0,33	-0,01
7	Afyon B. Andezit	855,29	966,50	-111,20	-2,95
8	Afyon B. Andezit	935,00	1003,44	-68,44	-1,82
9	Afyon B. Andezit	967,85	987,32	-19,47	-0,52
10	Afyon B. Andezit	997,06	987,32	9,74	0,26
11	Kayseri B. Andezit	1138,00	1115,82	22,18	0,59
12	Kayseri B. Andezit	1140,99	1091,82	49,17	1,31
13	Kayseri B. Andezit	1145,70	1091,69	54,01	1,43
14	Kayseri B. Andezit	1133,52	1088,00	45,52	1,21
15	Kayseri B. Andezit	1136,87	1129,29	7,58	0,20
16	Kayseri B. Andezit	1139,18	1095,34	43,84	1,16
17	Kayseri B. Andezit	1151,89	1143,10	8,79	0,23
18	Kayseri B. Andezit	1124,03	1171,49	-47,46	-1,26
19	Kayseri B. Andezit	1112,88	1115,82	-2,94	-0,08
20	Kayseri B. Andezit	1158,64	1115,82	42,82	1,14
21	Kayseri B. Andezit	1137,78	1115,82	21,96	0,58
22	Afyon R. Tüf	864,00	868,87	-4,87	-0,13
23	Afyon R. Tüf	824,46	868,33	-43,87	-1,16
24	Afyon R. Tüf	852,98	868,44	-15,46	-0,41
25	Afyon R. Tüf	898,86	869,30	29,56	0,79
26	Afyon R. Tüf	870,11	867,68	2,43	0,07
27	Afyon R. Tüf	796,28	869,54	-73,26	-1,94
28	Afyon R. Tüf	881,13	868,87	12,27	0,33
29	Afyon R. Tüf	899,58	868,87	30,72	0,82
30	Afyon R. Tüf	876,52	868,87	7,66	0,20
31	Afyon R. Tüf	877,62	868,87	8,76	0,23
32	Kayseri Bazalt	1016	1022,01	-6,06	-0,16

Çizelge 7.3'ün Devamı

Numune Numarası	Kayaç Cinsi	Spesifik Kesme Enerjisi		Artık değer	Standartlaştırılmış Artık değer
		Gözlenen	Tahmin edilen		
33	Kayseri Bazalt	1059,93	1036,60	23,33	0,62
34	Kayseri Bazalt	1026,84	1012,35	14,50	0,39
35	Kayseri Bazalt	1002,33	999,93	2,40	0,06
36	Kayseri Bazalt	997,12	1015,75	-18,63	-0,50
37	Kayseri Bazalt	993,69	1012,67	-18,98	-0,50
38	Kayseri Bazalt	1051,93	1035,02	16,91	0,45
39	Kayseri Bazalt	1003,29	1042,06	-38,77	-1,03
40	Kayseri Bazalt	1016,82	1022,06	-5,24	-0,14
41	Kayseri Bazalt	996,28	1022,06	-25,78	-0,68

8. AŞINMA

Aşınma, kesici yüzey üzerindeki materyalin makroskobik ve mikroskobik olarak uzaklaşması, deformasyona uğraması, çatlaklar oluşması, çizilmesi, yuvarlaklaşması ile kesici ömrünün azalması veya yok olması olarak tanımlanabilir. Aşınma, soketi oluşturan malzemelerin tipi ve özellikleri, kesme düzeneğinin çalışma parametreleri ve sürtünme yüzeyinde kayaç ile soket arasındaki etkileşimler tarafından kontrol edilmektedir. Aşınma modu ve aşınma mekanizmasının bilinmesi kesici makinelerin ekonomik ömürlerinin ve verimlerinin daha yüksek olması için oldukça önemli bir mühendislik uygulamasıdır. Kayaçların dairesel testerelerle kesimi sırasında elmas soketlerde meydana gelen aşınmalar, mermer sektörünün üretim maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

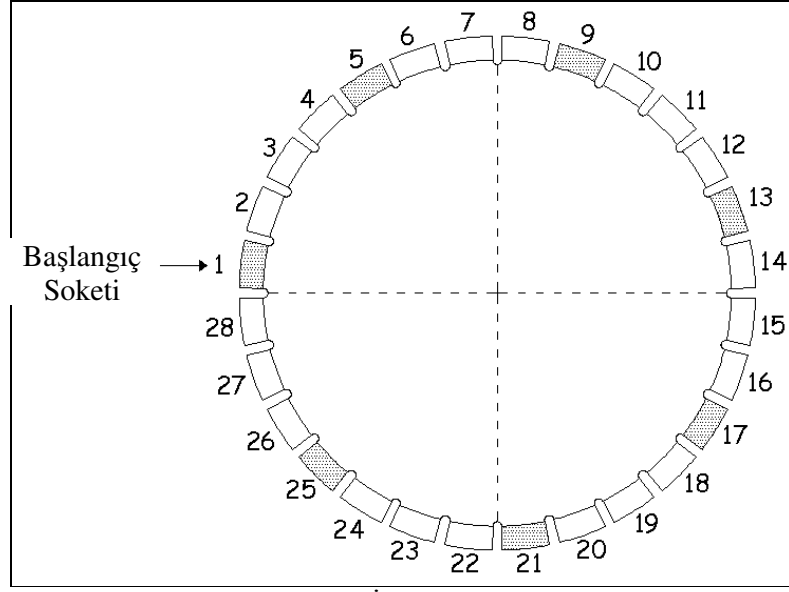
Testerelerin kesici bölümü iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; matriks (tungsten karbür, çelik alaşımlar veya ağır, sert metal alaşımlarının karışımı), elmas (suni veya doğal elmas, her ikisinin karışımı) tır. Bu nedenle, matriksin veya elmasın aşınma karakteristikleri birbirlerinden farklıdır. Elmaslar, matriks malzemesinden daha kırılgandır. Bu nedenle, kesme uçlarında oluşan gerilme ve makaslama kuvvetlerinden dolayı, tek başlarına matriks desteği olmadan kesme işlevi yapamazlar.

8.1. Aşınma Ölçümleri

Kesme deneyleri sonucunda testerede meydana gelen aşınma miktarını tespit etmek amacıyla aşınma ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde hacim kaybı ve ağırlık kaybı tespit yöntemleri kullanılmıştır.

Birinci yöntem olarak kullanılan hacim kaybı için kesme işleminden önce Şekil 8.1'de belirtilen şekilde yedi adet soket işaretlenerek numaralandırılmıştır. Kesme işlemine başlamadan önce 0,001 mm hassasiyete dijital mikrometre ile soketlerin yükseklikleri ölçülmüştür. Ölçüm hatalarını yok etmek amacıyla her bir soket için, soketin başından, ortasından ve sonundan olmak üzere üç veri alınmıştır. Kesilen alan miktarı 1000 cm²'ye ulaştığında aynı soketler için yüksekliklerin ölçülmesi işlemi yeniden yapılmıştır. Soketlerde meydana gelen yükseklik kayıpları

ve kesilen alan miktarları kullanılarak, birim alan için testerede oluşan aşınma miktarları hesaplanmıştır. Her bir kayaç için bu işlem tekrarlanarak çalışmanın yapıldığı kesme şartlarında kesici testerede oluşan aşınma miktarları belirlenmiştir.



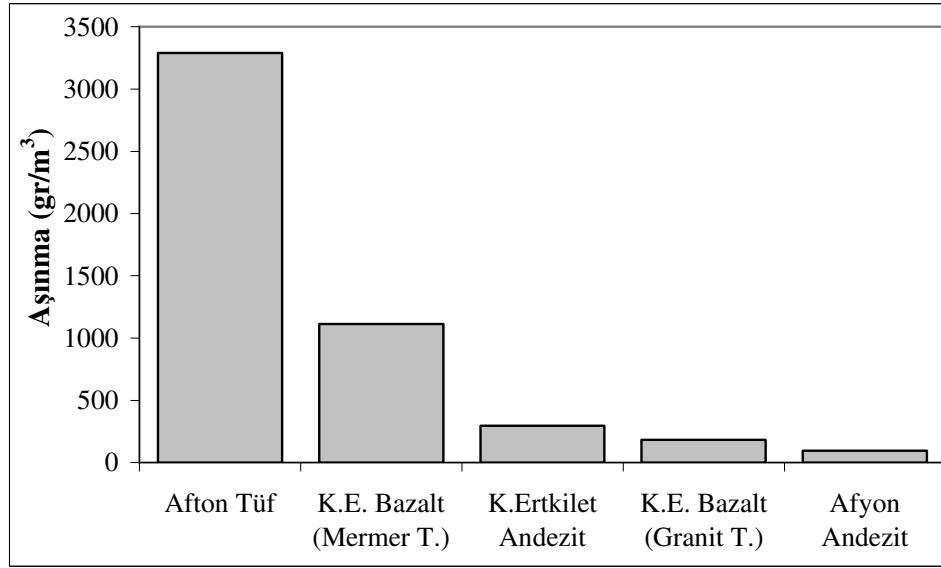
Şekil 8.1. Kesici Testerenin İşaretleme ve Tanımlama Sistemi

Kesici testelerdeki aşınma miktarının tespiti amacıyla ikinci yöntem olarak kullanılan ağırlık kaybı yönteminde ise; 0,1 gr hassasiyette elektronik terazi kullanılarak testerenin toplam ağırlığı ölçülmüştür. Bu yöntem sadece soketlerde meydana gelen aşınma miktarını değil, tüm testeredeki aşınmayı verdiği için daha sağlıklı bir yöntem olarak düşünülmüştür. Ancak, testeredeki asıl aşınma kayaç ile direk temasta olan soketlerde oluşmaktadır. İki yöntem arasındaki korelasyon değeri oldukça yüksektir ($r: 0,97$). Bu nedenle, kesici testerede meydana gelen aşınma miktarının kayaç özellikleri ve diğer parametrelerle yapılan karşılaştırmalarda ağırlık kaybı ile belirlenen birim aşınma değerleri kullanılmıştır. Çünkü ağırlık kaybı ile aşınma ölçme yöntemi daha kolay ve pratiktir.

Aşınma miktarının asıl önemli olduğu sert ve aşındırıcı olarak tanımlanan Afyon Riyolit Tüf, Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit, Afyon Bazaltik Andezit tipi kayaçlar, Andezit testeresi ile, Kayseri Erkilet Bazalt ise mermer testeresi ve granit testeresi olmak üzere iki farklı testere kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Testeredeki aşınma miktarları tespit edilmiştir. Aşınma sonuçları toplu olarak Çizelge 8.1.'de, grafiksel değerlendirmesi ise Şekil 8.2'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Aşındırıcı Kayaçlar İçin Testerede Oluşan Aşınma Miktarı

Kayaç Cinsi	Kesilen Alan (cm ³)	Testeredeki Aşınma Miktarı (gr)	Testeredeki Aşınma oranı (gr/m ³)
Afyon Riyolit Tüf	1003	3,3	3290
Kayseri Erkilet Bazalt (Mermer Testeresi ile)	1258	1,4	1113
Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit	846	0,25	296
Kayseri Erkilet Bazalt (Granit Testeresi ile)	817	0,15	184
Afyon Bazaltik Andezit	1037	0,1	96



Şekil 8.2. Aşındırıcı Kayaçlar İçin Testerede Oluşan Aşınma Miktarı.

Şekil 8.2. incelendiğinde oldukça kolay kesilen Afyon Riyolit Tüf, kesme deneylerinde diğer kayaçlara göre testereyi en fazla aşındıran kayaçtır. Bunun nedeni, kullanılan andezit testeresinin bu kayacın kesimi için uygun testere olmadığı, böyle aşındırıcı bir kayacın kesiminde matriksi çok daha sert bir testerenin kullanılması gerekmektedir. Kayseri Erkilet Bazalt için yapılan kesme deneylerinde granit testeresinin mermer testeresine göre daha uygun bir testere olduğu görülmektedir. Bölüm 5’de bu kayacın mermer ve granit testerelele ile yapılan kesme

deneylerinde hesaplanan SE_{kes} 'in granit testeresi için daha düşük olması da bunun bir göstergesidir. Afyon Bazaltik Andezit kayacının kesici testereyi daha az aşındırması ve SE_{kes} 'in daha düşük olması, kayacın kolay kesilebilirliğine işaret etmektedir.

Bej mermer ve kireçtaşları için yapılan çalışmalarda; bu kayaçların aşındırıcılık değerlerinin oldukça düşük ve deney düzeneğinin laboratuvar ölçekli olması sebebi ile sağlıklı bir aşınma miktarı belirlenememiştir. Yani bej türü kayaçlarda aşınma miktarı tespit edilebilecek seviyeden daha az oluşmuştur.

8.2. Aşınma Tipleri

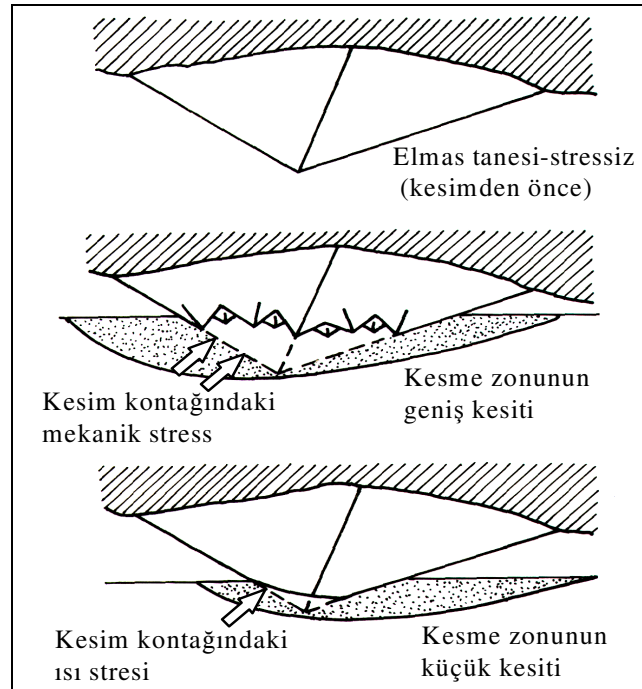
Testerelerde aşınma, yerinden yani kesici kısımdan fırlamış, aşınmış parçaların görünümünden veya aşınma mekanizmalarından ve aşınma şartlarından karakterize edilebilmektedir. Genellikle, bu tür sınıflamalar; yavaş aşınma, hızlı aşınma, çentikleme, çizme ve sürtünme ile oluşan aşınma olup, aşınan parçaların dikkatle incelenmesi esasına dayanmaktadır. Ancak, diğer aşınma formları, aşınma işlemi sırasındaki, kesici kısımdan uzaklaşan veya aşınan materyalin şartlarına bağlı olarak, aşındırıcı (abrasive), yapıştırıcı (adhesive), erozyon yapıcı (erosive), korozyon yapıcı (corrosive) aşınmalar olarak sınıflandırılmaktadır. Kaya kesicileri için aşınma sınıflaması ve aşınma mekanizmalarının tanımı ve açıklaması kesici şartlarına göre yapılması daha kullanışlıdır. Literatürde aşınma prosesleri ile ilgili bir çok sınıflama bulunmaktadır (Burwell ve Stang, 1952; Jahanmir, 1978; Godfrey, 1980; Landsdown ve Price, 1986; Hutchings, 1992; Ersoy, 1996).

Bu sınıflamalar esas alınarak aşınma tipleri ve aşınma mekanizmaları Çizelge 8.2'de özetlenmiştir. Çizelgedeki ilk beş tip aşınma mekanik, etkileşim sonucu oluşmakta, son aşınma tipi ise, çevre şartlarından ve kimyasal faktörlerden oluşmaktadır. Testerelerdeki elmas taneleri üzerine gelen kesme yükleri, kaya dayanımını yendiği zaman, kaya kesilmekte yani kayadan parçalar kopmaktadır. Kesme işlemi sırasında uzaklaşan kaya parçaları ile birlikte kayadan yeni yüzey açılmakta olup, elmas kesme derinliği düşmektedir. Kesici soketlerin radyal aşınması elmaslarda, yeni yüzeyler ortaya çıkmakta ve kesme işlevinin ileri aşamalarında kesici elmaslarda mikro çatlaklar meydana gelmektedir. Elmasların tekrarlanmış mikro çatlaklarından ve elmas matriks erozyonu ile elmas taneleri kesici

segmentlerden fırlamakta veya uzaklaşmaktadır. Düşük kesme yükleri ve kayaçların yüksek aşınma aktiviteleri ile elmas tanelerinin kesme köşeleri devamlı olarak yuvarlaklaşmaktadır. Böylece, elmas yüzeyleri üzerinde aşınma, yassılaşma oluşarak, temizleme açıları düşmektedir. Testerelerin elmas tanelerinde oluşan tipik aşınma mekanizması Şekil 8.3’de gösterilmiştir. Bu durumda, gerek yan, gerek dikey kesme yüklerinin arttırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kesme yüklerinin artması ile matriks elmas tanelerini tutamamakta ve elmas yerinden çıkmaktadır.

Çizelge 8.2. Aşınma Tiplerinin Sınıflaması (Ersoy, 1996).

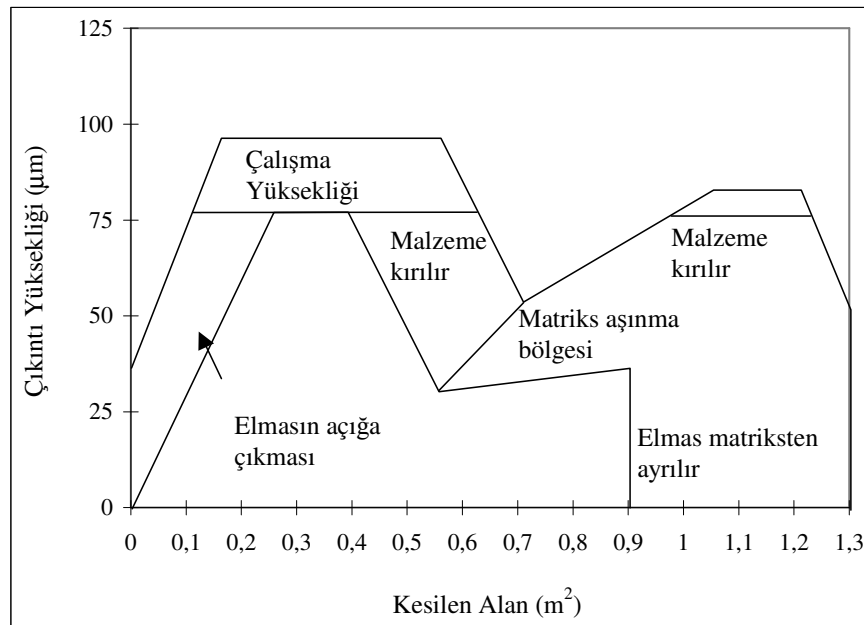
Aşınma tipi	Etkileşim türü	Hareket	Aşınma Mekanizması
Aşındırıcı	Elastik/plastik	Kayma	Aşınma
Yapıştırıcı	Elastik/plastik	Kayma	Yapışma
Erozyon	Elastik/plastik	Çarpma/ Kayma	Aşınma
Yenme yıpranma	Elastik/plastik	Sallanma	Aşınma/ Yapışma
Yorulma	Elastik/plastik	Yuvarlanma	Yorulma
Korozyon yapıcı	Elektrolitik	Elektro kimyasal	Kimyasal reaksiyon



Şekil 8.3. Elmas Tanesinin Aşınma Mekanizması (Ertingshausen, 1985).

8.2.1. Elmasta Oluşan Aşınmalar

Wright ve Wapler (1986) tarafından Cornish gri granitle yapılan bir çalışmada kayaçlarda kesim sırasında elmasların ve matriksin davranışları ile kesme mekanizması grafiksel olarak incelenmiştir (Şekil 8.4). Bu şekilden de anlaşılacağı gibi kayaç kesilirken öncelikle matriks aşınarak yeni elmas tanelerini açığa çıkartmakta ve kesme işlemini bu elmaslar yapmaktadır. Elmaslar soket üzerindeki ömürlerini tamamladıktan sonra soketten koparak ortamdan uzaklaşmakta ve tekrar matrikste aşınma gerçekleşmektedir. Bu döngü, kesici testere ekonomik ömrünü tamamlayıncaya kadar devam etmektedir.



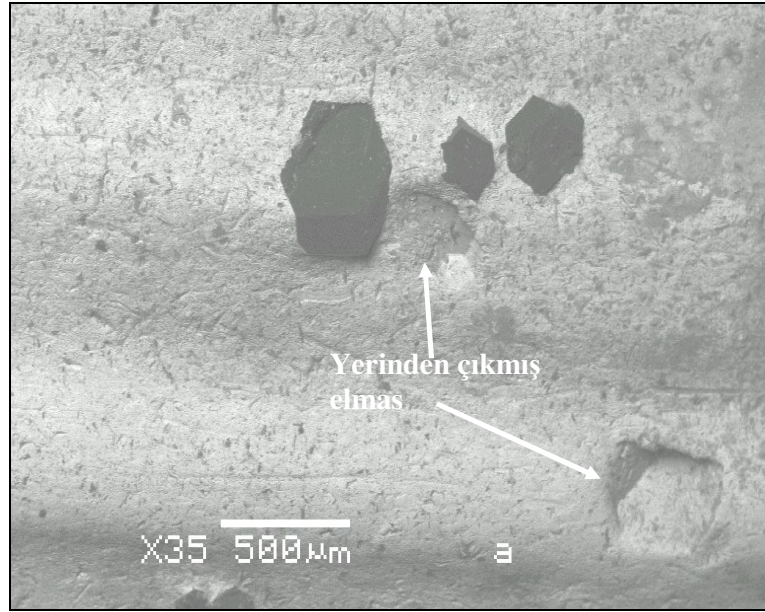
Şekil 8.4. Kesme İşlemi Sırasında Elmas Tanelerinin Çıkıntı Yüksekliklerinin Kesme Alanına Göre Değişimi ve Kesme İşleminin Modellenmesi.

Testerelerin aşınmasından, birinci derecede abrasiv aşınma sorumludur. Diğer yandan erozyon, korozyon ve yorulma türü aşınmalarda testerelerin aşınmasına katkıda bulunmaktadır. Kesme işlevi sırasında kayadan kopan ve soğutma suyu ile uzaklaşan büyük ve keskin kaya partikülleri, kesici elmasların erozyonuna neden olmaktadır. Sert mineral parçaları, yüksek hızlarda kesici ile teması durumunda, kesici elmaslarda mikroskobik olarak çatlaklar, çizikler ve çentikler oluşturmaktadır.

Testerelerin yorulma ile olan aşınmaları en kötü formlardaki aşınmadır. Gereğinden fazla kesici yüklere maruz kalan testereler, kaya yüzeyine ani darbelerle veya çarpmalarla yorulma türü aşınmalar oluşarak, elmaslar matriksteki kaynak yerinden fırlamakta veya kesici elmaslarda çatlaklar oluşmaktadır.

Testerelerin aşınan yüzeylerinin görünümü kompleks tribolojik davranışlar sunmaktadır. Kaya ile kesici yüzey arasında aşındırıcı, erozyon yapıcı, yüzey yorulmaları, çarpma aşınmaları, aynı anda etkili olabilmektedir. Aşındırıcı aşınma mikroskobik olarak kesici yüzey tabakalarında oluşmaktadır. Ancak, ileri aşamalarda aşınma makroskopik olarak kendini göstermektedir.

Çalışmalarda kullanılan testerelerde oluşan aşınma mekanizmalarını tespit etmek amacıyla her bir testereden karşılıklı olarak alınan dört adet soket elektron mikroskobu altında incelenmiştir. Andezit testeresinde yapılan incelemelerde, kesme nedeniyle matriks yüzeyinde oluşan kesme kanallarının (setler ve yivler şeklinde) yükseklik farkları hemen görülmektedir. Matriks yüzeyindeki aşınmalar veya ani darbeler sonucunda bazı elmasların yerlerinden çıktıkları ve düştükleri anlaşılmaktadır. Şekil 8.5' deki sağ alt köşedeki büyük elmasın önündeki boşluklar yerlerinden çıkmış (Pull Out) elmasların bıraktıkları boşluklardır. Bu boşlukların derin olmaları ise matriks üzerindeki elmas kristallerinin ekonomik ömürlerini tamamlayamadan soketten düşerek ayrıldıklarını göstermektedir. Bunun olası sebebi ise, sağlıksız sinterleme işlemidir. Şekil 8.6. incelendiğinde, kesme esnasında ani darbeler sonucunda elmas tanesinin ön kenarlarında ve üst yüzeyinde kesme yönünde oluşan derin yarıklar ve parça kopmasından oluşan çatlaklar (abrasiv aşınma) görülmektedir. Elmas yüzeyinin arka kısmında abrasiv aşınma sonucunda oluşan kopmalar fark edilmektedir. Kopma açısının elmas kenarlarına 45° açı ile oluştuğu, bunda kesme sırasında yanal kuvvetlerin etkisi ile oluşabileceği anlaşılmaktadır. Matriks yüzeyi incelendiğinde, genellikle kesme ve talaş taşınması yönünde yüzeysel eroziv aşınmalar fark edilmektedir. Bu aşınmalar sonucu oluşan boşluklara yer yer kesme kırıntıları yerleşmiştir. Genelde bu boşlukların temiz olduğu görülmüştür. Buradan da kesme sırasında ortama yeterli miktarda su beslendiği ve temizlemenin iyi bir şekilde sağlandığı anlaşılmaktadır.



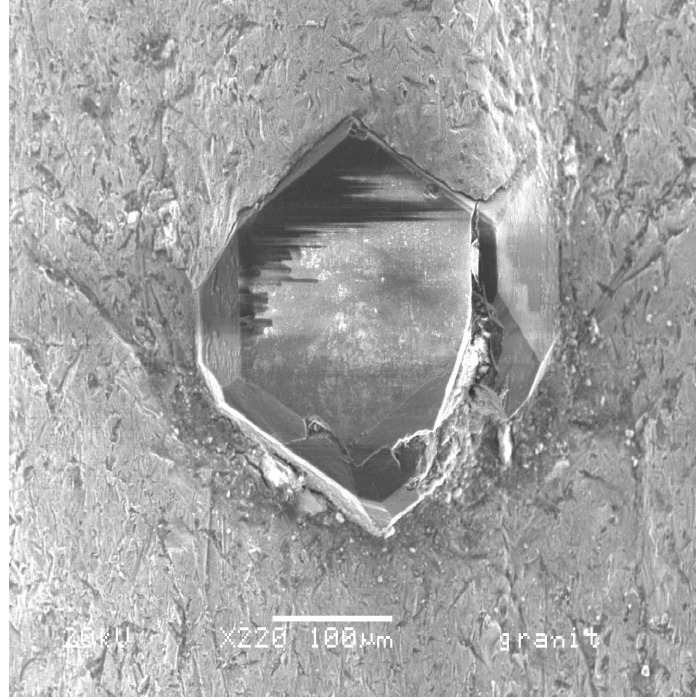
Şekil 8.5. Andezit Testeresinde Sağlam ve Yerinden Çıkmış Elmas.



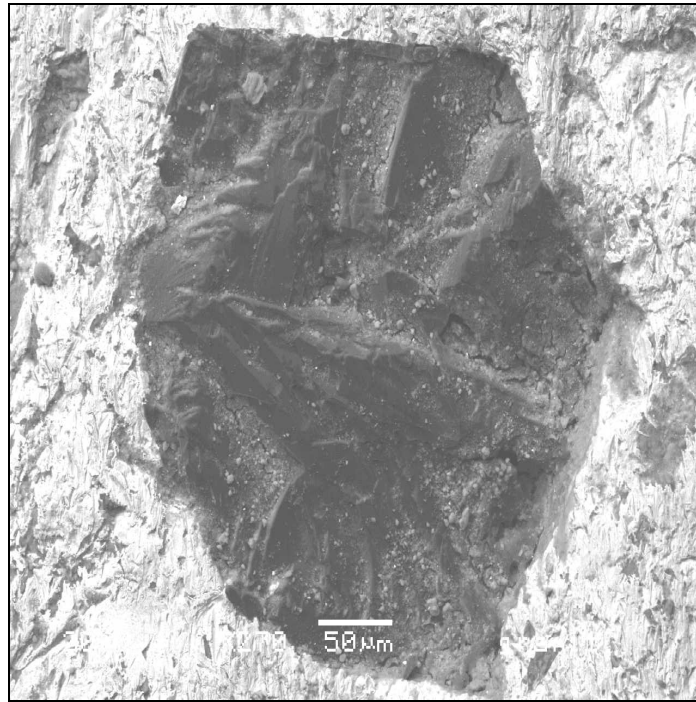
Şekil 8.6. Andezit Testeresi İçin Elmas Tanelerinin Yüzeyinde ve Üst Kısımındaki Aşınma

Sert kayaçların kesiminde kullanılan granit testeresindeki aşınma şekilleri incelendiğinde (Şekil 8.7) kesme yönünde gelen ağır darbeler ile elmas tanesi derine doğru kısmen parçalanmıştır. Elmas yüzeyinde kesme yönünde derin yarıklar ile parça kopmalarından abrasiv aşınma ile oluşan çatlaklar ve boşluklar görülmektedir. Kesme yönüne dik ve birbirine paralel aşınma izleri bulunmaktadır. Bu aşınma izlerinden elmasın kalitesinin iyi olmasına rağmen zor kesim şartları altında çalıştığı ve ağır darbeler veya aşırı sürtünmeler sonucunda aşınmanın olduğu anlaşılmaktadır. Bu aşınmanın bir diğer sebebi de kesme sırasında ortama beslenen soğutma suyunun yetersiz gelmesi olabilmektedir. Elmasın matriks ile teması yeterli olup, matriks tarafından yeterli şekilde kavranmaktadır. Matriks yüzeyi incelendiğinde ise, genelde kesme ve kırıntıları taşınma yönlerinde yüzeysel eroziv aşınmalar belirlenmiştir.

Elmas taneleri matriksi oluşturan malzemeye göre daha sert ve gevrekler. Genellikle sert kayaçların kesimi sırasında oluşan zor kesim şartları altında elmas kristalinde düz ve yassımsı şekilde aşınma yüzeyleri oluşur. Çoğunlukla mekanik etkileşimler ve lokal termal etkiler sonucunda ortaya çıkan bu tip aşınmaya maruz kalmış kristallere cilalanmış kristal (Polished Crystal) denilmektedir. Bu aşınmayla tabi olmuş elmas kristalleri kesme işlemini yapamazlar. İyi kesim şartlarında matriks ile elmasın eş zamanlı olarak aşınmaları gerekmektedir. Şekil 8.8’de elmas tanesinin yüzeyinde tamamen kırılmalar ve parçalanmalar oluşmuş ve elmas yer yer matriks seviyesinin altına indiği görülmektedir. Kesme yönünde gelen ağır darbeler sonucu buna paralel kırılma ve parçalanmalar (abrasiv aşınma) olduğu görülmektedir. Elmas kristalinin kenar kısımlarındaki matrikste herhangi bir (eroziv) aşınma veya çatlak, boşluk görülmemektedir. Buradan elmasın matriks tarafından iyi kavranmış olmasına rağmen zor kesim şartları sonucunda oluşan kesme anındaki ağır darbeler sonucunda zorlanarak kırıldığı ve kesme işlemini gerçekleştiremeyecek durumda (cilalanmış kristal) olduğu anlaşılmaktadır.

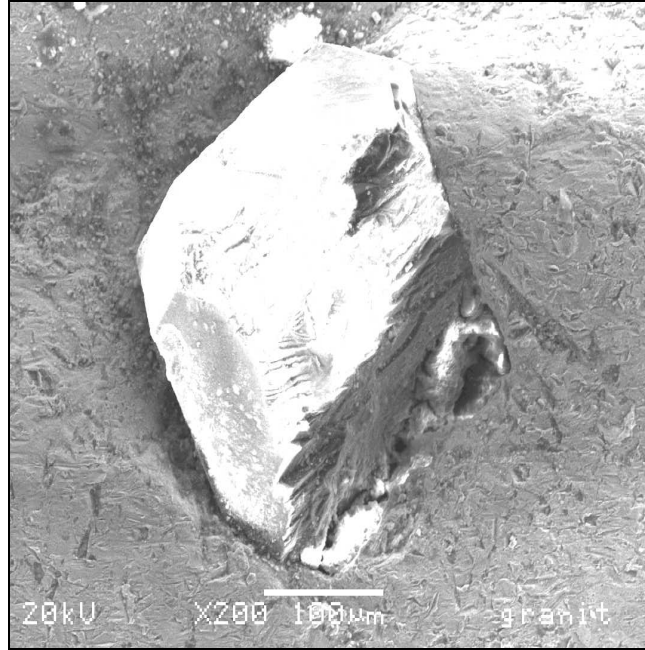


Şekil 8.7. Granit Testeresinde Oluşan Aşınma.



Şekil 8.8. Granit Testeresinde Cilalanmış Elmas Kristali.

Şekil 8.9 incelendiğinde, elmas tanesinde abrasiv aşınma sonucunda yüzeylerde kısmen kırılma, çatlama , çizilme ve boşlukların olduğu görülmektedir. Elmas tanesinin ön kısmında matriksin eroziv aşınma sonucunda aşınarak kesme boşluğu oluşmuştur. Kesme boşluğu oldukça derin olup, elmasın alt yüzeyinin matriksle tutunma alanını oldukça azatlığı ve elmasın kesme esnasında oluşacak ufak bir darbe sonucunda kolaylıkla yerinden çıkacağı anlaşılmaktadır. Elmas tanesinin arka kısmında matriksin kısmen kuyruk yapısı oluşturduğu ancak, elmasa gelmiş olan yanal kuvvetler sonucunda elmas yüzeyinde oluşan kırılma ve kopmalara paralel olarak kuyrukta da eroziv aşınma oluşarak elması tutan kısmın oldukça azaldığı görülmektedir.



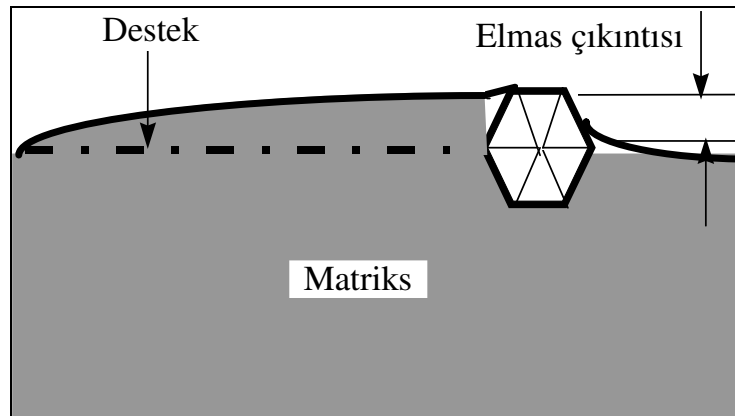
Şekil 8.9. Granit Testeresindeki Elmasın Aşınma Yüzeyi

Kesicilerin sürtünmesi nedeniyle ısı artışları meydana gelmektedir. Bu ısı artışı direk olarak aşınma direnci ve ileri aşamalarda kesici yapısını etkilemektedir. Kesicilerin ısı 350 °C ulaştığında, aşınma dramatik olarak artmakta ve bu ısıdan sonra kesiciler kesme işlevinde başarısız olmaktadır. Bu nedenle bu ısı değeri “Kritik kesici ısı” olarak tanımlanmıştır (Glowka and Stone,1984). Bu ısı değerinden sonra, elmas tanelerinin sertliği yoğun olarak azalmakta ve elmas tanelerinden mikroskobik parçacıklar uzaklaşmaktadır.

8.2.2. Matrikste Oluşan Aşınmalar

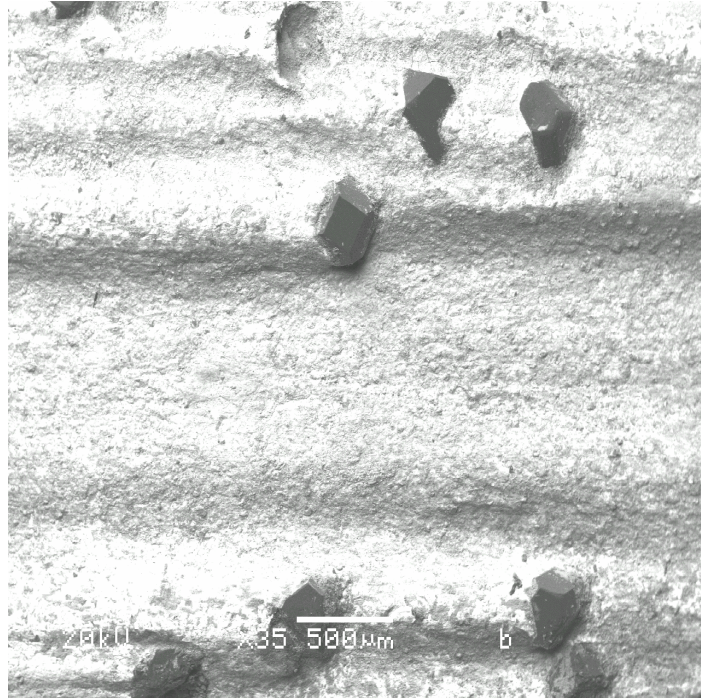
Kesme işleminde elmasın aşınması kadar önemli olan diğer bir faktör de matriks aşınmasıdır. Matriks aşınmasını kontrol eden en önemli faktörler, kaya özellikleri: dokusal, mekanik, yapısal, atmosferik; testere parametreleri: çalışma ve dizayn; sıvı ve ısı özellikleri sayılabilir (Ersoy ve Waller, 1995, 1997). Verimli bir kesme işlemi için matriksin sertliğinin kesilen kayacın sertliğine uygun olması gerekmektedir. Eğer matriks kesilen malzemeden daha sert olursa, elmas kesme işlevini yaparken aşınacak, yani körelecektir. Matriks yeterli seviyede aşınmadığı için körelen elmas hala matriks tarafından tutulacak ve yeni elmas yüzeyleri kayaya kontak yapamadığı için testerelerin kesim hızı düşerek, başarısız olacaktır. Bu nedenle, elmaslarla matriks eş zamanlı aşınması gerekmektedir. Kayaç kesimindeki gözlemlerden, sert mermer kesimi için testerelerde göreceli olarak yumuşak matriks kullanılmalıdır.

Kesme işlemi sırasında kesilen kayaç ve talaş matriksi sadece elmasın ön ve yan taraflarından aşındırmaktadır. Arka tarafta ise bir aşınma gerçekleşmemektedir. Elmas ve matriksteki aşınmada aynı yönde olmaktadır. Böylece elmas kristalinin arka tarafında matriksten oluşan ve gittikçe incelen bir sırt – kanal yapısı oluşur (Şekil 8.10). Kuyruklu yıldız yapısını oluşturan bu sırt, elması desteklemekte ve dayanımını artırmaktadır. Kesme işleminden sonra sırtın mikroskop altında gözlenmesi ile kesmenin verimli bir şekilde yapıldı yapılmadığı anlaşılabilmektedir. Sırtın oluşmadığı durumlar; elmasın etkin olarak kesme işlemini gerçekleştiremediğinin bir göstergesidir. Bu nedenle testereler taş kesimi sırasında, sabit yönde dönmelidir.



Şekil 8.10. Testerenin Sabit Yönde Dönmesinde Elmas Tanesinin Çıkıntısı ve Matriks Desteği.

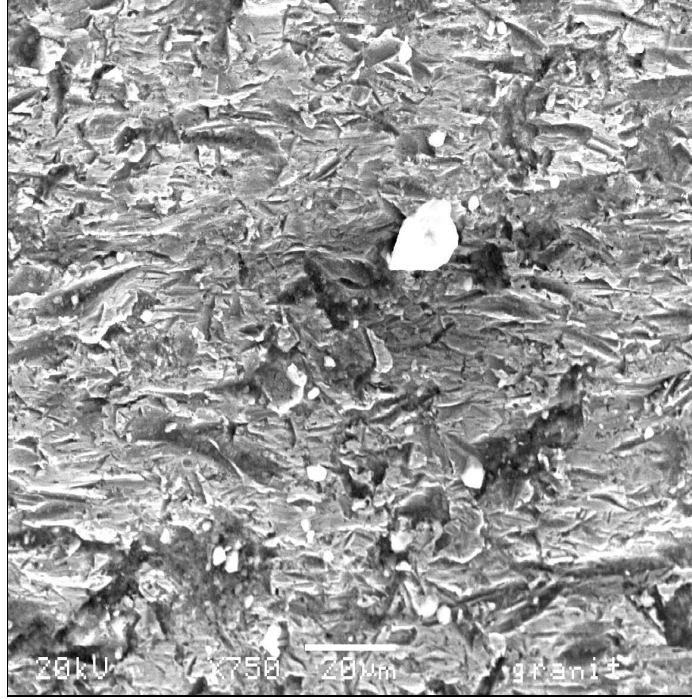
Kesime sırasında, bazen elmasların arkasında oluşan sırtlar arasında değişik kanallar oluşmaktadır. Kesme sonucunda testelerde gözlenen bu kanal oluşumu kesimin uygun şartlar altında gerçekleştiğini belirtmektedir. Kesme işlemi için çok önemli olan kanal oluşumu, kesim sırasında kayaktan kopan parçalar, aşınan elmas, matriks parçaları bu su kanalları vasıtası ile ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Matriksin kesilen kayaca göre çok sert olduğu durumlarda kanal oluşumu gerçekleşmez. Böylece oluşan talaş ve su ortamdan uzaklaştırılamadığı için bu malzemeler elması ve özellikle matriksi aşındırmakta ve buna bağlı olarak ta soket ömrü azalmaktadır. Kesme işlemi sırasında matriks üzerinde oluşan kanallar ve sırt, kireçtaşı türü kayaların kesiminde kullanılan testerede elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde görülmektedir (Şekil 8.11).



Şekil 8.11. Kesme İşlemi Sırasında Matriks Üzerinde Oluşan Kanallar ve Sırt Yapısı.

Şekil 8.12 granit testeresinin matriks yüzeyinin 750 kez büyütülmüş resmidir. Bu şekilde, matriks yüzeyinde kesme işlemi sonucunda oluşan eroziv aşınmanın izleri oldukça net olarak görülmektedir. Matriks yüzeyi boyunca derinlemesine inen çatlak ve yarıkların bulunması üretim aşamasında iyi bir sinterlemenin yapılmadığını

göstermektedir. Matriks üzerindeki çatlak ve yarıkların sadece kesme yönünde olmayıp, farklı açılarla dağılmıştır. Bu ise, matriksi oluşturan metal tozları arasında kalan boşlukların kalıntı ve stresleriyle çatlak oluşmaktadır. Matriks yüzeyinin çukur kısımlarına yer yer kesme kırıntıları yerleşmiştir.



Şekil 8.12. Matriksin Aşınma Yüzeyi

Testerelerin aşınma mekanizmaları aşağıdaki 4 aşınma hipotezi ile özetlenebilir:

- * Aşındırma (abrasion)
- * Darbe veya çarpma ve yorulma
- * Darbe yüklemesi ve ani yükleme
- * Isı şokları

Aşındırıcı aşınma, homojen olarak gelişmekte ve kesici ömrünü kademeli olarak bitirmekte, kesme hızını düşürmektedir. Bu aşınma türü, kaya özelliklerinin, kesiciye uygulanan kesme yüklerinin, kesici ısısının, kesme hızının ve kesici (elmas ve matriks) özelliklerinin bir fonksiyonudur. Yumuşak ve plastik davranış gösteren kayaların yüzeyleri düz bir açı ile aşınarak, kesici ile kaya yüzey kontakta küçük

alanlar oluşmakta ve kesicinin keskin durumları korunmaktadır. Sert ve kırılgan kayaların yüzeyleri paralel olarak aşınmakta, kesiciler için kaya kontağında daha geniş alanlar oluşmakta ve daha yüksek kesici yükleri gerektirmektedir.

Yüksek kesici yükleri, darbe şoklarına ve kalıntı (residual) streslerine sebep olmaktadır. Kalıntı stresler, testerelerin imali sırasında, sinterleme ve presleme proseslerindeki hatalardan oluşmaktadır. Darbe yorulmaları ise mekanik yorulmalar sonucu oluşmaktadır. Kalıntı stresleri küçük dahi olsa, yüksek darbe yüklerinin şoku makro kırılmalara neden olabilir. Çünkü, elmas matriks materyalinden çok daha serttir. Ancak, elmaslar matriksten daha az deforme olacak, destekleme bağı zayıflayarak gerilme streslerine maruz kalacaktır (Sneddon ve Hall,1988). Elmas tanelerinin çatlakları, elmas yüzeyleri boyunca hareket eden şok dalgaları ile darbe yüklerine maruz kalmaktadır.

8.3. Aşınma ile Kaya Özellikleri Arasındaki İlişki

Kayaç özellikleri (minerolojik, mekanik, kimyasal) ile kesici testerelerdeki aşınma değerleri bilgisayar ortamında SPSS 11 istatistiksel paket programının kullanılmasıyla korelasyon matriksi oluşturulmuştur (Çizelge 8.3). Korelasyon matriksinde fiziksel ve mekanik değerleri oldukça düşük olan fakat kesici testereyi en fazla aşındıran kayaç olan Afyon Riyolit Tüfü sapma değer görülerek dahil edilmemiştir.

Çizelge 8.3’de kayaçların dayanım özelliklerinden birisi olan ve basınç altındaki deformasyonları ile yenilme değerleri kullanılarak belirlenen spesifik deformasyon enerjisi (SE_{des}) ile testeredeki aşınma değerleri arasında 0,97 gibi oldukça yüksek bir korelasyon değeri belirlenmiştir. Bu ise yüksek dayanım değerlerine sahip kayaçların testereyi daha fazla aşındırdığını belirtmektedir. Aşınmaya direk olarak etkisi olması beklenen kuvars ve toplam silis içeriklerinin aşınma değerleri ile iyi bir korelasyon ilişkisi görülmemiştir ($r:0,61$ ve $r: 0,47$). Ancak kuvars yüzdesi veya eşdeğer kuvars yüzdesi, tane boyutu ve çekme dayanım değerleri kullanılarak hesaplanan Schmiazek Aşınma İndeks (F-aşınma faktörü) değerleri ile aşınma arasında 0,998 gibi oldukça yüksek bir ilişkinin olması kayaç içersindeki kuvars

içeriğinden daha çok eşdeğer kuvars yüzdesinin etkili olduğunu göstermektedir. Kayacın Schmiazek aşınma indeks değeri bize o kayacın aşındırıcılığı hakkında oldukça iyi bilgiler vermektedir.

Kayaç sertliğinin aşındırma özelliği ile etkisini incelemek amacıyla yapılan mohs sertlik indeksi ($r: 0,713$) ve Shore sclerescope sertlik indeksi ($r: 0,90$) değerleri arasındaki fark ise mohs sertliğinin sadece kayacı oluşturan mineraller kullanılarak tespit edilmesi, kayaç içerisindeki dolgu malzemesini ve taneler arasındaki bağların sertliklerini ihmal etmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak shore sclerescope sertlik indeksi için korelasyon değerinin 0,90 gibi oldukça yüksek olması, kayaçların sertliklerinin aşındırıcı özellikleri için oldukça belirleyici faktörler olduğu görülmektedir.

Kayaçların aşınma ve aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi amacıyla belirlenen cerchar aşınma indeks ve F aşınma faktörü ile testerede oluşan aşınma miktarı arasında 0,99 gibi oldukça yüksek bir korelasyon bulunmaktadır.

8. AŞINMA

Ümit ATICI

Çizelge 8.3. Kesici Testerenin Aşınma Değerleri ile Kayaç Özelliklerinin Korelasyon Tablosu.

	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃
X ₂	1,00	0,97	0,69	0,61	0,47	0,32	-0,97	0,99	0,38	-0,02	0,71	0,90	0,10	0,99	-0,30	0,99	-0,27	0,09	0,03	0,22	0,26
X ₃	0,97	1,00	0,84	0,78	0,66	0,08	-0,99	0,92	0,14	-0,26	0,53	0,98	0,33	0,97	-0,07	0,98	-0,04	-0,15	-0,21	0,45	0,49
X ₄	0,69	0,84	1,00	0,99	0,96	-0,47	-0,84	0,56	-0,41	-0,74	-0,02	0,94	0,79	0,68	0,48	0,73	0,51	-0,66	-0,71	0,86	0,88
X ₅	0,61	0,78	0,99	1,00	0,99	-0,56	-0,78	0,47	-0,50	-0,80	-0,12	0,90	0,85	0,60	0,57	0,66	0,60	-0,74	-0,77	0,91	0,94
X ₆	0,47	0,66	0,96	0,99	1,00	-0,69	-0,66	0,31	-0,65	-0,90	-0,29	0,81	0,93	0,45	0,70	0,51	0,73	-0,84	-0,87	0,97	0,98
X ₇	0,32	0,08	-0,47	-0,56	-0,69	1,00	-0,09	0,47	0,99	0,94	0,89	-0,14	-0,91	0,33	-0,99	0,27	-0,99	0,97	0,96	-0,85	-0,83
X ₈	-0,97	-0,99	-0,84	-0,78	-0,66	-0,09	1,00	-0,92	-0,15	0,25	-0,53	-0,97	-0,32	-0,97	0,07	-0,98	0,04	0,15	0,20	-0,44	-0,48
X ₉	0,99	0,92	0,56	0,47	0,31	0,47	-0,92	1,00	0,53	0,15	0,82	0,81	-0,07	0,99	-0,46	0,98	-0,43	0,25	0,20	0,05	0,10
X ₁₀	0,38	0,14	-0,41	-0,50	-0,65	0,99	-0,15	0,53	1,00	0,92	0,92	-0,08	-0,89	0,39	-0,99	0,32	-0,99	0,96	0,94	-0,82	-0,80
X ₁₁	-0,02	-0,26	-0,74	-0,80	-0,90	0,94	0,25	0,15	0,92	1,00	0,69	-0,46	-0,99	-0,01	-0,95	-0,08	-0,96	0,99	0,99	-0,98	-0,97
X ₁₂	0,71	0,53	-0,02	-0,12	-0,29	0,89	-0,53	0,82	0,92	0,69	1,00	0,33	-0,63	0,72	-0,88	0,67	-0,87	0,76	0,72	-0,53	-0,49
X ₁₃	0,90	0,98	0,94	0,90	0,81	-0,14	-0,97	0,81	-0,08	0,46	0,33	1,00	0,53	0,89	0,15	0,92	0,19	-0,37	-0,42	0,63	0,66
X ₁₄	0,10	0,33	0,79	0,85	0,93	-0,91	-0,32	-0,07	-0,89	-0,99	-0,63	0,53	1,00	0,08	0,92	0,15	0,93	-0,98	-0,99	0,99	0,99
X ₁₅	0,99	0,97	0,68	0,60	0,45	0,33	-0,97	0,99	0,39	-0,05	0,72	0,89	0,08	1,00	-0,32	0,99	-0,29	0,10	0,04	0,21	0,25
X ₁₆	-0,30	-0,07	0,48	0,57	0,70	-0,99	0,07	-0,46	-0,99	-0,95	-0,88	0,15	0,92	-0,32	1,00	-0,25	0,99	-0,98	-0,96	0,86	0,84
X ₁₇	0,99	0,98	0,73	0,66	0,51	0,27	-0,98	0,98	0,32	-0,08	0,67	0,92	0,15	0,99	-0,25	1,00	-0,22	0,03	-0,03	0,28	0,32
X ₁₉	-0,27	-0,04	0,51	0,60	0,73	-0,99	0,04	-0,43	-0,99	-0,96	-0,87	0,19	0,93	-0,29	0,99	-0,22	1,00	-0,98	-0,97	0,88	0,86
X ₂₀	0,09	-0,15	-0,66	-0,74	-0,84	0,97	0,15	0,25	0,96	0,99	0,76	-0,37	-0,98	0,10	-0,98	0,03	-0,98	1,00	0,99	-0,95	-0,94
X ₂₁	0,03	-0,21	-0,71	-0,77	-0,87	0,96	0,20	0,20	0,94	0,99	0,72	-0,42	-0,99	0,04	-0,96	-0,03	-0,97	0,99	1,00	-0,97	-0,96
X ₂₂	0,22	0,45	0,86	0,91	0,97	-0,85	-0,44	0,05	-0,82	-0,98	-0,53	0,63	0,99	0,21	0,86	0,28	0,88	-0,95	-0,97	1,00	0,99
X ₂₃	0,26	0,49	0,88	0,92	0,98	-0,83	-0,48	0,10	-0,80	-0,97	-0,49	0,66	0,99	0,25	0,84	0,32	0,86	-0,94	-0,96	0,99	1,00

Korelasyon 0,05 güven aralığında yapılmıştır.

X ₂ : Aşınma miktarı (gr/m ³)	X ₃ : Spesifik deformasyon en. (j/m ³)	X ₄ : Tane boyutu (mm)	X ₅ : Kuvars konsantrasyonu (%)
X ₆ : Silikat konsantrasyonu (%)	X ₇ : Tek eksenli basma dayanım (MPa)	X ₈ : Endirek çekme dayanımı (MPa)	X ₉ : Çift makaslama dayanımı (MPa)
X ₁₀ : Eğilme dayanımı (MPa)	X ₁₁ : Young modülü (GPa)	X ₁₂ : Mohs sertlik indeksi	X ₁₃ : Shore sclerescope sertlik indeksi
X ₁₄ : Schmidt darbe çekici	X ₁₅ : Cerchar aşınma indeksi	X ₁₆ : Böhme Aşınma ind. (cm ³ /50cm ²)	X ₁₇ : F-aşınma faktörü (N/mm)
X ₁₉ : Porozite (%)	X ₂₀ : Yoğunluk (gr/cm ³)	X ₂₁ : Kuru yoğunluk (gr/cm ³)	X ₂₂ : Ağırlıkça su emme oranı (%)
X ₂₃ : Hacimce su emme oranı (%)			

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kesme verimini etkileyen birçok faktör vardır. Bunların en önemlileri kesicinin tasarım ve çalışma parametreleri ile kesilen kayaç özellikleri olarak belirlenmiştir. Tasarım parametreleri; kesici testerenin özellikleri (Matriksi oluşturan malzeme, elmas tane boyutu ve konsantrasyonu, soket tipi, testerenin çapı) ile kesici testereyi tahrik eden motor gücüdür. Çalışma parametreleri ise ilerleme hızı, kesme derinliği, çevresel hız, kesme hızı, spesifik kesme enerjisi (SE_{kes}), yük ve soğutma suyudur. Kayaç özellikleri fiziksel, kimyasal, mineralojik ve petrografik parametreler sayılabilir.

Kayaç özellikleri ile kesme verimi arasında yüksek derecelerde korelasyon olduğu gözlenmektedir. Ayrıca andezit, bazalt ve tuf grubu kayaçlar için SE_{kes} ile kayaç özellikleri arasında (örneğin spesifik deformasyon enerjisi, tek eksenli basma dayanımı, makaslama dayanımı, Shore sclereskop sertliği, F aşınma faktörü gibi) oldukça yüksek korelasyon ilişkisi bulunmaktadır. Ayrıca kayaç özelliklerinin kesme verimine etkileri aşağıda özetlenmiştir.

- Kayaçlarda taneler arası bağ kuvveti arttıkça, yani taneler daha sert bir çimento ile bağlanmışsa hem kesme hızı düşmekte, hem de testeredeki aşınma daha yüksek olmaktadır.
- Kesilen kayacın homojen olması durumunda kesme hızı artırılabilir.
- Kayaç içindeki kuvars ve silis miktarı ne kadar yüksekse kesicilerdeki aşınma oranı da o derece yüksek olmuştur.

Kesici testerelerde yumuşak kayaç kesimi için göreceli olarak sert soket ve iri elmaslar kullanılmalı, elmas konsantrasyonu daha düşük tutulmalıdır. Soğutma suyunun daha kolay tahliye edilebilmesi için geniş su kanallı kısa soketler kullanılmalıdır. Sert kayaç kesiminde ise yine göreceli olarak yumuşak soket küçük boyutta ve yüksek konsantrasyonda elmaslar kullanılmalıdır. Elmaslar mümkün olduğunca çok köşeli olmalıdır. Kesici testereyi tahrik eden motor gücü testerenin boyutuna ve kesilecek olan kayacın tipine göre testerenin rahat hareket edebileceği değerde olmalıdır.

Kesme deneylerinde bej, mermer, granit ve andezit testersi olmak üzere dört farklı testere kullanılmıştır. Bu testerelerden Bej testeresi % 25 – 30 konsantrasyonda ve 30/40 US mesh boyutunda elmas kullanılarak imal edilmiştir. Yine Mermer testeresi de aynı oranlarda ve boyutta elmas kullanılmıştır. İki testere arasındaki fark daha çok matriks özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Granit testeresinde 50/60 US mesh boyutunda ve % 30 - 40 konsantrasyonda elmas, andezit testeresinde ise 40/50 US mesh boyutunda ve 30 – 38 konsantrasyonunda elmas bulunmaktadır.

Farklı derinlik ve ilerleme hızlarında kayaçların optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Kesme parametrelerinin optimum SE_{kes} 'in minimum olduğu ve kesme hızının maksimum olduğu değer veya aralıktır.

İlerleme hızının artması ile enerji tüketimi belirli bir değere kadar keskin ve büyük oranlarda düşüş göstermektedir. Bu sınır değerinden sonra ise enerji tüketimindeki azalma daha küçük oranlarda olmaktadır. İlerleme hızının daha yüksek olması kesicinin normalden daha hızlı bir şekilde aşınarak bitmesine, yavaş olması ise hem kesici testerenin körelerek verimsiz bir şekilde çalışmasına, makinenin boşta çalışarak enerji ve işçilik maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Kayaçlarda kesme derinliği, ilerleme hızı ve çevresel hızın kuvvetler üzerine ve enerji sarfıyatı üzerine etkileri incelenmiş olup, kesme derinliği ve ilerleme hızı artırıldıkça kuvvetlerde de “ergisel doğru” biçiminde bir artışın olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızı sabit tutulup, kesme derinliği değiştirilerek ve kesme derinliği sabit tutulup ilerleme hızı değiştirilerek kesme işlemi yapılmıştır. Harcanan enerji miktarı ölçülerek ilerleme hızı ve kesme derinliğinin optimum olduğu aralık belirlenmiştir. Kesme testleri esnasında, kesme derinliğinin artırılması ile enerji tüketimi çok küçük oranlarda artmakta veya sabit kalmaktadır. İleri aşamalardaki kesme derinliğinin artması, testereyi sıkıştırarak başarısız olmasına neden olmaktadır. Kesme derinliğinin artması ile SE_{kes} azalmıştır. Ancak, daha ileri aşamalardaki kesme derinliğinin artması verimli bir kesmeyi ortadan kaldırmaktadır. Diğer bir deyişle testere dayanımı belirli dikey ve yuvarlanma kuvvetlerinin uygulanması ile sınırlıdır.

Makinenin kapasitesine göre kesme derinliği ve ilerleme hızı artırıldıkça SE_{kes} 'de belirli bir sınıra kadar hızlı bir şekilde azalmakta, daha fazla derinliklerde ve yüksek kesim hızında ise SE_{kes} 'deki azalma hızı düşmektedir. İlerleme hızının SE_{kes} ile ilgili grafiğin eğimi, kesme derinliğini SE_{kes} ile olan grafiğin eğiminden daha yüksektir. Kesme işlemi sırasında, kesme verimi açısından; ilerleme hızının artırılması kesme derinliğinin artırılmasından daha faydalı olduğu görülmektedir. Testerenin kayaç içersinde ilerlemesi için gereken kuvvet, testerenin kayaca batması için gereken kuvvetten daha azdır. Buradan birim zamanda üretim miktarının veya kesme hızının artırılması için kesme derinliğinin artırılması yerine ilerleme hızının artırılması ile daha az kuvvet harcanarak kesme yapılabilir. Bu sebepten dolayı endüstriyel uygulamalarda, blok kesme makinelerinde kesik plakalar belirli kesme derinliklerinde istendiklerinden, kesme esnasında mermer, traverten ve orta sertlikteki diğer kayaçların kesiminde kesme derinliği bir seferde tamamen verilebilirken, granit diyabaz gibi sert kayaçların kesiminde istenen derinlik 30 mm'den daha fazla ise 8 mm ile 20 mm arasında kademeli kesim yapılmaktadır.

Kesme işlemi sırasında çevresel hızın artırılması ile kesici testere üzerinde oluşan normal ve teğetsel kuvvetler de azalmaktadır. Bunun nedeni; çevresel hızın artması ile elmas soket başına düşen birim zamanda kesilen kayaç miktarının azalmasıdır. Ancak, çevresel hızın belirli bir değerin üzerinde artırılması ile soketler kayaç yüzeyinde patinaj yapar şekilde sürtünerek döner ve kesme işlemini yapamazlar. Bu nedenle, çevresel hızın aşamalı ve kontrollü olarak artırılması, fakat belirli bir sınırın üzerine çıkarılmaması gerekmektedir. Kesme deneyleri sırasında çevresel hız 65 m/sn sabit tutulmuştur. Bu değer optimum olarak belirlenmiştir.

SE_{kes} birim zamanda kayayı kesmek için gereken enerji miktarıdır ve pratikte pek dikkate alınmamaktadır. Ancak etkili ve verimli bir kesmenin yapılabilmesi için kesme hızının maksimum ve SE_{kes} 'in minimum olduğu nokta veya belirli bir aralık olmasına bağlıdır. Bu değer kesme işleminin en ekonomik olduğu durumdur. Bu nedenle, SE_{kes} , verimliliğin bir ölçüsü ve kriteridir. SE_{kes} 'in optimum olduğu aralıktaki kesme derinliği ve ilerleme hızının belirlenmesinde kullanılan faktörler kesici motorunun kapasitesi, testerenin geometrik özellikleri ile çalışma parametreleri, kayacın fiziksel ve jeomekanik özellikler sayılabilir.

Farklı kayaçlar için kesme hızı ile SE_{kes} arasındaki ilişki belirli bir değere kadar (yaklaşık 200 cm²/dak) kesme hızı artırıldıkça, SE_{kes} 'de keskin bir düşüşün olduğu, 200 – 300 cm²/dak aralığında eğrinin bir bükülüm göstererek 300 cm²/dak değerinden sonra SE_{kes} 'de daha az oranlarda bir düşüş görülmektedir. 500 cm²/dak değerinden daha yüksek değerlerde ise kesici makinenin gücünün yetersiz kaldığı ve hız invertörleri aracılığı ile ilerleme hızında ve çevresel hızda düşüşler gözlemlendiği kesici testerinin sıkışarak kesme işleminin yapılamadığı gözlenmiştir.

Bej ve andezit kayaçları için kullanılan testerelerin optimum ilerleme hızı 0,4 m/dak ve kesme derinliği 60 mm şeklinde belirlenerek, bu değerler sabit tutulmuştur. Bazalt örneklerinde ise hem mermer testeresi, hem de granit testeresi kullanılarak, optimum ilerleme hızı 0,5 m/dak ve kesme derinliği 50 mm olarak saptanmıştır. Bu değerler de deneyler boyunca sabit tutulmuştur..

Bej mermer grubundan en kolay kesilebilen ve en düşük SE_{kes} Sivrihisar Bejinde üretilmiştir (1070 j/m³). Bu durum kayacın jeomekanik özellikleri ile ilgili olup, kayaç oldukça mikroskobik ve makroskobik çatlaklara sahiptir. Bu çatlaklar ikincil olarak kalsit ile doldurulmuştur. Ayrıca Sivrihisar bejinin dayanım değeri ile sertliği diğer kayaçlardan daha düşüktür. En yüksek SE_{kes} tüketimi Burdur bejinde (1125 j/m³) olmuştur. Bu kayaç oldukça sağlam ve herhangi bir süreksizlik içermemektedir. Dayanım değerleri ve sertliği de yüksektir.

Kayacın kesim yönü testerinin verimliliği için önemli bir kriterdir. Aşağı kesme yöntemi yukarı kesme yöntemine göre daha fazla dikey kuvvet ve daha düşük yatay kuvvet oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı yukarı kesme yönteminde kesilecek olan kayacın sabitlenmesinde blok yeterli büyüklükte değilse sıkıntılar doğurmakta ve kesme esnasında kayacın oynamalar oluşarak testereye zarar vermektedir.

Kesici elmas ömrü açısından ise yukarı kesim yaparken elmas kayaca zamanla ve dengeli bir şekilde batarak kesme işlemini yapmaktadır. Aşağı kesme yönteminde testerinin kayaca ani darbe uygulayacak şekilde çarpması sonucu yükün tamamı testere üzerine uygulamaktadır. Bu olay, özellikle düşük hızlarda elmas tanelerinin kırılmasına ve testerinin ömrünün olumsuz yönde etkilenmesine neden olur. Çalışmalarda aşağı kesme yöntemi kullanılmıştır.

Yönlenmenin SE_{kes} üzerindeki etkilerini görmek için Sivrihisar ve Korkuteli beji kayaçlarından (aynı bloktan) farklı yönlerde alınan numuneler aynı şartlarda kesme testlerine tabi tutulmuşlardır. Ters yöndeki kesim testlerinde Sivrihisar beji için % 12,5'lik ve Korkuteli beji için % 9'luk bir SE_{kes} artışı belirlenmiştir. Bu durum kayaçların heterojen ve minerallerin belirli doğrultularda yönlenmesinden ileri gelmektedir.

Andezit testeresi kullanılarak yapılan kesme deneylerinde basma dayanımı en düşük olan Afyon tufünün en kolay kesilebilen kayaç olduğu, dayanımı en yüksek olan Kayseri Erkilet andezitinin ise en zor kesilebildiği tespit edilmiştir.

Kesme verimini etkileyen en önemli faktörlerden biriside kayaç için uygun testere seçimidir. Kayseri Erkilet Andezitinin SE_{kes} değeri (864 j/m^3) bej grubu kayaçların SE_{kes} 'inden daha düşük değerlerdedir. Bu durum testere özelliklerinin, yani testere tasarım parametrelerinin ve soket (elmas ile matriks) özelliklerinin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Kayaçın özelliklerine göre uygun testere seçimi gerekmektedir. Kayseri Erkilet Bazaltının mermer testeresi kullanılarak yapılan kesiminde granit testeresi kullanılarak yapılan kesimine göre % 5 'lik daha fazla SE_{kes} tüketilmiştir.

İki grup kayaç için çok değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Analiz, SE_{kes} tahmini için 21 adet kayaç özelliği kullanılmıştır. Her grup kayaç için geliştirilen matematik modelinin doğruluğu ve kullanılabilirliği istatistik metotlarla (R^2 , R^2_{adj} , t testi, F testi, olasılık grafiği, artık analizi gibi) test edilmiştir.

Testerelerin aşınması, bir çok formda görülmesine rağmen, kaya kesimi sırasında testerelerin aşınmasından en fazla sorumlu mekanizma aşındırıcı (abrasive) aşınmadır. Aynı zamanda, aşırı yükleme, ani yükleme, yorulma ve ısı şoku testerelerin aşınmasına etkili olan diğer mekanizmalardır.

Aşınma, kesici yüzey üzerindeki materyalin makroskopik ve mikroskopik olarak uzaklaşması, deformasyon ve çatlaklar oluşması, çizilmesi, yuvarlaklaşması ile kesici ömrünün azalması veya yok olması olarak tanımlanabilir. Aşınma soketi oluşturan malzemelerin tipi ve özellikleri, kesme düzeneğinin çalışma parametreleri ve sürtünme yüzeyinde kayaç ile soket arasındaki etkileşimler tarafından kontrol edilmektedir. Aşınma, kesici makinelerin ekonomik ömürlerinin ve verimlerinin daha yüksek olması için oldukça önemli bir mühendislik uygulamasıdır. Kayaçların

dairesel testerelerle kesimi sırasında elmas soketlerde meydana gelen aşınmalar, mermer sektörünün üretim maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Testerelerin aşınmasından, birinci derecede abrasiv aşınma sorumludur. Erozyon, korozyon ve yorulma türü aşınmalar da testerelerin aşınmasına katkıda bulunmaktadır. Kesme işlevi sırasında kayadan kopan ve soğutma suyu ile uzaklaşan büyük ve keskin kaya partikülleri, kesici elmasların erozyonuna neden olmaktadır. Sert mineral parçaları, yüksek hızlarda kesici ile teması durumunda, kesici elmaslarda mikroskobik olarak çatlaklar, çizikler ve çentikler oluşturmaktadır. Testerelerin yorulma ile olan aşınmaları en kötü formlardaki aşınmadır. Gereğinden fazla kesici yüklere maruz kalan testereler, kaya yüzeyine ani darbelerle veya çarpmalarla yorulma türü aşınmalar oluşarak, elmaslar matriksteki kaynak yerinden fırlamakta veya kesici elmaslarda çatlaklar oluşmaktadır.

Kesme deneyleri sonucunda testerede meydana gelen aşınma miktarını tespit etmek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde hacim kaybı ve ağırlık kaybı tespit yöntemleri kullanılmıştır. Ağırlık kaybı ile belirlenen aşınma soketlerde meydana gelen aşınma miktarını değil, tüm testeredeki aşınmayı verdiği için daha sağlıklı bir yöntem olarak görünmektedir. Ancak testeredeki asıl aşınma kayaç ile direk temasta olan soketlerde oluşmakta olduğu için hacim kaybından belirlenen aşınma değerlerinin kullanılması uygundur. İki yöntem arasındaki korelasyon değeri oldukça yüksektir.

Afyon Riyolit Tüfü Andezit testeresi kullanılarak yapılan kesme deneylerinde testereyi en fazla aşındıran kayaçtır. Bunun sebebi, andezit testeresinin bu kayacın kesimi için uygun testere olmamasıdır. Aşındırıcı bir kayacın kesiminde matriksi çok daha sert bir testerenin kullanılması gerekmektedir. Kayseri Erkilet bazalt için yapılan kesme deneylerinde granit testeresinin mermer testeresine göre daha uygundur.

Afyon Bazaltik Andezit kayacı kesici testereyi daha az aşındırmakta ve SE_{kes} daha düşüktür. Bu kayaç diğerlerine göre daha kolay kesilebilir bir kayaçtır.

Bej mermer ve kireçtaşları için yapılan çalışmalarda; bu kayaçların aşındırıcılık değerlerinin oldukça düşük olması, deney düzeneğinin laboratuvar ölçekli olması sebebi ile sağlıklı bir aşınma miktarı edilebilecek seviyeden daha az oluşmuştur.

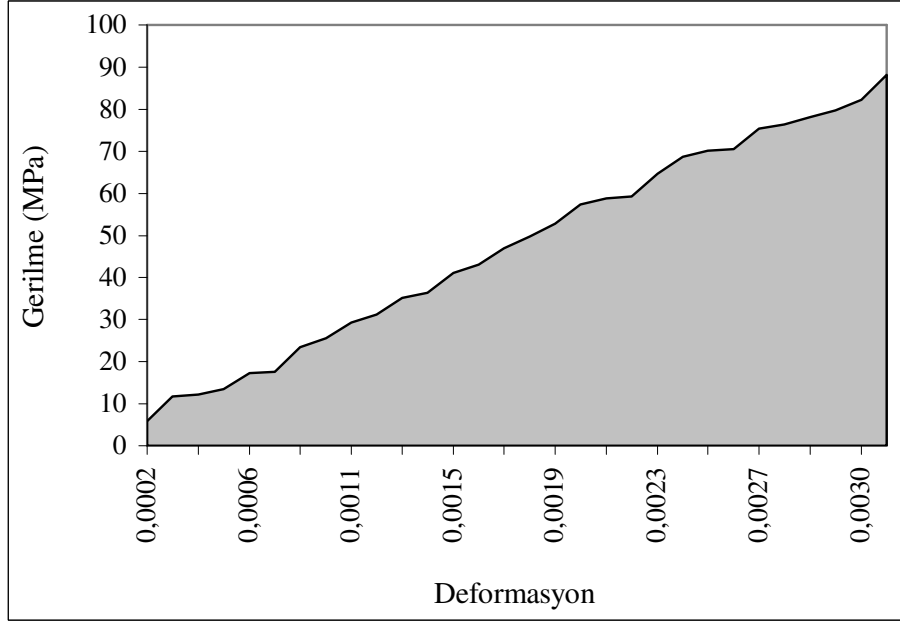
Testeredeki aşınma miktarı ile bir çok kayaç özelliği arasında yüksek korelasyon bulunmaktadır.

Bu güne kadar yapılan çalışmalarda SE_{kes} hesaplamaları yük hücreleri yardımı ile elde edilen kuvvetlerin matematiksel olarak hesaplanmaları ile belirlenmektedir. Bu hesaplamalarda ise Tobias (1965) tarafından belirlenen aşındırma açısına ait w faktörü olarak adlandırılan bir sabit (0,7) kullanılmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda hem kuvvetler yardımı ile SE_{kes} hesaplanıp, hem de pratikte kullanılan SE_{kes} ölçümü yapılarak ülkemiz kayaçları için bu “ w ” değerinin geçerliliği incelenmelidir.

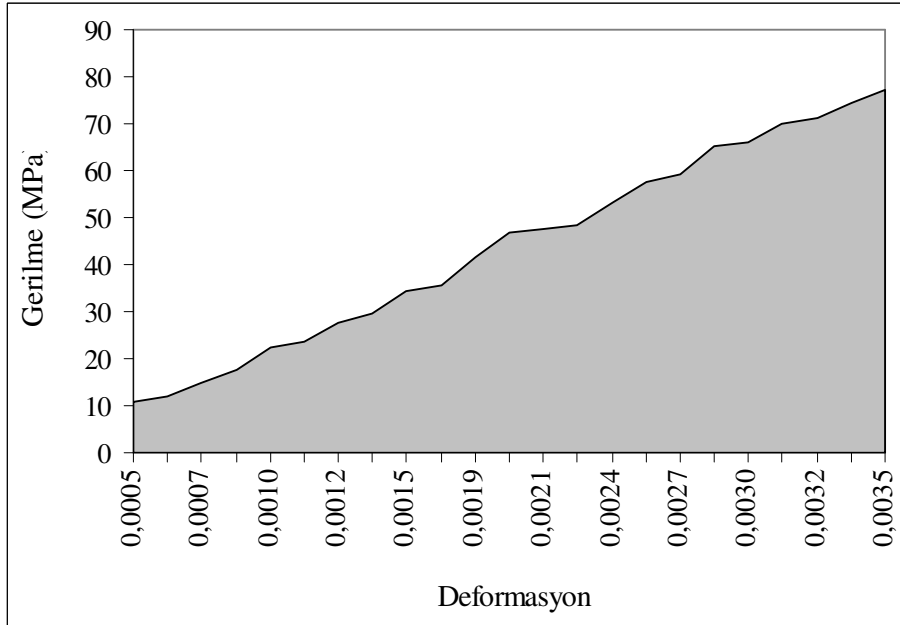
Bu çalışmada kayaçlardaki yönelmenin kesme enerjisi üzerine etkileri sadece iki kayaç üzerinde incelenmiş olup, daha sonra yapılacak çalışmalarda daha fazla örnek ile bu konu detaylı olarak yapılabilir.

Kayaçların kesimi esnasında testerede oluşan aşınmalar 0,001 gr. hassasiyette tartı ve 0,01mm hassasiyette dijital kumpas yardımı ile ölçülmüş olup, yapılmış olan çalışmalar laboratuvar ölçeğinde olduğu için farklı derinliklerde ve farklı ilerleme hızlarında kireçtaşı, mermer grubu kayaçlarda testerede oluşan aşınma değerleri oldukça düşük olmuştur. daha sonra yapılacak çalışmalarda değişik operasyon parametrelerinin kesici testerede oluşturduğu aşınma miktarı sanayi ölçekli makinelerde yapılabilir.

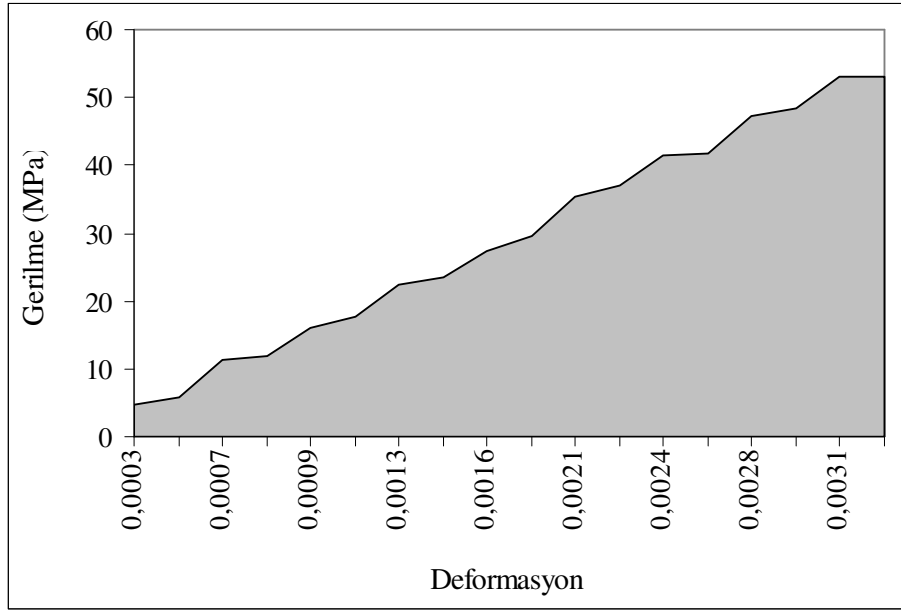
EKLER



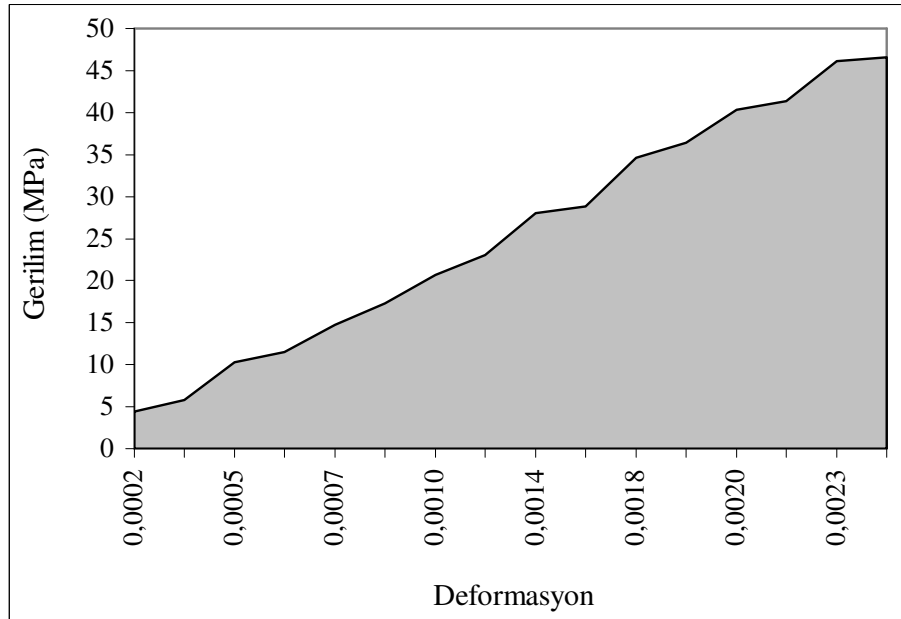
Ek 4.1. Korkuteli Mermeri İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



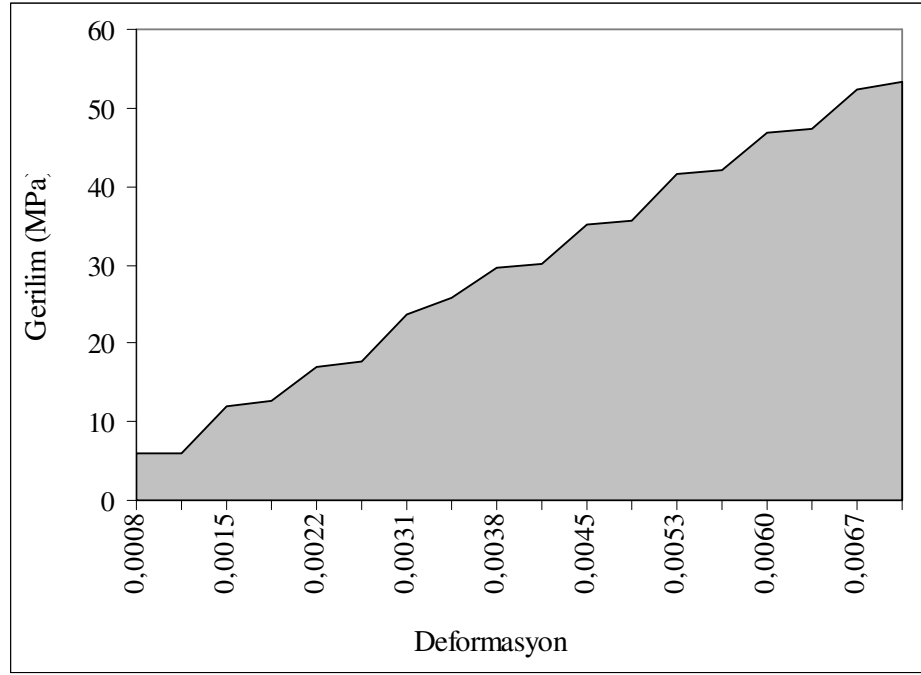
Ek. 4.2. Sivrihisar Bej Kayacı İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



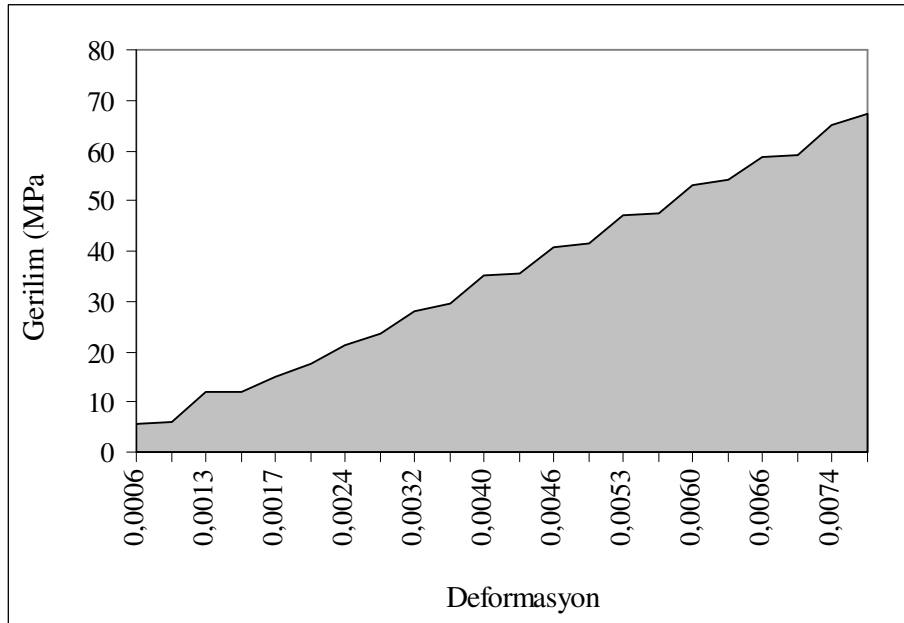
Ek 4.3. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



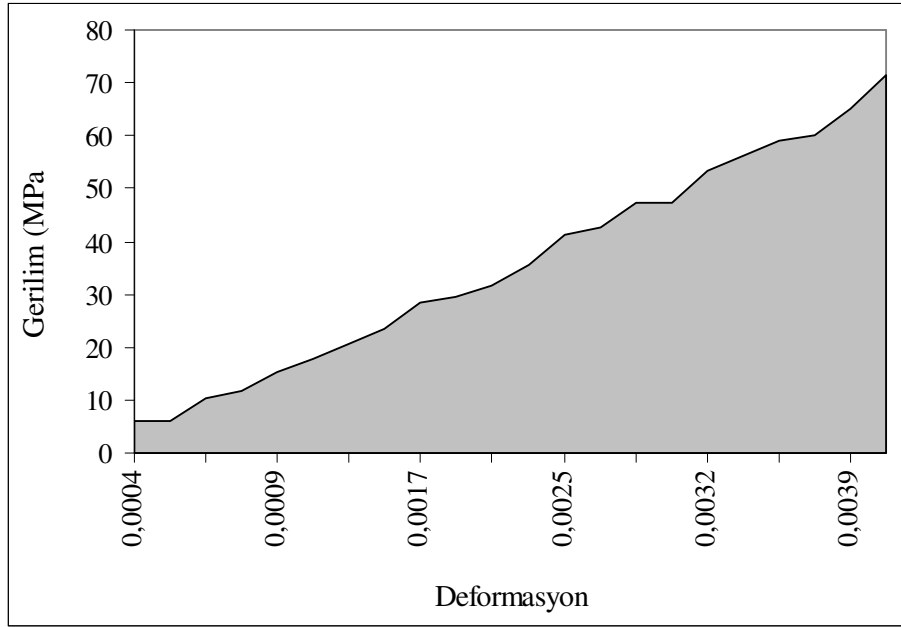
Ek 4.4. Burdur Mermeri İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



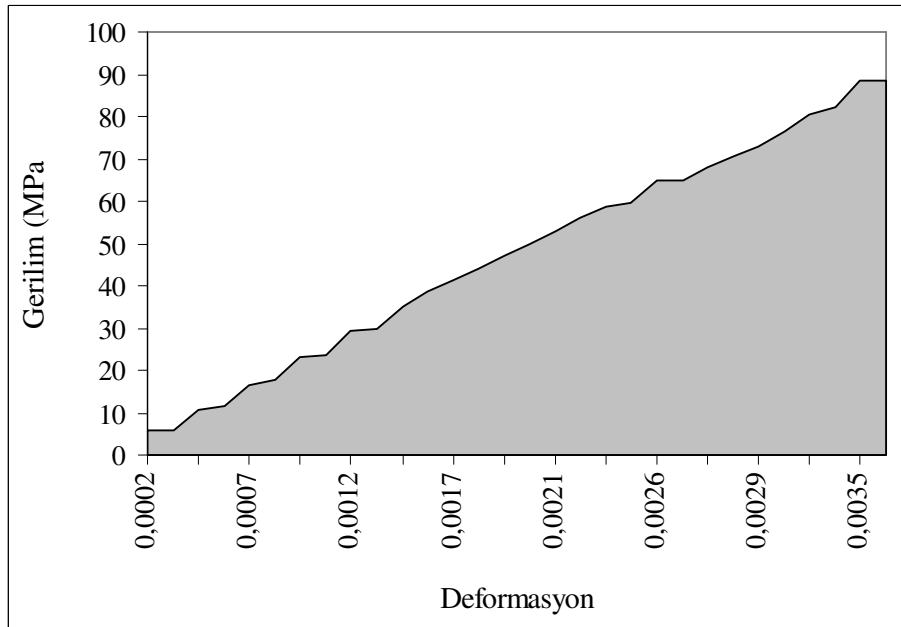
Ek 4.5. Afyon Bazaltik Andeziti İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



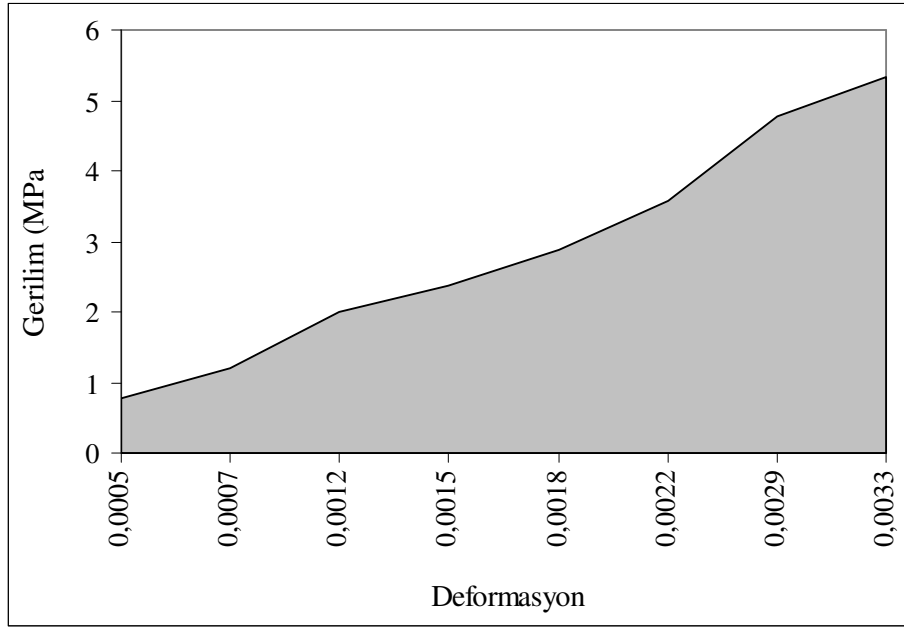
Ek 4.6. Kayseri Erkilet Bazaltik Andezit İçin Gerilme Geformasyon Grafiği.



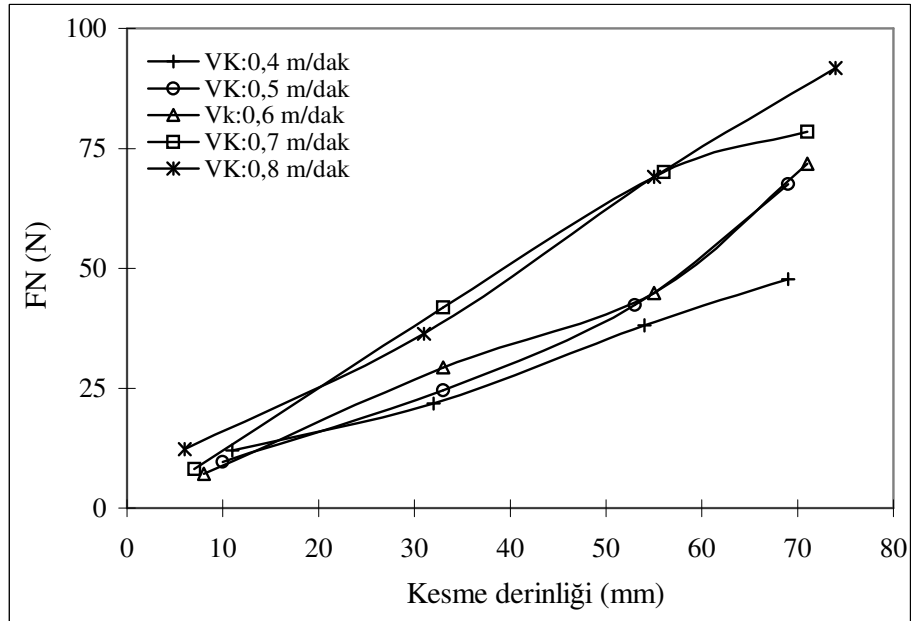
Ek 4.7. Kayseri Erkilet Bazalt İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



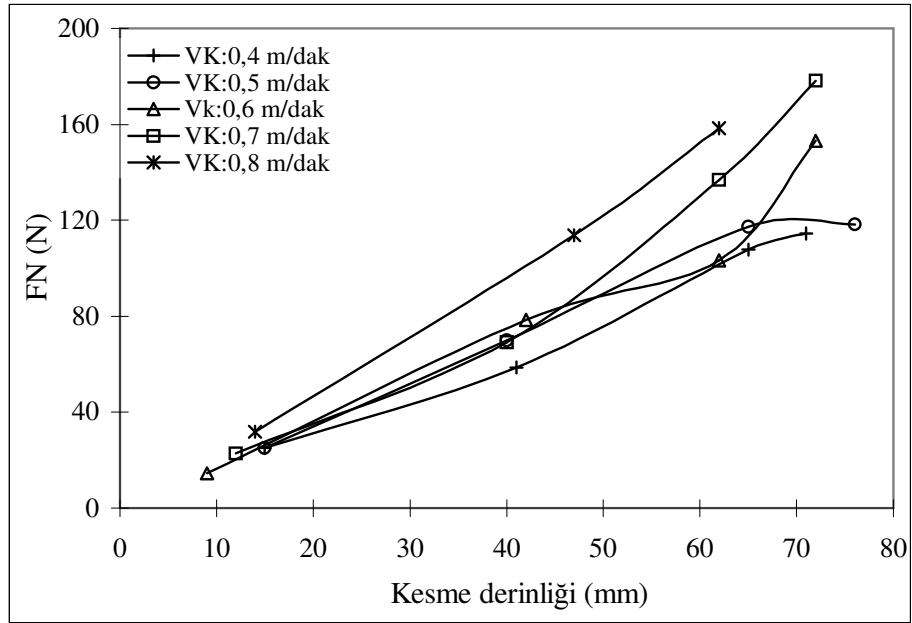
Ek 4.8. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



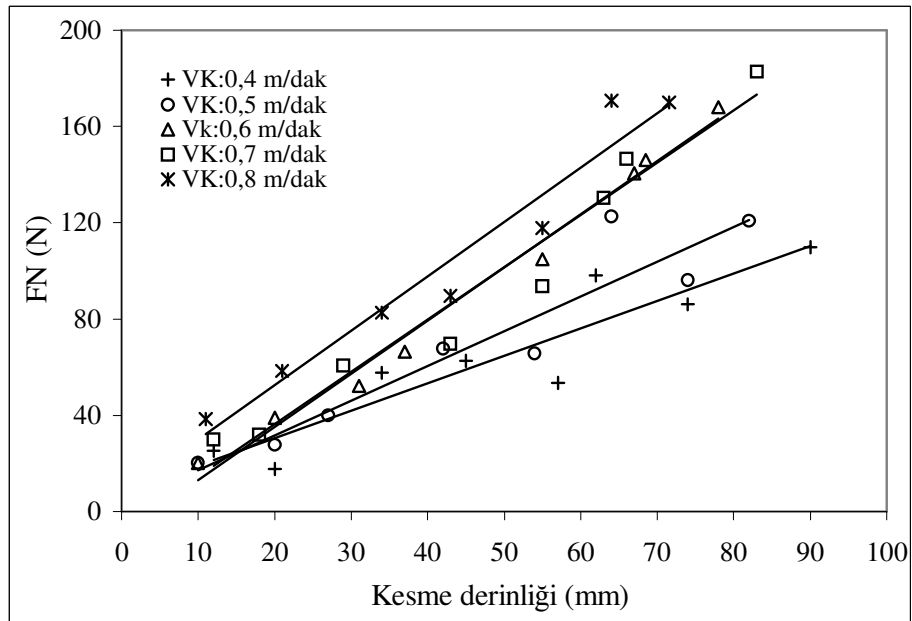
Ek 4.9. Afyon Riyolit Tuf İçin Gerilme Deformasyon Grafiği.



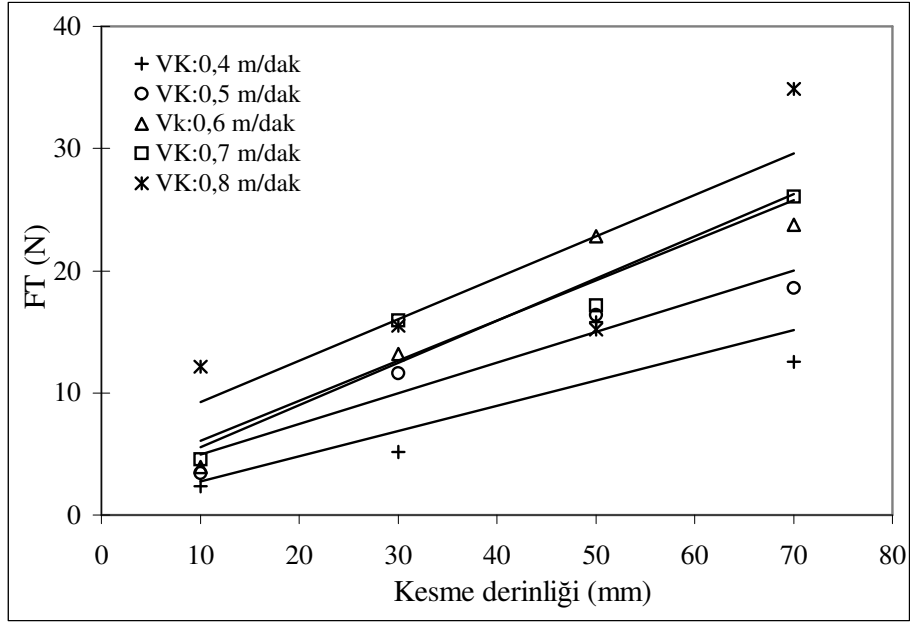
Ek. 5.1. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



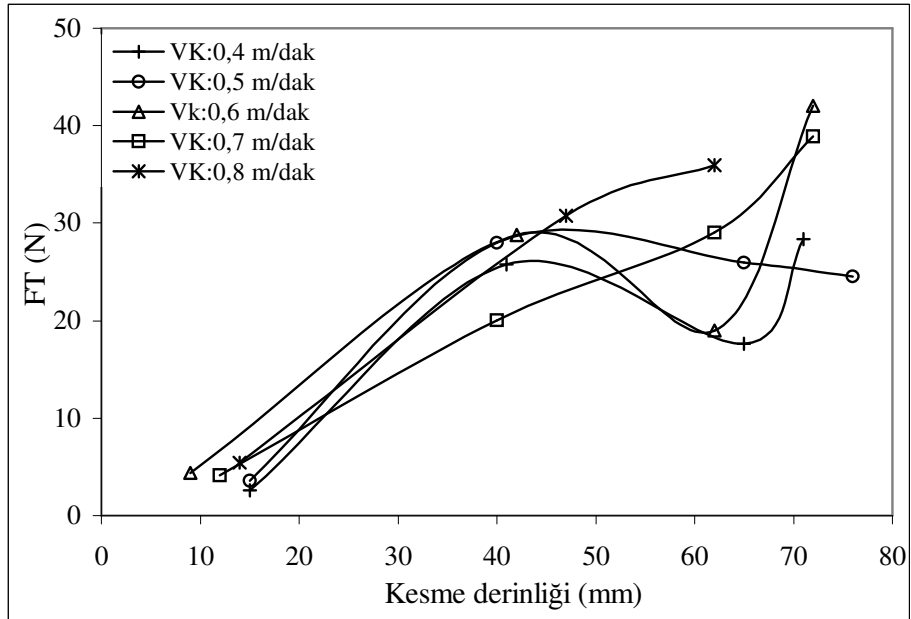
Ek. 5.2. Sivrihisar Bej Kireçtaşı İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



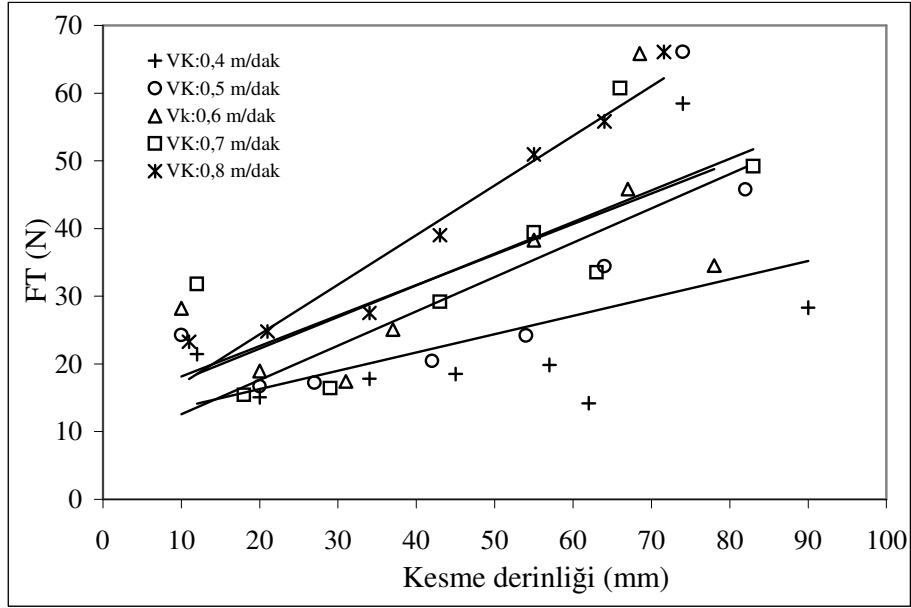
Ek. 5.3. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



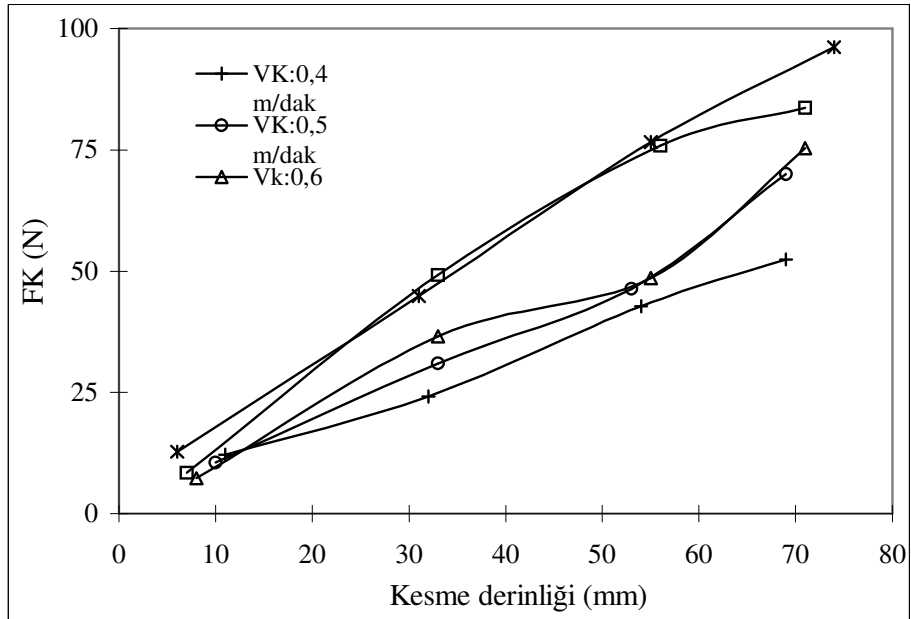
Ek. 5.4. Korkuteli Mermeri İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



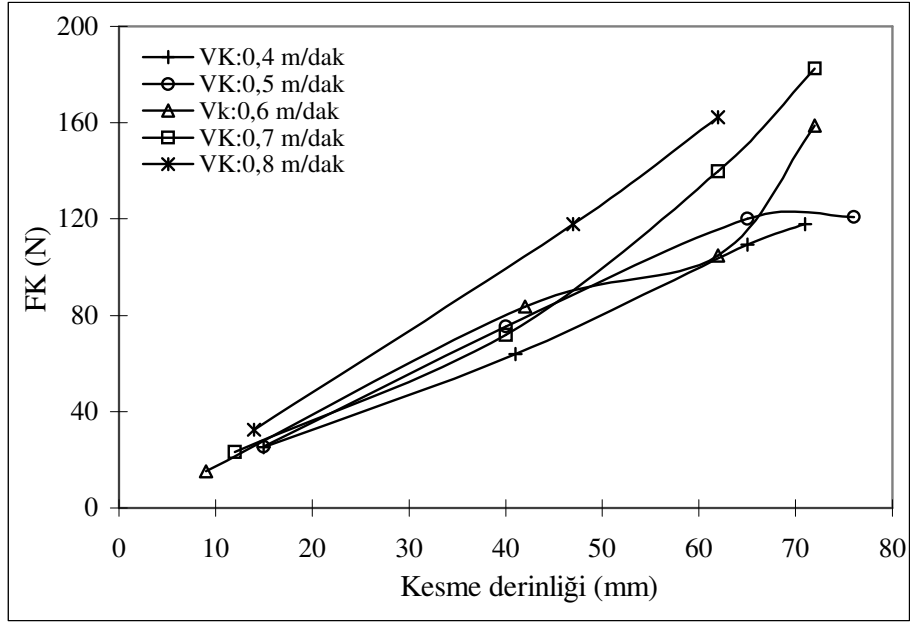
Ek. 5.5. Sivrihisar Bej Kireçtaşı İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



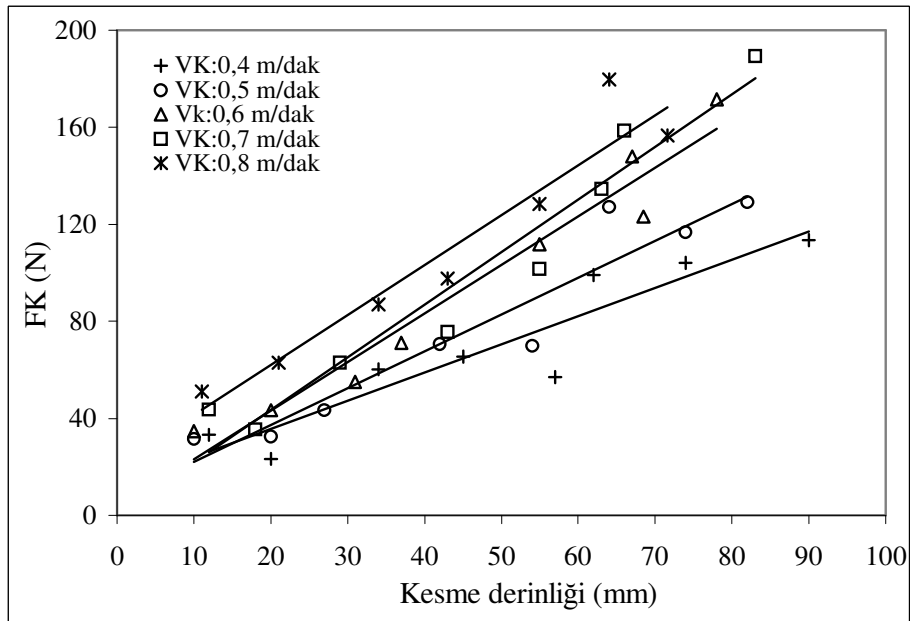
Ek. 5.6. Söğüt Bej Kireçtaşı İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



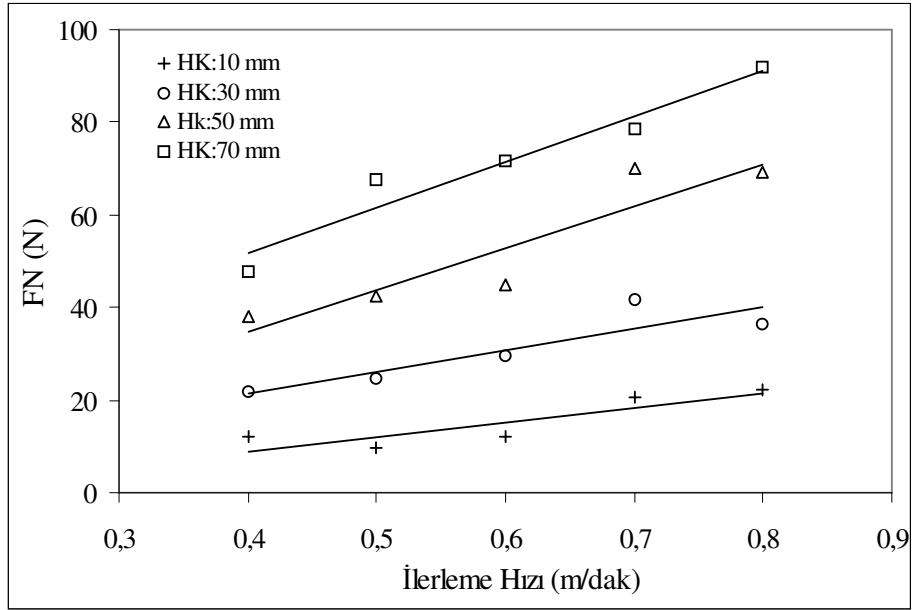
Ek. 5.7. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.



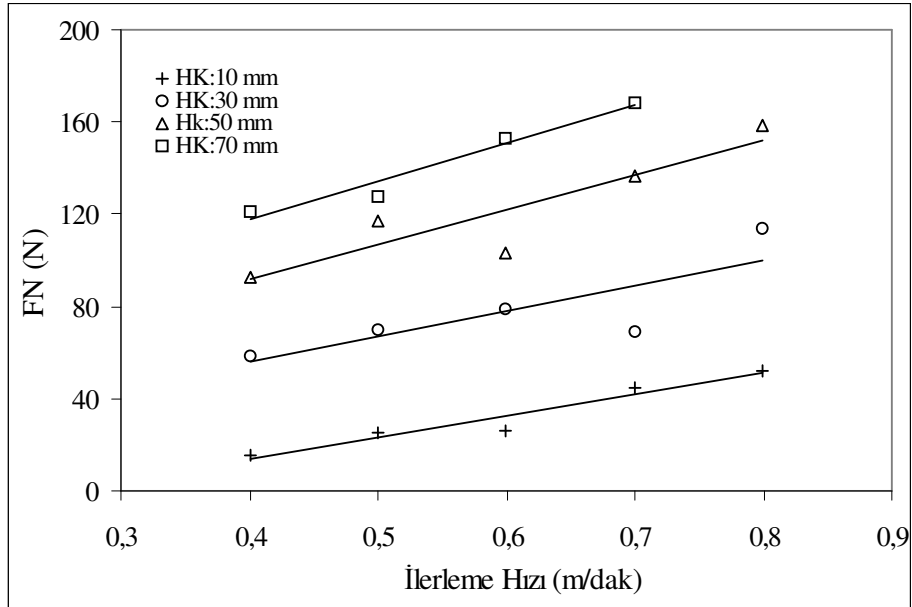
Ek. 5.8. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.



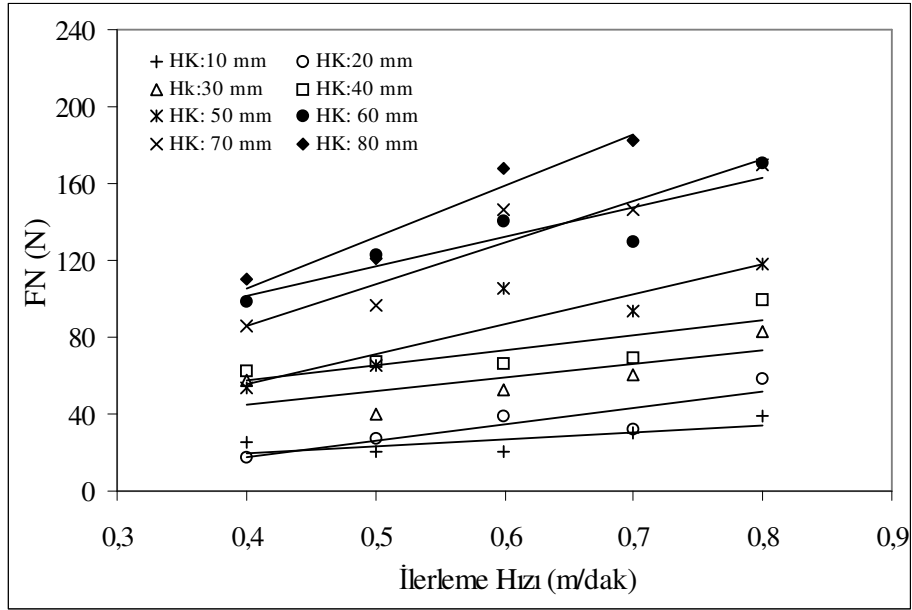
Ek. 5.9. Söğüt Kireçtaşı İçin Farklı Besleme Hızlarında Kesme Derinliğinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.



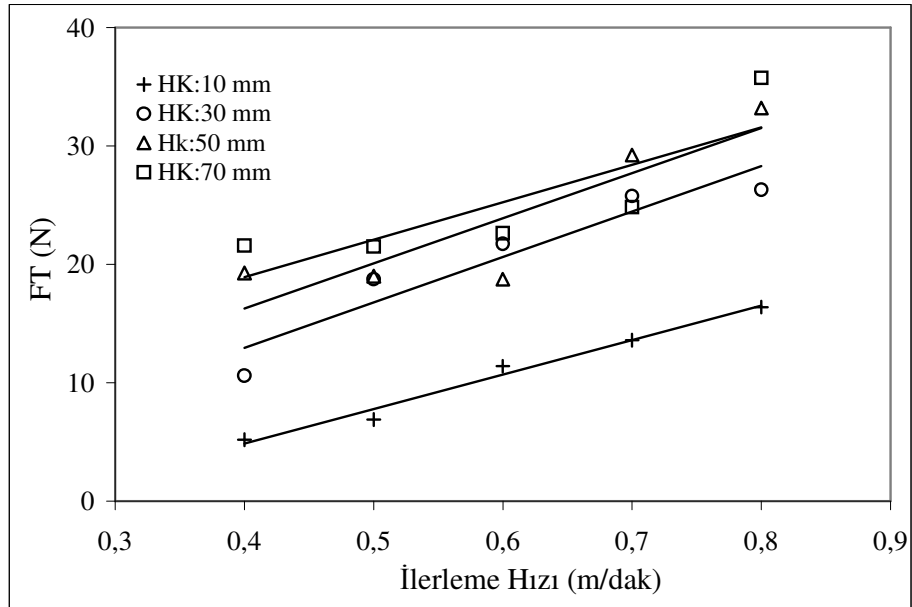
Ek. 5.10. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



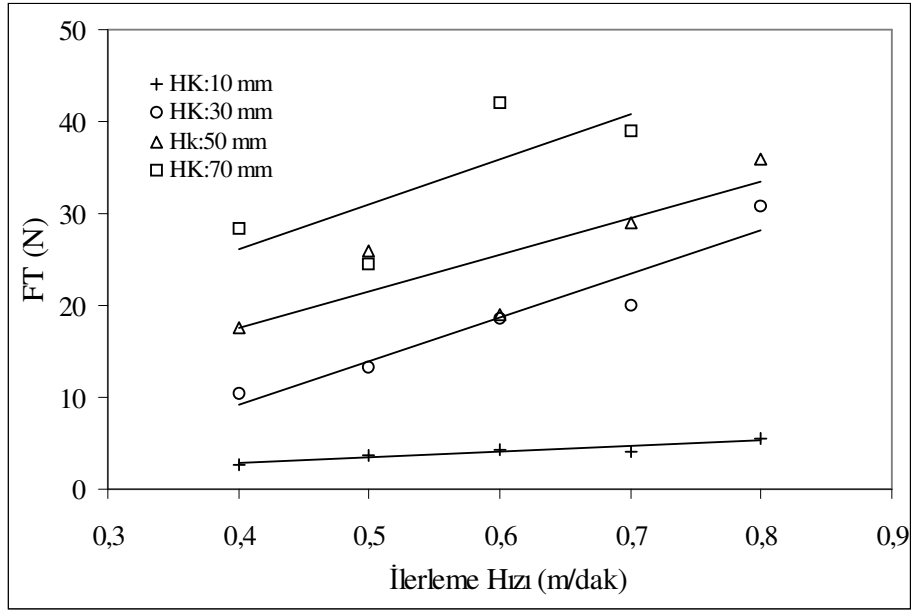
Ek. 5.11. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerinde Etkisi.



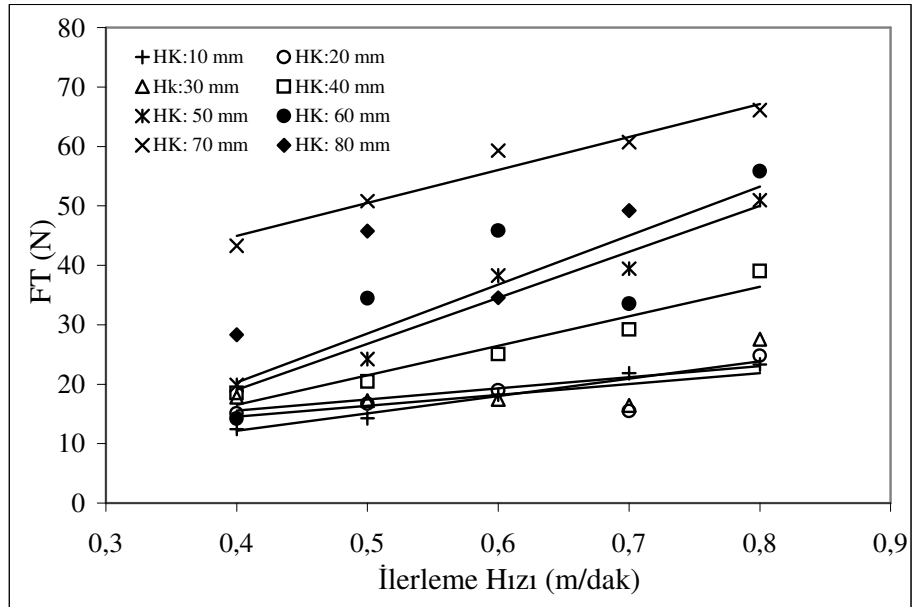
Ek. 5.12. Söğüt kireçtaşı İçin Kesme Hızının Farklı Kesme Derinliklerinde, Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



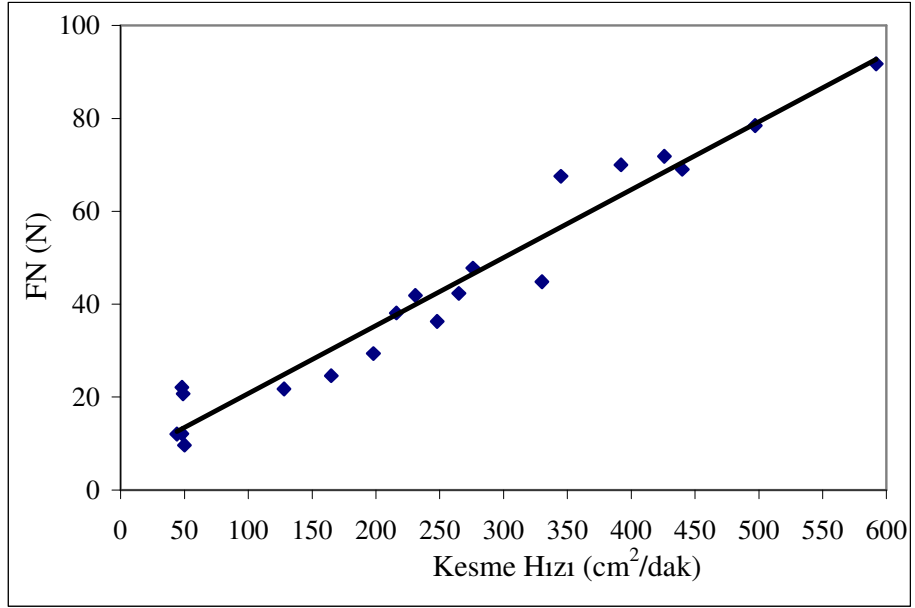
Ek. 5.13. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, Besleme Hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



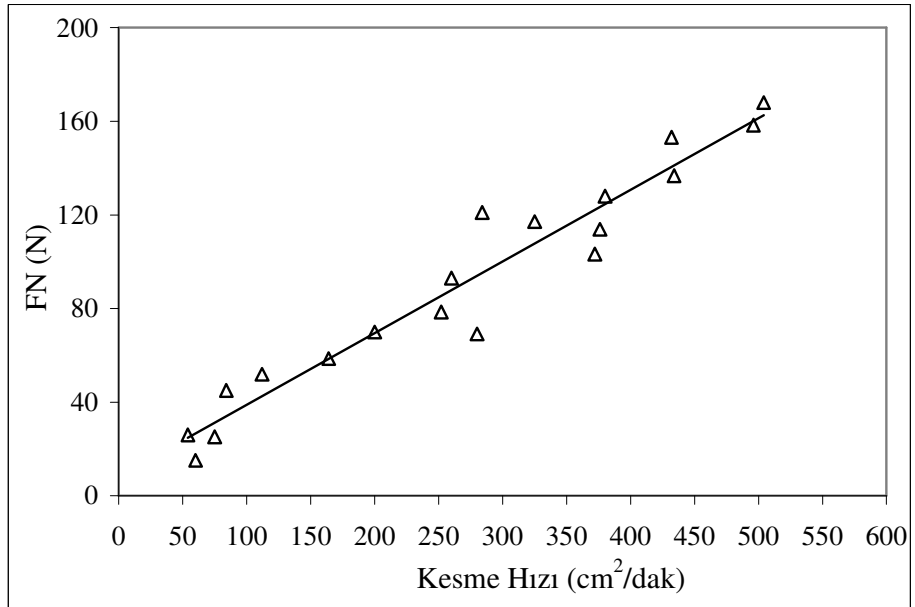
Ek. 5.14. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme Hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



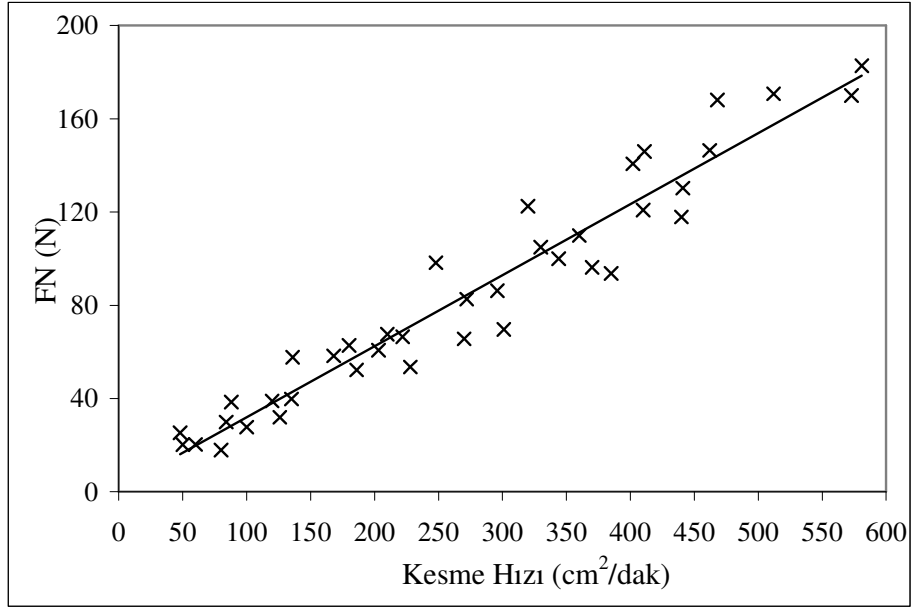
Ek. 5.15. Söğüt Kireçtaşı İçin Farklı Kesme Derinliklerinde, İlerleme Hızındaki Değişiminin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



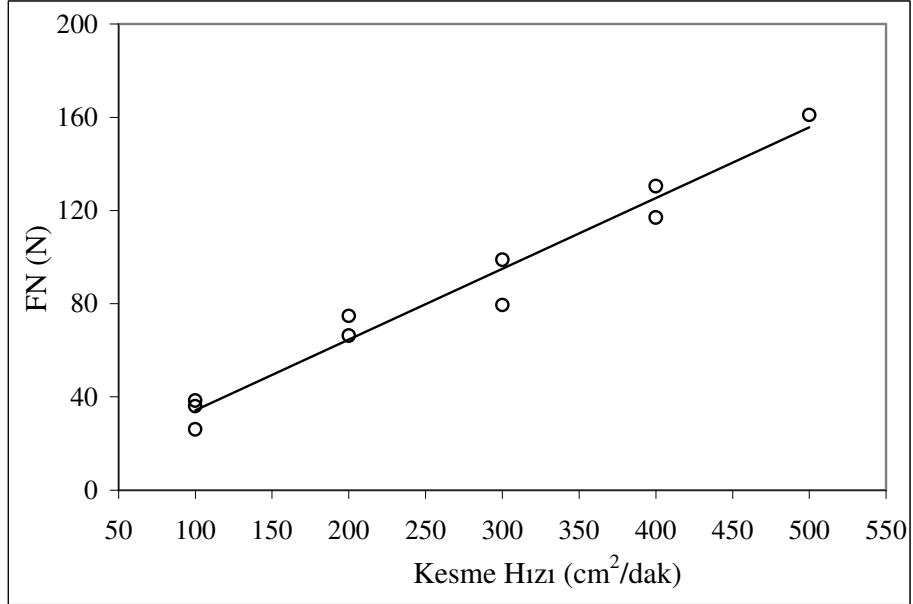
Ek. 5.16. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



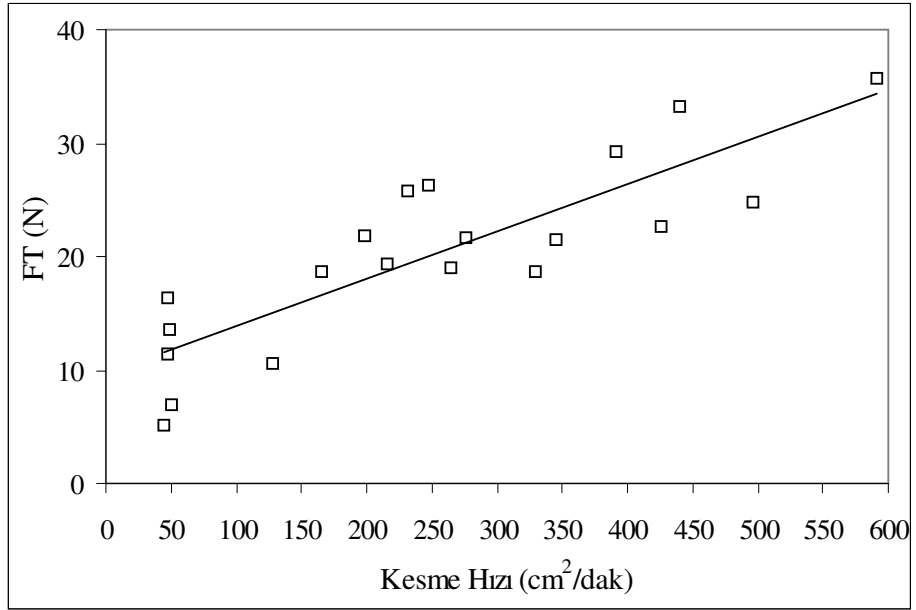
Ek. 5.17. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



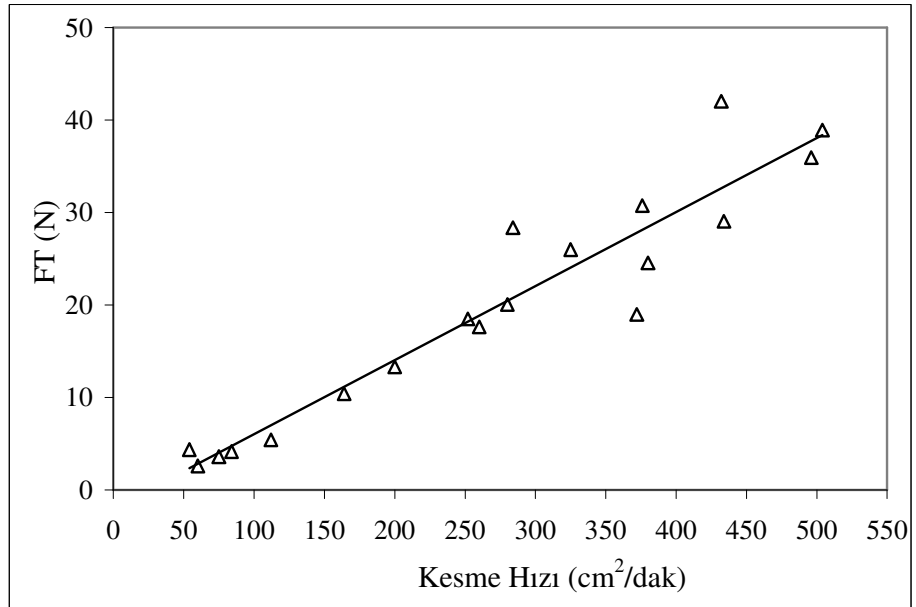
Ek. 5.18. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerine Etkisi.



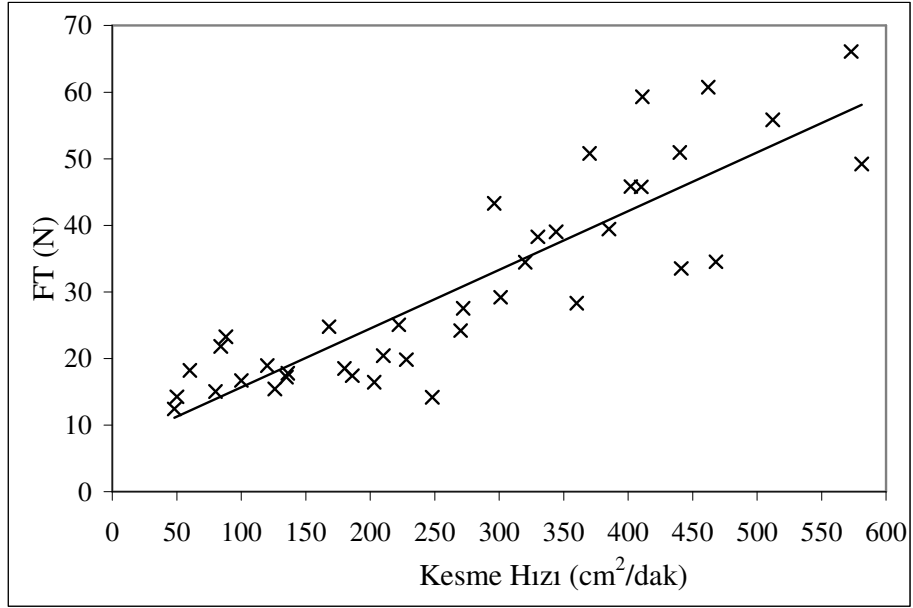
Ek. 5.19. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Normal Kuvvet Üzerinde Etkisi.



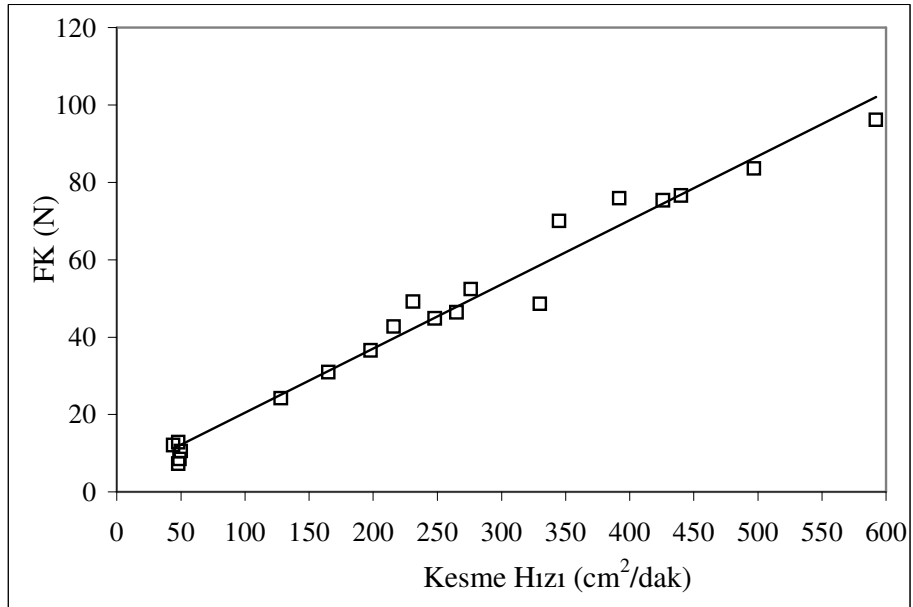
Ek. 5.20. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



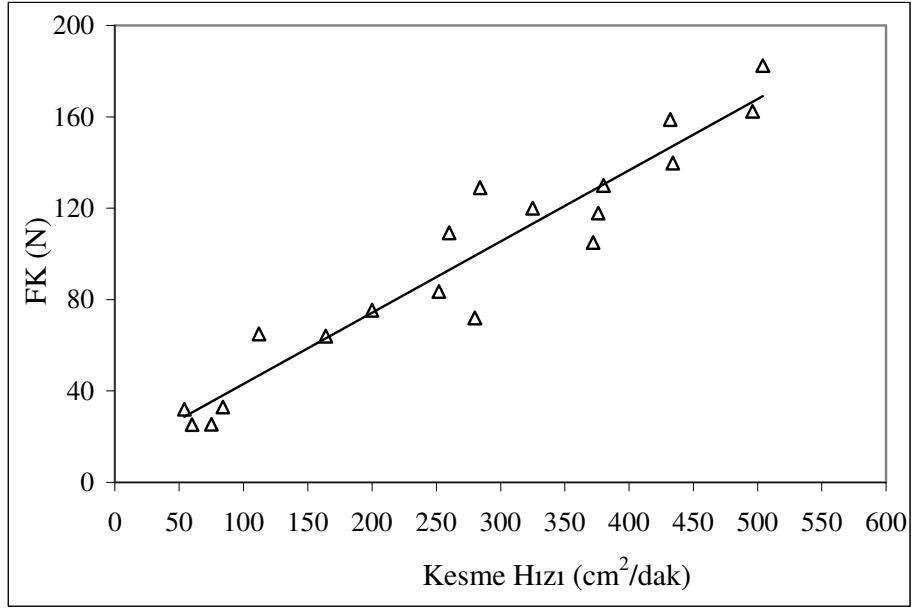
Ek. 5.21. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerinde Etkisi.



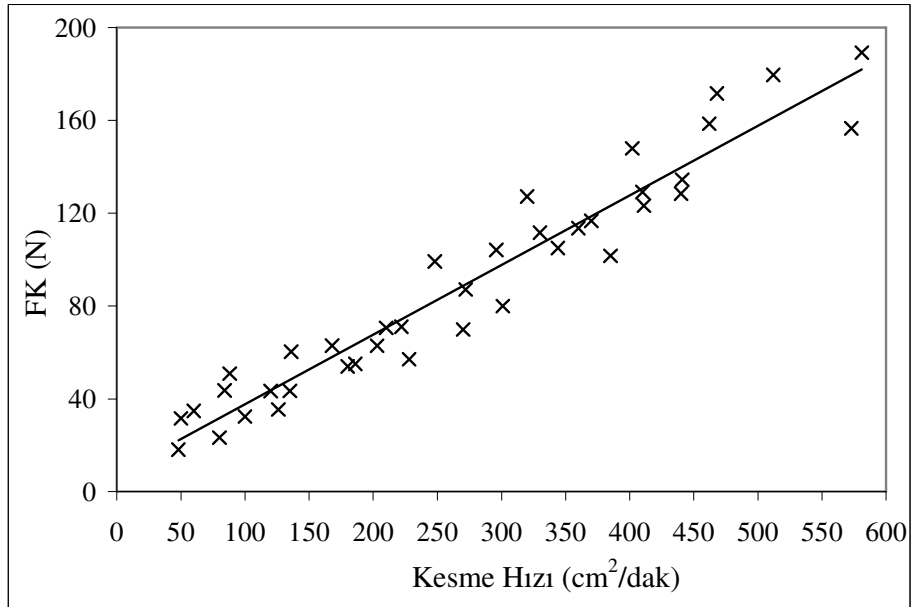
Ek. 5.22. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Teğetsel Kuvvet Üzerine Etkisi.



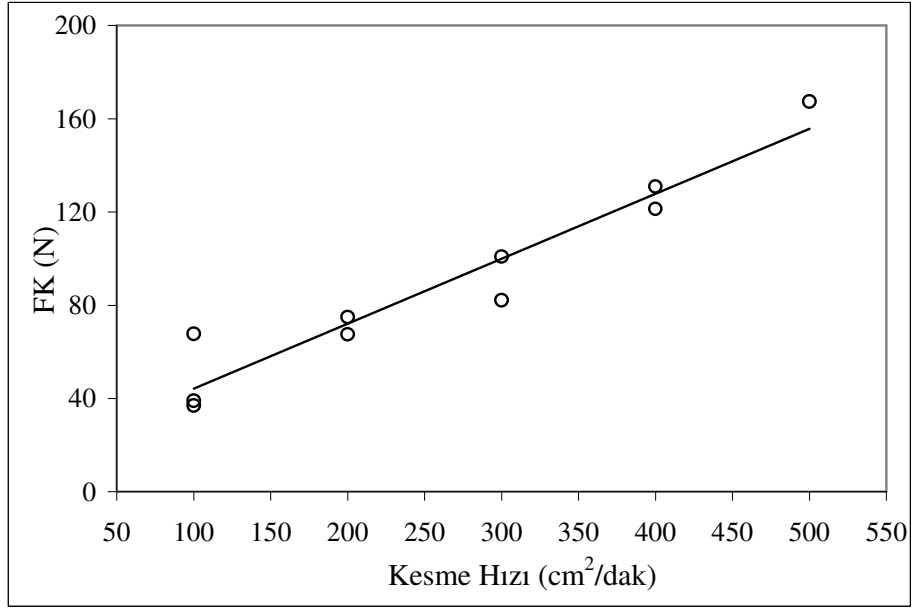
Ek. 5.23. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.



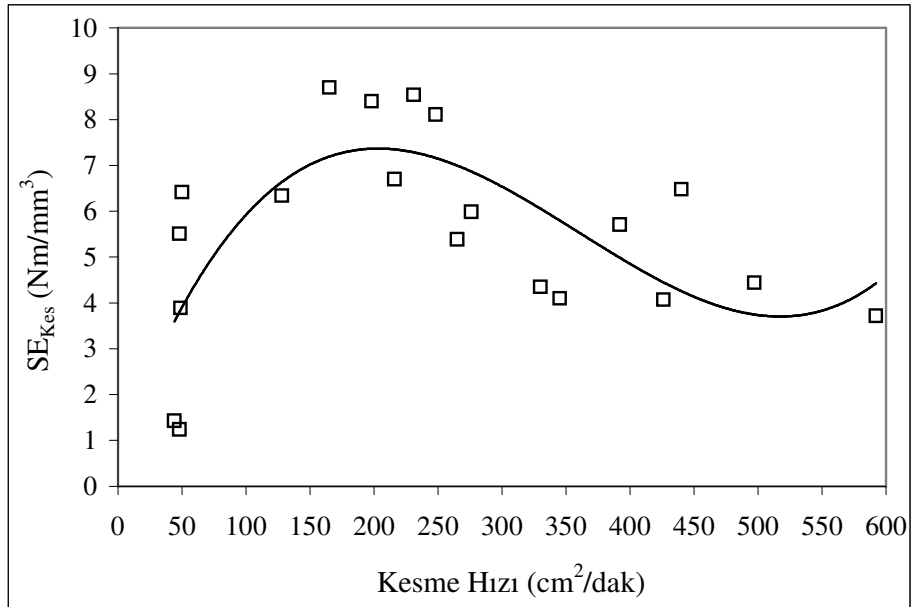
Ek. 5.24. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.



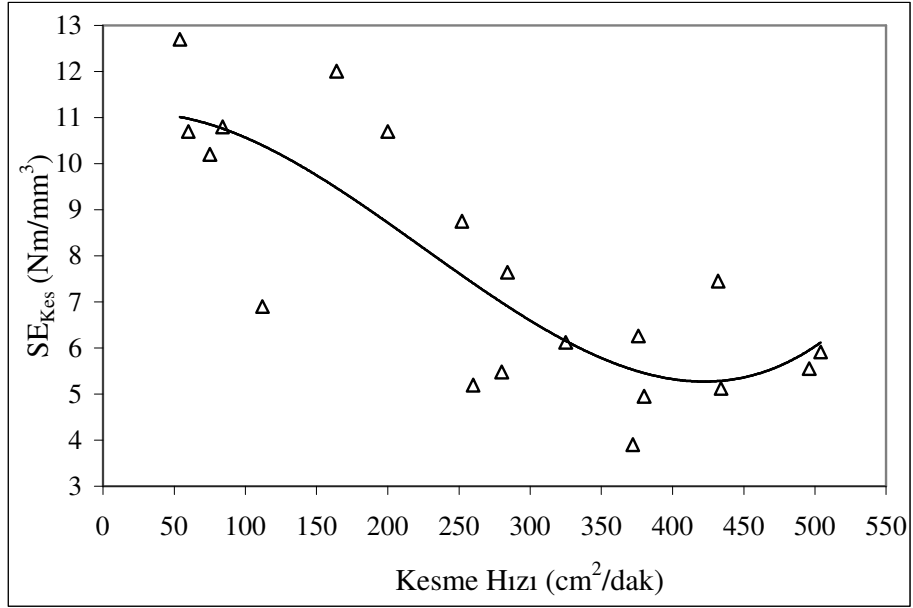
Ek. 5.25. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.



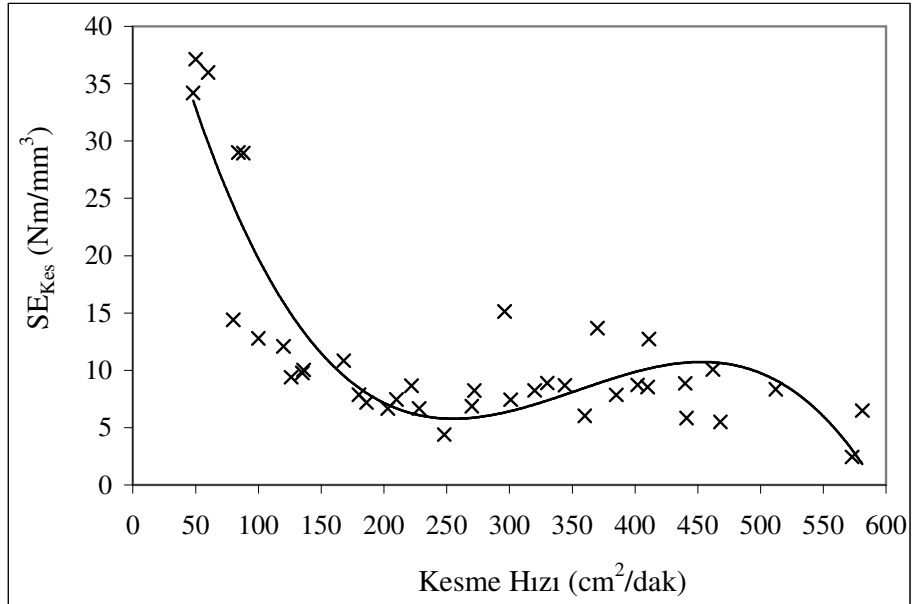
Ek. 5.26. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.



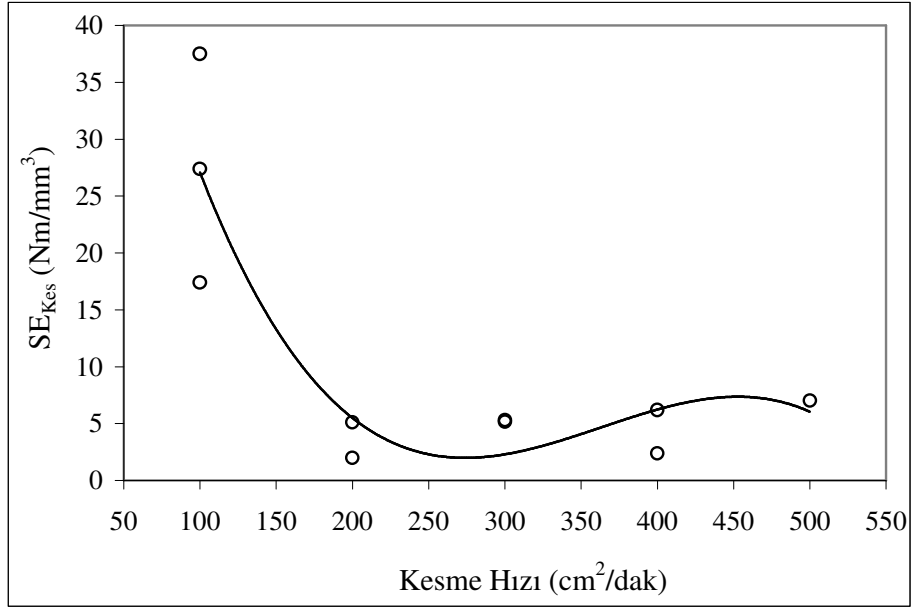
Ek. 5.27. Osmaniye Serpantin Breşi İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.



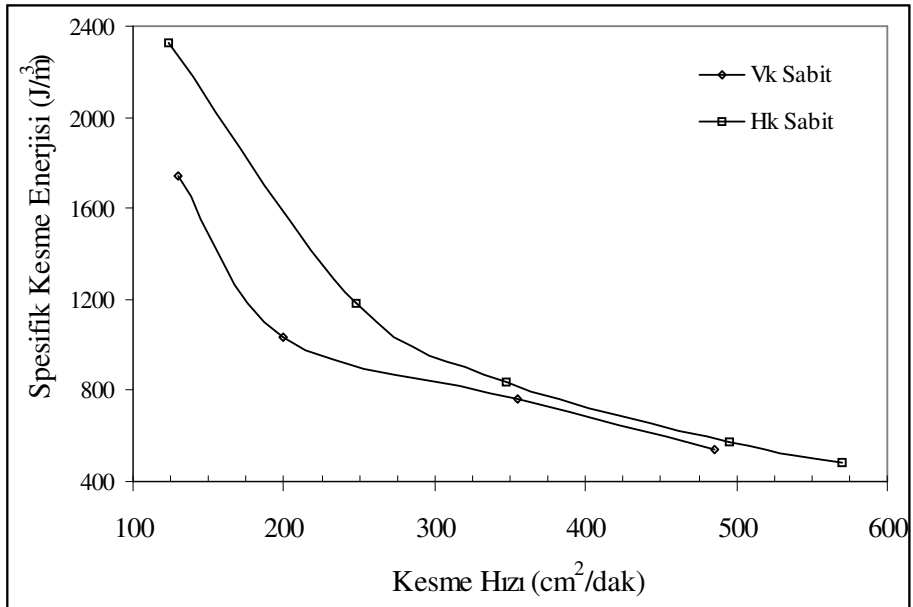
Ek. 5.28. Sivrihisar Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.



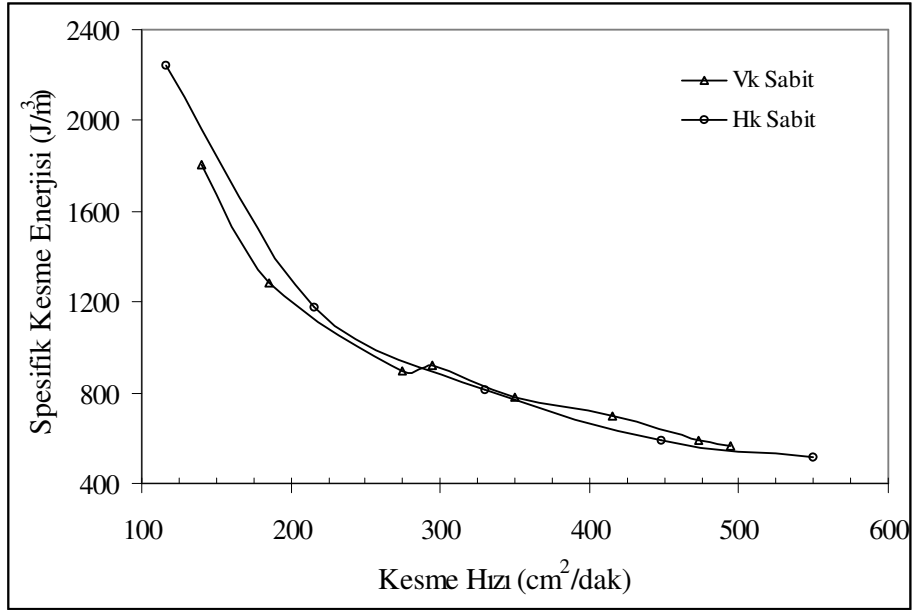
Ek. 5.29. Söğüt Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.



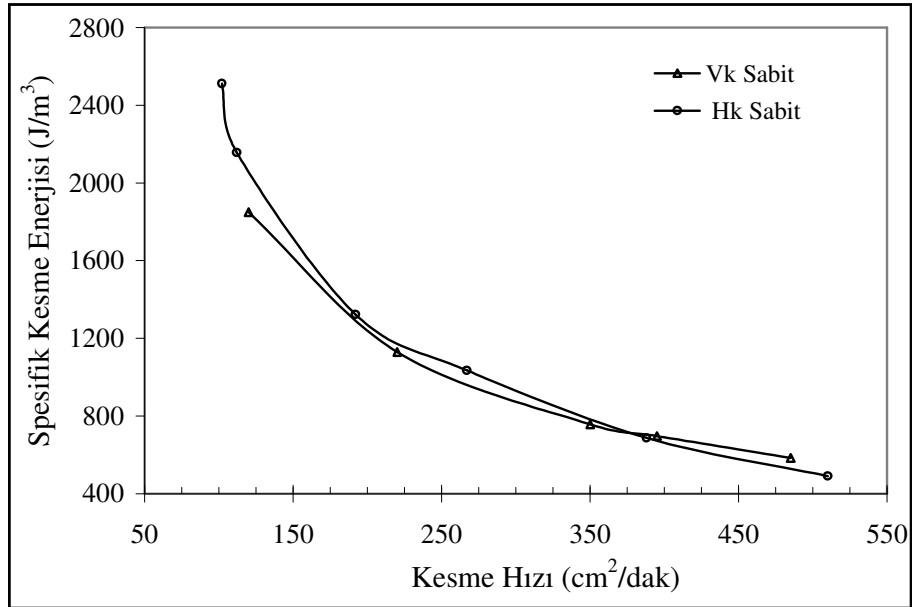
Ek. 5.30. Bilecik Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Enerji Üzerine Etkisi.



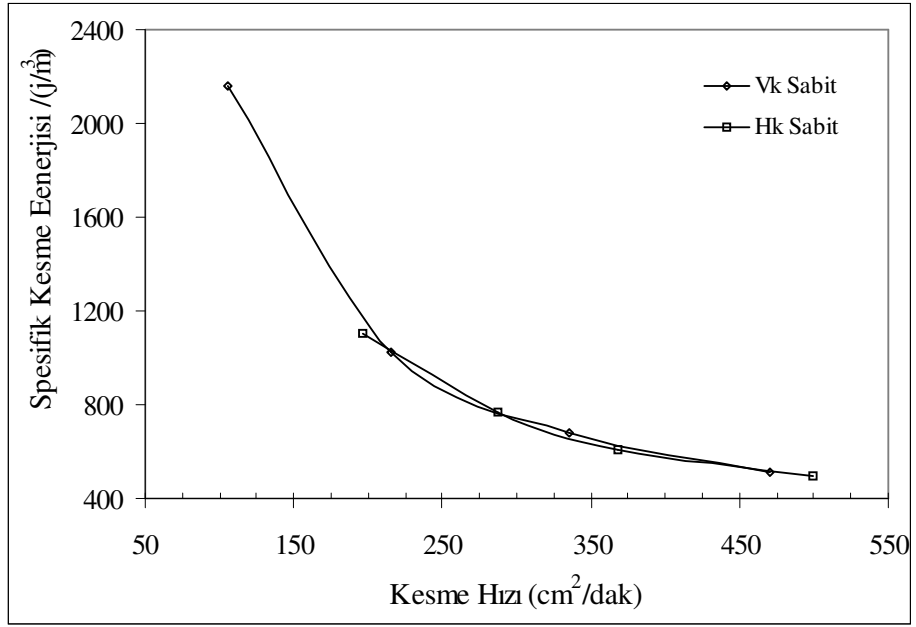
Ek. 5.31. Burdur Kireçtaşı İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerindeki Etkisi.



Ek. 5.32. Kayseri Erkilet Bazalt İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerindeki Etkisi.



Ek. 5.33. Afyon Bazaltik Andezit İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerine Etkisi.



Ek. 5.34. Afyon Riyolit Tüf İçin Kesme Hızındaki Değişimlerin Spesifik Kesme Enerji Üzerindeki Etkisi.

KAYNAKLAR

- AKKURT, M. 1996. Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları. İstanbul: Birsen yayınevi.
- ARDOS, M., 1992. Mermer, Türkiyede Mermer ve Yapı Dekorasyonu, 24: 32-34.
- ATICI, Ü., 1999. Mermer kesme makinelerindeki kesicilerin aşınma mekanizmaları. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. Yayınlanmamış, 118s.
- ATICI, Ü., ERSOY, A., BÜYÜKSAĞIŞ, S., 2002. Elmas Diskli Kesicilerin Çalışma Parametrelerinin Değerlendirilmesi. 6. bölgesel kaya mekaniği sempozyumu, Konya, 391 – 399.
- BAILEY, M.V., BULLEN, G.J., 1979. Sawing in the stone and civil engineering industries. Industrial Diamond Review, 45: 84-87.
- BİENERT, P., 1978. Kreissagen von beton mit diamantwerkzeugen, Dr. Ing. Dissertation, Universität Hannover, Deutschland, Unpublished.
- BILLINGS, M.D., 1972. Structural Geology. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 606 p.
- BULLEN, G.J., WRİGTH, D.N., 1981. Aspects governing diamond grit selection for stone and concrete applications. De Beers Industrial Diamond Division, Charters, UK.
- BURWELL, J.T., STRANG, C.D., 1952. On the empirical law of adhesive wear. Journal of Applying Physics, Vol. 23, pp. 18 – 28.
- BUTTNER, A., 1974. Diamond tools and stone. Industrial Diamond Review, vol. 34, pp. 89 –93.
- BÜYÜKSAĞIŞ, İ.S., 1998. Dairesel testereli blok kesme makinelerinde mermerlerin kesilebilirlik analizleri. Doktora Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, Yayınlanmamış.
- CASSAPI, V.B. 1987. Application of rock hardness and abrasive indexing to rock excavating equipment selection. Ph. D., Thesis University of Nottingham, U.K, Unpublished.

- COLLİN, W.D., 1980. Some aspects of blade and machine stability whwn sawing concrete. De Beers Diamond Resarch Laboratory, Johennesburg, South Africa.
- DAVIS, P.R., FİSH, M.L., WRİGTH, D.N., PEACOCK, S., 1972. An Indicator system for saw grit. De Beers Industrial Diamond Division, Charters, U.K.
- DRAPER, N.R., SMİTH, H., 1981. Applied regression analysis. John Willey and Sons, New York, 1981.
- DURBİN, J., WATSON, G.S., 1951. Testing for serial correlation in least squares regression II. Biometrika, vol. 38, pp. 159 – 177.
- ERSOY, A., WALLER, M.D., 1995. Wear characteristics of PDC pin and hybrid core bits in rock drilling. Wear, vol. 188, pp. 150-165.
- ERSOY, A., 1996. Performance analysis of polycrystalline diamond compact (PDC) core bits in rocks. Ph. D., Thesis University of Nottingham, U.K, Unpublished.
- ERSOY, A. & ATICI, Ü. 1999. Mermer kesicilerin aşınma mekanizmaları. Türkiye 16. Madencilik Kongresi. TMMOB Maden Mühendisleri Odası. Ankara: 107 – 115.
- ERSOY, A., 2003, Automatic drilling control based on minimum drilling specific energy using PDC and WC bits. Mining Technology, vol. 112, pp. A86-A95.
- ERSOY, A., ATICI, Ü., 2004. Performance Characteristics of Circular Diamond Saws in Cutting Different Types of Rocks. Diamond and Related Materials, vol. 13, pp. 22-37.
- ERSOY, A., BUYUKSAGİS, ATICI, Ü., 2004, Wear Characteristics of Circular Diamond Saws in the Cutting of Different Hard Abrasive Rocks. Wear, Vol. 258, pp. 1422-1436.
- ERTİNGHAUSEN, W., 1985. Wear Proses in Sawing Hard Stone. Industrial Diamond Review, Vol 5/85, Pp 254-258.
- EVANS, I., POMEROY, C.D., 1966. The strength, fracture and workability of coal. Pergamon Pres, UK.

- EVANS, I., 1974. Energy requirements for impact breakage of rocks. The Im. of Mech. Eng. pp. 1-8.
- EVANS, I. 1984. A theory of cutting forces for point attack picks., International Journal of Mining Science, Vol 2, Pp 63-71.
- EVANS, I., 1984. A lateral spacing of point attack picks. The Coal Journal, Vol 5, Pp 7-10.
- EYUPOĞLU, A.S., 2000. Diskli kesici soketlerdeki aşınmaların Ankara andezitlerinde incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. S. 128, Yayınlanmamış.
- GLOWKA, D.A., STONE, C.M., 1985. Thermal response of polycrystalline diamond compact cutters under simulated downhole conditions. Society of Petroleum Engineering Journal, April, pp. 143 – 156.
- GODFREY, D., 1980. Diagnosis of wear mechanism. In: Wear Control Handbook, Peterson, M.B., Winer, W.O. (Eds), ASME, New York, pp. 283 – 311.
- HARAMY, K.Y., DE MARCO, M.J., 1985. Use of the schmidt hammer for rock and coal testing. 26 th U.S. Symposium on Rock Mech. Min. Sci. And Geomechanics abst. 18, pp. 295 – 304.
- HUTCHINGS, I.M., 1992. Tribology: Friction and wear of engineering materials. Edward Arnold A Division of Hodder and Stoughton, London, pp. 273.
- ISRM, 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring Suggested Methods. ISRM. Oxford, p.16.
- İNAL, H.C., GÜNAY, S., 1982. Olasılık ve matematiksel istatistik. Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Basımevi, Ankara, S. 468.
- İŞÇİL, N., 1977. Örneklemeye yöntemleri. Kalite Matbaası, Ankara, S. 242.
- JAHANMIR, S., 1978. On the wear mechanism and the wear equations. In Fundamentals of Tribology, Suh, N.P. and Saka, (Eds), The MIT Press, Cambridge, pp. 455 – 467.
- JENNINGS, M., WRIGHT, D., 1989. Guidelines for sawing stone. Industrial Diamond Review. 49:70-75.
- JOHNSON, S.T., FOWELL, R.J., 1986. Compressive strength is not enough, assessing pick wear rates for drag tool equipped machines. University of Newcastle Open Tyne.

- JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W., 1992. Applied multivariate statistical analysis. Prentice – Hall International, Inc., 642 p.
- KARAGÖZ, Ş., ZEREN, M. 1996. Elmaslı kesici takımların mikro yapısal dizaynı üzerine araştırmalar. 1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı: 459 – 467.
- KARAGÖZ, Ş., ZEREN, M., 1997. Sürekli disk tipi elmaslı kesici takımlarda hata karakterizasyonu. 9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi: 517 – 525.
- KİDYBİNİSKİ, A., 1981. Bursting liability indices of coal. International Journal of Rock Mechanics, Mining Science and Geomechanics, Abst. 18, pp. 295 – 304.
- KONSTANTY, J., 2000. Diamond bonding and matrix wear mechanism involved in circular sawing of stone. Industrial Diamond Review, Vol. 60, No. 584, pp. 55 – 65.
- KONSTANTY, J., 2002. Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. Journal of Material Processing Technology, Vol. 123, pp. 146 – 154.
- KÖKSAL, B.A., 1985. İstatistik analiz metotları. Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 530 S.
- LANDSOWN, A.R., PRICE, A.L., 1986. Materials to resist wear. A guide to their selection and use, Pergamon Press, Oxford, p. 128.
- LEVİN, R., RUBİN, D.S., 1980. Applied elementary statistics. Prentice – Hall, Inc., 579 p.
- LÖNS, H.H., 1970. Die krafte beim gattersögen mit diamantwerkzeugen. Industrie Diamanten Rundschau, vol. 4, s. 191 – 200
- LUO, S.Y., LIAO, Y.S., 1993. Effects of diamond grain characteristics on saw blade wear. International Journal of Machine Tools Manufacture, Vol. 33, No. 2, pp. 257 – 266.
- LUO, S.Y., LIAO, Y.S., 1995. Study of behaviour of diamond saw – blade in stone processing. Journal of Materials Processing Technology, vol 51, pp.296 – 308.
- MYERS, R.H., 1990. Classical and Modern regression with applications. Second Edition, Pws-Kent Publishing Company, 488 p.

- NİSHIMATSU, Y. 1971. The Mechanics of Rock Cutting. Faculty of Engineering, University of Tokyo.
- NİZAMOĞLU, S., 1978. Contribution a L'étude du fonctionnement des tunneliers "Plein Section" et analyse de L'usure de leurs outils de coupe, these pour obtenir le grade de docteur ing. Ecole des Mines de Nancy, p. 139.
- ÖZÇELİK, Y., KULAKSİZ, S., ÇETİN, M.C., 2002. Assessment of the wear of diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression. Journal of Materials Processing Technology, vol. 127, pp. 392-400.
- PURTSCHELLER, F., HAUSBERGER, P., 1991. Bearbeitungsverhalten von Naturstein beim Sagen mit Diamant. Schleifen und Trennen, Deutschland, S. 4 – 11.
- RAWLINGS, J.O., 1988. Applied regression analysis: a research tool. Wadsworth and Brooks/ Cole Advanced Books and Software, 553 p.
- ROGERS, S.P., 1991. Rock mass characterisation and indexing for excavation assessment. Ph.D. Thesis, University of Nottingham.
- SARIIŞIK, A., GÜNDÜZ, L., 1996. Mermer Kesiminde Kullanılan Elmas Diskli Kesiciler. Mermer Teknolojisi, Vol 1, S. 9-14.
- SCHMIAZEK, J., KNATZ, H., 1970. The influence of rock structure on the cutting speed and pick wear of heading machines. Glokauf, vol. 106, German, pp. 274-278.
- ŞENTÜRK, A., GÜNDÜZ, L., TOSUN Y.İ., SARIİŞIK, L. 1996. Mermer Teknolojisi. Tugra ofset, Isparta, s. 242.
- SNEDDON, M.V., HALL, D.R., 1988. Polycrystalline diamond: manufacture. wear mechanism and implications for bit design, Journal of Petroleum Technology, Vol. 40, No. 12, pp. 1593 – 1601.
- THURO, K., SPAUN, G., 1996. Drillability in hard rock drill and blast tunnelling. Felsbau 14, pp. 103-109.
- THURO, K., 1997. Prediction of drillability in hard rock tunnelling by drilling and blasting. In Golser, Hinkel & Schubert (eds), Tunnels for people, Proc. Word Tunnel Congr., Vienna, 12 – 17 Apr., Balkema, Rotterdam, pp. 103 – 108.

- THURO, K., PLINNINGER, R.J., 1999. Roadheader excavation performance – geological and geotechnical influences. Theme 3: Rock dynamics and tectonophysics / rock cutting and drilling, 9th ISRM congress, August 25th – 28th, Paris, pp. 1241-1244.
- TOBIAS, S.A., 1965. Machine tool vibration. Blackie and Son Ltd., London.
- TÖNSHOFF, H.K., WOBKER, H.G., PRZYWARA, R. 1993. das Arbeitsverhalten von Werkzeugen zum trennschleifen von Gestein. Industrie Diamanten Rundschau: 198 – 205.
- TÖNSHOFF, H.K., ASCHE, J., 1996. Verschleissverhalten von diamantwerkzeugen in der natursteinbearbeitung. Ind. Diamanten Rundschau, vol. 2, pp. 107-114.
- TÖNSHOFF, H.K., HILLMANN – APMANN, H., 2002. Diamond tools for wire sawing metal components. Diamond and Related Materials, vol. 11, pp. 742-748.
- TSE699, 1987. Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları. TS699, TSE yayınları, Ankara, p. 82.
- TUKEY, J.M., 1977. Data analysis and regression. Addison-Wesley Publishing Company.
- UYANIK, T., 2001. Doğal taşlar dış Pazar araştırması, İhracat geliştirme etüt merkezi. Ankara, s.177.
- ÜNVER, B. 1992. Kayaların testerelerle kesilebilirliğinin pratik olarak belirlenmesi için istatistiksel bir yaklaşım. Madencilik dergisi. Ankara: 3:17 – 25.
- ÜNVER, B. 1996. A Statical method for practical assesment of sawability of rocks. Eurock ISRM International Symposium: 59 – 65.
- XU, X., LI, Y., MALKIN, S., 2001. Forces and energy in circular sawing and grinding of granite. Journal of Manufacturing Science and Engineering by ASME, vol. 123, pp. 13-22.
- WANG, C.Y., CLAUSEN, R., 2002. Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 42, pp. 1045-1054.
- WALTHAM, A.C., 1994. Rock Strength. Engineering Geology, pp. 48 – 77.

- WEBER, K., 2002. Dependence of sinter metal powder and diamond in sawblade manufacture. *Industrial Diamond Review*, vol. 2, pp.90-91.
- WRIGHTH, D.N., CASSAPI, V.B., 1985. Factors influencing stone sawability. *Industrial Diamond Review*, No. 2, pp. 213 – 216.
- WRIGHTH, D.N., WAPLER, H., 1986. Investigation and prediction of diamond wear when sawing. *Ann CIRP*, vol 35, pp. 239 – 244.
- WRIGHTH, D.N., 1986. The prediction of diamond wear in sawing of stone. *Industrial Diamond Review*, no:5, pp. 213-216.
- YAŞAR, E., 2001. A new rock mass classification for coal measures rocks. *Engineering Geology*, vol. 62, pp. 293 – 300.

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Niğde’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Niğde’de tamamladı. 1987 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü’ne girdi ve 1993 yılında mezun oldu. 1993-1994 yılları arasında Güneydoğu Krom İşletmeleri ve Terakki Madencilik Şirketi’nde çalıştı. 1994 yılında kısa dönem olarak askerliğini yaptı. 1995 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü “Maden Yatakları” Anabilim Dalı’na Araştırma Görevlisi olup, Y.Ö.K.’nın 13/b maddesi gereğince Çamardı M.Y.O.’na Öğretim Görevlisi olarak atandı. Aynı zamanda burada, Maden Programı ve Teknik Programlar, Bölüm Başkanlığını, Yüksekokul Sekreterliğini de vekaleten yürüttü. 1996 yılında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında, Yüksek Lisans eğitime başladı. 1999 yılında ile tekrar Araştırma Görevliliğine dönerek YÖK Kanununun 35. Maddesine göre Niğde Üniversitesi adına Yüksek lisans-Doktora Eğitimi tamamlamak amacıyla Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalına görevlendirilmesi yapıldı. 1999 yılında Yüksek lisansı tamamlayarak Doktora eğitime başladı. Belirtilen tarihten bu güne kadar Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evlidir.